

TÜRK MÜHENDİSLİK ARAŞTIRMA VE EĞİTİMİ DERGİSİ

2023 - Cilt: 2 Sayı: 1

ISSN: 2822-3454

E-ISSN: 2980-213X

Turkish Journal of Engineering
Research and Education

2023 - Vol: 2 No: 1

Bu dergi Türk Eğitim-Sen tarafından yayınlanmaktadır.

This journal is published by Türk Eğitim-Sen.



İmtiyaz Sahibi/ Owner	Talip GEYLAN - TÜRK EĞİTİM-SEN GENEL BAŞKANI
Sorumlu Yazı İşleri Müdürü /Director	Cengiz KOCAKAPLAN - TÜRK EĞİTİM-SEN GENEL BAŞKAN YARDIMCISI
Yazışma Adresi / Correspondence Address	Erzurum Mahallesi Talatpaşa Bulvarı No:160 Kat:6 Cebeci/ANKARA
İnternet Adresi / Web Address	https://tmaed.org/index-tr.html
Yayın Türü /Publication Type	Sürekli / Periodical Yılda iki sayı yayımlanır: Mayıs, Kasım Published two issues per year: May, November
Baş Editör / Editor-in-Chief	Prof. Dr. Murat Erhan BALCI – Balıkesir Üniversitesi
Baş Editör Yardımcısı / Deputy Editor-in-Chief	Doç. Dr. Nuray GEDİK – Balıkesir Üniversitesi
Alan Editörleri / Area Editors	Prof. Dr. Ahmet DURGUTLU - Gazi Üniversitesi Prof. Dr. Feray KÖÇKAR - Balıkesir Üniversitesi Prof. Dr. İsmail ŞAHİN - Gazi Üniversitesi Prof. Dr. Mehmet Hakan HOCAOĞLU - İstanbul Ticaret Üniversitesi Prof. Dr. Mustafa GÜNAY - Karabük Üniversitesi Prof. Dr. Nihat Sinan IŞIK - Gazi Üniversitesi Prof. Dr. Osman KOLA - Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Prof. Dr. Recep BİRGÜL – Carroll College Prof. Dr. Şenol GÜRSOY - Karabük Üniversitesi Prof. Dr. Yasin ALEMDAĞ - Karadeniz Teknik Üniversitesi Doç. Dr. Adem TEKEREK - Gazi Üniversitesi Doç. Dr. Baybars Ali FİL- Balıkesir Üniversitesi Doç. Dr. İlker TEKİN - Karabük Üniversitesi Doç. Dr. Mustafa Selman AYDOĞAN - Balıkesir Üniversitesi Doç. Dr. Nihat DÖNGEL- Gazi Üniversitesi Doç. Dr. Osman ÖZKARACA - Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Tuba GÖZEL - Gebze Teknik Üniversitesi
Editör Kurulu / Editorial Board	Prof. Dr. Abid ABU-TAIR - British University in Dubai Prof. Dr. Ahmed F. ZOBAA-Brunel University Prof. Dr. Adil EL-KORDI - Beirut Arab University Prof. Dr. Ali Fuat BOZ – Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Prof. Dr. Behnam MOHAMMADI-IVATLOO - University of Tabriz Prof. Dr. Can HAŞIMOĞLU– Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Prof. Dr. Çetin ELMAS - Gazi Üniversitesi Prof. Dr. F. P. Garcia MARQUEZ - University of Castilla-La Mancha Prof. Dr. Gürkan ÖZDEN - Dokuz Eylül Üniversitesi Prof. Dr. Iqbal BABAYEV - Azerbaijan Technical University Prof. Dr. Jamal KHATIB - Beirut Arab University Prof. Dr. John KINUTHIA - University of South Wales Prof. Dr. Maksud BOBOJANOV - Tashkent State Technical University Prof. Dr. Mürsel ERDAL - Gazi Üniversitesi Prof. Dr. Nurali YUSUFBEYLİ - Azerbaijan Technical University Prof. Dr. Ömer EYERCİOĞLU - Gaziantep Üniversitesi Prof. Dr. Sergey BUSHİYEV - Azerbaijan Technical University Prof. Dr. Seyhan FIRAT - Gazi Üniversitesi Prof. Dr. Tuncay YİÇİT – Süleyman Demirel Üniversitesi Prof. Dr. Vilayet VELİYEV - Azerbaijan Technical University Prof. Dr. Z. ABDUL-MALEK - Universiti Teknologi Malaysia Assoc. Prof. Dr. S. H. E. Abdel ALEEM- Valley High Institute of Eng. and Tech. Dr. Abbas RABIEE - University of Zanjan Dr. Ali AHMADIAN - University of Bonab Dr. Amin Mohammadpour SHOTORBANI - University of British Columbia Dr. D. R. ALMALYK - The Islam Karimov Tashkent State Technical University Dr. Morteza Zare OSKOU EI - Qatar University Dr. Pouya IFAEİ - Kyung Hee University Dr. Saeed PEYGHAMI - Aalborg University Dr. Vahid VAHIDINASAB - Nottingham Trent University Dr. Zeynep HASIRCI TUĞCU - Karadeniz Teknik Üniversitesi

Mizanpaj Editörleri / Layout Editors	Doç. Dr. Yakup KAYA – Karabük Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Hakan ADA – Gazi Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Onur ALTUNTAŞ – Milli Savunma Üniversitesi Öğr. Gör. Mehmet Serkan YILDIRIM – Gazi Üniversitesi
Dil Editörleri / Language Editors	Türkçe: Dr. Öğr. Üyesi Ünsal Yılmaz YEŞİLDAL-Akdeniz Üniversitesi İngilizce: Prof. Dr. Recep BİRGÜL – Carroll College Doç. Dr. Erkan YÜCE – Aksaray Üniversitesi
Teknik Editörler / Technical Editors	Doç. Dr. Ramazan ÇAKIROĞLU – Gazi Üniversitesi
Sekretarya / Secretariat	Öğr. Gör. Dr. Şevket CANTÜRK – Balıkesir Üniversitesi Öğr. Gör. Mehmet GÜLSÜN – Gazi Üniversitesi

Bu Sayının Hakemleri/ Reviewers for the Current Issue	Prof. Dr. Ali URAL – Aksaray Üniversitesi Prof. Dr. Bora ALBOYACI – Kocaeli Üniversitesi Prof. Dr. Mehmet Hakan HOCAOĞLU – İstanbul Ticaret Üniversitesi Prof. Dr. Şenol GÜRSOY – Karabük Üniversitesi Prof. Dr. Uğur ÇAVDAR – İzmir Demokrasi Üniversitesi Doç. Dr. Ertekin ÖZTEKİN – Gümüşhane Üniversitesi Doç. Dr. İlker TEKİN - Karabük Üniversitesi Doç. Dr. Keziban ATACAN – Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Doç. Dr. Mustafa ÖZMEN – Selçuk Üniversitesi Doç. Dr. Selçuk BAŞ – Bartın Üniversitesi Doç. Dr. Sinan AKSÖZ – Pamukkale Üniversitesi Doç. Dr. Yaser AÇIKBAŞ – Uşak Üniversitesi Dr. Ahmet KÖKSOY – TÜBİTAK MAM Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Turan HOCAOĞLU – Piri Reis Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Tamer BİROL – Balıkesir Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Tuba GÖZEL – Gebze Teknik Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Pınar ÇAVDAR – İzmir Demokrasi Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Veysel ÇELİK – Siirt Üniversitesi
--	---

HAKKINDA

Türk Eğitim-Sen'in bilimsel yayın organı olan Türk Mühendislik Araştırma ve Eğitimi Dergisi, mühendislik alanında hazırlanan güncel, özgün ve nitelikli çalışmalarını yayımlayan uluslararası hakemli bilimsel bir dergidir. Bu dergi, ilk sayısı 15 Haziran 2014 tarihinde yayımlanan "21. Yüzyılda Fen ve Teknik" dergisinin bölünmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Türk Mühendislik Araştırma ve Eğitimi Dergisi, Mayıs ve Kasım aylarında yılda iki sayı olarak yayımlanmaktadır. Açık erişim bir dergidir ve makaleler için herhangi bir değerlendirme ve başvuru ücreti talep etmez.

