



ISSN : 2458-7494
E-ISSN: 2458-7613

KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

KIRKLARELİ UNIVERSITY
JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

Cilt / Volume: 8

Sayı / Number: 1

Haziran / June 2022

Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

<http://fbedergi.klu.edu.tr>

e-mail:fbedergi@klu.edu.tr

editor@klu.edu.tr



KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ / KIRKLARELİ UNIVERSITY
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

Sahibi / Owner

Kırklareli Üniversitesi Rektörlüğü Adına / Owner on Behalf of Kırklareli Rectorship
Prof. Dr. Bülent ŞENGÖRÜR (Rektör)

Editörler / Editors

Prof. Dr. Erol TÜRKEŞ
Doç. Dr. Alptekin KISASÖZ
Doç. Dr. Mustafa ARSLAN
Doç. Dr. Soner YELER
Dr. Öğr. Üyesi Burak ÖZŞAHİN
Dr. Öğr. Üyesi Erdiç KESKİN
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÇAKANEL

Yayın Kurulu / Editorial Board

Prof. Dr. Bülent ŞENGÖRÜR
Prof. Dr. A. Sabih ATADAN
Prof. Dr. Erol TÜRKEŞ
Prof. Dr. Meryem ÇAMUR
Prof. Dr. Serpil AKÖZCAN
Dr. Öğr. Üyesi Burak ÖZŞAHİN
Dr. Öğr. Üyesi Erdiç KESKİN
Dr. Öğr. Üyesi Sencer Süreyya KARABEYOĞLU

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Editing Manager

Sedat KEÇELİ

İnternet Adresi / Web Address

<http://fbedergi.klu.edu.tr>

Yazışma Adresi / Correspondence Address

Kırklareli Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü
Rektörlük Kültür Merkezi B Blok Merkez/ Kırklareli
e-mail: fbedergi@klu.edu.tr
Tel: 0 (288) 246 15 16
Fax: 0 (288) 246 16 02

Baskı / Publisher

Kırklareli Üniversitesi Matbaası / Kırklareli University Publishing Centre

Yayın Türü / Publication Type

Yaygın Süreli Yayın / International Periodical

Yılda iki kez yayınlanır: Haziran, Aralık / Twice a year: June, December

Bu sayı 100 adet basılmıştır / This issue published as 100 copies

Basım Tarihi / Publication Date: 30.06.2022



KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ / KIRKLARELİ UNIVERSITY
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

Danışma Kurulu / Advisory Board

Abdurrahman GÜNER, İstanbul Esenyurt Üniversitesi, İstanbul
A. Fevzi BABA, Marmara Üniversitesi, İstanbul
A. Sabih ATADAN, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Aleksandar GEORGIEV, Sofya Teknik Üniversitesi, Bulgaristan
Asım KURTOĞLU, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Bilal BALKAN, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Bülent AKBAŞ, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli
Bülent ŞENGÖRÜR, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Deris STIAWAN, Sriwijaya University, Endonezya
Emrah DOĞAN, Sakarya Üniversitesi, Sakarya
Erhan BUDAK, Sabancı Üniversitesi, İstanbul
Erol TÜRKEŞ, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Fahri VATANSEVER, Uludağ Üniversitesi, Bursa
F.Onur HOCAOĞLU, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar
Gökhan GÖKMEN, Marmara Üniversitesi, İstanbul
Göksel DEMİR, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Hasan DEMİR, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ
Hatice ŞANLIDERE ALOĞLU, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
İsmail KIYAK, Marmara Üniversitesi, İstanbul
Kadir GÜLER, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
Kanat Burak BOZDOĞAN, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale
Kamil KAHVECİ, Trakya Üniversitesi, Edirne
Lambros EKONOMOU, Hellenic American University, Yunanistan
M. Hakan HOCAOĞLU, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli
Meryem ÇAMUR, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
M.S. Bhaskar RANJANA, Marathwada Institute of Technology, Hindistan
Murat BOSTANCIOĞLU, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas
Murat KARAHAN, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya
Mustafa BİRİNCİ, İnönü Üniversitesi, Malatya
Nadide SEÇKİN, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Oğuzhan ERBAŞ, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya
Osman KILIÇ, Marmara Üniversitesi, İstanbul
Osman Nuri UÇAN, İstanbul Kemerburgaz Üniversitesi, İstanbul
Özlem AYTEKİN, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Ramazan ÇAĞLAR, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
Sarp ERTÜRK, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli
Serpil AKÖZCAN, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Sezai TAŞKIN, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa
Veselina Nedeva, Trakia Üniversitesi, Bulgaristan
Yılmaz ÇAN, Trakya Üniversitesi, Edirne
Youcef Soufi, University of Tébessa, Cezayir
Yunus BİÇEN, Düzce Üniversitesi, Düzce
Yüksel OĞUZ, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar
Zafer AĞDELEN, Girne Amerikan Üniversitesi, KKTC
Witold Charatonik, University of Wroclaw, Polonya



KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ / KIRKLARELİ UNIVERSITY
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

İçindekiler / Contents

Melih GÖÇEN; THE EXACT SOLUTIONS OF SOME DIFFERENCE EQUATIONS ASSOCIATED WITH ADJUSTED JACOBSTHAL-PADOVAN NUMBERS (<i>Araştırma</i>).....	1-14
Hayrettin TOYLAN; SOLAR IRRADIANCE PREDICTION USING BAGGING DECISION TREE-BASED MACHINE LEARNING (<i>Araştırma</i>).....	15-24
Seda BALKAN, Bilal BALKAN; BİTKİ PATOJENİ <i>Alternaria tenuissima</i> 'ya KARŞI BAZI BİTKİ EKSTRAKTLARININ <i>IN VITRO</i> ETKİNLİĞİ (<i>Araştırma</i>).....	25-37
Ali MÜLAYİM; ENGELSİZ ÜNİVERSİTE SÖYLEMİ VE KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ SOSYAL YAŞAM ALANININ ENGELLİLER İÇİN ERİŞİLEBİLİRLİĞİNİN BELİRLENMESİ (<i>Araştırma</i>)	38-57
Abbas GÜMÜŞ, Mustafa ULAŞ; TEK VE ÇİFT KARE KUYU TELLERİNDE ELEKTRİK ALAN VE MANYETİK ALAN'IN ELEKTRONİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ (<i>Araştırma</i>).....	58-68
Zinnur YILMAZ, Mustafa Bünyamin KARAGÖZOĞLU, Berk KÖKER, Sefa Furkan SELÇUK; KİRLİTİCİ PARAMETRELERİN ATMOSFERDEKİ YOĞUNLUKLARINA DAİR SINIR DEĞERLER: ÖRNEK ÇALIŞMA MUŞ İLİNİN HAVA KİRLİLİĞİ (<i>Araştırma</i>).....	69-87
Okan YILMAZ, Kardelen ATİK; ÇANAKKALE KENT MERKEZİNDEKİ LEED SERTİFİKALI YEŞİL BİNALAR ÜZERİNE ARAŞTIRMALAR: ÇANAKKALE ESAS 17 BURDA AVM ÖRNEĞİ (<i>Araştırma</i>).....	88-108
Abbas GÜMÜŞ, Mustafa ULAŞ; ÇOKLU KUANTUM TEL KUYULARINDA ELEKTRİK ALAN VE MANYETİK ALAN'IN ELEKTRONİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ (<i>Araştırma</i>).....	109-121
Melih CANLIDİNÇ, Mustafa GÜLEŞEN; BİYOMEKANİK ANALİZDE YÜK KALDIRMA HAREKETİ YAKALAMA YÖNTEMLERİ VE ÖRNEK UYGULAMA (<i>Araştırma</i>).....	122-135
Oğuzhan ERBAŞ; EVALUATION OF THE STRUCTURE AND ENERGY GENERATION OF A INTEGRATED SOLAR COMBINED CYCLE POWER PLANT (<i>Araştırma</i>).....	136-147
Naim ASLAN, Yakup SAY; NADİR TOPRAK ELEMENTLERİNİN UYGULAMA ALANLARI (<i>Derleme</i>).....	148-178
Semiha TOMBULOĞLU; GÖZLÜK CAMLARINDA IŞIK GEÇİRGENLİK ÖZELLİKLERİ (<i>Derleme</i>).	179-189
Fatih Selim BAYRAKTAR, Ramazan KÖSE; BİYOMEKANİK ANALİZDE YÜK KALDIRMA HAREKETİ YAKALAMA YÖNTEMLERİ VE ÖRNEK UYGULAMA (<i>Derleme</i>).....	190-210



THE EXACT SOLUTIONS OF SOME DIFFERENCE EQUATIONS ASSOCIATED WITH ADJUSTED JACOBSTHAL-PADOVAN NUMBERS

Melih GÖCEN^{1*} 

¹Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Zonguldak.

Abstract

In this paper, we obtain the form of the solutions of some rational difference equations via adjusted Jacobsthal-Padovan numbers. We find a relation between the exact solutions and the adjusted Jacobsthal-Padovan numbers. Apart from the literature, we give the closed form of the solutions associated with these well-known integer sequence using exponential functions. Furthermore, we investigate the asymptotic behavior of the equilibrium point of the solutions of these difference equations.

Keywords: Difference equation, Form of the solutions, Stability, Jacobsthal-Padovan numbers.

BAZI FARK DENKLEMLERİNİN AYARLANMIŞ JACOBSTHAL-PADOVAN SAYILARI İLE İLİŞKİLİ TAM ÇÖZÜMLERİ

Öz

Bu makalede, bazı rasyonel fark denklemlerinin ayarlanmış Jacobsthal-Padovan sayıları ile çözümlerinin formunu elde ediyoruz. Kesin çözümler ile ayarlanmış Jacobsthal-Padovan sayıları arasında bir ilişki buluyoruz. Literatürün dışında, çözümlerin bu iyi bilinen diziler ile ilişkili kapalı formunu üstel fonksiyonlar kullanarak veriyoruz. Ayrıca, bu fark denklemlerinin denge noktasının asimptotik davranışını inceliyoruz.

Anahtar Kelimeler: Fark denklemi, Çözümlerin formu, Karalılık, Jacobsthal-Padovan sayıları.

*Sorumlu Yazar:Melih GÖCEN, gocenm@hotmail.com

1. INTRODUCTION

Recently there has been a rapid increase in studying the theory and applications of difference equations, for related studies, see [3,4,5,19,20]. Especially, the studies that concern the relation between the special sequences and the closed form of the solutions of difference equations or systems have been received great interest by many researchers for a long time. Because, some of the solution forms of these equations are even expressible in terms of well-known integer sequences. As it can be seen from the references, there are many papers on such these studies from several authors, see [6,7,8,9,10,11,12,13,21].

In [15], the author studied on the dynamical behaviours of the following difference equation

$$x_{n+1} = \frac{\alpha}{x_n x_{n-1} - 1}, \quad n = 0, 1, \dots \quad (1)$$

where only $\alpha > 0$. But they did not give the exact solution of the Eq. (1). In this work, we present the exact solutions for the case $\alpha = 2$ and $\alpha = -2$ via adjusted Jacobsthal-Padovan numbers for the first time in the literature.

Firstly, we give the closed form of the following rational difference equations

$$x_{n+1} = \frac{2}{x_n x_{n-1} - 1}, \quad n = 0, 1, \dots \quad (2)$$

$$x_{n+1} = \frac{-2}{x_n x_{n-1} - 1}, \quad n = 0, 1, \dots \quad (3)$$

in terms of adjusted Jacobsthal-Padovan numbers and investigate the asymptotic behavior of solutions of these equations. Also, we find a relation between the exact solutions of Eq. (2), Eq. (3) and the adjusted Jacobsthal-Padovan numbers.

Let us consider the following definitions which will be needed for the results throughout the paper. Firstly, we give some information about the generalized Jacobsthal-Padovan sequence. A generalized Jacobsthal-Padovan sequence $\{V_n\}_{n \geq 0} = \{V_n(V_0, V_1, V_2)\}_{n \geq 0}$ is defined by the third-order recurrence relations,

$$V_n = V_{n-2} + 2V_{n-3} \quad (4)$$

with initial conditions $V_0 = c_0, V_1 = c_1, V_2 = c_2$ not all being zero. This sequence can be extended to negative subscripts by defining

$$V_{-n} = -\frac{1}{2}V_{-(n-1)} + \frac{1}{2}V_{-(n-3)} \quad (5)$$

for $n = 1, 2, 3, \dots$. Therefore, recurrences (4) and (5) hold for all integer n .

Here, α, β and γ are the roots of the cubic equation

$$x^3 - x - 2 = 0 \quad (6)$$

Moreover

$$\alpha = \left(1 + \frac{\sqrt{78}}{9}\right)^{1/3} + \left(1 - \frac{\sqrt{78}}{9}\right)^{1/3} \quad (7)$$

$$\beta = \omega\left(1 + \frac{\sqrt{78}}{9}\right)^{1/3} + \omega^2\left(1 - \frac{\sqrt{78}}{9}\right)^{1/3}$$

$$\gamma = \omega^2\left(1 + \frac{\sqrt{78}}{9}\right)^{1/3} + \omega\left(1 - \frac{\sqrt{78}}{9}\right)^{1/3}$$

where

$$\omega = \frac{-1 + i\sqrt{3}}{2} = \exp\left(\frac{2\pi i}{3}\right)$$

is a primitive cube root of unity. Note that

$$\alpha + \beta + \gamma = 0,$$

$$\alpha\beta + \alpha\gamma + \beta\gamma = -1,$$

and

$$\alpha\beta\gamma = 2.$$

Now, we define a special case of the generalized Jacobsthal-Padovan sequence $\{V_n\}$. The adjusted Jacobsthal-Padovan sequence $\{K_n\}_{n \geq 0}$ is defined by the following third order recurrence relation

$$K_{n+3} = K_{n+1} + 2K_n, \quad K_0 = 0, \quad K_1 = 1, \quad K_2 = 0.$$

Also, it can be extended to the negative subscripts as

$$K_{-n} = -\frac{1}{2}K_{-(n-1)} + \frac{1}{2}K_{-(n-3)}$$

for $n = 1, 2, 3, \dots$. So, these recurrences hold for all integer n .

For more information, see [1,2,17,18].

Next, we present the first few values of the adjusted Jacobsthal-Padovan numbers with positive and negative subscripts:

Table 1. The first few values of the adjusted Jacobsthal-Padovan numbers with positive and negative subscripts.

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
K_n	0	1	0	1	2	1	4	5	6	13	16	25	42	57
K_{-n}	0	0	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{16}$	$-\frac{7}{32}$	$\frac{11}{64}$	$\frac{1}{128}$	$-\frac{29}{256}$	$\frac{73}{512}$	$-\frac{69}{1024}$	$-\frac{47}{2048}$	$\frac{339}{4096}$

2. PRELIMINAIRES

We begin by introducing some basic definitions and some theorems needed in the sequel. For details, see [14].

Let I be some interval of real numbers and let $f: I^{k+1} \rightarrow I$ be continuously differentiable function. A difference equation of order $(k+1)$ is an equation of the form

$$x_{n+1} = f(x_n, x_{n-1}, \dots, x_{n-k}), \quad n = 0, 1, \dots \tag{9}$$

A solution of Eq. (9) is a sequence $\{x_n\}_{n=-k}^{\infty}$ that is satisfies Eq. (9) for all $n \geq -k$.

Definition 1. A solution of Eq. (9) that is constant for all $n \geq -k$ is called an equilibrium solution of Eq. (9). If

$$x_n = \bar{x}, \text{ for all } n \geq -k$$

is an equilibrium solution of Eq. (9), then \bar{x} is called an equilibrium point, or simply an equilibrium of Eq. (9).

Suppose that the function f is continuously differentiable in some open neighborhood of an equilibrium point \bar{x} . Let

$$q_i = \frac{\partial f}{\partial u_i}(\bar{x}, \bar{x}, \dots, \bar{x}), \quad i = 0, 1, \dots, k$$

denote the partial derivative of $f(u_0, u_1, \dots, u_k)$ with respect to u_i evaluated at the equilibrium point \bar{x} of Eq.(9).

Definition 2. The equation

$$y_{n+1} = q_0 y_n + q_1 y_{n-1} + \dots + q_k y_{n-k}, \quad n = 0, 1, \dots \quad (10)$$

is called the linearized equation of Eq. (9) about the equilibrium point \bar{x} , and the equation

$$\lambda^{k+1} - q_0 \lambda^k - \dots - q_{k+1} \lambda - q_k = 0 \quad (11)$$

is called the characteristic equation of Eq. (10) about \bar{x} .

Let us consider the following theorem which will be needed for the stability results in this study.

Theorem 3. (The Linearized Stability Theorem) Assume that the function f is a continuously differentiable function defined on some open neighborhood of an equilibrium point \bar{x} . Then the following statements are true:

- (a) If all roots of Eq. (11) have absolute value less than one, then the equilibrium point \bar{x} of Eq. (9) is locally asymptotically stable.
- (b) If at least one root of Eq.(11) has absolute value greater than one, then the equilibrium point \bar{x} of Eq.(9) is unstable.

Furthermore, the equilibrium point \bar{x} of Eq. (9) is called *hyperbolic* if no root of Eq. (11) has absolute value equal to one. If there exists a root of Eq. (11) with absolute value equal to one, then the equilibrium \bar{x} is called *nonhyperbolic*.

An equilibrium point \bar{x} of Eq. (9) is called a *repeller* if all roots of Eq. (11) have absolute value greater than one.

3. MAIN RESULTS

In this section, we prove the main results by using the method of induction. Firstly, we obtain the form of the solutions of Eq. (2) and show that this solution is related to well-known adjusted Jacobsthal-Padovan numbers. Furthermore, we investigate the asymptotic behavior of the real equilibrium point of the Eq. (2). Then, we deal with the closed form of solutions and stability of the Eq. (3) in a similar way.

3.1 The First Equation

Theorem 4. Let $\{x_n\}_{n=-1}^{\infty}$ be a solution of the following difference equation

$$x_{n+1} = \frac{2}{x_n x_{n-1} - 1}, \quad n = 0, 1, \dots,$$

Then, for $n = 0, 1, 2, \dots$, the form of solutions $\{x_n\}_{n=-1}^{\infty}$ is given by

$$x_n = \frac{2^n K_{-n} x_{-1} x_0 + 2^n K_{-(n-1)} x_0 + 2^{n+1} K_{-(n+1)}}{2^n K_{-(n+1)} x_{-1} x_0 + 2^n K_{-n} x_0 + 2^{n+1} K_{-(n+2)}}, \quad (12)$$

where K_n is the n th adjusted Jacobsthal-Padovan number and the initial conditions $x_{-1}, x_0 \in \mathbb{R} - F$, with F is the forbidden set of Eq.(2) given by

$$F = \bigcup_{n=-1}^{\infty} \{(x_{-1}, x_0): 2^n K_{-(n+1)} x_{-1} x_0 + 2^n K_{-n} x_0 + 2^{n+1} K_{-(n+2)} = 0\}.$$

Proof. We prove by mathematical induction on k . For $k = 0$, from Eq. (2),

$$x_1 = \frac{2}{x_{-1} x_0 - 1} = \frac{2K_{-1} x_{-1} x_0 + 2K_0 x_0 + 2^2 K_{-2}}{2K_{-2} x_{-1} x_0 + 2K_{-1} x_0 + 2^2 K_{-3}}$$

Assume that the equality holds for $n = k$, that is

$$x_k = \frac{2^k K_{-k} x_{-1} x_0 + 2^k K_{-(k-1)} x_0 + 2^{k+1} K_{-(k+1)}}{2^k K_{-(k+1)} x_{-1} x_0 + 2^k K_{-k} x_0 + 2^{k+1} K_{-(k+2)}}. \quad (13)$$

Thus, we have to prove that it is true for $k + 1$. Taking into account (8) and (13), it follows that

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= \frac{2}{x_k x_{k-1} - 1} \\ &= \frac{2}{\left(\frac{2^k K_{-k} x_{-1} x_0 + 2^k K_{-(k-1)} x_0 + 2^{k+1} K_{-(k+1)}}{2^k K_{-(k+1)} x_{-1} x_0 + 2^k K_{-k} x_0 + 2^{k+1} K_{-(k+2)}} \right) \left(\frac{2^{k-1} K_{-(k-1)} x_{-1} x_0 + 2^{k-1} K_{-(k-2)} x_0 + 2^k K_{-k}}{2^{k-1} K_{-k} x_{-1} x_0 + 2^{k-1} K_{-(k-1)} x_0 + 2^k K_{-(k+1)}} \right) - 1} \\ &= \frac{2(x_0 K_{-k} + 2K_{-k-2} + x_0 K_{-k-1} x_{-1})}{-(x_0 K_{-k} - 2K_{-k} - x_0 K_{2-k} + 2K_{-k-2} + x_0 K_{-k-1} x_{-1} - x_0 K_{1-k} x_{-1})} \\ &= \frac{2K_{-(k+1)} x_{-1} x_0 + 2K_{-k} x_0 + 2^2 K_{-(k+2)}}{(-K_{-(k+1)} + K_{-(k-1)}) x_{-1} x_0 + (-K_{-k} + K_{-(k-2)}) x_0 + (-2K_{-(k+2)} + 2K_{-k})} \end{aligned}$$

Let us recall that

$$2K_{-n} = -K_{-(n-1)} + K_{-(n-3)}$$

and multiplying both the numerator and denominator by 2^k , we have

$$\frac{2^{k+1} K_{-(k+1)} x_{-1} x_0 + 2^{k+1} K_{-k} x_0 + 2^{k+2} K_{-(k+2)}}{2^{k+1} K_{-(k+2)} x_{-1} x_0 + 2^{k+1} K_{-(k+1)} x_0 + 2^{k+2} K_{-(k+3)}}$$

which ends the induction and the proof.

3.2 The Second Equation

Theorem 5. Let $\{x_n\}_{n=-1}^{\infty}$ be a solution of the following difference equation

$$x_{n+1} = \frac{-2}{x_n x_{n-1} - 1}, \quad n = 0, 1, \dots,$$

Then, for $n = 0, 1, 2, \dots$, the form of solutions $\{x_n\}_{n=-1}^{\infty}$ is given by

$$x_n = \frac{2^n K_{-n} x_{-1} x_0 - 2^n K_{-(n-1)} x_0 + 2^{n+1} K_{-(n+1)}}{-2^n K_{-(n+1)} x_{-1} x_0 + 2^n K_{-n} x_0 - 2^{n+1} K_{-(n+2)}}$$

where K_n is the n th adjusted Jacobsthal-Padovan number and the initial conditions $x_{-1}, x_0 \in \mathbb{R} - F$, with F is the forbidden set of Eq. (3) given by

$$F = \bigcup_{n=-1}^{\infty} \{(x_{-1}, x_0) : -2^n K_{-(n+1)} x_{-1} x_0 + 2^n K_{-n} x_0 - 2^{n+1} K_{-(n+2)} = 0\}.$$

Proof. We start to prove the theorem, by using the mathematical induction as in Theorem 4. For $k = 0$, from Eq. (3), we have

$$x_1 = \frac{-2}{x_0 x_{-1} - 1} = \frac{2K_{-1} x_{-1} x_0 - 2K_0 x_0 + 2^2 K_{-2}}{-2K_{-2} x_{-1} x_0 + 2K_{-1} x_0 - 2^2 K_{-3}}$$

Now suppose that our assumption holds for all $1 \leq n \leq k$. That is,

$$x_k = \frac{2^k K_{-k} x_{-1} x_0 - 2^k K_{-(k-1)} x_0 + 2^{k+1} K_{-(k+1)}}{-2^k K_{-(k+1)} x_{-1} x_0 + 2^k K_{-k} x_0 - 2^{k+1} K_{-(k+2)}}. \quad (15)$$

Hence, we must prove that it is true for $k + 1$. Taking into account (8) and (15), as in Theorem 4, similarly, we have

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= \frac{-2}{x_k x_{k-1} - 1} \\ &= \frac{-2}{\left(\frac{2^k K_{-k} x_{-1} x_0 - 2^k K_{-(k-1)} x_0 + 2^{k+1} K_{-(k+1)}}{-2^k K_{-(k+1)} x_{-1} x_0 + 2^k K_{-k} x_0 - 2^{k+1} K_{-(k+2)}} \right) \left(\frac{2^{k-1} K_{-(k-1)} x_{-1} x_0 - 2^{k-1} K_{-(k-2)} x_0 + 2^k K_{-k}}{-2^{k-1} K_{-k} x_{-1} x_0 + 2^{k-1} K_{-(k-1)} x_0 - 2^k K_{-(k+1)}} \right) - 1} \\ &= \frac{2^{k+1} K_{-(k+1)} x_{-1} x_0 - 2^{k+1} K_{-k} x_0 + 2^{k+2} K_{-(k+2)}}{-2^{k+1} K_{-(k+2)} x_{-1} x_0 + 2^{k+1} K_{-(k+1)} x_0 - 2^{k+2} K_{-(k+3)}} \end{aligned}$$

and the proof is complete.

3.3 Stability of Eq. (2) and Eq. (3)

In this section, we deal with the asymptotic behavior of the equilibrium point of Eq. (2) and Eq. (3), respectively. The real equilibrium point of Eq. (2) is the solution of the following equation

$$\bar{x} = \frac{2}{\bar{x}(\bar{x}) - 1}$$

After simplification, one can easily obtain the unique real equilibrium point of Eq. (2) is $\bar{x} = \alpha$, where α is given with Eq. (7) and numerically as $\alpha \approx 1.5214$.

Now, we show that the equilibrium point of Eq. (2) is repeller.

Theorem 6. The unique real equilibrium point of Eq. (2) is repeller.

Proof. Let I be an interval of real numbers and

$$f: I^2 \rightarrow I$$

be a continuous function defined by

$$f(x_n, x_{n-1}) = \frac{2}{x_n x_{n-1} - 1}$$

Therefore, it follows that

$$\frac{\partial f(x_n, x_{n-1})}{\partial x_n} = \frac{-2x_{n-1}}{(x_n x_{n-1} - 1)^2},$$

$$\frac{\partial f(x_n, x_{n-1})}{\partial x_{n-1}} = \frac{-2x_n}{(x_n x_{n-1} - 1)^2}.$$

Then,

$$\frac{\partial f(\bar{x}, \bar{x})}{\partial x_n} = \frac{-2\bar{x}}{(\bar{x}\bar{x} - 1)^2}$$

$$= \frac{-2\bar{x}}{(\bar{x}^2 - 1)^2}$$

$$= \frac{-2\bar{x}}{\left(\frac{2}{\bar{x}}\right)^2}$$

$$= -\frac{\bar{x}^3}{2}$$

$$= -\frac{\alpha^3}{2}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial f(\bar{x}, \bar{x})}{\partial x_{n-1}} &= \frac{-2\bar{x}}{(\bar{x}^2 - 1)^2} \\ &= \frac{-2\bar{x}}{\left(\frac{2}{\bar{x}}\right)^2}\end{aligned}$$

$$= -\frac{\bar{x}^3}{2}$$

$$= -\frac{\alpha^3}{2}$$

and the linearized equation of Eq. (2) about $\bar{x} = \alpha$ is

$$y_{n+1} = \left(-\frac{\alpha^3}{2}\right)y_n + \left(-\frac{\alpha^3}{2}\right)y_{n-1}$$

or equivalently

$$y_{n+1} + \frac{\alpha^3}{2}y_n + \frac{\alpha^3}{2}y_{n-1} = 0.$$

Therefore, the corresponding characteristic equation is

$$\lambda^2 + \frac{\alpha^3}{2}\lambda + \frac{\alpha^3}{2} = 0.$$

Then, it is clearly seen that

$$\lambda_{1,2} = -\frac{1}{4}\alpha^3 \pm \frac{1}{4}\sqrt{\alpha^3(\alpha^3 - 8)}$$

and we have

$$|\lambda_1| = |\lambda_2| \approx 1.32.69 > 1.$$

So, from Theorem (3), the equilibrium point \bar{x} is repeller point and this completes the proof.

Now, let us consider the difference equation Eq. (3) and show that the equilibrium point of Eq. (3) is repeller.

The real equilibrium point of Eq. (3) is the solutions of the following equation

$$\bar{x} = \frac{-2}{\bar{x}(\bar{x}) - 1}$$

After simplification, one can easily obtain the equilibrium point of Eq. (3) is $\bar{x} = -\alpha$, and numerically as -1.5214 .

Theorem 7. The unique real equilibrium point of Eq. (3) is repeller.

Proof. Let I be an interval of real numbers and

$$f: I^2 \rightarrow I$$

be a continuous function defined by

$$f(x_n, x_{n-1}) = \frac{-2}{x_n x_{n-1} - 1}$$

Therefore, it follows that

$$\frac{\partial f(x_n, x_{n-1})}{\partial x_n} = \frac{2x_{n-1}}{(x_n x_{n-1} - 1)^2},$$

$$\frac{\partial f(x_n, x_{n-1})}{\partial x_{n-1}} = \frac{2x_n}{(x_n x_{n-1} - 1)^2}.$$

Then

$$\frac{\partial f(\bar{x}, \bar{x})}{\partial x_n} = \frac{2\bar{x}}{(\bar{x}\bar{x} - 1)^2}$$

$$= \frac{2\bar{x}}{(\bar{x}^2 - 1)^2}$$

$$= \frac{2\bar{x}}{\left(\frac{2}{\bar{x}}\right)^2}$$

$$= \frac{\alpha^3}{2}$$

$$\frac{\partial f(\bar{x}, \bar{x})}{\partial x_{n-1}} = \frac{2\bar{x}}{(\bar{x}^2 - 1)^2}$$

$$= \frac{2\bar{x}}{\left(\frac{2}{\bar{x}}\right)^2}$$

$$= \frac{\alpha^3}{2}$$

and the linearized equation of Eq. (3) about \bar{x} is

$$y_{n+1} = \left(\frac{\alpha^3}{2}\right)y_n + \left(\frac{\alpha^3}{2}\right)y_{n-1}$$

or equivalently

$$y_{n+1} - \frac{\alpha^3}{2}y_n - \frac{\alpha^3}{2}y_{n-1} = 0$$

Therefore, the corresponding characteristic equation is

$$\lambda^2 - \frac{\alpha^3}{2}\lambda - \frac{\alpha^3}{2} = 0.$$

Then, it is clearly seen that

$$\lambda_{1,2} = \frac{1}{4}\alpha^3 \pm \frac{1}{4}\sqrt{\alpha^3(\alpha^3 + 8)}$$

and we have

$$|\lambda_1| = |\lambda_2| \approx 1,3269 > 1.$$

So, from Theorem (3), the equilibrium point \bar{x} is repeller point and this completes the proof.

4. CONCLUSION

In recent years, there has been a great interest in studying some special rational difference equations. Because some of the solution forms of these equations are even expressible in terms of well-known integer sequences. We find a relation between the exact solution of Eq.(2), Eq.(3) and the adjusted Jacobsthal-Padovan sequence.

Moreover, one can obtain the form of the solutions of the following difference equations

$$x_{n+1} = \frac{\pm 2}{x_n x_{n-1} + 1}, \quad n = 0, 1, \dots,$$

and these specific forms also contain some special sequences A089977 and A122946 numbers, for more information about these sequences, see [16]. Furthermore, the unique real equilibrium points of these equations are locally asymptotically stable.

5. REFERENCES

- [1] Deveci, Ö., The Pell-Padovan sequences and the Jacobsthal-Padovan sequences in finite groups, Util. Math., 98, 257-270, 2015.
- [2] Deveci, Ö., The Jacobsthal-Padovan p-sequences and their applications, Proc. Rom. Acad. Ser. A, 20(3), 215-224, 2019.
- [3] Göcen, M., Cebeci, A., On the periodic solutions of some systems of higher order difference equation, Rocky Mt. J. Math., 48(3), 845-858, 2018.
- [4] Göcen, M., Güneysu, M., The global attractivity of some rational difference equations, J. Comput. Anal. Appl., 25(7), 1233-1243, 2018.
- [5] Haddad N., Tonafek, N., Rabago, J. F. T., Solution form of a higher-order system of difference equations and dynamical behavior of its special case, Math. Methods Appl. Sci., 40(10), 3599-3607, 2017.
- [6] Halim, Y., Bayram, M., On the solutions of a higher-order difference equation in terms of generalized Fibonacci sequences. Mathematical Methods in the Applied Sciences, 39, 2974-2982, 2016.
- [7] Halim, Y., A System of Difference Equations with Solutions Associated to Fibonacci Numbers. International Journal of Difference Equations, 11(1), 65-77, 2016.



- [8] Halim, Y., Rabago, J. F. T., On the Some Solvable Systems of Difference Equations with Solutions Associated to Fibonacci numbers. *Electronic Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 5(1), 166-178, 2017.
- [9] Halim, Y., On the Solutions of a Second-Order Difference Equation in terms of Generalized Padovan Sequences. *Mathematica Slovaca*, 68(3), 625-638, 2018.
- [10] Okumuş, İ., Soykan, Y., On the Solutions of Four Rational Defference Equations Associated to Tribonacci Numbers, *preprints.org*, doi. 10.20944/preprints201906.0266.v1., 2019.
- [11] Kara, M., Yazlik, Y., On a Solvabe Three-Dimensional System of Difference Equations, *Filomat*, 34(4), 1167-1186, 2020.
- [12] Khelifa, A., Halim, Y., Bouchair A., Berkal M., On a system of three difference equations of higher order solved in terms of Lucas and Fibonacci Numbers. *Math. Slovaca*, 70(3), 641-656, 2020.
- [13] Khelifa, A., Halim Y., General solutions to system of difference equations and some of their representations. *J. Appl. Math. Comput.*, 67(3), 439-453, 2021.
- [14] Kulenovic M. R. S., Ladas, G., *Dynamic of second order rational difference equations: With Open Problems and Conjectures*, Chapman Hall/ CRC, Boca Raton, FL, 2002.
- [15] R. Abo-Zeid, Behavior of solutions of a second order rational difference equation, *Math. Morav.*, 23, 11-25, 2019.
- [16] N. J. A. Sloane, The on-line encyclopedia of integer sequences, <http://oeis.org/>.
- [17] Soykan, Y., A Study on Generalized Jacobsthal-Padovan Numbers, *Earthline Journal of Mathematical Scieences*, 4(2), 227-251, 2020.
- [18] Soykan, Y., A Study On Generalized (r; s; t)- Numbers. *MathLAB Journal*, 7, 101-129, 2020.
- [19] Taşdemir, E. Global dynamics of a higher order difference equation with a quadratic term. *J. Appl. Math. Comput.*, 67(1-2), 423-437, 2021.
- [20] Yacine, H., Form and periodicity of solutions of some system of higherorder difference equation, *Math. Sci. Lett.*, 5(1), 79-84, 2016.
- [21] Yazlik, Y., Tollu, D. T., Taskara, N., On the Solutions of Difference Equation System with Padovan Numbers. *Applied Mathematics*, 4, 15-20. 2013.

SOLAR IRRADIANCE PREDICTION USING BAGGING DECISION TREE-BASED MACHINE LEARNING

Hayrettin TOYLAN*¹ 

¹*Mechatronics Engineering Department, Faculty of Technology, University of Kırklareli, Türkiye*

Abstract

Solar energy is one of the most widely used renewable energy sources to generate electricity. However, the amount of solar radiation reaching the earth's surface is variable, creating uncertainty in the output of electrical power generation systems that use this source. Therefore, solar irradiance prediction becomes a critical process in planning. This study presents a short-term prediction of solar irradiance using bagging decision tree-based machine learning. As the inputs of the proposed method, air temperature, hour, day, month, and previous solar irradiance values were determined. The performance of the proposed method is tested on the measured data. The R^2 and RMSE values are 0.87 and 91.282, respectively, according to the results obtained. As a result, it has been revealed that the varying solar irradiance can be predicted with acceptable differences with this method.

Keywords: Renewable energy, Machine learning, Bagging decision tree, Solar irradiance prediction

TORBALAMA KARAR AĞACI TABANLI MAKİNE ÖĞRENİMİ KULLANARAK GÜNEŞ IŞINIMI TAHMİNİ

Öz

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş ışınımının dünya yüzeyine düşen miktarının değişken olması bu kaynağı kullanan özellikle elektrik güç üretim sistemlerinin çıktısında belirsizlik yaratır. Bu nedenle güneş ışınımı tahmini planlamada çok önemli bir süreç haline gelmektedir. Bu makale, torbalama karar ağacı tabanlı makine öğrenimini kullanarak güneş ışınımının kısa vadeli bir tahminini elde etmeyi amaçlamaktadır. Önerilen yöntemin girdileri olarak hava sıcaklığı, saat, gün, ay ve önceki güneş ışınım değeri belirlenmiştir. Yöntemin performansı ölçülen veriler üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre R^2 ve RMSE değeri sırasıyla 0.87 ve 91.282 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak bu yöntem ile değişen güneş ışınımının kabul edilebilir farklılıklarla tahmin edilebilir olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, Makine öğrenmesi, Torbalama karar ağacı, Güneş ışınımı tahmini

*Sorumlu Yazar: Hayrettin TOYLAN, hayrettintoylan@klu.edu.tr

INTRODUCTION

Solar energy is one of the most important renewable energy sources when considering energy production costs. With the developing technology, these costs may decrease even further. Therefore, solar energy is critical in meeting the increasing energy demand every year [1]. The fact that global solar radiation varies greatly according to location and seasons creates the need for solar radiation prediction for the planning of energy to be obtained from this source [2]. This short-term forecast plays an important role in determining the power to be demanded from backup power plants to ensure the voltage and frequency stability of the power grid [3, 4].

The complexity of solar radiation prediction as an important and nonlinear problem motivates many researchers to come up with solutions to this issue. The forecasted solar radiation can be divided into three according to the time. Short-term forecast is the forecast for from one minute to several hours; medium-term forecast is one week to one year and long-term forecast is a forecast for more than a year. Each forecast range used serves a different task [5].

Corea et al. [6] developed a method for predicting solar radiation at variable time intervals of 1 to 6 hours of solar radiation using an artificial neural network (ANN) algorithm. As an algorithm input, temperature, humidity, pressure, wind and other forecasts obtained from the neighboring station were used. The results of the study show that they were able to predict short-term global solar radiation with error rates of less than 20% nRMSE. Aljanad et al. [7] forecasted solar radiation at intervals of several minutes or several seconds with artificial neural networks optimized for parameters (number of hidden layers, number of neurons, and learning rate) by particle swarm method. As method inputs, relative humidity, air pressure, aperture index, and average temperature were used. In the 5 seconds, they found RMSE at 1.7078, RMSE at 0.7537, MSE at 0.0292, and MAPE at 31.4348%. Feng et al. [8] compared the success of machine learning models and empirical models for global solar radiation estimation using only air temperature as input. In general, the hybrid mind evolutionary algorithm and artificial neural network model they proposed provided the best predictions. In another study, a convolutional neural network (CNN) and a bi-directional short-term memory (BiLSTM) based hybrid deep learning (DL) model were proposed for medium-term solar radiation estimation. The R^2 value of this model was found to be 0.90 [9]. Long-term solar radiation forecasting comes to the fore in grid planning and design. Aslam et al.

compared different deep learning approaches to predict hourly and daily solar radiation from a year ago, and found that the closed unit GPU approaches with long short-term memory successful. In the proposed methods, past solar radiation data and open-sky spherical horizontal radiation (GHI) were used as inputs [10].

The main objective of this study is to investigate the capability of decision trees, which is one of the controlled machine learning methods of solar radiation prediction based on minimum meteorological factors. In this method, the deviation in simple tree structures and the variance in complex tree structures are the negative side of the method. In order to prevent these negative situations, two popular community learning methods are recommended: boosting and bagging [11]. In this study, decision tree regression was examined by the bagging method that uses air temperature, clock, day, month, and previous solar radiation values as inputs for forecasting from an hour in advance. The forecasted determination coefficient of the model (R^2) and mean square root (RMSE) were evaluated based on error. The rest of this article is drafted as follows: In Chapter 2 titled "Material and Method", field of study, data and method are briefly presented. Chapter 3 titled "Results and discussion" presents the results of the bagged tree algorithm and their comparisons. Chapter 4 "Conclusion" is described in this section of the study.

2. Material and Method

2.1. Data

Hourly data obtained between 2018 and 2019 were used from the modular meteorological data station established at Kayalı campus of Kırklareli University in northwest Turkey. 8760x2 data, including air temperature and previous solar radiation values, were used during the training and testing phase. At the station's location, the average air temperature was 14.11 °C and the average solar radiation was found 157.88 W/m².

2.2. Decision tree regression

The decision tree is an important machine learning algorithm used in classification and estimation. In this study, decision tree regression was used because our dependent variable is constantly variable. The decision tree is based on a hierarchical decision scheme, which is likened to a tree with node structures. The tree consists of a root node that contains all the data, a series of internal



nodes, and leaf nodes. Each node in the decision tree makes a binary decision that separates one class from another. This is usually done by moving the leaf down the tree until the node is reached [12].

The fact that decision trees are efficient, insensitive to missing values, and the decision tree is created once can be considered its advances [13]. However, with the deviation in tree structures, variance emerges as the negative side of the method. In order to eliminate this disadvantage, decision tree methods integrated with community methods are also preferred. The community method suggests a new tree structure created by combining multiple tree structures to suppress their weaknesses [11].

2.2.1 Bagging Trees

In Breiman [14] study, it presents that the data set selected in the training of a single decision tree will affect the success. Accordingly, if a similar data set is created with resampling and regression trees are grown without pruning and averaging, the variance component of the output error is reduced while also eliminating the problem of over-compatibility in a single tree [14, 15, 16]. The flowchart of the Bagging Trees is given in Figure 1.

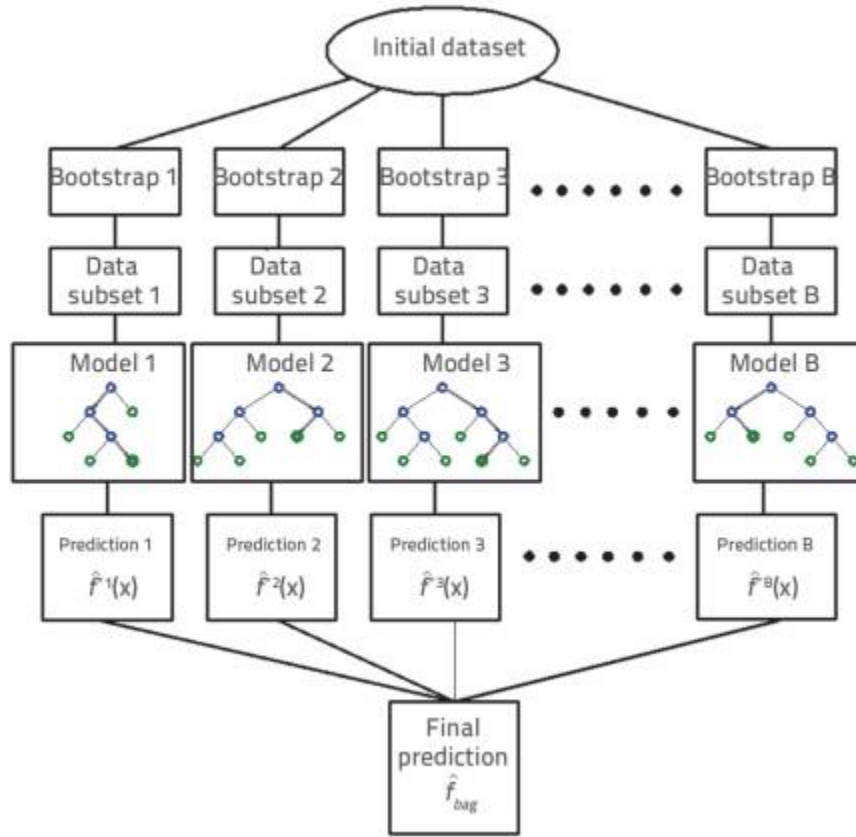


Figure 1. Flowchart of the Bagging Trees [17]

The first thing about bagging trees is to create a new training dataset the same size as the original data with the resampling method (Bootstrap) from the original training dataset. Then, each network created is trained separately in new training sets. In this study, 30 trees were used in bagging trees models. Finally, the average of all forecasts is calculated according to the Eq. (1) [18].

$$\hat{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_i(X) \tag{1}$$

f_i represents each tree model. Bagging tree algorithm steps are given below [18]:

Algorithm 1: Bagging trees approach

Input: Training and testing datasets, D **Output:** Prediction output**for** $i=1, \dots, N$ **in** *TrainingDataset* **do**

- Take a bootstrapped replica D_i , from D
- Call Decision Tree with D_i and receive prediction \hat{y}_i
- Add \hat{y}_i to the ensemble \hat{Y}
- Compute the final prediction: $\hat{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{y}_i$.

end $Prediction_{BaggedTrees} \leftarrow \hat{y}$;**return** $Prediction_{BaggedTrees}$

RESULTS and DISCUSSION

This section details the results of solar radiation prediction obtained by community tree-based regression with bagging method from machine learning methods. This study was modelled using Matlab software. Input parameters used in this regression method's training and testing phase are air temperature, pre-solar radiation value, time, day, and month information. The dependent variable of the method is determined as solar radiation. There are 8760 pieces collected hourly throughout the year from each data. No attribute selection algorithm has been applied to these attributes used in decision tree training. The features of the method used in the study are given in Table 1.

Table 1. Model properties

Model	Minimum number of leaf's learning rate	Number of learners	
Bagging Tree	8	30	1

The view of a part of our decision tree with five input features, which we obtained by the bagging method, is given in Figure 2.

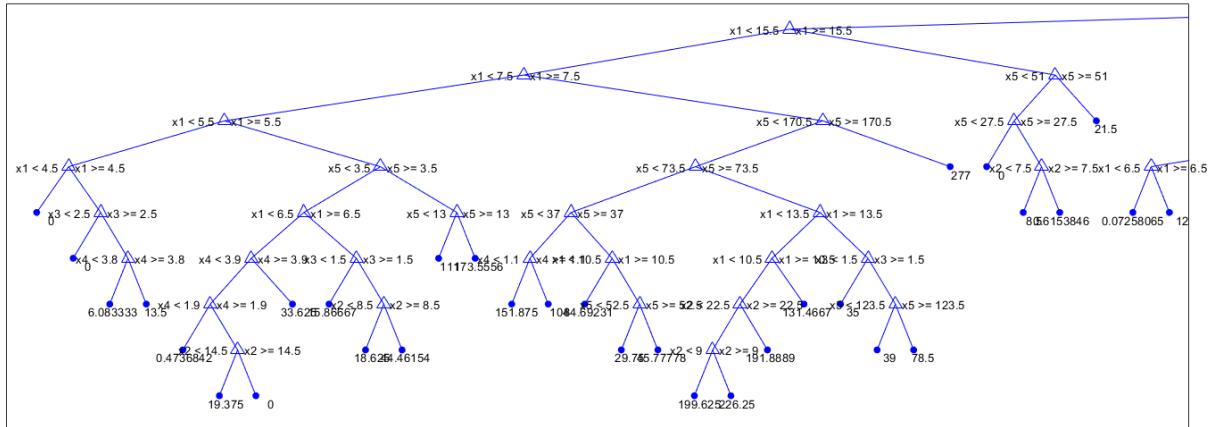


Figure 2. Part of the Bagging Decision Tree

The correct classification percentage (R^2) and the square root of the mean squared error (RMSE) are calculated to evaluate the forecast performance of the proposed method. These are some of the most commonly used methods to check the quality of the forecast. These are calculated as follows:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2} \tag{2}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2}{\sum_{t=1}^n (y_t - \text{mean}(Y))^2} \tag{3}$$

Here, y_t is the measured values, \hat{y}_t are the forecasted values corresponding to the regression model, and n is the number of observations. The proposed model was compared with the traditional decision tree with a minimum leaf size of four (4). The R^2 and RMSE values obtained from the five (5) fold cross-validation are given in Table 2.

Table 2. Model success based on test data

Model	R^2	RMSE
Bagging tree	0.87	91.282
Decision tree	0.83	106.11

The scatter plot is shown in Figure 3 to show the measured clearly and predicted solar radiation of the proposed model.

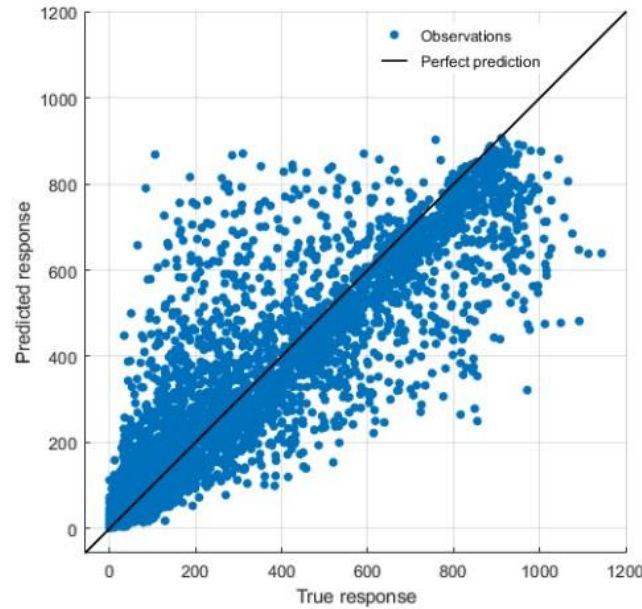


Figure 3. Scatter plot of the predicted response

In Figure 3, it can be seen that the bagging trees predict the solar radiation at an acceptably good level. Finally, in Figure 4, the 24-hour data on 16.03.2019 with the proposed method and compared with the measured values.

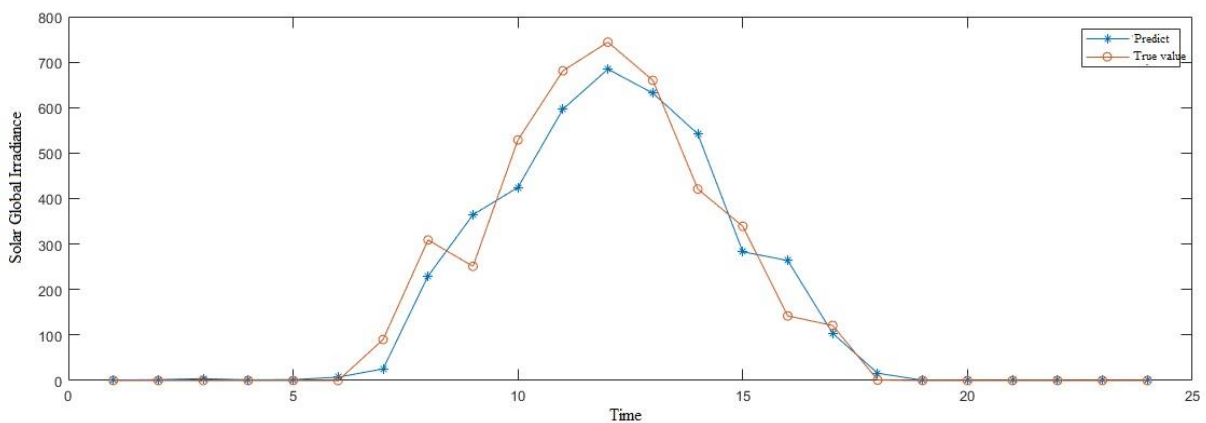


Figure 4. Comparison of true values and proposed method using the 24-hour datasets.

Thanks to the proposed method, it has been seen from the results that the solar radiation prediction is more successful than the traditional decision tree method. Furthermore, it has also been observed that the results obtained are at an acceptable level.

CONCLUSION

In this study, a bagging-based decision tree method is presented to realize the short-term prediction of solar radiation. Air temperature, previous solar radiation, time, day, and month information were selected as method inputs. R^2 and RMSE metrics were used to evaluate the performance of the proposed method. In addition, the proposed model is compared with a traditional decision tree prediction method. The results revealed that the use of bagged trees helps both reduce variance error and improve forecast quality. Future studies are planned to develop community learning methods using different input attributes to improve solar radiation forecasting performance.

REFERENCES

- [1] Akarşlan, E., & Hocaoglu, F. O. A novel method based on similarity for hourly solar irradiance forecasting. *Renewable Energy*, 112, 337-346, 2017.
- [2] Kamadinata, J. O., Ken, T. L., & Suwa, T. Sky image-based solar irradiance prediction methodologies using artificial neural networks. *Renewable Energy*, 134, 837-845, 2019.
- [3] Dong, N., Chang, J. F., Wu, A. G., & Gao, Z. K. A novel convolutional neural network framework based solar irradiance prediction method. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 114, 105411, 2020.
- [4] Tasnin, W., & Saikia, L. C. Deregulated AGC of multi-area system incorporating dish-Stirling solar thermal and geothermal power plants using fractional order cascade controller. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 101, 60-74, 2018.
- [5] Almonacid, F., Pérez-Higueras, P. J., Fernández, E. F., & Hontoria, L. A methodology based on dynamic artificial neural network for short-term forecasting of the power output of a PV generator. *Energy Conversion and Management*, 85, 389-398, 2014
- [6] Gutierrez-Corea, F. V., Manso-Callejo, M. A., Moreno-Regidor, M. P., & Manrique-Sancho, M. T. Forecasting short-term solar irradiance based on artificial neural networks and data from neighboring meteorological stations. *Solar Energy*, 134, 119-131, 2016.



- [7] Aljanad, A., Tan, N. M., Agelidis, V. G., & Shareef, H. Neural network approach for global solar irradiance prediction at extremely short-time-intervals using particle swarm optimization algorithm. *Energies*, 14(4), 1213, 2021.
- [8] Feng, Y., Gong, D., Zhang, Q., Jiang, S., Zhao, L., & Cui, N. Evaluation of temperature-based machine learning and empirical models for predicting daily global solar radiation. *Energy Conversion and Management*, 198, 111780, 2019.
- [9] Rai, A., Shrivastava, A., & Jana, K. C. A CNN-BiLSTM based deep learning model for mid-term solar radiation prediction. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 31(9), e12664, 2021.
- [10] Aslam, M., Lee, J. M., Kim, H. S., Lee, S. J., & Hong, S. Deep learning models for long-term solar radiation forecasting considering microgrid installation: A comparative study. *Energies*, 13(1), 147, 2019.
- [11] Lee, J., Wang, W., Harrou, F., & Sun, Y. Reliable solar irradiance prediction using ensemble learning-based models: A comparative study. *Energy Conversion and Management*, 208, 112582, 2020.
- [12] Xu, M., Watanachaturaporn, P., Varshney, P. K., & Arora, M. K. Decision tree regression for soft classification of remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 97(3), 322-336, 2005.
- [13] Lu, H., & Ma, X. Hybrid decision tree-based machine learning models for short-term water quality prediction. *Chemosphere*, 249, 126169, 2020.
- [14] Breiman, L. Bagging predictors. *Machine learning*, 24(2), 123-140, 1996.
- [15] Buhlmann P, Yu B. Analyzing bagging. *Ann Stat* 30:927–61, 2002.
- [16] Prasad, A. M., Iverson, L. R., & Liaw, A. Newer classification and regression tree techniques: bagging and random forests for ecological prediction. *Ecosystems*, 9(2), 181-199, 2006.
- [17] Kovačević, M., Ivanišević, N., Petronijević, P., & Despotović, V. Construction cost estimation of reinforced and prestressed concrete bridges using machine learning. *Građevinar*, 73(01.), 1-13, 2021.
- [18] Harrou, F., Saidi, A., & Sun, Y. Wind power prediction using bootstrap aggregating trees approach to enabling sustainable wind power integration in a smart grid. *Energy Conversion and Management*, 201, 112077, 2019.

BİTKİ PATOJENİ *Alternaria tenuissima*'ya KARŞI BAZI BİTKİ EKSTRAKTLARININ *IN VITRO* ETKİNLİĞİ

Seda BALKAN^{1*}, Bilal BALKAN¹

¹Department of Molecular Biology and Genetic, Science and Art Faculty, Kırklareli University, Kırklareli, Türkiye

Öz

Fırsatçı bir bitki patojeni olan *Alternaria tenuissima* gıda ürünlerinin kalitesini ve miktarını düşürmektedir. Bu çalışmada Lamiaceae, Asteraceae, Caprifoliaceae, Papaveraceae familyalarına ait Kırklareli'nde (Türkiye) doğal olarak yetişen endemik olmayan 16 bitki türü *A. tenuissima*'ya karşı *in vitro* antifungal aktiviteleri açısından ilk kez tarandı. Lamiaceae familyasına ait *Origanum vulgare* ve *Thymus longicaulis*, *A. tenuissima*'nın misel büyümesini sırası ile %100 ve %82.87'lik oranlarda inhibe etti. *A. tenuissima*'ya karşı en düşük MİK değerine (250 µg/mL) *O. vulgare* sahipti. SEM analizinde *A. tenuissima*'nın hifal yapısı üzerine *O. vulgare* ve *T. longicaulis*'in çökertme, yassılaştırma, kırışık hücre yüzeyli hücreler ve lizis etkileri gözlemlendi. Sonuç olarak, *A. tenuissima*'nın neden olduğu enfeksiyonları önlemek için *O. vulgare* ve *T. longicaulis* ekstreleri doğal bir antifungal madde olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: *Alternaria tenuissima*, bitki patojeni, antifungal, bitki ekstraktı

IN VITRO EFFICIENCY OF CERTAIN PLANT EXTRACTS AGAINST THE PLANT PATHOGEN *Alternaria tenuissima*

Abstract

The opportunistic plant pathogen *Alternaria tenuissima* reduces the quality and quantity of food products. In this study, for the first time, 16 non-endemic plant species belonging to Lamiaceae, Asteraceae, Caprifoliaceae, Papaveraceae families that grow naturally in Kırklareli (Turkey) were screened for their *in vitro* antifungal activities against *A. tenuissima*. *Origanum vulgare* and *Thymus longicaulis* belonging to Lamiaceae family inhibited mycelial growth of *A. tenuissima* by 100% and 82.87%, respectively. *O. vulgare* had the lowest MIC value (250 µg/mL) against *A. tenuissima*. In SEM analysis, collapsing, flattening, rough cells and lysis effects of *O. vulgare* and *T. longicaulis* on hyphal structure of *A. tenuissima* were observed. As a result, in order to avoid infections caused by *A. tenuissima*, extracts of *O. vulgare* and *T. longicaulis* can be used as a natural antifungal agent.

Keywords: *Alternaria tenuissima*, plant pathogen, antifungal, plant extract

*Sorumlu Yazar: Seda BALKAN, balkan.seda@hotmail.com

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun en büyük geçim kaynaklarından biri şüphesiz tarımdır. Tarım ürünlerinde bitki patojenlerinin neden olduğu hasar, yetiştiricilerin gelirinde önemli azalmalara neden olmakla birlikte bitki hastalıkları yüzünden gıda güvenliği tehdit edilmekte ürünlerin kalitesi ve miktarı düşmektedir.

Alternaria tenuissima saprofitik bir küf türü ve fırsatçı bir bitki patojenidir. *A. tenuissima*, birçok ülkede çeşitli çevresel koşullarla yayılan farklı bitki konaklarında yaygın olan kozmopolit bir türdür [1]. Genellikle yaban mersini [2], domates, asma, çilek ve birkaç tahıl türü üzerinde kolonize olurlar [3-4]. Ayrıca *A. tenuissima*'nın dut ağaçlarının budanmış dallarında meydana getirdiği enfeksiyonlar yaprakların kalitatif ve kantitatif verimini dolaylı olarak etkilediği rapor edilmiştir [5]. *A. tenuissima* normalde bitkilerin fırsatçı bir patojeni olmasının yanı sıra, bağışıklığı baskılanmış kişilerde nadir görülen cilt enfeksiyonlarına neden olduğu da bildirilmiştir [6-7].

Bitkilerde küflerin neden olduğu hastalıkları kontrol etmek için kullanılan en yaygın yöntem, sentetik fungusit uygulamasıdır. Bu amaç için pek çok sentetik fungusit geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Fakat bu fungusitlerin çoğunun kullanımı; yüksek ve akut toksisite, uzun degradasyon periyodları, gıda zincirindeki konsantrasyonları, küçük miktarlarının sürekli alınımı ile kronik zehirlenme tehlikeleri gibi istenilmeyen yan etkileri yüzünden sınırlandırılmıştır [8]. Sentetik kimyasallara karşı küflerin direnç kazanması fungusitlerin etkili kullanımlarında sorunlar oluşturmaktadır [9]. Bu sorunlar yeni ürün koruma metotlarını ve seçici kontrol alternatifleri ihtiyacını ortaya çıkarmıştır [10].

Bitkilerin tipik özelliği nitrojenden bağımsız ve nitrojen içerikli bileşikleri içeren ikincil metabolitleri üretmesidir. Pek çok durumda bu ikincil metabolizma ürünleri mikroorganizmalar, böcekler ve otoburlar tarafından yapılan saldırılara karşı bitki savunma mekanizması olarak etki gösterirler. Yüksek yapılı bitkiler tarafından üretilen bu ürünler nispeten geniş spektrumlu, biyolojik olarak etkili, ekonomik, muhtemelen insanlar ve çevre için güvenilir olduğundan dolayı tarım kimyasallarına alternatif olarak kullanılabilirler [11].

Bu çalışmada Lamiaceae familyasına ait 8, Asteraceae familyasına ait 6, Caprifoliaceae familyasına ait 1, Papaveraceae familyasına ait 1, toplam 16 bitki türü *A. tenuissima*'ya karşı *in*

vitro etkinliği açısından değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Mikroorganizma

Alternaria tenuissima Trakya Üniversitesi Arda Meslek Yüksekokulu mikrofungus koleksiyonundan temin edilmiştir. Saf kültür, canlılığı devam ettirmek üzere yatık agarlı Patates Dekstroz Agar (PDA) besiyerlerinde +4°C'de muhafaza edilerek ayda bir pasajlanmıştır.

2.2. Bitki ekstraktlarının hazırlanması

Çalışma materyali olarak kullanılan bitki örnekleri Kırklareli'nin (Türkiye) farklı lokasyonlarından (Merkez, Dereköy çıkışı, Yörükbayır-Armağan arası, Armağan köyü-baraj civarı) toplanmıştır. Örneklerin tamamı Dr. Hüseyin ERSOY tarafından teşhis edilmiş ve Trakya Üniversitesi, Fen Fakültesi herbaryum laboratuvarında depolanmıştır. Lamiaceae, Asteraceae, Caprifoliaceae, Papaveraceae familyalarına ait 16 bitki türüne ait örneklerin gövde ve çiçek kısımları direk güneş ışığı almayacak bir alanda gölgede kurutuldu. Kurutulan örnekler laboratuvar tipi öğütücü (Grinding mill, A11 basic) ile öğütülerek toz haline getirildi ve kullanıma kadar +4°C'de muhafaza edildi. Bitki tozlarının 10 gr'ı 10 dk. süre ile çalkalanarak kaynayan distile suyun 100 mL'sinde demleme ile ekstrakte edildi. Whatman No 1 filtre kağıdı ile filtre edilen sulu ekstraktlardan elde edilen filtrat, liyofilize edildi ve kullanıma kadar -20°C'de saklandı. Deneylerde kullanılan sulu bitki ekstraktlarının çeşitli konsantrasyonları, liyofilize ekstraktların uygun ağırlığının distile suda çözülmesi ile hazırlandı [12].

2.3. *Alternaria tenuissima*'nın misel büyümesi üzerine bitki tozlarının *in vitro* etkisi

Bitki tozlarının antifungal aktivitesi agardilüsyon metodu ile test edildi. 10 gr bitki tozu 40°C' de eritilmiş 100 mL PDA'ya eklendi. Oluşan süspansiyon 10 dk. karıştırılarak 121°C'de 15 dk. otoklavlandı. Daha sonra steril 4 katlı gazlı bezden süzülerek 9 cm çapındaki petri plaklarına 15 mL olacak şekilde döküldü [13]. Bitki tozu içermeyen PDA besiyeri kontrol olarak kullanıldı. Soğuduktan sonra petri plaklarına, PDA besiyerinde aktif olarak büyüyen bir haftalık kültürün aktif büyüme ucundan steril mantar delici ile alınan 7 mm çapındaki küf içeren diskler hemen

petri plaklarının merkezine konularak aseptik olarak aşılandı. 25°C'de 5 gün inkübe edildi. Misel büyüme inhibisyonu (MBİ) = $[(dc-dt)/dc] \times 100$ formülünden hesaplandı (dc; kontrolün misel büyüme çapını, dt; bitki tozlu besiyerinin çapını ifade etmektedir) [10]. Tüm deneyler 3 kez tekrarlandı ve sonuçların ortalaması standart sapmalı olarak belirtildi. Antifungal aktivitelere göre %80 üzeri MBİ gösteren bitkilerin ekstraktları ile diğer çalışmalara devam edildi.

2.4. Bitki ekstraktlarının Minimum İnhibitör Konsantrasyon (MİK) larının belirlenmesi

A. tenuissima küfüne karşı sulu bitki ekstraktının antifungal aktivitesini belirlemek için mikrodilüsyon testleri 96 kuyucuklu plaklarda gerçekleştirildi. Aşı süspansiyonları, PDA besiyerindeki 7 günlük *A. tenuissima* kültürünün yüzeyinden % 0,1 (v/v) Tween 80 içeren serum fizyolojik (% 0.85) ile alınarak hazırlandı. Ağır partiküllerin çökmesi için 5 dakika beklendikten sonra üstteki homojen süspansiyon steril tüpe aktarıldı. Aynı zamanda aşı süspansiyonlarının 1:100 sulandırılmış halinin 0.01 mL'si PDA içeren petri kaplarına ekilerek mL' de koloni oluşturan birim (KOB) sayısı 4×10^3 - 5×10^4 KOB/mL spor olacak şekilde ayarlandıktan sonra sulu ekstraktların MİK değeri Klinik ve Laboratuvar Standartları Enstitüsü (CLSI) prosedürüne göre (Doküman M-38A, 2008'de M-38A2 olarak tekrar güncellenmiştir) belirlendi [14]. MİK değerleri morfolinopropansülfonik (MOPS) ile pH 7.0'ye tamponlanmış RPMI-1640 besiyerinde test edildi. Deneyde stok solüsyonun hazırlanması için ekstrakt (50 mg/mL) steril distile suda çözüldü. Hazırlanan bu stok solüsyondan 40 µL alınarak 960 µL RPMI-1640 ile mL'de 2 mg solüsyon elde etmek için dilue edildi. Bu hazırlanan yeni solüsyonun 200 µL'si ilk kuyucuğa döküldü. Daha sonra bu kuyucuktan 100 µL alınarak, 100 µL RPMI-1640 içeren bir sonraki kuyucuğa transfer edildi. Aynı işlemler sulu ekstraktın iki kat dilüsyonunu elde etmek için benzer şekilde diğer kuyucuklar içinde uygulandı. Ekstraktların son konsantrasyonları 1000-0,49 µg/mL aralığında olacak şekilde ayarlandı. Aşı süspansiyonundan 100 µL her bir kuyucuğa eklendi. Sterilite kontrolü için ilk kuyucuğa aşı süspansiyonu yerine 100 µL steril distile su eklendi [15]. Plaklar 7 gün süresince 25°C'de inkübe edildi [16]. MİK değeri görsel olarak, inkübasyondan sonra fungal büyümenin olmadığı en düşük konsantrasyon şeklinde belirlendi.

2.5. Hifal Morfoloji Üzerine Sulu Ekstraktların Etkisinin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Gözlenmesi

7 günlük kültürden hazırlanan spor süspansiyonundan (10^4 spor/mL) PDA içeren petri plaklarının merkezine 10 μ L damlatıldı ve 2 gün 25°C de inkübe edilerek misel büyümesi sağlandı. Daha sonra bitki ekstraktlarının 4 ve 8 kat minimum inhibitör konsantrasyonları (4MİK ve 8 MİK) petri plaklarının üzerini tamamen kapatacak şekilde damlatıldı. 3 gün 25°C de inkübe edilen fungal kültürlerden mantar delici ile yarıçapı 1 cm'lik misel diskler çıkarıldı. SEM analizi için bu misel diskler oda sıcaklığında 2 saat 0.1 M fosfat tamponu (pH 7.2) içinde hazırlanmış %2.5'lik gluteraldehit ile fiske edildi. Daha sonra bu diskler 2 kez 10 ar dakika aynı tampon ile yıkandı. Fiksasyondan sonra örnekler her bir seri 30 ar dakikalık sürelerde dereceli olarak etanol serilerinden (% 70, 80, 90 ve üç kez % 100) geçirilerek dehidrasyona uğratıldı [10]. Örneklerin 5Kv voltajda SEM Quanta 400 kullanılarak dijital görüntüleri elde edildi.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. *Alternaria tenuissima*'nın Misel Büyümesi Üzerine Bitki Tozlarının *in vitro* Etkisi

A.tenuissima'ya karşı 4 botanik familyaya ait 16 bitki türünün tozlarının *in vitro* antifungal aktivitesi Tablo 1'de gösterildi. *In vitro* sonuçlarda bitkilerin tozuna (%10 v/w) *A. tenuissima*'nın cevabı değişkenlik gösterdi (Şekil 1). *A. tenuissima*'nın misel büyümesini 15 bitki türü % 15.08'den %100'e kadar değişen oranlarda inhibe etti. *Lactuca serriola* bitkisinin tozu ise *A.tenuissima*'nın misel büyümesine karşı inhibitör etki göstermedi. Misel büyümesini %100 inhibe eden bitki *Origanum vulgare* L. dir. Bu bitkiyi %82.87 lik inhibisyon oranı ile *Thymus longicaulis* takip etmektedir. Benzer bir çalışmada da *A. tenuissima*'nın misel büyümesini *Prosopis juliflora* ve *Lantana camara* ekstraktlarının sırası ile %81.2 ve %66.7 oranlarında inhibe ettiği rapor edilmiştir [17]. Fungal büyüme ve fungusun neden olduğu hastalığın şiddeti üzerine bitki ekstraktlarının etkisinin onların sekonder metabolitleri (fenolik, alkaloidler, flavonoidler ve terpenoidler gibi) yüzünden olabileceği rapor edilmiştir [18]. Bu durum göz önüne alınarak ve önceki benzer çalışmalarda da belirtildiği gibi [19-20-21], misel büyüme inhibisyonu gösteren bitkilerin potansiyel antifungal aktiviteye sahip olduğunu söyleyebiliriz. *In*

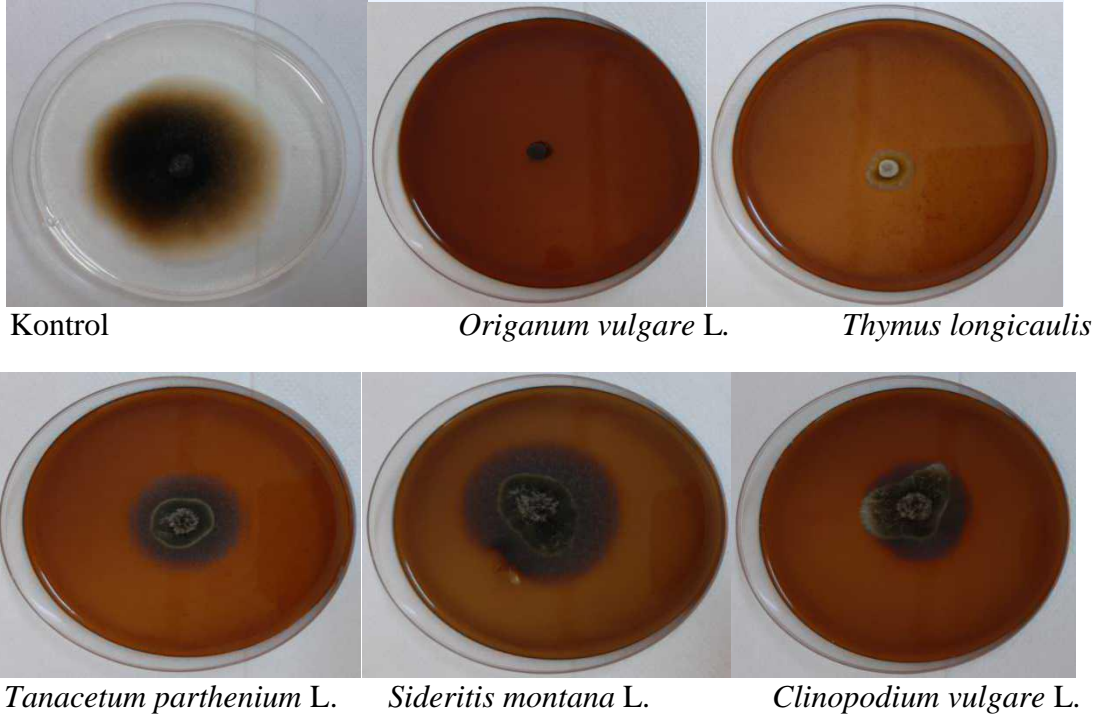
vitro sonuçlarımızda, % 80'in üzerinde misel büyüme inhibisyonu gösteren, *O. vulgare* ve *T. longicaulis* yapılacak araştırmaların daha kolay ve anlaşılabilir olması için bir sonraki çalışmalara alındı.

3.2. Bitki Ekstraktlarının Minimum İnhibitör Konsantrasyon (MİK) larının Belirlenmesi

Test edilen 16 bitki türünden *A. tenuissima*'ya karşı antifungal aktivitesi en yüksek olan *O. vulgare* ve *T. longicaulis* sulu ekstraktları için MİK değeri sırası ile 250 µg/mL ve 500 µg/mL idi. Yapılan benzer bir çalışmada *Caryophyllus aromaticus* ve *Allium sativum* su ekstraktlarının *A. tenuissima*'ya karşı MİK değerleri sırası ile 6.3 ve 25 mg/mL olarak rapor edilmiştir [22]. *O. vulgare* ve *T. longicaulis* sulu ekstraktlarının *A. tenuissima*'ya karşı daha fazla antifungal maddeler içerdiğini söyleyebiliriz.