ABOUT

Turkish Journal of Engineering Research and Education, the scientific publication of Türk Eğitim-Sen, is an international peer-reviewed scientific journal that publishes current, original and qualified studies in the field of engineering. This journal emerged as a result of the division of the "Science and Technology in 21st Century" journal, the first issue of which was published on June 15, 2014. Turkish Journal of Engineering Research and Education is published twice a year, in May and November. It is an open access journal and does not charge any evaluation and submission fee for manuscripts.

AMAÇ ve KAPSAM

Türk Mühendislik Araştırma ve Eğitim Dergisi, mühendislik alanında güncel, özgün ve nitelikli çalışmalarını yayımlayarak, mühendislik öğrencilerinin eğitimlerini ve mühendislerin yaşam boyu mesleki gelişimlerini desteklemeyi, ayrıca mühendislik alan yazınına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Bu dergi, tüm mühendislik disiplinlerinden özgün araştırma makaleleri, derlemeler, kısa makaleler ve editöre mektupları yayımlamak üzere kabul eder.

AIMS and SCOPE

Turkish Journal of Engineering Research and Education aims to support the education of engineering students and the lifelong professional development of engineers, and also to contribute to the engineering literature, by publishing current, original and qualified studies in the field of engineering. This journal welcomes original research articles, reviews, short articles and letters to editor from all engineering disciplines for publication.

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

ARAŞTIRMA MAKALELERİ / RESEARCH ARTICLES

- Controlling Output Voltage and Correcting Power Factor Using Fractional PI Controller with Average Current Method in Wireless Energy Transfer**
Kablosuz Enerji Transferinde Ortalama Akım Yöntemi ile Kesirli PI Kontrolör Kullanılarak Çıkış Geriliminin Kontrolü ve Güç Katsayısının Düzeltilmesi 1
Farhad Ahmad, Metin Demirtaş
- Tensile Bond Strength of Reinforced Concrete Beams Reinforced with Steel Fibers** 9
Tarig M. A. Ahmed, Abid AbuTair, Sokrates Ioannou
- Mevcut ve Güçlendirilmiş Bina Temel Sistemlerinin Karşılaştırılması**
Comparison of Existing and Strengthened Building Foundation Systems 17
Mustafa Esat Coşkun, Şenol Gürsoy
- Preparation of Metal-Thin Film-Metal Device Structure for Pyroelectric Heat Sensor Measurement** 29
Pyroelektrik Isı Sensörü Ölçümü İçin Metal-İnce Film-Metal Cihaz Yapısının Hazırlanması
Rifat Çapan, Zikriye Özbek
- Uçaklarda Statik Elektrik Yükü Çökme Durumu (P-Statik) ve Statik Deşarj Çubuklarının İncelenmesi** 36
Analysis of Precipitation Static Condition (P-Static) and Static Discharger Wicks for Aircraft
Furkan Akbulut, Özcan Kalenderli
- Kaliks[4]Aren Türevi Temelli Gaz Sensör Çalışmaları** 43
Calix[4]Aren Derivative Based Gas Sensor Studies
Zikriye Özbek
- Yüzüncü Kuruluş Yılında Türkiye'nin Enerji Görünümü, Hedefleri ve Gelecek Projeksiyonu** 52
Turkey's Energy Outlook, Goals, and Future Projections on the Occasion of Its Centennial
Mert Ökten
- Termoplastik Matrisli Cam ve Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin ANSYS Programı ile Modellenmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi** 61
Modeling of Thermoplastic Matrix Glass and Carbon Fiber Reinforced Composite Materials with ANSYS Program and Investigation of their Mechanical Properties
Deniz Ergin Toptaş, Tayfun Fındık
- An Experimental Study on the Total and Capillary Water Absorption of Mortar Containing Phragmites Australis Ash** 67
Lelian W. ElKhatib, Jamal Khatib, Adel Elkordi, Seyhan Firat

RESEARCH ARTICLE

Controlling Output Voltage and Correcting Power Factor Using Fractional PI Controller with Average Current Method in Wireless Energy Transfer

Kablosuz Enerji Transferinde Ortalama Akım Yöntemi ile Kesirli PI Kontrolör Kullanılarak Çıkış Geriliminin Kontrolü ve Güç Katsayısının Düzeltilmesi

Farhad Ahmad^{1,*} Metin Demirtaş¹

¹Balikesir University, Electrical and Electronics Engineering Department, Balikesir, Turkey

Received / Geliş: 25.10.2022

Accepted / Kabul: 16.12.2022

*Corresponding Author: Farhad Ahmad, engrfarhan27@outlook.com

ABSTRACT: Single-phase AC/DC converters with Power Factor Correction (PFC) circuit are used as full-wave controlled rectifiers in many power electronics circuits to provide high standards of efficiency and improve power quality. In parallel with the changes in the circuit topologies used, new algorithms are being developed in control methods. In recent years, new control and modeling methods using fractional derivatives and integrals have been developed. In this study, it is aimed to correct the power factor on AC side of the circuit and to keep the output voltage constant at the desired value by using a boost converter for wireless energy transfer. Fractional order PI (FOPI) controller is used to control output voltage and a classical PI controller is used to generate a reference current of boost converter. The Particle Swarm Optimization method was used to optimize the controller coefficients. As a result of the simulation studies, the power coefficient was kept at 0.99.

Keywords: Wireless power transfer, power factor correction, AC-DC converter, boost converter

ÖZ: Güç Faktörü Düzeltme (PFC) devreli tek fazlı AC/DC dönüştürücüler yüksek standartlarda verim sağlamak ve güç kalitesini iyileştirmek amacıyla birçok güç elektroniği devresinde tam dalga kontrollü doğrultucu olarak kullanılmaktadır. Kullanılan devre topolojilerindeki değişikliklere paralel olarak kontrol yöntemlerinde de yeni algoritmalar geliştirilmektedir. Son yıllarda kesirli türev ve integralin kullanıldığı yeni kontrol ve modelleme yöntemleri geliştirilmektedir. Yapılan çalışmada kablosuz enerji transferinde yükseltici dönüştürücü kullanılarak devrenin AC tarafında güç katsayısının düzeltilmesi ve çıkış geriliminin istenen değerinde sabit tutulması amaçlanmaktadır. Çıkış gerilimini kontrol için Kesirli PI kontrolör ve yükseltici dönüştürücünün referans akımını üretmek için ise klasik PI kontrolör kullanılmıştır. Kontrolör katsayılarının optimize edilmesi için Parçacık Sürü Optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Benzetim çalışmaları sonucu güç katsayısı 0.99 değerinde tutulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz enerji aktarma, güç faktörü düzeltme, AC-DC dönüştürücü, yükseltici dönüştürücü

1. INTRODUCTION

Power electronics users are increasing day by day [1] with the invention of new control techniques and invention of renewable energy resources, power converters are getting highly important. In

power appliances, AC-DC converters are very important [2]. Modeling of controllers is done by average signal and linearization methods [3]. They also have numerous applications in the domain of PFC. Power Factor (PF) is decreased by the effect of harmonics and switching. This is detected by the waveform of the circuit. So, the grid is polluted by

current harmonics, which affects the power quality of grid. According to the IEC 61000-3-2 and the IEEE /ANSI 519 international standards, correction of power factor and current harmonics range are determined, simultaneously [4]. To transfer the maximum power, PF should be unity [5].

A general review of PFC in single-phase AC/DC converters using the boost converter topology for low and medium voltage as well as power appliances is discussed in reference [6]. Here PI controller is used to adjust the output voltage in DC-DC cascade boost converter [7]. In an induction heating system, PID controllers are designed and analyzed in such a way as to remove the harmonics and adjust the PF near unity [8]. An active snubber cell (ASC) with a PFC boost converter is presented to charge the batteries discussed in [9]. Conditions of soft switching and unity PF gained from light load to full load conditions in discussed here [10]. A wind turbine-based bat algorithm using hybrid fractional fuzzy PID to control the MPPT pitch is discussed in [11].

Leibnitz and L' Hospital introduced the fractional calculus theory in the late 1600s. Many studies have been done in this area. The idea of fractional calculus for feedback control was explained in 1940. It is also noticeable that classical PID controller has not better performance than FOPID controllers [12]. The fractional PI controller to correct the power factor for variable loads is briefly explained in [13].

In 1891, Nikola Tesla had done the first experiment on wireless power transfer. At the resonance frequency, wireless power transfer (WPT) by using magnetic coupling is discussed in the conference paper [14]. Wireless Charging (WC) has numerous benefits over wired charging methods. In the WPT system, the source has no physical connection with a load. Therefore, there is not any sparking chance in the system [15]. It is friendly to the environment [16]. To transfer the energy using the magnetic field, an inductively coupled power transfer (ICPT) system is used. ICPT system has minimum of two coils (primary and secondary coils). Both coils are magnetically coupled to each other. ICPT transfers energy using these inductors by the change of current [17]. The efficiency of the circuit for WPT using the Series-parallel (SP) model is discussed in

[18]. FOPI for WPT with high efficiency is discussed in [19].

In this research, controlling output voltage and PFC using a FOPI controller with an Average Current Control Method for WPT are described briefly. To determine the optimal parameters of controllers, Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm is used. Simulation has been completed using MATLAB/Simulink R2017B. The designed circuit consists of an AC-DC converter containing a transformer, boost converter and WPT system. The phase difference between current and voltage at the source side should be minimum to maintain the stable required voltage and power factor near unity. The input current waveform should be sinusoidal and output voltage should be regulated to the desired reference value [20]. To sense the current in the main circuit, R_s resistor is used [21]. The value of resistor is very small because it consumes power. Therefore, its value is carefully chosen as 0.02Ω [22]. A Fourier block of Matlab/Simulink software is used to detect the PF of circuit.

The paper concerned as like: Section 1 describes the introduction and section 2 describes wireless power transfer. Section 3 describes designing and calculation of coil. Section 4 describes the fractional order PI controller, section 5 describes the simulation and power correction, section 6 prescribes the conclusions, section 7 prescribes the acknowledgment and section 8 describes references.

2. WIRELESS POWER TRANSFER

Power electronic engineers motivated by the revolution in wireless charging batteries for Electric vehicles (EVs). Therefore, many scientists are researching nowadays to overcome wireless charging problems [23]. Charging of batteries using wireless technology is more reliable because it eliminates the necessity of a plug for an electricity outlet [24].

In the literature, there are two different theories which can be used for the analysis of WPTs. These theories are Coupled Mode Theory and Equivalent Circuit Theory (ECT). In this research, ECT is discussed only. There are four basic WPT systems. These systems are series-series (SS), series-parallel

(SP), parallel-series (PS), parallel – parallel (PP). In this paper, only the SS equivalent circuit is discussed and its diagram is given in Figure 1. The main goal of this paper is to transfer the energy using magnetic resonance by means of the air medium [25].

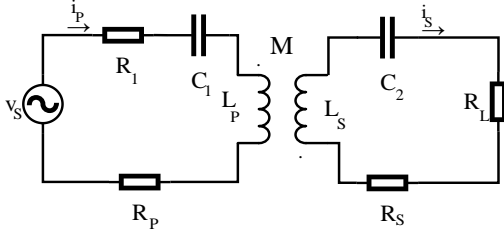


Figure 1: SS model of WPT.

Here V_s is the high-frequency voltage at the primary coil of WPT system. C_1 and C_2 are the series capacitors for primary and secondary coils respectively. R_1 is the internal resistance at high frequency. R_L is the load. R_p and R_s are the parasitic resistances for primary and secondary coils. Using Kirchhoff's voltage law in Figure 1, equation (1) and equation (2) can be written as below.

$$v_s = (R_1 + R_p + j\omega L_p + \frac{1}{j\omega C_1})i_p + j\omega M i_s \quad (1)$$

$$0 = (R_L + R_s + j\omega L_s + \frac{1}{j\omega C_2})i_s + j\omega M i_p \quad (2)$$

Here M is the mutual inductance of coils, i_p and i_s are the current flowing from the primary and secondary loop of Fig. 1. So, the impedance equations for primary Z_1 and secondary coils Z_2 are written in equation (3) and equation (4), as mentioned below.

$$Z_1 = R_1 + R_p + j\omega L_p + \frac{1}{j\omega C_1} \quad (3)$$

$$Z_2 = R_L + R_s + j\omega L_s + \frac{1}{j\omega C_2} \quad (4)$$

Putting the values of equations (3) and (4) into equations (1) and (2), respectively. The obtained results are written below.

$$v_s = Z_1 i_p + j\omega M i_s \quad (5)$$

$$0 = Z_2 i_s + j\omega M i_p \quad (6)$$

i_p and i_s can be written as below by re-arranging the equation (5) and (6)

$$i_p = \frac{Z_2 v_s}{Z_1 Z_2 + (\omega M)^2} \quad (7)$$

$$i_s = -\frac{j\omega M v_s}{Z_1 Z_2 + (\omega M)^2} \quad (8)$$

Equation (7) and equation (8) were used to calculate the input power and output power of the wireless system, respectively. The obtained input power and output power equations are written in equations (9) and (10).

$$P_p = \frac{Z_2 |v_s|^2}{Z_1 Z_2 + (\omega M)^2} \quad (9)$$

$$P_s = \frac{R_L |v_s|^2 (\omega M)^2}{[Z_1 Z_2 + (\omega M)^2]^2} \quad (10)$$

The efficiency of discussed circuit is determined from the ratio of equation (10) and equation (9). They are multiplied by 100. So, WPT system efficiency equation is written below.

$$\eta = \frac{R_L (\omega M)^2}{Z_2 [Z_1 Z_2 + (\omega M)^2]} \times 100\% \quad (11)$$

Therefore, it is clear from equation (11) that the input power, output power and efficiency are affected by the impedances of primary and secondary coil of the WPT system. To calculate the minimum equivalent impedance of the discussed circuit, the circuit should be operated on resonance conditions. The maximum current is flowing through the coils at resonance state. Equations (12) and (13) are written for primary and secondary circuit equations of the WPT system as below.

$$j\omega L_p + \frac{1}{j\omega C_1} = 0 \quad (12)$$

$$j\omega L_s + \frac{1}{j\omega C_2} = 0 \quad (13)$$

Using equation (6) and equation (7) with the equations (12) and (13), the output power equation is written as below.

$$P_R = \frac{R_L |v_s|^2 (\omega M)^2}{\left[(R_1 + R_p)(R_L + R_s) + (\omega M)^2 \right]^2} \quad (14)$$

So, the efficiency equation of WPT system is written in equation (15).

$$\eta = \frac{R_L (\omega M)^2}{\left[(R_1 + R_p)(R_L + R_s) + (\omega M)^2 \right]^2} \times \frac{1}{(R_L + R_s)} \times 100\% \quad (15)$$

3. DESIGNING AND CALCULATION OF WIRELESS COIL

In Figure 2, a simple model of wireless energy system is shown. These coils are pure copper and symmetrical. There are 25 turns in both coils. The radius of coil is 3.8 cm and radius of the wire is 1.5 mm. Primary and secondary coils have the same parameters. This model is designed on the ANSYS Maxwell. The distance between the two coils is 10 cm. There is no electrical connection between the coils, but the coils affect each other magnetically.

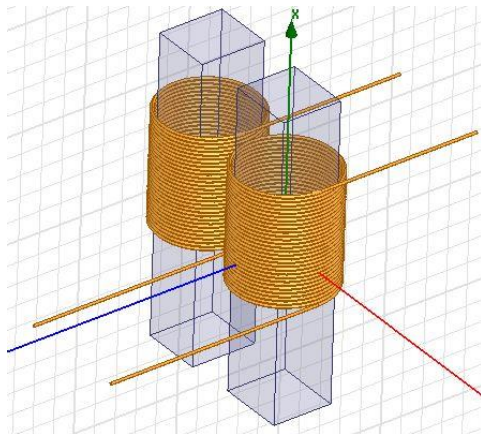


Figure 2: Designing of wireless coil.