Tablo 1. *A. tenuissima*'nın misel büyümesine üzerine bitki tozlarının (%10 v/w) *in vitro* etkisi

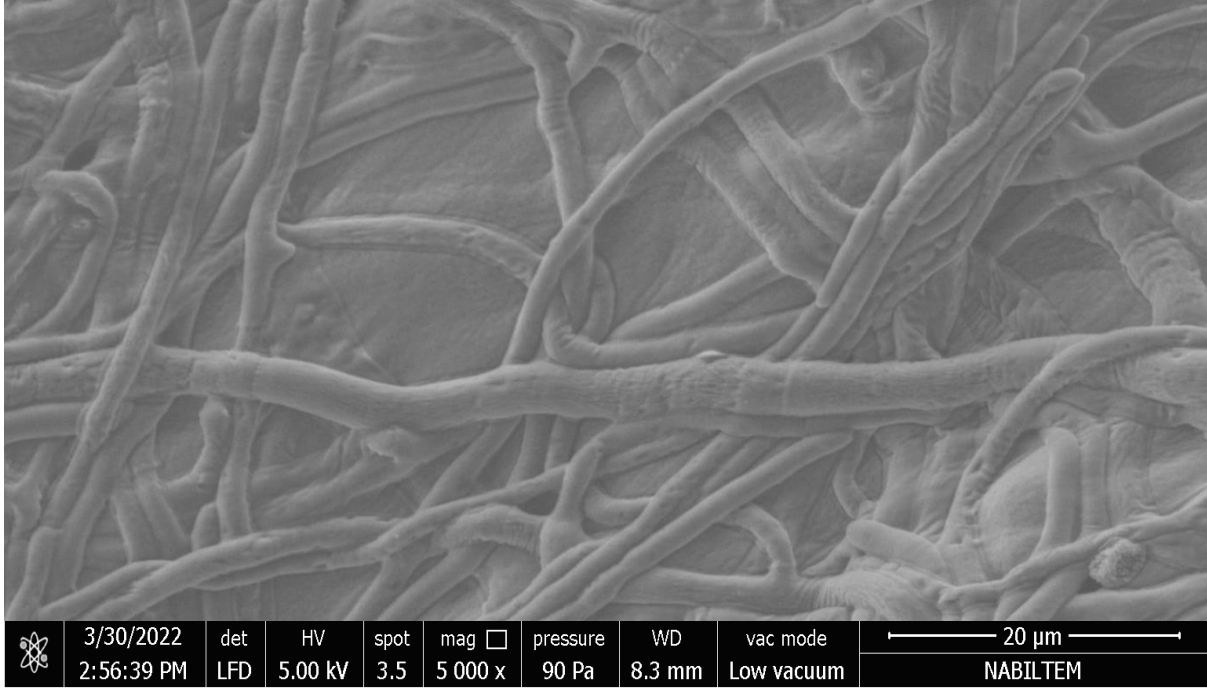
Familya	Tür İsmi	Ortalama Zon çapı	İnhibisyon (%)
Lamiaceae	<i>Origanum vulgare</i> L. hirtum (Link) letsw	0±0	100
Lamiaceae	<i>Thymus longicaulis</i> C. Presl <i>longicaulis</i>	9.83±1.60	82,87
Caprifoliaceae	<i>Sambucus ebulus</i> L.	22.95±0.71	60
Lamiaceae	<i>Marrubium peregrinum</i> L.	25.50±0.81	55,56
Papaveraceae	<i>Chelidonium majus</i> L.	25.59±2.37	55,40
Asteraceae	<i>Eupatorium cannabinum</i> L.	26.68±0.36	53,50
Lamiaceae	<i>Clinopodium vulgare</i> L. <i>vulgare</i>	26.90±1.27	53,12
Lamiaceae	<i>Salvia verticillate</i> L.	28.31±0.81	50,66
Asteraceae	<i>Tanacetum parthenium</i> L. Schultz. Bip.	28.96±2.51	49,53
Asteraceae	<i>Artemisia absinthium</i> L.	32.17±0.71	43,93
Lamiaceae	<i>Melissa officinalis</i> L.	37.59±0.96	34,48
Asteraceae	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	38.94±0.33	32,13
Lamiaceae	<i>Sideritis montana</i> L.	41.77±1.61	27,02
Lamiaceae	<i>Mentha pulegium</i> L.	45.01±1.41	21,55
Asteraceae	<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	48.72±2.31	15,08
Asteraceae	<i>Lactuca serriola</i> L.	57.37±1.01	0
Kontrol		57.37±1.33	



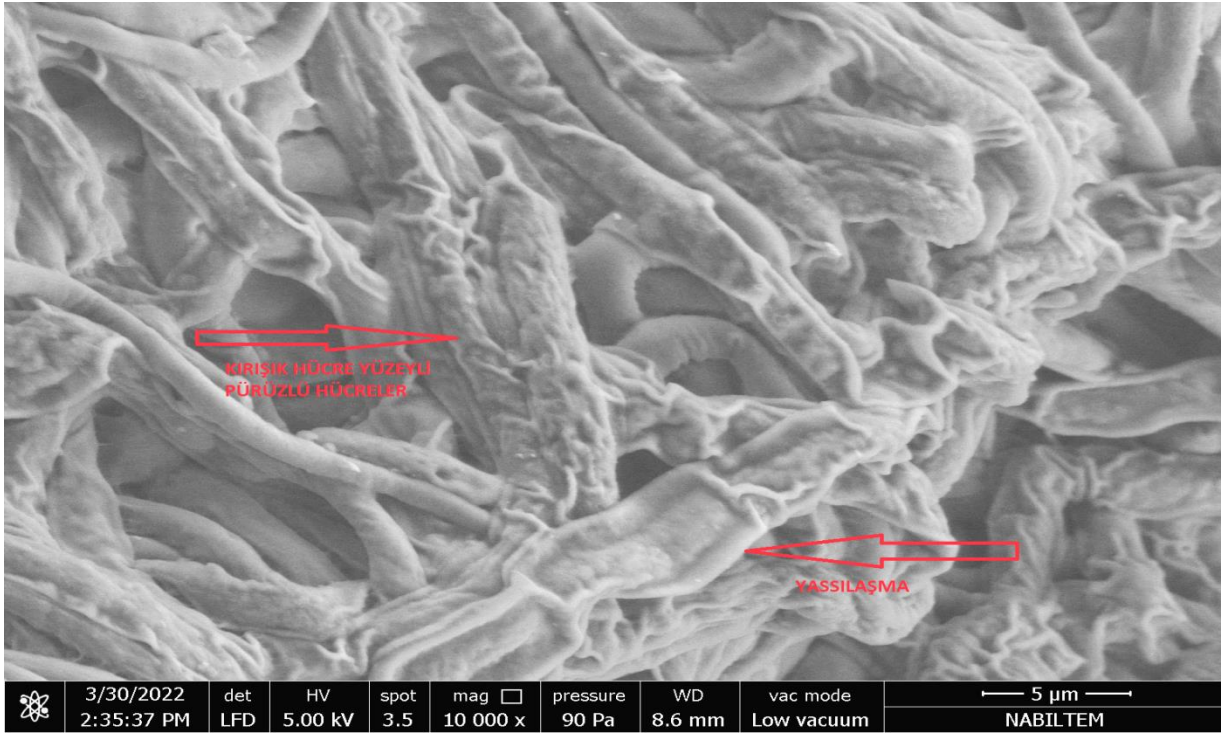
Şekil 1. Petri plaklarında *A. tenuissima*'nın misel büyümesi üzerine bazı bitki tozlarının (%10 v/w, inkübasyon süresi 7 gün, inkübasyon sıcaklığı 25°C) *in vitro* etkisinin görüntüleri.

3.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Hifal Morfoloji Üzerine Sulu Ekstraktların Etkisinin Gözlenmesi

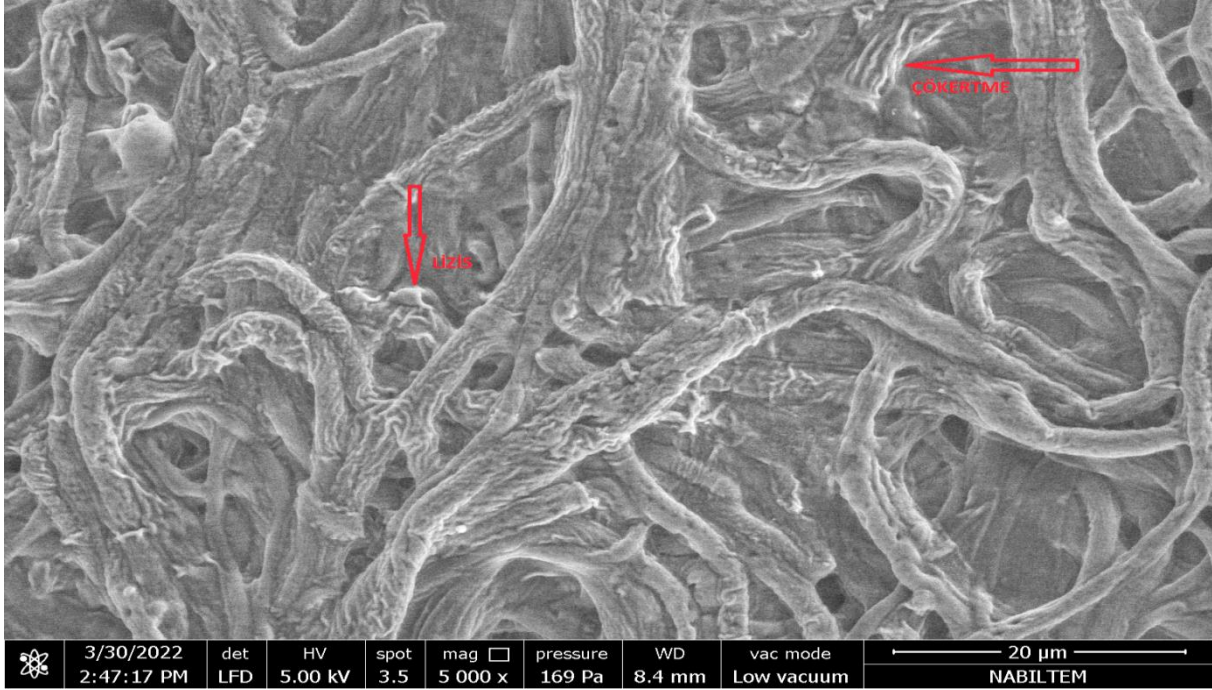
PDA içeren petri plaklarında *O. vulgare* ve *T. longicaulis*'un 4MİK ve 8MİK sulu bitki ekstraktlarına maruz kalmış ve maruz kalmamış *A. tenuissima* (kontrol) hifal morfolojileri karşılaştırıldığında önemli morfolojik değişimler saptandı. Kontrolde *A. tenuissima*'nın hifal yapısı doğrusal, düzenli ve homojen olarak gözlemlendi. *O. vulgare* ve *T. longicaulis* sulu ekstraktlarının hifal morfoloji üzerine yaptığı dejeneratif değişimler; çökertme, yassılaştırma, lizis ve kırışık hücre yüzeyli hücreler olarak tespit edildi. Hif üzerine lizis dejeneratif etki *O. vulgare* ve *T. longicaulis* 8MİK sulu ekstraktlarında görülürken bu etki 4MİK ekstraktlarında görülmedi. Sağlıklı ve dejeneratif değişimlere sahip hiflerin SEM görüntüleri Şekil 2, 3, 4, 5 ve 6 da gösterildi.



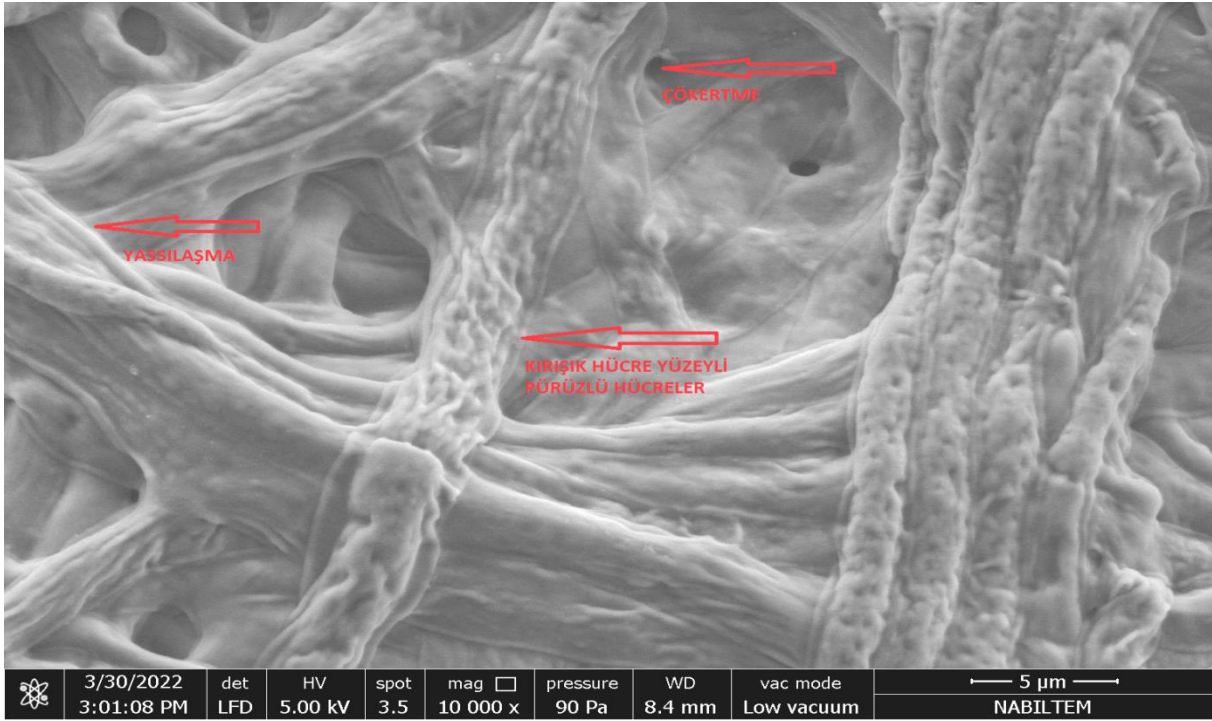
Şekil 2. Kontrol petri plaklarındaki *A. tenuissima* sağlıklı hifinin SEM görüntüleri (5 000x)



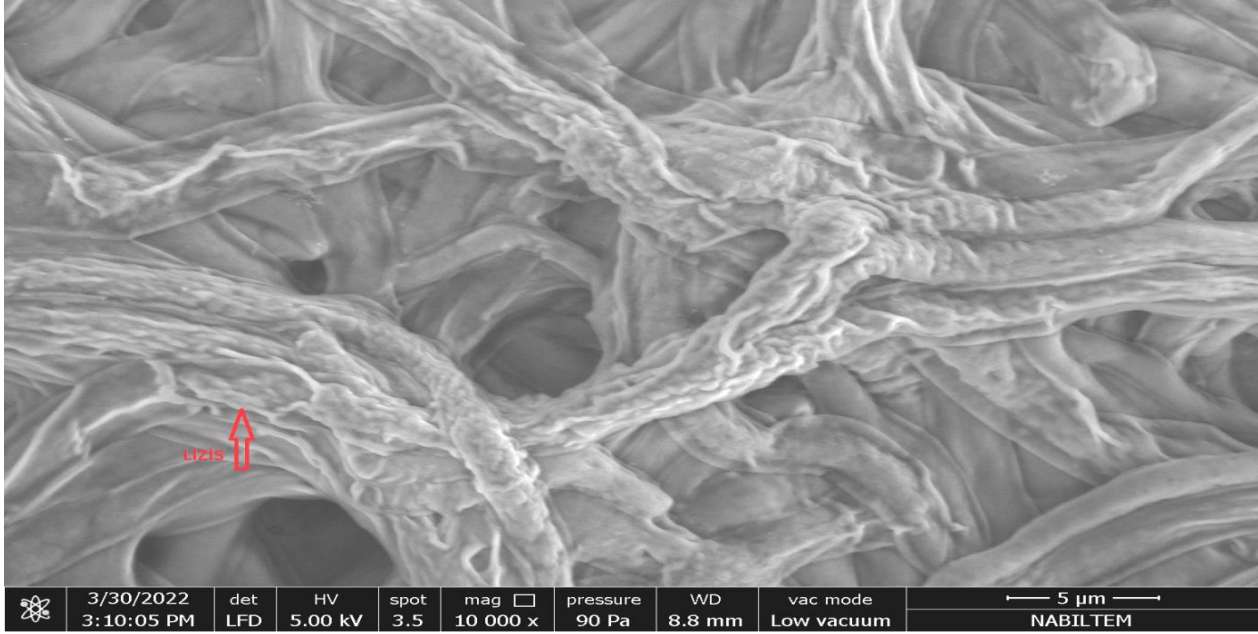
Şekil 3. *O. vulgare* sulu ekstraktına (4 MİK) maruz kalmış *A. tenuissima* hifinin SEM görüntüleri (10 000x)



Şekil 4. *O. vulgare* sulu ekstraktına (8 MİK) maruz kalmış *A. tenuissima* hifinin SEM görüntüleri (5 000x)



Şekil 5. *T. longicaulis* sulu ekstraktına (4 MİK) maruz kalmış *A. tenuissima* hifinin SEM görüntüleri (10 000x)



Şekil 6. *T. longicaulis* sulu ekstraktına (8 MİK) maruz kalmış *A. tenuissima* hifinin SEM görüntüleri (10 000x)

Bitki ekstratları veya uçucu yağlar ile muamele sonucu *A. tenuissima*'nın hifal yapısında meydana gelen değişimler henüz rapor edilmemiştir. SEM incelemeleri *O. vulgare* ve *T. longicaulis* sulu bitki ekstraktlarının *A. tenuissima*'nın hifal yapısında meydana getirdiği hasar test edilen sulu bitki ekstraktlarının fitotoksik özelliklere sahip olduğunu doğrulamaktadır. Bütün bitkiler metabolizmalarında rolleri yeterince bilinmeyen sekonder metabolit olarak çok sayıda fenolik madde oluşturmaktadırlar. Bu nedenle bitkisel kökenli bütün gıdalarda daima farklı nitelikte ve miktarda çeşitli fenolik bileşikler bulunmaktadır. Lamiaceae familyasına ait *Origanum* türleri karvakrol, *Thymus* türleri ise timol fenolik bileşiği bakımından zengindir [23]. Timol ve karvakrol'ün antifungal aktivitesi Perina vd. [24] tarafından kanıtlanmıştır. Hücre duvarında meydana gelen dejenerasyonların hücre duvarını düzenleyen enzimatik reaksiyonlara sulu bitki ekstraktlarının etkisi ile ilişkili olabileceğini bunun sonucunda da fungal morfolojinin bozulduğunu ve hifal büyümenin etkilendiğini ifade edebiliriz.

Sonuç olarak, *O. vulgare* ve *T. longicaulis* sulu ekstraktlarının *A. tenuissima*'ya karşı çalışmamızda kanıtladığımız yüksek antifungal aktiviteleri nedeniyle, kimyasal fungusitler yerine alternatif bir doğal kontrol ajanı olarak değerlendirilme potansiyelinin yüksek olabileceğini söyleyebiliriz.

KAYNAKLAR

- [1] Farr, D. F., Bills, G. F., Chamuris, G. P., Rossman, A.Y., Fungi: on plants and plant products in the United States. The American Phytopathological Society, Minnesota, USA. 1989.
- [2] Lee, H. B., Patriarca, A., Magan, N., Alternaria in Food: Ecophysiology, Mycotoxin Production and Toxicology, Mycobiology, C 43 (2), S 93-106, 2015.
- [3] Domsch, K.H., Gams, W., Andersen, T.H., Compendium of soil fungi (2nd ed.). Academic Press: London, UK. ISBN 9780122204029, 1980.
- [4] Chełkowski, J., Visconti, A., Alternaria: biology, plant diseases and metabolites, Elsevier Amsterdam [u.a.]. pp. 364–365. ISBN 0-444-88998-1, 1992.
- [5] Rajagopal, R. C., Sunil, M., Chandrasekharaiah, A. tenuissima – A new fungal pathogen on mulberry stem, Indian Phytopath, C 55, S 532, 2002.
- [6] Robertshaw, H., Higgins, E., Cutaneous infection with Alternaria tenuissima in an immunocompromised patient, British Journal of Dermatology, C 153 (5), S 1047–1049, 2005.
- [7] Romano, C., Fimiani, M., Pellegrino, M., Valenti, L., Casini, L., Miracco, C., Faggi, E., Cutaneous phaeohyphomycosis due to Alternaria tenuissima, Mycoses., C 39 (5–6), S 211–215, 1996.
- [8] Shukla, A. C., Yadav R. S., Shahi S. K., Dikshit A., Use of Plant Metabolites as an Effective Source for The Management of Post-Harvest Fungal Pests: A review, Current Discovery, C 1, S 33-45, 2012.
- [9] Al-Reza, S. M., Rahman A., Ahmed Y., Kang S.C., Inhibition of Plant Pathogens In vitro and In vivo with Essential Oil and Organic Extract of Cestrum nocturnum L., Pesticide Biochemistry and Physiology, C 96, S 86-92, 2010.
- [10] Soylu, E. M., Kurt Ş., Soylu S., In vitro and in vivo antifungal activities of the essential oils of various plants against tomato grey mould disease agent Botrytis cinerea, International Journal of Food Microbiology, C 143, S 183-189, 2010.
- [11] Passone, M.A., Girardi N.S., Ferrand C.A., Etcheverry M., Invitro Evaluation of Five Oils as Botanical Fungitoxicants for the Protection of Stored Peanuts from Aspergillus flavus and A. Parasiticus Contamination, International Biodeterioration & Biodegradation, C 70, S 82-88, 2012.
- [12] Talibi, I., Askarne L., Boubaker H., Boudyach E.H., Msanda F., Saadi B., Ait Ben Aoumar A., Antifungal activity of some Moroccan plants against Geotrichum candidum, the causel agent of postharvest citrus sour rot, Crop Protection, C 35, S 41-46, 2012.
- [13] Ameziane, N., Boubaker H., Boudyach H., Msanda F., Jilal A., Benaoumar A.A., Antifungal Activity of Moroccan Plants Against Citrus Fruit Pathogens, Agron. Sustain. Dev., C 27, S 273-

277, 2007.

[14] CLSI, Clinical and Laboratory Standarts Institute, formerly NCCLS, National Committee for Clinical and Laboratory Standarts. Reference method for broth dilution antifungal susceptibility testing of yeasts; Approved Standart, 2nd edition, NCCLS document M27-A2, NCCLS, Wayne, PA. Reference method for broth dilution antifungal susceptibility testing of filamentous fungi; Approved Standart, 1st edition, NCCLS document M 38 A, Wayne, PA, 2002.

[15] Svatez, L., Zuljan F., Derita M., Petenatti E., Tamayo G., Caceres A., Filho V.C., Gimenez A., Pinzon R., Zacchino S.A., Gupta M., Value of the ethnomedical information for the discovery of plants with antifungal properties. A survey among seven Latin American countries, Journal of Ethnopharmacology, C 127, S 137-158, 2010.

[16] Chen, F., Long X., Yu M., Liu Z., Liu L., Phenolics and antifungal activities analysis in industrial crop Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) leaves, Industrial Crops and Products, C 47, S 339-345, 2013.

[17] Ramulu, S. J., Gopal, R.R.C., Ramanjaneyulu, R., Evaluation of Certain Plant Extracts and Antagonists Against *Fusarium solani* and *Alternaria tenuissima*, the Incitants of Root Rot and Die-Back Diseases of Mulberry, Int. J. Indust. Entomol, C 20(1), S 1-5, 2010.

[18] Abdel-Monaim, M.F., Abo-Elyousr, K.A.M., Morsy, K.M., Effectiveness of plant extracts on suppression of damping-off and wilt diseases of lupine (*Lupinus termis* Forsik), Crop Protection, C 30, S 185-191, 2011.

[19] Ameziane, N., Boubaker H., Boudyach H., Msanda F., Jilal A., Benaoumar A.A., Antifungal Activity of Moroccan Plants Against Citrus Fruit Pathogens, Agron. Sustain. Dev., C 27, S 273-277, 2007.

[20] Talibi, I., Askarne L., Boubaker H., Boudyach E.H., Msanda F., Saadi B., Ait Ben Aoumar A., Antifungal activity of some Moroccan plants against *Geotrichum candidum*, the causel agent of postharvest citrus sour rot, Crop Protection, C 35, S 41-46, 2012.

[21] Askarne, L., Talibi, I., Boubaker, H., Boudyach, E.H., Msanda, F., Saadi, B., Serghini, M.A., Ait Ben Aoumar, A., In vitro and in vivo antifungal activity of several Moroccan plants against *Penicillium italicum*, the causal agent of citrus blue mold, Crop Protection, C 40, S 53-58, 2012.

[22] Steglinska, A., Bekhter, A., Wawrzyniak, P., Kunicka-Styczyńska, A., Jastrz ąbek, K., Fidler, M., Smigielski, K., Gutarowska, B., Antimicrobial Activities of Plant Extracts against *Solanum tuberosum* L. Phytopathogens, Molecules, C 27, S 1579, 2022.

[23] Özderin, S., Fakir, H., Dönmez, İ.E., Muğla-Ula Yöresinde Doğal Yayılış Yapan Bazı Kekik Türlerinin Uçucu Yağ Oranları ve Bileşenlerinin Belirlenmesi. II. Ulusal Akdeniz Orman Ve Çevre Sempozyumu “Akdeniz ormanlarının geleceği: Sürdürülebilir toplum ve çevre” 22-24 Ekim Isparta, 2014.



[24] Perina, F.J., Amaral, D.C., Fernandes, R.S., Labory, C.R.G., Teixeira, G.A., Alves, E., Thymus vulgaris essential oil and thymol against *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler: Effects on growth, viability, early infection and cellular mode of action, *Pest Manag. Sci.*, C 71, S 1371–1378, 2015.

ENGELSİZ ÜNİVERSİTE SÖYLEMİ ve KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ SOSYAL YAŞAM ALANININ ENGELLİLER İÇİN ERİŞİLEBİLİRLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Ali MÜLAYİM^{1*} 

^{1*} Kırklareli Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, Kırklareli, Türkiye

Öz

Günümüzde gerek insan hakları evrensel beyannamesi gerek taraf olduğumuz uluslararası anlaşmalar ve gerekse de ulusal yasa ve yönetmelikler engelliler için oldukça kapsamlı hakları tanımlar ve gerektiğinde toplumun dezavantajlı kesimleri için pozitif ayrımcılığa mahal verir. Ancak engellilerin toplumsal hayata katılımı veya temel insan hakları konusunda yaşadığı zorluklar yasa ve yönetmeliklerden değil bu yasa ve yönetmeliklerin tam olarak uygulanamamasından kaynaklıdır. 2005 yılında yasalaşan ancak bir türlü tam olarak uygulamaya giremeyen 5378 sayılı “Engelliler Hakkında Kanun” bu duruma iyi bir örnektir. Son dönemlerde yüksek sesle söylenir hale gelen engelsiz üniversite kavramı toplumun eğitim açısından piramidin üst bölgesini temsil eder ve en yalın ifadeyle engellilerin haklarını yerleşke içerisinde en iyi şekilde kullanabilmesini ifade eder. Bu çalışmada Kırklareli Üniversitesi sosyal alanlarının özellikle tekerlekli sandalye kullanan engelliler için erişilebilirliği incelenmiştir. Kırklareli Üniversitesi 3 farklı yapı ile ilgili turuncu bayrak ödülü almıştır. Bu durum üniversitenin erişilebilirliğe kayıtsız kalmadığının göstergesidir. Yapılan inceleme sonucunda sosyal yaşam alanının büyük ölçüde engelliler için erişilebilirlik kurallarına uygun olduğu söylenebilir. Ancak yine de bazı iyileştirmeye açık yönler tespit edilmiş ve bununla birlikte çözüm önerileri de sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Engelliler ve Eğitim, Herkes İçin Tasarım, Engelsiz Üniversite.

Disability Friendly University Concept and Assessment of the Accessibility of Social Living Area for Disabled People in Kırklareli University

Abstract

Today, both the universal declaration of human rights, the international agreements, and national laws and regulations define comprehensive rights and allow positive discrimination for the disadvantaged people in society when necessary. However, the difficulties experienced by disabled people regarding their participation in social life and having basic human rights are not because of the imperfection of laws and regulations, but to the inability to implement them. The disability law, which was enacted in 2005 but could not be fully implemented, is a good example of this situation. The concept of disability-friendly university, which has become popular recently, represents the upper part of the pyramid in terms of education, and in the simplest terms, means that disabled people can use their rights in the best way possible within the university campus.

Sorumlu Yazar: Ali MÜLAYİM, ali.mulayim@klu.edu.tr

In this study, the accessibility of social areas in Kırklareli University, especially for wheelchair users, was examined. Kırklareli University received the orange flag award for 3 different buildings. This is an indication that the university is not unconcerned about the accessibility of disabled people. As a result of the examination, it can be said that the social life infrastructure is substantially accessible. However, some aspects that are open to improvement have been identified and solutions have also been presented.

Keywords: Disability and Education, Design for All, Disability Friendly University.

1. Giriş

Mimari tasarım engelliler için sahip oldukları kısıtlılıkların neden olduğu sorunların çözümüne dayalı yaşam alanlarını tasarlama sürecidir. Bireyler farklı fiziksel özelliklerinden dolayı sosyal yaşamdan dışlanmamalı ve yine fiziksel veya psikolojik durumlarından dolayı ötekileştirilmemelidir. “Mimarlıkta mekânın kimin için tasarlandığı sorusu özel durumlar dışında kullanıcıyı yani insanı işaret etse de süregelen yaygın tasarım anlayışı genellikle ortalama kullanıcı grup dışındakiler için mekânın kullanılabilirliğini sınırlandırmaktadır” [1]. “Ortalama kullanıcı” kavramı zamanla yerini “Normal”e bırakmıştır. Engelliler için bir konu veya olaydan söz ederken karşımıza engelli olmayanlar yerine normal kavramı sıkça çıkmaktadır.

Konunun kavramsal boyutu da oldukça problemlidir. Türkiye’de yapılan tanıtımda 5378 sayılı kanunun yayınlanmasıyla “Özürlü” kavramının yerine “Engelli” kavramı kullanılmaya başlanmıştır. Kanuna göre Engelli; “Fiziksel, zihinsel, ruhsal ve duyuşsal yetilerinde çeşitli düzeyde kayıplarından dolayı topluma diğer bireyler ile eşit koşullarda tam ve etkin katılımını kısıtlayan tutum ve çevre koşullarından etkilenen bireyi” tanımlar [2]. Uluslararası terminolojide ise disabled, impairment veya handicapped kavramları karşımıza çıkar. Uluslararası alanda engellilik üç farklı kavramla tanımlanırken ülkemizde bu üç tanıma karşılık sadece engelli kavramı kullanılmaktadır. Bu durum oldukça geniş bir engelli tanımı gerektirmektedir. Ünal’a göre her ne kadar impairment kavramı çokça “disabled” kavramı yerine kullanılsa da aslında “impairment” kavramı, işlevsel bir sınırlamaya yol açması muhtemel olan fiziksel veya biyolojik bir durumu ifade eder [3]. Engelliliğe ilişkin ilk bütüncül model olan tıbbi model, engelliliği bireye ait, tedavi edilmesi gereken bir sorun olarak görmektedir. 1970’lerde ortaya çıkan sosyal model ise engelliliği bireysel bir problemden ziyade toplumsal bir problem olarak görür ve makul düzenleme ile engellilerin yaşamın her

alanında var olabileceklerini vurgular. Problem alanları olarak toplum kaynaklı “olumsuz tutumlar”, “dışlayıcı kültür” ve “ötekileştirmeyi” ele alır [4].

TÜİK tarafından 2011 yılında yapılmış olan Nüfus ve Konut Araştırması’nda Türkiye genelinde ev halklarının yaklaşık %13’ünden bilgi edinilmiştir. Araştırma yaklaşık 9 milyon kişi ile yapılmıştır. Tablo 1’de bazı sonuçları verilen araştırmaya ait detaylara 2019 Mayıs bülteninden ulaşılabilir.

Tablo 1. Karşılaşılan duruma göre engel grupları [5].

Engel Grubu / Nüfus Oranı	Toplam (%)	Kişi Sayısı
Görmede zorluk yaşayanlar ²	1,4	1.039.000
Duymada zorluk yaşayanlar ³	1,1	836.000
Konuşmada zorluk yaşayanlar ⁴	0,7	507.000
Yürümede, merdiven çıkmada / inmede zorluk yaşayanlar ⁴	3,3	2.313.000
Bir şeyler taşımada / tutmada zorluk yaşayanlar ⁴	4,1	2.923.000
Yaşlılarına göre öğrenmede / basit dört işlem yapmada / hatırlamada / dikkatini toplamada zorluk yaşayanlar ⁴	2,0	1.412.000

Engelli bireylerin örgün eğitim olanaklarından yararlanmasının geçmişi ülkemizde 1950’li yıllara kadar uzanmaktadır. Öncelikle farklı eğitim kurumlarına giden engelli öğrencilerin yüksek öğretime geçişleri çok sınırlı sayıda gerçekleşmiş, engelli ancak zeki olan özellikle görme engellilerin üniversitelerin sosyal bilgiler alanlarından mezun olarak hayata atıldıkları gözlemlenmiştir. Gerek 1961 anayasası ve bunu temel alan 222 sayılı İlköğretim Yasası gerekse 1973 de yürürlüğe giren 1739 Temel Eğitim yasaları engellilerin eğitiminde önemli atılımları sağlamıştır [6].

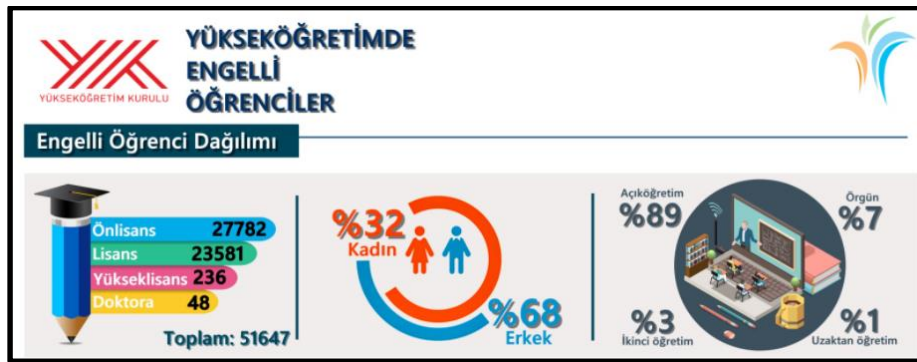
Birleşmiş milletler özürlü kişilerin hakları sözleşmesi, 28 Ekim 2009 tarihinden itibaren ülkemizde ‘de yürürlüğe girmiştir. Bu sözleşme, engelli bireylerin haklarına bütüncül olarak yaklaşmaktadır. Bu sözleşmenin 24. maddesi eğitim hakkıyla ilgili düzenlemeleri kapsar [6]. Ataman’ın

sunumunda açıkladığı ve Türkiye'nin de imzalayarak 2009 yılında kabul ettiği sözleşme, yeterince uygulansa başkaca hiçbir düzenlemeye gerek kalmadan sadece üniversiteler değil tüm eğitim kurumlarında engelsiz eğitim sağlanabilecektir. Ancak bu konuda yapılan çalışmalarda da sıkça belirtildiği üzere problem yasal düzenlemeler değil bu yasal düzenlemelerin uygulanmamasından kaynaklanmaktadır.

Üniversiteler ya da diğer eğitim kurumları özellikle genç neslin eğitim almanın yanında sosyalleştiği alanlar olarak kabul edilmelidir. Engellilerin yüksek öğretim alanında eğitim almasındaki en büyük engel engelli dostu üniversitelerin sayısının artmasına rağmen hala yeterli düzeyde olmamasıdır.

Avrupa Konseyi İnsan Hakları Komiseri Hammerberg'in 14 Ekim 2011 tarihli raporunda, Konsey üyesi pek çok ülkede engelli bireylerin “yok sayılma”, “ötekileştirilme”, “etiketlenme” gibi ayrımcı davranışlarla sürekli karşı karşıya geldikleri vurgulanmaktadır. Üniversiteler her türlü hizmeti tüm öğrencilerin gereksinimlerini karşılayacak biçimde sunmalıdır [4].

YÖK tüm yüksek öğretim kurumlarını tüm öğrenciler için erişilebilir hale getirebilmek için çalışmalar yürütmektedir. Bu kapsamda 2018 yılından beri Engelsiz Üniversite Ödülleri verilmekte ve bu ödüllerin teşvik edici olması amaçlanmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda birçok yüksek öğretim kurumunda bu konuda çalışacak komisyonlar oluşturulmuştur. Ayrıca <https://engelsiz.yok.gov.tr/> web sitesi kurularak tüm çalışmalar buradan duyurulmaktadır.



Şekil 1. Yükseköğretimde engelli öğrencilerin dağılımı [7].

Şekil 1’den anlaşılacağı üzere üniversitelerdeki öğrencilerin %89 u açık öğretimde sadece %11’i örgün öğretimde yer almakta ve kampüslerdeki sosyal yaşama katılabilmektedir. Bu durumda alınması gereken çok uzun bir yol olduğunun göstergesidir. Ancak engellilere yönelik yapılan her teşvik veya çalışma medeniyet göstergesi olarak kabul edilmeli ve desteklenmelidir. 5378 sayılı kanun Engellilerin mesleki eğitim alması ve meslek seçebilmesi ile ilgili hükümler barındırmaktadır [2]. İltar’ın çalışmasına göre Engellilerin istihdamı büyük oranda (%71) yasal zorunluluktan kaynaklanmaktadır [8]. Engellilerin mesleki eğitimleri ve eğitim sonrası istihdamları birlikte düşünülerek planlama yapılmalıdır.

2. Materyal ve Metot

Kırklareli Üniversitesi Kayalı Kampüsü Sosyal Yaşam Alanını (çarşı) kapsayan bu çalışmanın, Kırklareli Üniversitesi Rektörlüğü ve bağlı birimlerine de sunularak engelsiz üniversite söylemi kapsamında yapılacak iyileştirmelerde yol gösterici olması amaçlanmaktadır. Çalışma tekerlekli sandalye kullanan engellilerin Kırklareli Üniversitesi Kayalı Kampüsü sosyal alanlarındaki erişilebilirlikleri ile sınırlandırılmıştır. Çalışmada erişilebilirlik kriteri olarak Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığının Erişilebilirlik İzleme ve Denetleme Formlarından yararlanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1 Yerleşke ve Yapı Özellikleri

Kırklareli üniversitesi kayalı yerleşkesi toplam 3600000 m² alan üzerine kurulmuştur. Şehir merkezine yaklaşık 10 km uzaklıkta bulunmaktadır. Yerleşke içinde Rektörlük merkezi, 3 adet merkezi derslik, sosyal yaşam alanı, açık spor alanları, kapalı spor salonları, açık stadyum, laboratuvar yapıları (4 adet), cami ve halen inşası devam eden tıp fakültesi binası bulunmaktadır (Şekil 2). Kampüs alanının oldukça büyük olması nedeniyle çalışma sadece sosyal yaşam alanı ile sınırlı tutulmuştur.

T.C. KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ YERLEŞKE PLANI



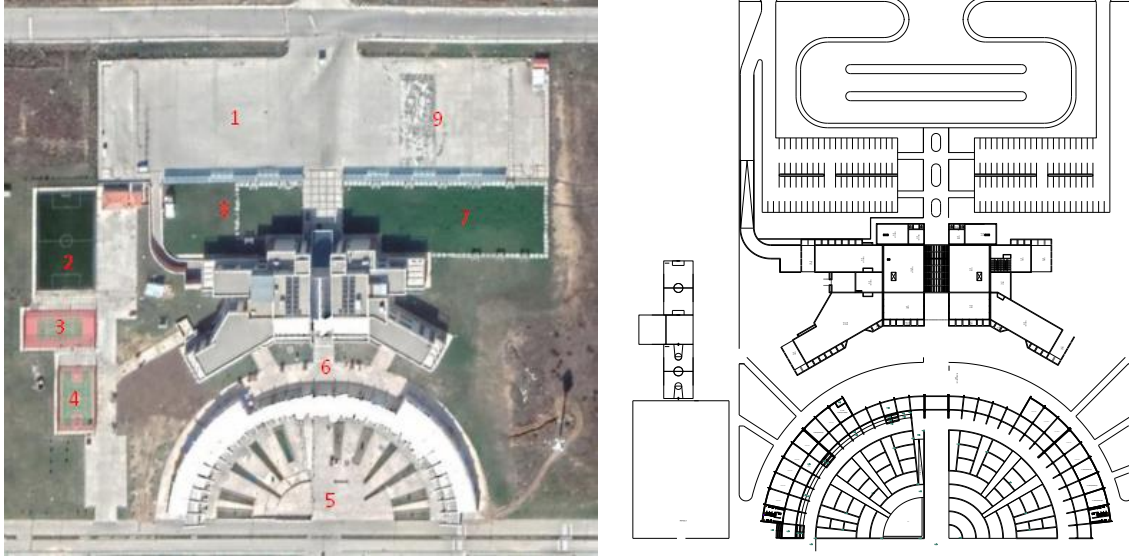
Şekil 2. Kırklareli Üniversitesi Kayalı Yerleşkesi Planı [9].

Kırklareli Üniversitesi Sosyal Yaşam Alanı, 3 katlı bir ana yapı, otoparklar yeşil alanlar spor alanları ve dükkanlardan meydana gelmektedir. Tek yapı ve iki kollu dükkanlardan oluşan kapalı alanların yanı sıra Şekil 3'te de görüldüğü gibi oldukça geniş bir bahçe alanına sahiptir. Bahçe içinde oturma alanları yanında sahnesi de bulunan konser ve gösteri alanı bulunmaktadır.



Şekil 3. Sosyal yaşam alanı ana yapı ve dükkanların görüntüsü ile sosyal yaşam alanı ön cephe görünüşü teknik çizimi

Şekil 4’te Google Earth görüntüsü ve vaziyet planı teknik çizimi verilmiştir. Şekil 4, 5, 6 ve 7’de görüldüğü üzere sosyal yaşam alanı; öğrenci servis alanı, futbol sahası, tenis sahası, basketbol sahası, dükkanlar, bahçe ve konser alanı, kütüphane, merkez kantin, personel ve öğrenci yemekhaneleri, mutfak, fuar alanları, öğrenci ve misafir otoparkından oluşmaktadır.



1-Öğrenci servis alanı 2-Futbol sahası 3-Tenis sahası 4-Basketbol sahası 5-Sosyal alan (dükkanlar, konser alanı vb) 6-Merkez yapılar (Kütüphane, merkez kantin, mutfak ve yemekhaneler) 7-8 Fuar alanları 9- Öğrenci ve misafir otoparkı

Şekil 4. Google Earth görüntüsü ve vaziyet planı ve teknik çizimi



Şekil 5. Yan otopark, spor tesisleri ve sosyal alan bağlantısı

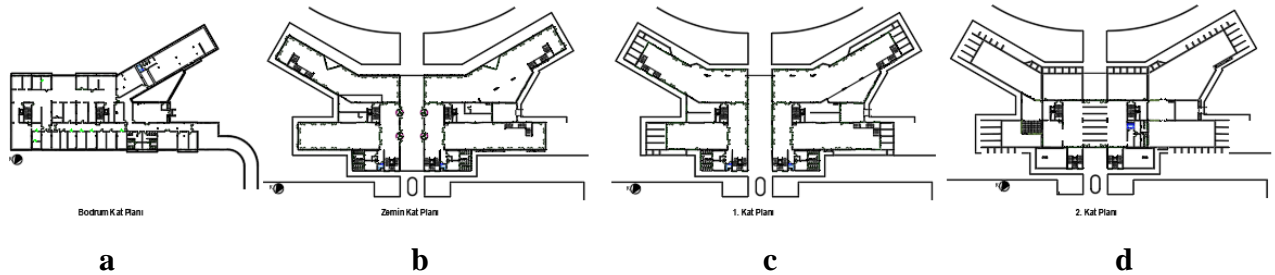


Şekil 6. Etkinlik alanı, sahnesi ve ulaşım rampası



Şekil 7. Sosyal yaşam alanı dersliklerden giriş rampası ve kuzey-güney alanlarından görüntüler

Kırklareli Üniversitesi Sosyal Yaşam Alanı ana yapısı bodrum kat, zemin kat, 1.kat ve 2. katlardan oluşmaktadır. 1 tanesi servis olmak üzere 4 girişi bulunmaktadır. Şekil 8’de kat planları verilmiştir. Ana yapı bodrum katı-4.50 kotunda bulunmaktadır. Bodrum kat (Şekil 8a); yemek hazırlık bölümü, sığınak ve tesisat odaları olarak kurgulanmış, güncel olarakta aynı işlevde kullanılmaktadır. Asansör ve merdiven ile düşey sirkülasyon sağlanmaktadır. Ayrıca engelliler için tuvalet-lavabo bulunmaktadır.



Şekil 8. Kat Planları a) Bodrum Kat Planı b) Zemin Kat Planı, c) 1.Kat Planı d) 2.Kat Planı

Zemin katta (Şekil 8b) kuzey, doğu ve kuzeydoğu cephesinde kütüphane, çok amaçlı salon, fuaye alanı, engelli tuvaletleri bulunmakta iken güney, doğu ve güneydoğu cephesinde merkezi kantin-kafe bulunmaktadır. Zemin kat iki ayrı yapı şeklinde yapılmış, daha sonra orta alan çelik konstrüksiyon ile kapatılarak birleştirilmiştir. Çelik konstrüksiyonla kapatılan yapı öğrenci giriş alanı ve olarak düzenlenmiştir. Yapının her iki blok kısmında da engelli tuvaletleri ve asansör bulunmaktadır. Zemin katta sürekliliği kesen kot farkı bulunmamaktadır.

1.katta (Şekil 8c) kuzey, doğu ve kuzeydoğu cephesinde kütüphane ve kütüphane idari yapıları bulunmakta, asansör ve merdiven ile düşey sirkülasyon sağlanmaktadır. Güney, doğu ve güneydoğu cephesinde ise öğrenci yemekhanesi bulunmakta asansör ve merdiven ile düşey sirkülasyon sağlanmaktadır. Yapının her iki blok kısmında da engelli tuvaletleri ve asansör bulunmaktadır. 1.katta sürekliliği kesen kot farkı bulunmamaktadır. Her iki blokta da uç teraslar bulunmaktadır. Güncel kullanımda bu teraslara Kütüphane ile öğrenci yemekhanesinin yanında personel yemekhanelerinden de ulaşılabilir. Yapı genel itibariyle geniş pencerelere sahip iyi ışık alan bir yapıdır.

2.katta (Şekil 8d) personel yemek dağıtım alanı, personel yemekhanesi, teras bulunmakta, asansör ve merdiven ile düşey sirkülasyon sağlanmaktadır. Ayrıca engelliler için tuvalet-lavabo bulunmaktadır. 2.katta sürekliliği kesen kot farkı bulunmamaktadır.

3.2. Yapının Tekerlekli Sandalye Kullanan Engelliler İçin Değerlendirilmesi

Sosyal yaşam alanının özellikle tekerlekli sandalye kullanıcısı engelliler için problem ve çözüm önerileri sunulmuştur. Rampa, bahçe alanı, otopark alanı, Bina girişi, bina içi yatay ve düşey sirkülasyon alanları, personel ve öğrenci yemekhaneleri, tuvalet ve lavabolar şeklinde sınıflandırılarak incelenmiş ve mekanlara erişilebilirlik açısından tespit edilen sorunlar ve çözüm önerileri belirtilmiştir.

◆ Rampaların mevcut durumu, yaşanan problemler ve çözüm önerileri

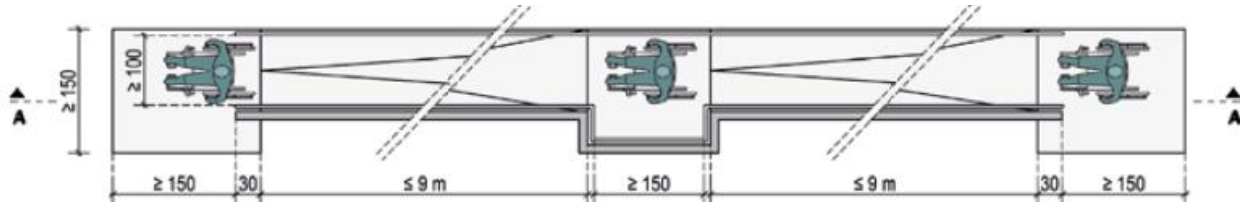
Geçiş alanlarında kot farkını ortadan kaldırmak için öncelik olarak rampa eğer rampa yapılamıyorsa asansör, asansör de yapılamıyorsa platform yapılması tavsiye edilmektedir. Rampanın öncelikli tercih edilme nedeni elektronik/mekanik problemlerden ve elektrik kesintilerinden etkilenmemesidir. Erişilebilirlik kılavuzuna göre rampaların net genişliği

üzerindeki diğer donatılar çıktıktan sonra en az 100 cm olmalıdır. Rampa yüksekliklerine göre verilecek en fazla eğim Tablo 2’de verilmiştir. Rampa eğimi geçilen alandaki kot farkı/rampa uzunluğu olarak hesaplanmalıdır.

Tablo 2. Rampa Eğimleri [10]

En fazla yükseklik	En fazla eğim
15 cm ve daha az	1:12 (%8)
16 cm-50 cm arasında	1:14 (%7)
51 cm -100 cm arasında	1:16 (%6)
101 cm üzerinde	1:20 (%5)

Rampa uzunluğu 9 m’yi geçtiğinde mutlaka dinlenme alanı oluşturulmalıdır (Şekil 9). Manevra gerektiren alanlarda 152,5 cm çapında bir alan boş bırakılmalıdır. Rampa ile geçilecek yüksekli 15 cm’den fazla ise tırabzan ve korkuluk yapılmalıdır.



Şekil 9. Rampa eğimi ve dinlenme alanı [10]

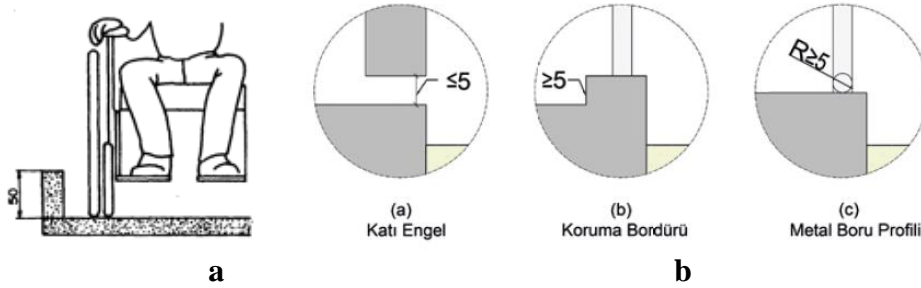
Sosyal alana derslikler tarafından girişte 60 cm kot farkı bulunmaktadır (Şekil 10b). Kot farkı rampa ve merdivenlerle giderilmiştir. Sosyal alanlara girişteki rampa genişliği 160 cm, yükseklik 60 cm, uzunluk 600cm, eğimi: %10’dur. Rampa eğiminin %8 i geçmemesi tercih edilir. Rampanın önünde ve arkasında gerekli manevra alanı bulunmaktadır. Rampanın uzunluğu 900 cm’yi geçmediği için sahanlık gerektirmemektedir. Ancak rampanın Şekil 10a’daki gibi üç tarafa eğimli yapılması çok daha uygun olacaktır. Rampanın yanında 3 basamaklı merdiven vardır. Basamak rıhtları birbirinden farklıdır. Son dönemde basamaklarda da yenileme çalışmaları yapılmaktadır. Basamak derinliği 30 cm’den Merdiven genişliği 300 cm’den fazladır ve standartları karşılamaktadır. Spor alanları, misafir otoparkı ve 1. merkezi dersliklerden sosyal alana erişimde standartlara uygun olan bir rampa bulunmaktadır (Şekil 10c). Rampanın tek tarafı kapalıdır. Açık tarafında tırabzan ve küpeşte bulunmamaktadır. Bahçe alanına girişteki rampanın ise tırabzanı

yoktur. (Şekil 10b). Merdivenin her iki tarafında da tırabzan ve küpeşte yoktur. Merdiven ve rampanın yanına tırabzan (1.si 90 cm, 2.si 70 cm yüksekliğinde) yapılması gerekmektedir.



Şekil 10 a) Üç tarafa eğimli rampa düzenlemesi [10] b) Sosyal yaşam alanı giriş rampası c) Spor alanlarından ve misafir otoparkı ve 1. Merkezi dersliklerden sosyal alana erişim

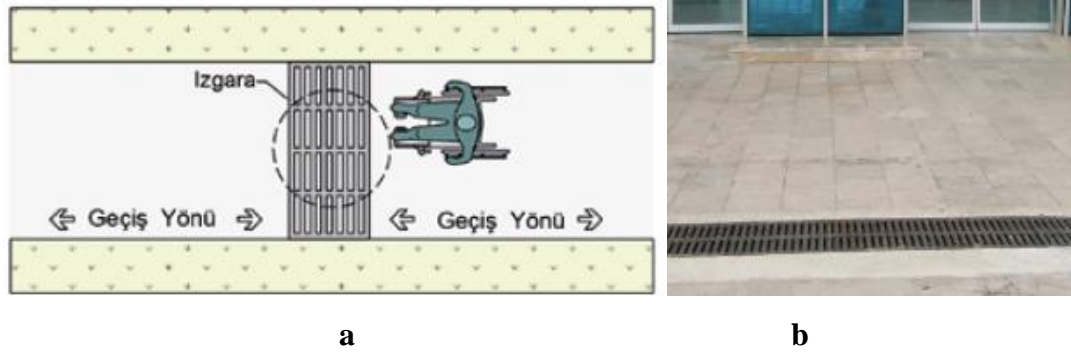
Binaya giriş rampasının bordürleri vardır (Şekil 12). Rampa kenarlarına rampa yüksekliği 150 mm'den az ise 5 cm yüksekliğinde bordür (Şekil 11), 150 mm'den fazla ve rampa uzunluğu 1830 mm'den uzun ize ise korkuluk yapılmalıdır [10].



Şekil 11. a)Koruma bordürü [11] b)Koruma bordürü örnekleri [10]

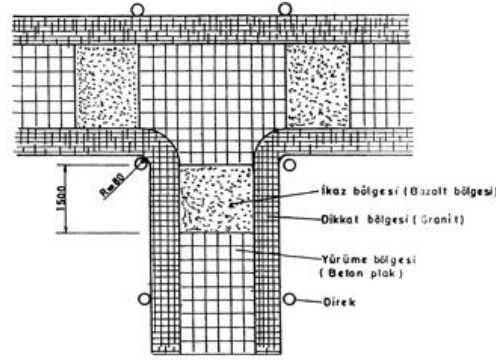
◆ Bahçe alanında mevcut durumu, yaşanan problemler ve çözüm önerileri

Bahçe girişindeki rampaya tabela ile yönlendirme yapılmamıştır. Bahçe yolunun yüzeyi engellilerin erişebilirliği açısından uygun malzeme ile kaplanmıştır. Ancak zamanla bazı yerlerde çukurlaşmalar meydana gelmiştir. Bu çukurlaşmalar uygun yöntemlerle düzeltilmelidir. Bahçe yürüyüş güzergahındaki yağmur suyu tahliye kanalları ızgaralarla kapatılmıştır. Ancak ızgaralar gidiş yönüne dik ve aralıkları 13 mm'yi geçmeyecek şekilde olmalıdır (Şekil 12a). Bu oluklar ve ızgaralar farklı yaralanmalara sebep olabilmektedir. Izgaralar gidiş yönüne paralel düzenlenmiş ancak gidiş yönüne dik olarak yeniden düzenlenmelidir (Şekil 13b).



Şekil 12. a) Olması gereken su olukları ve ızgara [10] b) Mevcut durumdaki ızgara

Görme engelliler için hissedilebilir yüzey bulunmamaktadır. Görme ve duyma engelliler için hissedilebilir yüzey, sesli ve ışıklı ikaz sistemleri mutlaka teçhiz edilmelidir (Şekil 13).



Şekil 13. TS 9111'e göre bahçe yolları kaplama malzemelerine örnek [11]

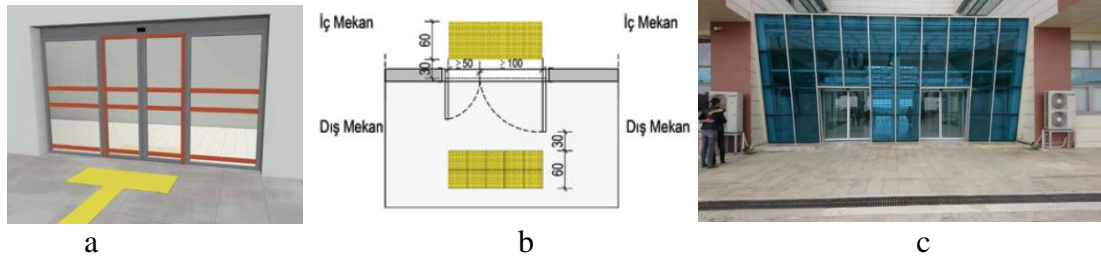
◆ Otopark alanlarında mevcut durumu, yaşanan problemler ve çözüm önerileri

Binaya ait iki adet otopark bulunmaktadır. Otoparkların her ikisine de uygun eğimli bir rampa ile girilmektedir. Bina girişinde kot farkı bulunmaktadır. Bu fark rampa ve tek basamakla geçilmektedir. Sosyal alana ayrıca öğrenci otoparkı ve servis araçlarının bulunduğu otoparktan girişte herhangi bir kot farkı bulunmamaktadır. Otoparkta engelliler için ayrılmış park alanı bulunmamaktadır (Şekil 14a). Otoparklarda girişe en yakın yerden olacak şekilde araç kapasitesine göre engelliler için yer ayrılmalı (en fazla 30m mesafede olmalı) bu alanın çeşitli işaretlemeler ile engellilere ayrıldığı belirtilmelidir (Şekil 14b).



Şekil 14. a) Sosyal yaşam alanı personel otoparkı ve spor tesisleri b) Olması gereken otopark düzenlemesi [10]

◆ Bina girişi mevcut durumu, yaşanan problemler ve çözüm önerileri



Şekil 15. a) Olması gereken giriş kapısı perspektif [10] b) Olması gereken giriş kapısı plan [10] c) Mevcut giriş kapısı

Bina girişi iyi aydınlatılmıştır (Şekil 15c). Binaya giriş rampası 15cm yükseklikte, genişlik 100 cm' den fazla, rampanın uzunluğu 95 cm, eğim %9 dur. Rampaların başlangıç ve bitiş manevra alanı (en az 152,5 cm çapında olmalı) uygundur. Geçilen yükseklik 15 cm olduğu için tırabzan gerektirmemektedir ve yanlarda bordür bulunmaktadır. Giriş kapısı otomatik açılır kapanır özelliktedir. Kapı ölçüleri standartlara uygundur. Bina girişindeki büyük cam yüzeylerde uyarıcı bantlar yoktur (Şekil 15c). Olası kazaları engelleyebilmek için cam yüzeylerde uyarıcı, dikkat çekici bantlar veya logolar kullanılabilir (Şekil 15a). Bu işaretlemeler 7,5 cm genişliğindeki zıt renkli bantlarla sağlanmalı ve bantlar yerden; 130 cm –140 cm yükseklikte birinci düzey, 90 cm - 100 cm yükseklikte ikinci düzey, 10 cm –30 cm yükseklikte üçüncü düzey (tavsiye) olacak şekilde hem iç ve hem de dış yüzeyde eklenmelidir (Şekil 15a). Şekil 15a'da gösterildiği gibi kapının her iki tarafına da hissedilebilir yüzey düzenlemesi yapılmalıdır. Kapı otomatik açılır sürme kapı olması nedeniyle kapanma süreleri ayarlanmalı ve sesli ikaz sistemi teçhiz edilmelidir.

◆ Bina içi düşey ve yatay sirkülasyon alanları mevcut durumu, yaşanan problemler ve çözüm önerileri

Bina içi yatay sirkülasyon ve mekânsal erişilebilirlik ile ilgili bir problem bulunmamaktadır. Aynı kat içinde kot farkı bulunmamakla birlikte koridorlar ve dolaşım alanları genişlikleri yeterlidir. Bina içi ışıklı acil çıkış yönlendirme işaretleri vardır (Şekil 16) ancak sesli yönlendirme işaretleri yoktur. Özellikle görme engelliler için gerekli yerlere sesli yönlendirme işaretleri de teçhiz edilmelidir. Yapının hiçbir yerinde hissedilebilir yürüme yüzeyi işaretleri bulunmamaktadır. Merdiven önü, mekân girişleri, asansör önleri gibi zeminde sürekliliğin kesildiği alanlar dahil yönlendirici hissedilebilir yüzeyler teçhiz edilmelidir.



Şekil 16. Fuaye alanı

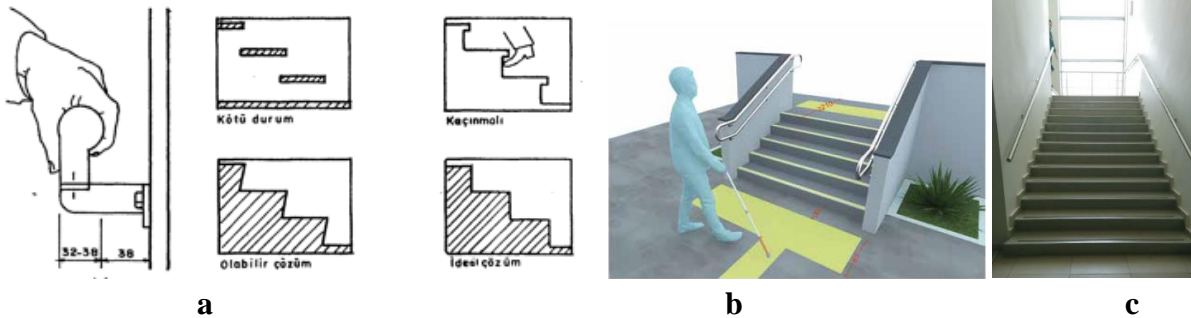
Bina düşey sirkülasyonu 2 asansör ve 2 aynı tip merdivenle sağlanmaktadır (Şekil 17). Asansör ölçüleri standartlara uygundur. Her katta asansör kapısının önü dolaşım ve manevra alanı (en az 152,5 cm çapında alan) için uygundur. Asansörlerde ikaz sisteminin yanında sim kartıyla sorumlu bakım elemanına yönlendirme bulunmaktadır. Asansör kontrol düğmeleri dikey konumdadır. Engellilerin kullanımını da düşünüldüğünde asansör içi yatay kontrol düğmelerinin kullanılması daha uygun olacaktır.

Asansörlerin aydınlatması yetersizdir. Aydınlatma güçlendirilmelidir. Görme engelliler için asansör kontrol düğmelerinde Braille yazısı ve sesli uyarıcılar yoktur (Şekil 17). Asansörlerin kat seviyesinde durma toleransı standartlara uygundur (+ - 13mm).



Şekil 17. Asansör girişi ve kontrol düğmeleri

Merdivende iki tarafta tırabzan bulunmakta ancak 70 cm yükseklikte bir tırabzan daha olması tavsiye edilmektedir (Şekil 18b). Ayrıca tırabzanların çapı olması gerekenden fazladır. TS9111'e göre 32-38mm olmalıdır (Şekil 18a) [11]. Merdivenlerde çıkıntı olmamalı Şekil 18b' de gösterilen ideal çözüme göre merdivenler düzenlenmelidir. Ayrıca merdivenler görme engelliler için yürüyüş istikametine dik olarak yerleştirilmelidir (yandan yaklaşım için). Merdiven önü hissedilebilir yüzeyler vb. uygun malzeme ve donanımlar ile belirtilmelidir (Şekil 17b). Basamaklarda 4-5 cm genişliğinde, merdiven rengine zıt ve merdiven boyunca uzanacak şekilde kaydırmaz bant uygulaması yapılmıştır (Şekil 18c).



Şekil 18. a) TS 9111'e göre tırabzan ve basamak [11] b) 70 ve 90 cm yüksekliğinde göre tırabzan c) Mevcut tırabzan

İç mekandaki merdivenlerde, basamak genişliği (derinliği) en az 27 cm, basamak yüksekliği (rıht yüksekliği) en fazla 16 cm, erişilebilirliğin sağlanması için ayrıca bir düzenleme varsa (rampa, asansör gibi) en fazla 18 cm olmalıdır (Erişilebilirlik Kılavuzu). Bina içi merdivenin basamak genişliği 30 cm, rıht yüksekliği 15 cm, kol genişliği ise 210 cm'dir. Dolayısıyla merdiven ölçülerinin erişilebilirlik açısından uygun olduğu söylenebilir. Merdiven altı görme engelliler için kazaya sebebiyet vermemek için kapatılmıştır. Acil durumda çıkışa yönlendirecek kolayca fark edilebilir ışıklı yönlendirme işaretleri vardır. Görülebilir ve işitilebilir acil durum alarmı vardır. Duvara dik ve tavana monte edilmiş levhalar uygun yüksekliktedir.

◆ **Personel ve Öğrenci yemekhaneleri mevcut durumu, yaşanan problemler ve çözüm önerileri**



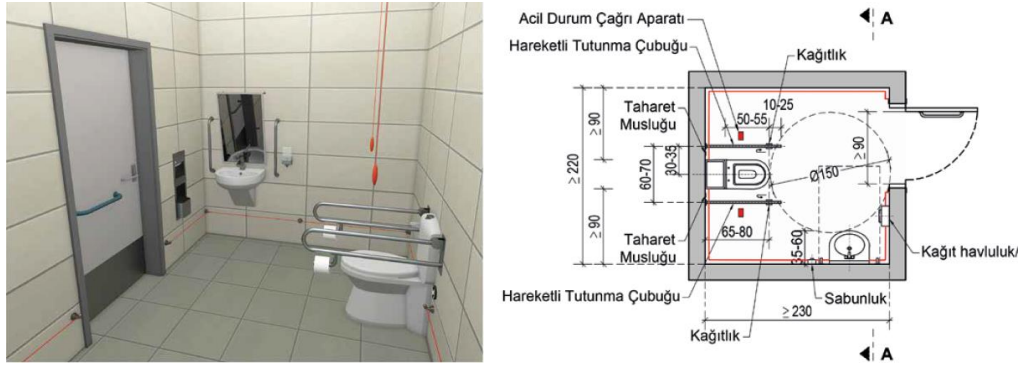
Şekil 19. Personel ve öğrenci yemekhaneleri

Gerek personel yemekhanesi gerekse de öğrenci yemekhanesinde zeminde sürekliliği kesecek kot farkı bulunmamaktadır (Şekil 19). Tekerlekli sandalye kullanan engelliler için en uygun yemek masası tipi dairesel masalardır. Bu nedenle personel yemekhanesinde bulunan masalar engelliler için daha uygundur. Her iki yemekhane de mekâna erişilebilirlik açısından uygundur. Her iki blokta bulunan asansörler sürekli çalışır haldedir. Engelli veya hareket güçlüğü çeken bireyler asansörler vasıtasıyla yemekhaneye ulaşımında herhangi bir zorluk yaşamamaktadır.

◆ **Lavabo ve Tuvaletlerin mevcut durumu, yaşanan problemler ve çözüm önerileri**

Erişilebilirlik Kılavuzuna göre 800m² den büyük yapılarda olması gereken engelli tuvaleti ve lavabosu Şekil 20' de verilmiştir. Engelli tuvalet ve lavabosu çok detaylı ölçüler içermekte olduğu

için ve bu makalenin konusu mekâna erişilebilirlik olduğundan detay ölçülere girilmemiş genel anlamda uygunluk izlenmiştir.



Şekil 20. 800 m² üstü yapılar için örnek tuvalet ve lavabolar [10]



Şekil 21. Engelli tuvalet ve lavaboları

Engelli tuvaletlerinden bir tanesi (toplam 6 adet) amacına uygun kullanılmamaktadır (Şekil 21). Her katta engelliler için ayrılmış tuvalet-lavabolar bulunmakta (Şekil 21), değerlendirme yapıldığı sırada bir engelli tuvaletinin depo olarak kullanıldığı görülmüş ancak diğer tuvalet-lavabolar ve sürekli temiz ve bakımlı tutulmaktadır.

Hizmet verilen her katta 2 tane olmak üzere 6 tuvalet vardır. Zemin katta 1 adet engelli tuvaleti bulunmaktadır. Engelli tuvaletinin ölçüleri genel olarak standartlara uygundur. Bina içerisindeki dolaşım alanları engellerden arındırılmış ve yeterli genişliktedir. Bina içerisinde kot farkı yoktur. Tüm sirkülasyon alanları iyi aydınlatılmıştır.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Üniversite yerleşkelerinde erişilebilirlik ile ilgili farkı yöntemlerle birçok çalışma mevcuttur. Bunlardan biri de “Evrensel Tasarım İlkeleri Kapsamında Üniversite Yerleşkesinde Erişebilirliğin İncelenmesi: ODTÜ Örneği”dir (12). Bu çalışmada Evrensel Tasarım ilkelerine göre erişilebilirlikler değerlendirilmiş ve Kampüs Mekânda Erişim Kriterlerine (YÖK “Engelsiz Kampüs Projesi”) göre analiz yapılmıştır. Bu ve benzer çalışmalarda elde edilen sonuçlar da birbirine benzerdir. Sorunlar çoğunlukla iç mekanlardan ziyade rampalar, kaldırımlar, otobüs durakları gibi dış mekân erişilebilirliğe ile ilgilidir.

Kırklareli Üniversitesi sosyal yaşam alanında birçok farklı işlevde alan bulunmaktadır. Dış mekanlarda sadece sosyal yaşam alanı ile sınırlandırıldığında zeminlerde kot farkı bulunmamasından dolayı engelliler için herhangi bir sorun teşkil etmemektedir. Ancak sosyal yaşam alanına ulaşmada sorunlar bulunmaktadır. Ayrıca otobüs duraklarında dolmuşlara biniş ve iniş gerekli düzenlemeler bulunmamaktadır. Bahçe alanında yönlendirme işaretleri mutlaka teçhiz edilmelidir. Yapı içinde 6 adet engelli lavabo-tuvalet bulunmaktadır. Yapı içinde gerek düşey sirkülasyon gerekse de yatay sirkülasyon, dolaşım alanları ve uygun kapı boşlukları açısından incelendiğinde büyük oranda engellilerin kullanımına uygun olduğu söylenebilir. Asansör kabin içi telefon eksikliği, giriş kapılarının cam olması, otoparklarda işaretlemelerin eksikliği vb. gibi birtakım sorunlar tespit edilmiş ve bu makalede çözüm önerileri sunulmuştur.

5378 sayılı kanuna göre “Hiçbir gerekçeyle engellilerin eğitim alması engellenemez” hükmü gereği başkaca herhangi bir yasal düzenlemeye gerek kalmadan engelliler için eğitimde fırsat eşitliği mutlaka sağlanmalıdır.

Kırklareli Üniversitesi bünyesinde Engelsiz Üniversite Koordinatörlüğü bulunmaktadır. Aynı zamanda Kırklareli Üniversitesi 3 farklı yapı ile ilgili turuncu bayrak ödülü almıştır. Bu durum üniversitenin erişilebilirliğe kayıtsız kalmadığının göstergesidir. Ancak yine de iyileştirmeye açık birçok yön bulunmaktadır. İyileştirmeye açık yönler tespit edilerek iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Teşekkür

Bu makalede çalışmalarını ile yardımcı olan “Herkes İçin Tasarım” dersi öğrencilerime katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Kaynaklar

[1] Tural. O., Üniversite Yerleşkeleri ve Erişilebilirlik. Avrasya Uluslararası Araştırmalar Dergisi, (2018) 6(15), s, 753-775. (Erişim Tarihi: 31.10.2021) <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/621945>

[2] “Engelliler Hakkında Kanun” (2005) Kanun Numarası: 5378 Kabul Tarihi : 1/7/2005 Yayımlandığı R.Gazete : Tarih: 7/7/2005 Sayı : 25868 Yayımlandığı Düstur : Tertip : 5 Cilt : 44

[3] Ünal. B., The Development of Disability Pride Through Challenging Internalized Idealist And Ableist Norms In Turkish Society: A Grounded Theory Study (Yayınlanmamış Doktora Tezi). ODTU Psikoloji Bölümü, Ankara. 2018.

[4] Menda. E, Engelsiz Türkiye İçin: Yolun Neresindeyiz? Mevcut Durum ve Öneriler, Sabancı Üniversitesi Yayınları ISBN: 978-605-4348-46-6 İstanbul, Mart 2013 (Erişim Tarihi: 31.10.2021) https://gazetesu.sabanciuniv.edu/sites/gazetesu.sabanciuniv.edu/files/2013/13019_sabanci_rapor_tr.pdf

[5] URL3, Engelli ve Yaşlı Bireylere İlişkin İstatistik Bülteni (Erişim Tarihi: 31.10.2020) <https://www.ailevecalisma.gov.tr/media/6204/bulten-mayis.pdf> (Erişim Tarihi: 31.10.2020)

[6] Ataman. A., Engelsiz Üniversite: Yasal Temeller, Engelsiz Üniversite Toplantı Sunumu, 2009 (Erişim Tarihi: 31.10.2020) http://www.yok.gov.tr/documents/10279/29816/engelsiz_universite_aysegul_ataman.pdf/2699c543-0e76-417c-b0bc-a855062c92fb

[7] URL2, Haber, Yök, Koronavirüs Salgını Döneminde Engelli Öğrencilerin Eğitime Erişimini Mercek Altına Aldı, (Erişim Tarihi: 31.03.2020) <https://engelsiz.yok.gov.tr/Sayfalar/Haberler/2020/engelsiz-erisim-engelsiz-egitim.aspx>.

[8] İlter. T., Erişilebilirlik ve Engelsiz Üniversite Kampüsleri. SD (Sağlık Düşüncesi ve Tıp Kültürü) Dergisi, Aralık-Ocak-Şubat 2016-2017, 41. sayı, S: 90-93. <https://www.sdplatform.com/Dergi/1004/Erisilebilirlik-ve-engelsiz-universite-kampusleri.aspx> (Erişim Tarihi: 31.03.2022).

[9] URL4, Kırklareli Üniversitesi Kayalı Yerleşkesi Haritası, http://uluslararası.klu.edu.tr/dosyalar/birimler/uluslararası/dosyalar/resimler/Kirklareli_Universitesi_Kayali_Yerleskesi_Planı.jpg (Erişim Tarihi: 31.03.2022).

[10] Erişilebilirlik Kılavuzu, T.C Aile Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı Engelli ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara, 2020.



[11] TS 9111 Özürlüler ve Hareket Kısıtlılığı Bulunan Kişiler İçin Binalarda Ulaşılabilirlik Gereklere, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Kasım 2011

[12] Arat, Y., ve Güner, M. (2020). Evrensel tasarım ilkeleri kapsamında üniversite yerleşkesinde erişilebilirliğin incelenmesi: ODTÜ Örneği. Euroasia Journal of Mathematics-Engineering Natural & Medical Sciences, 7(8), 210-229.

TEK VE ÇİFT KARE KUYU TELLERİNDE ELEKTRİK ALAN VE MANYETİK ALAN'IN ELEKTRONİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Mustafa ULAŞ^{1*}, Abbas GÜMÜŞ²

^{1*}Kırklareli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 39100 KIRKLARELİ

²Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Öz

Tek ve çift kare kuyu tel sistemine dışarıdan uygulanan elektrik ve manyetik alan etkisi altında elektronun bağlanma enerjisi hesaplandı. Bağlanma enerjisinin, tel sayısına ve dışarıdan uygulanan alan etkilerine bağıllığı gösterildi. Kare kuyu tel yapısı GaAs ve Al_xGa_{1-x}As yarıiletken malzemeden oluşturuldu. Tel yapıya elektrik alan artı x doğrultusunda ve manyetik alan ise eksi z doğrultusunda olacak şekilde seçildi. Hesaplama sonlu farklar yöntemi kullanıldı. Bağlanma enerjisinin farklı alanlar altında tel sayısına bağıllığı gösterildi. Ayrıca dışarıdan uygulanan alanların, elektronun gördüğü potansiyele ve elektronun bulunma olasılığına etkisi gösterilmiştir. Bu tür yapıların detaylı incelenmesi, hem yapının elektronik özelliklerinin teorik olarak anlaşılmasını sağlayacak, hem de teknolojik cihaz üretiminde daha ekonomik bir yol gösterecektir.

Anahtar Kelimeler: Kare kuantum kuyu teli, bağlanma enerjisi, elektrik alan, manyetik alan.

THE EFFECT ON ELECTRONIC PROPERTIES OF ELECTRIC FIELD AND MAGNETIC FIELD IN SINGLE AND DOUBLE SQUARE QUANTUM WELL WIRES

Abstract

Hydrogenic foreign atom binding energy was calculated under the effect of electric and magnetic field applied externally to the single and double square well wire system. The dependence of the binding energy was shown on the number of wires and the effects externally applied field. The square well wire structure was formed from GaAs and Al_xGa_{1-x}As semiconductor material. The wire structure was selected so that the electric field was in the plus x direction and the magnetic field was in the minus z direction. The finite difference method was used in the calculation. The dependence of the binding energy on the number of wires under different fields was shown. In addition, the effect of externally applied fields on the potential seen by the electron and the probability of finding the electron has been shown. A detailed study of such structures will allow both to theoretically understand the electronic properties of the structure, and to show a more economical way of manufacturing technological devices.

Keywords: Square quantum well wire, binding energy, electric field, magnetic field

*Sorumlu Yazar: Mustafa ULAŞ, mustafa.ulas@klu.edu.tr

1.GİRİŞ

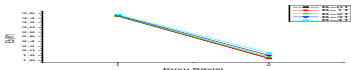
Düşük boyutlu yapılardaki teknolojik gelişmeler, ileri düzey çok katmanlı düşük boyutlu yapıların kolaylıkla yapılabilmesine imkân sağlamıştır. Günümüzün teknolojik cihazlarının üretilmesinde ve geliştirilmesinde düşük boyutlu yapı tekniği önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle düşük boyutlu yarıiletken yapıların fiziksel ve optik özelliklerinin anlaşılması son yıllarda birçok bilim insanı tarafından çalışılan popüler bir alan haline gelmiştir. Bu alanda yapılan önemli çalışmalardan bazılarında hidrojenimsi yabancı atom durumları ve bağlanma enerjisi teorik olarak hesaplanmış, bağlanma enerjisinin tel kalınlığı ile değişimi gösterilmiştir [1,2]. Dışarıdan uygulanan alanların bağlanma enerjisi ve tel geometrisi üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir [3-12].

Son yılların popüler çalışmaları ise eşit potansiyel engelli simetrik ve asimetrik kuantum yapılarında elektron geçişleri, lazer alan altında incelenmiş, potansiyel profilleri ve geçiş katsayısının lazer giydirme parametresine bağlılığı gösterilmiştir [13,14].

Bu çalışmada tekli ve çift kare kesitli kuantum kuyu tellerinde bulunan bir elektronun, sonradan bu yapıya katılan yabancı bir atoma bağlanma enerjisi, tel sayısına, dışarıdan uygulanan elektrik ve manyetik alan şiddetine bağlılığı, sonlu farklar yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır.

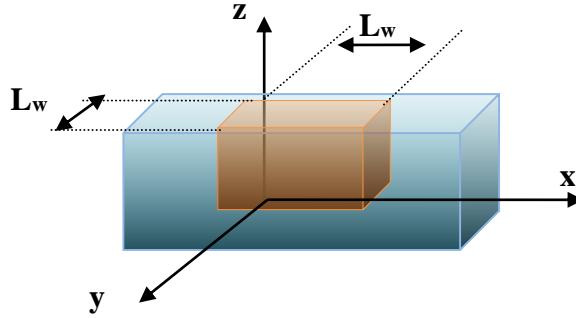
2.TEORİ

Kare kesitli GaAs/Al_xGa_{1-x}As kuantum teli içindeki bir elektronun, etkin kütle yaklaşımı altında Hamiltonyen'i



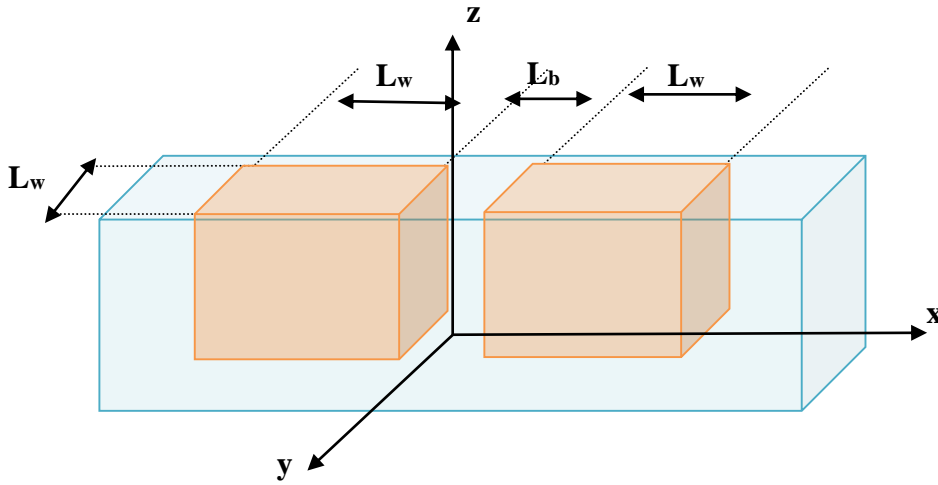
(1)

Burada $V(x,y)$, elektronun yapı içerisinde (x ve y yönünde) hareket ederken gördüğü potansiyeldir. Bu da sırasıyla tek ve çift kare kuantum kuyu teli için



Şekil 1.a: Tek kare kuantum kuyu telinin şematik gösterimi.

$$V(x,y) = \begin{cases} 0 & |x| \leq \frac{L_w}{2} \text{ ve } |y| \leq \frac{L_w}{2} \\ V_0 & \text{Diğeryerlerde} \end{cases} \quad (2)$$



Şekil 1.b: Çift kare kuantum kuyu telinin şematik gösterimi.

$$V(x,y) = \begin{cases} 0 & \frac{L_B}{2} \leq |x| \leq \frac{L_B}{2} + L_w \text{ ve } |y| \leq \frac{L_w}{2} \\ V_0 & \text{Diğeryerlerde} \end{cases} \quad (3)$$

ile verilir. Kuantum tel yapısına artı x yönünde elektrik alanı ve eksi z doğrultusunda düzgün manyetik alan uygulandığında Hamiltonyen denklemi, etkin Rydberg $R^* = (m^* e^4 / 2\epsilon_0^2 \hbar^2)$ ve etkin Bohryarıçapı $a^* = (\epsilon_0 \hbar^2 / m^* e^2)$ boyutunda aşağıdaki gibi olur.

$$H = - \left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right] + \frac{\gamma^2}{4} (x^2 + y^2) + \eta x \quad (4)$$

Burada $\eta = |e|a^*F\left(\frac{kV}{cm}\right)R^*$ ile verilir. Burada dışarıdan üniform şekilde uygulanan manyetik alandan dolayı potansiyele gelen katkı terimindeki ve manyetik alan şiddetini betimleyen $\gamma = (e h B(Tesla))/(2m^*cR^*)$ ile verilir.

Elektronun taban durumu enerjisi $[E]$ değerini ve dalga fonksiyonunu $[\psi(x,y)]$ bulmak için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$H\psi(x,y) = E\psi(x,y) \quad (5)$$

Bu iki boyutlu diferansiyel denklemden, sonlu farklar nümerik yöntemi kullanılarak, taban durum enerji özdeğeri ve öz vektörü bulunur.

Bu yapıya yabancı atom katıldığında, elektron ile yabancı atom etkileşmesini içeren Hamiltonyen denklemini aşağıdaki gibi dir.

$$H_{imp} = H - \frac{2}{\sqrt{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2+z^2}} \quad (6)$$

Denklemdaki x_i ve y_i ise hidrojenimsi yabancı atomun sistemdeki koordinatıdır. Bu çalışmada x_i ve y_i sistemin merkezinde alınmıştır ($x_i = 0$ ve $y_i = 0$). Bu diferansiyel denklemin çözümü için aşağıdaki gibi varyasyonel deneme dalga fonksiyonu kullanılmıştır. Bu dalga fonksiyonu

$$\psi_{imp}(x,y,z) = N_{imp}\psi(x,y)e^{-\frac{\sqrt{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2+z^2}}{\lambda}} \quad (7)$$

ile verilir. Buradaki N_{imp} . Deneme dalga fonksiyonunun normalizasyon sabiti, λ deneme dalga fonksiyonunun varyasyonel parametresidir. Yapının içinde bulunan elektronun yabancı atom enerjisi

$$E_{imp} = \left\{ \frac{\langle \psi_{imp}(x,y,z) | H_{imp} | \psi_{imp}(x,y,z) \rangle}{\langle \psi_{imp}(x,y,z) | \psi_{imp}(x,y,z) \rangle} \right\}_{\lambda_{minimum}} \quad (8)$$

ile verilir. Sistem içindeki bir elektronun yabancı atoma bağlanma enerjisi ise

$$E_b = E - E_{imp}$$

$$\cong -\frac{1}{\lambda^2} + \frac{2A}{B}$$

$$A = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (\psi^2(x, y) K_0(2\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}/\lambda)) dx dy$$

$$B = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (\psi^2(x, y) \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} K_1(2\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}/\lambda)) dx dy \quad (9)$$

ile hesaplanır. Burada sırası ile K_0 ve K_1 sıfıncı ve birinci dereceden düzeltilmiş Bessel fonksiyonlarıdır.

3. SONUÇ ve TARTIŞMA

GaAs/Al_xGa_{1-x}As tek ve çift kuantum kuyu tellerinde sabitleri, $a^* \cong 100 \text{ \AA}$ ve $R^* \cong 5.7 \text{ meV}$, Al konsantrasyonu $x=0.3$ olarak alındı. Bu değerler dikkate alındığında potansiyel bariyeri yaklaşık $V_0=224 \text{ meV}$ değerine karşılık gelir.

Şekil 2a' da farklı manyetik alan şiddetlerine göre tellerdeki elektronun yabancı atoma ($x_i=0, y_i=0$) bağlanma enerjisi gösterilmiştir. Bu grafikte sadece dışarıdan farklı manyetik alan ($B=0, 1, 2, 3, 4$ Tesla) uygulanmış ve bağlanma enerjisinin tel sayısına göre değişimi incelenmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi bağlanma enerjisi, bir telli yapıda artarken, iki telli yapıda azalmaktadır. İki telli yapıda, teller simetrik olduklarından iki tel arasında kalan elektron daha zayıf bağlanma görmektedir. Şekil 2b de farklı elektrik alan şiddetlerine göre tellerdeki elektronun yabancı atoma ($x_i=0, y_i=0$) bağlanma enerjisi gösterilmiştir. Bu grafikte sadece dışarıdan farklı elektrik alan ($F=0, 10, 20, 30, 40 \text{ kV/cm}$) uygulanmış ve bağlanma enerjisinin kuyu sayısına göre değişimi incelenmiştir. Görüldüğü üzere, dışarıdan uygulanan artı x doğrultusundaki elektrik alan, elektronun bağlanma enerjisini beklendiği gibi düşürmüştür. Çünkü elektrik alanın, elektronun gördüğü potansiyeli değiştirmesi ile elektronun merkezden yabancı atomdan) uzaklaştırarak (uygulanan alanın tersi yönde) bağlanma enerjisinin azalmasına neden olmuştur.

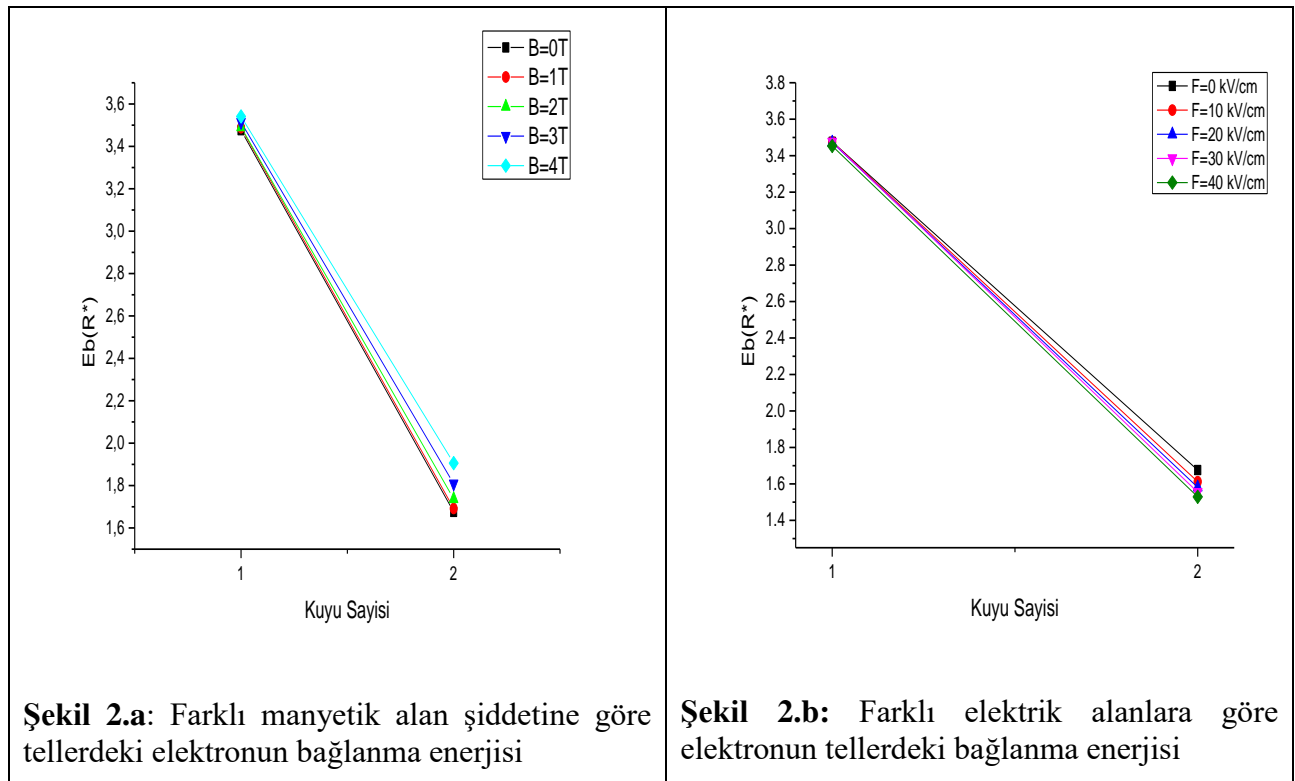
Şekil 3a' da bir tel için farklı manyetik alan şiddetlerine ($B=0, 1$ Tesla) göre bir teldeki elektronun, yabancı atoma ($x_i=0, y_i=0$) bağlanma enerjisinin, elektrik alan ile değişimi gösterilmiştir. Bu

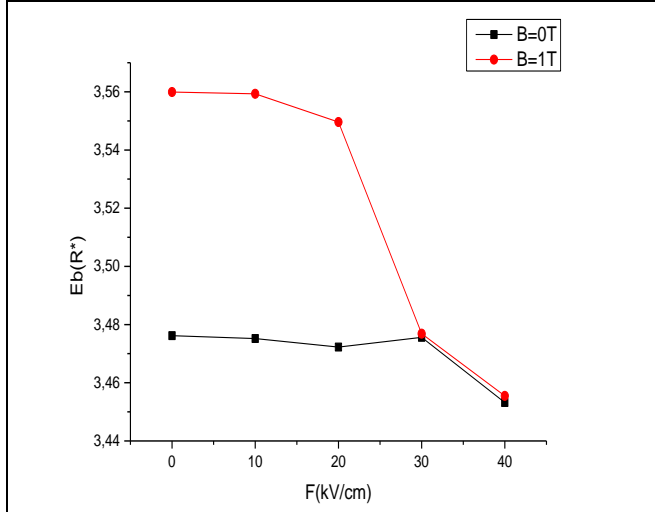
grafikte sadece dışarıdan farklı manyetik alan ($B=0, 1$ Tesla) uygulanmış ve bağlanma enerjisinin elektrik alanla değişimi incelenmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi bağlanma enerjisi, manyetik alan sıfırken, düşük elektrik alanlarda fazla bir değişiklik göstermezken, elektrik alan 30 kV/cm den sonra ani bir azalma göstermiştir. Bu ise yukarıda belirttiğimiz sebebin sonucudur. Ancak manyetik alan sıfırdan farklı ($B=1 \text{ T}$) olduğunda, bağlanma enerjisinin arttığını ve belli bir değerden sonra hızlı bir düşüş yaparak elektrik alanla benzer etki gösterdiği gözlenmiştir. Bunun sebebi ise elektrik alan elektronu merkezden uzaklaştırırken (elektronun gördüğü potansiyel profilini değiştirdiğinden.) manyetik alan ise tam tersi etki yapmasındandır. Elektrik alanın büyük olduğu durumda ise bağlanma azalmaktadır. Buda beklenen bir durumdur. Şekil 3b' de bir kuyu için farklı elektrik alan şiddetlerine ($F=0, 40 \text{ kV/cm}$) göre bir kuyudaki elektronun, yabancı atoma ($x_i=0, y_i=0$) bağlanma enerjisinin manyetik alanla değişimi gösterilmiştir. Bu grafikte sadece dışarıdan farklı elektrik alan ($F=0, 40 \text{ kV/cm}$) uygulanmış ve bağlanma enerjisinin manyetik alanla değişimi incelenmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi manyetik alan, elektronu yabancı atoma doğru iterek bağlanma enerjisini artırırken, elektrik alan ($F=40 \text{ kV/cm}$) tam tersine elektronu yukarıda ifade ettiğimiz gibi elektronu merkez dışına iterek bağlanma enerjisini düşürmüştür.

Şekil 4a'da çift tel için farklı manyetik alan şiddetlerine ($B=0, 1 \text{ T}$) göre yapıdaki elektronun, yabancı atoma ($x_i=0, y_i=0$) bağlanma enerjisinin elektrik alanla değişimi gösterilmiştir. Bu grafikte sadece dışarıdan farklı manyetik alan ($B=0, 1 \text{ T}$) uygulanmış ve bağlanma enerjisinin elektrik alanla değişimi incelenmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi tel sayısını birden ikiye çıkarmak bağlanma enerjisinin yaklaşık yarıya düşmesine neden olmuştur. Aynı şekilde manyetik alan bağlanmayı artırırken, elektrik alan azaltıcı yönde etki etmektedir. Şekil 4b'de çift tel için farklı elektrik alan şiddetlerine ($F=0, 40 \text{ kV/cm}$) göre yapıdaki elektronun, yabancı atoma ($x_i=0, y_i=0$) bağlanma enerjisinin manyetik alanla değişimi gösterilmiştir. Bu grafikte de sadece dışarıdan farklı elektrik alan ($F=0, 40 \text{ kV/cm}$) uygulanmış ve bağlanma enerjisinin manyetik alanla değişimi incelenmiştir. Burada da tel sayısının birden ikiye çıkarılması bağlanma enerjisinin yaklaşık yarıya düşmesine neden olmuştur. Aynı şekilde manyetik alan ve elektrik alan, bağlanma enerjisine yukarıda bahsedildiği gibi etki etmiştir. Buda beklenen sonuçtur.

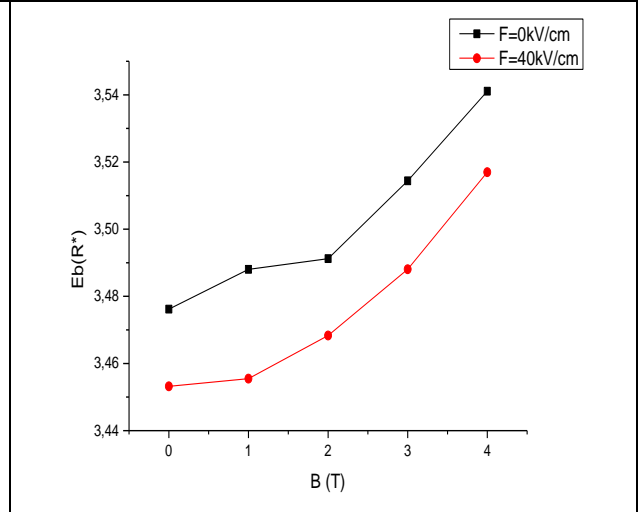
Şekil 5a'da ikili tel yapıya dışarıdan bir etki olmadığında elektronun gördüğü potansiyel profili, Şekil 5b' de ise aynı şartlarda elektronun bulunma olasılığı. Şekil 5c'de ikili tel yapıya dışarıdan

uygulanan artı x doğrultusundaki elektrik alan, elektronun gördüğü potansiyeli değiştirmiştir. Bu ise merkez de yoğunlaşan elektronu sol tarafa doğru (eksi x doğrultusunda) çekerek yabancı atomdan uzaklaştırmıştır. Şekil 3a ve şekil 4a’da net olarak görülen bağlanma enerjisini azaltma bundan dolayıdır. Şekil 5d ikili tel için $F=40$ kV/cm altında elektronun bulunma olasılığıdır. Şekil 5e’de dışarıdan uygulanan eksi z doğrultusunda 1 T değerindeki manyetik alan, elektronun gördüğü potansiyeli değiştirerek daha önce merkezden uzaklaşan elektronu, merkeze doğru çekerek yabancı atoma yaklaştırmış ve bağlanma enerjisini artmıştır. Bu da şekil 3b ve şekil 4b’de görülebilir.

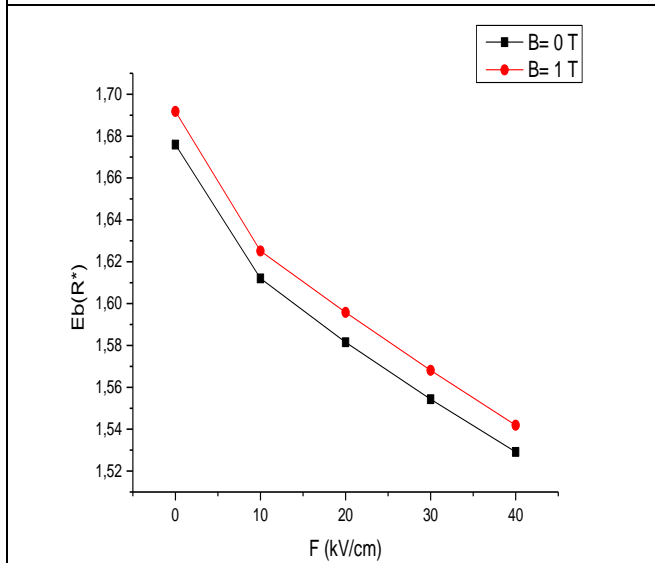




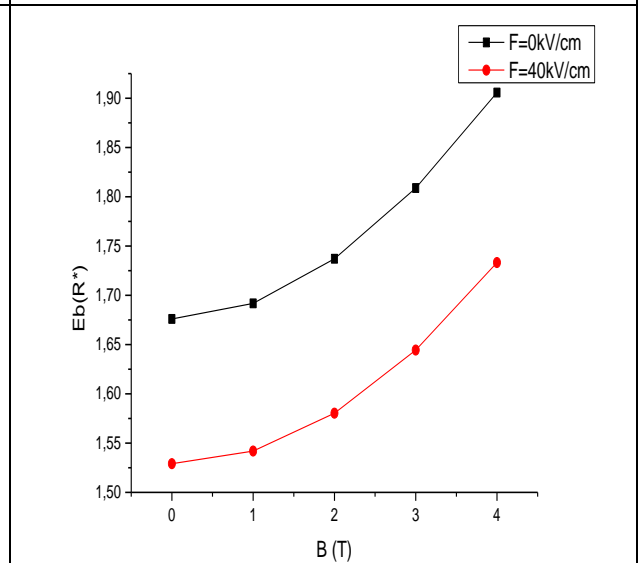
Şekil 3.a: Tek kuyu teli için farklı manyetik alanlar altında (B= 0,1 T) bağlanma enerjisinin elektrik alanla değişimi.



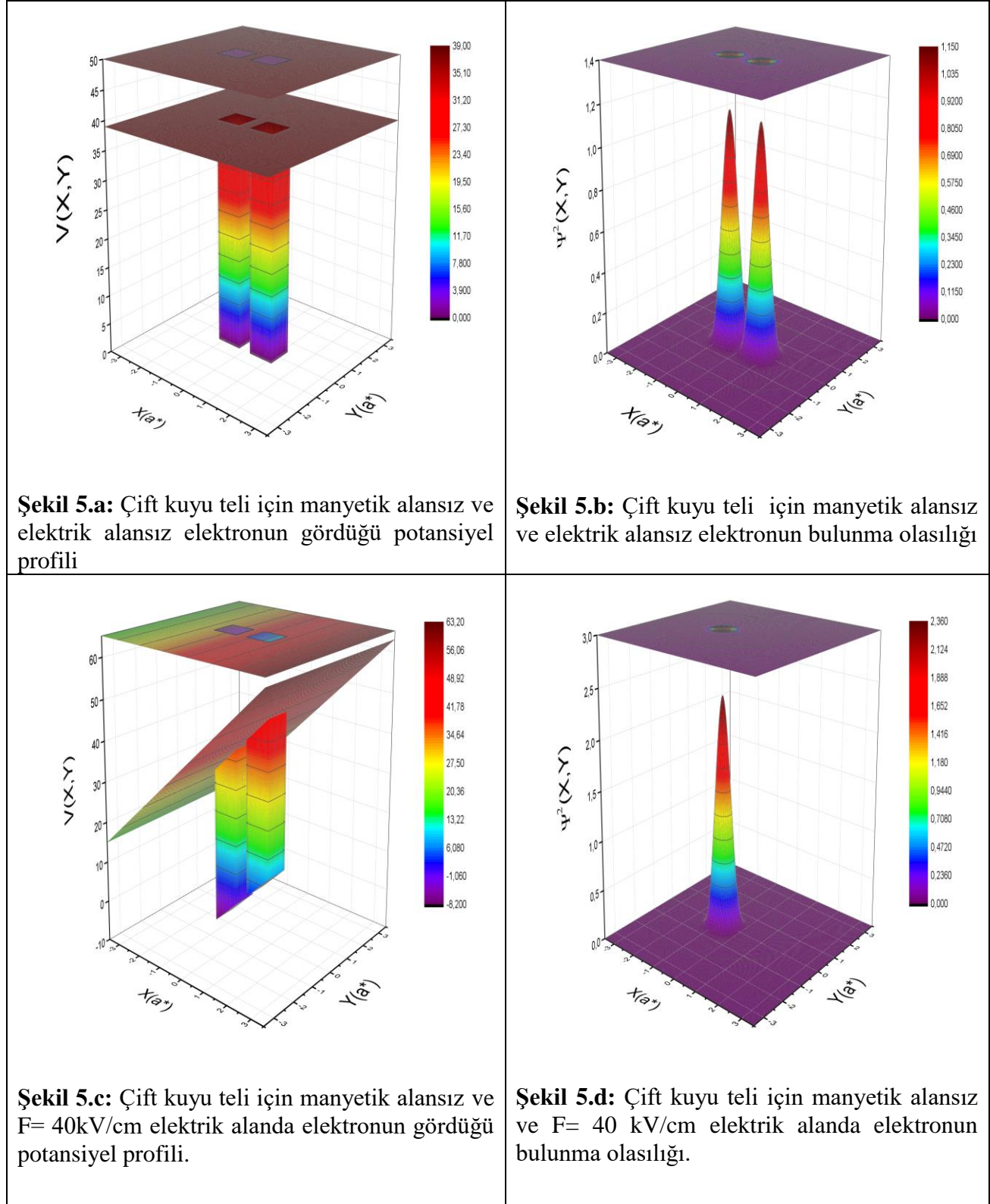
Şekil 3.b: Tek kuyu teli için farklı elektrik alanlar altında (F= 0, 40 kV/cm) elektronun bağlanma enerjisinin manyetik alanla değişimi.

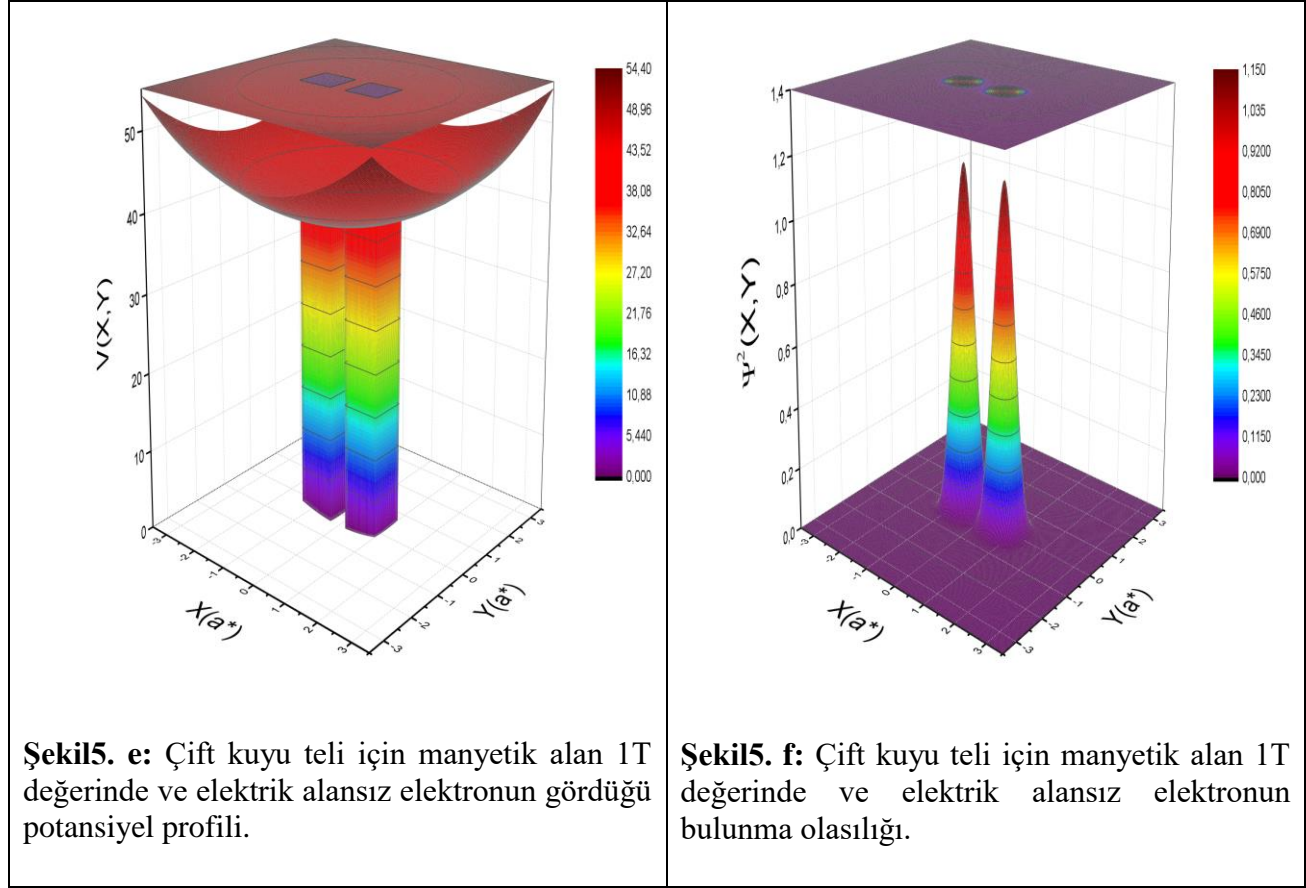


Şekil 4.a: Çift kuyu teli için farklı manyetik alanlar altında (B=0,1 T) bağlanma enerjisinin elektrik alanla değişimi.



Şekil 4.b: Çift kuyu teli için farklı elektrik alanlar altında (F=0,40 kV/cm) elektronun bağlanma enerjisinin manyetik alanla değişimi.





SEMBOLLER

E: Elektronun enerjisi

F: Elektrik alan şiddeti

B: Manyetik alan şiddeti

H: Hamiltonien

K: Düzeltilmiş Bessel fonksiyonu

L_B: Engel genişliği

L_w: Kuyu genişliği

V: Elektronun gördüğü potansiyel

λ : Varyasyon parametresi

Ψ : Dalga fonksiyonu

KAYNAKLAR

- [1] CHUU, D.S., HSIAO, C. M., MEI, W.N., Hydrogenic Impurity States Inquantum Dots Andquanyum Wires, Physical Review B, 46, 3898-3905, 1992.
- [2] BOUHASSOUNE, M., CHARROUR, R., FLİYOU, M., BRİA, D., NOUGAOUI, A., Binding energy of shallow impurities in polar quanyum well wire. Physica B, 304, 389-397, 2001.
- [3] M. ULAŞ (a), H. AKBAS (a), and M. TOMAK (b) ShallowDonors in a QuantumWellWire: ElectricFieldandGeometricalEffects, Tr. J. of Physics 22, 369 (1998).
- [4] CHAO, H.T., TRANTHOAI, D.B., Effect of the Electric Field On a Hydrogenic Impurity in a Quantum Wires. Physica B, 205, 273-278, 1995.
- [5] ULAS, M., AKBAS, H., TOMAK, M., Shallow donors in a quantum well wire: Electric field and geometrical affects. Phys. Stat. Sol., 200, 67-73, 1997.
- [6] MONTES, A., DUQUE, C. A, PORRAS-MONTENEGRO, N. Densityof Shallow Donor Impurity States in Rectangular Cross Section GaAs Quantum Well Wires Under Applied Electric Field, J. Phyc. Condens. Matter, 11, 5351-5358, 1998.
- [7] OKAN, S. E., AKBAS, H., TOMAK, M., Binding energies of Helium-Like Impurities in Parabolik Quantum Wells Under an Applied Electric Field. Superlattice and Microstructures, 28, 171-176, 2000.
- [8] AKTAS, S., OKAN, S. E., AKBAS, H., Electric Field Effect On the Binding Energy of a Hidrogenic Impurity in A Coaxial GaAs/Al_xGa_{1-x} as Quantum Well Wires. Superlattice and Microstructures, 30, 129-134, 2001.
- [9] AKTAS, S., Boz, F., The Binding Energy of a Hidrogenic Impurity in Triple GaAl/Al_xGa_{1-x} Quantum Well Wires Under Applied Electric Field. Trakya Univ. J.Sci., 5(2), 159-165, 2004.
- [10] Ulas, M., ERDOĞAN, I., ÇİÇEK, E., SENTURK DALGIC, S. Self polarization in GaAs-(Ga, Al)As quantum well wires: electric field and geometrical effects. Physica E, 25, 515-520, 2005
- [11] ULAŞ, M. ve UYAR, H. Üçlü Kuantum Telinde Elektrik Alan Ve Lazer Alan'nın Elektronik Özelliklere Etkisi, Kırklareli Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6 (1), 2020
- [12] ULAŞ M. ve DÖNMEZER, I. Üçlü Kuantum Telinde Manyetik Alan Ve Lazer Alan'nın Elektronik Özelliklere Etkisi, Kırklareli Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6 (1), 2020
- [13] AKTAS, S., BİLEKKAYA, A., BOZ, F. K. OKAN, S. E., Electron Transmission in Symmetric and Asymmetric Double-Barrier Structure Controlled by Laser Field, Superlattices and Microstructures, 85, 266-273, 2015.
- [14] AKTAS, S., KES, H., BOZ, F.K., OKAN, S. E., Control of a resonant tunneling structure by intense laser field. Superlattices and Microstructures, 98, 220-227, 2016.

KİRLETİCİ PARAMETRELERİN ATMOSFERDEKİ YOĞUNLUKLARINA DAİR SINIR DEĞERLER: ÖRNEK ÇALIŞMA MUŞ İLİNİN HAVA KİRLİLİĞİ

Zinnur YILMAZ^{1*} , Mustafa Bünyamin KARAGÖZOĞLU¹ , Berk KÖKER¹ 
Sefa Furkan SELÇUK¹ 

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 58140, Merkez/Sivas-Türkiye

Öz

Hem iklim değişikliğinin bir girdisi, hem de bir çıktısı durumunda olan hava kirliliği, canlı yaşantısını ve çevresel dengeyi etkileyen önemli bir çevre sorunudur. Hava kirliliği canlı sağlığına ve çevreye olumsuz yönde etki etmektedir. Avrupa’da hava kirletici sınır değerleri son on yıllarda önemli ölçüde düşürülmüş ve bu durum hava kalitesinde iyileşme ile sonuçlanmıştır. Fakat hala hava kirleticilerin değerleri oldukça yüksektir ve hava kalitesiyle olan sorunlar devam etmektedir. Yasal düzenlemelerle belirlenen hava kirleticilere ait ölçülen değerler düzenli ve planlı olarak izlenmeli, canlı sağlığını olumsuz yönde etkilediği zaman acil müdahale mekanizmaları devreye girmelidir. Bu nedenle çalışmada 2012- 2021 yılları arasında Muş ilinin hava kalitesi düzeylerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Araştırmada PM10 ve SO₂ parametrelerin yıl, mevsim, ay, gün ve saatlik değerleri olarak hesaplanmış ve ölçümler birbirleriyle karşılaştırılmıştır. PM10 (40 µg m⁻³) ve SO₂ (20 µg m⁻³) değerlerinin Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğinde belirlenen yıllık ortalama değerleri genellikle aştığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hava Kirliliği, PM10, SO₂, sınır değer

LIMIT VALUES FOR THE DENSITY OF POLLUTANT PARAMETERS IN THE ATMOSPHERE: SAMPLE STUDY AIR POLLUTION OF MUŞ PROVINCE

Abstract

Air pollution, which is both an input and an output of climate change, is an important environmental problem that affects living life and environmental balance. Air pollution has a negative effect on live health and the environment. Air pollutant limit values in Europe have been significantly reduced in recent decades, resulting in improved air quality. But the values of air pollutants are still quite high and problems with air quality continue. The measured values of air pollutants determined by legal regulations should be monitored regularly and planned, and emergency response mechanisms should be put in place when it adversely affects live health. Therefore, in this study, it is aimed to determine and evaluate the air quality levels of Mus province between 2012 and 2021. In the study, PM10 and SO₂ parameters were calculated as year, season, month and hourly values and measurements were compared with each other. PM10 (40 µg m⁻³) and SO₂ (20 µg m⁻³) were generally found to exceed the annual average values set out in the Air Quality Assessment and Management Regulation.

Keywords: Air Pollution, PM10, SO₂, limit value

*Sorumlu Yazar: Zinnur YILMAZ, zinnuryilmaz@cumhuriyet.edu.tr

1. GİRİŞ

Dünyadaki çevre sorunlarından en önemlilerden biri hava kirliliğidir. Sanayi ve üretime dönük fabrikalarının sayısındaki artış, atık hava ve baca gazı tozunu gidermek için düşük enerji tüketimi ve tek seferde büyük miktarda havayı temizleyebilecek olan filtrelerin kullanılması gerekirken bu özellikleri taşımayan kalitesiz filtrelerin kullanılması en büyük hava kirliliği nedenleri arasındadır. Ayrıca taşıtların fosil yakıtlı araçların yanma sonucunda egzoz emisyonlarından çıkan hidro karbon (HC), azot oksit bileşikleri (NOx), partikül madde (PM), karbon monoksit (CO) ve karbondioksit (CO₂) oluşumuna neden olan duman ve ısınmak amacıyla kullanılan hidrokarbon ve yüksek oranlarda karbon içeren doğal enerji kaynağı olan fosil yakıtlar da havada bulunan oksijenin azalmasına sebep olmaktadır [1-3]. Çünkü tüm fosil yakıtlar yandığında CO₂ açığa çıkarır, böylece iklim değişikliğini hızlandırır. Yanan kömür, petrol ve türevleri, atmosferik partikül maddesine, dumana ve asit yağmuruna katkıda bulunur. Hava kirliliği, atmosferin doğal özelliklerini olumsuz yönde etkileyen fiziksel, kimyasal veya biyolojik ajanla/larla ortamların kirlenmesidir [4]. Ayrıca hava kirliliği, volkanik patlamalar, ormanlarda çıkan yangınlar, yer hareketleri gibi doğal afetlerden oluşabileceği gibi, ulaşım, endüstrileşme, ısınma ile enerji üretimi gibi antropojenik kökenli de oluşabilmektedir. Nüfusun artmasıyla birlikte artan kentleşme ve sanayileşme gibi çevre sorunları da hava kirliliğine katkıda bulunmaktadır [5]. Bu aşamada, hava kalitesi izleme istasyonları ile hava kirliliği modellenmesi için yapılan çalışmalar, oluşabilecek tehlikeleri göstermek ve hızlı bir şekilde müdahale etme de kullanılan önemli araçlardır. Yasal düzenlemelerle kirleticilerin atmosferdeki konsantrasyon sınır değerleri, bu araçlarla sürekli ve planlı şekilde izlenmeli, kirlilik canlı sağlığını tehdit edecek kritik boyutlara ulaştığında acil bir şekilde müdahale edilmelidir. Türkiye'de 1950'lerde başlayan sanayileşme ile birlikte hava kirliliği, şehirleşmenin de hızlanmasına bağlı olarak önemli bir çevre ve sağlık sorunu haline gelmiş ve ilk kez kirletici verileri 1960'lı yıllarda kayıt altına alınmıştır [6,7]. Türkiye'de hava kirliliğini ölçen istasyonlar yıl içinde Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) tavsiye ettiği kirletici limit değerlerini çoğunlukla aşmaktadır.

Hava kirliliği incelenmesinde kullanılmakta olan "Hava Kalitesi İndeksi" kirletici ölçümü yapılan alandaki hava kalitesinin nitelenmesinde kullanılan indekstir. 2015 yılı için Türkiye'de yönetmelikçe izin verilen PM10 sınır değerine göre, 81 şehrin 43 (%53)'ünün; AB'nce izin verilen

hava kalitesi sınır değerine göre ise 19'unun (%33), bu sınır değerlerin altında hava kalitesine sahip olduğu raporlanmıştır [8]. Son yıllarda hem toplumsal sağlık hem de sosyal hayat kalitesi açısından bakıldığında hava kirliliğiyle yapılan mücadeleye rağmen metropollerde hava kalitesini belirleyen kabul edilebilir değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir [9]. 2020 yılında Türkiye'de hava kirliliği için 72 ilin partikül madde değerlerine (PM10) bakıldığında 45 ilde ulusal sınır değerleri aştığı görülmüştür.

Türkiye'deki hava kirliliği, genellikle ısınmak için kullanılan yakıtlarla ve motorlu araçlarla ilişkilidir. Ayrıca endüstrilerden çıkan emisyonlardaki kirlleticiler de bu kaynaklara eklenmektedir [10]. Hava kalitesini bozan çeşitli hava kirleticileri arasında kükürt dioksit (SO₂), asılı parçacıklar (PM) ve diğer atmosferik kirleticiler gelmektedir. Bu nedenle bu parametrelerin havadaki kütle konsantrasyonlarının araştırılması, kentsel hava kalitesinin izlenmesi için önemlidir [11]. Türkiye'de hava kirliliği genellikle SO₂ ve PM10 parametrelerinin değerlerinin ölçülmesiyle belirlenmektedir [12]. Diğer hava kirleticiler ise ülke genelinde çok az noktada ölçülmektedir.

Havadaki partikül madde insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen en önemli kirleticilerden biridir. Partikül madde (PM), katı ve sıvı damlacıkların karışımından oluştuğu gibi havada farklı boyutlarda olabilmektedir. PM10'daki "10", aerodinamik çapları 10 µm'den küçük olan toz parçacıklarını belirtmektedir [13]. PM10, kimyasal bileşiklerin karmaşık bir karışımıdır ve hem birincil hem de ikincil kökenli olabilir: birincil PM10 doğrudan kaynaklardan yayılırken ikincil PM10, esas olarak SO₂, NO_x, NH₃ ve VOC'ler dahil olmak üzere (öncü) gazların emisyonlarının kimyasal reaksiyonlarından, yoğunlaşmasından ve pıhtılaşmasından oluşmaktadır [14]. Kentsel alanlarda, karayolu taşımacılığı ve ısıtma tesisleri, PM10 emisyonuna katkıda bulunan ana unsurlar olarak bilinmektedir [15]. Birçok Avrupa ülkesinde evsel ısıtma için artan kalitesiz yakıt kullanımının da önemli bir partikül madde kaynağı olduğu kanıtlanmıştır [16]. PM10, solunum sorunlarına, bronşite, astım, akciğer veya kalp sorunlarına, göz, boğaz ve burun tahrişlerine neden olurken ve üst ve alt solunum sistemi hastalıkları arasında doğrusal bir ilişki söz konusudur. PM10 ve çapı 10 mikrometreden küçük diğer tanecikler akciğerlere ulaşarak iltihaplanmaya ya da insanları çok olumsuz etkileyecek kalp ve akciğer hastalıklarına neden olabilirler [16–19].

SO₂, genellikle fosil yakıtlar ile biyokütle yanması ve kükürt içeren cevherlerin eritilmesi gibi antropojenik faaliyetlerden ve ayrıca endüstri için yapılan uygulamalar, ısınmak için kullanılan

yakıtlar, enerji elde edebilmek için termik santraller ve belli bir miktar da dizel yakıtlı araçların kullanımından kaynaklanmaktadır [20, 21]. SO₂'nin yaklaşık %60'ının kömür yakılmasıyla oluştuğu hesaplanmıştır. SO₂, insanlar için doğrudan zehirleyicidir; temel olarak solunum fonksiyonlarını etkiler. SO₂ tahriş edici özelliğinden dolayı insan organları ve bitki örtüsü için tehdit oluşturduğu gibi canlılarda solunum sistemini ve akciğerlerin fonksiyonlarına ile gözlerde tahrişe neden olabilmektedir [22, 23]. Sülfürik asit ve sülfat formuna dönüşmesi durumunda insan sağlığını dolaylı olarak tehdit edebilir. Ayrıca ormansızlaşmaya neden olan asit yağmurunun ana bileşeni olarak da bilinmektedir [24].

2009 yılından itibaren Türkiye'de hava kirleticilerinin sınır değerleri kademeli olarak düşürülmeye başlanmıştır. PM10 için 2009 yılında günlük 300 µg m⁻³ ve yıllık 150 µg m⁻³ olan sınır değerler öncelikle 2014 yılına kadar eşit miktarlarda düşürülmüştür. 2014 yılından 2019'a kadar uygulanan tolerans payları sıfırlanarak PM10, DSÖ'nün tavsiye ettiği sınır değerler ile denkleştirilmiştir. 2019 yılından itibaren ülkemizdeki PM10 sınır değerleri günlük ve yıllık süreler için sırasıyla 50 µg m⁻³ ve 40 µg m⁻³ olarak uygulanmaktadır. Ülkemizde hava kirliliği ve kontrolü izlenmesi kapsamında 2008 yılında Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (HKDYY) yürürlüğe girmiştir. HKDYY'ye göre 24 saatlik ortalama PM10, izin verilebilir sınır değerinin yılda 35 kereden fazla aşılması istenmez. DSÖ ise 2021 yılının son aylarında yaptığı açıklamayla PM10 sınır değerini 24 saatlik ortalama 45 µg m⁻³ 'ü önerirken, yıllık ortalama değer 15 µg m⁻³ öngörülmüştür [25]. HKDYY'ye göre SO₂ için 24 saatlik ortalama sınır değeri ise 20 µg m⁻³'tür. HKDYY'de verilen PM10 ve SO₂ için sınır değerlerin yıllara göre değişimi aşağıda Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Türkiye için yıllara göre PM10 ve SO₂ sınır değerleri [26, 27].

Parametre (µg m ⁻³).	Zaman	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PM10	24 saat	180	140	100	90	80	70	60	50	50	50
	1 yıl	96	78	60	56	52	48	44	40	40	40
SO ₂	24 saat	310	280	250	225	200	175	150	125	125	125
	1 yıl	36	28	20	20	20	20	20	20	20	20

Bu çalışmada 2012- 2021 yılları arasında Muş ilinin hava kalitesi düzeylerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Araştırmada PM10 ve SO₂ parametrelerin yıl, mevsim, ay, gün ve saatlik değerleri olarak hesaplanmış ve ölçümler birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışma alanı olarak seçilen Muş ili, son yıllarda hava kirliliğinden çok ciddi boyutlarda etkilenmektedir. Bu bağlamda HKDYY'ne göre Muş'ta hava kirleticileri ile ilgili SO₂ ve PM10 verileri analiz edildiğinde (özellikle PM10 için) normal değer oldukça üstünde seyrettiği görülmektedir.

Bu çalışmada aşağıdaki belirlenen araştırma sorularına cevap aranmaktadır.

- Muş'ta hava kirliliği parametrelerin zamansal (saatlik, günlük, aylık, mevsimsel ve yıllık) değişimi nasıldır?
- Muş'ta hava kirliliği oluşturan parametrelerin HKDYY'de izin verilebilir sınır değerleri ile yıllar arasında ölçümler arasındaki ilişki nedir?
- Muş'ta hava kirliliği oluşturan parametrelerin değerlerinin yıllara göre eğilim yönü nedir?

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Muş ili, 39 29' ve 38 29' kuzey enlemleriyle 41 06' ve 41 47' doğu boylamlarında ve Doğu Anadolu Bölgesinde yer almaktadır. Muş, yüzölçümü 8196 km² ile Türkiye'nin yüzölçümü olarak yüzde 1,1'ini kaplamaktadır [28]. 1941-2021 arasında Muş'un ortalama hava sıcaklığı 9.8 °C, ortalama güneşlenme süresi 6.5 saat, ortalama yağışlı gün sayısı 98.2 ve aylık toplam yağış miktarı ortalaması ise 762.5 mm.'dir [29].

Bu çalışma için hava kirletici parametrelerin verileri T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Hava Kalitesi İzleme İstasyonları Web Sitesinden alınmıştır [30]. Araştırmada, PM10 ve SO₂ değişkenlerinin yıllara, mevsimlere, aylara, günlere ve saatlere göre değerlerinin değişimi irdelenmiştir. Mevsimsel açıdan yapılan değerlendirmede, kış sezonu 1 Ekim–31 Mart, yaz sezonu 1 Nisan–30 Eylül arasındaki değerleri kapsamaktadır. PM10 ve SO₂ için yapılan ölçümler HKDYY'de verilen sınır değerler bazında 2021 yılı için geçerli olan en düşük sınır değerler dikkate alınmış ve karşılaştırılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Yıllara göre hava kirletici değerleri

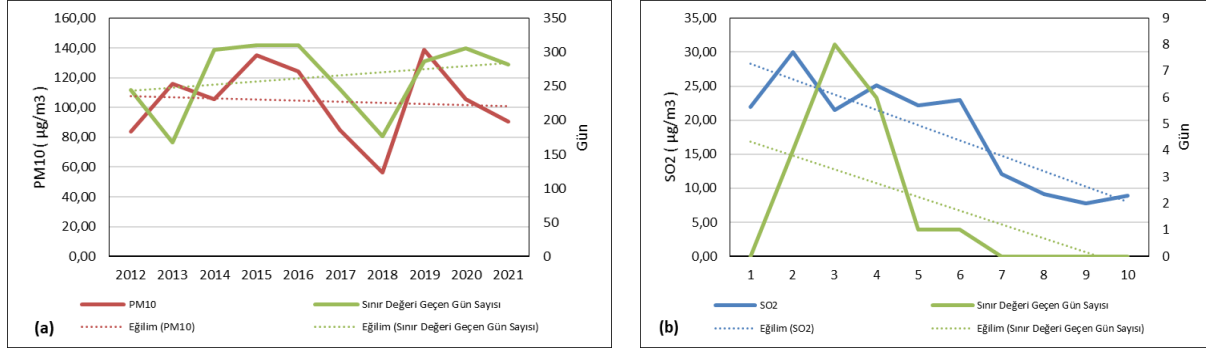
Araştırmada 1 Ocak 2012-31 Aralık 2021 tarihleri arasındaki 3653 gün boyunca 24 saatlik ölçüm değerleri baz alınmıştır. PM10 için 3199 gün (%87.6) ve SO₂ için 3359 gün (%91.9) ölçüm değerleri kullanılmıştır. Muş Hava Kalitesi İzleme İstasyonu 2012- 2021 tarihleri arasındaki hava kalitesi saatlik PM10 ve SO₂ değerlerinin yıllara göre ortalama değerleri hesaplanarak Çizelge 2’de verilmiştir. PM10 parametresi için en yüksek ölçüm değeri 2019 yılında kaydedilmiştir. 2012-2021 yılları arası PM10’in ortalaması ise 103.30± 64.89 µg m⁻³ (en az-en çok 4.52-573.85 µg m⁻³) olarak hesaplanmıştır. Ortalama SO₂ değerleri ise 2012 yılında 21.93±21.20 ve 2021’de 8.95±4.12 µg m⁻³ ölçülmüştür. SO₂ parametresi için ise en yüksek ölçüm değeri 2013 yılın da kaydedilmiş olup, 2012-2021 yılları arası SO₂’in ortalaması 17.55±23.91 µg m⁻³ (en az-en çok 0.63-223.95 µg m⁻³) olarak bulunmuştur.

Çizelge 2. Muş’ta PM10 ve SO₂ parametresinin yıllara göre değerleri.

Yıl	PM10				SO ₂			
	Ort ± ss	Min-max	Sınır Değeri Aşan Gün Sayısı – Yılda Kirli Gün (%)	Veri Tamlığı (Saat olarak - %)	Ort ± ss	Min-max	Sınır Değeri Aşan Gün Sayısı – Yılda Kirli Gün (%)	Veri Tamlığı (Saat olarak - %)
2012	83.80±42.76	7.08- 200.98	245- 74.2	87.6	21.93±21.20	2.51- 124.72	0 - 0	98.4
2013	116.17±92.37	21.99-573.85	168 - 82.8	52.5	29.94±31.26	1.58-216.03	4 - 1.9	55.0
2014	105.36±59.36	28.44-460.43	304 - 92.7	85.3	21.48±32.74	0.63-199.74	8 - 2.4	90.6
2015	135.04±70.58	28.39-483.79	310 - 90.9	88.4	25.08±33.15	0.85-223.95	6 - 1.7	91.7
2016	124.42±72.80	31.35-482.38	310 - 95.7	80.4	22.17±28.91	1.62-128.80	1 - 0.3	82.3
2017	85.06±50.18	14.52-290.91	246 - 74.1	79.6	22.92±26.41	1.13-128.34	1 - 0.3	84.7
2018	56.41±32.59	4.52-196.73	177 - 51.2	80.6	12.14±15.93	1.32-79.47	0 – 0	87.5
2019	138.56±76.57	15.08-392.55	286 - 91.4	79.7	9.13±6.65	3.01-36.30	0 – 0	99.2
2020	105.72±44.01	20.63-314.70	306 - 89.2	91.2	7.74±4.59	3.76-29.05	0 – 0	99.0
2021	90.65±52.12	16.38-427.90	282 - 83.2	84.2	8.95±4.12	4.78-27.84	0 – 0	86.2

Sivas ili için yapılan 2016-2020 yıl arasında üç hava kalitesi izleme istasyonunun değerlendirildiği benzer bir çalışmada PM10 konsantrasyon değerlerinin 2017 - 2020 yılları arasında azaldığı raporlanmıştır [31]. Muş için yapılan bu çalışmada PM10 ve SO₂ için hesaplanan ortalama değerlerinin yıllara göre değişimi ve eğilim analizi Şekil 1’de gösterilmektedir. PM10 parametresi

için 2012-2021 yılları arasında havadaki konsantrasyonunda azalma, yönetmelikle belirlenen sınır değeri geçen gün sayısında artma, SO₂ parametresi için ise konsantrasyon ve yönetmelikle belirlenen sınır değeri geçen gün sayısında azalma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 1. PM10 (a) ve SO₂ (b) değerlerinin yıllara göre değişimi ve eğilim analizi

Türkiye’de yıllık ortalama PM10 ve SO₂ konsantrasyon seviyeleri ile meteorolojik faktörlerin etkilerinin incelemek amacıyla yapılan benzer çalışmalar incelendiğinde bu çalışmada elde edilen konsantrasyon seviyeleri ile aşağıda sunulan çalışmalarda elde edilen konsantrasyon seviyeleri arasında bir benzerlik olduğu görülmektedir.

2001-2003 tarihleri arasında Bursa ili için yapılan çalışmada, ölçüm periyodu boyunca ölçülen ortalama PM10 ve SO₂ konsantrasyonları sırasıyla $98.0 \pm 220.0 \mu\text{g m}^{-3}$ ve $40.0 \pm 35.0 \mu\text{g m}^{-3}$ [32]; İç Anadolu Bölgesinin değerlendirildiği başka bir çalışmada ise 2007-2013 tarihleri arasında ölçülen PM10 konsantrasyonlarının ölçüm periyodu boyunca yıllık ortalama değerlerini $78.0 \pm 26.0 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak bulunmuştur [33]. Benzer diğer bir çalışmada ise çalışma da ise, SO₂ konsantrasyon seviyelerini $6.6-49.7 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak bulmuşlardır [34]. Ayrıca Dünya genelinde 2008-2012 yılları arasında 1600 şehirde yapılan çeşitli çalışmalarda elde edilen PM10 konsantrasyon değerlerinin $9.0-100.0 \mu\text{g m}^{-3}$ arasında değişim gösterdiği vurgulanmıştır [35].

3.2. Mevsimlere göre hava kirletici değerleri

Dış ortam havasında kirleticilerin konsantrasyonları hava kirliliği açısından temel bir durum göstergesidir. Atmosferik şartlar, kirleticilerin dağılmasında ve taşınmasında önemli rol oynamaktadır ve Özellikle yükseklik, rüzgar hızı ve sıcaklık değişimlerinden etkilenmektedir.

İlave olarak bağıl nem ve basınç gibi meteorolojik faktörler de, atmosferdeki kimyasal reaksiyonların oluşumunu ve hızını etkilemekte ve bu da kirletici konsantrasyonlarının değişimine neden olmaktadır [36,37]. SO₂ ve PM₁₀ konsantrasyonlarının maksimum değerleri genellikle hava sıcaklığının düşük olduğu mevsimlerde elde edilmektedir. Yakıt tüketimi hava sıcaklığına bağlı olduğu için sıcaklık bir kirlilik kontrol parametresi olarak kabul edilmektedir [38].

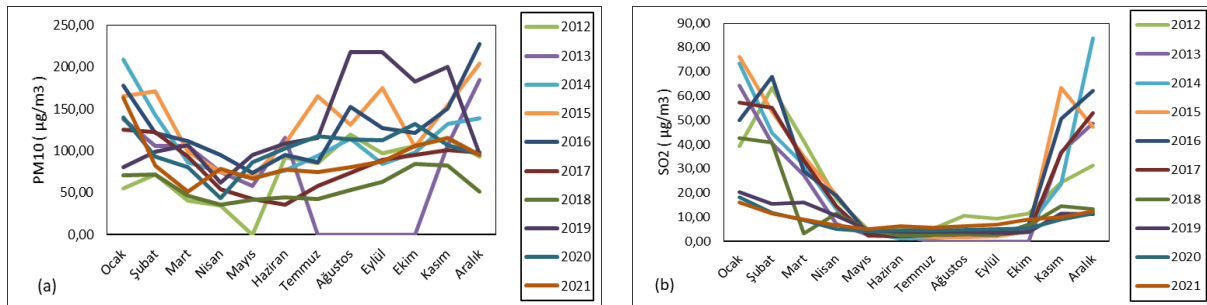
Ankara için (1997-2017 yılları arası) yapılan bir araştırmada PM₁₀ değerlerinin aylık davranışına bakıldığında, kış ayları ortalamalarının diğer mevsimlere göre daha yüksek olduğu hesaplanmıştır [39]. Mevsimlere göre 24 saatlik ortalama PM₁₀ değerleri incelendiğinde; kış için en yüksek değer 161.14 µg m⁻³ ile 2013-2014, en düşük değer ise 46.76 µg m⁻³ ile 2011-2012, yaz için en yüksek değer 136.47 µg m⁻³ ile 2018-2019, en düşük değer ise 47.09 µg m⁻³ ile 2017-2018 sezonunda bulunmuştur. SO₂ değerleri incelendiğinde ise kış için en yüksek değer 47.94 µg m⁻³ ile 2013-2014, en düşük değer ise 10.43 µg m⁻³ ile 2020-2021 iken yaz için en yüksek değer 8.71 µg m⁻³ ile 2011-2012, en düşük değer ise 4.09 µg m⁻³ ile 2013-2014 sezonunda saptanmıştır (Çizelge 3). Doğalgazın Muş'a 2016 yılında gelmesi ve kullanımının yaygınlaşması, kışın ısınma amacıyla katı yakıtların kullanımının azalması ile 2016 yılından sonra kış mevsimi için ölçülen SO₂ değerlerinde hızlı bir düşüş görülmektedir.

Çizelge 3. Muş'ta PM₁₀ ve SO₂ parametresinin mevsimlere göre değerleri (µg m⁻³).

Dönem	PM ₁₀		SO ₂	
	Kış Sezonu	Yaz Sezonu	Kış Sezonu	Yaz Sezonu
2011-2012	46.76	87.62	34.20	8.71
2012-2013	111.24	76.03	32.99	4.47
2013-2014	161.14	85.98	47.94	4.09
2014-2015	134.35	123.01	46.12	4.92
2015-2016	136.47	106.70	41.12	5.10
2016-2017	142.47	59.50	43.40	4.74
2017-2018	81.65	47.09	30.36	4.43
2018-2019	84.13	136.47	14.45	5.18
2019-2020	133.08	102.62	10.89	4.71
2020-2021	104.66	77.85	10.43	6.38

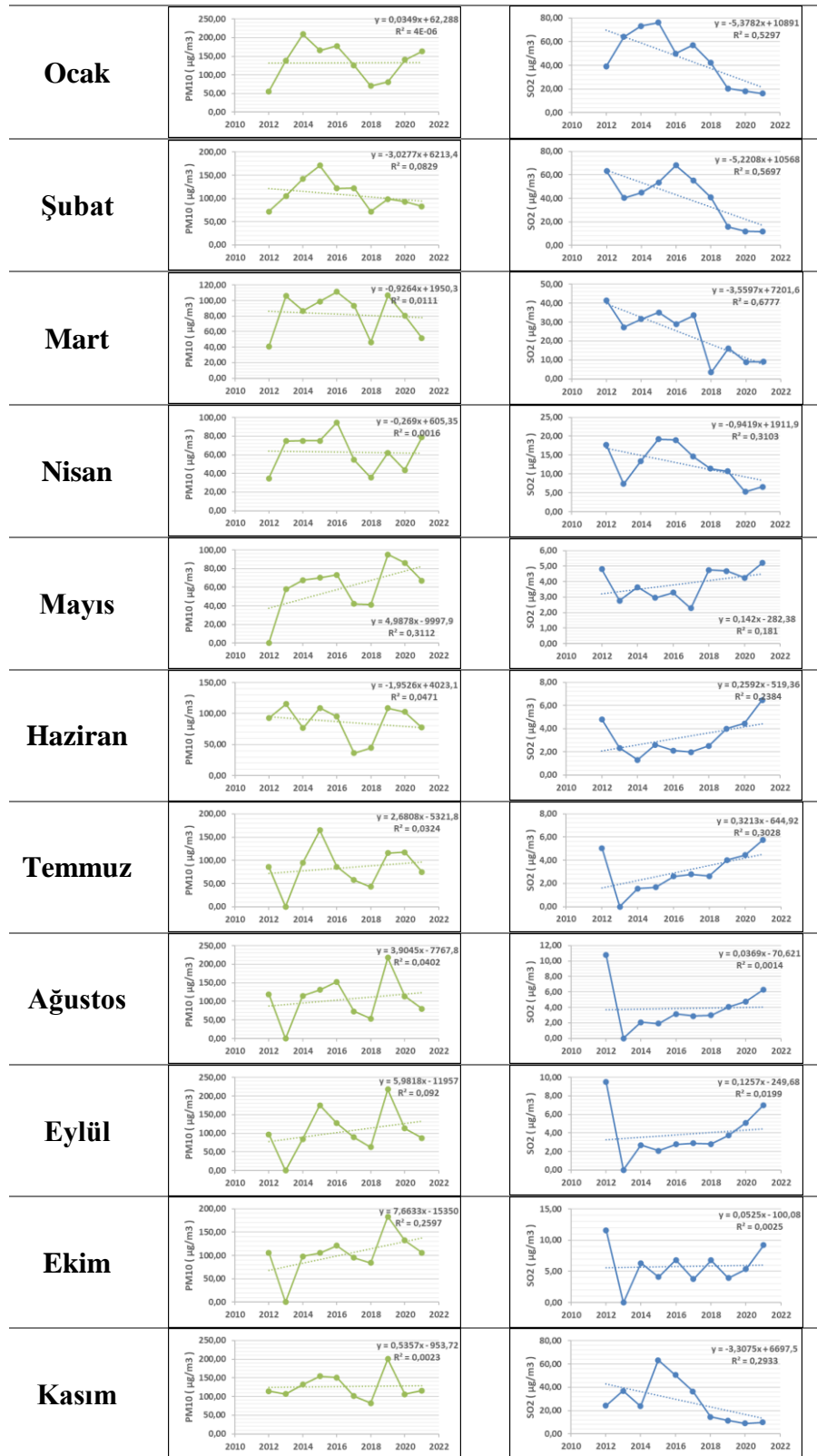
3.3. Aylara göre hava kirletici değerleri

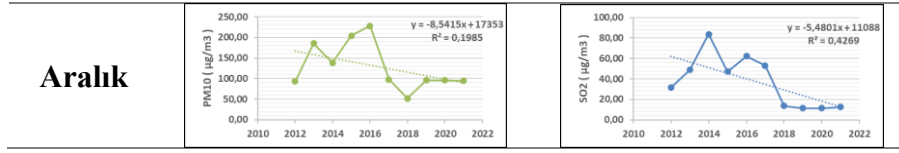
Aylara göre ortalama PM10 değerleri incelendiğinde en yüksek değer 2016 yılı Aralık ayında $228.10 \mu\text{g m}^{-3}$, en düşük değer ise $34.73 \mu\text{g m}^{-3}$ ile 2012 yılı Mart ayında bulunmuştur. SO₂ değerleri incelendiğinde ise en yüksek değer 2014 yılı Aralık ayında $83.67 \mu\text{g m}^{-3}$, en düşük değer ise $1.31 \mu\text{g m}^{-3}$ ile 2014 yılı Haziran ayında saptanmıştır (Şekil 2). 2012-2021 yılları arası aylık ortalama PM10 ve SO₂ değerlerine bakıldığında sırasıyla en yüksek değerler Kasım ($126.48 \mu\text{g m}^{-3}$) – Ocak ($44.52 \mu\text{g m}^{-3}$), en düşük değerler ise Nisan ($64.81 \mu\text{g m}^{-3}$) – Haziran ($3.18 \mu\text{g m}^{-3}$) aylarında hesaplanmıştır. Erzurum’da yapılan bir çalışmada PM10 için en yüksek aylık değer Ocak, en düşük değer Mayıs ayında, SO₂ için en yüksek ortalama değer Şubat, en düşük değer ise Haziran ayında kaydedildiği raporlanmıştır [40]. Hindistan’da 2016-2019 yılları için yapılan bir çalışmada ise en yüksek PM10 değerinin Ocak ($125.09 \mu\text{g m}^{-3}$), en düşük değer ise Temmuz ayında ($41.35 \mu\text{g m}^{-3}$), SO₂ için ise en yüksek değer Kasım ayında ($16,58 \mu\text{g m}^{-3}$), en düşük değerinde Ekim ayında ($8,05 \mu\text{g m}^{-3}$) ölçüldüğü tespit edilmiştir [41].



Şekil 2. PM10 (a) ve SO₂ (b) değerlerinin aylara göre değişimi.

Hava kirleticilerin aylara göre değerlerinin yıllara göre eğimlerine bakıldığında SO₂'nin PM10'a göre daha doğrusal olduğu sonucuna varılmaktadır. 2012 ve 2021 yılları arasında SO₂ için en yüksek eğilim değerinin, Mart aylarında, negatif (düşüş) şekilde ($R^2=0.6777$), PM10'de ise Mayıs aylarında, pozitif (artış) şekilde ($R^2=0.3112$) ulaşıldığı tespit edilmiştir (Şekil 3). Aylara göre ortalama PM10 ve SO₂ değerleri incelendiğinde ise hava sıcaklığının az olduğu aylarda kirletici parametre değerleri hava sıcaklığının fazla olduğu aylara göre daha yüksek çıktığı görülmektedir.



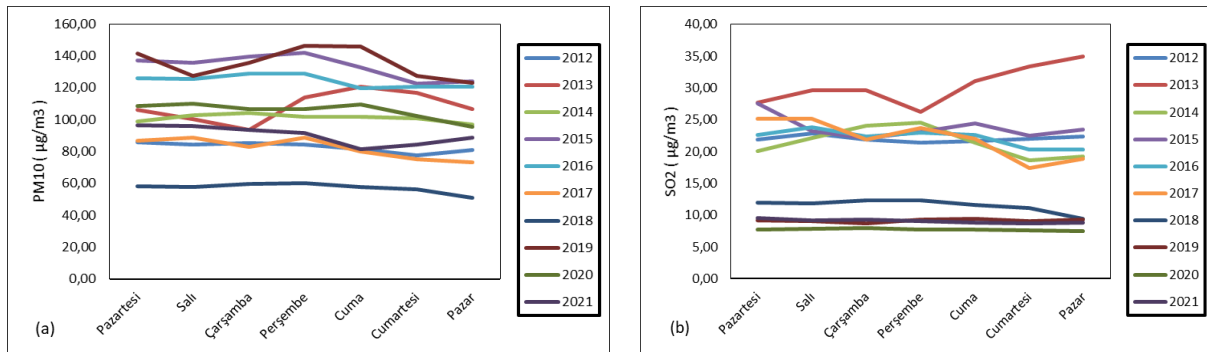


Şekil 3. Muş'ta PM10 ve SO₂ parametresinin aylara göre değerleri ($\mu\text{g m}^{-3}$) ve yıllara göre eğimleri

3.4. Günlere göre hava kirletici değerleri

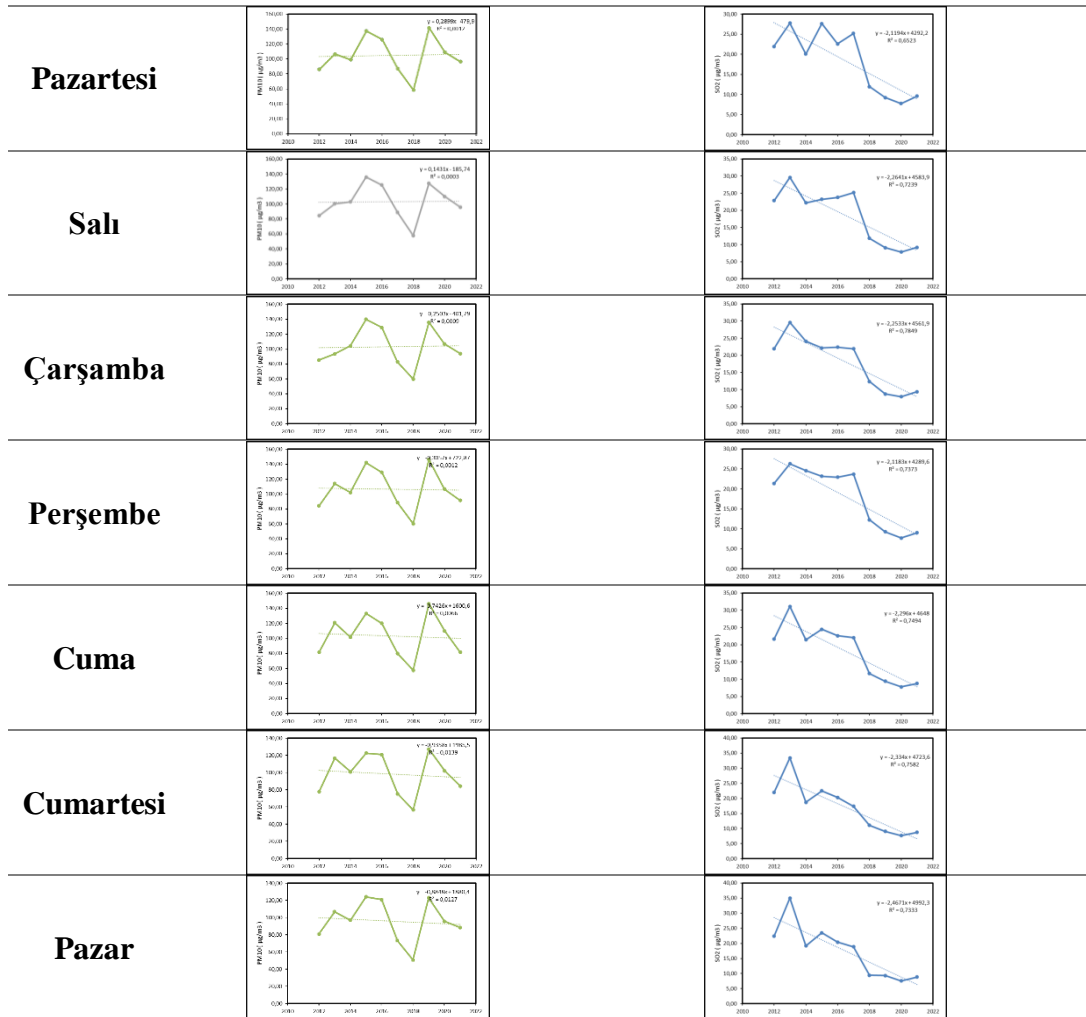
1 Ocak 2012-31 Aralık 2021 tarihleri arasında günlere göre PM10 ve SO₂ değerleri incelendiğinde; ortalama PM10'un en yüksek olduğu gün 146.11 $\mu\text{g m}^{-3}$ ile 2019 yılı Salı günleri, en düşük olduğu gün 50.79 $\mu\text{g m}^{-3}$ ile 2018 yılının Pazar günleri iken; ortalama SO₂'ünün en yüksek olduğu gün 35.00 $\mu\text{g m}^{-3}$ ile 2013 yılı Pazar günleri, en düşük 7.55 $\mu\text{g m}^{-3}$ ile 2020 yılı için yine Pazar günleri olduğu hesaplanmıştır. 2012-2021 yılları arası genel PM10'ün ortalamasına bakıldığında ise en yüksek Perşembe (106.31 $\mu\text{g m}^{-3}$), en düşük Pazar (95.66 $\mu\text{g m}^{-3}$) iken SO₂ için en yüksek değer Salı (17.84 $\mu\text{g m}^{-3}$), en düşük değer ise Cumartesi (16.33 $\mu\text{g m}^{-3}$) günlerinde ölçüldüğü hesaplanmıştır (Şekil 4). Muş'ta PM10 ve SO₂ parametresi konsantrasyon değerlerinin hafta içi, hafta sonuna göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Çin'in Xiangyang kentinde yapılan çalışmada 1 Mart 2018'den 28 Şubat 2019'a kadar her iki kirletici için haftaiçi günlerinde (PM10=108.64 $\mu\text{g m}^{-3}$ – SO₂= 14.14 $\mu\text{g m}^{-3}$) haftasonuna göre (PM10=104.70 $\mu\text{g m}^{-3}$ – SO₂= 13.47 $\mu\text{g m}^{-3}$) yüksek çıktığı tespit edilmiştir [42]. Yine Çin'de yapılan başka bir çalışmada ise 2015-2016 yıllarında 336 şehrin ortalama PM2.5, PM10, SO₂, NO₂ ve CO konsantrasyonlarına bakılmış ve bu çalışmada, PM2.5, PM10, SO₂, NO₂ ve CO konsantrasyonlarının hafta içi özellikle Pazartesi ve Cuma günleri en yüksek olurken, en düşük konsantrasyon değerlerinin Pazar günü olduğu tespit edilmiştir [43].