The coils are chosen as symmetrical for ease of design. So equation (16) is used for primary and secondary coils to mathematically calculate the inductances of these coils.

$$L = N^2 C \mu_0 \mu_r \left[\ln \left(\frac{8C}{r} \right) - 2 \right] \quad (16)$$

Here N is primary and secondary coil turns, C is the radius of a circular coil (m), r is the geometric mean radius of wire (m), μ_0 is absolute permeability, ($4\pi \times 10^{-7}$ H/m) and μ_r is relative permeability.

The resonance frequency of WPT system for the primary and secondary sides can be premeditated by equations (17) and (18).

$$f_p = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_p C_1}} \quad (17)$$

$$f_s = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_s C_2}} \quad (18)$$

Here f_p and f_s are frequencies of the primary and secondary sides of the WPT system of designed circuit. Mutual inductance (M) between coils is calculated by using equation (19). K is the coupling factor. Its value range is between $0 \leq K \leq 1$. Here K is selected as 0.2 for 10 cm distance.

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_p L_s}} \quad (19)$$

To calculate the resistance of copper coil at a specified length, equation (20) is used. In mutual inductor Simulink block, the values of coil resistances are necessary to calculate using the below equation.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (20)$$

Where R is resistance of the coil (Ω), ρ is resistivity of coil material, L is length of coil (m) and A is the cross-section of the circular coil (m^2).

The value of R_m is the sum of resistance of primary and secondary coil. It is compulsory to write in mutual inductor block of Simulink.

4. FRACTIONAL ORDER PI CONTROLLER

Classical integer order calculus is the general form of fractional calculus. It consists of integral differential operators of fractional orders. To find optimum values of the parameters of FOPI controller, different techniques are used. One of the tuning rules of FOPI controller is Particle Swarm Optimization (PSO) [12]. The mathematical expression derived by Grünwald-Letnikov is defined [26]-[27].

$${}_c D_t^\alpha f(t) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{\sum_{k=1}^{\lceil \frac{t-c}{h} \rceil} (-1)^k \binom{\alpha}{k} f(t-kh)}{h^\alpha} \quad (21)$$

The continuous fractional integral differential operator is written as follows [28]:

$${}_a D_t^r = \begin{cases} \frac{d^r}{dt^r} & : r > 0 \\ 1 & : r = 0 \\ \int_a^t (dt)^r & : r < 0 \end{cases} \quad (22)$$

The fractional order derivative, which is defined by Podlubny, can be given as below.

$$\int_0^\infty D^\alpha y(t) e^{-st} dt = s^\alpha Y(s) - \sum_{k=0}^N s^{\alpha-k-1} y^k(0) \quad (23)$$

$D^\alpha y(t)$ is the derivative of order α of the function. α is a positive real number and $0 < \alpha < 1$. This method is used to determine the transfer function of FOPI. It is described below [28]-[29]:

$$G_c(S) = k_p + k_i s^{-\lambda} \quad (24)$$

Here K_p is representing the Proportional coefficient and K_i is representing the Integral coefficient of FOPI controller. PSO algorithm is a stochastic optimization method and simulates the social behavior of animals such as foraging insects, birds and fish searching for food [30]. To find the optimal coefficients of the controller, PSO algorithm is used.

5. SIMULATION AND POWER FACTOR CORRECTION

The simulation of designed circuit diagram is shown in Figure 3. In this circuit, FOPI and PI controllers are used to regulate the output voltage and to generate the reference current. Firstly, AC supply voltage is converted into DC voltage using the AC-DC converter (bridge rectifier). Then using a boost converter, the obtained DC voltage is converted into high-voltage DC. To transfer this voltage using the WPT system, a DC-AC converter is used and the energy is transferred from the primary coil to the secondary coil. Then these voltages are again converted into DC voltage using a full bridge rectifier. The circuit consists of two controllers: 1) PI controller is inner loop controller and 2) FOPI controller is the outer loop controller. The inner controller is identified as the current controller which controls the input current of the circuit. Outer loop controller is also known as a voltage controller which regulates the output voltage. The output voltage of circuit is compared with the reference voltage and this signal goes to voltage controller. The voltage controller generates a signal which is sent to the multiplier block. It multiplies the rectified voltage and inverse square of peak voltage of source V_s^2 peak [5]. Then the signal goes towards the current controller after subtracting from the current of circuit. After that PWM generator block leads this signal to a gate of MOSFET. The frequency of PWM generator is selected as 85 kHz. A shunt resistance (0.02 Ω) is used to measure current flowing from the circuit. In this study, a boost converter is used for PFC. PF is measured at the source site. A Fourier block of MATLAB/Simulink is used at the input current signal to determine the PF. According to international standards, PF should be between 0.90-0.99 or near unity. The measured PF is 0.9992 or near unity. The parameters of designed circuit are shown in Table 1 and the optimized values of parameters are shown in Table 2.

Table 1: Parameters of the designed circuit.

Parameters	Values
L	34.1 μ H
C _{out}	7 mF
R _L	53 Ω
V _{in}	230 V _{rms}
Supply frequency	50 Hz
R _s	0.02 Ω
Switching frequency	85 kHz
Rectifier capacitor	30 μ F
L _p , L _s	98.83 μ H
V _{ref}	350 V
Inductor of filter	693.2 μ H

Table 2: Optimized values of controllers.

Selected controller	Inner controller	Outer controller
PI controller	k _p =0.01 k _i =0.1	-
FOPI controller	-	k _p =9.2929 k _i =8.7043 λ =0.7806

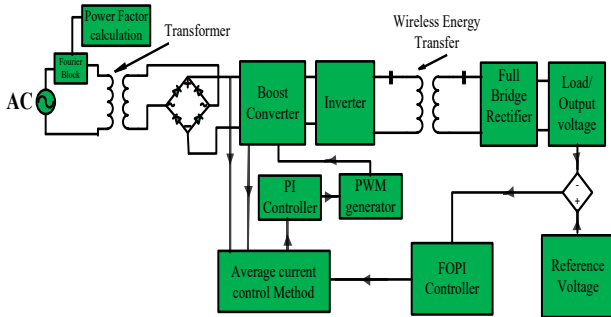


Figure 3: Matlab/Simulink block diagram.

The reference output voltage of designed circuit is selected as 350 V. The simulation output voltages are shown in Figure 4. It can be seen that there is a minor overshoot (0.001 V) occurred at almost 0.04s and a minor oscillation of output voltage can be neglected. So, it is clear that the desired output voltage is obtained successfully.

It is clearly shown that the output voltage is accurately obtained at the output of the circuit using the FOPI controller. The output current is shown in Figure 5. The output current is also smooth. In Figure 6, it is clearly shown that the power factor of

designed circuit is 0.99 which is an ideal requirement of any circuit. To calculate the parameter coefficients of the FOPI controller and PI controller, the PSO Algorithm and ITAE function is selected to complete this process as described in [30].

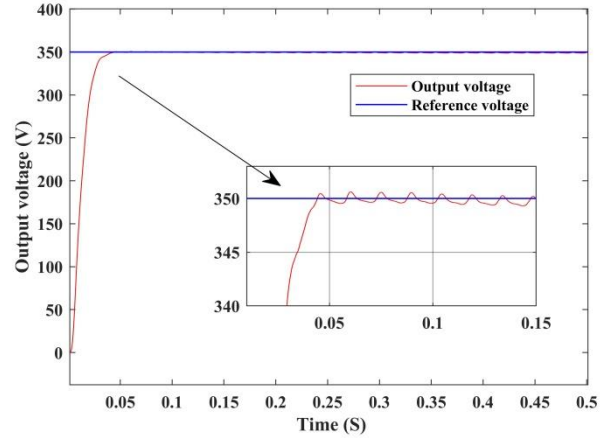


Figure 4: Output voltage using FOPI controller.