Şekil 4. PM10 (a) ve SO₂ (b) değerlerinin günlere göre değişimi.

Hava kirleticilerin gün değerlerinin yıllara göre eğimlerine bakıldığında SO₂'nin PM10'a göre daha doğrusal bir trend izlediği sonucuna varılmaktadır. 2012'den 2021 yılına gelindiğinde, SO₂ için en yüksek eğilim değeri, R²=0.7849 ile Çarşamba (negatif-düşüş), PM10'de ise R²=0.0139 ile Cumartesi (negatif-düşüş) günlerinde hesaplanmıştır. Günlere bakıldığında SO₂'nin daima negatif ve birbirine yakın trendde olduğu (R²=0.6523-0.7849 arasında), PM10'da ise çok düşük derecede bir ilişkinin olduğu görülmektedir (R²=0.0003-0.0139 arasında) (Şekil 5).

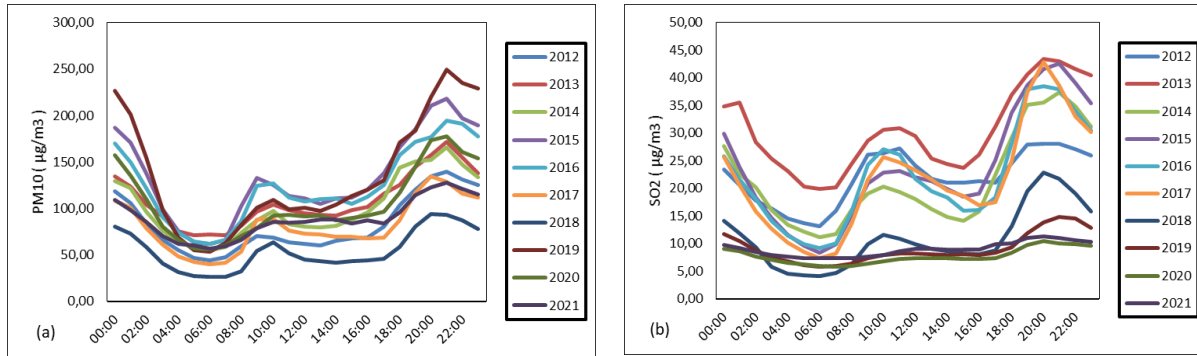


Şekil 5. Muş'ta PM10 ve SO₂ parametresinin günlere göre değerleri (µg m⁻³) ve eğimleri

3.5. Saatlere göre hava kirletici değerleri

Sıcaklık, hava kirliliği ile en sıkı bağlantısı olan parametredir. Bundan dolayı özellikle gün içindeki ani sıcaklık değişimleri ile ısınma dönemi arasındaki en yüksek ve en düşük sıcaklıklar, hava sıcaklığının 0 °C'nin altına düştüğü günlerin sayısı çok önemlidir. Havanın sıcaklığı, yapılarda ısınmak için kullanılan yakıtların yanma zamanlarını ve seviyelerini belirleyerek, direk yakıt miktarını belirlemekte, bu durumda hava kirliliğine etki etmektedir. Türkiye'de hava sıcaklığı 18 °C'nin altına indiği zaman ısınmak için yanma olayı başlamaktadır. Bundan dolayı yanma dönemini gösteren 18 °C'nin altındaki aylık, mevsimsel ve günlük sıcaklıklar son derece önemli olmaktadır [44,45].

Saatlere göre ortalama PM10 değerleri incelendiğinde; en yüksek değer 249.12 $\mu\text{g m}^{-3}$ ile 2019 yılı 21:00, en düşük saatlik değer ise 26.05 $\mu\text{g m}^{-3}$ ile 2018 yılı için 06:00 saatlerinde ölçüldüğü hesaplanmıştır. SO₂ değerleri için en yüksek değer 43.41 $\mu\text{g m}^{-3}$ ile 2013 yılı 20:00, en düşük değer ise 4.19 $\mu\text{g m}^{-3}$ ile 2018 yılı 06:00 saatlerinde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6). 2012-2021 yılları arası genel PM10'in ortalamasına bakıldığında en yüksek değer 21:00 (164.90 $\mu\text{g m}^{-3}$), en düşük değerin ise 06:00 (52.95 $\mu\text{g m}^{-3}$); SO₂ için en yüksek değerin 20:00 (27.82 $\mu\text{g m}^{-3}$), en düşük değerin ise 06:00 (9.07 $\mu\text{g m}^{-3}$) saatlerinde ölçüldüğü hesaplanmıştır.



Şekil 6. PM10 (a) ve SO₂ (b) değerlerinin saatlere göre değişimi.

Türkiye'de yapılan araştırmalarda ölçüm periyodu boyunca hesaplanan PM10 konsantrasyonlarının 24 saatlik ortalama değerleri dikkate alındığında EU Direktifi ve HKDYY'de belirtilen 50 $\mu\text{g m}^{-3}$ sınır değerini 81 ilden 72 il, Japonya Çevresel Kalite Standartları'nda belirtilen 100 $\mu\text{g m}^{-3}$ sınır değerini ise 81 ilden 68 ilin aştığı tespit edilmiştir. Ayrıca PM10

konsantrasyonlarının yıllık ortalama değerleri dikkate alındığında ise 81 ilden 67 il DSÖ tarafından belirlenen $40 \mu\text{g m}^{-3}$ sınır değerinin üstünde kaldığı araştırma bulgularının sonuçları olarak karşımıza çıkmaktadır [35].

4. SONUÇ

Bu çalışmada Muş ili hava kalitesinin değişimi, 2012-2021 yılları arasında PM10 ve SO₂ parametrelerindeki değişikliklere bakılarak incelenmiştir. Çalışmadan çıkan sonuçlar;

- PM10 değerlerinin HKDYY’de belirlenen yıllık ortalama $40 \mu\text{g m}^{-3}$ değerinin her yıl aştığı; SO₂ için belirlenen yıllık $20 \mu\text{g m}^{-3}$ değerini 2012 yılından 2017 yılına kadar her yıl aştığı, 2018 yılından itibaren ise bu sınır değeri aşmadığı görülmüştür. Çalışmada PM10 ve SO₂ değerlerinin yıllar içerisinde bazen artış bazen de düşüş gösterdiği, genelde her iki parametrede azalma trendine girdiği görülmektedir.
- Çalışmada 24 saatlik ortalama PM10 sınır değerlerinin en çok 2015 ve 2016 yıllarında 310 (ölçüm yapılan gün sayısına oranı: %90.9- %95.7) gün ile aşıldığı en az ise 2013 yılında 168 (ölçüm yapılan gün sayısına oranı: %82.8) gün ile aşıldığı görülmektedir.
- Muş ili için 2012-2021 yıllarında hava kirletici parametrelerine bakıldığında ortalama PM10 için mevsim olarak Kış, ay olarak Ocak, gün olarak Perşembe, saat olarak 21:00, SO₂ için ise mevsim olarak Kış, ay olarak Ocak, gün olarak Salı ve saat olarak 20:00’de ölçülen değerlerin en yüksek olduğu bulunmuştur (Çizelge 4).

Çizelge 4. PM10 ve SO₂ en yüksek değerleri

Yıl	PM10				SO ₂			
	Mevsim	Ay	Gün	Saat	Mevsim	Ay	Gün	Saat
2012	Kış	Ağustos	Pazartesi	21:00	Kış	Şubat	Salı	20:00
2013	Kış	Aralık	Cuma	21:00	Kış	Ocak	Pazar	20:00
2014	Kış	Ocak	Çarşamba	21:00	Kış	Aralık	Perşembe	21:00
2015	Kış	Aralık	Perşembe	21:00	Kış	Ocak	Pazartesi	21:00
2016	Kış	Aralık	Perşembe	21:00	Kış	Şubat	Salı	20:00
2017	Kış	Ocak	Salı	20:00	Kış	Ocak	Pazartesi	20:00
2018	Kış	Ekim	Perşembe	20:00	Kış	Ocak	Çarşamba	20:00
2019	Yaz	Ağustos	Perşembe	21:00	Kış	Ocak	Cuma	21:00
2020	Kış	Ocak	Salı	21:00	Kış	Ocak	Çarşamba	20:00
2021	Kış	Ocak	Pazartesi	21:00	Kış	Ocak	Pazartesi	20:00
2012-2021	Kış	Ocak	Perşembe	21:00	Kış	Ocak	Salı	20:00

- Mevsimlere göre PM10 (2011-12 ve 2018-19 hariç) ve SO₂ değerleri kış, yaz sezonuna göre yüksek olduğu; PM10 değerleri en yüksek sırasıyla Kasım ayında 126.48 µg m⁻³; Ocak ayında 124.24 µg m⁻³; Aralık ayında 123.76 µg m⁻³; SO₂ değerleri ise en yüksek sırasıyla Ocak ayında 44.52 µg m⁻³; Şubat ayında 39.16 µg m⁻³ ve Aralık ayında 36.35 µg m⁻³ olarak bulunmuştur.
- Muş ili için 2012-2021 yıllarında hava kirletici parametrelerine bakıldığında ortalama PM10 için mevsim olarak Yaz, ay olarak Nisan, gün olarak Pazar, saat olarak 06:00, SO₂ için ise mevsim olarak Yaz, ay olarak Haziran gün olarak Cumartesi ve saat olarak 06:00' de ölçülen değerlerin en düşük olduğu hesaplanmıştır (Çizelge 5).
- PM10 ve SO₂ değerlerindeki yıl/yıllar içinde dalgalanmanın sebebi özellikle kış aylarında ısınma amaçlı kömür tüketimidir. Yaz aylarında kömür tüketimi olmamasından dolayı PM10 ve SO₂ değerleri azalmaktadır. Ayrıca doğalgazın Muş'a 2016 yılında gelmesi ve kullanımının yaygınlaşmasından dolayı 2016 yılından sonra kış mevsimi için ölçülen SO₂ değerlerinde hızlı bir düşüş gerçekleşmiştir.

Çizelge 5. PM10 ve SO₂ en düşük değerleri

Yıl	PM10				SO ₂			
	Mevsim	Ay	Gün	Saat	Mevsim	Ay	Gün	Saat
2012	Yaz	Nisan	Cumartesi	06:00	Yaz	Mayıs	Perşembe	06:00
2013	Yaz	Mayıs	Çarşamba	05:00	Yaz	Haziran	Perşembe	06:00
2014	Yaz	Mayıs	Pazar	06:00	Yaz	Haziran	Cumartesi	06:00
2015	Yaz	Mayıs	Pazar	06:00	Yaz	Temmuz	Çarşamba	06:00
2016	Yaz	Mayıs	Cuma	06:00	Yaz	Haziran	Cumartesi	06:00
2017	Yaz	Haziran	Pazar	06:00	Yaz	Haziran	Cumartesi	06:00
2018	Yaz	Nisan	Pazar	06:00	Yaz	Haziran	Pazar	06:00
2019	Kış	Nisan	Pazar	06:00	Yaz	Eylül	Çarşamba	06:00
2020	Yaz	Nisan	Pazar	06:00	Yaz	Mayıs	Pazar	07:00
2021	Yaz	Mart	Cuma	06:00	Yaz	Mayıs	Pazar	06:00
2012-2021	Yaz	Nisan	Pazar	06:00	Yaz	Haziran	Cumartesi	06:00

Kaynaklar

- [1] Ustun, S., Uzun, R.O., Çorumlu, V., ve Çetin, A., Alternatif Yakıt Karıştırılan Fosil Yakıtlı Bir Motorun Duman Koyuluklarının Karşılaştırılması. *Current Academic Studies in Engineering Sciences*, Ivpe, 1205–1211, 2019.
- [2] Griffin, R.D., *Alternative Energy*. CQ Researcher. 2 (25), 573–596, 2018.
- [3] Stephenson, M., *Energy and Climate Change, An Introduction to Geological Controls, Interventions and Mitigations*. Elsevier, 2018.
- [4] WHO, Health topics, Air pollution. World Health Organization, 2022.
- [5] TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, Hava Kirliliği Raporu-2018. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 2019.
- [6] Garipağaoğlu, N., Türkiye’de Hava Kirliliği Sorununun Coğrafi Bölgelere Göre Dağılımı. *Doğu Coğrafya Dergisi*. 9 57–77, 2006.
- [7] Çiçek, İ., Türkoğlu, N., Gürgen, G., Ankara’da Hava Kirliliğinin İstatistiksel Analizi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. 14 (2), 1–18, 2004.
- [8] Zencirci, S.A., Işıklı, B., Hava Kirliliği. *ESTÜDAM Halk Sağlığı Dergisi*. 2 (2), 24–36, 2017.
- [9] Mage, D., Ozolins, G., Peterson, P., Webster, A., Orthofer, R., Vandeweerd, V., ve diğ., Urban Air Pollution in Megacities of The World. *Atmospheric Environment*. 30 (5), 681–686, 1996.
- [10] The Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), *OECD Environmental Outlook to 2050*. OECD Publishing, 2012.
- [11] Sezer Turalıoğlu, F., Nuhoğlu, A., Bayraktar, H., Impacts of Some Meteorological Parameters on SO₂ and TSP Concentrations İn Erzurum, Turkey. *Chemosphere*. 59 (11), 1633–1642, 2005.
- [12] Cavkaytar, Ö., Soyer, Ö.U., Şekerel, E., Türkiye’de Hava Kirliliğinden Kaynaklanan Sağlık Sorunları. *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*. 2 (4), 105–111, 2013.
- [13] Kim, K.-H., Kabir, E., Kabir, S., A Review on The Human Health İmpact of Airborne Particulate Matter. *Environment International*. 74 136–143, 2015.
- [14] Hooyberghs, J., Mensink, C., Dumont, G., Fierens, F., Brasseur, O., A Neural Network Forecast for Daily Average PM10 Concentrations İn Belgium. *Atmospheric Environment*. 39 (18), 3279–3289, 2005.

- [15] Unal, Y.S., Toros, H., Deniz, A., Incecik, S., Influence of Meteorological Factors and Emission Sources on Spatial and Temporal Variations of PM10 Concentrations İn Istanbul Metropolitan Area. *Atmospheric Environment*. 45 (31), 5504–5513, 2011.
- [16] Nava, S., Lucarelli, F., Amato, F., Becagli, S., Calzolari, G., Chiari, M., ve diğ., Biomass Burning Contributions Estimated by Synergistic Coupling of Daily And Hourly Aerosol Composition Records. *Science of The Total Environment*. 511 11–20, 2015.
- [17] T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri. <https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/cevresagligi-ced/ced-birimi/hava-kirlili%C4%9Fi-ve-sa%C4%9Fl%C4%B1k-etkileri.html#:~:text=Hava%20kirleticilerinin%20%C3%A7evreye%20ve%20insan,hastal%C4%B1klara%20ba%C4%9Fl%C4%B1%20hastane%20ba%C5%9Fvurular%C4%B1n%C4%B1%20art%C4%B1maktad%C4%B1r.> (Erişim Tarihi: 13.03.2023).
- [18] Turgut, D., Temiz, İ., Time Series Analysis and Forecasting for Air Pollution in Ankara: A Box-Jenkins Approach. *Alphanumeric Journal*. 3 (2), 131–138, 2015.
- [19] Babin, S., Burkom, H., Holtry, R., Taberner, N., Davies-Cole, J., Stokes, L., ve diğ., Medicaid Patient Asthma-Related Acute Care Visits and Their Associations with Ozone and Particulates İn Washington, DC, From 1994-2005. *International Journal of Environmental Health Research*. 18 (3), 209–221, 2008.
- [20] Tecer, L.H., Tomac, N., Karaca, F., Kaplan, A., Tuncer, T., Aydin, H., The Evaluation of The Effect of Air Pollution on The Health Status of Children in Zonguldak City, Turkey. *International Journal of Environment and Pollution*. 39 (3–4), 352–364, 2009.
- [21] Thi Nguyen, H., Kim, K.-H., Evaluation of SO₂ Pollution Levels between Four Different Types of Air Quality Monitoring Stations. *Atmospheric Environment*. 40 (36), 7066–7081, 2006.
- [22] Akyürek, Ö., Trabzon Kent Merkezi için Hava Kirliliği ile Meteorolojik Koşullar Arasındaki İlişkinin 2006-2011 Arası Verilerine Dayalı Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2012.
- [23] Pandey, J.S., Kumar, R., Devotta, S., Health risks of NO₂, SPM and SO₂ in Delhi (India). *Atmospheric Environment*. 39 (36), 6868–6874, 2005.
- [24] Park, S.U., In, H.J., Kim, S.W., Lee, Y.H., Estimation of Sulfur Deposition in South Korea. *Atmospheric Environment*. 34 (20), 3259–3269, 2000.
- [25] WHO, Air Quality Guidelines for Europe. World Health Organization. Regional Office for Europe, 2000.
- [26] Zeydan, Ö., Assessment of Particulate Matter (PM10) Pollution in Turkey in 2019. *Journal of the Institute of Science and Technology*. 11 (1), 106–118, 2021.
- [27] Resmi Gazete, Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, 2022.

- [28] Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Muş'un Coğrafi Yapısı. T.C. Muş Valiliği, 2022.
- [29] MGM, Muş ili Meteorolojik Veriler. Muş - Resmi İstatistikler., 2022
- [30] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Hava Kalitesi İzleme İstasyonları Web Sitesi. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Hava Kalitesi İzleme İstasyonları Web Sitesi, 2022.
- [31] Yılmaz, Z., Karagözoğlu, M.B., Statistical Analysis of The Temporal Change of PM10 Levels in The City of Sivas (Turkey). *Air Quality, Atmosphere & Health.*, 2022
- [32] Tasdemir, Y., Cindoruk, S.S., Esen, F., Monitoring of Criteria Air Pollutants in Bursa, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment.* 110 (1), 227–241, 2005
- [33] Özel, G., Cakmakyapan, S., A New Approach to the Prediction of PM10 Concentrations in Central Anatolia Region, Turkey. *Atmospheric Pollution Research.* 6 (5), 735–741, 2015.
- [34] Bozkurt, Z., Üzmez, Ö.Ö., Döğeroğlu, T., Artun, G., Gaga, E.O., Atmospheric concentrations of SO₂, NO₂, ozone and VOCs in Düzce, Turkey Using Passive Air Samplers: Sources, Spatial and Seasonal Variations and Health Risk Estimation. *Atmospheric Pollution Research.* 9 (6), 1146–1156, 2018.
- [35] Sari, M.F., Esen, F., PM10 ve SO₂ Konsantrasyonları ve Meteorolojik Parametrelerin Konsantrasyonlar Üzerine Etkileri. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi.* 8 (2), 689–697, 2019.
- [36] Zafra, C., Ángel, Y., Torres, E., ARIMA Analysis of The Effect of Land Surface Coverage on PM10 Concentrations in A High-Altitude Megacity. *Atmospheric Pollution Research.* 8 (4), 660–668, 2017.
- [37] Bahrami Asl, F., Leili, M., Vaziri, Y., Salahshour Arian, S., Cristaldi, A., Oliveri Conti, G., ve diğ., Health Impacts Quantification of Ambient Air Pollutants Using Airq Model Approach İn Hamadan, Iran. *Environmental Research.* 161 114–121, 2018.
- [38] Kartal, S., Özer, U., Determination and Parameterization of Some Air Pollutants as a Function of Meteorological Parameters in Kayseri, Turkey. *Journal of the Air & Waste Management Association.* 48 (9), 853–859, 1998.
- [39] Akdi, Y., Okkaoğlu, Y., Gölveren, E., Yücel, M.E., Estimation and Forecasting of PM10 Air Pollution in Ankara Via Time Series and Harmonic Regressions. *International Journal of Environmental Science and Technology.* 17 (8), 3677–3690, 2020.
- [40] Koşan, Z., Kavuncuoğlu, D., Çalıkoğlu, E.O., Bilge Yerli, E., Evaluation of Air Pollution by PM10 and SO₂ Levels İn Erzurum Province, Turkey: Descriptive Study. *Journal of Surgery and Medicine,* 2, 265-268, 2018.



[41] Das, A.V., Basu, S., Environmental and Air Pollution Factors Affecting Allergic Eye Disease in Children and Adolescents in India. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 18 (11), 5611, 2021.

[42] Xue, W., Zhan, Q., Zhang, Q., Wu, Z., Spatiotemporal Variations of Particulate and Gaseous Pollutants and Their Relations to Meteorological Parameters: The Case of Xiangyang, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 17 (1), 136, 2020.

[43] Li, R., Wang, Z., Cui, L., Fu, H., Zhang, L., Kong, L., ve diğ., Air Pollution Characteristics in China During 2015–2016: Spatiotemporal Variations and Key Meteorological Factors. *Science of The Total Environment*. 648 902–915, 2019.

[44] Garipağaoğlu, N., *Türkiye Ortam Sorunları Coğrafyası*: İstanbul, 2011.

[45] Şahin, C., Hava Kirliliği ve Hava Kirliliğini Etkileyen Doğal Çevre Faktörleri. *Atatürk Kültür Dil ve Tarih Yüksek Kurumu Coğrafya Araştırmaları Dergisi*. 1 (1), 27–45, 1989.

ÇANAKKALE KENT MERKEZİNDEKİ LEED SERTİFİKALI YEŞİL BİNALAR ÜZERİNE ARAŞTIRMALAR: ÇANAKKALE ESAS 17 BURDA AVM ÖRNEĞİ

Okan YILMAZ^{1*}, Kardelen ATİK²

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

Öz

Günümüzde yapıların çevreye olumsuz etkilerini en aza indirmesi için yeşil bina sertifikaları geliştirilmiştir. Bu çalışma da günümüzde yeşil bina kavramı ve LEED sertifika sistemlerini öne çıkarmıştır. Çalışma, yoğun yapı kullanımına sahip Çanakkale kentinin sürdürülebilirlik kavramıyla çevre sorunlarını azaltmada yardımcı olması açısından son derece önemlidir. Çalışma alanı Çanakkale Esas 17 Burda AVM'nin Çanakkale merkezindeki en büyük AVM olduğu konum olarak erişilebilirlik ve rekreatif faaliyetler açısından kullanıcıya birçok alternatif sunduğu görülmektedir. Araştırmanın yöntemini yerinde gözlem, inceleme, analiz ve değerlendirme aşamaları oluşturmaktadır. Elde edilen verilerle birlikte çalışma alanına ait ana kriter puan değerlerindeki eksiklikler incelenmiştir. Sonuç olarak alana ait puan değerlerinin incelenerek, alanın rekreatif değerinin yükseltilmesi amaçlanan ve çalışma alanında altın sertifika (60-79) puan değerinin de artırılması açısından gerekli noktalara değinilmiştir. Çalışma Çanakkale kentinin yoğun yapı oluşumunun vermiş olduğu zararı kullanıcı ve çevre açısından irdeleyerek çevre sorunlarını azaltmaya yardımcı olacak öneriler getirmektedir.

Anahtar kelimeler: Yeşil bina, LEED sertifikası, sürdürülebilir binalar

RESEARCHES ON LEED CERTIFICATED GREEN BUILDINGS İNÇANAKKALE URBAN AREAS: CASE STUDİES ON ÇANAKKALE ESAS 17 BURDA AVM

Abstract

Nowadays green building certificates have been developed in order to minimize the negative effects of buildings on the environment. Currently, in these studies, has highlighted the concept of green building and LEED certificate systems. The study is extremely important in terms of helping the city of Çanakkale, which has intensive use of buildings, to reduce environmental problems with the concept of sustainability. It is seen that "Çanakkale Esas 17 Burda AVM", which is the study area, is the largest shopping center in Çanakkale and offers many alternatives to the people in terms of accessible location and recreational activities.

Sorumlu Yazar: Okan YILMAZ, 17okanyilmaz@gmail.com

The method of the research consists of three stages which are on-site observation, examination, analysis and evaluation stages. Along with the data obtained, the deficiencies in the main category point values of the study area were examined. As a result, by examining the point values of the area, the points aimed at increasing the recreational value of the area and increasing the gold certificate (60-79) point value in the study area were mentioned. The study examines the damage caused by dense building formation in Çanakkale in terms of people and the environment and offers suggestions to help reduce environmental problems.

Keywords: Green building, LEED certificate, sustainability

1. Giriş

İnsanın doğa üzerinde bıraktığı etki, genellikle eğitim düzeyi, teknoloji gelişim seviyesi ve yarattığı yapay çevreyle olmaktadır. Çevre sorunlarının başladığı ve temellerinin bu süreçte atıldığı söylenebilir. Doğayı kontrolü altına alma yolunda teknolojik gelişme yıllar geçtikçe artarak hızlanmış ve insanoğlu zaman içinde doğal kaynakları kullanmada kendini doğadan üstün görmeye başlamıştır. Bütün insanlığı risk altına alan küresel çevre sorunlarının başlıcaları: İklim değişmesi, sera etkisi, ozon tabakasının incilmesi ve yoğun nüfus artışıdır [1]. Yoğun nüfus artışıyla birlikte çarpık kentleşme ve sanayileşme ortaya çıkmış bu da sosyal ve ekonomik düzende dengesizliği beraberinde getirmiştir. Bu durum aynı zamanda şehirlerde yaşayan insanların hayatı için sosyo-kültürel ve biyolojik çevrenin yetersiz hale gelmesine sebep olmuştur. Tüm bu sebeplerle birlikte küresel ısınmanın da neden olduğu iklim değişikliği ile çevre sorunlarına çözüm aranmaya başlanmıştır. Çözüm önerileri sonucunda “sürdürülebilir” veya “sürdürülebilirlik” kavramları açığa çıkmıştır. Doğal alanların sürdürülebilir kullanımı ve sürdürülebilirlik kavramı da koruma-kullanma dengesini oluşturmuştur [2-3]. İlk olarak 1972’de BM (Birleşmiş Milletler) tarafından Stockholm 'da düzenlenen “İnsan ve Çevre Konferansı” tarafından kalkınmaya yönelik anlamı ile ele alınmıştır. 1980’de IUCN (International Union for Conservation of Nature / Dünya Doğa ve Doğal Kaynakları Koruma Birliği) tarafından üretilen Dünya Koruma Stratejisi, ekosistemlerin ve biyolojik çeşitliliğin sürdürülebilir olmasını sağlayan bir kalkınma modeli olarak “Sürdürülebilir Kalkınma” kavramını ortaya koymuştur [4-5]. Sürdürülebilir Kalkınmayla birlikte iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında Paris iklim anlaşması da birçok ülke tarafından desteklenmektedir. Sanayi devriminden günümüze kadar olan süreçte ısınan yerkürenin sıcaklığını bu anlaşma kapsamında yapılacak çalışmalarla mümkünse 1,5°C ye en fazla 2°C ye düşürmeyi

hedeflemiştir [6]. Bu kapsamda sera gazı emisyonlarının sınırlandırılmasını öneren Paris antlaşması büyük rol oynamaktadır. “Paris Anlaşması ve Kito Bildirisi ile belediyelerin iklim değişikliği eylem planlarını geliştirmeleri hüküm altına alınmıştır” [7]. Özellikle kent içerisindeki yapıların oluşumları için gereken malzemelerin hammaddelerinin elde edilmesinden yıkım ve çeşitli kullanımlara kadar doğal kaynakların ve enerjilerin kullanılması, açığa çıkan zararlı emisyonlar ve atıkların sonucunda çevresel sorunlara neden olduğu görülmektedir. Yapıların tüm bu çevre ve toplum üzerinde yarattığı etki sebebiyle doğal kaynakların daha etkin kullanılması ve daha sağlıklı binalar inşa etmek için yapı ve inşaat sektörü sürdürülebilirlik ve çevre dostu kavramlarına dayalı yaklaşımlara yönelmiştir [8]. Son yıllarda yapıya dayalı yaklaşımlarla birlikte akıllı sürdürülebilir kentler kavramı da gündemde yer almaya başlamıştır. Yeşil ve enerji verimliliği teknolojilerinin yapı tasarım ve inşa sürecine uyarlanması da yeşil bina sürecine katkı sağlamaktadır [3]. Yeşil binalar, toplumsal ve çevresel sorumluluk yaklaşımıyla tasarlanan ve yaşam döngüsü boyunca çevreye ve insan sağlığına duyarlı yapılardır. Yeşil binalar, çevrenin yanı sıra ekonomi, işlev, konfor ve dayanıklılık ile ilgili ihtiyaçları da kapsamaktadır. Yeşil binalar aynı zamanda sürdürülebilir ya da yüksek performanslı yapılar olarak adlandırılmaktadır [9-10]. Sürdürülebilir kalkınma ve yeşil bina kavramlarının ortaya çıkmasından sonraki süreçte çeşitli sektörlerde bilinç haline dönüşmesi dünya çapında gönüllü olan sivil toplum örgütlerini, özel kuruluşları ve kamu kuruluşlarını ortaya çıkarmıştır. Bu kuruluşlardan bazıları, içinde buldukları coğrafyadan başlayarak tüm dünyadaki yapılar ve yapı ürünleri için değerlendirme ve sertifika sistemlerini oluşturmuşlardır. Bu sertifika sistemleri, yapıların hangi ölçüde sürdürülebilirliklerinin olduğunu ve çevreye olan etkilerinin derecelerini belirlemek açısından kılavuz özelliği taşımaktadır [11]. World Green Building Council (Dünya Yeşil Bina Konseyi–WGBC) üyesi olan ülkeler tarafından en çok kabul gören sertifika sistemleri; BREEAM, LEED, Green Star ve CASBEE olarak belirlenmiş olup, bu sistemler içerisinde Türkiye’de en çok kullanılan sertifikalar ise LEED ve BREEAM olarak karşımıza çıkmaktadır [12].

Erten’e göre (2010) Yeşil bina sertifikasyon sistemlerinden LEED, BREEAM, CASBEE ve GREENSTAR sertifika sistemlerinin detaylı bir karşılaştırması yapıldığında bunların birbirine temelde benzediğini ancak bazı sertifikaların ülkelerin tamamında kullanılırken bazılarının yerel olarak kullanıldığı görülmektedir. LEED ve BREEAM Yeşil Binaların uygulanmasında ve

tanınmasında dünyada en çok bilinen, kullanılan ve en detaylı yeşil bina sertifika sistemleridir [13].The U.S. Green Building Council -USGBC (ABD Yeşil Bina Konseyi) 1993 yılında Amerika'da mimarlar, yükleniciler ve çevre grupları gibi 1800'den fazla üyeden oluşmuş ulusal ve uluslararası düzeyde gönüllü olarak hizmet veren bir kurum olup dünyada kullanılan birçok farklı çevresel yaşam döngüsü değerlendirme sistemini gönüllü olarak inceleyerek ve değerlendirmiştir. 1998 yılında 'yeşil yapı' kavramını tanımlayarak yeni bir model olarak LEED 1.0 pilot modeli oluşturmuştur [9-14]. LEED sertifika sisteminin amacı insanların hayatlarının büyük bir kısmını geçirdiği mekanlarda kaliteli bir yaşam alanı oluşturmak, gelecek nesillerin yaşamsal gereksinimlerini ve kaynaklarını koruyarak kısıtlamayı önlemek adına daha çok kentsel çevre üzerinde önlemler almak ve binalardan kaynaklanabilecek olumsuz çevre etkisini minimum seviyeye indirmektir. Yapılar ve mahalleler üzerindeki olumsuz etkileri minimum seviyeye indirmek ve doğal çevreyi ve kısıtlı doğal kaynakları korumayı amaçlayan sertifika sistemi kredi ve koşullar aracılığıyla puanlama ile sertifikalandırma sağlamaktadır [15]. LEED puanlama sisteminde binaların sertifikalandırılabilmesi açısından belirli aşamalar bulunmaktadır. Sertifikanın alınabilmesi için öncelikle “önkoşul” adı verilen puanlamaya dahil olmayan gereksinimlerin gerçekleştirilmesi zorunludur. Gereksinimler sağlandıktan sonra puan değeri olarak “kredi” adı verilen kriterler öne çıkmaktadır. Derecelendirme kredi sistemi ile binalara belirli kriterler ile puanlamalar sağlanarak toplam puan üzerinden sertifika seviyesi belirlenmektedir. LEED sertifika sistemlerindeki kriterlerin toplam puanı 110 olarak belirlenmiştir. Koşulların yerine getirilmesinden sonra en az 40 puan alan yapılar sertifika almaya hak kazanmaktadır. Kriterlerden sağlanan puan durumlarına göre sertifika seviyeleri ise şu şekildedir; 40-49 puan LEED yalın sertifika, 50-59 puan LEED gümüş sertifika, 60-79 puan LEED altın sertifika ve 80 ve üzeri puan LEED platin sertifika olarak derecelendirilmektedir [16-17] (Şekil 1).



Şekil 1. LEED Sertifika Seviyeleri ve Puan Durumu [18]

ABD Yeşil Bina Konseyine (The U. S. Green Building Council-USGBC) göre LEED sertifika sistemleri binaların tasarım sürecinden başlayarak uygulama ve tamamlaması gibi uzun bir sürece kadar devam etmektedir. Binalar için verilecek sertifika belgesinin belirlenmesinden önce sertifika verilecek binanın proje türü göz önünde bulundurularak binanın hangi proje türüne ait olduğu belirlenmelidir. Bu bina türleri kendi içerisindeki özelliklere ayrılmıştır. ABD Yeşil Bina Konseyi'nin son verilere göre belirlemiş olduğu 8 proje türü bulunmaktadır [19-20]. Bunlar;

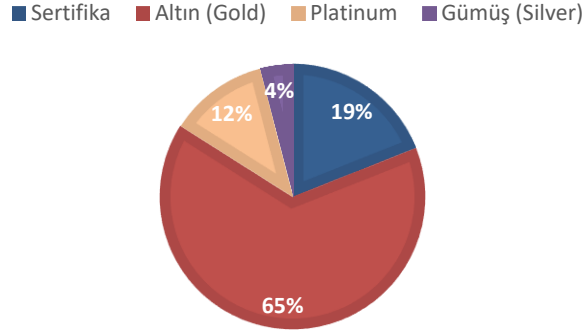
1. Yeni binalar/ LEED for Building Design and Construction (LEED BD+C)
2. Yeni iç mekanlar/ LEED for Interior Design and Construction (LEED ID+C)
3. Mevcut binalar ve mekanlar/ LEED for Operations and Maintenance (O+M)
4. Mahalle geliştirme/ LEED for Neighbourhood Development (LEED ND)
5. Şehirler ve topluluklar/ LEED for Cities and Communities
6. Yerleşim/Homes (LEED H)
7. Yeniden sertifikalandırma (LEED recertification)
8. Perakende (Retailer)

olarak incelenmektedir [17].

Her proje türü kendi içerisinde kategorilere ayrılmakta olup bu kategoriler sürümlere göre değişiklik gösterebilmektedir. Proje kapsamında incelenecek olan çalışma alanı LEED v2009 sürümü kapsamında sertifikalandırıldığından dolayı araştırma da kategori olarak LEED v2009 sürümü dikkate alınmıştır.

Her kategorinin ayrı ayrı puan kartı bulunmakta olup sürümlere göre proje türünde olduğu gibi kategoriler de kendi içerisinde derecelendirme sistemleri bakımından değişiklik göstermektedir [17]. Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik (LEED) yeşil bina sertifikasyon sistemi sadece çevresel etkileri en aza indirmekle kalmayıp binalar içerisindeki su, enerji ve yapı malzemelerinin tüketimini azaltmak ve geri dönüşümünü sağlamayı da hedeflemektedir. Ayrıca kullanıcıların sağlığını ve toplumsal bağlantıyı da sürdürülebilir hale getirmektedir. Yeşil binalar oluşturulurken çevresel ayak izi en aza indirgenirken binaların sürdürülebilirliğinin kalıcı olması açısından binaların dış etkenlere dayanabilecek yapıda olmasını tasarlamayı da konu edinmektedir. LEED her yapıya özel olarak bireysel puanlama yöntemi kullanılmaktadır [21-22]. Son yıllarda çevre bilincinin artmasıyla birlikte Türkiye'de de LEED sertifika sistemleri daha da yaygınlaşmaya

başlamıştır. LEED sertifika sistemleri kayıtlarına bakıldığında Ekim2021 tarihi itibariyle Türkiye’de 626 LEED sertifikasına kayıtlı proje, 483 sertifikalı proje bulunmaktadır. 2021 yılı içerisinde ise49 proje sertifika almaya hak kazanmıştır. Bu yıl içerisindeki sertifikalar incelendiğinde en çok altın sertifika alındığı görülmektedir. 2021 yılı alınan sertifika yüzdeleri Şekil 2.’de gösterilmektedir [23].

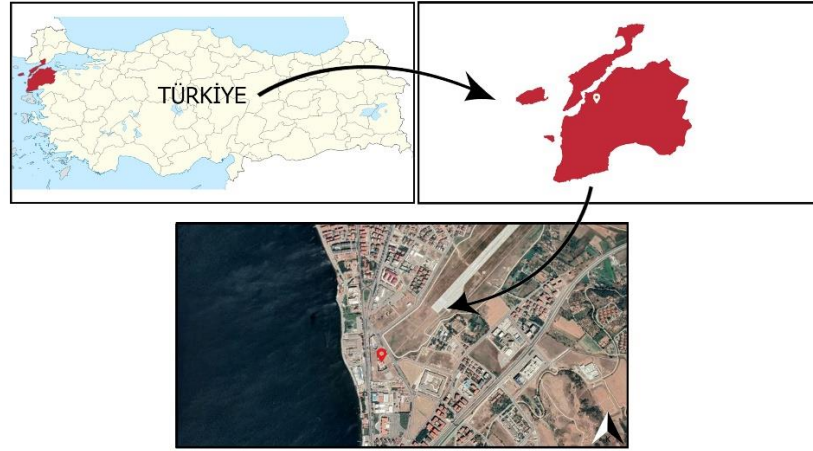


Şekil 2. 2021 Yılında Türkiye’de Alınan LEED Sertifika Oranları [23]

Yeni Binalar kategorisi kendi içerisinde Yeni İnşaatlar, Çekirdek ve Kabuk, Okullar, Perakende, Sağlık ve Veri Merkezleri, Konaklama, Depolar ve dağıtım merkezleri ve Evler olarak kendi içerisinde sınıflara ayrılmıştır [17]. Çalışmakapsamında örnek bina olarak Türkiye’de yaygın olarak kullanılan LEED sertifika sistemi ile altın sertifika almış olan Çanakkale Esas 17 Burda AVM ele alınmıştır. Birçok meslek disiplinin yeşil binalar ve sürdürülebilirlik kavramına bakış açısı ve bu kavramlara karşılık ortaya çıkmış, yeşil bina sertifika sistemlerinden biri olan LEED sertifikasına dair yüksek lisans ve doktora tezleri, dergiler ve konuyla ilgili internet sitelerinden yapılan araştırmalardan yararlanılmıştır. Çalışma alanının yeterliliği, erişilebilirliği ve kullanım kapasitesi gözlemler ve çeşitli araştırmalar yapılarak irdelenmiştir.Elde edilen veriler ve uygulanan yöntem ile Çanakkale 17 Burda AVM’ninLEED sertifika sistemlerindeki puan değerleri incelenmiştir. Sonuç olarak AVM’nin puan değerlerine göre sertifikanın iyileştirilebilirliğine ve geliştirilebilirliğine yönelik önerilerde bulunulmuştur.

2.Materyal ve Metod

Araştırma alanını; Çanakkale havalimanına 2.3 kilometre, denize 800 metre kentin güneybatı gelişim sahasında bulunan eski Tekel Şarap ve Kanyak fabrikası arazisi üzerinde bulunmaktadır (Şekil 3.). Bu alana inşaa edilmiş olan 47.950 metre kare alana sahip bir ticari kuruluş olan Esas 17 Burda AVM LEED altın sertifikaya sahiptir. Alana ait elde edilecek veriler için gerekli internet sitelerinden, kurum ve kuruluşlardan yararlanılmıştır. Çalışma kapsamında alandan çekilmiş fotoğraflar, alana ait proje çizimleri, alanın almış olduğu LEED sertifikası ve puanlama tablosu, çeşitli belgeler ve kaynaklar kullanılmıştır [17]. Bu kapsamda; çalışmaya ait sertifika değeri ve puanlama tablosu, sertifikayı veren The U. S. Green Building Council -USGBC (ABD Yeşil Bina Konseyi)'nin resmi sitesinden elde edilmiştir. Alana ait proje çizimleri çeşitli internet sitelerinden, projeye alanına ait kat planları ise gerekli görüşmeler yapılarak Esas 17 Burda AVM yönetimi tarafından talep edilmiş ve bu talep doğrultusunda elde edilmiştir.



Şekil 3. Çanakkale Çalışma Alanı Konum Haritası

Araştırmanın yöntemi; yerinde gözlem, inceleme, analiz ve değerlendirme aşamalarından oluşmaktadır. Bu kapsam ile ilgili veriler gözlem ve inceleme aşamalarını takiben erişilebilirlik, kapasite ve yeterlilik analizleri ortaya konularak irdelenmiş bu kapsamda değerlendirmelerde bulunularak araştırmanın yöntemi ortaya konmuştur. Yapılan araştırma sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda araştırma alanı üzerinde gözlem ve incelemeler yapılmıştır. Bu amaçla

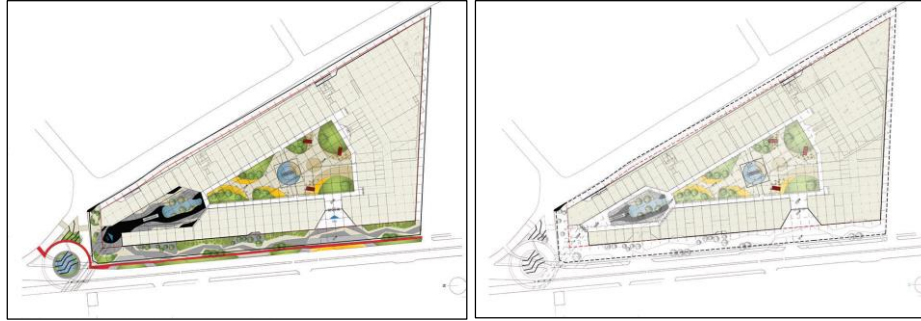
alandan fotoğraflar çekilerek, fotoğraflar üzerinden görsel analiz yöntemi kullanılarak alanın erişilebilirliği, kapasitesi ve yeterliliği üzerine analizler yapılmıştır. Bu incelemeler ve analizler sonucunda araştırma alanına ait değerlendirmeler ortaya konmuştur. Araştırmanın yöntemini LEED sertifika sistemi yeni binalar kısmından çekirdek ve kabuk kategorisinin ana puanlama sistemi üzerinden uygulanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Yeni Binalar Derecelendirme Sistemi Ana Kriter ve Puan Tablosu [17]

Derecelendirme Sistemi Ana Kriterleri		Puanlar
1.	Sürdürülebilir Araziler (Sustainable Sites)	28
2.	Su verimliliği (Water Efficiency)	10
3.	Enerji ve atmosfer (Energy and Atmosphere)	37
4.	Malzemeler ve kaynaklar (Materials and Resources)	13
5.	İç mekan ve çevre kalitesi (Indoor Environmental Quality)	12
6.	İnovasyon (Innovation and design process)	6
7.	Bölgesel öncelikli krediler (Regional priority credits)	4
Toplam:		110

3. Bulgular ve Tartışma

Çanakkale Esas 17 Burda AVM tasarım ve geliştirme sürecinde Çanakkale kentinin en eski tarihine dayanan Truva atı konsepti baz alınarak oluşturulmuştur (Şekil 4). Tasarımın gelişiminde tarihe dayanan hikaye, yapıya ait parselin özelliği ve iklim koşulları baz alınarak süreç ilerlemiştir. Kentin merkezinde yer alan projenin yakın çevresinde yer alan havaalanı, D200 karayolu ve Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi ana yerleşkesinin bulunması da alanın erişilebilirliği ve kullanımı açısından önemli faktörleri oluşturmuştur [24] (Şekil 5). Proje sürecinde LEED sertifika sistemlerinden yararlanılarak alanın kente vereceği çevresel zararların en aza indirgenmesi hedeflenmiştir. Bu durum alan ve malzeme kullanımına da yansıtılmıştır.

**Şekil 4.** Çanakkale Esas 17 Burda AVMProje Görüntüsü [24]**Şekil 5.** Çanakkale 17 Esas Burda AVM Zemin Kat ve 1. KatProje Çizimi [24]

LEED (Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik) sertifika sistemi kullandığı yönetime göre her proje türü için temelde aynı derecelendirme sistemi başlıkları kullanılmakta olup proje türüne ve sürümüne göre puan değerleriyle birlikte ana kriterler ve ana kriterlerin alt kriterleri de değişiklik göstermektedir. Çalışma alanı Esas 17 Burda AVM kapsamında derecelendirme sistemi oluşturulurken V2009 sürümü, yeni binalar proje türüyle çekirdek ve kabuk kategorisi üzerinden değerlendirmeler yapıldığından dolayı çalışma alanı ait derecelendirme sistemi 7 ana kriter altında toplanmıştır. Ana kriter tablosu ve değerleri Tablo 1’de belirtilmiştir.

LEED (Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik) yeşil bina sertifikasyon programı yalnızca çevreye dost olmasıyla ve yapı malzemeleri kullanmasıyla kalmayıp, aynı zamanda çevre matrisleri olan hava, toprak, yeraltı, enerji ve su üzerinde en az seviyede olumsuz etki ya da etkilere sahip bir çalışma ve işleyiş sürecine hakim olmasıyla da öne çıkmaktadır. Derecelendirme sisteminde bulunan kriterlerin puan değerlerini oluşturabilmesi için maddeler halinde belirlenmiş alt değerler bulunmaktadır [22]. Proje kapsamında ele alınan çalışma alanı Esas 17 Burda AVM’ye ait sertifika

v2009 sürümü, LEED Yeni Binalar/LEEDfor Building Design and Construction (LEED BD+C) proje türü, Çekirdek ve Kabuk kategorisine ait olduğu sertifika aracılığıyla tespit edilmiştir. LEED yeni binalar proje türü yeni inşa edilecek yapılar ve büyük ölçüde renovasyon uygulanacak olan binaları kapsamaktadır. LEED yeni binalar kategorisinde bütünsel bir yeşil bina tasarlamayı temelden oluşturmayı amaçlayarak sürdürülebilirlik kavramının maksimum düzeyde uygulanması amaçlanmıştır [8-17]. Çekirdek ve Kabuk kategorisi proje geliştiricinin tüm elektrik, sıhhi tesisat, mekanik ve yangın güvenlik sistemi tasarımını ve yapımını kontrol ettiği tasarımların ve inşaatın değerlendirilmesinde tercih edilmektedir. Bu proje için tasarım ve yapıyerleşimci faaliyetlerini kapsamamaktadır [17-26]. Çanakkale Esas 17 Burda AVM 47.950 metrekare araştırma alanına ait 12 Ağustos 2015 tarihinde v2009 sürümü ileLEEDaltın sertifika almaya hak kazanmıştır. Çanakkale Esas 17 Burda AVM derecelendirme sistemi ana kriter puanları Tablo 2’te gösterilmiştir.

Tablo 2. Çanakkale Esas 17 Burda AVM Derecelendirme Sistemi Ana Kriter Puanları [25]

Derecelendirme Sistemi Ana Kriterleri		Puanlar
1.	Sürdürülebilir Araziler (SustainableSites)	21\28
2.	Su verimliliği (WaterEfficiency)	6\10
3.	Enerji ve atmosfer (Energy and Atmosphere)	21\37
4.	Malzemeler ve kaynaklar (Materials and Resources)	6\13
5.	İç mekan ve çevre kalitesi (IndoorEnviromentalQuality)	4\12
6.	İnovasyon (İnnovation and designprocess)	6\6
7.	Bölgesel öncelikli krediler (Regionalprioritycredits)	4\4
Toplam:		68/110 Puan

Ana kriterlere göre puan değerlerinin nereden geldiğini gösteren alt kriter puanları Tablo 3’tedir.

Tablo 3. Çanakkale Esas 17 Burda AVM derecelendirme sistemi ana kriterlerin alt kriter puanları [25]

17 Burda AVMLEED BD+C: Çekirdek ve Kabuk (v2009) Kategorileri		Puan Değerleri
1.	Sürdürülebilir Araziler (Sustainable Sites)	Puan
a.	İnşaat faaliyeti kirliliği önleme	Gerekli
b.	Yer seçimi	1\1
c.	Geliştirme yoğunluğu ve topluluk bağlantısı	5\5
d.	Kahverengi alan (Brownfield) yeniden geliştirme	0\1
e.	Alternatif ulaşım/toplu taşıma erişimi	6\6
f.	Alternatif ulaşım/bisiklet muhafazası ve soyunma odaları	2\2
g.	Alternatif ulaşım/düşük emisyonlu ve yakıt tasarruflu araçlar	3\3
h.	Alternatif ulaşım/park kapasitesi	0\2
i.	Site geliştirme/habitatı koruyun veya geri yükleyin	0\1
j.	Site geliştirme/açık alanı en üst düzeye çıkart	1\1
k.	Yağmur suyu tasarımı/miktar kontrolü	1\1
l.	Yağmur suyu tasarımı/kalite kontrol	0\1
m.	Isı adası etkisi/çatısız	1\1
n.	Isı adası etkisi/çatı	1\1
o.	Işık kirliliğinin azaltılması	0\1
p.	Kiracı tasarım ve inşaat yönergeleri	0\1
Toplam:		21\28 Puan
2.	Su Verimliliği (Water Efficiency)	Puan
a.	Su kullanımının azaltılması	Gerekli
b.	Su verimli çevre düzenlemesi	0\4
c.	Yenilikçi atık su teknolojileri	2\2
d.	Su kullanımının azaltılması	4\4
Toplam:		6\10 Puan
3.	Enerji ve Atmosfer (Energy and Atmosphere)	Puan
a.	Bina enerji sistemlerinin temel olarak devreye alınması	Gerekli
b.	Minimum enerji performansı	Gerekli
c.	Temel soğutucu akışkan yönetimi	Gerekli
d.	Enerji performansını optimize edin	11\21
e.	Yerinde yenilenebilir enerji	0\4

f.	Gelişmiş devreye alma	2\2
g.	Gelişmiş soğutucu yönetimi	2\2
h.	Ölçüm ve doğrulama/ kiracı alt ölçümü	3\3
i.	Ölçüm ve doğrulama/temel bina	3\3
j.	Yeşil güç	0\2
Toplam:		21\37 Puan
4.	Malzemeler ve kaynaklar (Materials and Resources)	Puan
a.	Geri dönüştürülebilir maddelerin depolanması ve toplanması	Gerekli
b.	Binanın yeniden kullanılması/mevcut duvarları, zeminleri ve çatıyı koruyun	0\5
c.	İnşaat atık yönetimi	2\2
d.	Malzemelerin yeniden kullanımı	0\1
e.	Geri dönüştürülmüş içerik	2\2
f.	Bölgesel malzemeler	2\2
g.	Sertifikalı ahşap	0\1
Toplam:		6\13 Puan
5.	İç mekan ve çevre kalitesi (Indoor Enviromental Quality)	Puan
a.	Minimum iç hava kalitesi performansı	Gerekli
b.	Çevresel tütün dumanı (ETS) kontrolü	Gerekli
c.	Dış hava dağıtımını izleme	1\1
d.	Artan havalandırma	1\1
e.	İnşaat IAQ yönetim planı/inşaat sırasında	1\1
f.	Düşük emisyonlu malzemeler/yapıştırıcılar ve sızdırmazlık malzemeleri	0\1
g.	Düşük emisyonlu malzemeler/boyalar ve kaplamalar	0\1
h.	Düşük emisyonlu malzemeler/döşeme sistemleri	0\1
i.	Düşük emisyonlu malzemeler/ kompozit ahşap ve agrifiber ürünler	0\1
j.	İç mekan kimyasal ve kirletici kaynak kontrolü	0\1
k.	Sistemlerin kontrol edilebilirliği/termal konfor	0\1
l.	Termal konfor/tasarım	1\1
m.	Gün ışığı ve manzaralar/gün ışığı	0\1
n.	Gün ışığı ve manzaralar/manzaralar	0\1
Toplam:		4\12 Puan

6.	İnovasyon (Innovation and designprocess)	Puan
a.	Tasarımda yenilik	5
b.	LEED akredite profesyonel	1
c.	Tedarik zincirinde sosyal eşitlik (kapalı)	1
Toplam:		6/6 Puan
7.	Bölgesel Öncelik (Regionalprioritycredits)	Puan
a.	Enerji performansında optimize	1\1
b.	Termal konfor - tasarım	1\1
c.	Yağmur suyu tasarımı - miktar kontrolü	1\1
d.	Isı adası etkisi - çatı	1\1
Toplam:		4\4 Puan
Sertifika Toplam Puanı:		68\110 Puan

Yöntemde belirtildiği gibi yerinde gözlemler, incelemeler ve görsel analizlerin yapılması amacıyla alandan çok sayıda fotoğraf alınmış bu fotoğraflar görsel analizlerin gerçekleştirilmesi amacıyla ayrıntılı olarak incelenmiştir (Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9).



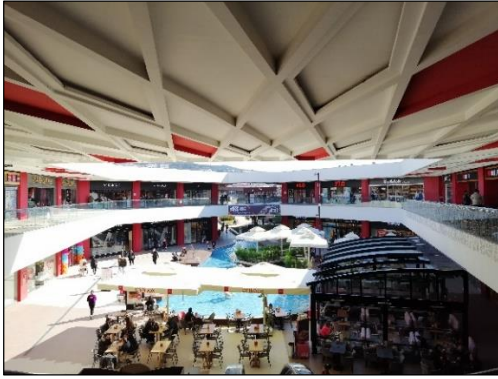
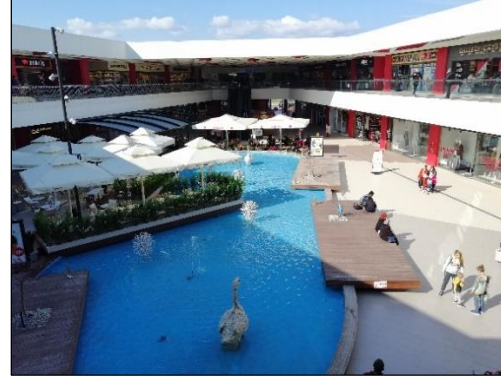
Şekil 6. Çanakkale 17 Burda AVM Çevre Bağlantıları Haritası



Şekil 7. Çanakkale 17 Burda AVM İç Avlu Güney Avlusu Görüntüsü

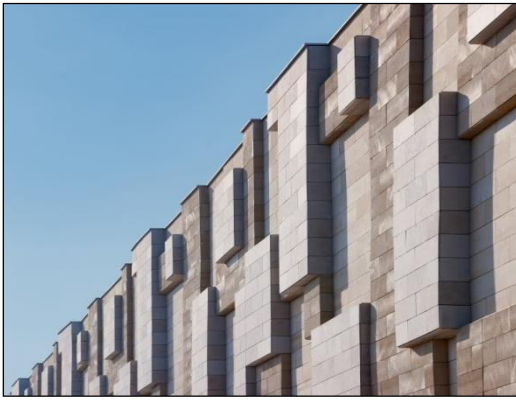


Şekil 8. Çanakkale 17 Burda AVM İç Avlu Kuzey Avlusu Görüntüsü



Şekil 9. Çanakkale 17 Burda AVM Oturma Alanları Görüntüsü



**Şekil 10.** Çanakkale 17 Burda AVM Giriş ve Yeşil Çatı Görüntüsü [23]**Şekil 11.** Çanakkale 17 Burda AVM Dış Duvar Görüntüsü [23]

LEED (Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik) sertifika sistemleri kentsel alanlardaki yoğun yapılaşma ve nüfus artışıyla birlikte oluşan çevre sorunlarına yenilikçi ve çözüm odaklı bir yaklaşım ileriye sürmüştür [21-26]. Bu yaklaşımla birlikte kentsel yapıların çevreye duyarlı olması konusunda çalışmalar yaparak belli sertifika düzeyleri ile kentleri iyileştirmeyi hedeflemiş ve doğal çevrenin sürdürülebilirliğine katkı sağlamayı amaçlamıştır [17]. Çalışma yoğun kentleşmenin görüldüğü Çanakkale kentinde sürdürülebilir çevre anlayışını geliştirmeyi amaçlamıştır. Ayrıca çalışma Çanakkale halkına ve kentin çevre dokusuna katkı sağlamaya yardımcı olacaktır. Araştırma alanı kapsamındaki Çanakkale Esas 17 Burda AVM'de LEED sertifika sistemlerinden altın sertifika elde etmiş alanlardandır. Araştırma alanı için yapılan irdelemeler Çanakkale kenti açısından önemli görülen noktalar üzerinden değerlendirilmiştir. Bu noktalar görsellerle desteklenmektedir. Şekil 7 ve 8 de görüldüğü gibi Çanakkale Esas 17 Burda AVM klasik ve kapalı avm anlayışının dışına çıkarak açık çatı sistemi ile dikkat çekmektedir. Kullanıcıya açıklık hissi

vermesinin yanı sıra mekana da farklı bir boyut kazandırmaktadır. AVM'nin açık bir çatı sistemine sahip olması yağmur suyunun toplanması ve sürdürülebilir kullanımı açısından oldukça yüksek niteliktedir. Fakat AVM içerisinde bu niteliği sağlayacak bir sistem bulunmamakta olup alan yağmur suyu kontrolü alt kriterinden puan alamamıştır. Aynı şekillerde alan içerisindeki dış mekan bitkilendirmesi yapıldığı görülmektedir. Bu alanlar kentin ısı adası etkisini azaltmada önemli rol oynasada günümüz su koşulları düşünüldüğünde sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi açısından bu alanlarda daha az su ihtiyacı olan bitkilerin kullanılması gerekmektedir. Bu durum göz önüne alındığında leed sertifika puan tablosunun alt kriterlerinden olan su verimli çevre kriterinden hiç puan alamadığı da görülmektedir. Kullanıcıların genellikle kullandığı yeme-içme bölümünün kapalı olduğu Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterilmektedir. AVM denize çok yakın bir alanda konumlandırılmasına rağmen manzara etkisinden yararlanamamaktadır. Bu da kullanıcıyı alana çekme ve rekreasyon faaliyetlerini arttırmada yetersiz kalınmasına ve manzara alt kriterinden puan alamamasına sebep olmuştur. Bunların üzerine gerekli incelemeler, gözlemler ve yetkili kurumdan alınan veriler doğrultusunda Çanakkale Esas 17 Burda AVM'nin sertifika derecelendirme puanları göz önünde bulunarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

LEED sertifika sistemlerinde daha iyi hizmet verebilmek ve doğru şekilde puanlama yapabilmek adına ana kriterler aynı olsa da puan değerleri ve alt kriterleri değişiklik göstermektedir. Sonuç olarak Çanakkale Esas 17 Burda AVM Yeni binalar (LEED for Building Design and Construction/LEED BD+C) ana kategorisinden Çekirdek ve Kabuk (Core and Shell) alt kategorisinde yer aldığı sertifika ve LEED sertifika sistemlerine ait ana site olan USGBC tarafından teyit edilmiştir. Alanın ana kriterlerden Sürdürülebilir Arazi kullanımı kategorisi içerisindeki alt kriterlerin çoğundan puan alamadığı gözlemlenmektedir. Özellikle sertifikanın sürdürülebilirliğe öncülük ettiği düşünüldüğünde bu durum dikkat çekicidir. Bir başka ana kriter olan Enerji ve Atmosfer kategorisi diğer kategoriler içerisinde en düşük puana sahiptir. Bu durum geleceğe yönelik çevrenin korunması açısından oldukça önemli olan yenilebilir enerjiye olan ihtiyacı yapının karşılayamadığını göstermektedir. Bununla birlikte kalan alt kriterlerden tam puan alması da göz ardı edilmemelidir. Su Verimliliği ana kriteri doğal kaynakların giderek tükendiği göz

önünde bulundurulduğunda devamlılığın sağlanması ve bu kaynakların korunarak aktarılması açısından önemli bir kriterdir. Fakat tabloda görüldüğü üzere alan su kaynaklarını doğru kullanmada yetersiz kalmıştır. Ayrıca bu kategori ile sürdürülebilir arazi kullanımı kategorilerine bakıldığında açık çatı sisteminin bir avantajı olan yağmur suyu tasarımı alt kategorisinde de bu avantajı kullanamadığı görülmektedir. Bununla beraber alan içerisinde kullanılan bitkilerin yeterli su ihtiyacını sağlamada daha akılcı ve sürdürülebilir çözümler geliştirilemediği de puan alınamamasından açıkça görülmektedir. Toplumun bilinçlenmesi ve gün geçtikçe farkındalığın artması geri dönüştürülebilir malzeme kullanımını da arttırmaktadır. Fakat alana ait puan tablosunda Malzemeler ve kaynaklar ana kriterinden de oldukça düşük puan aldığı gözlemlenmiştir. Özellikle geri dönüştürülebilir malzeme kullanımından puan alamaması doğal habitata vereceği hasar nedeniyle dikkate alınmalıdır. İç mekan ve çevre kalitesi ana kriterinden ise malzemeler ve kaynaklar ana kriterinde olduğu gibi doğaya saygılı malzemelerin kullanılmasına dikkat çekmiştir. Fakat alan bu kriterlerden puan alamayarak doğal çevrenin devamlılığının sağlanmasına yardımcı olamamaktadır. Ayrıca doğal manzarayı ve ışığı kullanarak kullanıcıya yakınlık hissi vermesi, yapaylıktan uzaklaştırması büyük bir avantajken alan bu açıdan son derece yetersiz kalmıştır. Çanakkale Esas 17 Burda AVM'nin kalan kriterlerden tam puan alması alanın konumsal açıdan oldukça merkezi bir noktada yer almasından kaynaklıdır. Bu puanlama sistemine bakıldığında çalışma alanı için toplam 110 puan üzerinden 68 puan olarak altın sertifika (60-79 puan) almaya hak kazandığı görülse de alana ait çok sayıda önemli kriter eksiktir. Sonuç olarak çalışma alanı kapsamında yapılan incelemeler, yerinde gözlemler ve elde edilen veriler doğrultusunda alana ait kriterlerden almış olduğu puanlar göz önünde bulundurulduğunda alanın geliştirilebilirliğe açık olduğu ve düşük puan değerlerinin iyileştirilebileceği görülmektedir. Çanakkale kentinin Asya ve Avrupa arasında geçiş güzergahı üzerinde bir uğrak noktası olması bakımından önemli bir konumdadır. Çalışma alanının da konumsal olarak oldukça merkezi bir konumda olup diğer alış-veriş merkezlerine kıyasla çatısının belli bir kısmının açık olmasıyla kullanıcıya kapalı alan yerine açık bir alan hissi uyandırmada farklı tasarımıyla ön plana çıkmaktadır. Fakat alan tasarımında yapılan hatalardan birisi Çanakkale kentinin deniz kenarında ve manzaraya sahip olması ve yapının da bu konumda bulunuyor olmasına rağmen alanın manzara açısından rekreasyonel olarak kullanımının bulunmaması ve güneş ışığını yeterli şekilde

kullanamaması en büyük etkenlerden biridir. Kullanıcıların yemek, dinlenme ve rekreasyonel oturma faaliyetlerini gösterdikleri alanlarda hiçbir şekilde manzarayı kullanamamaları üst kısmı açık olan alış-veriş merkezi olmasına rağmen kullanıcıya kapalılık hissi yaratmaktadır. Bununla birlikte düz ve uzun tasarlanan yürüyüş alanlarının bir noktadan diğer noktaya ulaşmada kullanıcıya yorucu bir his uyandırmaktadır. Açık bir alana sahip olan AVM’de bitkisel alan kullanımı oldukça az olmakla birlikte bu durum su verimli çevre düzenlemesi alt kriterinden puan alamamasına sebep olmuştur. Yoğun yapı kullanımına maruz kalan Çanakkale kenti içerisinde bitki kullanımının artması hem çevresel hem de kullanıcıya rekratif kullanımlar açısından daha verimli olacaktır. Eksik olan puanlar üzerinden değerlendirilen çalışma alanı için bu kapsamda LEED sertifika sistemlerinin yeni sürümüne eklenmiş olan yeniden sertifikalandırma kategorisi bulunmaktadır. Bu durum geliştirilebilir olan alanların tespit edilmesi ve alınan düşük puanları arttırabilmekte avantaj sağlamaktadır.

Araştırma kapsamındaki tüm incelemeler, gözlemler ve yenilenen LEED sertifika sistemlerinin tespit edilmesiyle birlikte alana ait manzara kullanım, güneş ışığının yetersizliği, su verimli çevre düzenlemesi, alternatif ulaşım ve park kapasitesi, malzemelerin yeniden kullanılması ve yağmur suyu tasarımı gibi birçok alt kriterin geliştirilmesi gerektiği gözlemlenmiştir. Geliştirilmesi düşünülen alanlar, Çanakkale kentinin çevre dokusuna da katkı sağlayacaktır. Alana ait manzara kullanımı için manzara yönünü kullanıcıların manzaradan yararlanmasını sağlayacak ve iklim koşullarına dayanıklı olacak nitelikte yeni tasarım anlayışlarıyla geliştirilmesi önerilebilir. Bununla birlikte manzaraya hakim olan alanların kapalı mağazalar olması yerine yemek ve diğer rekreasyonel kullanım alanları manzara yönüne geçirilerek kullanımda daha aktif olması ve kullanıcıya açıklık hissi vermesi açısından alana son derece olumlu bir yaklaşım sağlayacaktır. Alana ait yağmur suyu tasarımının eksikliğinde ise açık bir çatıya sahip olması ve yağmur suyu için çatıda ve zeminde belirli alanlara konulan yağmur suyu kanalları aracılığıyla yağmur suyu depolanması ve alanın bitkisel öğelerinde kullanılmak üzere geliştirilmeye açık olduğu görülmektedir. Uygulanacak bu sistem Çanakkale kentindeki birçok yapıya örnek olma niteliğinde olabilecektir. Alanın bitkisel dokusunun yetersiz olması ve doğal çevreye daha benzer bitkisel öğelerin kullanılması kullanıcı açısından hem daha doğal hem de açık bir alan hissi uyandıracığından saksı tipi bitkilendirmenin düzeltilerek doğal çevreye ve bölgeye uyumlu bitkisel

alanlar oluşturulması gerekmektedir. Kullanılan zemin malzemeleri ve diğer malzemelerin çevreye dost ve geri dönüştürülebilir olması ilk başta maliyet açısından yüksek fiyatlı görülse de hem doğal çevre açısından hem de kentsel çevrenin doğaya vermiş olduğu zararı en aza indirmeye açısından oldukça önem arz etmektedir. Yapılacak iyileştirmeler ve düzenlemelerle birlikte alanın kentsel yapı yoğunluğundan kurtularak doğala benzer ya da doğala yakın hale gelmesi gelecek nesillere aktarılacak olan çevreye en az zararı vermesi en üst seviyeye çıkartılarak Çanakkale kenti içerisindeki yoğun gri betonlaşmanın az da olsa önüne geçecektir. Dünya genelinde kent içerisindeki açık yeşil alanlar günümüzde yoğun nüfus artışının getirdiği sorunlarla yetersiz kalmakta ve bu süreçte geri dönüştürülebilir ve çevreye dost kentsel yapılar ön plana çıkmaktadır. Sonuç olarak Dünya genelinde yaygın olarak kullanılan sertifika sistemlerinin Türkiye’de yaygın şekilde kullanılmamaktadır. Çanakkale kentinin tarihi ve merkezi konumu açısından önemli noktada bulunması Türkiye açısından bir öncü olma niteliği de taşıyacağı düşünülmektedir. Çanakkale’de kentsel yapının tamamına yakınına gri binalar oluşturmaktadır. Oysa ki araştırmamıza konu olan yeşil bina sistemi ivedilikle artırılması durumunda kentin yaşam standartlarının yeşil binalar ile beraber yükseleceği düşünülecektir. Yapılan çalışma sonucunda Türkiye’de ve Çanakkale kentinde yeşil bina sertifikalarına talebin arttığı görülürken gerekli olan uygulamaların hayata geçirilmesi konusunda bazı sıkıntılar yaşandığı ve eksiklikler olduğu da gözlemlenmiştir. Bu eksiklikler puan tablosuna da yansımaya rağmen altın sertifikalı birçok proje bulunmaktadır. Konuya dair projelerden önce yeşil bina sertifika sistemleri hakkında eğitimlerin alınması çevrenin korunmasına ve sürdürülebilir kullanımına yönelik daha doğru sonuçlar doğuracaktır.

Kaynaklar

- [1] Alagöz, B.,2007. Çevre Sorunları, Teknoloji Ve Değişen Öncelikler. 38. ICANAS, 10, 43.
- [2] Yüksek, T., Cengiz, T., & Yüksek, F.,2008. Doğal Alanlarda Festival Etkinliklerinin Koruma-Kullanma Açısından Değerlendirilmesi: Kafkasör Kültür, Sanat ve Turizm Festivali Örneği. Ekoloji Dergisi, 17(67).
- [3] Görgülü, L. S., LEED Sertifikalı Ofis Binalarının Enerji Performanslarının Kullanım Sonrası Süreçte Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,2019.

- [4] Kaypak Ş., 2011. “Türkiye Küreselleşme Sürecinde Sürdürülebilir Bir Kalkınma İçin Sürdürülebilir Bir Çevre”, KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 13,20 2011, 19 33.
- [5] Çam, E.Ö., LEED Sertifika Örneği Üzerinden, Yeşil Bina Sertifika Sistemleri için Bir Uygulama Önerisi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon,2016.
- [6] Bozoğlu, B., Paris İklim Anlaşması Kapsamında Türkiye'nin Erken Uyarı Sistemine Dair Yapması Gerekenler, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara,2018.
- [7] Hırlak. F., Yerel Düzeyde İklim Değişikliği ile Mücadelede İklim Eylem Planlarının Rolü ve İstanbul İklim Değişikliği Eylem Planı, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çanakkale,2020.
- [8] Karagöz, S., “Yeşil Bina Uygulamaları” Bağlamında Çanakkale İli İçerisindeki Örnek Bir Konutun Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çanakkale,2014.
- [9] Arslan, N. C., Yeşil Bina Projelerinde Tasarım Süreci İçin Bir Yaklaşım: LEED v4 Sertifikalandırma Süreci Modeli, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015.
- [10] Baştaoğlu, E., LEED Yeşil Bina Sertifika Sistemi Uygulamalarının Değerlendirilmesi: Avrupa ve Türkiye.Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,2017.
- [11] Sarıgül, F. H., Sürdürülebilirlik İçin Sertifikalandırma: Şereflikoçhisar Aile Yaşam Merkezi Binasının Yeni Binalar İçin LEED BD+C Kapsamında Değerlendirilmesi,Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2018.
- [12] Yerlibaş, S., Yeşil Binaların Yapım ve Yönetim Tekniklerinin Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik (LEED) Kriterleri Kapsamında İncelenmesi ve Peyzaj Mimarlığı Meslek Disiplini ile İlişkilerinin İrdelenmesi Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir,2014.
- [13] Uslu, H., İstanbul'da Bazı LEED Sertifikasyon Uygulamalarının Peyzaj Mimarlığı Açısından İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta,2017.
- [14] Ölmez, C., Yeşil Yapı Sertifika Sistemlerinin Kullanıcı Gereksinimlerine İlişkin Tasarım Kararları Bağlamında İrdelenmesi BREEAM, LEED ve WELL Bina Standardı, Yüksek Lisans Tez, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,2019.
- [15] ORHAN, İ. H., & KAYA, LG.,2016. LEED yeşil bina ve iç donanımın incelenmesi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7 (Özel (Özel) 1), 18-28.

[16] Aytekin, A., Mevcut Bir Binanın LEED Sertifikası Açısından İncelenmesi: Kredi Oluşturabilecek Fırsat ve Önerilerin Sunulması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,2019.

[17] USGBC (2021) U.S Green Building Council,17 Burda AVM Project. <https://www.usgbc.org/>. Erişim18 Kasım 2021

[18] semtrio.com LEED Detay, <https://www.semtrio.com/blog/leed-sertifikasi-hakkinda-bilgilendirme> Erişim: 23Mayıs 2022

[19] Orhan, İ. E., Mekansal Planlama Açısından LEED Belgeli Yeşil Binalar: Antalya’da Bir Otel Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur, 2019.

[20] Hashi, M. N., Türkiye'deki LEED Sertifikalı Ofis Binalarının Sürdürülebilir Malzeme Kullanımı Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul,2020.

[21] Özbek, K., Yeşil Bina Derecelendirme Sistemlerinin İncelenmesi ve Bolu Üniversite Kampüsünde Bulunan Örnek Bir Binanın Enerji Verimliliği Bakımından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bolu,2021.

[22] Orcan, B., Yeşil Bina ve Sürdürülebilirlik Açısından Yeni Yapılan Bir Hastanenin LEED Sertifikasyon Sistemi Kapsamında İnşaat Sürecinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi,Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya,2021

[23] <https://www.xn--leedsertifikas-jgc.com/>Erişim 25.05.2022

[24] Yapı Mimarlık Tasarım Kültür Sanat Dergisi, Sayı 436/Nisan 20218 Edi. Baran Gülsün, Prchitectİletişim LTD. ŞTİ. 2018

[25] USGBC (2020) U.S Green Building Council,17 Burda AVM Project, <https://www.usgbc.org/>. Erişim 26 Temmuz 2020

[26] Şahin Ergün, S., Alışveriş Merkezlerinin LEED BD+C Çekirdek ve Kabuk Sertifika Sistemi Üzerinden İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2019.