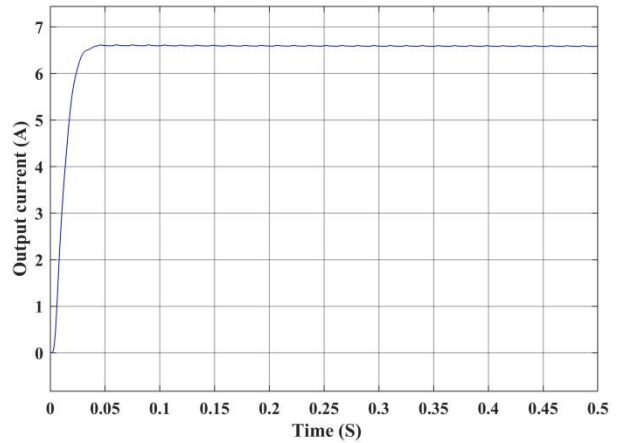


Figure 5: Output current using FOPI controller.

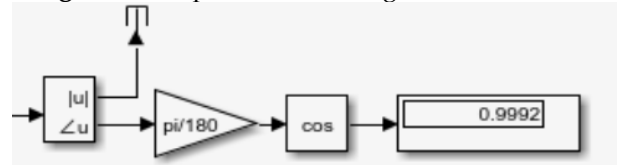


Figure 6: Power factor measurement using the Fourier block of MATLAB/Simulink.

6. CONCLUSION

This paper represents the controlling of output voltage and correcting power factor using the fractional PI controller and the average current method for a wireless energy transfer system. In the designed circuit, FOPI and PI controllers are used to correct the power factor and to transfer the maximum energy from source to load using

MATLAB/Simulation software. Here a simple boost converter topology is used to correct the PF because it is mostly used for this purpose and to increase the output voltage. Wireless energy transfer of series-series resonance circuit is also explained briefly. The controller coefficients are optimized by using PSO. The contribution of this paper to the literature is to design a circuit consisting of two controllers to provide quality energy for various loads like electrical vehicles. The output voltage is almost stable and achieved perfectly according to the selected reference voltage and the obtained value of power factor for the designed circuit is 0.99. This is a good result according to the international standard.

Author Contributions: Farhan Ahmed calculate and simulate the designed circuit under the supervision of Prof. Dr. Metin Demirtaş. They prepared the paper with together. Contribution rate of Farhan is 60% and Metin is 40%

Acknowledgement: This study is supported by the BAP project 2022/012 Balıkesir University.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

7. REFERENCES

- [1] A. Bouafassa, L. Rahmani, and S. Mekhilef, "Design and real time implementation of single phase boost power factor correction converter," *ISA Trans.*, vol. 55, pp. 267–274, Oct. 2014.
- [2] A. Kessal and L. Rahmani, "Analysis and design of sliding mode controller gains for boost power factor corrector," *ISA Trans.*, vol. 52, no. 5, pp. 638–643, Jun. 2013.
- [3] Z. Botao, W. Qi, and Z. Min, "Analytical solution for output voltage ripple coefficient of boost converter," *Electrical Engineering*, Jan. 2022.
- [4] IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems, IEEE Std. 519, 2014.
- [5] C. H. K. Jensen, R. B. Lind, J. C. Hertel, A. M. Ammar, A. Knott, and M. A. E. Andersen, "A Time-Based Control Scheme for Power Factor Correction Boost Converter," 2019 IEEE Nord. Circuits and System conference Proc., 2019.
- [6] J. R. Ortiz-castrillón, G. E. Mejía-ruíz, N. Muñoz-galeano, J. M. López-lezama, and S. D. Saldarriaga-zuluaga, "PFC Single-Phase AC / DC Boost Converters: Bridge, Semi-Bridgeless, and Bridgeless Topologies," Aug. 2021.
- [7] I. Kocaarslan, S. Kart, N. Genc, and H. Uzmus, "Design and application of PEM fuel cell-based cascade boost converter," *Electr. Eng.*, vol. 101, no. 4, pp. 1323–1332, Nov. 2019.
- [8] H. Calik, G. Yalcin, and E. Sehirli, "Power Factor Correction in Induction Heating System Using PFC Boost Converter," *Eur. J. Tech.*, vol. 10, no. 2, pp. 464–475, Nov. 2020.
- [9] O. Turksoy, U. Yilmaz, and A. Teke, "Efficient AC-DC power factor corrected boost converter design for battery charger in electric vehicles," *Energy*, vol. 221, p. 119765, Jan. 2021.
- [10] M. A. Senol, "Fuzzy Logic Based Power Factor Correction in Single Phase AC-DC System," *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilim. Derg.*, vol. 10, no. 2, pp. 602–612, April. 2021.
- [11] O. Maroufi, A. Choucha, and L. Chaib, "Hybrid fractional fuzzy PID design for MPPT-pitch control of wind turbine-based bat algorithm," *Electr. Eng.*, vol. 102, no. 4, pp. 2149–2160, May. 2020.
- [12] H. Arpacı, "Fractional Model Reference Adaptive PIAD μ Control," *J. New Results Sci.*, vol. 5, no. 11, pp. 102–117, Dec. 2016.
- [13] F. Ahmad and M. Demitas, "Fractional PI Controller to Correct the Power Factor for Variable Loads," in 1st ICEANS 2022 Konya, Turkey, 2022, pp. 1339–1342.
- [14] T. W. Versloot, D. J. Barker, and X. O. One, "Optimization of Near-Field Wireless Power Transfer Using Evolutionary Strategies," *Esa.Int*, pp. 2436–2440.
- [15] T. Thabet and D. John, "An Approach to Calculate the Efficiency for an N-Receiver Wireless Power Transfer System," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 6, no. 9, pp. 91–98, Nov. 2015.
- [16] J. Wang, S. L. Ho, W. N. Fu, and M. Sun, "Analytical design study of a novel witrlicity charger with lateral and angular misalignments for efficient wireless energy transmission," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 47, no. 10, pp. 2616–2619, Oct. 2011.
- [17] I. Okasili, A. Elkhateb, and T. Littler, "A Review of Wireless Power Transfer Systems for Electric Vehicle Battery Charging with a Focus on Inductive Coupling," *Electron.*, vol. 11, no. 9, April 2022.
- [18] Huang Xueliang, J. Qingjing, T. Linlin, W. Wei,

- Z. Jiaming, and Z. Yalong, "Study on Series-Parallel Model of Wireless Power Transfer via Magnetic Resonance Coupling," *Trans. CHINA Electrotech. Soc.* Vol.28, vol. 28, no. 3, pp. 171–176, Mar 2013.
- [19] F. Ahmad and M. Demirtas, "Fractional Order PI Controller for Wireless Power Transfer with High Efficiency," in 3rd ICAENS, July 20-23, 2022, Konya, Turkey, 2022, pp. 1085–1089.
- [20] K. Ding, "Active power factor correction using sliding mode control with reaching law," *ICIEA 2007: 2007 Second IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, May 23-25, 2007.
- [21] Lloyd Dixon, "Average Current Mode Control of Switching Power Supplies," *Proc. Intersec. Energy Convers. Eng. Conf.*, vol. 1, pp. 218–223, 1991.
- [22] P. R. Mohanty and A. K. Panda, "Fixed-Frequency Sliding-Mode Control Scheme Based on Current Control Manifold for Improved Dynamic Performance of Boost PFC Converter," *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.*, vol. 5, no. 1, pp. 576–586, March 2017.
- [23] Y. Yan, W. Shi, and X. Zhang, "Design of UAV wireless power transmission system based on coupling coil structure optimization," *Eurasip J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2020, no. 1, March 2020.
- [24] N. Ramsaroop and O. O. Olugbara, "Wireless power transfer using harvested radio frequency energy with magnetic resonance coupling to charge mobile device batteries," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 16, Aug. 2021.
- [25] Y. Liu, J. Fan, T. Zuo, Y. Zhang, L. Dong, and J. Liu, "Simulation study on series model of wireless power transfer via magnetic resonance coupling," *Proc. 2017 IEEE 3rd Inf. Technol. Mechatronics Eng. Conf. ITOEC 2017*, vol. 2017, pp. 191–195, Oct. 2017.
- [26] H. S.-R. Silva-Ortigoza, *Control Design Techniques in Power Electronics Devices*. Springer; 2006 edition, pp. 20-30.
- [27] E. Ilten and M. Demirtas, "Fractional order super-twisting sliding mode observer for sensorless control of induction motor," *COMPEL - Int. J. Comput. Math. Electr. Electron. Eng.*, vol. 38, no. 2, pp. 878–892, Jan. 2019.
- [28] M. Çelebi and A. B. Aşçi, "Fractional order control of a sinusoidal output inverter," *Istanbul Univ. - J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 16, no. 2, pp. 3037–3042, May. 2016.
- [29] R. El-Khazali, "Fractional-order PI^λD^μ controller design," *Comput. Math. with Appl.*, vol. 66, no. 5, pp. 639–646, Sep. 2013.
- [30] H. Calgan and M. Demirtas, "A robust LQR-FOPIAD_μ controller design for output voltage regulation of stand-alone self-excited induction generator," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 196, no. March, p. 107175, March. 2021.