ÇOKLU KUANTUM TEL KUYULARINDA ELEKTRİK ALAN VE MANYETİK ALAN'IN ELEKTRONİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Mustafa ULAŞ^{1*}, Abbas GÜMÜŞ²

^{1*}Kırklareli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 39100 KIRKLARELİ

²Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Öz

Çoklu (Dört, Beş) kare kuyu tel sistemine dışarıdan uygulanan elektrik ve manyetik alan etkisi altında elektronun bağlanma enerjisi hesaplandı. Bağlanma enerjisinin, dışarıdan uygulanan etkilere ve tel sayısına bağlılığı gösterildi. Çoklu kuantum kuyu yapısı GaAs ve $Al_xGa_{1-x}As$ yarıiletken malzemeden oluşturuldu. Tel yapıya elektrik alan pozitif x doğrultusunda ve manyetik alan ise eksi z yönünde olacak şekilde seçildi. Hesaplama sonlu farklar yöntemi kullanıldı. Bağlanma enerjisinin farklı alanlar altında tel sayısına bağlılığı gösterildi. Ayrıca dışarıdan uygulanan alanların, elektronun gördüğü potansiyele ve elektronun bulunma olasılığına etkisi gösterildi. Bu tür yapıların detaylı incelenmesi, hem yapının elektronik özelliklerinin teorik olarak anlaşılmasını sağlayacak, hem de teknolojik cihaz üretiminde daha ekonomik bir yol gösterecektir.

Anahtar Kelimeler: Çoklu kuantum teli, bağlanma enerjisi, elektrik alan, manyetik alan.

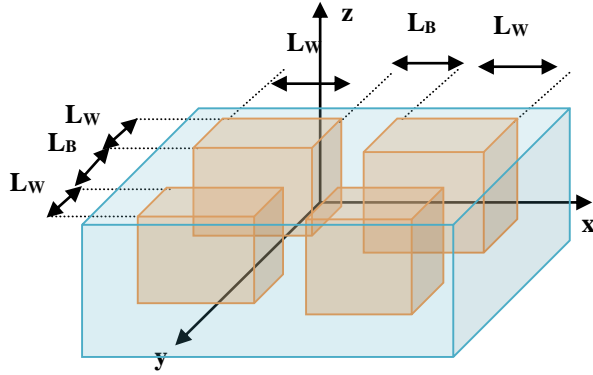
THE EFFECT OF ELECTRIC AND MAGNETIC FIELD ON THE ELECTRONIC FEATURES IN A MULTIPLE QUANTUM WIRE

Abstract

Electron Bonding energy was calculated under the influence of electrical and magnetic field applied externally to multiple (Four, Five) square well wire system. The binding energy was shown to be connected to external influences and number of wires. The multi-quantum well structure was made of GaAs and $Al_xGa_{1-x}As$ semiconductor material. The electrical area of the wire structure was selected in line with positive x and the magnetic area was selected to be minus z. Finite differences method was used in the calculation. The binding energy was shown to be connected to the number of wires under different areas. In addition, the effects of externally applied areas on the potential of the electron and the possibility of electron discovery were shown. A detailed examination of such structures will both provide a theoretical understanding of the electronic characteristics of the structure and show a more economical path in the production of technological devices.

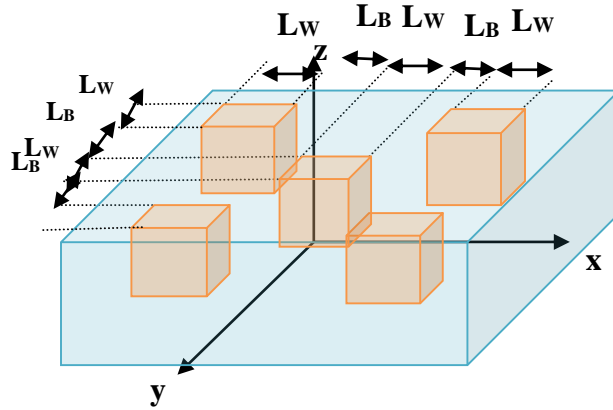
Keywords: Multiple quantum well wire, binding energy, electric field, magnetic field

Sorumlu Yazar: Mustafa ULAŞ, mustafa.ulas@klu.edu.tr



Şekil 1.a: Çok katmanlı kuantum kuyu teli (4 kuyu) şematik gösterimi.

$$V(x,y) = \begin{cases} 0 & \frac{L_B}{2} \leq |x| \leq \frac{L_B}{2} + L_W \text{ ve } \frac{L_B}{2} \leq |y| \leq \frac{L_B}{2} + L_W \\ V_0 & \text{Diğer yerlerde} \end{cases} \quad (2)$$



Şekil 1.b: Çok katmanlı kuantum kuyu teli (5 kuyu) şematik gösterimi.

$$V(x,y) = \begin{cases} 0 & |x| \leq \frac{L_W}{2} \text{ ve } |y| \leq \frac{L_W}{2} \\ 0 & \frac{L_W}{2} + L_B \leq |x| \leq \frac{3L_W}{2} + L_B \text{ ve } \frac{L_W}{2} + L_B \leq |y| \leq \frac{3L_W}{2} + L_B \\ V_0 & \text{Diğeryerlerde} \end{cases} \quad (3)$$

ile verilir. Kuantum tel yapısına artı x yönünde elektrik alanı ve eksi z doğrultusunda düzgün manyetik alan uygulandığında Hamiltonyen denklemi, etkin Rydberg $R^* = (m^* e^4 / 2\epsilon_0^2 \hbar^2)$ ve etkin Bohryarıçapı $a^* = (\epsilon_0 \hbar^2 / m^* e^2)$ boyutlarında alınır

$$H = - \left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right] + \frac{\gamma^2}{4} (x^2 + y^2) + \eta x \quad (4)$$

şeklinde yazılır. Burada $\eta = |e| a^* F \left(\frac{kV}{cm} \right) R^*$ ve manyetik alan şiddetini betimleyen

$$\gamma = (e \hbar B(\text{Tesla})) / (2m^* c R^*) \text{ ile verilir.}$$

Elektronun taban durum enerjisi $[E]$ değerini ve dalga fonksiyonunu $[\psi(x, y)]$ bulmak için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$H\psi(x, y) = E\psi(x, y) \quad (5)$$

Bu iki boyutlu diferansiyel denklemde, sonlu farklar nümerik yöntemi kullanılarak, taban durum enerji özdeğeri ve öz vektörü hesaplanır.

Bu yapıya yabancı atom katıldığında, elektron ile yabancı atom etkileşmesini içeren Hamiltonyen denklemi aşağıdaki gibidir.

$$H_{\text{imp}} = H - \frac{2}{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + z^2}} \quad (6)$$

Buradaki x_i ve y_i hidrojenimsi yabancı atomun sistemdeki koordinatıdır. Bu çalışmada x_i ve y_i sistemin merkezinde ($x_i = 0$ ve $y_i = 0$). Bu diferansiyel denklemin çözümü için aşağıdaki gibi varyasyonel deneme dalga fonksiyonu.

$$\psi_{\text{imp}}(x, y, z) = N_{\text{imp}} \psi(x, y) e^{-\frac{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + z^2}}{\lambda}} \quad (7)$$

kullanılmıştır. Buradaki N_{imp} deneme dalga fonksiyonunun normalizasyon sabiti, λ deneme dalga fonksiyonunun varyasyonel parametresidir. Yapının içinde bulunan elektronun yabancı atom enerjisi

$$E_{imp} = \left\{ \frac{\langle \Psi_{imp}(x,y,z) | H_{imp} | \Psi_{imp}(x,y,z) \rangle}{\langle \Psi_{imp}(x,y,z) | \Psi_{imp}(x,y,z) \rangle} \right\}_{\lambda_{minumum}} \quad (8)$$

ile verilir. Sistem içinde deki bir elektronun yabancı atoma bağlanma enerjisi ise

$$E_b = E - E_{imp}$$

$$\cong -\frac{1}{\lambda^2} + \frac{2A}{B}$$

$$A = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (\Psi^2(x,y) K_0(2\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}/\lambda)) dx dy$$

$$B = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (\Psi^2(x,y) \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} K_1(2\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}/\lambda)) dx dy \quad (9)$$

ile hesaplanır. Burada sırası ile K_0 ve K_1 sıfırıncı ve birinci dereceden düzeltilmiş Bessel fonksiyonlarıdır.

3. SONUÇ ve TARTIŞMA

GaAs/Al_xGa_{1-x}As çoklu kuantum kuyu tellerinde sabitleri, $a^* \cong 100$ Å ve $R^* \cong 5.7$ meV, Al konsantrasyonu $x=0.3$ olarak alındı. Bu değerler dikkate alındığında potansiyel bariyeri yaklaşık $V_0=224$ meV değerine karşılık gelir.

Şekil 2a'da farklı manyetik alan şiddetlerine göre tellerdeki elektronun yabancı atoma ($x_i=0, y_i=0$) bağlanma enerjisi gösterilmiştir. Bu grafikte sadece dışarıdan farklı manyetik alan ($B=0, 1, 2, 3, 4$ Tesla) uygulanmış ve bağlanma enerjisinin kuyu sayısına göre değişimi incelenmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi bağlanma enerjisi, beş telli yapıda artarken, dört telli yapıda azalmaktadır. Bunun nedeni aslında beş telli yapı her ne kadar farklı tel sayısı olsa da bir telli yapı gibi davranmaktadır. Çünkü dört tel ortasında beşinci telin olması elektron için tek tel gibi görülmektedir. Dört telli yapıda, teller simetrik olduklarından dört tel arasında kalan elektron daha zayıf bağlanma görmektedir. Şekil 2b de farklı elektrik alan şiddetlerine göre tellerdeki elektronun yabancı atoma ($x_i=0, y_i=0$) bağlanma enerjisi gösterilmiştir. Bu grafikte sadece dışarıdan farklı elektrik alan ($F=0, 10, 20, 30, 40$ kV/cm) uygulanmış ve bağlanma enerjisinin tel sayısına göre değişimi incelenmiştir. Görüldüğü üzere, dışarıdan uygulanan artı x doğrultusundaki elektrik alan, elektronun bağlanma

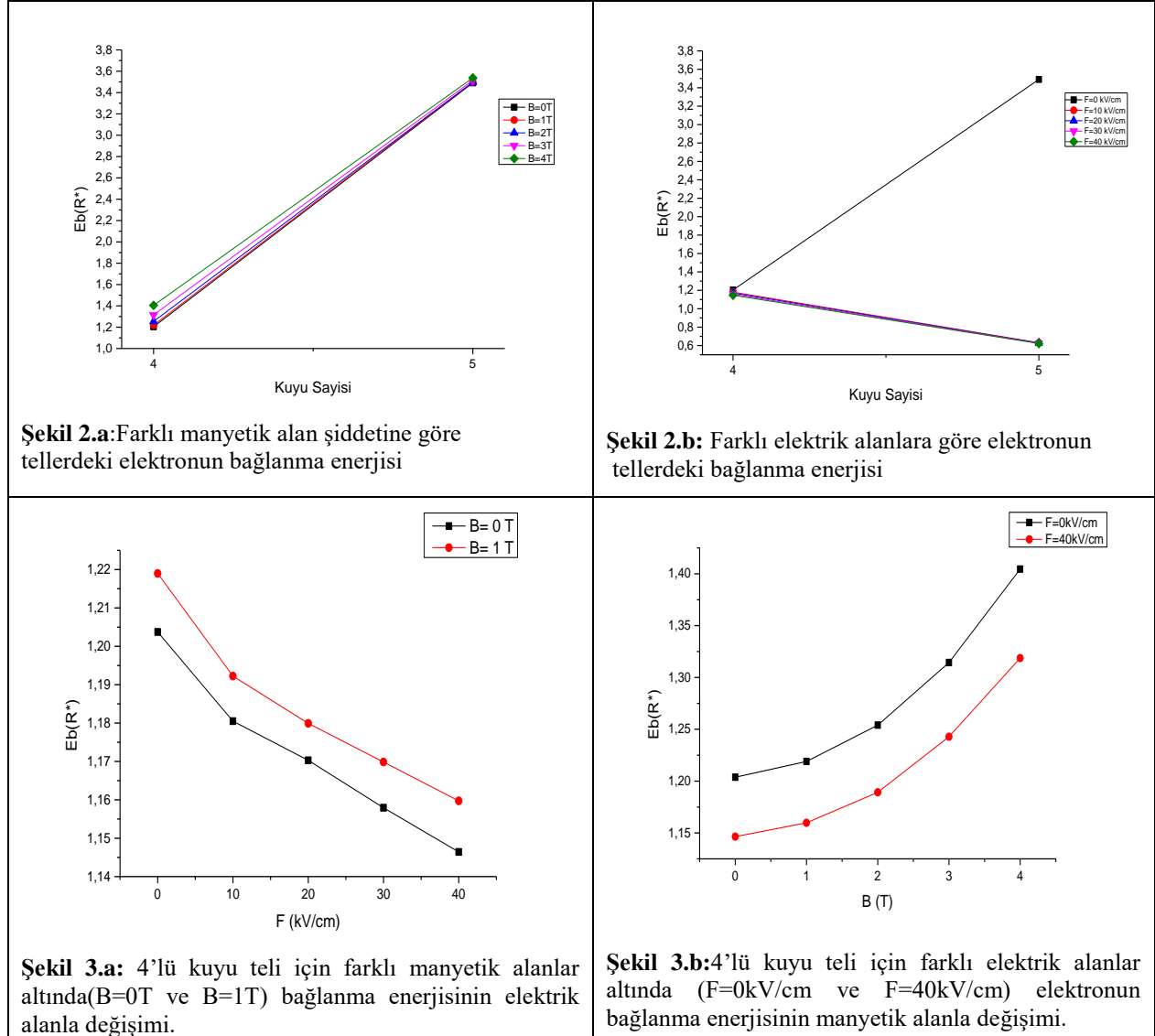
enerjisini beklediği gibi düşürmüştür. Çünkü elektrik alanın, elektronun gördüğü potansiyeli değiştirmesi ile elektronu merkezden (yabancı atomdan) uzaklaştırarak (uygulan alanın tersi yönde) bağlanma enerjisinin azalmasına neden olmuştur. Her iki şekil için manyetik alan bağlanma enerjisini artırırken, elektrik alanın bağlanma enerjisini azalttığı görülmüştür. Bu ise beklenen bir sonuçtur.

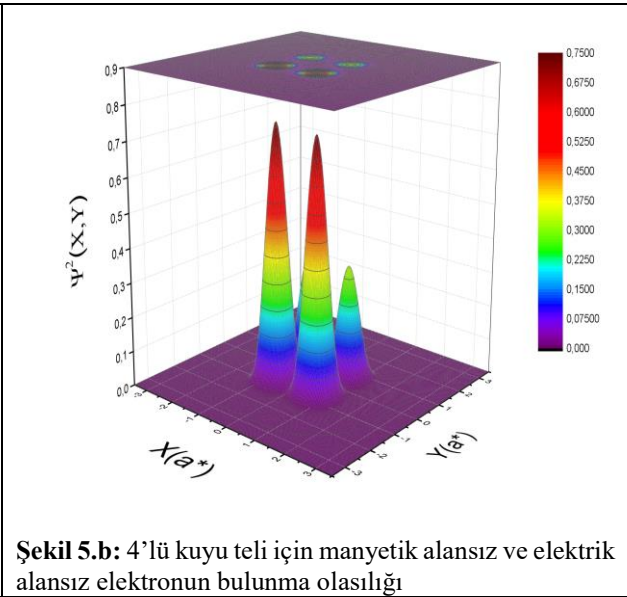
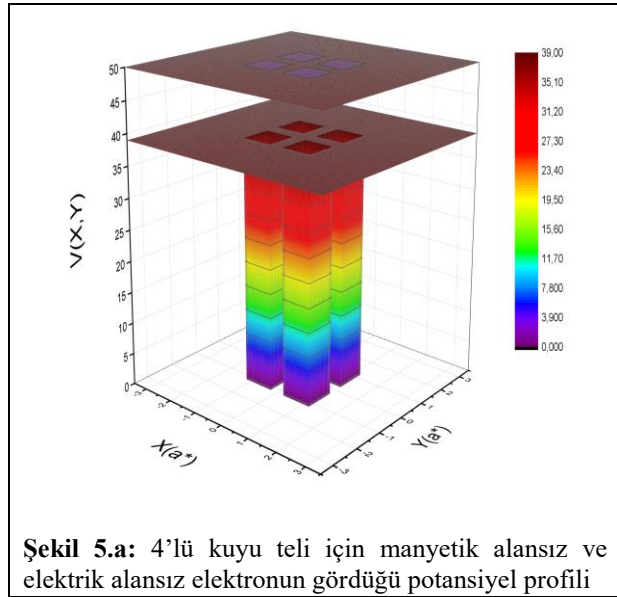
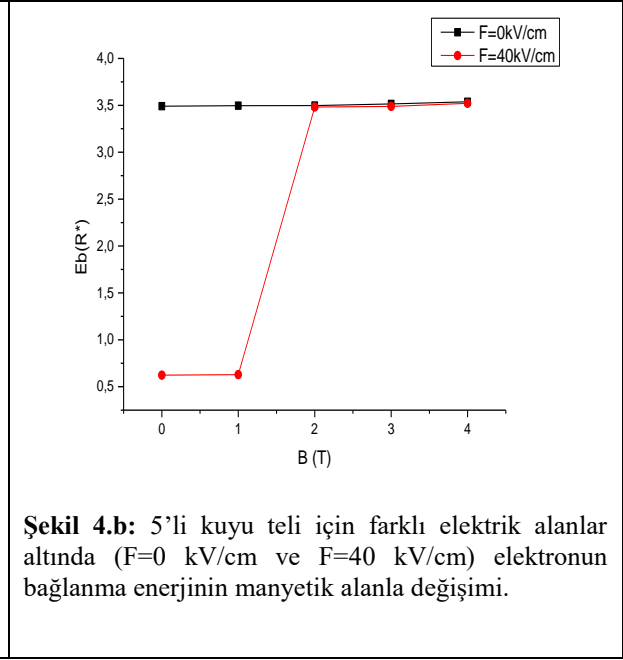
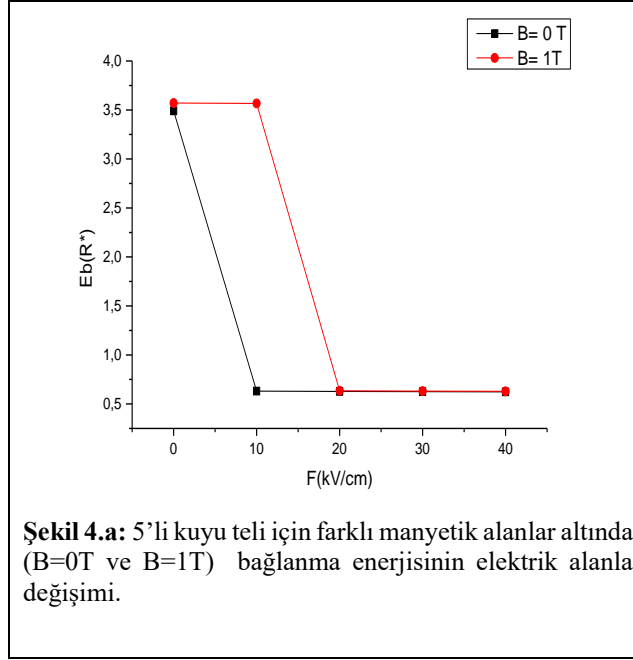
Şekil 3a'da dört telli sistem için farklı manyetik alan şiddetlerine ($B=0, 1T$) göre elektronun, yabancı atoma ($x_i=0, y_i=0$) bağlanma enerjisinin elektrik alanla değişimi gösterilmiştir. Bu grafikte sadece dışarıdan farklı manyetik alan ($B=0, 1T$) uygulanmış ve bağlanma enerjisinin elektrik alanla değişimi incelenmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi tel sayısını artırmak bağlanma enerjisini azaltmıştır. Aynı şekilde manyetik alan bağlanmayı artırırken, elektrik alan azaltıcı yönde etki etmektedir. Şekil 3b'de dört telli sistem için farklı elektrik alan şiddetlerine ($F=0, 40kV/cm$) göre teldeki elektronun, yabancı atoma ($x_i=0, y_i=0$) bağlanma enerjisinin manyetik alanla değişimi gösterilmiştir. Bu grafikte de sadece dışarıdan farklı elektrik alan ($F=0, 40kV/cm$) uygulanmış ve bağlanma enerjisinin manyetik alanla değişimi incelenmiştir. Burada da tel sayısının artırılması bağlanma enerjisinin azalmasına neden olurken, elektrik alanın bağlanma enerjisini beklediği gibi azalttığı ve manyetik alanın yine beklediği gibi artırdığı gözlenmiştir. Şekil 2 a ve b den de görüldüğü gibi dörtlü tel sisteminin benzer davranış gösterdiği gözlenmiş olup, beklenen sonuçtur. Şekil 4a'da beş telli sistem için farklı manyetik alan şiddetlerine ($B=0, 1$ Tesla) göre elektronun, yabancı atoma ($x_i=0, y_i=0$) bağlanma enerjisinin, elektrik alan ile değişimi gösterilmiştir. Bu grafikte sadece dışarıdan farklı manyetik alan ($B=0, 1$ Tesla) uygulanmış ve bağlanma enerjisinin elektrik alanla değişimi incelenmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi bağlanma enerjisi, manyetik alan sıfırken, düşük elektrik alanlarda ani bir azalma gösterirken, elektrik alan $10 kV/cm$ 'nin üzerindeki değerlerde bir değişiklik olmamıştır. Ancak manyetik alan sıfırdan farklı ($B=1 T$) olduğunda, bağlanma enerjisinin arttığını ve belli bir değerden ($20kV/cm$) sonra hızlı bir düşüş yaparak elektrik alanla benzer etki gösterdiği gözlenmiştir. Bunun sebebi ise elektrik alan elektronu merkezden uzaklaştırırken (elektronun gördüğü potansiyel profilini değiştirdiğinden.) manyetik alan ise tam tersi etki yapmasındandır. Şekil 4b'de beşli tel için farklı elektrik alan şiddetlerine ($F=0, 40kV/cm$) göre elektronun, yabancı atoma ($x_i=0, y_i=0$) bağlanma enerjisinin manyetik alanla değişimi gösterilmiştir. Bu grafikte sadece dışarıdan farklı elektrik alan ($F=0, 40kV/cm$)

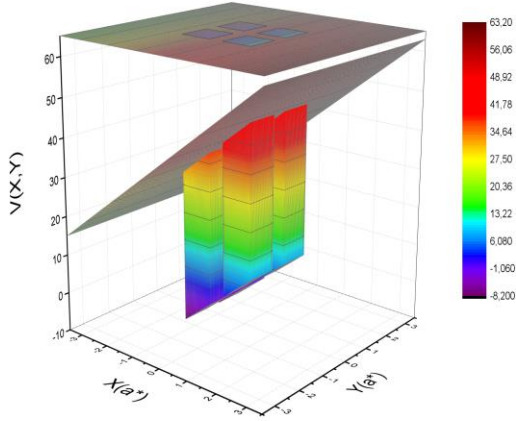
uygulanmış ve bağlanma enerjisinin manyetik alanla değişimi incelenmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi elektrik alanın sıfır olduğu durumlarda, manyetik alan bağlanma enerjisini değiştirmemiştir. Çünkü beşinci telin merkezinde olan elektronu daha fazla merkeze itemiştir. Elektrik alanın 40kV/cm olduğu durumda, manyetik alanın düşük olduğu ($B=0,1T$) elektrik alanın, elektronu merkez dışına iterek bağlanma enerjisinin düşmesine neden olmuştur. Şekil 2 a ve b den de görüldüğü gibi beşli tel sisteminin benzer davranış gösterdiği gözlenmiştir. Buda beklenen sonuçtur.

Şekil 5a'da dört kuyulu tel yapıya dışarıdan bir etki olmadığında elektronun gördüğü potansiyel profili. Şekil 5b'de ise aynı şartlarda elektronun bulunma olasılığı. Şekil 5c' de dört kuyulu tel yapıya dışarıdan uygulanan artı x doğrultusundaki elektrik alan, elektronun gördüğü potansiyeli değiştirmiştir. Bu ise merkez de yoğunlaşan elektronu sol tarafa doğru (eksi x doğrultusunda) çekerek yabancı atomdan uzaklaştırmış ve potansiyel profilinin değişmesine neden olmuştur. Şekil 5d'de dörtlü kuyu tel için $F=40$ kV/cm altında elektronun bulunma olasılığıdır. Şekil 5e'de dışarıdan uygulanan eksi z doğrultusunda 1 T değerindeki manyetik alan, elektronun gördüğü potansiyeli değiştirerek daha önce merkezden uzaklaşan elektronu, merkeze doğru iterek yabancı atoma yaklaştırmış ve bağlanma enerjisinin artmasını sağlamıştır. Bu da Şekil 3 ve Şekil 4'ten görülebilir.

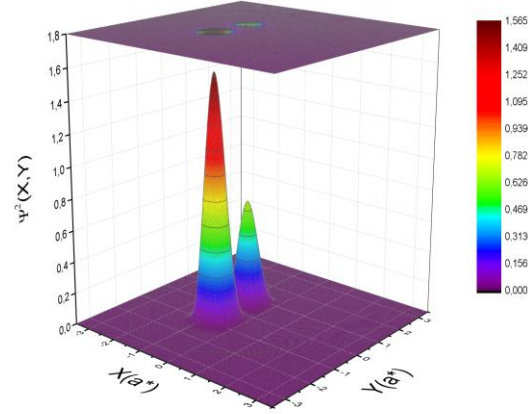
Şekil 6a'da beş kuyulu tel yapıya dışarıdan bir etki olmadığında elektronun gördüğü potansiyel profili. Şekil 6b'de ise aynı şartlarda elektronun bulunma olasılığı. Şekil 6c'de beş kuyulu tel yapıya dışarıdan uygulanan artı x doğrultusundaki elektrik alan, elektronun gördüğü potansiyel profilini Şekil 5c'de olduğu gibi değiştirmiştir. Şekil 6d'de beşli kuyu teli için $F=40$ kV/cm altında elektronun bulunma olasılığıdır. Şekil 6e'de dışarıdan uygulanan eksi z doğrultusunda 1 T değerindeki manyetik alan, elektronun gördüğü potansiyel profilini Şekil 5e'de olduğu gibi değiştirerek bağlanma enerjisinin artmasını sağlamıştır.



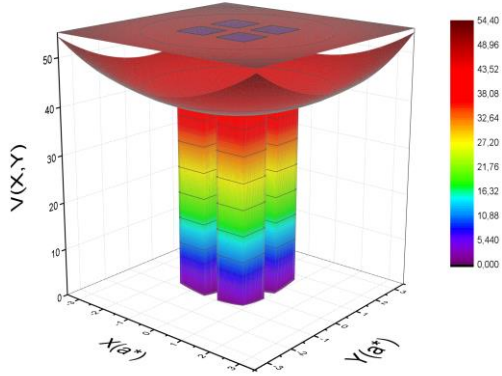




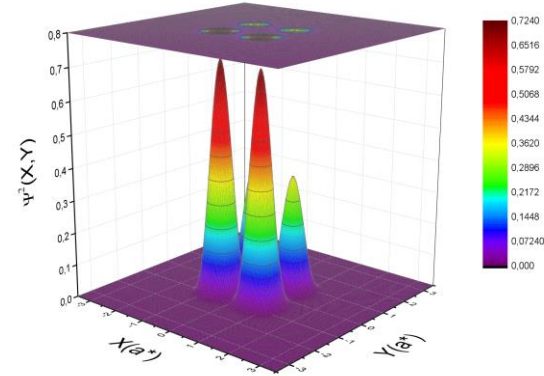
Şekil 5.c: 4'lü kuyu teli için ve $F=40\text{kV/cm}$ elektrik alanında manyetik alansız elektronun gördüğü potansiyel profili.



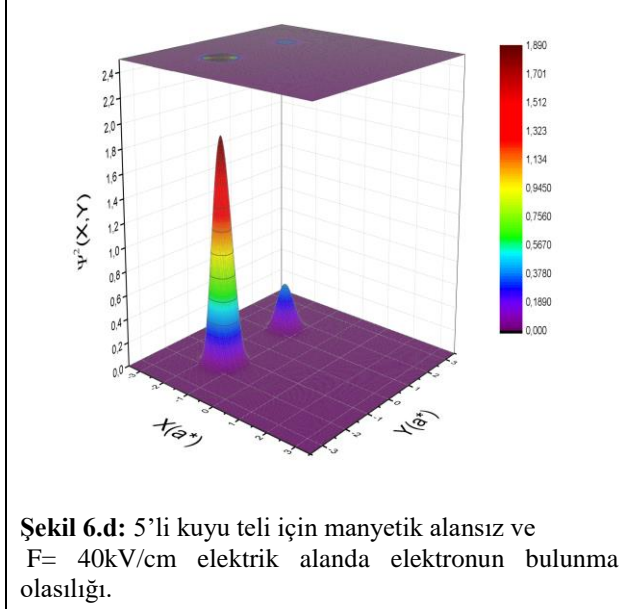
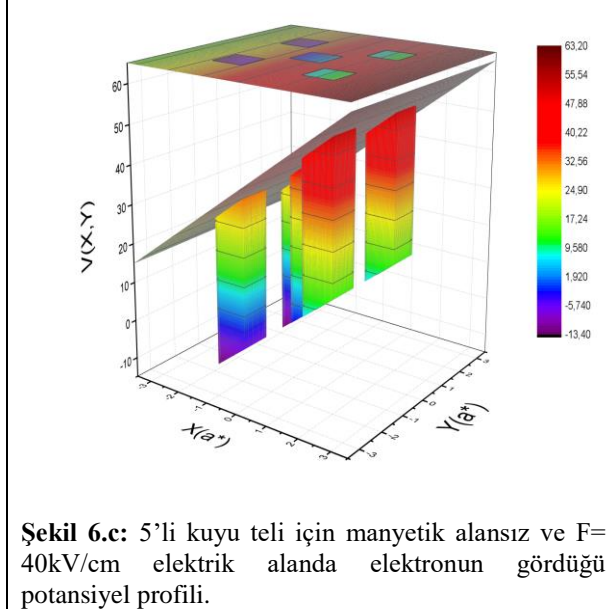
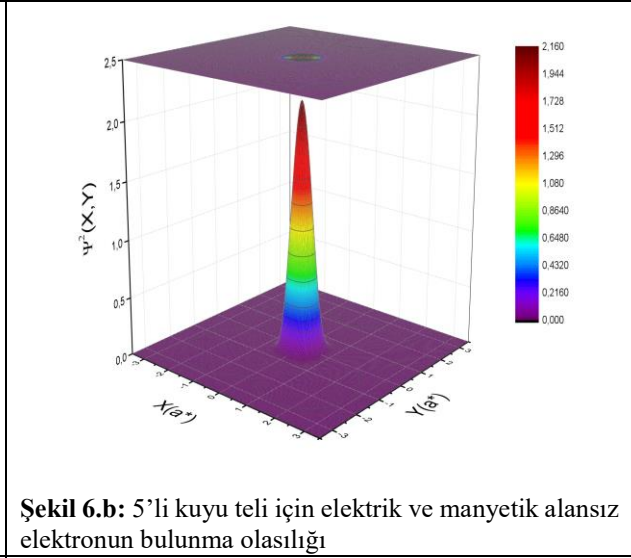
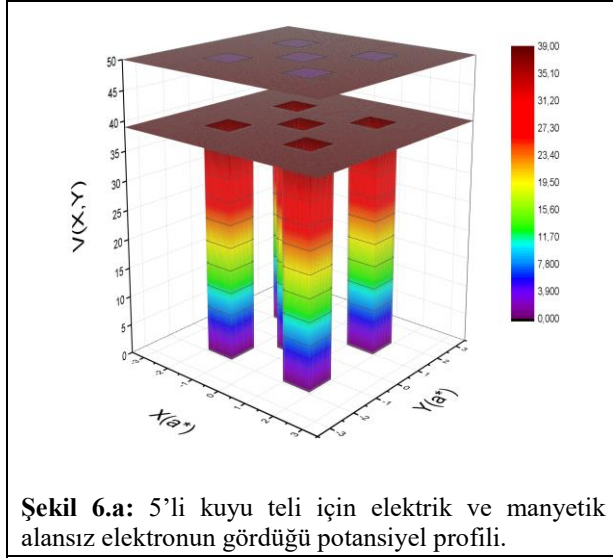
Şekil 5.d: 4'lü kuyu teli için manyetik alansız ve $F=40\text{kV/cm}$ elektrik alanında elektronun bulunma olasılığı.

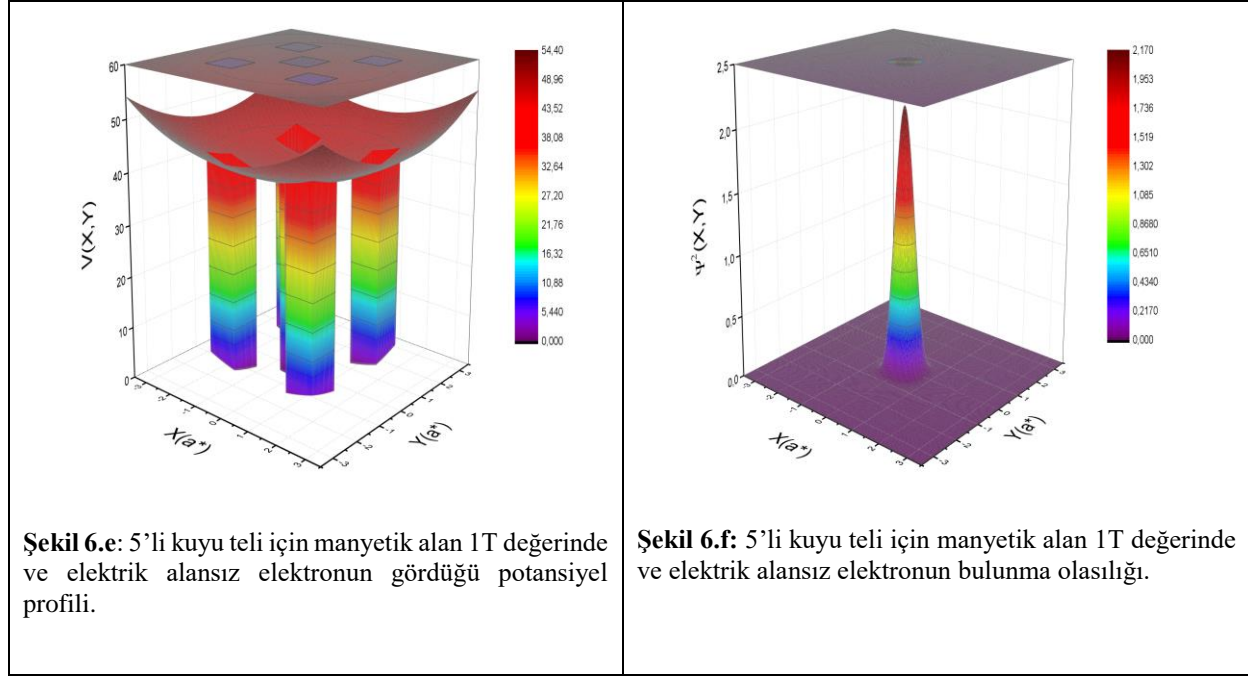


Şekil 5.e: 4'lü kuyu teli için manyetik alan 1T değerinde ve elektrik alansız elektronun gördüğü potansiyel profili.



Şekil 5.f: 4'lü kuyu teli için manyetik alan 1T değerinde ve elektrik alansız elektronun bulunma olasılığı.





SEMBOLLER

- E:** Elektronun enerjisi
F: Elektrik alan şiddeti
B: Manyetik alan şiddeti
H: Hamiltonien
K: Düzeltilmiş Bessel fonksiyonu
L_B: Engel genişliği
L_w: Kuyu genişliği
V: Elektronun gördüğü potansiyel
λ : Varyasyon parametresi
Ψ : Dalga fonksiyonu

KAYNAKÇA

- [1] CHUU, D.S., HSIAO, C. M., MEI, W.N., Hydrogenic Impurity States Inquantum Dots Andquanyum Wires, Physical Review B, 46, 3898-3905, 1992.
- [2] BOUHASSOUNE, M., CHARROUR, R., FLİYOU, M., BRİA, D., NOUGAOUI, A., Binding energy of shallow impurities in polar quanyum well wire. Physica B, 304, 389-397, 2001.
- [3] M. ULAŞ (a), H. AKBAŞ (a), and M. TOMAK (b) ShallowDonors in a QuantumWellWire: ElectricFieldandGeometricalEffects, Tr. J. of Physics 22, 369 (1998).

- [4] CHAO, H.T., TRANTHOAI, D.B., Effect of the Electric Field On a Hydrogenic Impurity in a Quantum Wires. *Physica B*, 205, 273-278, 1995.
- [5] ULAS, M., AKBAS, H., TOMAK, M., Shallow donors in a quantum well wire: Electric field and geometrical affects. *Phys. Stat. Sol.*, 200, 67-73, 1997.
- [6] MONTES, A., DUQUE, C. A, PORRAS-MONTENEGRO, N. Density of Shallow Donor Impurity States In Rectangular Cross Section GaAs Quantum Well Wires Under Applied Electric Field, *J. Physc. Condens. Matter*, 11, 5351-5358, 1998.
- [7] OKAN, S. E., AKBAS, H., TOMAK, M., Binding energies of Helium-Like Impurities in Parabolik Quantum Wells Under an Applied Electric Field. *Superlattice and Microstructures*, 28, 171-176, 2000.
- [8] AKTAS, S., OKAN, S. E., AKBAS, H., Electric Field Effect On the Binding Energy of a Hydrogenic Impurity in A Coaxial GaAs/Al_xGa_{1-x} as Quantum Well Wires. *Superlattice and Microstructures*, 30, 129-134, 2001.
- [9] AKTAS, S., Boz, F., The Binding Energy of a Hidrogenic Impurity in Triple GaAl/Al_xGa_{1-x} Quantum Well Wires Under Applied Electric Field. *Trakya Univ. J.Sci.*, 5(2), 159-165, 2004.
- [10] Ulas, M., ERDOĞAN, I., ÇİÇEK, E., SENTURK DALGIC, S. Self polarization in GaAs-(Ga, Al)As quantum well wires: electric field and geometrical effects. *Physica E*, 25, 515-520, 2005
- [11] ULAŞ, M. ve UYAR, H. Üçlü Kuantum Telinde Elektrik Alan Ve Lazer Alan'ın Elektronik Özelliklere Etkisi, *Kırklareli Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6 (1), 2020
- [12] ULAŞ M. ve DÖNMEZER, I. Üçlü Kuantum Telinde Manyetik Alan Ve Lazer Alan'ın Elektronik Özelliklere Etkisi, *Kırklareli Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6 (1), 2020
- [13] AKTAS, S., BİLEKKAYA, A., BOZ, F. K. OKAN, S. E., Electron Transmission in Symmetric and Asymmetric Double-Barrier Structure Controlled by Laser Field, *Superlattices and Microstructures*, 85, 266-273, 2015.
- [14] AKTAS, S., KES, H., BOZ, F.K., OKAN, S. E., Control of a resonant tunneling structure by intense laser field. *Superlattices and Microstructures*, 98, 220-227, 2016.

BİYOMEKANİK ANALİZDE YÜK KALDIRMA HAREKETİ YAKALAMA YÖNTEMLERİ VE ÖRNEK UYGULAMA

Melih CANLIDİNÇ^{1*}, Mustafa GÜLEŞEN¹

¹Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya, TÜRKİYE

Öz

Günümüzde insan hareketi biyomekaniğinin öğrenilmesinde yaygın olarak kullanılan yöntem, görüş tabanlı hareket yakalama sistemlerini kullanmaktır. Hareket yakalama sistemleri işaretçili ve işaretçisiz hareket yakalama yöntemleri olarak sınıflandırılmıştır. Hareket yakalama insan hareketlerinin takibinde sıkça başvurulan bir yöntemdir. Yük kaldırma hareketi, günlük hayatta ve endüstriyel çalışma koşullarında sıkça başvurulan faaliyetlerdendir. Yük kaldırma hareketi birçok vücut zorlanmasını içerir ve bu zorlanmalar vücut eklemlerinde hasarlara neden olabilmektedir. Özellikle bel eklemine etkileyen yükler bel rahatsızlıkları nedenlerindedir. Yetişkin nüfusun önemli bir kısmı yaşamlarında en az bir kez bel ağrısını deneyimlemiştir. İnsan vücut hareketleri analizinde biyomekanik modeller yaygın olarak kullanılmaktadır. Örnek uygulamada, sağlıklı bir bireyin yük kaldırma hareketi işaretçisiz hareket yakalama yöntemi ve biyomekanik model yaklaşımıyla analiz edilmiştir. Çalışmada sağlıklı denekten, çömelerek ve öne eğilerek kaldırma tekniklerinde, 16 kg'lık yükü kaldırması istenmiştir. Yapılan kaldırma hareketleri işaretçisiz hareket yakalama cihazı Microsoft Kinect v2 sensörüyle görüntülenmiştir. Elde edilen konum bilgileri, OpenSim biyomekanik analiz programında 3 boyutlu bir insan modeline aktarılmış ve hareketin ters kinematik, ters dinamik analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde iki kaldırma tekniğinin, L5/S1 eklemindeki kuvvet ve moment maksimum değerleri Mann-Whitney U testiyle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: OpenSim yazılımı, hareket yakalama sistemleri, biyomekanik modelleme, kaldırma teknikleri

*Sorumlu Yazar: Melih CANLIDİNÇ, melih.canlidinc@dpu.edu.tr

LOAD LIFTING MOTION CAPTURE METHODS AND EXAMPLE APPLICATION IN BIOMECHANIC ANALYSIS

Abstract

Today, the widely used method for learning human movement biomechanics is to use vision-based motion capture systems. Motion capture systems are classified as pointer and pointerless motion capture methods. Motion capture is a frequently used method for tracking human movements. Lifting movement is one of the activities frequently used in daily life and industrial working conditions. Lifting involves many body strains and these strains can cause damage to body joints. Especially the loads acting on the waist joint are among the causes of low back disorders. A significant portion of the adult population has experienced low back pain at least once in their lifetime. Biomechanical models are widely used in the analysis of human body movements. In the sample application, a 3D biomechanical model study is presented. With this model, the lifting movement of a healthy individual was analyzed using the markerless motion capture method and the biomechanical model approach. In the study, the healthy subject was asked to lift a load of 16 kg in squat and stoop lifting techniques. Lifting movements were imaged with the Microsoft Kinect v2 sensor, which is a markerless motion capture device. The obtained position information was transferred to a 3D human model in the OpenSim biomechanical analysis program inverse kinematic and inverse dynamic analyzes of the motion were made. In these analyzes, the force and moment maximum values of the two lifting techniques at the L5/S1 joint were compared with the Mann-Whitney U test.

Keywords: OpenSim software, motion capture systems, biomechanical modelling, lifting techniques

1. GİRİŞ

Hareket yakalama tekniği, bir nesnenin hareketini izlemek ve kaydetmek için kullanılan bir yöntemdir. Hareket yakalama teknolojileri sürekli geliştirilmektedir. Hareket yakalama sistemlerini mekanik, manyetik ve optik sistemler olarak sınıflandırılabilir. Optik sistemler aktif işaretçili, pasif işaretçili kullanan ve işaretçisiz olarak çeşitlenmiştir. İşaretçi kullanan optik sistemlerde, ışık kaynağıyla beraber insan vücuduna yerleştirilen yansıtıcı işaretçiler sayesinde kameralar tarafından çekilen görüntülerin üç boyutlu konumları hesaplanmaktadır [1]. VICON Hareket yakalama sistemi ve Optotrak gibi işaretleyici tabanlı hareket yakalama sistemleri, bu konumları üç boyutlu uzayda almak için farklı vücut parçalarına yapıştırılmış yapışkan yansıtıcı işaretçileri izleyen bir dizi dijital kamera kullanır [2-3]. Ancak bu hareket izleme sistemleri maliyetlidir, uzun kurulum süresi gerektirir ve saha ayarlarına aktarılması zordur.

İşaretçisiz hareket yakalama teknolojisi, bir bireyin hareketlerinin kaydedilmesini ve basitleştirilmiş bir dijital model olarak temsil edilmesini sağlar. Hareket yakalama giysileri gibi bazı hareket yakalama sistemleri, endüstrideki yaygın kullanımlarını sınırlayabilecek oldukça pahalı olsa da bazı kamera tabanlı hareket yakalama sistemleri oldukça düşük maliyetli olarak mevcuttur. Microsoft'un Xbox oyun konsolu için geliştirdiği Kinect v2 cihazı, etkileşimi renkli bir görüntü (RGB) elde eden ve ardından bir derinlik ölçümü gerçekleştiren RGB sağlayan bir RGB kamera ve bir derinlik sensörü ile donatılmıştır [4]. Bu veriler daha sonra dijitalleştirilmiş insan hareketlerini elde etmek için ücretsiz Kinect Yazılım Geliştirme Kiti (SDK) kullanılarak normal bir PC'de işlenebilir ve daha sonra ergonomik değerlendirme için postüral verilerin üretilmesi için kullanılabilir.

Endüstriyel işlerdeki teknolojik gelişmelere ve otomasyonla üretimin yaygınlaşmaya başlamasına rağmen, birçok sektörde çeşitli işler yüksek oranda elle yapılmaktadır. Dağıtım ve depolama merkezlerindeki iş süreçlerinden; malzemelerin elle kaldırma, bırakma ve taşıma süreçlerini ele alırsak; örneğin Avrupa ve ABD'deki endüstriyel işletmelerin yaklaşık %80'i hala elle çalışılarak işletilmektedir [5]. İşçilerin elle kaldırma faaliyetlerini sık ve tekrarlı gerçekleştirmeleri, kaldırma hareketini gerçekleştirirken vücut postürlerinin uygun olmaması durumları, kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına (musculoskeletal disorders-MSD) yol açabilir. Kaldırma ve alçaltma aşırı eforundan kaynaklanan bel ağrısı (low back pain-LBP), elle malzeme taşıma çalışanları için başlıca yaralanma ve hastalık kaynaklarından biridir.

Malzeme taşıma işleriyle ilgili kas-iskelet sistemi hastalıklarından önemli bir kısmını bel rahatsızlıkları oluşturmaktadır. Dünya'daki iş hastalıklarının yaklaşık %40'ı, ABD'nin ise yaklaşık %38'ini bel rahatsızlıkları oluşturmaktadır. Bu rahatsızlıklar işe devam edememenin önemli nedenlerindedir [6]. Çalışma İstatistikleri Bürosu (BLS), 2016 yılı raporuna göre, aşırı efor, ölümcül olmayan mesleki olayların önde gelen nedenidir ve iyileşmek için ortalama 12 gün gerektiren toplam vakaların %33'ünü oluşturur [7].

Kutu kaldırma esnasında oluşabilecek bel yaralanmalarının tahmini için Ulusal Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü (NIOSH) tarafından kaldırma denklemini oluşturdu. Ancak, kaldırma denklemini statik koşulları ele alırken dinamik kaldırma hareketinin etkilerini incelemek için uygun bir araç değildir [8]. Kaldırma hareketi dinamik olarak gerçekleştiğinden, kaldırmanın vücut

eklemleri üzerindeki yüklemelerinin (tork ve kuvvetlerin) analizinde statik hesaplamaların yanı sıra dinamik hesaplamalarla yapılmalıdır.

Kaldırma aktiviteleri sırasında lomber spinal yüklemeyi tahmin etmek için birçok biyomekanik modeller geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları, L4/L5 ve L5/S1 sıkıştırma kuvvetini tahmin etmek için statik modeller [9–12], elektromiyografi (EMG) destekli dinamik omurga modeller [2,13–15], üç boyutlu sonlu elemanlar analizi kullanan modeller [16]–[18], vücut segmentlerinin ayrı ayrı incelendiği dinamik modeller [19] ve üç boyutlu geometrik gövde modellerdir [20]. 3 boyutlu kas-iskelet sistemi modelleri, dinamik hareket analizini geleneksel yöntemlere göre daha kolay yapılmasını sağlar. Dinamik analizle tüm vücut kinematiği ve kinetiğinin belirlenerek ve kas-iskelet kuvvetlerinin simüle edilmektedir.

Bu araştırmanın amacı, hareket yakalama yöntemlerini inceleyerek, örnek uygulama olarak, işaretçisiz hareket yakalama tekniğiyle Microsoft Kinect v2 sensörüyle, eğilerek ve çömelerek kaldırma görevleri sırasında L5/S1 eklemine etkiyen yükleri tahmin etmektir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde hareket yakalama yöntemleri ve biyomekanik analiz yöntemleri incelenmiş ve bir uygulama örneği sunulmuştur. Çalışma bir sağlıklı katılımcı (erkek; yaş: 33, boy: 183 cm, kütle:92kg) tarafından gerçekleştirilmiştir. Katılımcı çalışmanın başlamasından önce bilgilendirilmiştir ve tüm çalışma boyunca ilgili hareket teknikleri denetlenmiştir.

2.1 Hareket Yakalama Yöntemi Seçimi

Modern hareket yakalama sistemleri, hareketi doğru bir şekilde izleme problemini çözmek için çeşitli yaklaşımlar benimsemiştir. Genel olarak, optik ve optik olmayan sistemler olmak üzere iki genel kategoride sınıflandırılabilir. Optik sistemler arasında günümüzde kullanılan sistemlerin çoğu markör tabanlıdır ancak son yıllarda işaretçisiz sistem öne çıkmıştır. Öte yandan, optik olmayan sistemlerin en yaygın olanı atalet sensörlerine dayanmaktadır.

Hareket yakalama için yakın zamanda piyasaya sürülen bir derinlik sensörü (örneğin, Microsoft Kinect sensörü, ASUS Xtion hareket sensörü), bir sahnenin 3B derinliğini tek bir kamerayla doğru bir şekilde ölçebilir; örneğin, bir Kinect sensörü ızgara biçiminde yapılandırılmış bir kızılötesi lazer yayar, kızılötesi görüntünün bozulmasını analiz eder ve eşitsizlik alımına dayalı olarak

derinliği hesaplar [21] ve böylece bu derinlik sensörü, hareket yakalama çözümleriyle birlikte otomatik olarak hareket yakalama verileri üretebilir (örneğin, iPi Soft hareket yakalama ve Brekel Kinect). VICON (bir optik sistem) ve Microsoft Kinect (bir derinlik sensörü) arasındaki performansları karşılaştıran Tablo 1'de gösterildiği gibi, VICON sistemi çözünürlük, çalışma aralıkları, kare hızı ve doğruluk açısından daha iyi performans gösterir. Ayrıca, çalışma aralığını 0,8 ila 4 metre ile sınırlayan Kinect ile karşılaştırıldığında, VICON sistemi, mesafe üzerinde önemli bir sınırlama olmaksızın çok doğru hareket yakalama sonuçları üretebilmesi için yüksek kaliteli lenslerle daha iyi bir menzile sağlar. Öte yandan, Kinect'in deneysel koşullar üzerinde VICON'dan daha az kısıtlaması vardır: Kinect, katılımcının özel bir kıyafet giymesini gerektirmez, vücuduna işaretleyiciler bağlamaz ve katılımcıyı dairesel bir konfigürasyonda çevreleyen birden fazla kamera kullanmaz. Ayrıca, Kinect, doğruluğu ergonomik analiz için yeterince büyük olan uygun maliyetli ve taşınabilir bir hareket yakalama sistemi sağlayabilir [22]. Bir Kinect algılayıcısının ortalama kare hataları, VICON'a kıyasla x, y ve z yönlerinde 6,5 mm, 10,9 mm ve 5,7 mm idi. Yukarıda belirtilen nedenlerden ötürü çalışma Kinect v2 sensör kullanılarak işaretçisiz hareket yakalama yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Kinect v2 sensör ve VICON hareket yakalama sistemi karşılaştırılması

	Kinect v2	VICON (T-40)
Çözünürlük	1920x1080 piksel	2352x1728 piksel
Çalışma aralığı	Limitli (0.8-4 m)	Lensle ayarlanabilir
Frame rate	30 fps	370 fps
Kullanıcı kıyafeti	Esnek	Özel kıyafet
Marker Kullanımı	Hayır	Evet
Konfigürasyonu	6 iskelete kadar	6-8 radyal konfigürasyon
Çalışma ortamı	İç mekan	Laboratuvar
Doğruluk	Yüksek (yakın mesafede 0.2-0.3 mm)	Çok yüksek (0.1 mm)
Maliyeti	150-250 \$	90K -120K \$

2.2 Kaldırma Hareketi Analizinde Kullanılan Biyomekanik Yazılımlar

Lomber omurganın biyomekanik kas-iskelet modelleri, uzun yıllardır araştırmacılar tarafından çalışılmaktadır [15,23,24]. Bu modellerin bazıları sadece omurgayı temsil ederken, diğerleri tüm vücudu (üst ve alt uzuvlarla) temsil eder.

Literatürde biyomekanik modellere genel bakış yapıldığında son zamanlarda iki yazılım ön plana çıkmaktadır. Detaylı kas-iskelet modellemesini hedefleyen her iki yazılımda (Anybody ve OpenSim) geliştirilen lomber omurga modellerinin daha kapsamlı bir tartışmasıyla başlar.

Anybody modelleme Sistemi (AnyBody Technology A/S, Aalborg, Danimarka) kas-iskelet sistemlerinin geliştirilmesi ve analizi için kullanılan ticari bir programdır. Her parçanın kendi koordinat sistemine sahip katı bir gövde olarak modellendiği genel çok gövdeli sistem dinamiklerini kullanır [25]. AnyBody Modelleme Sistemi yazılımı üzerinde geliştirilen mevcut modeller, kullanıcılar arasında paylaşılabilir. Temel lomber omurga modeli, Anybody Managed Model Repository'de bulunan tam vücut modeline dahil edildi. Bu model, akademik kurumlardaki araştırmacılar arasındaki iş birliği ile geliştirildi. Dünya çapındaki araştırmacılar tarafından giderek daha fazla kullanılmaktadır.

OpenSim (SimTK, Stanford, CA), kas-iskelet modellemesi için simülasyon teknolojisinin geliştirilmesini ve paylaşılmasını hızlandırmak için geliştirilmiş, ücretsiz olarak temin edilebilen bir açık kaynaklı modelleme yazılımıdır [26]. Çok çeşitli hareketlerin analizi için diğer kullanıcılar tarafından geliştirilen birçok model, model havuzunda halka açıktır.

Detaylı lomber omurga, çeşitli kullanımlar için geliştirilmiş diğer birçok OpenSim modeline dahil edilmiştir [23]. Benzer şekilde geliştirilmiş modellerden [27], torakolomber model [10], tam vücut lomber omurga (Full Body Lumbar Spine, FBLS) modeli [28].

Bruno ve arkadaşları tarafından bildirilen torakolomber omurganın tam eklemli modeli, kaldırma görevleri için geliştirilmiş ve onaylanmıştır [10]. Gelişmiş lomber omurga modeline benzer şekilde, bu model lomber omurga, boyun ve üst ekstremiteler için önceki modelleri birleştirdi. Gövde kası kesit alanları ve pozisyonları, bilgisayarlı tomografi taramalarından elde edilen veriler kullanılarak in vivo kasları doğru bir şekilde temsil edecek şekilde ayarlandı.

Tam vücut lomber omurga modeli (FBLS), bir tam vücut modeli [29], detaylı lomber omurga modeli [23] ve patella modeli [30] birleştirilerek geliştirilmiştir [28]. Ortaya çıkan model üst ve alt

uzuvlardan oluşuyordu, ancak yalnızca alt uzuvlar ve gövde kasları içeriyordu. FBLS modeli, model tarafından üretilen L5/S1'deki (eksenel dönüş, yanal eğilme ve fleksiyon-ekstansiyon) üç eksenin maksimum eklem momentlerini bu çalışmada toplanan deneysel verilerle niteliksel olarak karşılaştırarak koşu aktivitelerini incelemek için doğrulanmıştır. Kingma ve arkadaşları, McGill ve meslektaşlarınıninkine benzer bir yaklaşım kullandı ve momentleri L4/L5 yerine L5/S1'de tahmin etmişlerdir [15,31]. Bu yaklaşımda, bir 3B bağlantı segmenti modeli, momenti modele dahil edilen kaslara dağıtmadan önce, kas kuvvetlerini belirlemek için EMG sinyallerini kullanarak, L5/S1'deki reaksiyon momentlerini de tahmin etmişlerdir [2].

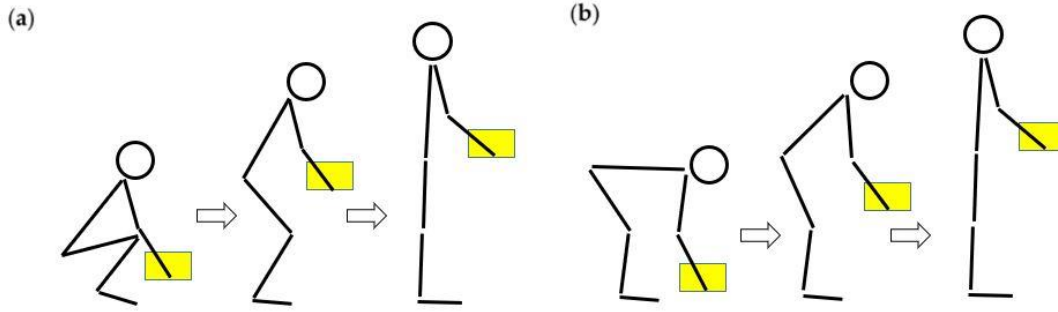
2.3 Kas-İskelet Modeli Seçimi

Çalışmada iskelet-kas modeli olarak Rajagopal ve arkadaşlarının oluşturduğu tüm vücut modelidir. İskelet modelin boyutları, 75 kg, 170 cm boyunda bir erkeği temsil eder ve kemik geometrisi de bu boyutlara uygundur[29-30]. Bu model ölçeklenerek 92 kg 183 cm boyundaki katılımcı için düzenlenmiştir. Modelin yapısında eklemlerden oluşan 22 adet gövde mevcuttur. Gövde parçaları; pelvis, femur (sağ ve sol), kalkaneus, talus, patella, tibia/fibula, ve alt gövdeyi temsil eden ayak parmakları ve birleşik bir baş ve gövde ve sağ ve sol humerus, ulna, radius ve üst gövdeyi temsil eden el olarak belirlemiştir. Model 37 serbestlik derecesine sahiptir. Modelin 20 serbestlik derecesi alt gövdede (pelvis-6 ve sağ bacak 7, sol bacak 7) ve 17 serbestlik derecesi (bel eklemi-3 ve sağ kol 7, sol kol 7) üst gövdededir. Model gövde parçalarının her biri için koordinat sistemi, x yönü öne, y yönü yukarıya ve z yönü sağa bakacak şekilde hizalanmıştır.

2.4 Deney Prosedürü

Katılımcı iki standart kaldırma tekniği uyguladı: Öne Eğilme ve çömelme. Öne eğilme ve çömelme kaldırma teknikleri ile ilgili gerekli açıklamalar sözlü ve görsel olarak yapılmış ve deneyler başlamadan önce ön çalışmalar yapılmıştır. Katılımcıdan 16 kg'lık kutuyu kaldırma hareketlerini gerçekleştirmesi istenmiştir. Kaldırılan nesne, 30 cm × 35 cm × 28 cm (genişlik x derinlik x yükseklik) boyutlarına sahiptir. Çömelme kaldırma hareketi esnasında Şekil 1(a)'daki gibi dizlerin tamamen fleksiyonda olması, topukların zemin temasının kesileceği şekilde

kaldırılması ve gövdenin dik konuma yakın olacak şekilde olması bilgisi verilmiştir. Öne eğilme kaldırma hareketi esnasında, katılımcıdan Şekil 1(b)'deki dizlerini tamamen uzatması ve kutuyu yerden dik konuma kaldırmak için gövdesini eğmesi bilgisi verildi [32].



Şekil 1. (a) Çömelerek kaldırma ve (b) Eğilerek kaldırma

Yük (kutu), sagittal düzlemin ortasına yerleştirildi. Katılımcı kutuyu altından tutarak, iki elle simetrik olacak şekilde zeminden kaldırdı ve bel hizasında ayakta tutmuştur. Katılımcıya çömelme ve öne eğilme kaldırma tekniğini (kaldırma sırasında dizler ve gövde hafifçe bükülmüş) benimsemesi talimatı verilmiştir. Katılımcının kaldırma sırasında ayaklarını hareket ettirmelerine izin verilmemiştir çünkü pelvisin yönü lateral fleksiyon ve burulma toraklarını etkileyebileceği öngörülmüştür [33]. Ek olarak, L5/S1 ekleminin yüklenme üzerindeki zaman etkisini en aza indirmek için katılımcıdan kaldırmayı yaklaşık iki saniyede (ilk kaldırma hareketinden ayakta kutuyu bel hizasında tutana kadar) tamamlamaları istenmiştir [34]. Her kaldırma koşulu için beş tekrar yapıldı. Altı kaldırma koşulu rastgele sıradaydı ve katılımcıya farklı kaldırma koşulları arasında oturma pozisyonunda iki dakika dinlenme izni verildi.

Kinematik verilerin toplanması için bir adet Microsoft Xbox One Kinect (v2) sensör kullanılmıştır. Bu sensörle kaldırma hareketi sırasında 30Hz örnekleme hızıyla veri toplanmıştır. Kinetik analizde, yerin tepki kuvvetlerini (GRF) ve momentleri tespit edebilmek amacıyla 100Hz örnekleme hızına sahip olan Zebris FDM 2 platformu (Zebris Medical GmbH · Germany) kullanılmıştır.

Ölçülen veriler, eklem açılarını ve momentlerini hesaplamak için OpenSim 4.0 [26-35]'de uygulanan standart bir kas-iskelet modelleme iş akışı kullanılarak işlendi. Çalışmada kullanılan iskelet-kas modeli için literatürdeki Rajagopal ve ark. oluşturduğu kas-iskelet modeli referans

alınmıştır. Kutunun etkisinin modele eklenmesi için kutunun ağırlığının yarısı sağ ve sol elin kütlesine eklenmiştir.

Çalışmada öncelikle, biyomekanik model, katılımcının antropometrisine göre ölçeklenmiştir. Vücut eklem açıları, kaldırma hareketleri sonucunda Kinect sensöründen gelen vücut eklem konum bilgileri kullanılarak, ters kinematik aracı yöntemiyle hesaplanmıştır. Elde edilen verilerle OpenSim'deki Ters Dinamik Aracı kullanılarak L5/S1 eklemi torkları hesaplanmıştır.

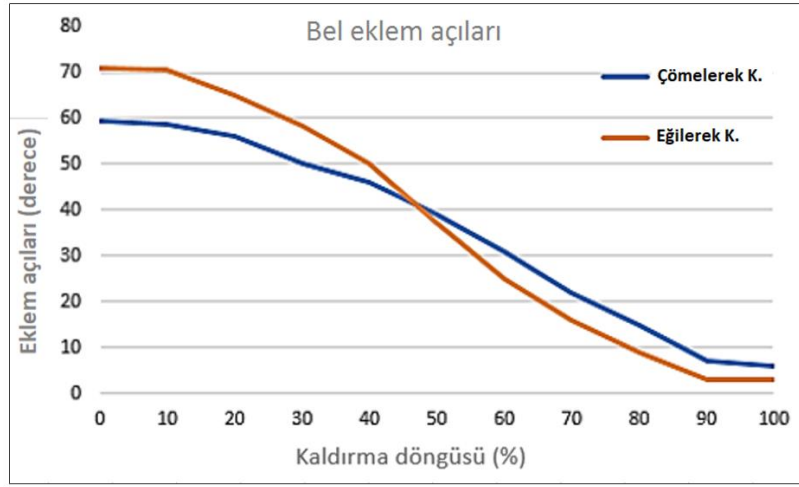
2.5 İstatistiksel Analiz

Katılımcının kaldırma hareketi denemelerinden en iyi beş deneme değerlendirilmiştir. Elde edilen L5/S1 eklemi tork verileri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. L5/S1 eklemindeki torkların ağırlık artışına göre eğilerek ve çömelerek kaldırma teknikleri arasındaki farkı belirlemek için Mann-Whitney U testi uygulandı. Veri analizi için SPSS Version 26 (IBM Corporation, Armonk, NY, USA) kullanıldı. Anlamlılık değeri, $p < 0,05$ olarak ayarlandı.

3. BULGULAR

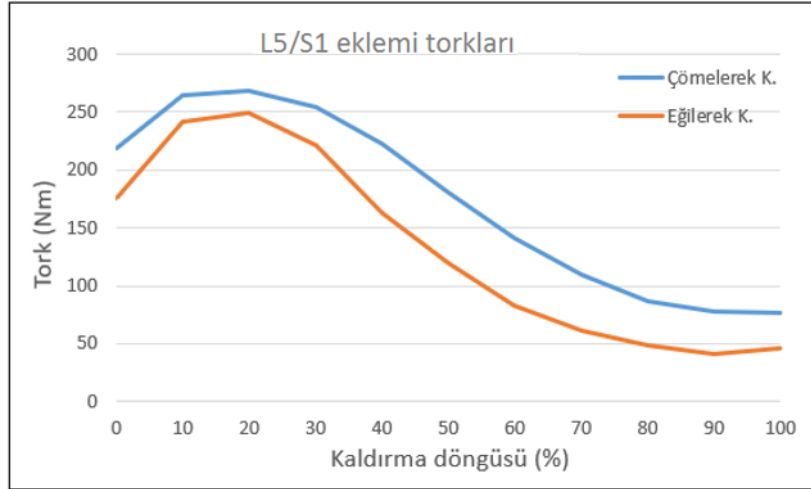
Bu çalışmada, simetrik kaldırma görevleri sırasında işaretli hareket yakalama yöntemiyle elde edilen veriler, mevcut bir tam vücut biyomekanik modeline uygulandı. Modeldeki insan iskeleti boyutları katılımcıya özel olarak ölçeklenmiştir. L5/S1 eklemine etkiyen yükler, ters kinematik ve ters dinamik analiz yapılarak tahmin edilmiştir. Çömelerek ve eğilerek kaldırma sırasında tüm vücut yükünü karşılaştırırken, yaygın olarak kullanılan iki kaldırma tekniği eklem momentlerine, eklem kuvvetine ve kas aktivitesine dayanır. Kullanılan model gövde kas ve omurga yapısını içerdiğinden lomber bölgenin analizinde bir araç olarak kullanılması uygun görülebilir.

Katılımcı kutuyu kendi rahat kaldırma hızında gerçekleştirmiştir. Kaldırma sırasında sagittal düzlemde alt ekstremite eklem açılarından bel eklemine (L5/S1) Şekil 2'de gösterilmektedir. Ancak, iki teknik arasında, aynı eklemler için ROM'lar önemli farklılık göstermiştir.



Şekil 2. Çömelerek ve eğilerek kaldırma hareketi sırasında bel eklem açıları.

Genel olarak, omurganın eğilerek ve çömelerek kaldırma hareketi, L5/S1 eklemindeki torkları arttırmıştır. Çömelerek ve eğilerek yük kaldırma sırasında L5/S1 eklem torkları Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Çömelerek ve eğilerek kaldırma hareketi sırasındaki L5/S1 eklem torkları

Katılımcının eğilerek ve çömelerek kaldırma hareketiyle oluşan L5/S1 eklemindeki torku, kaldırmadan hemen sonra meydana gelmiştir. Çömelerek ve eğilerek kaldırma hareketinde maksimum tork arasındaki farklar incelendiğinde çömelerek kaldırma hareketi değerleri eğilerek kaldırma hareketinden daha büyük ve anlamlıydı ($p < 0,05$).

4. SONUÇLAR

Çalışmada sağlıklı denekten, çömelerek ve öne eğilerek kaldırma tekniklerinde, 16 kg'lık yükü kaldırması istenmiştir. Kaldırma hareketi işaretçisiz hareket yakalama yöntemiyle kaydedilmiş, elde edilen eklem konum bilgileri, OpenSim yazılımındaki bir biyomekanik modele aktarılmıştır. Ters kinematik ve ters dinamik analiz araçları çalıştırılarak L5/S1 eklemi açısı değişimleri ve tork değerleri elde edilmiştir.

Elde ettiğimiz tork değerlerinin denek kütlesine bölünerek elde ettiğimiz değerleri incelediğimizde, çömelerek kaldırmada 2,96 Nm/kg, eğilerek kaldırmada ise 2,71 Nm/kg'dır. Literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırdığımızda, Beaucage-Gauvreau ve arkadaşları LFB modelinin 15 kg'lık yük kaldırmada L5/S1 eklemine oluşan tork değerleri çömelerek kaldırmada 2,95 Nm/kg, eğilerek kaldırmada 2,82 Nm/kg bulmuştur. Kingma ve arkadaşları 15 kg'lık yükü yapılan çalışmada çömelerek kaldırma 2,36 Nm/kg ve eğilerek kaldırma 2,98 Nm/kg'dır. Çalışmamızdaki tork/kütle değerleri göz önüne alındığında Beaucage-Gauvreau ve arkadaşları çalışmalarındaki gibi çömelerek kaldırma hareketinin, eğilerek kaldırma değerlerinden azalma gösterdiği ve uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın sınırlamaları vardır. Deneylerde, kaldırma türleri arasında 3B lomber omurga yüklemesinde önemli farklılıkları gözlemlemek için küçük bir kaldırma yükleri aralığı kullanılabilir, ancak farklı aralıklar ve daha yüksek ağırlıklarla yapılan çalışmalar değerlendirilebilir. Gelecekteki araştırmalar, kaldırılan nesnenin boyutlarını değerlendirmekle birlikte, kaldırma hareketini gerçekleştiren katılımcının parametrelerini genişleterek farklı kaldırma teknikleri arasındaki bel yüklerini araştırmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] D. Vlasic *et al.*, "Practical motion capture in everyday surroundings," *ACM Trans. Graph.*, vol. 26, no. 99, p. 35, 2007, doi: 10.1145/1239451.1239486.
- [2] G. S. Faber, I. Kingma, A. J. M. Bakker, and J. H. van Dieën, "Low-back loading in lifting two loads beside the body compared to lifting one load in front of the body," *J. Biomech.*, vol. 42, no. 1, pp. 35–41, 2009, doi: 10.1016/j.jbiomech.2008.10.013.
- [3] A. Plamondon, A. Delisle, S. Bellefeuille, D. Denis, D. Gagnon, and C. Larivière, "Lifting strategies of expert and novice workers during a repetitive palletizing task," *Appl. Ergon.*, vol. 45, no. 3, pp. 471–481, 2014, doi: 10.1016/j.apergo.2013.06.008.

- [4] H. Sarbolandi, D. Lefloch, and A. Kolb, “Kinect range sensing: Structured-light versus Time-of-Flight Kinect,” *Comput. Vis. Image Underst.*, vol. 139, pp. 1–20, 2015, doi: 10.1016/j.cviu.2015.05.006.
- [5] Peerless Research Group, “October 2017 September 2018,” *Logistics Management and Modern Materials Handling*, no. October 2017, pp. 1–38, 2018.
- [6] Bureau of Labor Statistics, “Industry Injury and Illness Data,” 2019.
- [7] U. Bureau of Labor Statistics, “2016 SURVEY OF OCCUPATIONAL INJURIES & ILLNESSES CHARTS PACKAGE,” 2017.
- [8] T. R. Waters, V. Putz-Anderson, A. Garg, and L. J. Fine, “Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks,” *Ergonomics*, vol. 36, no. 7, pp. 749–776, 1993, doi: 10.1080/00140139308967940.
- [9] M. A. Rajae, N. Arjmand, A. Shirazi-Adl, A. Plamondon, and H. Schmidt, “Comparative evaluation of six quantitative lifting tools to estimate spine loads during static activities,” *Appl. Ergon.*, vol. 48, pp. 22–32, May 2015, doi: 10.1016/j.apergo.2014.11.002.
- [10] A. G. Bruno, M. L. Bouxsein, and D. E. Anderson, “Development and validation of a musculoskeletal model of the fully articulated thoracolumbar spine and rib cage,” *J. Biomech. Eng.*, vol. 137, no. 8, pp. 1–10, 2015, doi: 10.1115/1.4030408.
- [11] M. Hajhosseinali, N. Arjmand, and A. Shirazi-Adl, “Effect of body weight on spinal loads in various activities: A personalized biomechanical modeling approach,” *J. Biomech.*, vol. 48, no. 2, pp. 276–282, 2015, doi: 10.1016/j.jbiomech.2014.11.033.
- [12] M. A. Rajae, N. Arjmand, A. Shirazi-Adl, A. Plamondon, and H. Schmidt, “Comparative evaluation of six quantitative lifting tools to estimate spine loads during static activities,” *Appl. Ergon.*, vol. 48, pp. 22–32, 2015, doi: 10.1016/j.apergo.2014.11.002.
- [13] B. Jia, S. Kim, and M. A. Nussbaum, “An EMG-based model to estimate lumbar muscle forces and spinal loads during complex, high-effort tasks: Development and application to residential construction using prefabricated walls,” *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 41, no. 5, pp. 437–446, 2011, doi: 10.1016/j.ergon.2011.03.004.
- [14] W. S. Marras, M. J. Jorgensen, and K. G. Davis, “Effect of foot movement and an elastic lumbar back support on spinal loading during free-dynamic symmetric and asymmetric lifting exertions,” *Ergonomics*, vol. 43, no. 5, pp. 653–668, 2000, doi: 10.1080/001401300184314.
- [15] S. M. McGill, L. Marshall, and J. Andersen, “Low back loads while walking and carrying: Comparing the load carried in one hand or in both hands,” *Ergonomics*, vol. 56, no. 2, pp. 293–302, 2013, doi: 10.1080/00140139.2012.752528.
- [16] B. Bazrgari and A. Shirazi-Adl, “Spinal stability and role of passive stiffness in dynamic squat and stoop lifts,” *Comput. Methods Biomech. Biomed. Engin.*, vol. 10, no. 5, pp. 351–360, 2007, doi: 10.1080/10255840701436974.

- [17] B. Bazrgari, A. Shirazi-Adl, and N. Arjmand, “Analysis of squat and stoop dynamic liftings: Muscle forces and internal spinal loads,” *Eur. Spine J.*, vol. 16, no. 5, pp. 687–699, 2007, doi: 10.1007/s00586-006-0240-7.
- [18] H. Schmidt, A. Kettler, F. Heuer, U. Simon, L. Claes, and H. J. Wilke, “Intradiscal pressure, shear strain, and fiber strain in the intervertebral disc under combined loading,” *Spine (Phila. Pa. 1976)*, vol. 32, no. 7, pp. 748–755, 2007, doi: 10.1097/01.brs.0000259059.90430.c2.
- [19] I. Kingma, T. Bosch, L. Bruins, and J. H. van Dieën, “Foot positioning instruction, initial vertical load position and lifting technique: Effects on low back loading,” *Ergonomics*, vol. 47, no. 13, pp. 1365–1385, 2004, doi: 10.1080/00140130410001714742.
- [20] M. A. Nussbaum and D. B. Chaffin, “Development and evaluation of a scalable and deformable geometric model of the human torso,” *Clin. Biomech.*, vol. 11, no. 1, pp. 25–34, 1996, doi: 10.1016/0268-0033(95)00031-3.
- [21] K. Khoshelham and S. O. Elberink, “Accuracy and resolution of kinect depth data for indoor mapping applications,” *Sensors*, vol. 12, no. 2, pp. 1437–1454, 2012, doi: 10.3390/s120201437.
- [22] T. Dutta, “Evaluation of the Kinect™ sensor for 3-D kinematic measurement in the workplace,” *Appl. Ergon.*, vol. 43, no. 4, pp. 645–649, 2012, doi: 10.1016/j.apergo.2011.09.011.
- [23] M. Christophy, N. A. F. Senan, J. C. Lotz, and O. M. O’Reilly, “A Musculoskeletal model for the lumbar spine,” *Biomech. Model. Mechanobiol.*, vol. 11, no. 1–2, pp. 19–34, 2012, doi: 10.1007/s10237-011-0290-6.
- [24] P. Khoddam-Khorasani, N. Arjmand, and A. Shirazi-Adl, “Effect of changes in the lumbar posture in lifting on trunk muscle and spinal loads: A combined in vivo, musculoskeletal, and finite element model study,” *J. Biomech.*, vol. 104, May 2020, doi: 10.1016/j.jbiomech.2020.109728.
- [25] M. Damsgaard, J. Rasmussen, S. T. Christensen, E. Surma, and M. de Zee, “Analysis of musculoskeletal systems in the AnyBody Modeling System,” *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 14, no. 8, pp. 1100–1111, 2006, doi: 10.1016/j.simpat.2006.09.001.
- [26] S. L. Delp *et al.*, “OpenSim: Open-source software to create and analyze dynamic simulations of movement,” *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 54, no. 11, pp. 1940–1950, 2007, doi: 10.1109/TBME.2007.901024.
- [27] M. Senteler, B. Weisse, D. A. Rothenfluh, and J. G. Snedeker, “Intervertebral reaction force prediction using an enhanced assembly of OpenSim models,” *Comput. Methods Biomech. Biomed. Engin.*, vol. 19, no. 5, pp. 538–548, 2016, doi: 10.1080/10255842.2015.1043906.
- [28] M. E. Raabe and A. M. W. Chaudhari, “An investigation of jogging biomechanics using the full-body lumbar spine model: Model development and validation,” *J. Biomech.*, vol. 49, no. 7, pp. 1238–1243, 2016, doi: 10.1016/j.jbiomech.2016.02.046.
- [29] S. R. Hamner, A. Seth, and S. L. Delp, “Muscle contributions to propulsion and support during running,” *J. Biomech.*, vol. 43, no. 14, pp. 2709–2716, 2010, doi: 10.1016/j.jbiomech.2010.06.025.

- [30] E. M. Arnold, S. R. Ward, R. L. Lieber, and S. L. Delp, “A model of the lower limb for analysis of human movement,” *Ann. Biomed. Eng.*, vol. 38, no. 2, pp. 269–279, 2010, doi: 10.1007/s10439-009-9852-5.
- [31] A. S. Koopman, I. Kingma, G. S. Faber, J. Bornmann, and J. H. van Dieën, “Estimating the L5/S1 flexion/extension moment in symmetrical lifting using a simplified ambulatory measurement system,” *J. Biomech.*, vol. 70, pp. 242–248, Mar. 2018, doi: 10.1016/J.JBIOMECH.2017.10.001.
- [32] Z. Wang, L. Wu, J. Sun, L. He, S. Wang, and L. Yang, “Squat, stoop, or semi-squat: A comparative experiment on lifting technique,” *J. Huazhong Univ. Sci. Technol. - Med. Sci.*, vol. 32, no. 4, pp. 630–636, 2012, doi: 10.1007/s11596-012-1009-3.
- [33] A. Plamondon, M. Gagnon, and D. Gravel, “Moments at the L5/S1 joint during asymmetrical lifting: effects of different load trajectories and initial load positions,” *Clin. Biomech.*, vol. 10, no. 3, pp. 128–136, 1995, doi: 10.1016/0268-0033(95)93702-U.
- [34] P. Dolan, I. Kingma, M. P. De Looze, J. H. Van Dieen, and H. M. Toussaint, “<Emg_Coluna_Levantamento.Pdf>,” vol. 1, no. 1, pp. 17–24, 2001.
- [35] A. Seth *et al.*, “OpenSim: Simulating musculoskeletal dynamics and neuromuscular control to study human and animal movement,” *PLoS Comput. Biol.*, vol. 14, no. 7, Jul. 2018, doi: 10.1371/journal.pcbi.1006223.

EVALUATION OF THE STRUCTURE AND ENERGY GENERATION OF A INTEGRATED SOLAR COMBINED CYCLE POWER PLANT

Oğuzhan ERBAŞ^{1*} 

¹Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Kutahya Dumlupınar University, Kutahya 43100, Turkey

Abstract

Population growth, technological advancements, and growing living standards have all contributed to a rise in energy demand. Due to the fact that fossil fuels are not sustainable, renewable energy sources have emerged as a viable alternative. The need for development is growing all the time. In this study, a combined cycle power plant in which solar energy is integrated is discussed. For this purpose, in the designed model calculations; for solar energy data, the values of Emirgazi district of Konya province were used. The solar-field warms a thermal oil (Therminol VP-1) that is then circulated through a sequence of shell and tube heat exchangers that preheat feedwater, create steam, and superheat steam. The solar generator gets warmed feedwater from the HRSG and returns superheated steam, which is combined with HP steam when it exits the first superheater. As a result of model calculations; The net electricity efficiency (LHV) of the power plant was 56% and the heat recovery steam generator 89%.

Keywords: Energy Generation, Solar Energy, Combined Cycle Power Plant

ENTEĞRE GÜNEŞ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALİNİN YAPISI VE ENERJİ ÜRETİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Öz

Günümüzde nüfus artışı, teknolojik gelişmeler ve artan yaşam standartları, enerji talebindeki artışa katkıda bulunmaktadır. Fosil yakıtların sürdürülebilir bir kaynak olmaması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları uygulanabilir bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Bu alanda teknolojinin geliştirilmesi ihtiyacı da her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada güneş enerjisinin entegre edildiği bir kombine çevrim santrali ele alınmıştır. Bu amaçla tasarlanan model hesaplamalarında; güneş enerjisi verileri için Konya ili Emirgazi ilçesinin değerleri kullanılmıştır. Model santralde, parabolik oluklu güneş alanı, besleme suyunu önceden ısıtan, buhar üreten bir dizi ve borulu ısı eşanjörlerinden pompalanan bir termal yağ (Therminol VP1) ısıtmaktadır. Model hesaplamaları sonucunda; santralin net elektrik verimi (LHV) % 56 ve ısı geri kazanımlı buhar jeneratörünün verimi de % 89 bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji Üretimi, Güneş Enerjisi, Kombine Çevrim Santrali

*Sorumlu Yazar: Oğuzhan ERBAŞ, oguzhan.eras@dpu.edu.tr

Introduction

The rapidly increasing world population and the increasing energy need in parallel with industrialization cannot be met with the limited and limited traditional energy resources. On the other hand, most of the energy needs fossil fuels are one of the important causes of environmental pollution today [1,2]. Energy use based on fossil fuels; fuel in addition to important negativities such as foreign dependency, high import costs and environmental problems, due to the rapid depletion of world fossil fuel reserves, the importance of renewable energy sources increases [3]. Renewable energy sources, in addition to being sustainable due to their continuity, It is also of great importance as it can be found in every country. Solar energy, which has an important place among renewable energy sources, is located in the core of the sun. It is the radiation energy released by the fusion process in the form of hydrogen gas in the form of transformation into helium. Even a small part of the solar energy reaching the world is far above the world energy consumption. The technological progress of solar energy systems and the decrease in costs increase the importance of solar energy, which is a clean energy source [2,3]. Estimated “employment in renewable energy by technology” under IRENA's planned energy policies scenario Figure 1 It is also shown. As it is today, solar will have the largest share in renewable energy employment in 2050 with 19.9 million people, followed by bioenergy (13.7 million), wind (5.5 million) and hydropower (3.7 million) [4].

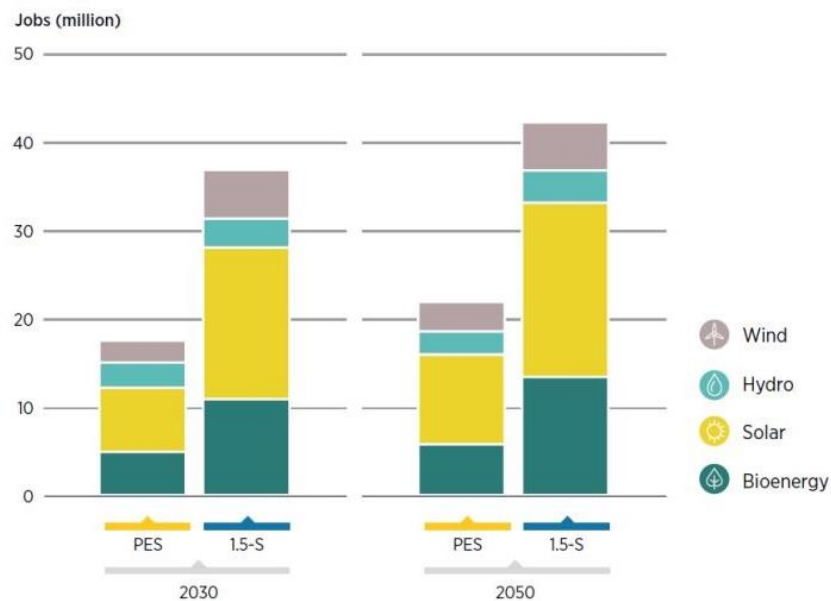


Figure 1. Employment scenario in renewable energy according to technology in the World [4].

With USD 148.6 billion, solar power accounted for more than half of global renewable energy capacity investment in 2020. It was the only renewable energy technology to expand this year, increasing 12 percent from the previous year. Despite an increase in wind generating capacity installations during the year, investment has fallen. Biomass and waste-to-energy investment declined by 3% to USD 10 billion [4]. Other technologies' investment continued to fall in 2020, with small hydropower investment reaching USD 0.9 billion, geothermal investment reaching USD 0.7 billion, and biofuels investment reaching USD 0.6 billion - all down more than 70% since 2010. (Figure 2).

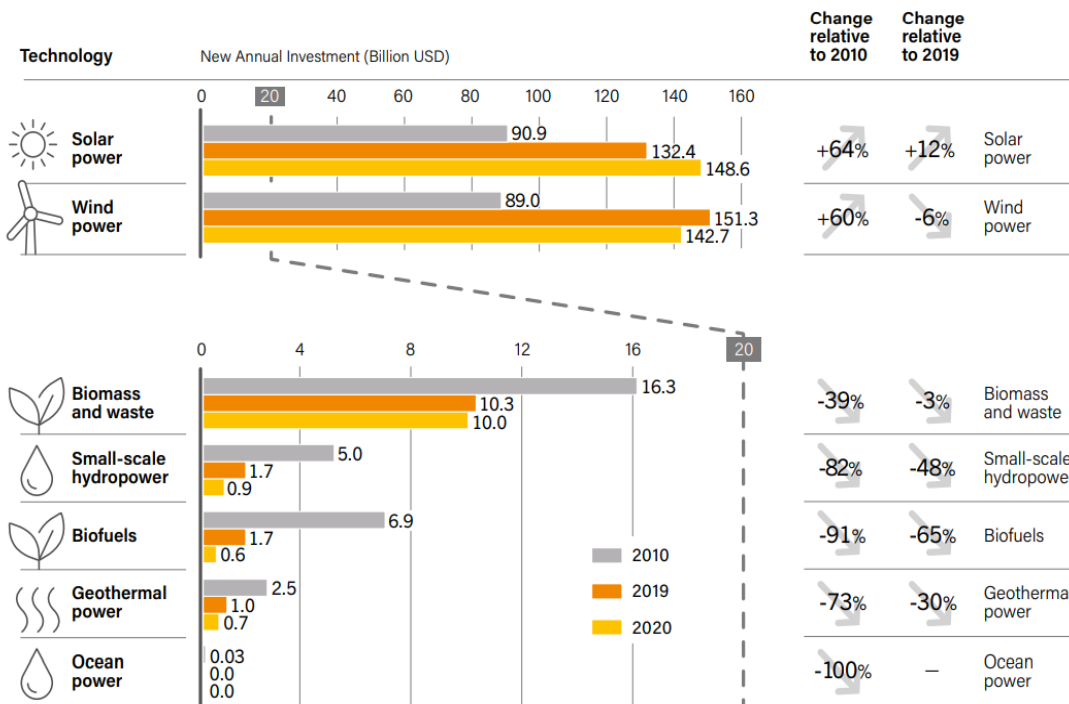


Figure 2. Change rates of investment amounts for Renewable Energy Resources [4].

Today, while solar energy technologies are becoming more and more widespread, it comes to the fore especially in studies related to the integration of solar energy into combined cycle power plants.

Kelly et al [5] used Gate Cycle modeling software to analyze the integrated combined cycle design. They saw an annual yield increase of 12% compared to a classic combined power plant. In addition to the heat recovery steam generator, producing high-pressure saturated steam further increased the

efficiency. Rovira et al [6] calculated that direct steam generation (DGS) is the most efficient option for solar energy integration. Zhai R. et al. [7] found that the energy and exergy efficiency of a solar-assisted hybrid power plant is lower than that of a thermal power plant operating under the same conditions.

Feng L. et al. [8] found that when the boiler feed water entering the high pressure feedwater preheaters enters the solar area, the efficiency of converting the heat provided from the solar area to work is higher than the thermal solar power plants that produce electricity directly from the solar radiation, and they determined that this situation reduces the required solar area. Yang Y et al. [9] studied the methods of integrating the solar field into the coal-fired power plant and stated that if the required investment cost per unit area of the system was reduced, it would be more competitive against the energy produced by other renewable energy sources such as biomass and wind energy. Hou H. et al. [10] found that the specific fuel consumption of the solar-assisted hybrid power plant was lower than the reference thermal power plant, and they found that the specific fuel consumption decreased further with the increase in solar radiation value. Suresh et al. [11] have shown that using solar energy to heat the feedwater entering the high-pressure preheaters produces the best results in terms of fuel economy and reduction of carbon dioxide emissions. Philip et al. [12] fostered a computationally successful ISCC model that integrates a total recreation of the intensity recuperation steam generator by thinking about an extensive variety of true framework limitations. Baghernejad et al. [13] utilized exergoeconomic ideas and hereditary 14 calculations to advance the venture cost of hardware and the expense of exergy obliteration.

Mechthild et al. [14] inspected a coordinated sunlight based consolidated cycle framework in Egypt, expecting a CC power plant with practically identical complete yearly energy creation and incorporated an explanatory box gatherer field and a volumetric air getting tower. Quaschnig [15] conducted an economic research for 61 locations worldwide, taking into account both PV and parabolic trough technology in solar thermal systems for electric generation. Woditsch [16] conducted a cost-benefit analysis of PV cells. The analysis is based on the assumption of doubling market volume every four years, with a 20% cost decrease for each doubling.

Combined cycle power plants with high efficiency and power in addition to offering flexible operating conditions, quick start-up, full load and variable load easily adaptable to situations, even

variable load with high efficiency working properties they have. In this study, the structure and energy production of a solar energy integrated combined cycle power plant model were investigated. Solar data of Emirgazi district of Konya province was used as model input. “Thermoflow computer software” was used to design the plant model. The model allows different model designs related to electricity generation and conversion systems.

Renewable Energy and Solar in Turkey

Solar energy in Turkey is primarily due to its high potential, ease of use, renewable and environmentally friendly features. However, some difficulties must be exceeded. Some factors such as high installation costs, relatively low efficiency and capacity factor, technological and economic challenges. By solving these problems however, solar power generation will become much more attractive in the near future. Despite being in a lucky geographical location, Turkey has cannot use its solar energy potential sufficiently today. Turkey's ranking and place among all the countries in the world in terms of the use of renewable energy sources are shown in Figure 3 [4].











	1	2	3	4	5
POWER					
Renewable power capacity (including hydropower)	China	United States	Brazil	India	Germany
Renewable power capacity (not including hydropower)	China	United States	Germany	India	Japan
Renewable power capacity <i>per capita</i> (not including hydropower) ¹	Iceland	Denmark	Sweden	Germany	Australia
 Bio-power capacity	China	Brazil	United States	Germany	India
 Geothermal power capacity	United States	Indonesia	Philippines	Turkey	New Zealand
 Hydropower capacity ²	China	Brazil	Canada	United States	Russian Federation
 Solar PV capacity	China	United States	Japan	Germany	India
 Concentrating solar thermal power (CSP) capacity	Spain	United States	China	Morocco	South Africa
 Wind power capacity	China	United States	Germany	India	Spain
HEAT					
 Modern bio-heat demand in buildings	United States	Germany	France	Italy	Sweden
 Modern bio-heat demand in industry	Brazil	India	United States	Finland	Sweden
 Solar water heating collector capacity ²	China	Turkey	India	Brazil	United States
 Geothermal heat output ³	China	Turkey	Iceland	Japan	New Zealand

Figure 3. Turkey's ranking and place in terms of the use of renewable energy sources

Our country, which is in the process of EU membership, is also expected to regulate its legislation and investment environment in order to produce energy from renewable energy sources in accordance with the said directive. In this direction, renewable energy and energy under the title of Energy, which is one of the chapter titles of the EU acquis, energy efficiency issues are important Turkey's solar energy potential due to its geographical location advantageous compared to most countries. Figure 4. shows the solar energy potential of Turkey distribution by regions. Highest While South East Anatolia shows its energy potential, it is the most Black Sea shows low potential.

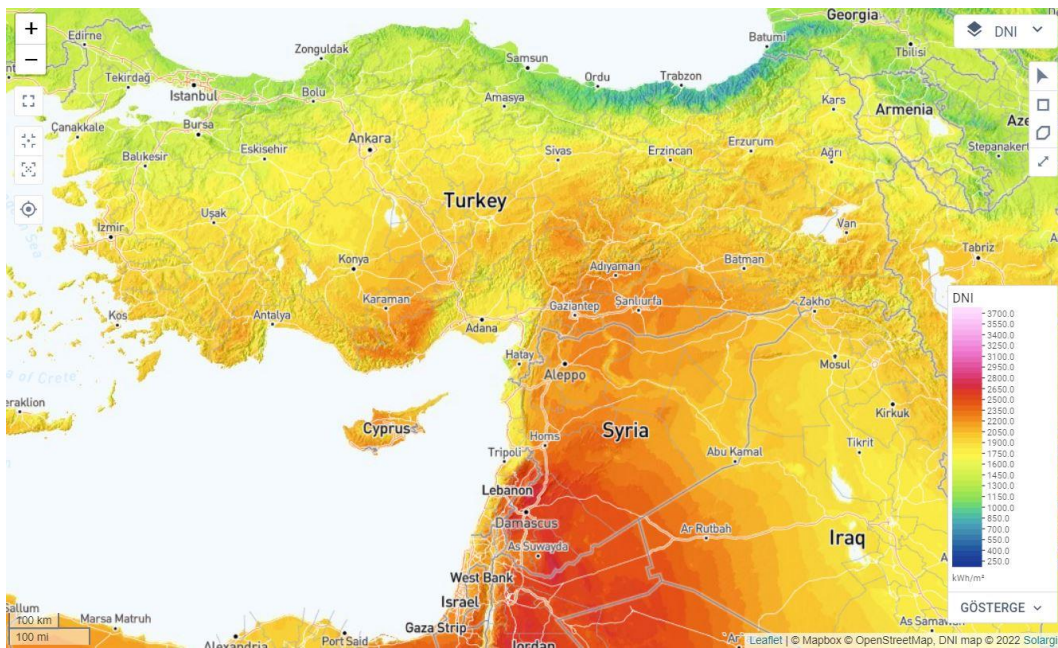


Figure 4. Turkey's solar energy potential distribution map by regions

Materials and Methods

Combined cycle power plants are the power plants consisting of the combination of the Rankine cycle and the Brayton cycle. Gas turbines and steam turbines are used together in this type of power plant. Basically; It is based on the principle of generating additional energy by using the high-temperature exhaust gases from the gas turbine in the steam cycle. In the hybridization of this type of power plants, the steam produced with the heat provided from solar energy can be injected into different parts of the waste heat boiler or directly into the steam turbine of the combined cycle

power plant. Thus, additional power is obtained without burning any additional fuel. Solar thermal power plants generally, use a large field or array of collectors to heat a turbine and generator. In combined cycle power plants, the electricity conversion efficiency is much higher than in conventional power plants; having pre-combustion pollutant prevention technology, emitting lower emissions; use less water and produce less solid waste; It has many advantages such as having input and product flexibility. In this study, an analysis was made on a combined cycle power plant model. In the combined cycle power plant considered, solar energy is also integrated. A software program was used for the calculations and analysis of the designed combined cycle power plant model. The "Thermoflow" software program used is a design program that models different energy conversion systems and power plants. In Figure 5, the combined cycle power plant model structure designed with this program is shown.

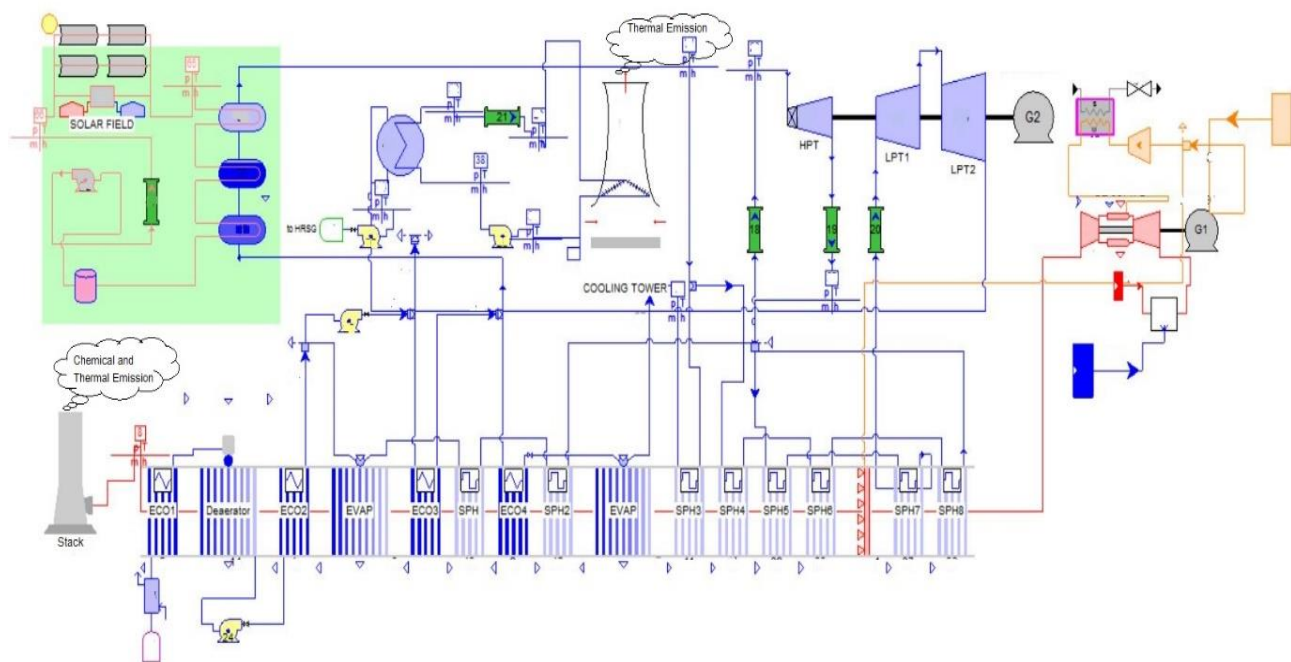


Figure 5. Solar integrated combined cycle plant structure and workflow

These power plants are a modern cycle power plant with gas and steam turbines and additional heat energy from solar energy to the thermal cycle. The difference of the working principle of the system from the combined cycle power plant is that the energy required to produce steam is supplied from the solar field as well as the waste exhaust gases in the gas turbine. The main elements of a solar

integrated combined cycle power plant are; reflective surface, absorber pipe, heat transfer fluid, carrier structures, gas turbine, steam turbine, generator, boiler, waste heat boiler, expansion tank, degasser, pump, condenser, preheater, reheater, superheater, and feed water heaters. In the solar energy integrated combined cycle power plant model, Emirgazi district of Konya province was chosen as the location (Figure 6).

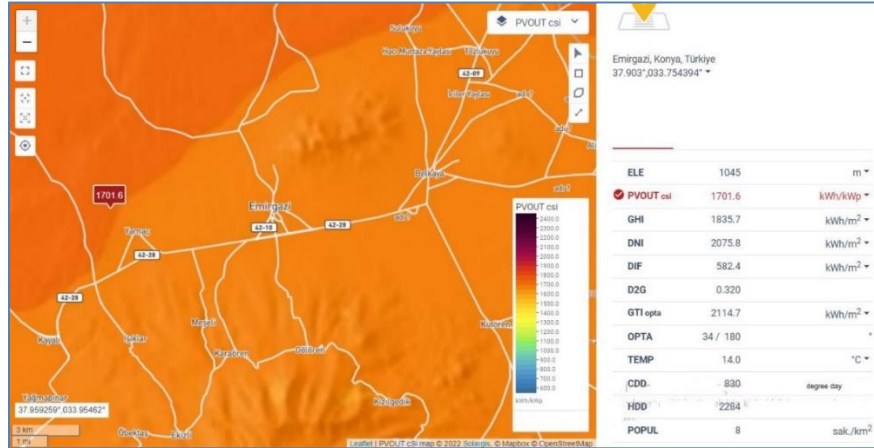


Figure 6. Solar radiation data of Emirgazi district of Konya province

Results and Discussion

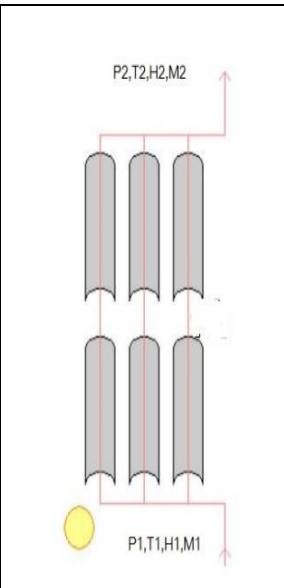
While the average decarbonization rate of all countries was 2.5% in 2020, this rate was 5.7 % and 0.8% in the G7 and E7 countries, respectively. It is seen that the average annual decarbonization rates of the G20 countries, which make up 76.3 % of the total carbon emissions, have changed between 0.6% and 5.5% since 2016. The above-average rates of change in 2020 were largely due to the reduction in carbon emissions as a result of the economic restrictions imposed by the COVID-19 pandemic. Limited reserves of fossil resources and fluctuations in prices, energy problems such as greenhouse gas emissions caused by renewable energy sources have caused a transformation in favor of renewable energy sources. Which of the technologies applied to generate electricity using solar energy source will be preferred depends on many variables.

The investment decision as a result of the comparison of factors such as the geographical and topographic characteristics of the area where the solar power plant is planned to be established, the installed power of the plant, energy efficiency and the cost per unit kWh generation is taken. The

main difference between these technologies is; while solar energy is directly converted to electrical energy in PV systems, in CSP systems, firstly heat energy and then electrical energy are produced from solar energy. As a result of the analysis of the solar integrated combined cycle power plant model; energy production amounts and basic parameter values are shown in Table 1.

Table 1. Solar Integrated Combined Cycle Power Plant model energy production and parameter values

Parameter	Value
Solar Field(Energy Input)	56984 kW
Integral Deaerator(Mass flow out)	0,082 t/h
Net electric efficiency (LHV)	56 %
Water discharge	98 t/h
Gas Turbine	567 kW
Wet Cooling Tower (fan)	1288 kW
Design Point Generator Efficiency	97 %
HRSG efficiency	89 %
HRSG gas inlet temperature	635 °C
Tube velocity at collector exit	5,1 m/s
Total number of existing cells in Wet cooling tower	8



Therminol VP-1 heat transfer fluid is a synthetic ultra-high temperature heat transfer fluid developed to fulfill the demanding requirements of vapor phase or liquid phase systems. The pressure and enthalpy values at the process points of the "Therminol VP-1" fluid used in the solar integrated combined cycle power plant are given in Figure 7.

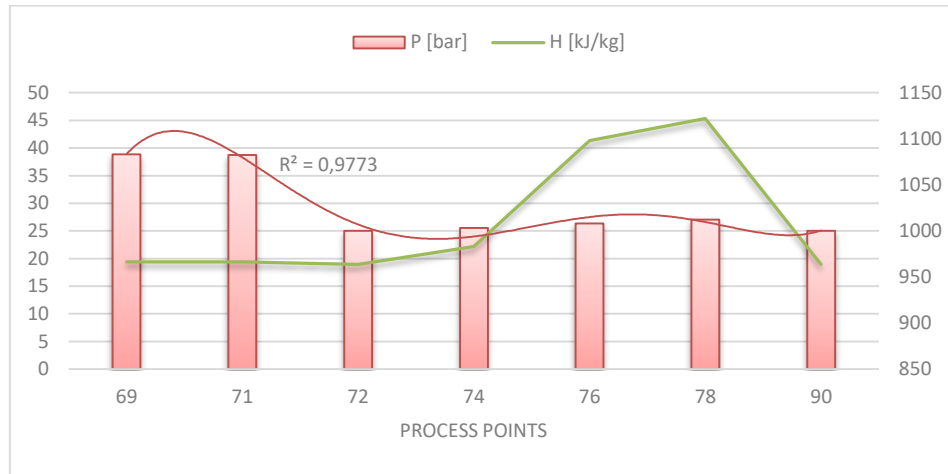


Figure 7. Pressure and enthalpy values at the process points of "Therminol VP-1" fluid.

Utilizing gas turbine waste heat production of steam in a waste heat boiler and from this steam generating electricity via a steam turbine is the most common known type of combined cycle. Heat transfer in steam boiler, condenser heat and mass transfer, and pressurization by consuming power in pumps. In Figure 8, the changes in the process gas velocities and obtained heat transfer coefficients for the HRSG (Heat recovery steam generator) in the combined cycle power plant are shown.

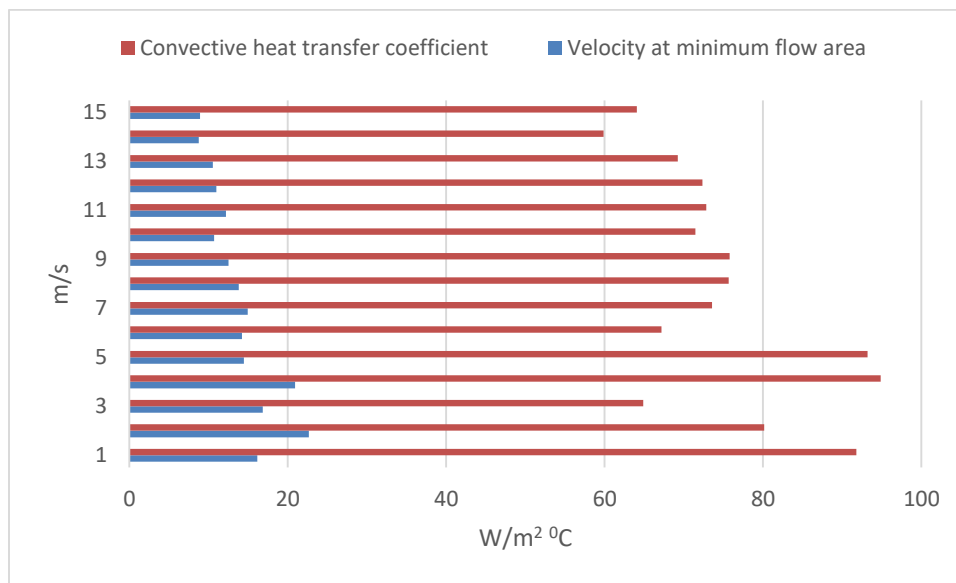


Figure 8. Changes in process gas velocities and obtained heat transfer coefficients

REFERENCES

- [1] Turkish Academy of Sciences, TUBA-Solar Energy Technologies Report, Ankara, 2018.
- [2] World Energy Council, Turkey 2021 Renewable Energy and Employment Annual Evaluation Report, 2021.
- [3] Ministry of Energy and Natural Resources, 2019-2023 Strategic Plan, Ankara, 2019.
- [4] The International Renewable Energy Agency (IRENA), The Energy Progress Report, 2022
- [5] B. Kelly, U. Herrmann, M.J. Hale, Optimization studies for integrated solar combined cycle systems, in: Proceedings of Solar Forum 2001 Solar Energy: The Power to Choose, April 21e25, 2001. Washington, DC.
- [6] A. Rovira, M.J. Montes, F. Varela, M. Gil, Comparison of heat transfer fluid and direct steam generation technologies for integrated solar combined cycles, *Appl. Therm. Eng.* 52 (2013).
- [7] Zhai, R., Zhu, Y., Yang, Y., Tan, K. ve Hu, E., (2013). Exergetic and Parametric Study of a Solar Aided Coal-Fired Power Plant, *Entropy*, 15 (3): 1014-1034.
- [8] Feng, L., Chen, H., Zhou, Y., Zhang, S., Yang, T. ve An, L., (2016). The Development of a Thermo-Economic Evaluation Method for Solar Aided Power Generation, *Energy Conversion and Management*, 116: 112-119.
- [9] Yang, Y., Cui, Y., Hou, H., Guo, X., Yang, Z. ve Wang, N., (2008). Research on Solar Aided Coal-Fired Power Generation System and Performance Analysis, *Science in China Series E-Technological Sciences*, 51 (8): 1211-1221.
- [10] Hou, H., Mao, J., Yang, Y. ve Luo, N., (2012). Solar-Coal Hybrid Thermal Power Generation-an Efficient Way to Use Solar Energy in China, *International Journal of Energy Engineering*, 2 (4): 137-142.
- [11] Suresh, M.V.J.J., Reddy, K.S. ve Kolar, A.K., (2010). 4-E (Energy, Exergy, Environment, and Economic) Analysis of Solar Thermal Aided Coal-Fired Power Plants, *Energy for Sustainable Development*, 14 (4): 267-279.
- [12] Philip G. Brodrick, Adam R. Brandt, Louis J. Durlafsky, Operational Optimization of an integrated solar combined cycle under practical time-dependent constraints, *Energy* 15 (2017) 1569-1584.
- [13] A. Baghernejad, M. Yaghoubi, Exergoeconomic analysis and optimization of an Integrated Solar Combined Cycle System (ISCC) using genetic algorithm, *Energy Conversion and Management* 52 (2011) 2193-2203.



[14] Mechthild Horn, Heiner Führung, Jürgen Rheinländer, Economic analysis of integrated solar combined cycle power plants. A sample case: The economic feasibility of an ISCCS power plant in Egypt, Energy 29 (2004) 935-945.

[15] V. Quaschnig, Technical and economical system comparison of photovoltaic and concentrating solar thermal power systems depending on annual global irradiation, Solar Energy, vol. 77, pp. 171-178, 2004.

[16] P. Woditsch, Kostenreduktionspotenziale bei der Herstellung von PV-Modulen, Proceedings of FVS Themen, pp. 72–86, 2000.

NADİR TOPRAK ELEMENTLERİNİN UYGULAMA ALANLARI

Naim ASLAN^{1*}, Yakup SAY²

¹Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Munzur Üniversitesi, Tunceli, Türkiye

²Munzur Üniversitesi Nadir Toprak Elementleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, Tunceli, Türkiye

Öz

Madenler insanlık tarihi boyunca hep vazgeçilmez bir öneme sahip olmuştur. Tarih boyunca toplumlarda madencilik faaliyetleri ile gelişmişlik düzeyi ve dolayısıyla refah seviyesi arasında doğrudan bir ilişki kurulabilir. Dünyada stratejik olarak bilinen hammadde kaynaklarından biri de nadir toprak mineralleridir. Zenginleştirme ve saflaştırma proseslerinde sonra nadir toprak elementleri (NTE'ler), nadir toprak metalleri (NTM'ler) ve nadir toprak oksitleri (NTO'lar) gibi çeşitli isimlerle tanımlanmaktadır. Nadir toprak elementlerinin (NTE) keşfi ve beraberinde getirdiği teknolojik gelişmeler de neredeyse hayatımızın her alanında etkisini göstermektedir. NTE'ler eşsiz fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir. NTE'ler başlıca mıknatıs, katalizör, metal alaşımları, elektronik aygıtlar, lazerler, cam-seramikler, şarj edilebilir piller, medikal görüntüleme, telekomünikasyon, aydınlatma ve yeni nesil yarıiletken aygıtlar içeren yüksek teknolojik uygulamalarda komponent olarak kullanılmaktadır. Ek olarak, samaryum (Sm), neodimium (Nd) disprosyum (Dy), praseodimium (Pr) ve erbiyum (Er) gibi bazı önemli NTE'ler savunma sanayi ve yenilenebilir enerji teknolojilerinde (rüzgar ve güneş enerjisi) kullanılmaktadır. Kritik teknolojilerde kullanılan bu hammaddelere olan talep gelecekte büyük oranda artacaktır. Bu derleme makalesinde, NTE'lerin metalurji, seramik-cam, katalizör, aydınlatma ve ekran teknolojileri, telekomünikasyon ve lazer, batarya, mıknatıs, medikal, savunma sanayi ve nükleer alanında uygulamaları ve kritik önemleri ayrıntılı bir şekilde tartışıldı.

Anahtar Kelimeler: Aydınlatma, batarya, kullanım alanları, medikal görüntüleme, nadir toprak elementleri, NdFeB mıknatıs, savunma sanayi

APPLICATION AREAS OF RARE EARTH ELEMENTS

Abstract

Mines have always had an indispensable importance in the history of humankind. Historically, a direct relationship can be established between mining activities and the level of development and thus the level of well-being in societies. Rare earth minerals are one of the strategically known raw materials in the world. Following enrichment and purification processes, it is identified by different names such as rare earth elements (REEs), rare earth metals (REMs) and rare earth oxides (REOs). The discovery of REEs and its technological developments have an impact on almost all aspects of our lives. Rare earth materials have unique physical and chemical properties. REEs are used as components in high-tech applications including magnets, catalysts, metal alloys, electronic devices, lasers, glass-ceramics, rechargeable batteries, medical imaging, telecommunications, lighting, and new generation semiconductor devices. In addition, some important REEs elements such as samarium (Sm), neodymium (Nd), dysprosium (Dy), praseodymium (Pr) and erbium (Er) are used in the defense industry and renewable energy technologies (wind and solar energy). The demand for this raw materials used in the critical technologies will largely increase in the future. In this review article, the applications and critical importance of REEs in metallurgy, ceramic-glass, catalyst, lighting and display technologies, telecommunications and laser, battery, magnet, medical, defense industry and nuclear fields are discussed in detail.

Keywords: Lighting, battery, usage areas, medical imaging, rare earth elements, NdFeB magnet, defense industry

1. GİRİŞ

Nadir toprak elementler (NTE'ler) ile yeni nesil malzemelerinin mekanik, termal, korozyon, elektrik, optik ve manyetik özelliklerinin geliştirilebileceğinin keşfinden bu yana bu elementler neredeyse her alanda hayatımıza girmiştir. Cep telefonlarından televizyona, bilgisayarlardan elektrikli araçlara, rüzgar türbinlerinden askeri teçhizatlara ve hatta zirai faaliyetlerden kanser tedavisi uygulamalarına kadar her alanda karşımıza çıkmaktadır [1, 2]. NTE'ler başta metalurji, kimya, makina, otomotiv (özellikle elektrikli araçlarda; elektrik motorları ve bataryalar), savunma sanayi, enerji, sağlık, elektrik-optik ve manyetik olmak üzere pek çok alanda kritik bir öneme sahiptir [3]. NTE'lerin enerji ve ileri teknoloji malzeme uygulamalarındaki kullanımı son 50 yılda önemli ölçüde artmıştır [4]. Bununla birlikte tedarik riski bulunan bu elementler için ikame element arayışları da halen devam etmektedir [5].

NTE'ler, oksit, silikat, karbonat, nitrat, fosfat, hidrat, klorür ve florür gibi formlarda, yüksek saflıkta metalik formlarda veya mischmetal formlarında üretilip kullanılmaktadır [6-9]. Bu elementler kullanılarak malzemelerin; mekanik, kimyasal, elektrik ve termal özellikleri belirgin bir şekilde geliştirilebilir. Her ne kadar tek başlarına önemli ticari değerlere sahip olmasalar da bu elementler kullanılarak geliştirilen ileri teknoloji malzemeler oldukça yüksek katma değerlere sahiptir [10]. Özellikle hızla büyüyen elektrikli ve hibrit araç sektörünün, elektrik motorları ve batarya ihtiyacını arttıracığı ve dolayısıyla buna paralel olarak NTE ihtiyacının da hızla artmasına neden olacağı tahmin edilmektedir. Atom numarası 57 olan La ile atom numarası 71 olan Lu arasında yer alan lantanit grubu 15 elementi ve ek olarak benzer fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olan Sc ve Y'ü kapsayan bu element grubuna ait bazı temel özellikler ve uygulama alanları Tablo 1'de özetlenmiştir. Dünyadaki genel ekonomik büyüme, özellikle yüksek katma değere sahip teknolojilerin gelişimi ile doğrudan ilişkilidir. İleri teknoloji malzemelerin gelişiminde, NTE'lerin çok kritik bir rol oynadığı dikkate alındığında, bu elementlere olan ihtiyacın da her geçen gün biraz daha artacağı tahmin edilmektedir. Örneğin; Nd, Sm, Gd, Dy veya Pr içeren alaşımlarla geliştirilen kalıcı mıknatıslar, ileri teknoloji uygulamalarda devrim yaratmıştır [11].

Spesifik mukavemeti (mukavemet/yoğunluk) yüksek ve küçük boyutlarda bile yüksek performans gösteren bu kalıcı mıknatıslar sayesinde ses ve görüntü ekipmanlarında, bilgisayarlarda, otomobillerde, iletişim sistemlerinde ve askeri teçhizatlarında daha küçük boyutlarda daha yüksek performansa sahip cihazların üretimi mümkün olmaktadır [12].

Tablo 1. NTE'lerin önemli bazı fiziksel özellikleri yanı sıra yaygın kullanım alanları [12]

İsim	Sembol	Atom No	Elektron Konf.	Belirgin Uygulamaları
Skandiyum	Sc	21	3d ¹ 4s ²	Alüminyum alaşımları, aydınlatma
İtriyum	Y	39	4d ¹ 5s ²	Lazerler, kırmızı fosforlar, kanser ilaçları
Lantanum	La	57	4f ⁰ 5d ¹ 6s ²	Petrol katalizörü, kamera lensleri, düşük yoğunluk
Seryum	Ce	58	4f ¹ 5d ¹ 6s ²	Otomobil katalitik konvertörleri, Cam parlatma, düşük yoğunluk
Praseodimium	Pr	59	4f ³ 5d ⁰ 6s ²	Mıknatis, düşük yoğunluk, yeşilimsi-sarı cam ve seramikler
Neodimium	Nd	60	4f ⁴ 5d ⁰ 6s ²	Nd ₂ Fe ₁₄ B mıknatısları, lazerler, viyoleto cam ve seramikler
Prometyum	Pm	61	4f ⁵ 5d ⁰ 6s ²	Radyoaktif; fosforlu boya, kalp pilleri
Samaryum	Sm	62	4f ⁶ 5d ⁰ 6s ²	SmCo ₅ mıknatısları, kanser terapisi, nükleer reaktör çubukları
Evropiyum	Eu	63	4f ⁷ 5d ⁰ 6s ²	Aydınlatma ve renkli ekranlar için kırmızı fosforlar
Gadolinyum	Gd	64	4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	Refraktif cam, MRG kontrast ajanı, nükleer reaktör kalkanı
Terbiyum	Tb	65	4f ⁹ 5d ⁰ 6s ²	Aydınlatma için yeşil fosforlar, manyetostriksiyon alaşımları
Disprosyum	Dy	66	4f ¹⁰ 5d ⁰ 6s ²	Mıknatıslarda stabilize edici, lazerler
Holmiyum	Ho	67	4f ¹¹ 5d ⁰ 6s ²	Lazerler, mıknatıslar
Erbiyum	Er	68	4f ¹² 5d ⁰ 6s ²	Lazerler, fiber optikler, nükleer reaktör kontrol çubukları
Tulyum	Tm	69	4f ¹³ 5d ⁰ 6s ²	Portatif X-ray kaynağı, ışık filamanları, lazerler
İtterbiyum	Yb	70	4f ¹⁴ 5d ⁰ 6s ²	Lazerler, kimyasal indirgeme ajanı, paslanmaz çelik katkı maddesi, kanser terapisi
Lutesyum	Lu	71	4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²	PET tarama dedektörü, refraktif cam, petrol katalizörü,
Tulyum	Tm	69	4f ¹³ 5d ⁰ 6s ²	Portatif X-ray kaynağı, ışık filamanları, lazerler

NTE'lerin ileri teknoloji uygulamaların gelişimine yapmış olduğu katkılar aşikârdır. Ancak teknolojik gelişim ile birlikte sağlık ve çevresel etkileri de değerlendirilmeli ve bu konuda güven vermelidir. Bu durum NTE'lerin çevresel etkilerine olan ilginin son yıllarda artmasına neden olmuştur. Özellikle küresel ısınma ve enerji verimliliği konusunda artan endişeler, yüksek enerji verimliliği ve düşük CO₂ salınımına sahip teknolojilerin geliştirilmesi için yürütülen Ar-Ge faaliyetlerinin de artmasına neden olmuştur [13, 14]. NTE oksitleri fizyolojik olarak inert

malzemeler olduğunda dolayı çevre için tehdit oluşturmadıklarını söyleyebiliriz [1]. Ayrıca NTE'lerin özellikle katalizörlerde ve katalitik konvertörlerde kullanımı ile daha çevreci teknolojilerin geliştirilmesi mümkün olmuştur [15]. Yine benzer olarak, NTE esaslı kalıcı mıknatıs teknolojileri ile üretimi mümkün olan elektrikli veya hibrit araçlar sayesinde hem yüksek enerji verimliliği sağlanmakta hem de CO₂ emisyon değerleri önemli ölçüde azalmaktadır [16]. Bir diğer önemli nokta da düşük toksite değerlerinin sağladığı avantajdır. Pek çok uygulamada kullanılan Cd veya Pb içeren şarj edilebilir bataryaların yerini lantan-nikel-hidrit (La-Ni-H) bataryalara bırakması sayesinde bataryaların geri dönüşüm proseslerindeki toksik etkiler de azaltılabilmektedir. La-Ni-H bataryalar her ne kadar daha yüksek bir maliyet gerektirse de Cd veya Pb içeren bataryalara kıyasla, daha fazla şarj yoğunluğu ve daha iyi şarj-deşarj özellikleri sağlamaktadır [17]. Yine Cd veya diğer ağır metal içerikli toksik etkilere sahip pigmentlerin yerine La veya Ce içeren kırmızı-turuncu pigmentler sayesinde daha çevreci uygulamalar mümkün olmaktadır. NTE ler sayesinde, yanıcı ve toksik gazların sıkıştırılması ile sağlanan gaz sıkıştırılmalı soğutma teknolojisi yerine manyetik soğutma teknikleri geliştirilmiştir [18]. Manyetik soğutma gaz sıkıştırılmalı soğutmadan çok daha verimlidir. Daha da önemlisi manyetik soğutma sayesinde ozon tabakasını olumsuz etkileyen toksik ve yanıcı gazların kullanımına gerek kalmamıştır. Sonuç olarak NTE'lerin endüstriyel uygulamaları çevresel bir tehdit değil tam tersine enerji verimliliği ve CO₂ salınımının azaltılmasına yönelik katkıları sayesinde çevre dostu özellikleri açısından son derece önemlidirler.

NTE'lerin optik alanda ise ilk uygulamaları Auer ışıldayan fitilleri ve ark ışık karbonlarıdır. 1964 yılında Levine ve Patilla tarafından yapılan kapsamlı laboratuvar araştırmalarının bir sonucu olarak, renkli televizyon ekranları için kırmızı fosfor olarak itriyum (Y) ile birlikte gerçekten nadir ve pahalı Eu'nun kullanılması, NTE endüstrisi için büyük bir adım olmuştur [19]. Eu elementinin sarı renk bileşen içermeyen 610⁰A'da güçlü ve keskin emisyon spektrumuna/dalga boyuna sahip olması, göz tarafından mükemmel doygunlukta kırmızı renk tonu olarak algılanmasını sağlamaktadır. Bu durum renkli televizyonlarda eşit renkte görüntü elde edilmesinin yansın renkli ekran TV'lerin doğuşu olarak da nitelendirilmektedir. Bir diğer önemli örnek ise oksit formuna sahip Gd bileşiğin X-ışını yoğunlaştırıcı alanında önemli bir rol oynaması olmuştur. Bu durumu açıklayacak olursak; röntgen filminin üzerine Gd₂O₃ yerleştirildiğinde, X-ışınları tarafından

uyarılır ve spektrumun görünür bölge aralığında yayılır. Bu sayede minimum radyasyonla çekim gerçekleştirilebilir. Bu durum Gd_2O_3 nadir toprak oksidinin aşırı hassasiyetini göstermektedir [20]. Nd veya Pr kullanılarak camın renklendirilmesi, spektrumun görünür aralığında seçici soğurma/absorbsiyon yeteneğine dayanmaktadır. Cam yüzeylerin renklerinin giderilmesinde, dört değerli Ce^{+4} 'nin oksidasyon etkisi, düşük miktarlarda Nd veya Pr katkısı ile gerçekleştirilmektedir. Benzer şekilde, her zaman bir miktar Nd ve Pr içeren Ce konsantreleri cam eriyiklerine eklenmektedir. Burada optik dengeleme ile seçici olarak didimyum (Nd ve Pr elementlerini içeren bir karışım) emilimi ile renk giderimi sağlanabilmektedir. Bu olay, kimyasal ve optik özelliklerin bir kombinasyonu kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Özellikle koruyucu gözlüklerde kullanımları ön plana çıkmaktadır. NTE'lerin elektro-optik özelliklerinin önemini ortaya koymak adına diğer bir önemli örnek La-oksit bileşenidir. La_2O_3 , yüksek kırılma indeksi ve renksiz olması nedeniyle cam uygulamalarında kullanılmaktadır [21]. Günümüzde optik camlarda korozyon direncini artırmak için % 40'a kadar La-oksit kullanılmaktadır [22]. Ek olarak, NTE'ler cam bazlı lazerlerde aktivatör görevi görür. Bu tür lazerler arasında, Nd bazlı lazer iyi bilinmekte olup verimlilik, optik stabilite ve uyumluluk gibi temel gereksinimler olduğunda yaygın olarak kullanılmaktadır [23]. NTE'lerin atomik yapıları, minimum ağırlık ve boyutun temel tasarım gereksinimleri olarak görüldüğü uygulamalarda, üstün manyetik özellikler sergilemesini sağlamaktadır. Sm, Nd ve Pr gibi NTE'ler, yüksek sıcaklık uygulamaları, radarlar, elektrik motorları ve jeneratörlerde, kalıcı mıknatısların geliştirilmesi için öncü elementler olarak görülmektedir. NTE'ler, yüksek mukavemetli manyetik malzemelerin üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Termal, mekanik, manyetik kararlılık, güvenilirlik ve uzun süre kullanılabilirlik gibi etmenler göz önünde bulundurulduğunda kalıcı mıknatıs olarak NTE esaslı mıknatıslar ön plana çıkmaktadır. NdFeB esaslı mıknatıslar orta sıcaklık ve güçlü mıknatıslık veya koersivite gerektiren uygulamalarda daha çok tercih edilmektedir. Sm-Co esaslı mıknatıslar ise sahip olduğu yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek kararlılık ve yüksek maliyetleri nedeniyle daha çok savunma sanayi için uygundur [24]. NTE'lerin sahip olduğu manyetik özellikler, sadece mıknatıs uygulamalarıyla sınırlı olmayıp manyetik depolama ve okuma gibi alanlarda da kullanılmaktadır. Örneğin: günümüzde güvenli bilgi depolamada, gadolinyum-galyum esaslı manyetik kabarcık bellekleri kullanımı söz konusudur. Ayrıca manyetik görüntüleme ve tanılama cihazlarında da filtreleyici ve kontrast ajanı

olarak uygulama alanı bulmuşlardır [25].

1.1. Metalurji Alanında Kullanımı

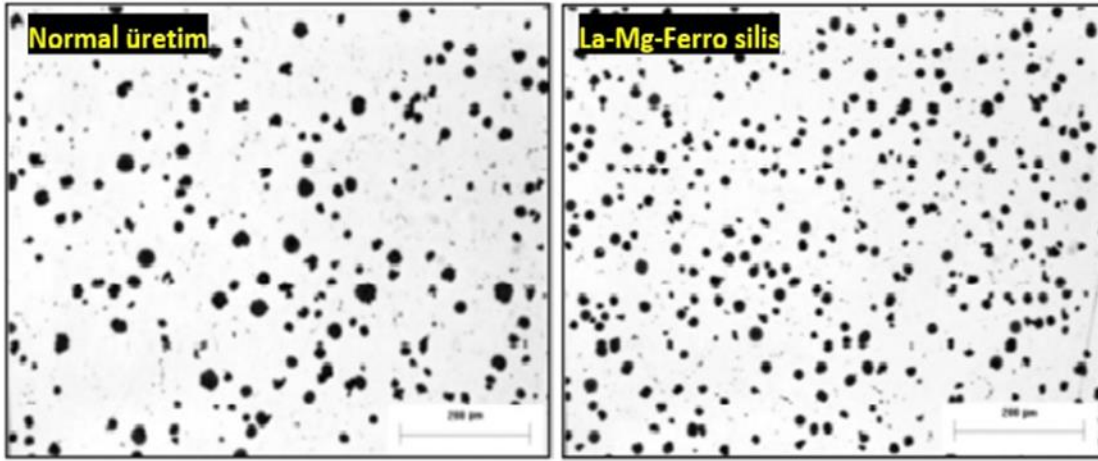
NTE'ler hem demir esaslı hem de demir dışı metallerin üretiminde kritik bir öneme sahiptir. Metal esaslı mühendislik malzemeleri geliştirilirken mukavemet, yoğunluk, korozyon dayanımı, darbe dayanımı vb. pek çok özellik uygulama alanı dikkate alınarak değerlendirilmektedir. Demir esaslı ve demir dışı alaşımların üretiminde küçük miktarlarda NTE katkılandırılması ile alaşımların nihai fiziksel özelliklerinde belirgin farklar oluşturulabilmektedir. Bu katkılar genellikle NTE'lerin ferro alaşımları, metalik formları veya mischmetal (genellikle Ce-oksit ve La-oksit karışımı) şeklinde yapılmaktadır [26].

NTE'ler, metal alaşımlarının üretiminde oksijen, kükürt ve diğer zararlı elementlerin giderimi için kullanılabilir. Bu uygulama, özellikle küresel grafitli dökme demir üretimi için oldukça önemli bir avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte NTE'ler, iletken bakır ve alüminyum üretiminde de oksijen ve kükürdün gideriminde nadiren de olsa kullanılmaktadır. Ayrıca NTE'ler, yüksek termal kararlılığa sahip intermetalik fazların çökmesini sağlayarak magnezyum alaşımlarında sertleştirici olarak da kullanılmaktadır [1].

Küre grafitli dökme demirler endüstriyel uygulamalar için oldukça önemli malzemelerdir. 1960'larda 170 bin ton olan üretim 1980'lere gelindiğinde 2.9 milyon tona çıkmış ve 20 yıllık periyotta yaklaşık 17 kat artış göstermiştir [27]. Küre grafitli dökme demirlerde karbür içermeyen bir matris arzu edilmekte ve bunun için genellikle katılaşmada grafit çekirdek sayısının artırılması hedeflenmektedir. Bu amaçla genellikle Mg ile aşılama yapılmaktadır. Mg ile NTE'lerin birlikte kullanımı ise nodüler grafit çekirdek sayısını artırmaktadır. Araştırmalar % 0.01 – 0.02 Ce ve % 0.02 – 0.04 diğer NTE katkıları ile karbürlerin kontrolünün sağlandığını ve grafit çekirdek sayısının arttığını göstermektedir [1].

Çok küçük miktarlardaki Kükürt varlığı (% 0.01 – 0.1) bile dökme demirin mikroyapısındaki grafit morfolojisi üzerinde önemli etkilere sahiptir. Dökme demirlerde NTE'lerin varlığı, çok küçük miktarlarda olsa bile, grafit morfolojisi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Grafitin morfolojisi değiştirilerek dökme demirlerin bazı fiziksel özellikleri geliştirilebilir. Bu nedenle küre formunda grafit elde edebilmek amacıyla dökme demir üretiminde küçük miktarlarda La, Ce, Pr ve Nd

kullanılmaktadır [28]. NTE'lerin dökme demir üretiminde üç ana rolü vardır; nodüler grafitleştirici, katılaşmada çekirdek sayısının artırılması ve zararlı bileşenlerin uzaklaştırılması (oksijen ve sülfür gibi). Bu elementler küresel grafitlerin büyümesini engelleyen oksijen ve sülfür gibi elementlerin negatif etkilerini ortadan kaldırmaktadır. Bu sayede gri dökme demire (pik) kıyasla çok daha yüksek mukavemet değerlerine ve deformasyon kabiliyetine sahip olan küre grafitli dökme demirler elde edilebilir [1]. Şekil 1'de aşılایıcı olarak lantanın dökme demirin mikro yapısı üzerindeki etkisi belirgin bir şekilde görülmektedir. Sadece %1 oranında La-Mg-Ferrosilis aşılایıcı kullanımı ile aynı kesitte, daha küresel formda ve daha fazla sayıda grafit oluşmuştur.



Şekil 1. Küre grafitli dökme demir üretiminde NTE kullanımının mikroyapıya etkisi [29].

Mischmetal % 95 - 98 NTE içeren (% 45-58 Ce, % 17-30 La, % 11-20 Nd % 4-8 Pr) ve çelik üretiminde oldukça kritik bir öneme sahip olan alaşımlardır. Çelik üretimi için yıllık yaklaşık 3000 ton mischmetal kullanılmakta ve 35 milyon dolarlık bir maliyeti bulmaktadır. Mischmetal kullanımı, bazı NTE malzemeleri içeriğine sahip çeşitli alaşımlar içeren bastnazit cevheri için büyük bir talebe yol açmıştır. Bu alaşımlarda, NTE'lerin kabaca % 50' si Ce esaslıdır [29]. Nadir toprak silisit alaşımı, Vanadium Corporation of America (Foote Mineral Company'nin bir parçası haline geldi) ve Molibden Corporation of America tarafından 1965 yılında geliştirilmiştir. Mischmetale göre daha ucuzdur. Düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çeliklerin üretimi için kullanılmaktadır. Alaşım esasen mischmetal, silika ve demirden oluşmaktadır. NTE silisit alaşımlarının, özellikle otomotiv sektörü için önemli olan düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çelik

üretiminde yaklaşık 2 dolar/ton luk makul bir maliyeti mevcuttur [29]. Bu düşük maliyete karşın çeliğin mekanik özelliklerinde oldukça önemli artışlar sağlamaktadır. Çelik üretiminde silisitlerin kullanımı ABD, Kanada ve Avrupa ülkelerinde hızla yayılmaktadır.

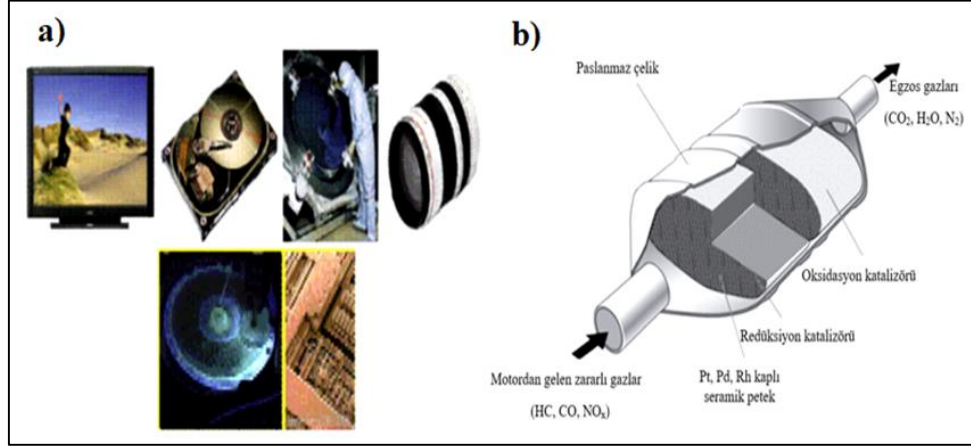
Süper alaşımlar; esasen gaz türbini motorlarında, elektrik jeneratörlerinde, jet motoru egzoz memelerinde, reaksiyon kaplarında ve genellikle yüksek sıcaklıkta oksitleyici ortamlarda malzeme olarak kullanılan ısıya dayanıklı bir alaşım sınıfı şeklinde tanımlanabilmektedir. Süper alaşımlara oksidasyon direncini arttırmak amacıyla bazı NTE'ler eklenmektedir. İtiryum (Y), süper alaşımların M-Cr-Al-Y (Fe-Cr -Al-Y, Ni-Cr-Al-Y, Co-Cr-Al-Y) ailesindeki aktif bileşen olarak bilinmektedir. Burada itiryum alaşımların stabilitesini arttırmakla birlikte kaplama arayüzeylerinde oluşan boşlukları doldurarak yapışma dayanımını arttırabilmektedir [30]. Lantan (La) ve seryum (Ce) da bazı nikel ve kobalt süperalaşım bileşimlerinde benzer bir rol oynamaktadır. Örneğin; seryum kükürt ve oksijeni kontrol etmek için bazı yüksek mukavemetli nikel alaşımlarında kullanılır. Benzer şekilde lantan ise gaz türbinlerinde kullanılan nikel ve kobalt bazlı yüksek sıcaklık alaşımların çalışma sıcaklığını arttırmak için bu alaşımlara eklenmektedir. % 0.03-0.05 aralığında yapılan çok küçük katkıları ile elde edilen ürünlerin çalışma ömürlerini 10 kat'a kadar arttırdığı bilinmektedir [31]. Havacılık alanında yüksek sıcaklık alaşımı olarak kullanılan Al-8Fe-4Ce'de oksidasyon direncini arttırmak için seryum katkısının yapılması önemli endüstriyel uygulamalarından bir tanesidir. Bu tür alaşımlara ağırlıkça %1 ve altında yapılan katkıları ürünlerin performansını önemli derecede geliştirmektedir [32].

Alüminyum alaşımları, az miktarda itiryum stabilize edilmiş zirkonyum kombinasyon ile enerji iletim hatlarında iletimi %50 oranında artırdığı ortaya konulmuştur. Yine yüksek gerilim iletim hatlarında kullanılan alüminyum esaslı alaşımlara mischmetalın eklenmesiyle akma mukavemeti, ısıl direnci, titreşim direnci, korozyon direnci ve ekstrüde edilebilirlik gibi önemli özelliklerin geliştirilmesinde etkili olmaktadır. Yüksek sıcaklık özelliklerine ve yüksek yorulma mukavemetine sahip 22Si-1MM ve 2.5Cu-1.5Ni-0.8Mg-1.2Fe-1.2Si-0.15MM alüminyum alaşımları otomobil endüstrisinde, hava taşıtlarında ve küçük motorlarda kullanılmaktadır [33]. Burada temel husus, 90 ile 315 °C aralığındaki spesifik uygulamalarda kullanılan titanyum esaslı komponentlerin yerine alüminyum, demir ve seryumdan oluşan alüminyum alaşımı geliştirmektir. Bununla birlikte, alüminyuma skandiyum (Sc) ilavesiyle yüksek mukavemete sahip yeni nesil alaşımların

üretmesinde öncülük etmiştir. Örneğin: alüminyuma skandiyum ilavesi ile, tane büyümesi azaltılarak ince taneli yapı oluşturulabilir ve bu sayede kaynak uygulamalarında sıcak çatlama riski azaltılıp, mukavemet artırılabilir ve daha iyi yorulma direnci sağlanabilir [34]. Bu nedenle son yıllarda Al-Sc esaslı alaşımların geliştirilmesi noktasında önemli gelişmeler yaşanmaktadır.

1.2. Seramik-Cam Alanında Kullanımı

Seramik ve cam endüstrisinde NTO katkılarının ana amaçları; ultraviyole absorpsiyonu, kırılma indisinin değiştirilebilmesi, renklendirme veya renk açma şeklinde sıralanabilir [26]. Endüstriyel seramik uygulamalarında limon sarısı pigmentler Pr ile sağlanmaktadır. Bununla birlikte diğer NTE'ler, renk kontrolü sağlayabilmek için seramik sıralara eklenmektedir [35]. La-oksit, yüksek kırılma indeksi nedeniyle cam uygulamalarında da kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra günümüzde optik camlarda korozyona direncini artırabilmek için % 40'a kadar La-oksit kullanılmaktadır [1]. NTE'lerin en önemli uygulamalarından birisi de parlatıcı olarak kullanımındır. Özellikle CeO_2 cam parlatma uygulamaları için vazgeçilmez bir malzemedir.



Şekil 2. CeO_2 tozlarının parlatma tozu olarak en sık kullanıldığı uygulamalar; ekranlar, harddiskler, optik lensler, silikon plakalar (a), Katalitik konvertör (b) [36].

Şekil 2a'da bu uygulamalar için bazı örnekler verilmiştir. Parlatılmış pürüzsüz bir cam yüzeyi elde edebilmek için, abraziv aşındırıcılar ve kimyasal çözücüler ile birlikte NTE içeren parlatma tozları kullanılmaktadır. Parlatma tozu olarak kullanılan NTO'ların % 90'ından fazlasını Ce-oksit ve La-oksit oluşturmaktadır (özellikle Ce-oksit). Bununla birlikte düşük miktarlarda Pr-oksit, Nd-oksit

ve Y-oksit de bu amaçla kullanılmaktadır. Ce-oksitin bir parlaticı olarak performansı sulu çözelti içerisindeki oksit yapısına bağlıdır (Ce^{+3} ve Ce^{+4}). Bu nedenle oksitin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak cilalama performansı farklılık gösterebilir [26].

1.3. Katalizör Alanında Kullanımı

NTE'lerin bir diğer önemli kullanım alanı da katalizörlerdir. Bu alanda en önemli uygulamaları; petrol rafinasyonu ve katalitik konvertörlerdir. Katalizörlerin genel uygulamaları polimerizasyon, egzoz emisyon kontrolü, perovskite, amonyak sentezi, izomerizasyon, oksidasyon, hidrojenasyon ve dehidrojenasyon şeklinde sıralanabilir. Egzoz emisyon kontrolü için kullanılan katalizörlerde Ce ve La oldukça önemli bir bileşendir. Ticari uygulamalar için bulunabilirlik ve maliyet oldukça önemlidir. Monazit (% 45 CeO_2 - % 20 La_2O_3) ve Basnazitin (% 49 CeO_2 - % 32 La_2O_3) Ce ve La tenörü oldukça yüksektir. Bu nedenle CeO_2 ve La_2O_3 bol bulunabilirliği ve makul maliyetleri nedeniyle katalizör uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. La ve Ce ile birlikte Pr ve Tb oksitleri de bu uygulamalarda kullanılmaktadır [1].

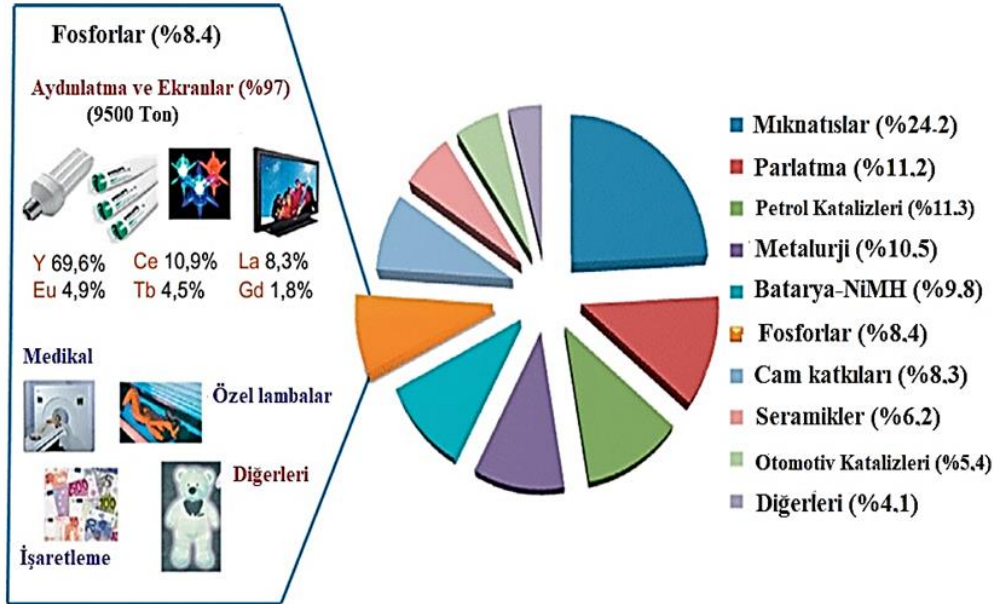
Petrol rafinasyonu, ağır bir hidrokarbon girdisini, daha hafif hidrokarbon fraksiyonlarına dönüştüren bir işlemdir. Parçalanmanın verimi; sıcaklığa, basınca ve aynı zamanda istenen reaksiyonları gerçekleştirebilecek katalizöre bağlıdır. Katalizörlerde NTO konsantrasyonu ağırlıkça yüzde 1.5 ile 5.0 arasında değişmektedir (genellikle %3.5) [37]. Katalizörlerde kullanılan oksitlerin neredeyse % 99'unu La-oksit ve Ce-oksit oluşturmaktadır. La-oksitin tüketiminin önemli bir kısmını da petrol rafinasyonu için kullanılan katalizörler oluşturmaktadır [2]. Şekil 2b'de tipik bir katalitik konvertörün kesit görüntüsü verilmiştir. Egzoz gazlarının olumsuz çevresel etkilerini en aza indirmek için NTO'lar (özellikle CeO_2), Pt, Pd ve Rh ile birlikte kullanılmaktadır. Sadece ABD'deki üretilen otomobil katalizörlerinin NTO ihtiyacı yıllık yaklaşık 100 ton'a yakındır. Otomobillerde kullanılan katalitik konvertörlerde NTO'lar ana katalitik bileşenler değildir. Çok daha değerli olan paladyum ve platin gibi katalitik elementler için koruyucu bir kaplama olarak kullanılmaktadır [26].

1.4. Aydınlatma ve Ekran Teknolojileri Alanında Kullanımı

Fosforlar, küresel NTE pazarının yaklaşık % 9'unu temsil eden yüksek değerli malzemelerden oluşmaktadır (bkz. Şekil 3). Fosforların % 97'si aydınlatma ve görüntüleme uygulamalarına ayrılmıştır. NTE'ler, ışık emisyonunun bir performans kriteri olarak görüldüğü uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde aydınlatma cihazları ve ekranlarda kullanımlarına bakılacak olursa;

- ❖ Rengi kontrol etmek için çoğunlukla La, Y, Ce, Tb ve Eu enerji tasarruflu lambalarda kullanılmaktadır.
- ❖ Işık yayan diyotlar (LED'ler)'da esas olarak Y, Ce ve Eu kullanılmaktadır.
- ❖ Plazma ekranlar, eski katot ışın tüpleri ve arkadan aydınlatmalı sıvı kristal ekranlarda (LCD'ler) La, Y, Ce, Tb ve Eu kullanımı söz konusudur.
- ❖ Fototerapi lambaları, medikal ekipman (Lu, Gd, Ce), son parlatma pigmentleri (Eu, Dy) ve sahtecilik önleyici işaretlemeleri diğer önemli uygulama alanlarıdır.

Özellikle 20. yy. başlarında kırmızı renk ışık yayan $Y_2O_3:Eu^{3+}$ ürünlerin keşfi, NTE içeren fosforların, aydınlatma ve ekran teknolojisinde kullanımı ile ilgili teknolojik gelişmeleri beraberinde getirmiştir. Bu gelişme sadece kırmızı renk ile sınırlı kalmayıp yeşil ($CeMgAl_{11}O_{19}:Tb^{3+}$, $La:Ce,Tb)PO_4$) ve mavi ($BaMgAl_{10}O_{17}:Eu^{2+}$) renk ışık yayan fosforlarında keşfedilmesini de sağlamıştır [38]. Bu teknolojilerin kullanılmasının en önemli sebebi, aydınlatma ve ekranlarda ışığı dönüştürmede sağladıkları veya geliştirdikleri verimden kaynaklanmaktadır. Son yıllarda endüstriyel anlamda TV ekranlarında kullanıma sunulan inorganik ışık yayan diyotların (LED) geliştirilmesinde ve cep telefonu ekranlarında, Lantanit esaslı malzemelerin kullanımı önemli rol oynamaktadır [39]. Özellikle LED'lerde enerji toplayıcı rolü üstlenerek elektrik enerjisinin daha fazla ışığa dönüştürülmesini sağlayarak verimliliği arttırmaktadır [40]. Yine son zamanlarda en önemli ticari gelişmelerden biri olan beyaz ışık yayan diyotlar için ise La^{3+} , Eu^{3+} ve Tb^{3+} NTE'lerin kombinasyonu kullanılmaktadır [41].

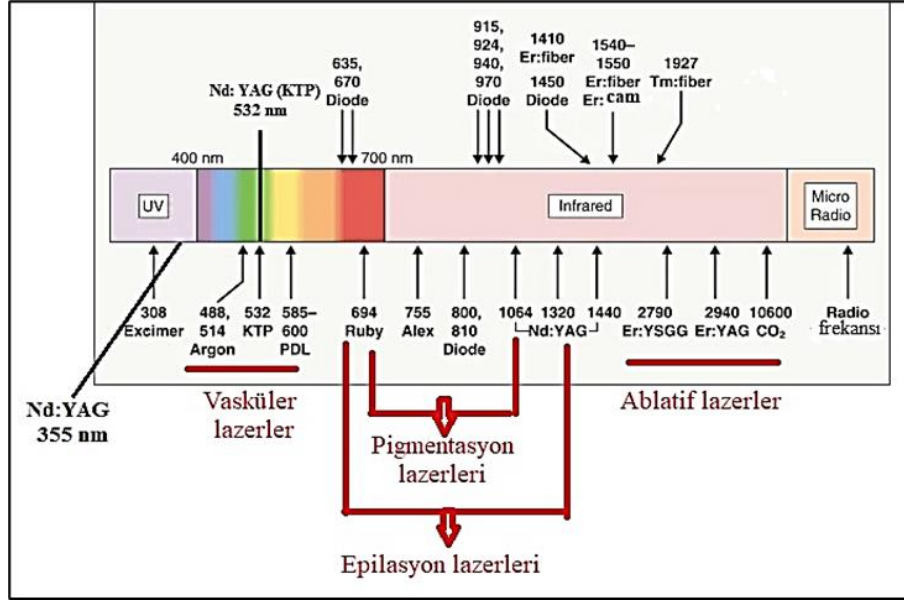


Şekil 3. Fosfor malzemelerin başlıca uygulamaları [36].