RESEARCH ARTICLE

Tensile Bond Strength of Reinforced Concrete Beams Reinforced with Steel Fibers

Tarig M. A. Ahmed^{1,*}, Abid AbuTair¹, Sokrates Ioannou¹

¹ Civil Engineering Department, Higher Colleges of Technology, Abu Dhabi Men's College, United Arab Emirates

Received / Geliş : 02.11.2022

Accepted / Kabul : 14.02.2023

*Corresponding Author: Tarig M. A. Ahmed, tahmed@hct.ac.ae

ABSTRACT: The effects of steel fibers, or SF, on the tensile bond strength of the reinforced concrete beams, were studied in an experimental investigation, the findings of which are presented in this paper. Tests show that the steel fibers enhanced both the tensile bond strength of reinforced concrete beams and some of the mechanical properties of concrete. The addition of steel fibers in the concrete mix improves some of the engineering properties of concrete such as the compressive strength of cube, cylinder, and modulus of rupture, and decreases other properties namely: the modulus of elasticity, and the indirect tensile test. The addition of steel fibers too leads to an increase in the ultimate bond strength of the beams and delivers a lower deflection in the steel fibers reinforced concrete beams compare to the control beams. This study led to the fact that It is recommended that a beam with a 43Ø lap length will fail at a load similar to the datum beam, i.e. beam without lap. All the lapped beams reported bond failure lower than the datum beam. The presence of steel fibers diminishes the slippage within the laps.

Keywords: Tensile bond strength; steel fibers; compressive strength; deflection.

1. INTRODUCTION

An understanding of the impact of polypropylene, PP, and steel fibers, SF, on plain and reinforced concrete are fundamental for the plan, design, and repair of different concrete structures. Concrete is well known as a naturally brittle construction material. Typical stresses such as fatigue, loading, and impact, cause cracking and lead to failure. The addition of reinforcement bars to the concrete reduces these stresses and prohibits the formation of cracks, therefore enhancing the ductility and the load-carrying capacity of the concrete structures. When loading concrete structures enforced with steel fibers, compressive and tension stresses, start to build in both the tension and compression zones. As the load increases and the stress reaches a critical point small cracks start to appear in the tension zone and propagate upwards toward the compression zone. Steel fibers interact within the concrete and reduce the tensile force. When the crack propagates upward, the hooked ends of the

fibers stay secured on each side of the crack, acting as stress transfer media. The pull-out takes full effect once the maximum bond strength with the concrete is reached, this enables the next fibers to take over, delaying cracks from growing and therefore leading to failure at a higher ultimate load than that of the unreinforced concrete structures [1].

The main aim of Bencardino, F., Rizzuti, L., et. al. investigation is to study the contribution of steel fibers to the post-cracking and fracture behavior of plain and fibers concrete samples tested under three-point or four-point bending tests. Strength properties such as fracture behavior, crack tip, post-cracking, and crack mouth opening displacement were observed [2].

The authors concluded that the results obtained from the specimens reinforced with steel fibers and subjected to a four-point loading gave a higher stress value than the results recorded from the three-point bending test. It has also been concluded that the crack strength values of the two tests are

within 10% of the European standard value. Bencardino et. al. studied the fracture properties and fracture behavior of concrete containing polypropylene and steel fibers [2]. Their author's carried out their experiment on notched prismatic samples and cube samples. The samples are cast from sound concrete and fiber concrete. The latter consists of 1% and 2% of steel or polypropylene fibers. The primary goal of the Aminuddin Jamerana et. al. study is to comprehend the underlying behavior of FRC under high temperature conditions [3]. However, this study suggested combining two distinct types of fibers with concrete before exposing it to elevated temperatures at normal temperature, such as 27 °C (room temperature), 200 °C, and 400 °C. Steel and propylene fibers, which are two different forms of fiber, have different properties. The experimentation is the main emphasis of the study. Additionally, the steel-to-propylene ratio was adjusted with percentages of (100-0), (75-25), (50-50), (25-75), and (0-100) at 1.5% of the fibers proportion from the volume of the concrete. The investigation came to the conclusion that concrete loses strength when samples are exposed to rising temperatures. This is because the concrete started to disintegrate and experience a spalling effect. The concrete becomes more fragile as a result. The impacts that occur in the concrete, however, were reduced by the inclusion of fibers to the concrete mixture.

In Muneer K. Saeed's paper, the impact of steel and polypropylene fibers on heat of hydration and early-age cracking in mass concrete buildings is examined experimentally and statistically [4]. The evolution of strength, Young's modulus, and adiabatic heat increase in fly ash concrete mixes with steel and polypropylene fibers were investigated experimentally. A variety of concrete mixtures were examined, including those using regular Portland cement, 40% fly ash in place of cement, 40% fly ash mixed with 0.3 and 0.5% steel fibers, and 40% fly ash mixed with 0.3 and 0.5% polypropylene fibers. Using a semi-adiabatic calorimeter, the evolution of compressive and tensile strength, modulus of elasticity, and adiabatic heat increase for all blends were measured. Two full-scale mass concrete blocks with conventional concrete and fly ash concrete saw their temperature change at various points throughout time. The study came to the conclusion that, as compared to

steel fibers, polypropylene fibers significantly improve performance for early-age cracking.

1.1 Research Significances

This study's goal was to investigate how steel fibers affected the tensile bond strength of reinforced concrete beams that were being loaded by static forces. To investigate the impact of the Steel Fibers, SF, on the tensile bond strength, 10 reinforced concrete beams were cast. The center of the bending zone was used to cast the beam with four lap lengths. Additionally, two reference or datum beams with continuous reinforcing in the tension zone were cast. The engineering properties of the concrete mix utilized for this investigation were also studied.

2. EXPERIMENT PROGRAM

2.1 Details Of The Tensile Bond Test Specimens

The impact of the steel fibers on the tensile bond strength of reinforced concrete beams was investigated. The experimental program consists of five 120x100x1300-mm beams with distinctive lap lengths at the middle of the uniform bending zone. Each beam is enforced with two 6-mm-diameter mild steel bars in the compression zone, whereas the tension zone was enforced with two 8-mm-diameter deformed high-tensile steel bars. The shear zone only was enforced with 2.5mm mild steel bars as stirrups. There were no compression reinforcements or links in the bending zone. Four lap lengths were utilized of 5, 10, 20, and 30 times the diameter of the bars. One beam with continuous tension reinforcement considers a reference for the other lapped beams. The latter 5 beams were cast using steel fibers concrete and they were compared with another identical 5 beams cast from sound, control, concrete, i.e. without steel fibers. The two bunches of beams were tested in a comparative way. A typical detail is shown in Figure 1. Figure 1 also shows load arrangement of beams for investigation of bond failure.