1.5. Telekomünikasyon ve Lazer Alanında Kullanımı

Bazı NTE'ler birçok farklı uygulamada kullanılmaktadır. Bunlardan biri de hibrit elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılan Nd elementidir. Nd, öngörülemez uzay ortamlarında, uzay tabanlı optik iletişim uygulaması için son teknoloji performans sergileyen neodimyum bazlı Nd:YAG lazerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır[42]. Ayrıca Y, ışın odaklayıcı performansının temel tasarım gereksinimi olduğu mikrodalga "yttrium iron garnet (YIG)" filtrelerinin geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Dahası, Y elementi "yttrium alüminyum garnet (YAG)" lazerlerde kullanımı da ön plana çıkmaktadır. Bu lazerler, 1 mikroradyandan daha düşük (1-9 radyan arası) açı hataları ile uçak ve uydular arasındaki iki yönlü uzay iletişimde mükemmel performans sağlamlarının yansısı 6 saniyeden daha kısa bir sürede işlem süresine sahiptir. Haberleşme veya iletişim için frekansı arttırılmış 532 nm'ye sahip Nd:YAG lazer kullanılmaktadır. Bu lazer sistemi, güvenilir olması yansısı elektrik performansında herhangi bir azalma olmaksızın yaklaşık olarak 40.000 km'lik bir menzilde çalışma kapasitesine sahiptir. Ayrıca değişik optik dalgalarına sahip olmalarından dolayı, epilasyon cihazlarında, damarsal leke tedavilerinde, seramik

malzemelerin işlenmesinde ve ameliyatta kullanılan robotik cihazlarında yoğun bir şekilde kullanılmaktadırlar (Bkz. Şekil 4) 43].

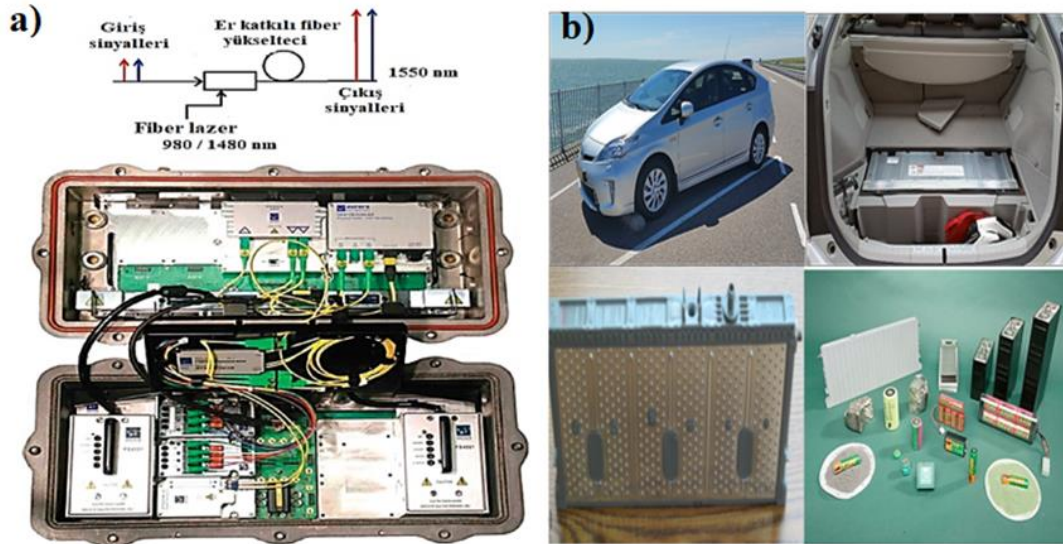


Şekil 4. Lazer dalga boyları (nm) [44].

Er katkılı fiberler ise, Şekil 5a'da gösterildiği gibi geniş spektral bant genişlikleri üzerinde daha yüksek kazanç sağlayan silika esaslı fiber optik amplifikatörlerin tasarımında ve geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [40]. Bu amplifikatörler, zorlu çalışma ortamlarında spektral bant genişlikleri üzerinden optimum kazanç ve düşük gürültü sunmaktadır. Er bazlı optik kristaller, Er: YLF (çift değerlik) ve Er: Ho: YLF (üç değerlikli) gibi çift lazer sistemlerinin tasarımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu lazer sistemleri, minimum maliyet ve karmaşıklıkla daha yüksek diferansiyel kuantum verimliliği, gelişmiş elektrik-optik verimlilik ve önemli ölçüde iyileştirilmiş ışın kararlılığı sergiledikleri bilinmektedir [1].

Belirtildiği gibi NTE katkılı lazer kristalleri birçok uygulamada kullanılmaktadır. Günümüzde saniye mertebesinde gigabayt (Gb/s) veri iletimi sağlamasını gerçekleştirebilen 5G teknolojisi dikkat çekmektedir. Bu teknoloji, yüksek hızda kablosuz veri aktarımı olarak da bilinen ve diğer adı 4.5G olan LTE ağ teknolojisine nazaran coğrafi olarak dağıtık hücre kuleleri yerine Gb/s mertebesinde veri aktarımı gerçekleştiren daha küçük hücre kulelerine ihtiyaç duymaktadır. Bu amaçla mm dalga boyuna sahip radyo frekansı sinyalleri, yüksek hızda veri iletimi için kullanılacak

en iyi çözüm olarak görülmektedir. Fotonik tabanlı çözümler, NTE katkılı lazerleri (Er, Th, Yb) kullanarak bu tür sinyalleri oluşturabilirliği ortaya koyan bilimsel veriler mevcuttur [45, 46].



Şekil 5. (a) Erbiyum katkılı fiber yükseltece ait çalışma devresi ve ünitesi, (b)Toyota hibrit araçlarında kullanılan Ni-MH batarya ve diğer uygulama pilleri [47, 48].

1.6. Ni-MH Batarya Alanında Kullanımı

1990'li yıllarda pazara dahil olan nikel metal hidrit (Ni-MH) bataryaları, özellikle La, Ce, Pr ve Nd olmak üzere önemli ölçüde NTE metalleri içermektedir [49]. Ni-MH bataryalar, şarj edilmiş bir pilin alایشim elektrotunda bulunan hidrojeni oksitleyerek güç sağlama prensibine dayanmaktadır. Bu alایشimdaki NTE'lerin rolü, ihtiyaç duyulan yüksek güç ve hızlı şarj için hidrojenin hızlı bir şekilde desorbe ve yeniden absorbe etmesidir [50]. Günümüzde Ni-MH esaslı pillerin çoğu hibrit otomobillerin elektrik motorlarına güç sağlamak için kullanılmaktadır. Bununla birlikte, hibrit elektrikli motor pazarın büyüyor olması bataryalarda kullanılan NTE'lerin kullanımını da arttırmaktadır. Tipik bir Ni-MH bataryada, batarya ağırlığının %60'i Ni (%18), Co (%15), Fe (%4) ve NTE (%17) gibi metal bileşenlerden oluşmaktadır. Burada, NTE'lerin kendi içerisindeki dağılımı ise %65 La, %25 Ce, %1-8 Nd ve %3-8 Pr şeklindedir [51]. Batarya sektöründe kullanılan NTE'lerin toplam NTE tüketim oranı içerisinde %10'luk bir pazar payına sahiptir (Bkz. Şekil 3).

Ni-MH bataryaların bu alandaki en önemli üstünlükleri, aracın kendisi kadar uzun ömürlü (10 yaş üstü ve 150.000 km üzerinde) ve yüksek duyarlılıklı olmalarıdır [52]. Çeşitli tip ve büyüklükte bu bataryaların kullanıldığı yaklaşık 10 milyon elektrikli araç söz konusudur. Şekil 5b’de Toyota hibrit araçlara ait batarya ve diğer piller görülmektedir. 2013 yılında yaklaşık 1.3 milyonu Ni-MH bataryaya sahip elektrikli tahrik motorlu Toyota hibritleri olmak üzere 2 milyona yakın hibrit araç üretilip satıldığı bilinmektedir [53].

Son yıllarda, Li-iyon batarya sistemleri özel şekillerde daha kolay üretilebilmesi, daha yüksek enerji yoğunluğu ve daha uzun kullanım ömrü nedeniyle NiMH bataryaların yerini almaya başlamıştır. 2013 yılı verisine göre hibrit elektrikli araçlarda kullanılan batarya oranları %80 Ni-MH ve %20 Li-iyon şeklinde olmuştur. Ancak yüksek sıcaklık uygulamalarında Li-iyon bataryaları güvensiz olduğundan, Ni-MH bataryaları kullanım alanlarını ciddi oranda korumaya devam etmektedir. Ayrıca, son yıllarda yapılan Ar-Ge faaliyetleri Li-iyon batarya sistemlerinde de NTE’lerin dop edilerek kullanılması daha iyi performans sağladığını ortaya koymaktadır [54, 55]. Bu nedenlerle NTE’ler batarya sektöründeki kritik hammadde rolünü korumaya devam etmektedir [56].

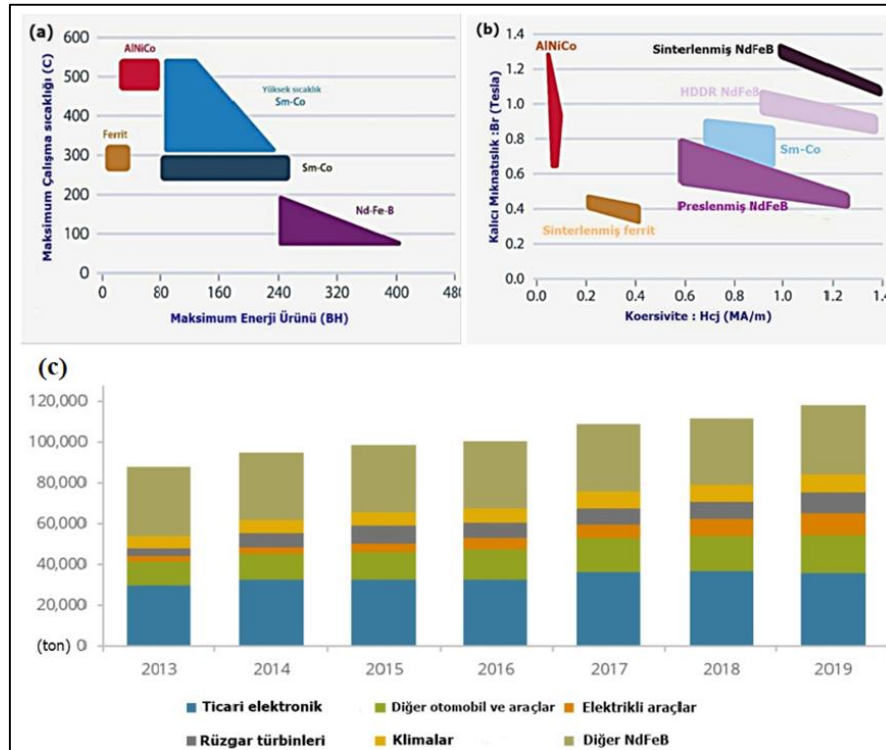
1.7. Kalıcı Mıknatıs Alanında Kullanımı

Kalıcı mıknatısların sektör içerisinde, akustik güç vericiler, motorlar ve jeneratörler, manyeto mekanik araçlar, manyetik alan ve görüntüleme sistemleri gibi çok değişik kullanım alanları mevcuttur. Örneğin bir arabada, mıknatıslar daimi mıknatıs motoru, elektrikli cam kontrolü, cam silecekleri, jeneratörler ve sensör sistemlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca, hoparlör, mikrofon, akıllı telefonlar ve diğer iletişim araçlarında da kullanılmaktadır [57]. Bunlara ek olarak, rüzgâr tribünleri sektörü de mıknatısların ana tüketicileri pozisyonundadır. Evlerimizde veya ticari amaçlarla kullanılan dondurucularda dahi enerji verimliliğini arttırması amacıyla mıknatıslar kullanılmaktadır. Bu pazar büyük oranda NdFeB mıknatısları tarafından domine edilmekle birlikte, AlNiCo ve SmCo mıknatısları da kullanılmaktadır. Örneğin NdFeB mıknatıslarının 2015 yılındaki pazar hacmi 13.4 milyar USD civarında olmuştur [56].

2015 yılındaki verilere göre bu sektör toplam NTE tüketiminin % 24’lük kısmını oluşturarak piyasa değerinin yaklaşık % 66’sını temsil etmektedir (bkz. Şekil 3). Mıknatıslar için en fazla kullanılan NTE’ler Nd ve Pr olup, daha az oranda ise Dy, Gd ve Sm kullanılmaktadır. Burada, NdFeB

mıknatıslar diğer mıknatıs türlerine göre maksimum enerji kapasitesine sahip olup, NTE içeriği olarak %31 oranında Nd ve %4.5 oranında Dy ihtiva etmektedir ve çalışma sıcaklıkları 80 °C' den 200 °C' ye kadar çıkabilmektedir.

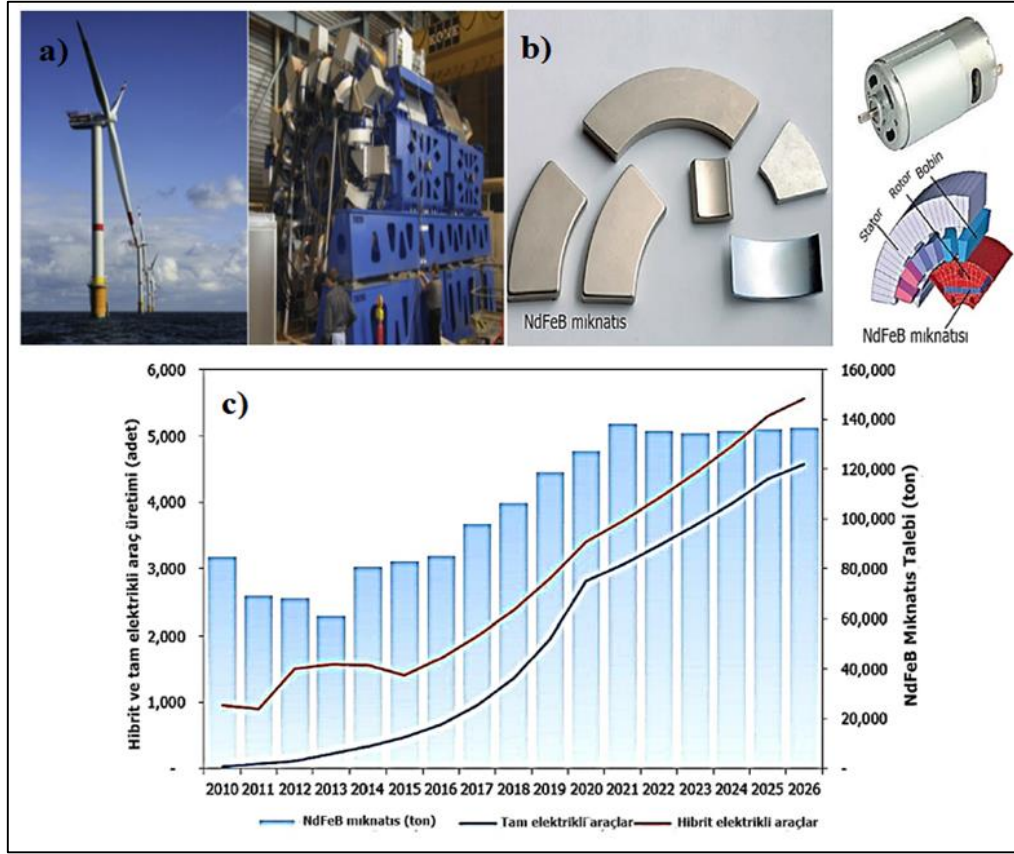
Şekil 6a ve 6b'de görüldüğü gibi yüksek çalışma sıcaklığı gerektiren durumlarda AlNiCo ve Sm-Co mıknatıslar tercih edilmektedir. Ayrıca kalıcı manyetiklik özelliklerine bakıldığında özellikle sinterlenmiş NdFeB ve AlNiCo mıknatıslar ön plana çıkmaktadır. Kalıcı mıknatıslar için koersivite (ferromanyetik bir malzemenin manyetikliğinin giderilmesine karşı gösterdiği direnç) değeri önem arz etmektedir. Nitekim AlNiCo esaslı mıknatısların manyetik kalıcılığı NdFeB mıknatıslarıyla kıyaslanabiliyor olsa da koersiviteyi kıyaslanamayacak derecede düşüktür. Bu nedenle mıknatıs alaşımları için önemli olan kararlılık ve çalışma performansı parametreleri göz önüne alındığında NdFeB alaşımların kullanımı giderek artmakta olup pazar hacmi 2019 yılında %29'a çıkmış ve çeşitli uygulamalar için yaklaşık 110.000 ton üretim kapasitesini aşmış bulunmaktadır (bkz. Şekil 6c).



Şekil 6. Farklı mıknatıs türlerinin çalışma sıcaklığı (a), Koersivite (b) özelliklerinin karşılaştırılması [46] (c) 2013-2019 yılları arasında ton cinsinden uygulama başına NdFeB mıknatıs talebi [58].

Günümüzde ülkeler, enerji alanında dışa bağımlılığını azaltmak için alternatif enerji kaynaklarına yönelmektedir. Son zamanlarda alternatif enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç rüzgâr türbinlerine olan ilgiyi yeniden uyandırmıştır. Nitekim rüzgâr türbinleri üretiminde kullanılan jeneratör, alternatör ve manyetoların içerisinde ciddi miktarda NdFeB mıknatısı varlığı, bu alanda pazar hacmini gittikçe arttırmaktadır. Örnek olarak 3.5 MW enerji üreten açık deniz rüzgâr türbinlerinde yer alan jeneratör, alternatör gibi bileşenlerde 2 ton NdFeB kalıcı mıknatısı kullanılmaktadır [59]. Bu değer 1kW başına yaklaşık olarak 0.6 kg NdFeB mıknatısına denk gelmektedir.

Klasik bir rüzgâr türbinindeki en önemli mekanik parçalardan biri, pervane hızını normal rüzgâr koşullarında yaklaşık 10 ila 20 rpm'den çok daha hızlı bir hıza dönüştüren dişli kutusudur. Mekanik gerilimler nedeniyle dişli kutusu, bir türbinin en zayıf noktasıdır. Nitekim NdFeB mıknatısların kullanılması, dişli kutularına ihtiyaç duymadan yeni düşük hızlı jeneratör tasarımlarına olanak tanımaktadır (Şekil 7a). NdFeB kalıcı mıknatıs jeneratörü, temelde titreşimleri ve hareketli parça sayısını %50 azaltarak rüzgâr türbini güvenilirliğini ve ömrünü arttırmakta ve bakım oranını azaltmaktadır [60].



Şekil 7. (a) Rüzgar türbininde kullanılan NdFeB kalıcı mıknatıs jeneratörü, (b) Çeşitli uygulamalarda kullanılan NdFeB mıknatısları [61], (c) 2010-2026 yılları arasında tahmini hibrit ve tam elektrikli araçların üretimine karşı NdFeB mıknatısı talebi [62].

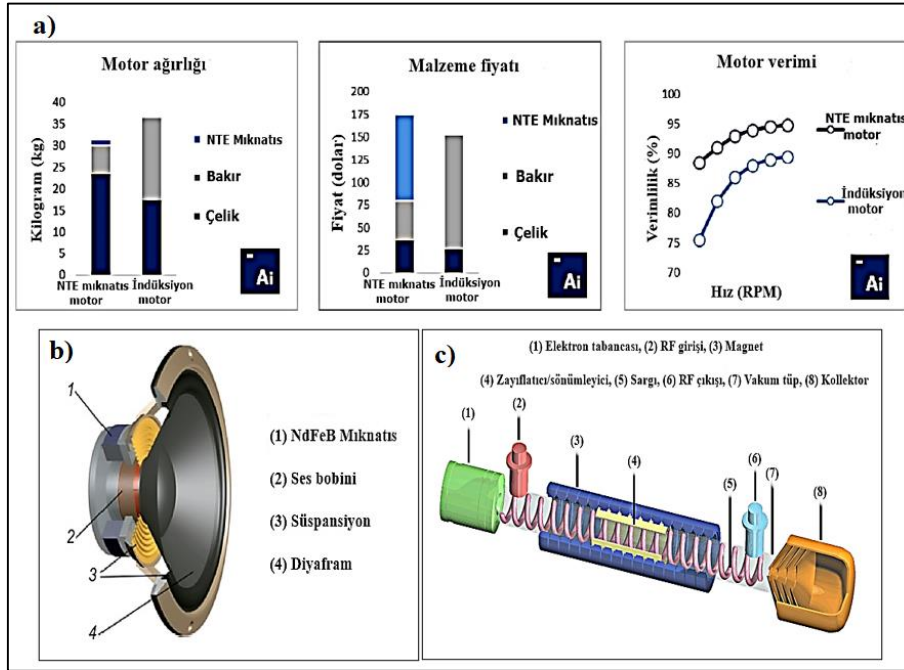
NdFeB mıknatıslar, rüzgâr türbinleri yansira endüstriyel motorlarda, araba motorlarında, elektrikli bisiklet motorlarında ve bilgisayarlarımızın sabit disklerini çalıştıran küçük karmaşık motorlar/sürücülerde de kullanılmaktadır (bkz. Şekil 7b). Gelecek on yılda, belki de NTE tüketimi için en can alıcı husus, hammadde hacimlerinde ve türlerinde toptan değişikliklere neden olması beklenen hibrit elektrikli araçlarda ve tam elektrikli araçlarda pazar payının önemli ölçüde büyüme gerçekleştirecek olmasıdır. Bu olasılığı güçlendiren temel etmen tüm büyük otomotiv üreticilerinin hibrit ve tam elektrikli araç modellerini geliştiriyor olmalarıdır. Şekil 7c'de gösterilen grafikte, 2016'da 2.3 milyon adet olan hibrit ve tam elektrikli araç üretim sayısının, 2026'da 10.1 milyon adete çıkacağı tahmin edilmektedir [63].

2018 yılında, dünya çapında satılan tüm yolculu elektrikli araçların %93'ü (örneğin BMW i3'te), NTE içeren kalıcı mıknatıslı senkron motorları (KMSM) kullanılmıştır. Şekil 8a'da karşılaştırmalı

olarak verilen grafiklerde de görüleceği üzere; kalıcı mıknatıslı senkron motorlar, indüksiyon motorlarından (İM) %15'e kadar daha verimlidir ve piyasada bulunan en güç yoğunluklu (kW/kg ve kW/cm³) çekiş motoruna sahiptirler. Ancak NTE esaslı motorlarda maliyet daha yüksektir. NTE içermeyen motorlar, indüksiyon motorları (İM) ve elektriksel uyarmalı elektrik motorlar (EUEM) olarak sınıflandırılmaktadır. Bu motorlar hâlihazırda Tesla S ve Renault Z modellerinde kullanılmaktadır. Hibrit ve tam elektrikli araçların standart motorunda yaklaşık olarak 1-3 kg NdFeB mıknatısı tüketimi söz konusudur. Örnek olarak, 55 kW gücünde bir motor için 0.65 kg Nd–Dy–Co–Fe–B alaşımı gereklidir. Bu da 200 gr Nd (3.6 gr/kW)'a ve 30 gr Dy (0.55 gr/kW)'a karşılık gelmektedir [46]. Son yıllarda, hızlı şekilde büyüyen pazarlardan bir tanesi de hafif, kompakt ve NdFeB tabanlı minyatür elektrikli motorları içeren elektrikli bisikletlerdir. Bisiklet başına yaklaşık olarak 350 gr NdFeB veya 86 gr Nd kullanılmaktadır. Alan ve ağırlık faktörleri nedeniyle elektrikli bisikletlerde NdFeB mıknatıslara henüz bir alternatif olmayışı bu alanda rakipsiz olarak görülmektedir [64]. Bu mıknatısların diğer bir uygulama alanı ise transdüser ve ses sistemleridir. Transdüserler, bir elektrik sinyali mekanik sinyale dönüştüren önemli aygıtlardır. Ses sistemlerinde/hoparlörlerde elektrik enerjisi akustik sinyale dönüştürürler [65]. Şekil 8b'de gösterildiği gibi statik bir mıknatıs ile diyaframa bağlı salınan bir metal bobin arasındaki dinamik etkileşime dayanmaktadır. NdFeB mıknatıslar, ses sistemi ürünleri için hala ciddi bir uygulama alanıdır. Bununla birlikte, son yıllarda geliştirilen piezoelektrik transdüserlerin kullanımı ile mıknatısların bu alandaki kullanım miktarının azalacağı öngörülmektedir.

Alaşım yapısında %25-36 arasında Sm içeren samaryum-kobalt (Sm-Co) mıknatıslar, radar ve elektronik harp ekipmanları gibi saldırı ve savunma silah sistemi bileşenlerinin tasarımında ve geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [66]. Bu kalıcı mıknatıslar, 300 °C'ye yakın çalışma sıcaklıklarında manyetik özelliklerini koruyabilmektedir. Nitekim bu sıcaklıklarda diğer mıknatıs gruplarının çalışması neredeyse imkansızdır. Radarlar ve savaş ekipmanlarında yürüyen dalga tüpleri (TWT'ler) tarafından kullanılan magnetronlar veya klistronlar gibi yüksek güçlü radyo frekansı (RF) kaynakları, muharebe/savaş operasyonları sırasında 100 ile 250 °C arasında değişen çalışma sıcaklıklarına maruz kalabilmektedirler. Sm-Co mıknatıslar, şiddetli titreşim ve sıcaklık değişimlerinin olduğu durumlarda yüksek kararlılık ve güvenilirlik sağlayarak radarların yüksek sinyal/frekans alması ve dağıtması açısından kritik öneme sahiptir. Örneğin yüksek güçlü bir

elektronik savaş ekipmanı, düşman radarları ve füzelerinin oluşturduğu tehditlere karşı genellikle yürüyen dalga tüpleri (TWTA'lar) kullanılmaktadır (bkz. Şekil 8c). Bu TWTA'lar, düşman radarlarını ve gelen füzeleri karıştırmak için hava ve gemi ile taşınan elektronik savaş ekipmanlarında konuşlandırılmaktadır [67].



Şekil 8. (a) Elektrikli araç motorlarında ağırlık, fiyat ve verim karşılaştırması [68], (b) NdFeB mıknatısın kullanıldığı tipik bir hoparlör [61], (c) Yürüyen dalga tüpü yükselticine ait bileşenler [69].

Sm-Co esaslı mıknatıslar, yapısında bulunan kobalt ve samaryum elementlerinin yüksek fiyatlarından dolayı özellikle hava savunma sistemlerinde daha çok tercih edilmektedir. Sm-Co mıknatısların tedarik maliyeti, aynı manyetik performans parametrelerine sahip seramik ferrit mıknatısların yaklaşık 20 ile 50 katı ve aynı fiziksel boyuttaki Nd mıknatısların maliyetinin ise üç katıdır. Bununla birlikte, neodimium mıknatısı aynı fiziksel boyuttaki SmCo mıknatıstan yaklaşık %40 daha güçlüdür. Bu nedenle spesifik uygulamalar dışında genellikle NdFeB mıknatıslar tercih edilmektedir [70].

1.8. Medikal Alanında Kullanımı

NTE'ler, sahip oldukları eşsiz fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde, yüksek teknolojik ürünler, kalıcı mıknatıslar ve lazer teknolojisi yanı sıra optik özellikleri nedeniyle, bilgisayarlı tomografi taramaları (BT), manyetik rezonans görüntü (MRG), pozitron emisyon tomografi (PET) görüntüleme ve X-ışınları gibi birçok görüntüleme tekniğinde kullanılmaktadır [71]. Örneğin Gd, MRG'de tıbbi tanıda en çok kullanılan NTE'dir. Gd^{+3} iyonları, MRG görüntülerini geliştirmekle birlikte, tanısal görüntülerin duyarlılığını ve belirginliğini geliştirmek için intravenöz kontrast maddelerinde de kullanılmıştır [25]. Dahası, deri kanseri tedavisinde Nd:YAG lazerleri, tıbbi ve dental uygulamalarda Er esaslı lazerler, MRG ve radyoterapi tekniklerinde La ve Pr nano oksitleri, biyo görüntüleme ve biyo tanılarda Eu kullanılmaktadır [71]. Aslında manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ve tomografi cihazlarında manyetiklik sağlayan süper iletkenler yerine NdFeB mıknatısların kullanılması, bu cihazların 3 boyutlu görüntüleme ve tanılamada sağlayacağı yüksek çözünürlük ve doğruluk gibi avantajlar açısından önemlidir. Çünkü NTE mıknatısları kullanıldığında rahatsız edici yüksek gürültü seviyeleri ve titreşimler azalır, penetrasyon artar. Bununla birlikte, birkaç ton ağırlığındaki bu cihazlarda kullanılacak Nd esaslı mıknatıs miktarı kritik hammadde açısından pek mümkün görünmemektedir. Gelecek yıllarda bu cihazların daha küçük, kompakt, verimli ve taşınabilir seviyeye getirilmesiyle, Nd esaslı mıknatısların bu alanda da kullanılması teknolojik açıdan imkânsız görünmemektedir.

1.9. Savunma Sanayi Alanında Kullanımı

NTE üretiminde Dünyada olduğu gibi Ülkemizin, özellikle savunma sanayiinde ihtiyaç duyulacak miktarlarda üretim yapabilmesi, stratejik anlamda hayati bir öneme sahiptir. Örneğin; radar sistemleri ve elektronik harp sistemlerinde eşsiz termal ve manyetik özelliklerinden dolayı Sm-Co ve NdFeB mıknatıslar kullanılmaktadır. 35 yıllık kullanım ömrü belirlenen Aegis Spy-1 radar sistemlerinde, Sm esaslı manyetik bileşenler kullanılmakta ve radarın performans özelliklerini koruyabilmesi için bu malzemelerin belirli periyotlarla değiştirilmesi gerekmektedir [1]. Bu durum hem mevcut sistemler için hem de geliştirilecek yeni sistemler için elektronik savunma sistemlerinde uzun vadede NTE'lere olan ihtiyacın devam edeceği anlamına gelmektedir.

NTE'ler savunma sanayi uygulamalarında vazgeçilmez bileşenlerdir. Nitekim günümüzde hedeflerin işaretlenmesi için lazer üretiminde, hassas güdümlü mühimmatlarda, askeri iletişim sistemlerinde, elektronik harp teçhizatlarında, radar sistemlerinde, aviyoniklerde (görev bilgisayarlarında), gece görüş gözlüklerinde, gözetleme ve keşif uydularında, bilgisayar sabit disklerinde, TWTA'lar (*Traveling Wave Tube Amplifiers*) için odaklanma mıknatıslarında, yüksek tork ve yüksek verimli elektrik motorlarında (samaryum ve neodimyum kalıcı mıknatıslar) kullanılmakta ve bu uygulamalar, NTE'lerin savunma sanayisi için vazgeçilmez bileşenler olduğunu göstermektedir [1, 72].

NTE esaslı intermetalik bileşikler, özellikle mikrodalga teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. NTE intermetalik bileşiklerin tipik örnekleri; GdAg, PrAl₂, CeNi, Er₃Ni, LaNi₅ ve HoCo₁₇ şeklinde sıralanabilir [73, 74]. SmCo₅ ve Sm₂Co₁₇ intermetalikleri özellikle savunma sanayi için oldukça önemlidir. Bu intermetalikler kullanılarak üretilen mıknatıslar zorlu koşullarda (yüksek sıcaklık ve yüksek titreşim) bile manyetik özelliklerini koruyabilmektedir. Bu mıknatıslar, askeri radarlarda ve elektronik harp sistemlerinde yüksek güçlü hareketli dalga tüplü amplifikatörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır [75, 76]. Bu NTE mıknatısları, zorlu mekanik ve termal ortamlarda yüksek verimlilik ve güvenilirlik sağlamak ve diğer mıknatısların hiçbiri bu koşullarda manyetik özelliklerini koruyamamaktadır. Bu nedenle yüksek sıcaklık uygulamalarında genellikle Sm-Co mıknatıslar tercih edilmektedir. Ancak güçlü bir manyetik alan gerekli olduğunda neodimyum esaslı mıknatıslar daha uygundur. Sm-Co kalıcı mıknatıslar, 300 °C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda bile manyetik performanslarını sürdürdükleri için gelişmiş savaş alanı tanklarının navigasyon sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu mıknatıslar şiddetli titreşim ve sıcaklık değişimlerinin olduğu çatışma alanlarında, muharebe silahları için en uygun mıknatıslardır. Benzer bir şekilde, askeri amaçlarla kullanılan bilgisayarlar geliştirilirken, atmosferik ve nükleer radyasyon ortamlarında bile güvenle çalışabilecek devreler ve yarı iletken malzemeler üretilirken NTE'ler kullanılmaktadır [77]. NTE'ler, havacılık alanında da kritik bir öneme sahiptir. Jet motorlarında, scram jetlerde, yüksek güçlü piller için pil elektrotlarında ve diğer birçok havacılık ürününde kullanılmaktadır [1]. Y-Fe-granat filtreleri, keskin kesme frekansı, minimum geçiş bandı kaybı ve durdurma bandı bölgelerinde yüksek zayıflamanın temel tasarım gereksinimleri olduğu uydu ve hava sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [78]. Yüksek performanslı diyet

pompalı katı hal kızılötesi lazerleri, kızılötesi frekanslarda üstün lazer performansı elde etmek için Ho, Tm, Y ve Er gibi NTE'ler kullanılmaktadır [79]. Bu nedenlerle, NTE'lerin savunma sanayisinde çok kritik bir rol üstlendiğini ve pek çok savunma sanayi uygulamasında henüz ikame bir alternatifinin olmadığı bilinmektedir.

1.10. Nükleer Alanında Kullanımı

NTE'lerin nükleer enerji alanında birçok uygulaması mevcuttur. Bu alanda en fazla kullanılan NTO'lardan biri de Gd_2O_3 'tür. Gadolinyum (Gd) oksit, enerji üretiminde kullanılan kaynar su reaktörlerinde, nötron tutucu veya yanabilen bir zehir olarak kullanılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde 26 operasyonel kaynar su reaktöründe, yaklaşık 2 ton Gd oksit kullanıldığı tahmin edilmektedir [32]. Yaklaşık olarak %5 oranında gadolinyum oksit, yakıt içindeki uranyum oksit ile doğrudan karıştırılarak yakıt elemanının ömrü boyunca muntazam bir nötron akısı elde etmesine yardımcı olmaktadır. Gadolinyum sadece yüksek bir nötron soğurma kesitine değil, aynı zamanda fiziksel ve kimyasal özelliklerinin UO_2 'e yakın olması nedeniyle ^{235}U 'unkine benzer bir yanma oranına da sahiptir [80].

Gadolinyumun yanı sıra, Eu, Sm ve Dy elementleri de termal nötronlar için geniş bir yakalama kesitine sahiptir. Örneğin; ^{151}Eu , ^{152}Eu , ^{153}Eu , ^{154}Eu ve ^{155}Eu gibi kesintisiz beş izotop serisine sahip Evropiyumun (Eu) her bir nötronun bir kütle numarası daha az olan izotop tarafından yakalanmasıyla oluşmaktadır ve hepsi nötronlar için büyük yakalama kesit alanına sahiptirler. Evropiyumun sahip olduğu bu özellik, kompakt nükleer silahlarda kontrol çubukları için kullanımı önem arz etmektedir. Bununla birlikte, Evropiyum hekzaborit (EuB_6) sahip olduğu kararlı yapısından dolayı nükleer denizaltılarda nötron tutucu/emici malzeme olarak kabul görmüştür [81]. Bununla birlikte Disprosyum (Dy) katkılı $CaSO_4$ ve CaF_2 kristalleri, gama ışınları veya nötronlar gibi iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalındığı durumlarda kullanılan dozimetrelerde uygulama alanı bulmuştur [82].

2. SONUÇ

NTE'ler sahip oldukları eşsiz fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde modern teknolojik uygulamalar için kritik öneme sahiptir. Özellikle elektrik, optik, elektro-optik ve manyetik alanlarda kullanımları ele alındığında; savunma sanayi, otomotiv, uydu haberleşme, temiz enerji ve modern tıp teknolojileri gibi stratejik öneme sahip uygulamalar göze çarpmaktadır. NTE'ler günlük yaşantımızda çokça yer alan cep telefonları, güneş gözlükleri, bilgisayarlar, LCD ekranlar, fiber kablolar, lazerler, kamera lensleri, rüzgâr türbinleri, jeneratörler, şarj edilebilir hibrit bataryalar, uydu haberleşme, harp sistemleri, bilgi depolama, güneş enerjisi ve medikal görüntüleme gibi birçok alanda/üründe tercih edilmektedir. NTE'ler kullanıldığı ürünlerde, ürünün ana hammaddesi olmayıp belirli oranlarda katkı maddesi olarak ilave edilmektedir. Bu durum özellikle düşük katkılar ile yüksek performanslı teknolojik ürünlerin elde edilmesinde kritik hammaddeler açısından son derece önemlidir. Tüm dünyada olduğu gibi kritik ve stratejik öneme sahip NTE'lerin, Ülkemizin gelecek hedeflerine ulaşması açısından ulusal bir tedarik zinciri kurulması ve yüksek teknolojik ürünlerin milli ekonomiye kazandırılması ciddi önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Jha, A. R. Rare earth materials: properties and applications. London: CRC Press, s. 114-325, 2014.
- [2] Bade, R., Rare Earths Review—Is the Hype Justified? Londo : Libertas Corporate Finance Limited, 2010.
- [3] Yeliz, İ. P. E. K., & Ayhan, N. K. Rare Earth Element Doped ZnO Thin Films and Applications. International Journal of Pure and Applied Sciences.Cilt 7, 2, s. 305-313, 2021.
- [4] Dushyantha, N., Batapola, N., Ilankoon, I. M. S. K., Rohitha, S., Premasiri, R., Abeysinghe, B., ... & Dissanayake, K. The story of rare earth elements (REEs): Occurrences, global distribution, genesis, geology, mineralogy and global production. Ore Geology Reviews, 122, 103521, 2020.
- [5] Pavel, C. C., Marmier, A., Tzimas, E., Schleicher, T., Schüler, D., Buchert, M., & Blagoeva, D. Critical raw materials in lighting applications: Substitution opportunities and implication on their demand. physica status solidi (a), 213(11), 2937-2946, 2016.
- [6] Akıska, E., Karakaş, Z., & Öztürk, C. Uranium, thorium and rare earth element deposits of Turkey. In Mineral Resources of Turkey, Springer, Cham. pp. 655-679, 2019.

- [7] Kürüm, S. & Özdemir, N. Erzurum Bölgesinde Palandöken Volkanik Kayaçlarının Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri, Doğu Anadolu, Türkiye. International Journal of Pure and Applied Sciences, 6 (2), 42-60, 2020.
- [8] C. Özcan, "A Review On Various Analytical Techniques for Determining REEs", International Journal of Pure and Applied Sciences, vol. 7, no. 2, pp. 265-275, Jul. 2021.
- [9] Kurşun, F., Dağcı, B. & Özcan, C. Determination of Titanium in Zinc ash by FAAS After Digested using Ultrasound-Assisted Extraction. Kırklareli University Journal of Engineering and Science, 7 (1), 147-154, 2021.
- [10] Haxel, G. Rare earth elements: critical resources for high technology. US Department of the Interior, US Geological Survey. Vol. 87, No. 2, 2002.
- [11] Ramprasad, C., Gwenzi, W., Chaukura, N., Azelee, N. I. W., Rajapaksha, A. U., Naushad, M., & Rangabhashiyam. Strategies and options for the sustainable recovery of rare earth elements from electrical and electronic waste. Chemical Engineering Journal, 135992, 2022.
- [12] Charalampides, G., Vatalis, K. I., Apostoplos, B., & Ploutarch-Nikolas, B. Rare earth elements: industrial applications and economic dependency of Europe. Procedia Economics and Finance, 24, 126-135, 2015.
- [13] Ali, S. H. Social and environmental impact of the rare earth industries. Resources, 3(1), 123-134, 2014.
- [14] Balaram, V. Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact. Geoscience Frontiers, 10(4), 1285-1303, 2019.
- [15] Alonso, E., Sherman, A. M., Wallington, T. J., Everson, M. P., Field, F. R., Roth, R., & Kirchain, R. E. Evaluating rare earth element availability: A case with revolutionary demand from clean technologies. Environmental science & technology, 46(6), 3406-3414, 2012.
- [16] Zhou, B., Li, Z., Zhao, Y., Zhang, C., & Wei, Y. Rare Earth Elements supply vs. clean energy technologies: new problems to be solve. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 32, 2016.
- [17] Christopher, M., & Holweg, M. Supply chain 2.0 revisited: a framework for managing volatility-induced risk in the supply chain. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 2017.
- [18] Strässle, T., Furrer, A., Hossain, Z., & Geibel, C. Magnetic cooling by the application of external pressure in rare-earth compounds. Physical Review B, 67(5), 054407, 2003.
- [19] Hardy, A. E. (1968). The performance characteristics of yttrium oxysulfide-A new red phosphor for color television. IEEE Transactions on Electron Devices, 15(11), 868-872.

- [20] Aslan, N., Ceylan, B., Koç, M. M., & Findik, F. Metallic nanoparticles as X-Ray computed tomography (CT) contrast agents: A review. *Journal of Molecular Structure*. Cilt 1219, 128599, 2020.
- [21] Huang, X., Zhao, D., Ma, L., Deng, C., Li, L., Chen, K., & Yang, X. Effect of La₂O₃ on crystallization of glass-ceramics. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 536, 120007, 2020.
- [22] Poscher, A., Luidold, S., & Antrekowitsch, H. Extraction of cerium and lanthanum from spent glass polishing agent. *Materials Science & Technology*, 543-552, 2013.
- [23] Karahan, E., Er, D., & Kaynak, S. An overview of Nd: YAG laser capsulotomy. *Medical hypothesis, discovery and innovation in ophthalmology*, 3(2), 45, 2014.
- [24] An, S., Ma, Z., Li, W., Zhang, H., & Yin, T. Magnetic properties of anisotropic bonded NdFeB/SmCo permanent magnets. *AIP Advances*, 9(12), 125146, 2019.
- [25] Koç, M. M., Aslan, N., Kao, A. P., & Barber, A. H. Evaluation of X-ray tomography contrast agents: A review of production, protocols, and biological applications. *Microscopy Research and Technique*. Cilt 82, (6), s. 812-848, 2019.
- [26] Goonan, T. G. Rare earth elements: End use and recyclability (p. 19Disponível). Reston: US Department of the Interior, US Geological Survey. 2011.
- [27] Linebarger, H. F., & McCluhan, T. K. The Role of the Rare Earth Elements in the Production of Nodular Iron. *ACS Symposium Series*. Cilt 2, s. 19-42, 1981.
- [28] Glavas, Z., Strkalj, A., Maldini, K., & Kozina, F. Effect of bismuth and rare earth elements on graphite structure in different section thicknesses of spheroidal graphite cast iron castings. *Archives of metallurgy and materials*, 1547-1553, 2018.
- [29] Lucas, J., Lucas, P., Le Mercier, T., Rollat, A., & Davenport, W. *Rare Earths: Science, Technology, Production and Use*. Elsevier Inc., 2014.
- [30] Guan, K., Huang, Z., Cui, R., & Qin, J. Effects of yttrium on microstructure and mechanical properties of a directionally solidified single crystal superalloy. *Materials Science and Engineering: A*, 752, 86-92, 2019.
- [31] Guskov, V. N., & Gavrichev, K. S. Thermal Expansion, Heat Capacity, and Thermodynamic Properties of Monoclinic Lanthanide Orthotantalates: A Review. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 66(13), 1947-1972, 2021.
- [32] Krishnamurthy, N., & Gupta, C. K. *Extractive metallurgy of rare earths*. London : CRC press, s.40-83, 2015.
- [33] Blázquez, J. S., Fazakas, E., Dimitrov, H., Latuch, J., Varga, L., & Kulik, T. Effect of substitution of rare earth by mischmetal on the devitrification process of Al-X-Ni-Co (X= Y, Ce, Mm) alloys. *Journal of non-crystalline solids*, 351(2), 158-166, 2005.

- [34] McGill, I. In Habashi, F. (ed.), Handbook of Extractive Metallurgy, Vol. III, pp., Rare earth metals. Weinheim: Wiley-VCH, s. 1695–1741, 1997.
- [35] Campbell, Max, and Keane, Chris, Rare earth colorants. Ceramics Today. [Çevrimiçi]. [Alıntı Tarihi: 5 May 2021.] at <http://www.ceramicstoday.com/articles/lanthanides.html>, 2010.
- [36] Lucas, J., Lucas, P., Le Mercier, T., Rollat, A., & Davenport, W. Applications of rare earth luminescent materials. Rare Earths. s. 281-318, 2015.
- [37] Du, J., Li, Z., Da, Z., & He, M., U.S. Patent No. 7,514,385 Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 2009.
- [38] Liu, H., Zhang, S. G., Pan, D. A., Liu, Y. F., Liu, B., Tian, J. J., & Volinsky, A. A. Mechanism of CeMgAl₁₁O₁₉: Tb³⁺ alkaline fusion with sodium hydroxide. Rare Metals, 34(3), 189-194, 2015.
- [39] Escribano, P., Julián-López, B., Planelles-Aragó, J., Cordoncillo, E., Viana, B., & Sanchez, C. Photonic and nanobiophotonic properties of luminescent lanthanide-doped hybrid organic–inorganic materials. Journal of Materials Chemistry, 18(1), 23-40, 2008.
- [40] Eliseeva, S.V., Bünzli, J. C. G. Rare earths: jewels for functional materials of the future. New Journal of Chemistry, Cilt 35, 6, s. 1165-1176, 2011.
- [41] Guo, N., Huang, Y., You, H., Yang, M., Song, Y., Liu, K., & Zheng, Y. Ca₉Lu (PO₄)₇: Eu²⁺, Mn²⁺: a potential single-phased white-light-emitting phosphor suitable for white-light-emitting diodes. Inorganic chemistry. Cilt 49, 23, s. 10907-10913, 2010.
- [42] Barnes, N. P., & Walsh, B.M. Amplified spontaneous emission-application to Nd: YAG lasers. IEEE Journal of Quantum Electronics, 35(1), 101-109, 1999.
- [43] Karahan, E., Er, D., & Kaynak, S. An overview of Nd: YAG laser capsulotomy. Medical hypothesis, discovery and innovation in ophthalmology, 3(2), 45, 2014.
- [44] Gourzoulidis, G. A., Tsilikas, I., Serafetinides, A., Sianoudis, I., Stasinopoulou, P., Ahtipis, A., ... & Makropoulou, M. The Identification of Occupational Exposure to Laser Radiation in Greece. e-Journal of Science & Technology (e-JST). 2017.
- [45] Alavi, S. E., Soltanian, M. R. K., Amiri, I. S., Khalily, M., Supa'At, A. S. M., & Ahmad, H., Towards 5G: A photonic based millimeter wave signal generation for applying in 5G access fronthaul. Scientific reports. Cilt 6, 1, s. 1-11, 2016.
- [46] Commission, EU. Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020), Factsheets on Critical Raw Materials". 2020.
- [47] Lucas, J., Lucas, P., Le Mercier, T., Rollat, A., & Davenport, W., Rare earths in rechargeable batteries. Rare Earths. s. 167-180, 2015.

- [48] Kann, Dmitry. The biggest gadget: Toyota Prius PHV. [Çevrimiçi] 10 09 2017. <https://yktoo.com/en/blog/post/2017/09/10-the-biggest-gadget-toyota-prius-phv>.
- [49] Tanaka, T., Kuzuhara, M., Watada, M., & Oshitani, M. Effect of rare earth oxide additives on the performance of NiMH batteries. *Journal of alloys and compounds*, 408, 323-326, 2006.
- [50] Shinyama, K., Nakamura, H., Nohma, T., & Yonezu, I. Improvement of high-and low-temperature characteristics of nickel-metal hydride secondary batteries using rare-earth compounds. *Journal of alloys and compounds*, 408, 288-293, 2006.
- [51] Maroufi, S., Nekouei, R. K., Hossain, R., Assefi, M., & Sahajwalla, V. Recovery of rare earth (ie, La, Ce, Nd, and Pr) oxides from end-of-life Ni-MH battery via thermal isolation. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(9), 11811-11818, 2018.
- [52] Wikipedia contributors. (2022, February 4). Electric vehicle battery. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved 21:42, February 25, 2022, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Electric_vehicle_battery&oldid=1069947865
- [53] Lucas, J., Pierre Lucas, Thierry Le Mercier, Alain Rollat and William Davenport, Rare Earths in Rechargeable Batteries. [kitap yaz.] Pierre Lucas, Thierry Le Mercier, Alain Rollat and William Davenport Jacques Lucas. *Rare Earths*.s. 167-180, 2015.
- [54] Ding, Y., Zhang, P., Jiang, Y., & Gao, D. Effect of rare earth elements doping on structure and electrochemical properties of LiNi_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O₂ for lithium-ion battery. *Solid State Ionics*, 178(13-14), 967-971, 2007.
- [55] Ram, P., Gören, A., Ferdov, S., Silva, M. M., Singhal, R., Costa, C. M., ... & Lanceros-Mendez, S. Improved performance of rare earth doped LiMn₂O₄ cathodes for lithium-ion battery applications. *New Journal of Chemistry*, 40(7), 6244-6252, 2016.
- [56] Machacek, E, Kalvig, P. EURARE European REE market survey. Roadmap for the REE material supply autonomy in Europe. 2016.
- [57] Du, X., & Graedel, T. E. Global rare earth in-use stocks in NdFeB permanent magnets. *Journal of Industrial Ecology*, 15(6), 836-843, 2011.
- [58] Roskill. Rare Earths: Outlook to 2029. Nineteenth Edition. Roskill Information Services Ltd, 2019.
- [59] Boldea, I., Tutelea, L., & Blaabjerg, F. High power wind generator designs with less or no PMs: An overview. In 2014 17th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), IEEE. pp. 1-14, 2014.
- [60] Pyrhönen, J., Nerg, J., Puranen, J., & Haavisto, M. Permanent magnet technology in wind power generators. In The XIX International Conference on Electrical Machines-ICEM 2010, IEEE, pp. 1-6, 2010.

- [61] Lucas, J., Pierre Lucas, Thierry Le Mercier, Alain Rollat, William Davenport. Chapter 14 - Rare Earth-Based Permanent Magnets Preparation and Uses. Rare Earths. Elsevier, 2015.
- [62] Goodenough, Kathryn & Wall, F. & Merriman, David. The Rare Earth Elements: Demand, Global Resources, and Challenges for Resourcing Future Generations. Natural Resources Research. 2017.
- [63] Roskill. Rare earths: Global industry, markets and outlook. Sixteenth Edition. London, UK. 2016.
- [64] Binnemans, Koen & Jones, Peter & Müller, Torsten & Yurramendi, Lourdes. Rare Earths and the Balance Problem: How to Deal with Changing Markets? Journal of Sustainable Metallurgy. Cilt 4. 2018.
- [65] Roundy, S., & Takahashi, E. A planar electromagnetic energy harvesting transducer using a multi-pole magnetic plate. Sensors and Actuators A: Physical, 195, 98-104, 2013.
- [66] Kamat, S. V. Samarium-cobalt type rare earth permanent magnets. In Proceedings of the national conference on rare earth processing and utilization-2014: abstracts.
- [67] Liu, J. F., Vora, P., & Walmer, M. Overview of recent progress in Sm-Co based magnets. Journal of Iron and Steel Research, International, 13, 319-323, 2006.
- [68] Intelligence, Adamas. ELECTRIC GROWTH | EVs, Motors and Motor Materials. 2019.
- [69] Wikipedia contributors. (2021, October 13). Traveling-wave tube. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved 23:21, February 19, 2022, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Traveling-wave_tube&oldid=1049662768.
- [70] Constantinides, S., & De Leon, J. Permanent magnet materials and current challenges. In Adv. Powder Metall. Part. Mater-2011, Proc. 2011 Int. Conf. Powder Metall. Part. Mater. PowderMet, pp. 858-875), 2011.
- [71] Giese, E. C. Rare earth elements: Therapeutic and diagnostic applications in modern medicine. Clin Med Rep, Cilt 2, 1-2, 2018.
- [72] Massari, S., & Ruberti, M. Rare earth elements as critical raw materials: Focus on international markets and future strategies. Resources Policy, 38(1), 36-43, 2013.
- [73] Khazzan, S., Mliki, N., Bessais, L., & Djega-Mariadassou, C. Rare-earth iron-based intermetallic compounds and their carbides: Structure and magnetic behaviors. Journal of magnetism and magnetic materials, 322(2), 224-229, 2010.
- [74] Li, L. W. Review of magnetic properties and magnetocaloric effect in the intermetallic compounds of rare earth with low boiling point metals. Chinese Physics B, 25(3), 037502, 2016.



[75] Guo, Y. Q., Li, W., Luo, J., Feng, W. C., & Liang, J. K. Structure and magnetic characteristics of novel SmCo-based hard magnetic alloys. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 303(2), e367-e370, 2006.

[76] Antoniou, E., Sempros, G., Gjoka, M., Sarafidis, C., Polatoglou, H. M., & Kioseoglou, J. Structural and magnetic properties of SmCo₅-XNiX intermetallic compounds. *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 882, 160699, 2021.

[77] US-GAO. United States Government Accountability Office. Washington DC, 2010.

[78] Sharma, V., & Kuanr, B. K. Magnetic and crystallographic properties of rare-earth substituted yttrium-iron garnet. *Journal of Alloys and Compounds*, 748, 591-600, 2018.

[79] Chen, G. Y., Liu, Y., Zhang, Z. G., Aghahadi, B., Somesfalean, G., Sun, Q., & Wang, F. P. Four-photon upconversion induced by infrared diode laser excitation in rare-earth-ion-doped Y₂O₃ nanocrystals. *Chemical Physics Letters*, 448(1-3), 127-131, 2007.

[80] Dumazert, J., Coulon, R., Lecomte, Q., Bertrand, G. H. V., & Hamel, M. Gadolinium for neutron detection in current nuclear instrumentation research: A review. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, Vol. 882, 53-68, 2018.

[81] Pasto, A. E., & Tennery, V. J. Synthesis and fabrication of EuB/sub 6. *Trans. Am. Nucl. Soc.:(United States) Cilt 26*, 1977

[82] Molycorp, Inc. *A Lanthanide Lanthology*, Mountain Pass, CA: Molycorp, Inc, 1993.

GÖZLÜK CAMLARINDA IŞIK GEÇİRGENLİK ÖZELLİKLERİ

Semiha TOMBULOĞLU^{1*} 

^{1*}Optisyonluk Programı, Kırklareli Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Kırklareli, Türkiye

Öz

Bu çalışmada, gözlük cam materyallerinin optik özellikleri ele alınarak ışık geçirgenlik özellikleri incelenmiştir. Gözlük camları için abbe değeri önemli bir parametredir ve abbe değerinin hesaplanmasında, Cauchy-Schott formülü ve Sellmeier denklemi ele alınmıştır. Bu hesaplamaların yapılabilmesi için optik malzemelerin kırılma indisini belirlemek gerekir. Işık geçirgenliği için önemli diğer parametreler ise, ışığın yansınması ve camın ışığı absorbe etmesidir. Bu derlemede, gözlük cam materyallerinin yansıma, absorpsiyon gibi optik özelliklerinin abbe değeriyle ilişkisi irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gözlük Camları, Abbe Değeri, Yansıma

LIGHT TRANSMISSION PROPERTIES IN SPECTACLE LENSES

Abstract

In this study, the light transmission properties of spectacle lens materials are examined by taking into consideration of optical properties of them. Abbe value is an important parameter for spectacle glasses and the Cauchy-Schott formula and Sellmeier equation are taken into account in calculating the abbe value. To make these calculations, it is necessary to determine the refractive index of the optical materials. Other important parameters for light transmittance are the reflection of light and the absorption of light by the glass. In this review, the relation of optical properties such as reflection and absorption of spectacle lens materials with the abbe value has been studied.

Keywords: Spectacle Glasses, Abbe Value, Reflection

1. Giriş

Cam özelliklerinin hesaplanması, belirli koşullar altındaki cam davranışlarının incelenmesi için bilimsel bir bakış kazanmak adına hammadde araştırmaları ilk olarak 19.yy sonunda A.Winkelman ve O. Schott tarafından yapılan çalışmalarla resmiyete kavuşmuştur [1]. Abbe sayısı, 1866'da Ernst Abbe tarafından bulunmuş olup, cam gibi saydam malzemelerin farklı frekanslardaki ışığı farklı miktarlarda saçma ölçüsüdür [2]. Abbe değeri kabaca 20-70 birim arasında değişebilir.

İdeal cam materyali hafif, ince, kırılmaya karşı dayanıklı, çizilmeye karşı dayanıklı, kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, yüksek kırma indisinde bile düşük renk ayrışması beklenmektedir [3]. İdeal bir cam materyali, yüksek abbe değerine ve düşük yoğunluğa sahip olmalıdır.

Abbe değerinin yüksek oluşu, lenste renk kusuru (kromatik aberasyonun) az olduğunu belirtir. Düşük Abbe değerinde camların perifer bölge başta olmak üzere görüntü kalitesi azalır [3]. Anormal seviyede dispersiyon olması nedeniyle görüntü kalitesinde bozulma olmakta ve bu durum da performansta düşüşe yol açmaktadır. Bu ayrışmanın çevresel görüntüyü bozmaması için Abbe sayısının 30 dan düşük olmaması gerekir. Dolayısıyla, bir gözlük camının görüntü kalitesi için Abbe değeri çok önemli bir parametredir ve kırılma indisinin bir fonksiyonudur [4].

Bu çalışmada, Helyum D Fraunhofer çizgisinde Cauchy denklemi ve Sellmeier denklemi kullanarak Abbe değerinin hesaplanması ele alınmıştır. Gözlük camında ışık geçirgenliği için önemli olan diğer parametreler ise, ışığın yansımaları ve camın absorbe etme değeridir [3]. Bu değerler azaldıkça, camın ışık geçirgenliği artar, abbe değeri artar ve görüntü kalitesi de artmış olur. Abbe değerleriyle ilişkili başka bir parametre ise camın kırılma indisidir. Camın kırılma indisini arttıkça daha ince ve daha hafif bir cam elde edebilmek mümkündür, fakat abbe değeri ile birlikte özellikle periferde başlayan görüntü kalitesinde düşüş meydana gelmesi kaçınılmazdır [3].

2. Abbe Sayısı

1866 yılında Ernst Abbe tarafından bulunmuş olup, kırılma açısının ayrışma açısına oranıdır [2]. Düşük Abbe sayısı yüksek oranda ayrışma olduğunun göstergesidir. Abbe sayısının düşük olması dispersiyonun fazla olduğunu ve düşük optik kaliteyi gösterir.

Bir gözlük camında özellikle merkezden kenarlara doğru gidildikçe abbe değerinin düşmesi, görüş kalitesini olumsuz etkiler.

Abbe değeri refraktif indeksin bir fonksiyonudur. Kırılma indisi yükseldikçe daha ince cam elde edilir [5]. Fakat yüksek indisli camlarda abbe değeri düşüktür. Abbe değerinin yüksek oluşu, lenste kromatik aberasyonun az olduğunu belirtir. Düşük olan Abbe değeri lenste daha fazla renkli saçak oluşumuna yol açmaktadır [2].

Fizikçi Ernst Abbe tarafından Abbe Sayısı şu şekilde tanımlanmaktadır [6].

$$v_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C} \quad (1)$$

n_d , n_F ve n_C Fraunhofer d-, F- ve C- spektral çizgilerinin sırasıyla 587,6 nm, 486,1 nm ve 656,3 nm dalga boylarında malzemenin kırılma indislerinin değerleridir [6].

Aşağıdaki tabloda belirtilen Helyum D çizgi sistemindeki lens materyallerinin optik özellikleri belirtilmiştir [2], [4].

Tablo 1. Lens Materyallerinin Optik Özellikleri

Lens Materyali	Refraktif İndeks	Özgül Ağırlık	Abbe Sayısı
CR-39	1.5	1.32	58
Mineral Kron	1.52	2.54	58
Yüksek İndeks Plastik 56	1.56	1.42	39
Yüksek İndeks Plastik 60	1.6	1.34	37
Yüksek İndeks Mineral 60	1.6	2.73	42
Yüksek İndeks Mineral 70	1.7	2.99	32
Yüksek İndeks Mineral 80	1.8	3.37	25
Polikarbonat	1.59	1.2	31
Triveks	1.53	1.1	45

Tablo 1’den görüldüğü gibi polikarbonat ve yüksek indeksli bazı tür camların abbe değeri oldukça düşüktür. Dolayısıyla, bu tür camların montajı yapılırken, merkezlemenin çok iyi yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde, kişinin görüş kalitesi olumsuz etkilenir.

Çeşitli dispersiyon denklemler kullanılarak refraktometrede, belirli bir dalga boyunda lens materyalinin kırılma indisi belirlenebilir. Ortak dispersiyon denklemi, kırılma indisi ve dalga boyunun bir fonksiyonudur ve Cauchy denklemi olarak adlandırılır [7];

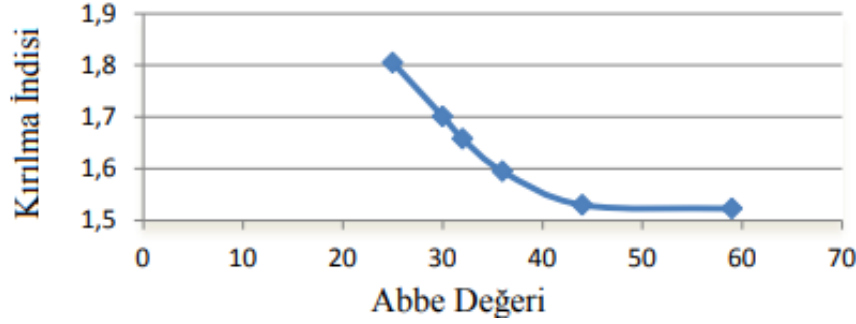
$$n(\lambda) = a + \frac{b}{\lambda^2} + \frac{c}{\lambda^4} + \frac{d}{\lambda^6} + \dots \quad (2)$$

Denklemin ilk iki terimini hesaplamalarda almak yeterlidir, diğer terimler ihmal edilir. Burada n kırılma indisi, λ dalga boyu, a, b, c ve d düzeltme katsayılarıdır. Daha kullanışlı bir form elde etmek için bu denklemin ilk iki terimini ele alıp , Cauchy denklemlerini eş zamanlı olarak çözdüğümüzde,

$$n(\lambda) = n + \frac{n - 1}{v} \left(\frac{523,655}{\lambda^2} - 1,5168 \right) \quad (3)$$

elde edilir.

Kırılma indisi yükseldikçe daha ince cam elde edilir [3]. Gözlük kullanıcısı ince bir lensin estetik olarak avantajından faydalanmak isteyerek yüksek kırılma indisli cam tercih etmek isteyebilir fakat yüksek kırılma indisi şekil 1’ den de görüleceği gibi düşük abbe değerine sahip gözlük camı demektir. Düşük abbe değerlerinde tüm cam bünyesinde özellikle periferde görüntü kalitesi bozular. Bununla birlikte gözlük camında meydana gelen anormal seviyede dispersiyon nedeniyle kontrast bozulması olmakta, bu da algılama performansında düşüşe yol açmaktadır. Düşük abbe değeri, lensin optik merkezinden uzaklaştıkça daha fazla renk ayrışmasına yol açar. Işığın çok fazla renklerine ayrışması lensin yapıldığı hammaddenin düşük abbe değerini ifade eder. Bu ayrışmanın çevresel görmeyi bozmaması için camın Abbe sayısınının 30 dan düşük olmaması gerekir [8]. Abbe değerinin düşük olması görüntüde birtakım kusurlar oluşmasına da neden olur.



Şekil 1. Kırılma indisi- Abbe ilişkisi

Cauchy denklemi gibi Sellmeier denklemi de dalgaboyunun bir fonksiyonu olarak kırılma indisini tanımlar [9]. Sellmeier denklemi daha kompleks bir yapıda olup, daha geniş bir dalga boyu aralığı için kırılma indisini tanımlar. Sellmeier denklemi [9],

$$n^2(\lambda) = 1 + \frac{b_1\lambda^2}{\lambda^2 - c_1} + \frac{b_2\lambda^2}{\lambda^2 - c_2} + \frac{b_3\lambda^2}{\lambda^2 - c_3} \quad (4)$$

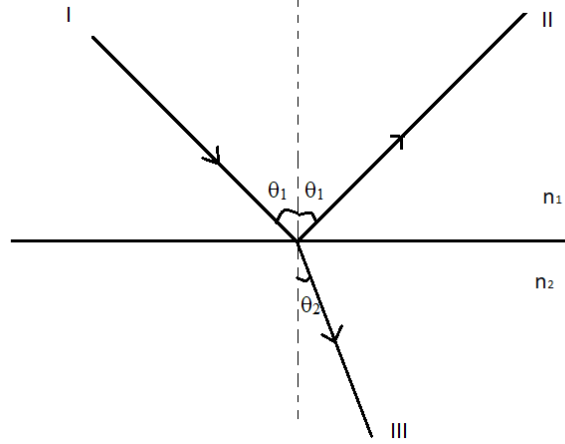
olarak ifade edilmiştir.

Gözlük camlarının fokometrede diyoptri ölçümlerinde, fokometrenin lensin abbe modu değerine uygun ayarlanmış olması şarttır. Aksi durumda, lensin diyoptri değerinde, diyoptri değeri yükseldikçe artan bir sapma görülmesi kaçınılmazdır [3]. Bu yüzden, özellikle yüksek diyoptrili lenslerde abbe değerinin bilinmesi son derece önemlidir.

Ayrıca, abbe değeri, dispersiyon ve yansımalarla da ilişkilidir. Bir gözlük camında abbe değeri azaldıkça, dispersiyon ve yansımalar artar.

3. Gözlük Camında Yansımalar ve Absorpsiyon

Işık, bir ortamdan kırılma indisi farklı bir ortama geçerken, ışığın bir kısmı kırılmaya uğrayarak kırılma indisi farklı diğer ortama geçer, bir kısmı gözlük camı tarafından absorbe edilir, bir kısmı ise yansımaya uğrar [10]. Kırılma indisi ne kadar yüksekse, yansıma o kadar yüksek olur. Yansıma miktarındaki artış, ışık geçirgenliğini azaltır. Bu durum da görüntü netliği azalmasına neden olur.



Şekil 2. Kırılma indisleri farklı bir ortama gelen ışının basit şematik gösterimi

n_1 ve n_2 kırılma indisleri farklı iki ortam olmak üzere, şekil 2' de görüldüğü gibi I numaralı ışın gelen ışın, II numaralı ışın yansıyan ışın, III numaralı ışın kırılan (geçen) ışındır. Camın polarize olmadığını varsayarsak, geçen ışık miktarı, yansıyan ışık miktarına ve camın ışığı ne derecede absorbe ettiğine bağlıdır. Ayrıca, lensin ışık geçirgenliği, bir miktar lensin kalınlığına da bağlıdır [3]. Lensin kalınlığı arttıkça ışık geçirgenliği azalır.

Gözlük camları için, göz-hava-cam-hava kombinasyonu dikkate alındığında, yansımanın dört şekilde meydana geldiği bilinmektedir. Bunlar; Cam ön yüz yansımaları, cam arka yüz yansımaları, cam içi iç yansımalar ve korneadan yansımalarıdır [4]. Bu yansıma türleri fazlalığı, hayal görüntülerin artmasına sebep olur, net görüntü azalır ve kişi bulanık görür. Bir gözlük camında, yansımanın az olup, ışık geçirgenliğini arttırmak için çeşitli firmalarca ve çeşitli tekniklerle antirefle kaplama yapıldığı bilinmektedir. Antirefle kaplamayla birlikte, gözlük camında yansıma miktarı, yıkıcı girişim prensibi ile azaltılmakta, böylelikle ışık geçirgenliği artmakta, abbe değeri yükselmekte ve daha net görüş elde edilmektedir [3]. Özellikle yüksek indisli camlarda yansıma önlenmesi önemli bir husustur.

Yansıma miktarı, gözlük camının ön ve arka yüzleri olmak üzere ayrı ayrı hesaplanır. Yansıma oranı R ile gösterilirse [3],

$$R = \frac{(n_2 - n_1)^2 + \kappa^2}{(n_2 + n_1)^2 + \kappa^2} \quad (5)$$

ile hesaplanır. Burada, n_1 hava ortamı olduğu düşünöldüğünde, formölde $n_1=1$ olarak alınabilir. κ ise yüzeyin sönümleme katsayısıdır [3].

Işın demeti, gözlük camlarından geçerken bir kısmı yansır, bir kısmı göze ulaşmak üzere kırılır, bir kısmı ise cam tarafından absorbe edilir. Absorpsiyon ifadesi, ışının enerjisinin maddenin atom ve moleküllerine aktarılarak uyarılması sonucunda bu enerjinin bir nevi ısı enerjisine dönüşmesi olarak ifade edilebilir [11].

Gözlük camlarında absorpsiyonu etkileyen faktörlerden bir tanesi de gözlük camının rengidir [12]. Gözlük camının rengi koyulaştıkça, absorbe ettiği ışık miktarının artacağı bilinmektedir. Gelen ışığın yüzde yirmisinden fazla absorpsiyon yapan gözlük camları gece sürüşüne uygun değildir [5]. Bazı özel durumlarda ışık geçirimini azaltmak için, camın ışığı yüksek derecede absorbe edebilmesini [13] sağlamak amacıyla, koyu renk gözlük camları ile camın ışığı yansıtma özellikleri [14] kombine edilerek, az ışık geçiren özel gözlük camları imal edebilir ve örneğin karlı dağ sporları veya su sporları ile uğraşan kişiler kullanabilir [3].

4. Sonuç

Gözlük camlarında net ve kaliteli bir görüntü elde edebilmek için, abbe sayısının yüksek, yansımının ve dispersiyonun az olması arzu edilir. Kırılma indisinin yükselmesi ile birlikte daha ince, estetik ve daha hafif gözlük camı elde edilebilir. Fakat abbe sayısı düşer ve buna bağlı olarak görüntü kalitesinde de düşüş meydana gelir. Fokometre ölçümlerinde gözlük camlarının hammaddelerine uygun abbe değerleri girilerek diyoptri ölçümü yapılması gerekir, aksi takdirde diyoptri ölçümlerinde, özellikle yüksek diyoptrilerde diyoptri değerlerinde sapmalar meydana gelebilir. Bu nedenle, gözlük camlarının abbe değerlerinin bilinmesi büyük önem taşır. Gözlük camlarının ışık geçirgenliğini etkileyen diğer faktörler ise, yansıma ve absorpsiyondur. Bu değerler arttıkça, camın ışık geçirgenliği düşer, abbe sayısı azalır ve görüntü kalitesi de düşmüş olur. Camdaki yansımayı önlemek ve ışık geçirgenliğini arttırmak, camın görüş kalitesini yükseltmek bakımından önemlidir.

Kaynakça

- [1] F. Auerbach, Ueber die Härte- und Elasticitätsverhältnisse des Glases, *Annalen der Physik*, pp. 1000-1038, 2006.
- [2] H. Z. Büyükyıldız, Gözlük Camları, Cam Materyalleri ve Kişiyeye Özel Gözlük Camları, *Türk J Ophthalmol*, pp. 26-34, 2011.
- [3] T. K. E. Aksak, Gözlükçülük, Eskişehir: TOOMAD, 2005.
- [4] M. Altındağ, Cem-fa, 2009. [Online]. Available: <http://www.cem-fa.com/cemfa/makalelerimiz/gozluccamiteknoloji1.html>.
- [5] H. Z. Büyükyıldız, Gözlük Camı Kaplamaları ve Renkli Camlar, *Türk Oftalmoloji Dergisi*, pp. 359-369, 2012.
- [6] S. K. I. N. N. Sultanova, Dispersion Properties of Optical Polymers, *ACTA PHYSICA POLONICA A*, pp. 585-587, 2009.
- [7] M. I. W. K. DY Smith, Cauchy's dispersion equation reconsidered: Dispersion in silicate glasses, *Radiation Effects and Defects in Solids*, pp. 823-828, 2002.
- [8] O. Y. E. Özdemir, Temel Optisyenlik, Güneş Tıp Kitabevi, 2016.
- [9] G. Ghosh, Sellmeier coefficients and dispersion of thermo-optic coefficients for some optical glasses, *Applied Optics*, pp. 1540-1546, 1997.
- [10] R. B. K. Çolakođlu (Çev. Ed.). RA Serway, Fen ve Mühendislik için Fizik-2, Ankara: Palme Yayıncılık, 2007.
- [11] B. H. S. P.H. Chowdhury, Basic Information of Absorptive Lenses, *Open Access Journal of Ophthalmology*, pp. 1-2, 2018.
- [12] W. Mao and F. Wang, *Advances in Intelligence and Security Informatics*, Oxford, UK: Academic Press, 2012.
- [13] F.-Y. Wang, D. Zeng, K. M. Carley and W. Mao, "Social computing: From social informatics to social intelligence," *IEEE Intelligent Systems*, vol. 22, no. 2, pp. 79-83, 2007.
- [14] F.-Y. Wang, Computational theory and method on complex system, *China Basic Science*, vol. 6, no. 5, p. 3-10, 2004.

- [15] I. King, J. Li and K. T. Chan, A Brief Survey of Computational Approaches in Social Computing, in IJCNN'09 Proceedings of the 2009 international joint conference on Neural Networks, NJ,USA, 2009.
- [16] F.-Y. Wang and S. T. Tang, Artificial societies for integrated and sustainable development of metropolitan systems, IEEE Intelligent Systems, vol. 19, no. 4, pp. 82-87, 2004.
- [17] F. -y. Wang, D. -j. Zeng and Y. Yuan, An ACP-based Approach for Complexity Analysis of E-commerce System, Complex Systems and Complexity Science, vol. 5, no. 3, pp. 1-8, 2008.
- [18] J. Sifeng, X. Gang, F. Dong and H. Chunpeng, Study on the emergency rescue decision support system of petrochemical plant based on ACP theory, in Proceedings of the 6th Management Annual Meeting, 2011.
- [19] B. Ning, F.-y. Wang, H.-r. Dong , R.-m. Li, D. Wen and L. Li, Parallel Systems for Urban Rail Transportation Based on ACP Approach, Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, vol. 10, no. 6, pp. 23-28, 2010.
- [20] F. -Y. Wang, J. Zhao and S. -X. Lun, Artificial power systems for the operation and management of complex power grids, Southern Power System Technology, vol. 2, no. 3, pp. 1-11, 2008.
- [21] B. He, C. Macdonald and I. Ounis, Ranking opinionated blog posts using opinionfinder, in SIGIR '08 Proceedings of the 31st annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information, New York, 2008.
- [22] A. Sun, M. Hu and E. -P. Lim, Searching blogs and news: a study on popular queries, in SIGIR '08 Proceedings of the 31st annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval, New York, 2008.
- [23] J. L. Elsas, J. Arguello, C. Jamie and J. G. Carbonell, Retrieval and feedback models for blog feed search, in SIGIR '08 Proceedings of the 31st annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval, New York, 2008.
- [24] N. Sadeh, J. Hong, L. Cranor, I. Fette, P. Kelley, M. Prabaker and J. Rao, Understanding and capturing people's privacy policies in a mobile social networking application, Personal and Ubiquitous Computing. Springer, vol. 13, no. 6, pp. 401-412, 2009.
- [25] G. Danezis, Inferring privacy policies for social networking services, in AISec '09 Proceedings of the 2nd ACM workshop on Security and artificial intelligence , New York, 2009.
- [26] E. Alpaydin, Introduction to Machine Learning, in Introduction to Machine Learning, USA, Barnes&Noble, 2004, pp. 350-368.

- [27] L. H. Witten, E. Frank and M. A. Hall, Data mining: practical machine learning tools and techniques, New York: Morgan Kaufmann. Elsvier., 2011.
- [28] <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>, 20 Aralık 2015. [Online]. Available: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>.
- [29] D. -A. SITAR-TĂUT and A. -V. SITAR-TĂUT, Overview on How Data Mining Tools May Support Cardiovascular Disease, Journal of Applied Computer Science & Mathematics, vol. 8, no. 4, pp. 57-62, 2010.
- [30] K. Mollazade, H. Ahmadi, M. Omid and R. Alimardani, An Intelligent Combined Method Based on Power Spectral Density, Decision Trees and Fuzzy Logic for Hydraulic Pumps Fault Diagnosis, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, vol. 2, no. 8, p. 986, 2008.
- [31] J. Han and M. Kamber, Data Mining Concepts and Techniques, Francisco, CA: Morgan Kaufmann, Elsvier inc, 2006.
- [32] J. . L. Fleiss, Measuring nominal scale agreement among many raters, Psychological Bulletin, vol. 76, no. 5, pp. 378-382, 1971.
- [33] J. R. Landis and G. G. Koch , The measurement of observer agreement for categorical data, PubMed , vol. 33, no. 1, pp. 159-74, 1977.
- [34] E. K. Aydogan, C. Gencer and S. Akbulut, Churn Analysis And Customer Segmentation Of A Cosmetics Brand Using Data Mining Techniques, Journal of Engineering and Natural Sciences, vol. 26, no. 1, pp. 42-56, 2008.
- [35] F. S. Arđın, Ortaokul ve Lise Öğrencilerinin Sosyal Medyaya İlişkin Tutumlarının İncelenmesi, İstanbul: Yeditepe Üniversitesi, 2013.
- [36] L. Gaga, V. S. Moustakis, Y. Vlachakis and G. Charissis, ID+: Enhancing medical knowledge acquisition with machine learning, dx.doi.org, vol. 10, no. 2, pp. 79-94, 1996.
- [37] J. R. QUINLAN, Induction of Decision Trees, Machine Learning, Kluwer Academic Publishers, vol. 1, pp. 81-106, 1986.
- [38] P. Brennan and A. J. Silman, Statistical Methods for Assessing Observer Variability in Clinical Measures, BMJ Clinical Research, vol. 304, no. 6840, pp. 1491-4, 1992.
- [39] F.-Y. Wang, Toward a paradigm shift in social computing: The acp approach, vol. 22, no. 5, pp. 65-67, 2007.

- [40] M. W. Macy and R. Willer, From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling, *Annual Review of Sociology*, no. 28, pp. 143-166, 2002.
- [41] D. Wen, Y. Yuan and X. R. Li, Artificial Societies, Computational Experiments, and Parallel Systems: An Investigation on a Computational Theory for Complex Socioeconomic Systems, *IEEE Transactions on Services Computing*, vol. 6, no. 2, pp. 177-185, 2015.
- [42] G. Xiong, X. Dong, D. Fan and F. Zhu, Parallel Bus Rapid Transit (BRT) operation management system based on ACP approach, in *Networking, Sensing and Control (ICNSC), 2012 9th IEEE International Conference on*, 2012.
- [43] P. Singla and M. Richardson, Yes, There is a Correlation From Social Networks to Personal Behavior on the Web, in *WWW '08 Proceedings of the 17th international conference on World Wide Web*, New York, 2008.
- [44] L. Fang and K. LeFevre, Privacy wizards for social networking sites, in *WWW '10 Proceedings of the 19th international conference on World wide web*, New York, 2010.
- [45] J. Xie, B. P. Knijnenburg and H. Jin, Location sharing privacy preference: analysis and personalized recommendation, in *IUI '14 Proceedings of the 19th international conference on Intelligent User Interfaces*, New York, 2014.
- [46] J. Li, A. W. Fu and P. Fahey, Efficient discovery of risk patterns in medical data, *Efficient discovery of risk patterns in medical data*, Elsevier, vol. 45, no. 1, pp. 77-89, 2009.
- [47] Cohen, J. A Coefficient of Agreement For Nominal Scales, *Educational and Psychological Measurement*, vol. 20, pp. 37-46, 1960.
- [48] Çakıcı, F. Gözlük camı materyalleri, kaplamalar, güneş gözlükleri, *Türk Oftalmoloji Derneği Eğitim Yayınları No:12*, pp. 292-304, 2010.

PHASE CHANGE MATERIALS: TYPES, PROPERTIES and APPLICATIONS in BUILDINGS

Fatih Selim BAYRAKTAR^{1*} , Ramazan KOSE² 

¹*Kutahya Dumlupınar University, Simav Faculty of Technology, Mechanical Engineering, Kutahya, Türkiye*

²*Kutahya Dumlupınar University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering, Kutahya, Türkiye*

Abstract

The need to reduce the use of fossil energy, which is running out and harmful to the environment, in response to the increasing energy demand with rapid urbanization, population growth and developing technologies reveals the necessity of research and application of technologies using renewable energy. Phase-change materials (PCM) are one of the most suitable methods for the efficient use of thermal energy originating from clean and sustainable energy sources. PCMs play important roles in a more energy-efficient world. The development of PCMs is one of the most challenging areas of study for more efficient thermal energy storage (TES) systems. This paper first explains the concept of PCMs and then describes the properties of these materials. After mentioned studies for improving the properties of PCMs, then PCM types and advantages-disadvantages are explained. Also, usage areas of PCMs in various sectors are also explained.

Keywords: Heat Storage, Phase Change Materials, Building Applications of PCMs.

FAZ DEĞİŞİM MALZEMELERİ: BİNA TÜRLERİ, ÖZELLİKLERİ VE UYGULAMALARI

Öz

Hızlı kentleşme, nüfus artışı ve gelişen teknolojiler ile artan enerji talebine karşılık kısıtlı kaynaklara sahip ve çevreye zararlı olan fosil enerjinin kullanımının azaltılması ihtiyacı, yenilenebilir enerji kullanan teknolojilerin araştırılması ve uygulanması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Faz değiştiren malzemeler (Phase Change Materials - PCM), temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarından elde edilen ısı enerjinin verimli kullanımı için en uygun yöntemlerden biridir. PCM'ler, enerjinin daha verimli kullanılmasının planlandığı bir dünyada önemli roller oynayacaktır. PCM'lerin geliştirilmesi, daha verimli ısı enerji depolama (Thermal Energy Storage - TES) sistemleri için en zorlu çalışma alanlarından biridir. Bu makale önce PCM kavramını açıklamakta ve ardından bu malzemelerin özelliklerini aktarmaktadır. PCM'lerin özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalardan bahsedildikten sonra PCM çeşitleri ve avantaj-dezavantajları anlatılmıştır. Ayrıca PCM'lerin çeşitli sektörlerdeki kullanım alanları da anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Faz Değiştiren Malzemeler, Isı Depolama, PCM'lerin Binalarda Kullanımı.

*Sorumlu Yazar: Fatih Selim BAYRAKTAR, fatih.bayraktar@dpu.edu.tr

1. Introduction

Energy is a key factor for contributing to the evolvement of humankind in various point of view such as technological improvement, environmental protection and economic growth. The rising in living standards and technological progress cause the increasing in the electricity demand. According to the International Energy Agency report, global energy demand is expected to increase by about 30% between 2017 and 2040 [1]. Increasing global energy demand and steps to reduce fossil energy consumption with environmental concerns have led to utilize the alternative energy sources by researchers and industrialists. Solar energy is the most striking type of energy among renewable energy sources due to its wide usage area [2-3]. A major problem for renewable energy sources like solar and wind power is the need for efficient storage when the sun isn't shining and the wind isn't blowing.

Energy storage can be achieved through many different systems. Depending upon the stored energy types, various methods are used to capture and collect the energy. Energy storage methods can be classified as magnetic, mechanical, chemical and thermal methods. Thermal energy can be stored in all kinds of materials thanks to the heat capacity of the materials. In engineering terms, this phenomenon is known as "sensible heat storage" (SHS). With the heat capacity of the used material and the change in temperature, sensible heat can be stored in the charging and discharging processes. In the charging process, the temperature of the storage material increases as energy are captured and are decreased during the discharge phase. However, in this type of storage large amounts of heat storage materials are required. The heat capacity of a sensible storage system can be calculated through the following equation

$$Q_{sensible} = \int_{T_i}^{T_f} mc_p dT = mc_p(T_f - T_i) \quad (1)$$

Here $Q_{sensible}$ is storage capacity (J), T_f is final temperature (K), T_i is initial temperature (K), m is the mass of storage material (kg), c_p represents to the specific heat capacity ($J.kg^{-1}.K^{-1}$).

Thermochemical storage is another way of storing thermal energy. In the thermochemical storage process, thermal energy is stored in the form of chemical potential and can be used in a reversible endothermic chemical reaction. Thermal energy is stored in the chemical bonds through an energy-

consuming reaction. In the thermochemical storage method the need of energy is acquired through the reverse reactions where the energy in the chemical bonds is released.

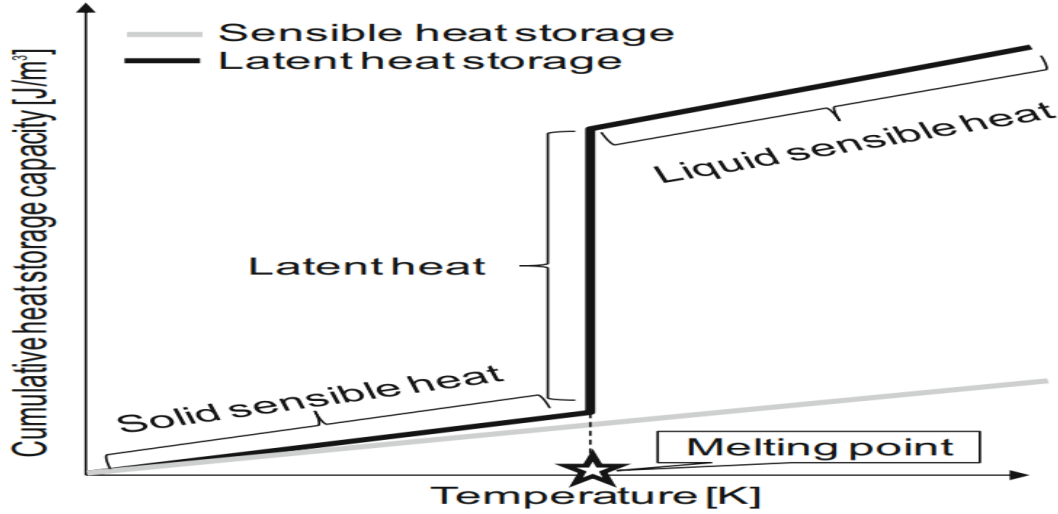


Figure 1. Cumulative heat storage capacity of SHS and LHS [4].

Another storage method is latent heat storage (LHS) and in this manuscript we focus on this type of energy storage mechanism. In this method, the latent heat energy storage occurs when a phase transition appears in the range of operating temperature. In this phase transition duration, the more energy can be stored with respect to the sensible heat storage (Figure 1). One of the advantages of the latent heat storage method is that this method is required much less materials according to the sensible heat storage method [5]. For TES, PCMs were introduced first by Hungarian-American engineer Mária Telkes and this method was used in a solar house in 1948 [6]. The capacity of an LHS system can be expressed as the following equation

$$Q_{latent} = m[c_{ps}(T_m - T_i) + H_e + c_{pl}(T_f - T_m)] \quad (2)$$

In the Eq. (2), Q_{latent} is the storage capacity (J), T_m stands for melting temperature (K), T_i is the initial temperature (K), T_f is the final temperature (K), m is the mass of storage material (kg), c_{ps} is the specific heat capacity of the solid phase ($J.kg^{-1}.K^{-1}$), c_{pl} is the specific heat capacity of liquid phase ($J.kg^{-1}.K^{-1}$), and H_e represents to the latent heat of melting ($J.kg^{-1}$).

In this review, our main motivation is to investigate the current developments in the PCMs besides investigating their characteristics. The PCMs are very important in the latent heat storage mechanism and the latent heat storage method is widely used in many areas of industry. Hence, we think that investigating the developments in the PCMs can be very useful. This review is designated as follows: In sec. (2) we introduce the phase change materials, in sec. (3) we introduce the types of PCMs, in sec. (4) we introduce the selection criteria of the PCMs, in sec. (5) we mention the improving of the features of PCMs, in sec. (6) we introduce different kinds of application areas of the PCMs, in sec. (7) we introduce the use of PCMs in solar energy applications and in sec. (8) we give results and discussions.

2. What is PCM?

PCMs are materials capturing and storing large quantities of thermal energy during phase transition. One of the critical properties of PCMs is the conservation and storage of thermal energy with a state of thermal equilibrium that occurs after several phase cycles. While PCMs exchange heat in constant phase change cycles, they also supply a more stable environment temperature [7-10]. Materials exist in nature as a solid, liquid or gas phases. When a phase change occurs in a substance, it stores or releases some heat. This stored or released heat is called as latent heat (LH). To illustrate, when the temperature of a solid substance is increased up to its melting temperature, this solid substance melts by capturing a large amount of heat and its phase transforms from solid to liquid (Figure 2). Phase states of the PCMs can change within a certain temperature range [8].

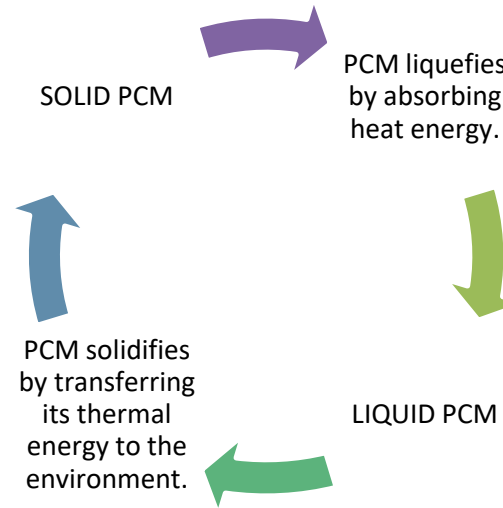


Figure 2. Solid-liquid phase cycling in PCMs [9].

During the processes are carried out in many of the industrial sectors and other applications, heat transfer occurs with phase change. PCMs are studied for a long time for energy storage purposes and this research area is an active research area. It can be seen the related literature gains about 1000 publications per year [11].

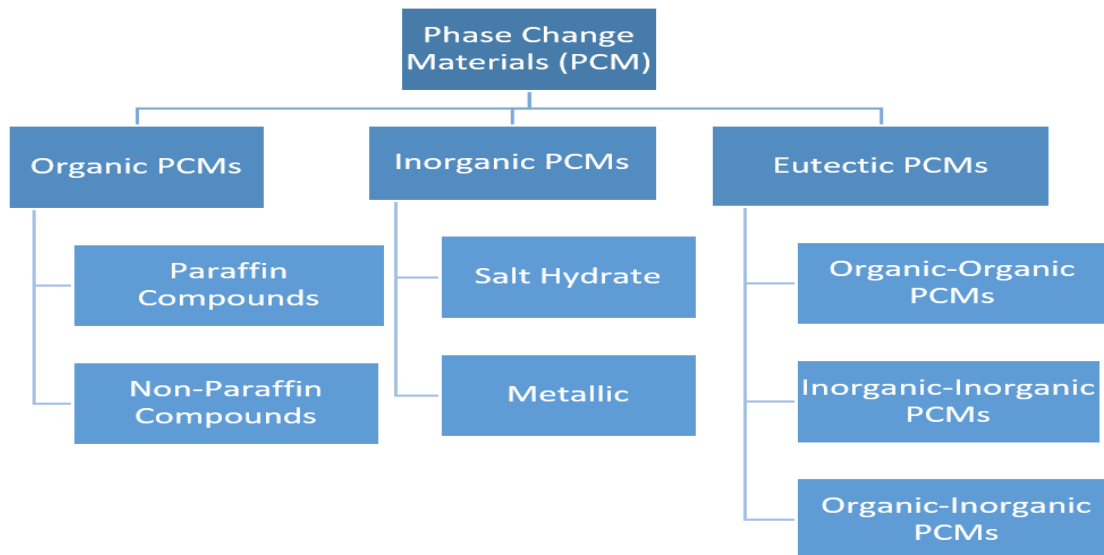


Figure 3. PCM types [9].

3. PCM Types

Based on the chemical nature of PCMs, they can be categorized into three main categories: organic, inorganic, and eutectics type combining organic and inorganic PCMs (Figure 3). Organic PCMs are basically divided into two main classes as paraffin and non-paraffin materials. Inorganic PCMs include salt hydrate and metal subclasses [12]. Inorganic PCMs will be discussed in details in the section (3.2). In addition, the melting point and fusion heat values of some PCM types are illustrated in Figure 4.

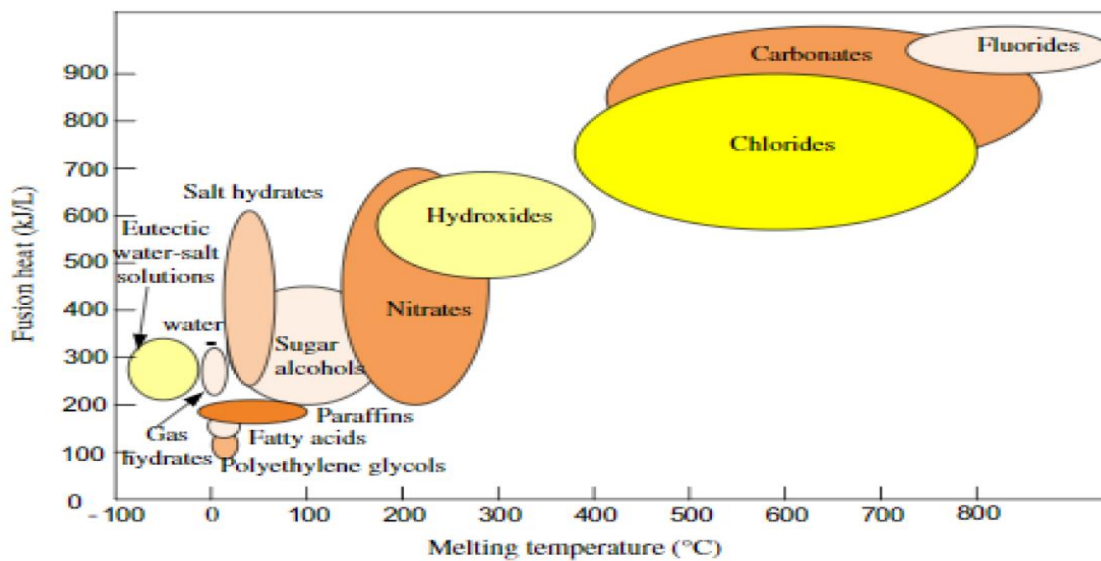


Figure 4. Melting temperature and fusion heat of some PCM variants [13].

3.1. Organic PCMs

Organic PCMs, which are classified into two as paraffin and non-paraffin, are one of the most preferred types of PCMs in use today. Paraffin is among the most utilized PCMs for operations in TES systems [14-15]. Paraffins can be used separately or used in combination with each other at desired temperature ranges. Non-paraffin materials are manufactured from a variety of organic matters, containing esters, fatty acids, glycols and alcohols [16-17]. Among both organic and non-paraffin PCM types, fatty acids have gained the most interest because they include a lot of beneficial features including cost-efficiency, no need for additional encapsulation, readiness for

applications with tunable dimension and steady form [18-19]. Non-paraffin organic PCMs also contain bio-based PCMs.

Bio-based PCMs; are substances originated from renewable and natural-based sources, agro-food industry outputs and their spin-offs, containing foodstuffs such as palm oil, palm kernel oil, soybean oil and coconut oil [20-21]. Environmental friendliness of commercial materials is becoming more and more important in all sectors of industry to improve sustainability and minimize to the environmental impact and carbon footprint. Paraffin is a petroleum-based substance, and hence the materials used in its production contributes to global warming [22]. Non-paraffin materials are mostly obtained from foods (vegetable oil) and are nature-friendly.

While there is a significant amount of work in the literature on the utilization of food-grade vegetable oil fatty acids as biobased phase change materials, there is insufficient data on the usage of sustainable, environmental-friendly and non-food substances produced from bioresources that could potentially be used as PCMs.

3.2. Inorganic PCMs

Unlike organics, inorganic PCMs are not flammable and are much cheaper. Inorganic PCMs contain metals, salts, salt hydrates, and metal alloys [23]. Salt hydrates are generally formulated as AB_nH_2O ; where n stand for the number of water molecules in salt blend [24]. Salt and salt hydrates are abundant sources in salt lakes or seawater, therefore it is cost-competitive with a price of one percent of paraffin. The fair cost and non-flammable characteristics of inorganic phase change materials provide much greater encouragement for commercialization than organics [25]. Salt hydrates have a much greater potential for use in the thermal management systems of batteries than organic phase change materials. However, the usage of inorganic phase change materials in thermal management systems of batteries is not a extensively researched area.

The main obstacles for the implementation of inorganic phase change materials stem from poor stability and low thermal conductivity in long-run usage due to phase separation [26], dehydration [27] or supercooling [28]. Although efforts have been made to resolve dehydration [29], phase separation [30], and supercooling [31], these studies focus each issue individually, in general.

There is no general answer to come through all of the issues of salt hydrate-based inorganic phase change materials. Especially dehydration is a problem that must be solved since it leads to the substances being unsteady.

3.3. Eutectic PCM

Although there are three different types of eutectics, two types are widely used today: organic-organic phase change materials [32] and organic-inorganic phase change materials (Figure 5) [33]. Different compounding techniques can be applied to achieve different practical requirements.

To produce organic complex phase change materials with the preferred melting point and latent heat storage meeting daily practical needs, it is a common method to blend two or more organic PCMs by melting and mixing at different phase change temperatures [34]. The formation of binary eutectic compounds from the fatty acids and fatty alcohols, the production of eutectic poly fatty acids from concentrated fatty acids, and the combination of fatty acids with paraffins for binary PCM are some examples of eutectic PCM formation in the literature.

The poor thermal conductivity of organic PCMs is the main obstacle limiting the use of these substances. Consequently, the production and improvement of organic phase-change materials with better thermal conductivity and higher energy storage density is an active research field where a lot of research is being carried out. To develop the thermal properties of organic phase change materials the combining of substances with better thermal properties by melting-mixing methods is a frequently applied method in the development of PCMs [35].

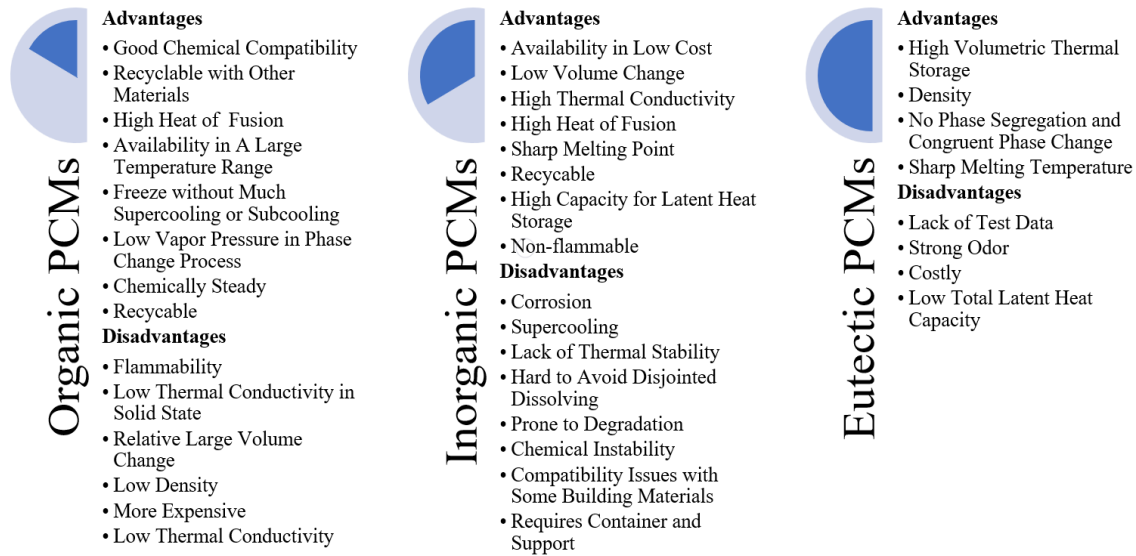


Figure 5. Advantages and disadvantages of PCM types [36-38].

4. Application Areas of PCMs

PCMs have widespread application areas in various sectors such as building applications, daily life operations, energy storage systems, microelectronic temperature management applications, textiles, satellite, telecommunications, transportation, pharmaceuticals and submarine equipment [39].

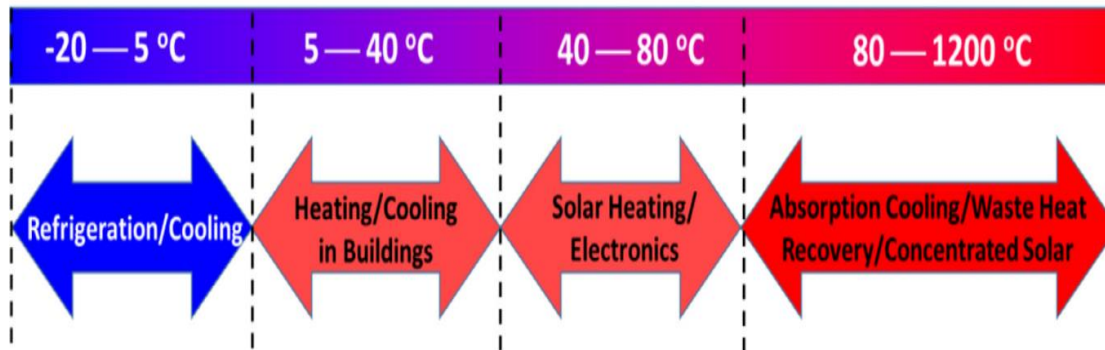


Figure 6. Temperature Ranges of PCMs and Applications [40].

It was mentioned in previous sections that every PCM cannot be used in every application. PCMs have a certain melting temperature range and are used in applications according to these

temperature values. PCMs can be grouped under 4 main categories according to their operating temperature range (Figure 6). The first temperature range is the low temperature range ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$) where phase change materials are utilized in commercial and residential refrigeration/cooling systems [41]. The second range is the medium-low temperature range ($+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$) where phase change materials are used in heating/cooling and air conditioning processes in structures [42]. The third temperature range is the medium temperature range ($+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$) where phase change materials used in solar heating / hot water production systems and heat transfer operations in electronics [43-44]. The final temperature range is the high temperature ($+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$) range where phase change materials are utilized in CSP applications, waste heat recovery systems and absorption cooling designs [45].

5. Using PCM in Buildings

PCMs are used in buildings for 2 main purposes:

- Using the heat of the sun for heating and cooling purposes.
- Using the stored heat with heating and cooling processes.

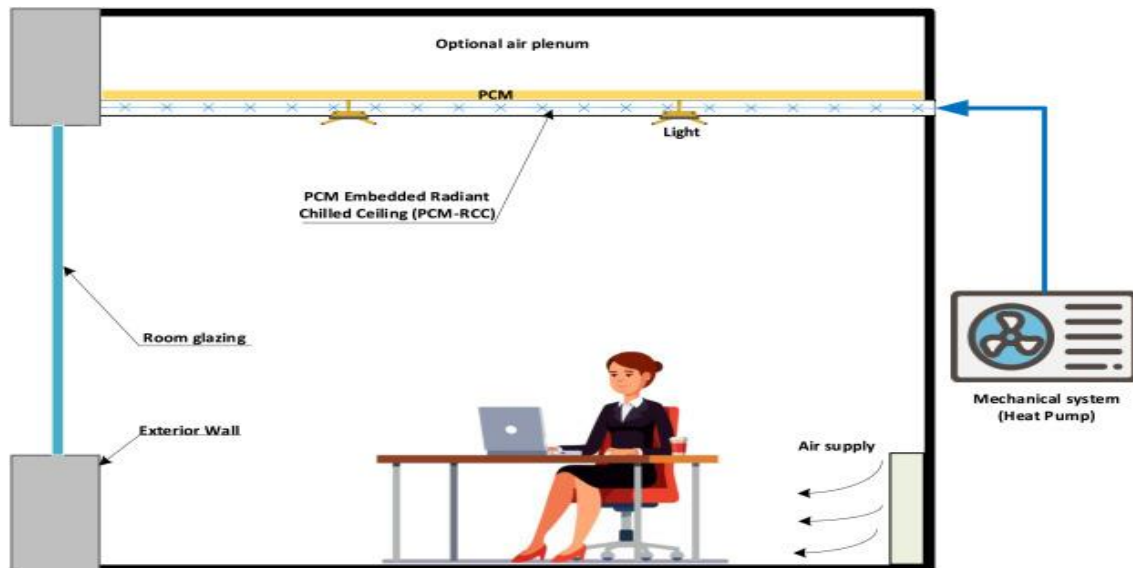


Figure 7. Heat Pump System Enhanced with PCM [47].

PCMs are generally used in sections such as louvers, solar facades, underfloor heating systems and ceiling panels in buildings. PCMs can be embedded in suspended ceilings and utilized as part of heating and cooling processes (Figure 7) [46-48]. In addition, the use of PCM-equipped walls contributes to lowering the load on the air conditioning applications. By utilizing phase change materials in wall applications, energy can be stored and the load that the building must carry can be reduced by reducing the weight of the wall.

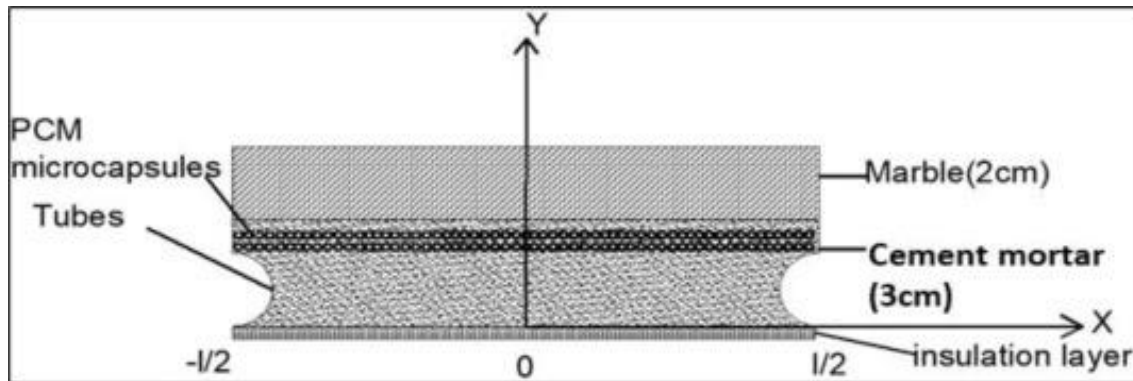


Figure 8. Floor Heating Application with PCM [53].

Floor heating is a superior method to conventional heating systems because of more efficient heating and less space requirement. Compared to electric heating, the use phase change materials in the floor substance can decrease electricity consumption. In floor heating applications with PCM, the system is activated at night when the electricity demand is low, leading to the phase change material to liquified and collect heat (Figure 8) [49-53]. Throughout the day, the heating set of the PCMs shuts down and the heat stored in PCMs is given back to the surroundings. Thus, in addition to the energy savings, the electricity produced by the power plants is also compensated [54-56].

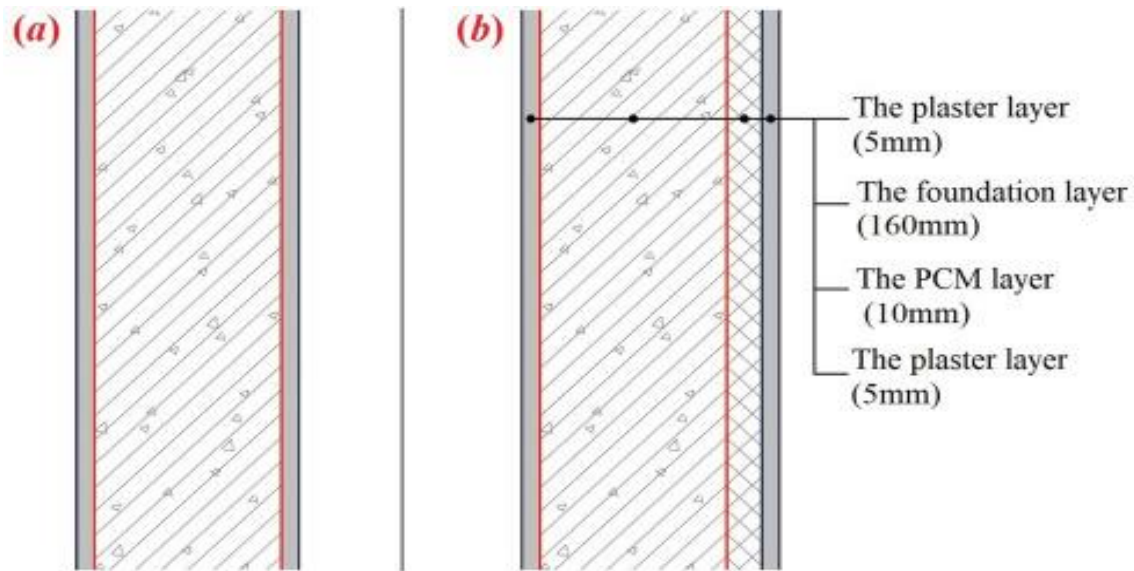


Figure 9. Wall Layers (a) non-PCM and (b) with PCM [71].

The main objective in the building designs made by considering the climatic characteristics of the location is to provide the thermal comfort of the residents against the extreme temperature changes that may occur in different climatic conditions. A building with a suitable climate design should be able to prevent heat flow between the external and internal surfaces. Thus, thermal comfort conditions can be provided by reducing the negative effects of temperature fluctuations on the residents [57-67]. Due to the ability of PCMs to adapt to temperature fluctuations and provide the balance in temperature without the need for any mechanical infrastructure, the temperature can be more stable, especially in the internal volumes of the buildings. By using PCMs in wall design, electricity consumption for heating-cooling processes can be significantly reduced during the periods when electricity is used most intensively (Figure 9) [68-76]. After many tests, it has been understood that the most suitable location for a PCM on the wall is the central section of the wall. PCMs in this location can regulate fluctuations in temperature more effectively than in other locations. By adding PCMs to the wall in this location, it is possible to reduce the heat flux on the inner wall by at least 8% during peak hours. Studies on the use of smart components in energy management and providing the desired temperature conditions in buildings are increasing. Although they cannot be used in commercial applications yet, serious studies should be carried out

on various parameters and materials in building designs to be done with these smart components [77-78]. At least three tips must be taken into account in the plan of any energy storage system based on PCMs in buildings:

- PCM with suitable phase-change temperature compatible with operating temperature of the design,
- Heat exchanger with heat transfer face in accordance with the heat transfer rate of the design,
- A storage tank for PCMs that can absorb volume changes of phase change materials during melting and is also coherent with it [79-80].

6. Conclusions

In this study; characteristics, types and current usage areas in buildings of PCMs are explained. TES systems using PCMs are an ever-evolving scientific discipline that helps to reduce greenhouse gas emissions, dependence on fossil resources and energy consumption. Depending on the increase in new application areas, the range of sectors in which PCMs are used is also expanding. Heating-cooling and air-conditioning technologies, concentrated solar energy applications, building sections, automotive industry, textile sector are some application areas of PCMs.

Efficiency, total cost, performance and reliability issues are the main problems encountered at the selection stage of PCMs in many sectors. In addition, there are no international or national standards on the use of phase change materials in many sectors. Although various researches have been conducted in many fields on PCMs for many years, there are no standards in the research and development processes of PCMs. Therefore, more serious studies should be carried out on the standards related to PCMs in the future.

Systems involving a combination of different methods such as fins, foams and nanoparticles provide further improvements in the heat transfer properties of PCMs than using these methods individually. Therefore, instead of focusing on only one heat transfer improvement, studying their combination will provide more promising results.

Some conventional PCMs have flammable properties due to the use of substances such as paraffin and their dangerous and toxic properties. Organic PCMs presented as the next generation of these substances, both do not have the toxic features of previous substances and are non-flammable due to the utilization of natural substances such as soy derivatives and palm oil. In addition, it is recommended to evaluate the use of PCMs in various sectors by analyzing the human health and environmental effects of the use of PCMs.

The use of PCM in buildings is a relatively new method. As explained in the previous headings, the use of PCMs both reduces energy consumption and prevents sudden temperature fluctuations. With future studies, the efficiency of building systems with PCM can be increased or it is possible to manufacture a more proper phase change material for use in structures. In future studies, the reliability and applicability of the designed systems in terms of economic perspective should be expressed through thermo-economic analyzes and feasibility studies.

Abbreviations

CFD	Computational Fluid Dynamics
CSP	Concentrated Solar Power
HTF	Heat Transfer Fluid
LHS	Latent Heat Storage
PCM	Phase Change Material
SHS	Sensible Heat Storage
TES	Thermal Energy Storage

REFERENCES

- [1] International Energy Agency, World Energy Outlook 2017. https://iea.blob.core.windows.net/assets/4a50d774-5e8c-457e-bcc9-513357f9b2fb/World_Energy_Outlook_2017.pdf/, 2017 (accessed 21 May 2022).
- [2] Da Cunha J. P., Eames P., TES for Low and Medium Temperature Applications Using PCMs – A Review, Applied Energy, C 177, S 227-238, 2016.
- [3] Kong X., Jie P., Yao C., Liu Y., Experimental Study on Thermal Performance of PCM Passive and Active Combined Using for Building Application in Winter, Applied Energy, C 206, S 293-302, 2017.

- [4] Nomura T., Akiyama T., High-Temperature Latent Heat Storage Technology to Utilize Exergy of Solar Heat and Industrial Exhaust Heat, Exergy for A Better Environment and Improved Sustainability, C 1, S 1207-1224, 2018.
- [5] Noël J. A., Kahwaji S., Desgrosseilliers L., Groulx D., White M. A., Storing Energy, C 13 – PCMs, Letcher T. M., editor., Elsevier; S 249-272, 2016.
- [6] Cleveland C. J., Morris C. G., Handbook of Energy Volume II: Chronologies, Top Ten Lists and Word Clouds, C 29 – Storage, Cleveland C. J., editor., Elsevier, S 519-528, 2014.
- [7] Lee J., Wi S., Yun B. Y., Yang S., Park J. H., Kim S., Development and Evaluation of Gypsum/Shape-Stabilization PCMs Using Large-Capacity Vacuum Impregnator for TES, Applied Energy, C 241, S 278-290, 2019.
- [8] Lencer D., Salinga M., Wuttig M., Design Rules for Phase-Change Materials in Data Storage Applications, Advanced Materials, C 23(18), S 2030-2058, 2011.
- [9] Bayraktar F. S., Investigation of Thermal Properties of Boron Added Molten Salts for Concentrating Solar Power (CSP) Applications, M. Sc. Thesis, Kutahya Dumlupınar University Graduate School of Natural and Applied Sciences, 2020.
- [10] Al-Abidi A. A., Mat S. B., Sopian K., Sulaiman M., Mohammed A. T., CFD Applications for Latent Heat TES: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, C 20, S 353-363, 2013.
- [11] Kahwaji S., Johnson M. B., White M. A., Thermal Property Determination for PCMs, The Journal of Chemical Thermodynamics, C 160, S 106439, 2021.
- [12] Javadi F. S., Metselaar H. S. C., Ganesan P., Performance Improvement of Solar Thermal Systems Integrated with PCMs (PCM), A Review, Solar Energy, C 206, S 330-352, 2020.
- [13] Abokers M. H., Osman M., El-Baz O., El-Morsi M., Sharaf O., Review of the PCM (PCM) Usage for Solar Domestic Water Heating Systems (SDWHS), International Journal of Energy Research, C 42(2), S 329-357, 2017.
- [14] Dogkas G., Koukou M. K., Konstantaras J., Pagkalos C., Lymperis K., Stathopoulos V., Coelho L., Rebola A., Vrachopoulos M. G., Investigating the Performance of A TES Unit with Paraffin as PCM, Targeting Buildings' Cooling Needs: An Experimental Approach, International Journal of Thermofluids, C 3-4, S 100027, 2020.
- [15] Rasta I. M., Suamir I. N., Study on Thermal Properties of Bio-PCM Candidates in Comparison with Propylene Glycol and Salt Based PCM for sub-Zero Energy Storage Applications, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, C 494, S 12-24, 2018.
- [16] Sharma A., Tyagi V. V., Chen C. R., Buddhi D., Review on TES with PCMs and Applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, C 13(2), S 318-345, 2009.

- [17] Aji Z., Jouhara H., Investigation of the Effects of Thermal, Oxidative and Irradiation Treatments on the Behaviour of Poly-Ethylene Glycol as A PCM in TES Systems, *Energy*, C 136, S 196-200, 2017.
- [18] Ghani S. A. A., Jamari S. S., Abidin S. Z., Waste Materials as the Potential PCM Substitute in TES System: A Review, *Chemical Engineering Communications*, C 208, S 687-707, 2020.
- [19] Yuan Y., Zhang N., Tao W., Cao X., He Y., Fatty Acids as PCMs: A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, C 29, S 482-498, 2014.
- [20] Kahwaji S., White M. A., Edible Oils as Practical PCMs for TES, *Applied Sciences*, C 9(8), S 16-27, 2019.
- [21] Okogeri O., Stathopoulos V. N., What about greener phase change materials? A review on biobased phase change materials for thermal energy storage applications, *International Journal of Thermofluids*, C 10, S 100081, 2021.
- [22] Reyes-Cueva E., Nicolalde J. F., Martinez-Gomez J., Characterization of Unripe and Mature Avocado Seed Oil in Different Proportions as PCMs and Simulation of Their Cooling Storage, *Molecules*, C 26(1), S 107-137, 2021.
- [23] Ling Z., Liu J., Wang Q., Lin W., Fang X., Zhang Z., $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ - $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ Eutectic/ SiO_2 Composite PCM with Improved Thermal Reliability and Enhanced Thermal Conductivity, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, C 172, S 195-201, 2017.
- [24] Xie N., Huang Z., Luo Z., Gao X., Fang Y., Zhang Z., Inorganic Salt Hydrate for TES, *Applied Sciences*, C 7(12), S 13-17, 2017.
- [25] Huang J., Dai J., Peng S., Wang T., Hong S., Modification on Hydrated Salt-Based Phase Change Composites with Carbon Fillers for Electronic Thermal Management, *International Journal of Energy Research*, C 43(8), S 3550-3560, 2019.
- [26] Liu Y., Yang Y., Preparation and Thermal Properties of $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ - $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ Eutectic Hydrate Salt as A Novel PCM for Energy Storage, *Applied Thermal Engineering*, C 112, S 606-609, 2017.
- [27] Zhang W., Zhang Y., Ling Z., Fang X., Zhang Z., Microinfiltration of $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ into g- C_3N_4 and Macroencapsulation with Commercial Sealants: A Two-Step Method to Enhance the Thermal Stability of Inorganic Composite PCMs, *Applied Energy*, C 253, S 113540, 2019.
- [28] Jagemont J., Omar N., van den Bossche Mierlo P. J., Phase-Change Materials (PCM) for Automotive Applications: A Review, *Applied Thermal Engineering*, C 132, S 308-320, 2018.

[29] Yuan K., Zhou Y., Sun W., Fang X., Zhang Z., A Polymer-Coated Calcium Chloride Hexahydrate/Expanded Graphite Composite PCM with Enhanced Thermal Reliability and Good Applicability, *Composites Science and Technology*, C 156, S 78-86, 2018.

[30] Liu Y., Yang Y., Form-Stable PCM Based on $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ - $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ Eutectic Hydrated Salt/Expanded Graphite Oxide Composite: The Influence of Chemical Structures of Expanded Graphite Oxide, *Renewable Energy*, C 115, S 734-740, 2018.

[31] Han W., Ge C., Zhang R., Ma Z., Wang L., Zhang X., Boron Nitride Foam as A Polymer Alternative in Packaging PCMs: Synthesis, Thermal Properties and Shape Stability, *Applied Energy*, C 238, S 942-951, 2019.

[32] Sarı A., Bicer A., Al-Ahmed A., Al-Sulaiman F. A., Zahir M. H., Mohamed S. A., Silica Fume/Capric Acid-Palmitic Acid Composite PCM Doped with CNTs for TES, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, C 179, S 353-361, 2018.

[33] Darzi M. E., Golestaneh S. I., Kamali Karimi M. G., Thermal and Electrical Performance Analysis of Co-Electrospun-Electrosprayed PCM Nanofiber Composites in the Presence of Graphene and Carbon Fiber Powder, *Renewable Energy*, C 135, S 719-728, 2019.

[34] Karaipekli A., Sarı A., Preparation, Thermal Properties and Thermal Reliability of Eutectic Mixtures of Fatty Acids/Expanded Vermiculite as Novel Form-Stable Composites for Energy Storage, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, C 16(5), S 767-773, 2010.

[35] Al-Maghalseh M., Mahkamov K., Methods of Heat Transfer Intensification in PCM Thermal Storage Systems: Review Paper, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, C 92, S 62-94, 2018.

[36] Nazir H., Batool M., Osorio F. J. B., Isaza-Ruiz M., Xu X., Vignarooban K., Phelan P., Inamuddin, Kannan A. M., Recent Developments in PCMs for Energy Storage Applications: A Review, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, C 129, S 491-523, 2019.

[37] Lone M. I., Jilte R., A Review on PCMs for Different Applications, *Materials Today: Proceedings*, C 46(20), S 10980-10986, 2021.

[38] Yang L., Jin X., Zhang Y., Du K., Recent Development on Heat Transfer and Various Applications of Phase-Change Materials, *Journal of Cleaner Production*, C 287, S 124432, 2021.

[39] Du K., Calautit J., Wang Z., Wu Y., Liu H., A Review of the Applications of PCMs in Cooling, Heating and Power Generation in Different Temperature Ranges, *Applied Energy*, C 220, S 242-273, 2018.

[40] Douvi E., Pagkalos C., Dogkas G., Koukou M. K., Stathopoulos V. N., Caouris Vrachopoulos Y. M. G., PCMs in Solar Domestic Hot Water Systems: A Review, *International Journal of Thermofluids*, C 10, S 100075, 2021.

- [41] Veerakumar C., Sreekumar A., PCM Based Cold TES: Materials, Techniques and Applications – A Review, *International Journal of Refrigeration*, C 67, S 271-289, 2016.
- [42] Gholamibozanjani G., Farid M., Application of an Active PCM Storage System into A Building for Heating/Cooling Load Reduction, *Energy*, C 210, S 118572, 2020.
- [43] Sardari P. T., Babaei-Mahani R., Giddings D., Yasserli S., Moghimi M. A., Bahai H., Energy Recovery from Domestic Radiators Using a Compact Composite Metal Foam/PCM Latent Heat Storage, *Journal of Cleaner Production*, C 257, S 120504, 2020.
- [44] Qin D., Yu Z. J., Yang T., Li S., Zhang G., Thermal Performance Evaluation of a New Structure Hot Water Tank Integrated with PCMs, *Energy Procedia*, C 158, S 5034-5040, 2019.
- [45] Jouhara H., Khordehgah N., Almahmoud S., Delpech B., Chauhan A., Tassou S. A., Waste Heat Recovery Technologies and Applications, *Thermal Science and Engineering Progress*, C 6, S 268-289, 2018.
- [46] Khdaif A. I., Abu Rumman G., Basha M., Developing Building Enhanced with PCM to Reduce Energy Consumption, *Journal of Building Engineering*, C 48, S 103923, 2022.
- [47] Mousavi S., Rismanchi B., Brey S., Aye L., PCM Embedded Radiant Chilled Ceiling: A State-Of-The-Art Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, C 151, S 111601, 2021.
- [48] Wang, P., Liu, Z., Xi, S., Zhang, Y., Zhang, L. Experiment and Numerical Simulation of An Adaptive Building Roof Combining Variable Transparency Shape-Stabilized PCM, *Energy and Buildings*, C 263, S 112030, 2022.
- [49] Larwa B., Cesari S., Bottarelli M., Study on thermal performance of a PCM enhanced hydronic radiant floor heating system, *Energy*, C 225, S 120245, 2021.
- [50] González B., Prieto M. M., Radiant Heating Floors with PCM Bands for Thermal Energy Storage: A Numerical Analysis, *International Journal of Thermal Sciences*, C 162, S 106803, 2021.
- [51] Guo J., Jiang Y., A Semi-Analytical Model for Evaluating the Thermal Storage Capacity and Heat Use Efficiency of Flexible Thermal Storage Heating Floor, *Applied Thermal Engineering*, C 198, S 117448, 2021.
- [52] Liu Y., Tian Z., Song C., Chen Y., Li Y., Liu J., Thermal Performance and Optimization of A Casing Pipe Solar Energy Storage Floor with Phase Change Material, *Energy and Buildings*, C 247, S 111167, 2021.
- [53] Babaharra, O., Choukairy, K., Hamdaoui, S., Khallaki, K., Mounir, S. H., Thermal Behavior Evaluation of a Radiant Floor Heating System Incorporates A Microencapsulated Phase Change Material, *Construction and Building Materials*, C 330, S 127293, 2022.

- [54] Zhu X., Sheng X., Li J., Chen Y., Thermal Comfort and Energy Saving of Novel Heat-Storage Coatings with Microencapsulated PCM and Their Application, *Energy and Buildings*, C 251, S 111349, 2021.
- [55] Dehkordi B. S., Afrand M., Energy-Saving Owing to Using PCM into Buildings: Considering of Hot and Cold Climate Region, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, C 52(B), S 102112, 2022.
- [56] Wang X., Li W., Luo Z., Wang K., Shah S. P., A Critical Review on Phase Change Materials (PCM) for Sustainable and Energy Efficient Building: Design, Characteristic, Performance and Application, *Energy and Buildings*, C 260, S 111923, 2022.
- [57] Raj V. A. A., Velraj R., Review on Free Cooling of Buildings Using PCMs, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, C 14(9), S 2819-2829, 2014.
- [58] Hasan A., McCormack S. J., Huang M. J., Norton B., Evaluation of PCMs for Thermal Regulation Enhancement of Building Integrated Photovoltaics, *Solar Energy*, C 84(9), S 1601-1612, 2010.
- [59] Souayfane F., Fardoun F., Biwole P. H., Phase Change Materials (PCM) for Cooling Applications in Buildings: A Review, *Energy and Buildings*, C 129, S 396-431, 2016.
- [60] Guichard S., Miranville F., Bigot D., Boyer H., A Thermal Model for Phase Change Materials in A Building Roof for A Tropical and Humid Climate: Model Description and Elements of Validation, *Energy and Buildings*, C 70, S 71-80, 2014.
- [61] Khan M., Ibrahim M., Saeed T., Space Cooling Achievement by Using Lower Electricity in Hot Months Through Introducing PCM-Enhanced Buildings, *Journal of Building Engineering*, C 53, S 104506, 2022.
- [62] Kalbasi R., Hassani P., Buildings with Less HVAC Power Demand by Incorporating PCM into Envelopes Taking into Account ASHRAE Climate Classification, *Journal of Building Engineering*, C 51, S 104303, 2022.
- [63] Arumugam P., Ramalingam V., Vellaichamy P., Effective PCM, Insulation, Natural and/or Night Ventilation Techniques to Enhance the Thermal Performance of Buildings Located in Various Climates – A Review, *Energy and Buildings*, C 258, S 111840, 2022.
- [64] Hatamleh R. I., Abu, Hamdeh N. H., Bantan R. A. R., Integration of A Solar Air Heater to A Building Equipped with PCM to Reduce the Energy Demand, *Journal of Building Engineering*, C 48, S 103948, 2022.
- [65] Farouk N., Alotaibi A. A., Alshahri A. H., Almitani K. H., Using PCM in Buildings to Reduce HVAC Energy Usage Taking into Account Saudi Arabia Climate Region, *Journal of Building Engineering*, C 50, S 104073, 2022.

[66] Mustafa J., Almeahmadi F. A., Alqaed S., A Novel Study to Examine Dependency of Indoor Temperature and PCM to Reduce Energy Consumption in Buildings, *Journal of Building Engineering*, C 51, S 104249, 2022.

[67] Kalbasi R., Usefulness of PCM in Building Applications Focusing on Envelope Heat Exchange – Energy Saving Considering Two Scenarios, *Sustainable Energy Technologies and Assessments* C 50, S 101848, 2022.

[68] Gholamibozanjani G., Farid M., Application of An Active PCM Storage System into A Building for Heating/Cooling Load Reduction, *Energy*, C 210, S 118572, 2020.

[69] Alqaed S., Effect of Using A Solar Hot Air Collector Installed on the Inclined Roof of A Building for Cooling and Heating System in the Presence of Polymeric PCM, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, C 50, S 101852, 2022.

[70] Salihi M., El Fiti M., Harmen Y., Chhiti Y., Chebak A., Alaoui F. E. M., Achak M., Bentiss F., Jama, C., Evaluation of Global Energy Performance of Building Walls Integrating PCM: Numerical Study in Semi-Arid Climate in Morocco, *Case Studies in Construction Materials*, C 16, S e00979, 2022.

[71] Wu Q., Wang J., Meng X., Influence of Wall Thermal Performance on the Contribution Efficiency of the Phase-Change Material (PCM) Layer, *Case Studies in Thermal Engineering*, C 28, S 101398, 2021.

[72] Liu Z., Hou J., Huang Y., Zhang J., Meng X., Dewancker B. J., Influence of Phase Change Material (PCM) Parameters on the Thermal Performance of Lightweight Building Walls with Different Thermal Resistances, *Case Studies in Thermal Engineering*, C 31, S 101844, 2022.

[73] Al-Absi Z. A., Hafizal M. I. M., Ismail M., Experimental Study on the Thermal Performance of PCM-Based Panels Developed for Exterior Finishes of Building Walls, *Journal of Building Engineering*, C 52, S 104379, 2022.

[74] Saeed, T., Influence of the Number of Holes and Two Types of PCM in Brick on the Heat Flux Passing Through the Wall of a Building on A Sunny Day in Medina, Saudi Arabia, *Journal of Building Engineering*, C 50, S 104215, 2022.

[75] Sun X., Zhang Y., Xie K., Medina M. A., A Parametric Study on the Thermal Response of a Building Wall with A Phase Change Material (PCM) Layer for Passive Space Cooling, *Journal of Energy Storage*, C 47, S 103548, 2022.

[76] Gencil O., Hekimoglu G., Sarı A., Ustaoglu A., Subasi S., Marasli M., Erdogmus E., Memon S. A., Glass Fiber Reinforced Gypsum Composites with Microencapsulated PCM as Novel Building Thermal Energy Storage Material, *Construction and Building Management*, C 340, S 127788, 2022.



[77] Saxena R., Rakshit D., Kaushik S. C., PCM (PCM) Incorporated Bricks for Energy Conservation in Composite Climate: A Sustainable Building Solution, *Solar Energy*, C 183, S 276-284, 2019.

[78] da Cunha S. R. L., de Aguiar J. L. B., PCMs and Energy Efficiency of Buildings: A Review of Knowledge, *Journal of Energy Storage*, C 27, S 101083, 2020.

[79] Kenisarin M. M., Mahkamov K., Costa S. C., Mahkamova I., Melting and Solidification of PCMs Inside a Spherical Capsule: A Critical Review, *Journal of Energy Storage*, C 27, S 101082, 2020.

[80] Peng G., Dou G., Hu Y., Sun Y., Chen Z., PCM (PCM) Micrcapsules for TES, *Advances in Polymer Technology*, C 2020, S 9490873, 2020.

KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ
KIRKLARELİ UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisinde fen ve mühendislik alanında özgün araştırma makaleleri, derlemeler, kısa makaleler, teknik not, vaka takdimleri, kitap eleştirileri ve bilimsel nitelikli editöre mektuplar yayınlanır. Dergi Aralık ve Haziran aylarında olmak üzere yılda iki kez yayınlanır. Yayınlanmak üzere gönderilen eserlerin başka bir yerde yayınlanmamış veya yayınlanmak üzere gönderilmemiş olması gerekmektedir. Derginin yayın dili Türkçe ve İngilizcedir. Dergide yayınlanacak eserlerin her türlü sorumluluğu yazar/larına aittir. Makaleler, <http://dergipark.ulakbim.gov.tr> adresine gönderilmelidir. Makalenin hakem incelemesi için kabul edilmesi durumunda, Telif Hakkı Devir Formu tüm yazarlarca imzalanarak editörlüğe gönderilmelidir. Dergiye gönderilen makaleler, öncelikle Dergi Yayın Kurulu tarafından bilimsel içerik ve şekil bakımından ön incelemeye tabii tutulur. Dergi Yayın Kurulu, yayınlanabilecek nitelikte bulmadığı veya yazım kurallarına uygun hazırlanmayan makaleleri hakemlere göndermeden red kararı verme hakkına sahiptir. Değerlendirmeye alınabilecek olan makaleler, incelenmek üzere iki ayrı hakeme gönderir. Dergi Yayın Kurulu, hakem raporlarını dikkate alarak makalelerin yayınlanmak üzere kabul edilip edilmemesine karar verir.

Yazım Kuralları / Instructions

- 1.** Yazı tümüyle (metin, tablolar, denklemler, çizimler) bilgisayarda düzenlenmeli ve baskıya hazır biçimde teslim edilmelidir. Yazı, A4 (210 x 297 mm) boyutlu kâğıda, Word ortamında, 12 punto (ana başlık 14 punto) Times New Roman font kullanılarak, bir buçuk aralıkla ve her iki yana yaslı olarak yazılmalı, kâğıdın tüm kenarlarından 25 mm boşluk bırakılmalıdır.
- 2.** Çizimler ve tablolarla birlikte, makaleler 25 sayfadan, teknik notlar 6 sayfadan daha uzun olmamalıdır.
- 3.** Yazı, elektronik ortamda (CD veya e-posta eki) dergi e-posta adresine veya dergi yazışma adresine gönderilmelidir.
- 4.** Metin yalın bir dil ve anlatımla yazılmalı, Türkçe yazım kurallarına uygun olmalı, üçüncü tekil şahıs ve edilgen fiiller kullanılmalı, devrik cümleler içermemelidir.
- 5.** Bölümler (i) özet ve anahtar kelimeler, (ii) abstract and keywords (İngilizce başlık, özet ve anahtar kelimeler), (iii) ana metin (giriş, materyal ve metod, sonuçlar vb.), (iv) semboller, (v) teşekkür (gerekliyse) ve (vi) kaynaklar sırası içinde düzenlenmelidir.
- 6.** Başlık kısa ve açık olmalı, içeriği yansıtabilmelidir. Başlık büyük harfle ortalanarak yazılmalıdır.
- 7.** Yazar/ların adları kısaltmasız, başlığın altına yan yana, soyadlar büyük harfle ortalanarak 11 punto boyutunda yazılmalıdır. Yazar isimlerinden sonra virgül ve adres belirtmek için üst simge olarak rakam kullanılmalıdır. Yazışmaların yapılacağı sorumlu yazar isminde mutlaka üst simge yıldız (*) sembolü olmalıdır. Adres/ler tam yazılmalı, kısaltma yapılmamalıdır. Sorumlu yazarın e-mail adresi dipnot olarak bulunmalıdır. Yazar adları yazılırken herhangi bir akademik unvan belirtilmemelidir.
- 8.** Özet (ve Abstract) çalışmanın amacını, kapsamını, yöntemini ve ulaşılan sonuçları kısaca tanımlamalı ve 200 kelimeyi aşmamalıdır. En az üç tane anahtar kelime verilmelidir. Anahtar kelimeler, zorunlu olmadıkça başlıktakilerin tekrarı olmamalıdır. Başlık, Özet ve İngilizce başlıklı Abstract birinci sayfaya sığdırılmalı, birinci sayfanın altında on satır boş bırakılmalı ve ana metin ikinci sayfadan başlatılmalıdır.
- 9.** Bölüm ve alt bölüm başlıkları numaralanmalıdır (TS1212).
- 10.** Semboller uluslararası kullanıma uygun seçilmeli; her bir sembol ve varsa kısaltmalar ilk kullanıldığı yerde tanımlanmalı, ayrıca metnin sonunda (Kaynaklardan önce) tüm semboller alfabetik sıra ile (önce Latin, sonra Yunan alfabesi) listelenmelidir.
- 11.** Matematiksel ifadeler (denklemler) Word ortamında "Equation Editör" kullanılarak yazılmalıdır. Metin içerisinde geçen denklemler numaralanmalı ve bu numaralar satır sonunda parantez içinde gösterilmelidir.

12. Tablo dışında kalan fotoğraf, resim, çizim ve grafik gibi gösterimler “Şekil” olarak verilmelidir. Resim, şekil ve grafikler net ve ofset baskı tekniğine uygun olmalıdır. Her tablo ve şeklin metin içindeki yeri belirtilmelidir. Tüm tablo ve şekiller makale boyunca sırasıyla numaralandırılmalı (Tablo 1., Tablo 2., Şekil 1., Şekil 2. gibi) başlık ve açıklama içermelidir. Grafik ve şekiller basılı sayfa boyutları dikkate alınarak çizilmelidir. Şekillerin sıra numaraları ve başlıkları şeklin altına, tabloların ki ise tablonun üstüne yazılmalıdır.

13. Yazılarda yalnızca SI birimleri kullanılmalıdır.

14. Teşekkür olabildiğince kısa olmalı, çalışmaya katkısı ve desteği bulunan kişi ve kuruluşlar belirtilmelidir.

15. Dergimize yayınlanmak üzere gönderilen makaleler benzerlik kontrol programı ile kontrol edilecektir. Benzerlik raporu ilgili yayın danışma kurulu üyesine kontrol etmesi için gönderilecektir. Benzerlik raporu sonucu yüksek çıkan makaleler için yazardan düzenleme talep edilir.

16. Kaynaklar metinde köşeli parantez ([]) içinde numaralanmalı ve kaynaklar listesinde metin içinde veriliş sırasına uygun biçimde belirtilmelidir. Yayınlanmamış bilgiler kaynak olarak verilmemelidir. Ancak tamamlanmış ve jüriden geçmiş tezler ve DOI numarası olan makaleler kaynak olarak verilebilir.

Kaynaklarda şu bilgiler verilmelidir:

Kaynak makale ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, makalenin tam başlığı, derginin adı, cilt, sayı, başlama ve bitiş sayfaları, basıldığı yıl.

Örnek: [1] Naghdi, P. M., Kalnins, A., On Vibrations of Elastic Spherical Shells. J. Appl. Mech., C 29, S 65-72, 1962.

Kaynak kitap ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, kitabın adı, cilt numarası, varsa editörü, yayınlandığı yer, yayınlandığı yıl.

Örnek: [2] Kraus. H., Thin Elastic Shells, New York. Wiley, 1967.

Kaynak bildiri ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, bildirinin adı, konferansın adı, yapıldığı yer, başlama ve bitiş sayfaları, yıl.

Örnek: [3] Cappleman. O., Communication in the Studio, FIDE'98 International Conference on First Year Architectural Design Education Proceedings, Faculty of Architecture İstanbul Technical University, Cilt V, S 48-54, 1998

Kaynak tez ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, tezin adı, derecesi, sunulduğu kurum, başlama ve bitiş sayfaları, yıl.

Örnek: [4] Özşahin. B., Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Duvarlı Binaların Yapımsal ve Ekonomik Uygulanabilirliği, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, S 5-9, 2011

Kaynak rapor ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, raporun adı, türü, numarası, kuruluşun adı, yayınlandığı yer, yıl.

Örnek: [5] Makarewicz. J.C., Lewis. T., Bertram. P., Epilimnetic Phytoplankton and Zooplankton Biomass and Species Composition in Lake Michigan, 1983-1982, IL EPA 905-R-95-009, U.S EPA Great Lakes Natioanl Program, Chicago, 1995

Kaynak internet ise: Eğer bir bilgi herhangi bir internet sayfasından alınmış ise (internetten alınan ve dergilerde yayınlanan çalışmalar hariç)

Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, çalışmanın adı, internet sitesinin adı ve adresi, internet sitesine erişim tarihi

Örnek: [6] Pieper. C. M., Introduction to Activity Based Costing, ATechnical Bulletin From ABC Technologies, www.abctech.com 1998, Erişim tarihi: 12.10.2014

KIRKLARELİ UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Kirklareli University Journal of Engineering and Science welcome materials for publications as original research papers, short communications, technical notes, case reports, book/software reviews and scientific letter to editors. Kirklareli University Journal of Engineering and Science is published two issues per year in June and December. Manuscripts submitted to the journal are only accepted if they have not been or will not be published and should not be under review elsewhere. Manuscript's language is English and Turkish. All responsibility of the studies belongs to the authors. Studies should be prepared in accordance with international scientific ethics rules. Studies must be sent to <http://dergipark.ulakbim.gov.tr>.

For the studies accepted for publication in our journal, copyright transfer form signed must be sent to the journal editorial. Papers are firstly checked for their suitability for technical and journal's style. The manuscripts that do not suit journal's standards or not suitable correspond to the scope journal are refused with unexplained reason. Manuscripts that are found suitable for peer review will be assigned to two expert reviewers. The final decision to accept or reject a manuscript will be made by the Editorial Boards. After review process, the Editorial Boards will inform the authors of acceptance, rejection or necessity of revision of the manuscript.

Instructions / Yazım Kuralları

1. Text (tables, equations, figures, pictures etc.) should be prepared using Microsoft Word Processor with Times New Roman font and 12 point (The title 14 point) size. Manuscripts should be written with 1,5 line spacing on A4 (210 x 297 mm) sized typing paper with 25 mm all margins.
2. The maximum number of pages for original research papers (including tables, figures and references) should be 25 and for the technical notes should be 6 respectively.
3. Paper should be sent online by the journal web site or should be posted CD by journal correspondence address.
4. Text should be written in plain language and narrative, it should be free from any spelling or grammatical errors and the third person singular passive verb should be used.
5. The parts should be in order to (i) Turkish abstract and key words, (ii) English abstract and key words, (iii) main text (Introduction, Material and Methods, Results, Discussions etc.), (iv) symbols, (v) acknowledgements and (vi) references.
6. The title suitable for the content should be clear, as short as possible and centered on the page with the capital letters.
7. All Authors full names should be written as lower case 11 font size in the middle and surname of the authors should be written capital letters. After authors name and surnames, authors' addresses should be stated with superscript numbers (e.g. 1, 2, 3). Corresponding author's full name should be marked with an asterisk (*). All authors' addresses must be typed with lower case 11 font in the center. The corresponding author's contact address and e-mail address should be given. Names of institutions and cities each authors also must be stated. Authors' name and surname should not indicated any academic title.
8. A brief, informative English and Turkish abstract, not exceeding 200 words, should be typed in 12 font size. Immediately following the abstract, authors should provide at least 3 English and Turkish keywords or phrases that reflect content of the article. The key words should not repeat of the title as possible.
9. Section and sub-section title should be numbered (TS1212).
10. In general, the recommendations of the SI units should be followed. Symbols, formulas and equations should be written with great care, capitals and lower case letters being distinguished where necessary. Unusual symbols employed for the first time should be defined by name in the left-hand margin. Abbreviations require definition when first used.

11. Mathematical expressions should be written by an equation editor (Word format). Each equation in text should be numbered and numbers should be shown in parentheses at the end of the line.
12. The drawings, photos and graphs except the tables should be given as "Figure" in manuscript. Electronically submitted figures and graphs are preferred *.jpg or *.tiff formats. Do not give magnification on scales in the figure titles; instead draw bar scales directly on the figures. All the tables and figures must be referred in the text. The numbers and headings of figures must be written below the figure. The numbers and headings of tables should be written the top of the table.
13. SI (System International d'Unités) units should be used.
14. The acknowledgement in the manuscript should be short as possible and it should be indicated if any support is given to work by an institution or a person.
15. Manuscripts submitted for publication in our journal are checked a similarity control software. Similarity report will be sent on the advisory board to be checked. If the similarity control program report results as high similarity, manuscripts are sent back to authors for them to make necessary changes.
16. Literature references are to be numbered consecutively in square brackets. The list of references should be given at the end of the paper in order of their first appearance in the text. Unpublished data should not be used as references. But MSc and PhD thesis, accepted by jury and the manuscripts not published yet if accepted for publication with DOI numbers can be use as references.

References should be provided with the following information:

If the reference is a journal paper: Author surname, first name initial(s), title of the paper, journal name, volume number, pages, year.

Example: [1] Naghdi, P. M., Kalnins, A., On Vibrations of Elastic Spherical Shells. J. Appl. Mech., C 29, S 65-72, 1962

If the reference is a book: Author surname, first name initial(s), title of the book, volume number, editor(s) (if provided), place of print , page interval, year.

Example: [2] Kraus. H., Thin Elastic Shells, New York. Wiley, 1967.

If the reference is a congress presentation: Author surname, first name initial(s), title of the presentation, name of the congress, seminar or conference, place, page interval, year.

Example: [3] Cappleman. O., Communication in the Studio, FIDE'98 International Conference on First Year Architectural Design Education Proceedings, Faculty of Architecture İstanbul Technical University, Cilt V, S 48-54, 1998

If the reference is a printed thesis: Author surname, first name initial(s), title of the thesis, thesis type (MSc. or Ph.D), institute submitted, place, page interval, year.

Example: [4] Özşahin. B., Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Duvarlı Binaların Yapımsal ve Ekonomik Uygulanabilirliği, Ph.D, Trakya University Graduate School of Natural and Applied Sciences, P 5-9, 2011

If the reference is a source publication: Author surname, first name initial(s), report name, name of the organization (if the report is prepared by an organization), report number (if applicable), place, page interval, year.

Example: [5] Makarewicz. J.C., Lewis. T., Bertram. P., Epilimnetic Phytoplankton and Zooplankton Biomass and Species Composition in Lake Michigan, 1983-1982, IL EPA 905-R-95-009, U.S EPA Great Lakes Natioanl Program, Chicago, 1995

For Electronic Encyclopedia and books: Author surname, first name initial(s), title of the paper, journal name, website name and web address, date of access

Example: [6] Pieper. C. M., Introduction to Activity Based Costing, A Technical Bulletin From ABC Technologies, www.abctech.com 1998, 12.10.2014



MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ
JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE
http://fbedergi.klu.edu.tr

TELİF HAKLARI DEVİR FORMU

Makale Adı:

Yazarların Ad/ları:

Biz aşağıda imzaları bulunan yazarlar, sunduğumuz makalenin orijinal olduğunu; başka bir yerde yayınlanmak üzere verilmediğini, daha önce yayınlamadığını, eğer, tümüyle ya da bir bölümü yayınlandı ise yukarıda adı geçen dergide yayınlanabilmesi için gerekli her türlü iznin alındığını ve orijinal telif hakkı devir formu ile birlikte Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü'ne gönderildiğini garanti ederiz.

Makalenin telif haklarından feragat etmeyi kabul ederek sorumluluğu üstlenir ve imza ederiz.
Bu vesileyle makalenin telif hakkı Kırklareli Üniversitesi'ne devredilmiştir. Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü makalenin yayınlanabilmesi konusunda yetkili kılınmıştır. Bununla birlikte yazar/ların aşağıdaki hakları saklıdır:

1. Telif Hakkın dışında kalan patent vb. bütün tescil edilmiş haklar.
2. Yazarın gelecekteki yapacağı kitap ve dersler gibi çalışmalarında; makalenin tümü veya bir bölümünü ücret ödemeksizin kullanma hakkı.
3. Makaleyi satmamak koşulu ile kendi amaçları için çoğaltma hakkı.

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

(Yazar isimleri makaledeki sıraya göre yazılacak ve Telif Hakları Devir Formu tüm yazarlar tarafından imzalanacaktır.)

Makaleyi Gönderen Sorumlu Yazar:

Adı -Soyadı:

Yazışma Adresi:

Telefon: ()

Fax: ()

E-posta:

Bu form makale hakem incelemesi için dergi editörlüğüne kabul edildikten sonra doldurulup imzalandıktan sonra basılı 2 nüsha halinde "Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kavaklı Yerleşkesi Değirmencik Yolu Üzeri Kavaklı/ Kırklareli" adresine gönderilmelidir.



JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ
http://fbedergi.klu.edu.tr

COPYRIGHT TRANSFER FORM

Manuscript Title:

Full names of all authors:

The undersigned authors, we guarantee that our submitted manuscript is original work; it has not been published and is not being submitted or considered for publication elsewhere, if, in whole or part of publication of the magazine was published for the above-mentioned receipt of all necessary permits and was sent to Editorial Office of Kırklareli University Journal of Engineering and Science with copyright transfer form.

We agree to waive the right to assume the responsibility of the copyright of the article and thank signature. This article is hereby transferred to the copy right of Kırklareli University. Kırklareli University Journal of Engineering and Science Editor of the publication the article is authorized. However, the authors reverse the following rights:

1. All proprietary rights Copyrights outside, such as patents.
2. to use, free of charge, all parts of this article for the authors' future works in books, lectures.
3. the right to reproduce the article for their own purposes provided the copies are not offered for sale.

Author Name: Date:/...../..... Signature:

Author Name: Date:/...../..... Signature:

Author Name: Date:/...../..... Signature:

Author Name: Date:/...../..... Signature:

Author Name: Date:/...../..... Signature:

Author Name: Date:/...../..... Signature:

(The authors will be written in the order of to appear on manuscript and copyright transfer form should be signed by all authors)

Corresponding Author's:

Name-Surname:

Address:

Phone: ()

Fax: ()

E-mail:

Please, fill in this form after your manuscript accepted by journal editorial for referee review, sign and sent two copies published form to address: "Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kavaklı Yerleşkesi Değirmencik Yolu Üzeri Kavaklı/ Kırklareli"