2.2 Concrete Mixes and Material Properties

Two mixes were utilized throughout this research namely Steel Fibre, SF, and Control, C, Mixes. Table 1 shows the mixing degree of the concrete mix used, which contains 400 kg/m³ of cement and uses a water-cement proportion of 0.5. The substance of

steel fibers is 0 kg/m³ and 20 kg/m³, for the control and Steel Fibers, SF, reinforced beams, mixes respectively.

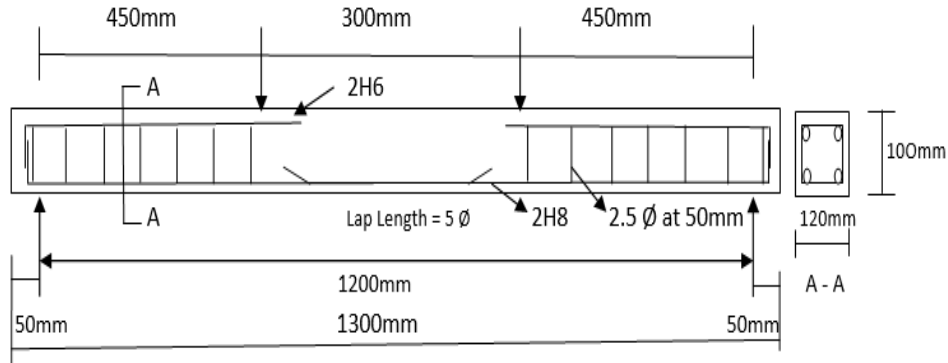


Figure 1: Beam B1, lap length=5xbar diameter (ϕ) = 5x8 = 40 mm.

Table 1: The control and Steel fibers mix proportions.

Ingredients	Source	Unit	Weight
Ordinary Portland Cement	UCC	kg/m ³	400
Mixing Water	MUN	kg/m ³ or m ³	200 or 0.20
Aggregate: 20mm	RAK	kg/m ³	700
Aggregate: 10mm	RAK	kg/m ³	330
Aggregate: 5mm	RAK	kg/m ³	515
Find Sand	RAK	kg/m ³	295
Steel Fibers	Dramix	kg/m ³	20
Control Steel Fibers	Dramix	kg/m ³	0

Steel fiber concrete is stronger than regular concrete produced with a similar mixing schedule. The fibers are not consumed in the primary climate of concrete and the fiber aspect ratio (length/diameter = L / d) mainly affects the function. Three unique steel fibers with diverse L/d proportions of 45, 65, and 80 can be utilized to meet essential necessities, quality control, and least single execution. The last mentioned L/d proportion was utilized for this examination [5]. These bonded fibers provide the ultimate flexibility, absorption of energy, and tear control.

Steel fiber is made from stainless steel wire or cold-drawn steel wire with little carbon content. Their nature is more flexible and 1.100 N/mm² is its tensile strength. They are available in flat, hooked, and undulated designs. The steel fibers can be utilized in anti-seismic buildings, shotcrete, precast concrete, tunnel lining, airport runways, and highway pavements, among other applications.

2.3 Production of The Specimens

The 10 reinforced beams used in this study were designed to focus on the effect of the fiber on engineering properties and the tensile bond strength of R. C. beams are designed in wooden formwork. These samples use a table vibrator to vibrate for a specified period [1]. After leveling the concrete surface, the beam was placed under the polyethylene sheet. After 1 day, each sample was de-molded and then transformed into a tank of water at 20 °C and 100% relative humidity for 28 days. The test was completed within 1 hour after removing the sample from the water tank.

2.4 Materials Properties

The control samples used to investigate the engineering properties of the two concrete mixes with their dimensions are shown in Table 2 [5-8].

2.5 Apparatus and Test Procedure

The specimens for examining the mechanical properties of steel fibre-reinforced concrete were tried in a compression machines. The capacity of the latter is 3000kN and the load rating, according to the BS, was 0.3N/(mm².s) [5-9]; all the samples were situated on the inflexible bed of the machine. The 10 beams utilized to examine the tensile bond strength of steel fibers reinforced concrete were tested statically under four-point bending. The shear span-to-effective depth ratio was 6.6 and the moment zone of 300mm. The anchorage was 3.1 times the bar diameter and the supports were 50mm from the ends of the beam as shown in Figure 2. The load was applied to the beams in increments of 2kN up to failure. The deflection was measured as the

load was applied to the beams. For each beam, the load at which the first crack was visible to the naked eye, the progress of cracking, the failure mode, and the maximum load to failure were recorded.

3. TEST RESULT AND DISCUSSION

3.1 The Effect of Steel Fibers on The Engineering Properties of Plain Concrete

The results of the static tests carried out to explore the impact of steel fibre, SF, on the mechanical properties of plain concrete are appeared in Table 2, though the results of the impact of steel fibre on the tensile bond strength of reinforced concrete beams are appeared in Tables 3 and 4, respectively.

Table 2: The engineering properties of Sound and SF concrete mixes.

Concrete Properties	Control Mix (0 kg/m ³)	Steel Fibers Mix (20kg/m ³)
Cube Compressive Strength (N/mm ²) – Sample 150 x 150 x 150 mm ³	52.58	58.34
Cylinder Compressive Strength (N/mm ²) Sample 300 x 150mm ²	21.44	29.67
Indirect Tensile Test (N/mm ²) Sample 100 x 200mm ²	6.64	5.43
Modulus of Rupture (N/mm ²) Sample 100 x 100 x 500 mm ³	12.35	13.25
Modulus of Elasticity (N/mm ²) Sample 150 x 300mm ²	42.27	22.12
Water Absorption (g) Sample 150 x 150 x 150 mm ³	0.11	0.11
Slump (mm)	140	140

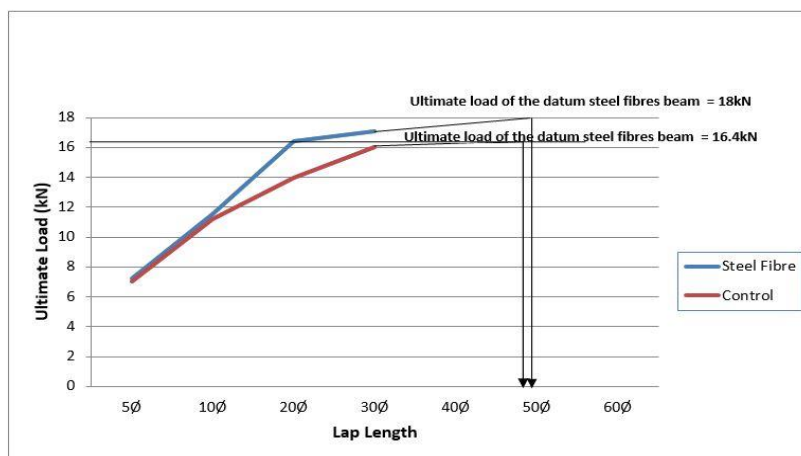


Figure 2: Ultimate load versus lap length of control and steel fiber reinforce concrete beams.

Table 2 shows that the addition of the steel fibers to the concrete mix, SF mix, increases the cube

compressive strength, cylinder compressive strength, and modulus of rupture by 9.9%, 27%, and

22.28%, respectively, compared with the control samples. In contrast, the indirect tensile strength and the modulus of elasticity are reduced sharply by 22.23% and 47.67% respectively. The slump test and the water absorption are not affected by the addition of steel fibers [10].

3.2 The effect of Steel Fibers on The Tensile Bond Strength of Reinforced Concrete Beams

The impact of steel fibers on the tensile bond strength of reinforced concrete beams appears in Tables 3 and 4. The experimental ultimate load of

the steel fibers reinforced concrete beams and their control, column 3, as well as the calculated ultimate load according to BS8110 [9], column 9, are shown up within the same tables. Column 5 shows the percentage changes in the ultimate load of the steel fibers concrete beams compared to the unlapped, datum, reinforced concrete beam. The load arrangement of the beams for the examination of tensile bond strength appeared in Figure 1.

Table 3: The impact of SF on the R. C. beam's tensile bond strength (B1-SF = Beam No. 1 Steel fibers, B1-C = Beam No. 1 Control, Bar diameter = $\varnothing = 8$ mm, $\beta = 0.5$ theoretical value according to BS811 = $1.4 \times \beta \times \sqrt{f_{cu}}$).

Beam No.	Length of the lap ($\varnothing=8$ mm)	Final Load (kN)	Percentage different (%)	Surface area of the bars, πdl (mm^2)	Bond Strength (N/mm^2)	Calculated Final Load (kN) (BS811)	Mode of Failure
B1 – SF	5 \varnothing	7.2	2.78%	1005.31	12.47	3.16	Flexure Failure
B1 – C	5 \varnothing	7.0			12.22	3.00	Flexure Failure
B2 – SF	10 \varnothing	11.5	2.61%	2010.62	10.47	6.15	Flexure Failure
B2 – C	10 \varnothing	11.2			10.37	5.83	Flexure Failure
B3 – SF	20 \varnothing	16.4	14.63%	4021.24	8.11	11.65	Flexure Failure
B3 – C	20 \varnothing	14.0			6.72	11.00	Flexure Failure
B4 – SF	30 \varnothing	17.1	6.43%	6031.86	5.57	16.50	Flexure Failure
B4 – C	30 \varnothing	16.0			5.27	15.37	Flexure Failure
B5 – SF	No Lap	18.0	8.89%	-	-	-	Flexure Failure
B5 – C	No Lap	16.4			-	-	Flexure Failure

Table 4: Detail of specimens and test results. (B1-SF = Beam No. 1 Steel fibers, B1-C = Beam No. 1 Control, Bar diameter = $\varnothing = 8$ mm, $\beta = 0.5$ theoretical value according to BS811 = $1.4 \times \beta \times \sqrt{f_{cu}}$)

Beam No.	Length of the lap ($\varnothing=8$ mm)	Final Load (kN)	Percentage difference (%)	% Change related to datum B5-S	% Change related to Datum B5-C	Bar surface area πdl (mm^2)	Tensile Bond Strength (N/mm^2)	Calculated Ultimate Load (kN) (BS8110)
B1-SF	5 \varnothing	7.2	2.78%	60.0%	-	1005.31	12.47	3.16
B1 – C	5 \varnothing	7.0		-	56.1%		12.22	3.00
B2-SF	10 \varnothing	11.5	2.61%	36.11%	-	2010.62	10.47	6.15
B2 – C	10 \varnothing	11.2		-	31.71%		10.37	5.83
B3-SF	20 \varnothing	16.4	14.63%	8.89%	-	4021.24	8.11	11.65
B3 – C	20 \varnothing	14.0		-	14.63%		6.72	11.00
B4-SF	30 \varnothing	17.1	6.43%	5.0%	-	6031.86	5.57	16.50
B4 – C	30 \varnothing	16.0		-	2.44%		5.27	15.37
B5-SF	No Lap	18.0	8.89%	-	-	-	-	-
B5 – C	No Lap	16.4		-	-	-	-	-

The previous results show some interesting effects of steel fibers on the tensile bond strength of reinforced concrete beams tested statically in this research:

1. The ultimate bond strength of reinforced concrete beams increased due to the addition of steel fiber. The increase in bond strength shown by beams B1-SF, B2-SF, B3-SF, B4-SF, and B5-SF are 2.78%, 2.61%, 14.63%, 6.43%, and 8.89%

compared to their corresponding control specimens, respectively.

2. The low percentage change between the steel fibers beams, B1-S and B2-S, and their corresponding control specimens show that the 5Ø, and 8Ø lap length is the fundamental factor. Beams B1-SF, B2-SF, B3-SF, B4-SF, and B5-SF with lap lengths of 5Ø, 10Ø, 20Ø, 30Ø showed a decrease in bond strength of 60%, 36.11%, 8.89%, and 5% respectively, compared with the control beam B6-S, therefore only B1-S with lap length 5Ø showed a reduction more than 50% whereas less than 50% reduction was observed in the other beams.
3. The control beams B1-C, B2-C, B3-C, B4-C, and B5-C, without steel fibers, reported a reduction in the ultimate strength of 56.1%, 31.7%, 14.63%, and 2.44%, individually, compared with beam B6-C, the unlapped datum beam.
4. It is noticeable that the flexural strength for both the control and steel fibers concrete specimens, beams, is reduced due to the incomplete bond strength within the span. Higher flexural strength was obtained due to the increase in the ultimate tension in the bar as the lap length increased. The increase in lap for both the control and steel fibers and datum beams resulted in a decrease in the experimental bond strength.
5. Figure 2 shows the experimental ultimate load plotted against the lap length of the beams. The horizontal lines that represent the experimental ultimate load of the control beams and steel fibers beams were extended to intersect the curves for steel fibers and control, sound, beams. According to this figure, a lap length of 43Ø appears to be required for normal concrete to reach the same ultimate load as continuous reinforcement. This is in line with BS8110's recommendation for a lap length of 42Ø. On the other hand, for the steel fibers, a concrete lap length of 40Ø is probably required to attain the beam's continuous tension reinforcement strength.
6. All the lapped beams, cast from steel fibers and control concrete failed at a lower load than their respective control beams. The steel fibers reinforced concrete beams failed at a higher load than their corresponding datum beams.
7. The steel fibers seem to increase the flexural strength of reinforced concrete beams without laps, control, only by 8.89% and the percentage reduction decreases as the lap length increases. For short lap lengths, i.e. 5Ø and 10Ø, the steel fibers have only a small effect since the percentage reduction is too small to be significant. Steel fibers enhance the flexural strength of reinforced concrete beams, control, i.e., without laps, by 8.89% while the percentage reduction decreases with the lap length. For short lap lengths, i.e. 5Ø and 10Ø, the steel fibers have only a small effect since the percentage reduction is too small to be significant.
8. Figures 3 and 4 show the deflection against load characteristics of the steel fibers and datum beams. The figures illustrate that the steel fibers reinforced concrete beams had a lower deflection than the control beams at any given point when the steel fibers were present. The figures also demonstrated that the relationship between deflection and bond strength is not linear.
9. Figure 5 shows that the steel fibers and control concrete beams with lap length failed by centre splitting with few cracks in the flexure zone, whereas flexure failure with flexure cracks was observed in the datum beams. Therefore, it is quite clear that the mode of failure is related to the lap length and was not altered by the steel fibers' presence.

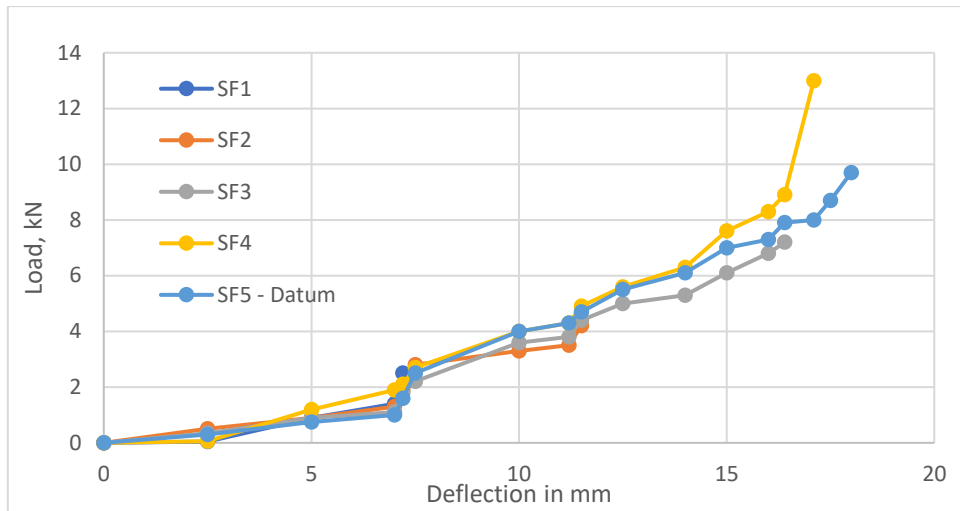


Figure 3: Ultimate load versus lap length of steel fiber reinforced concrete beams.

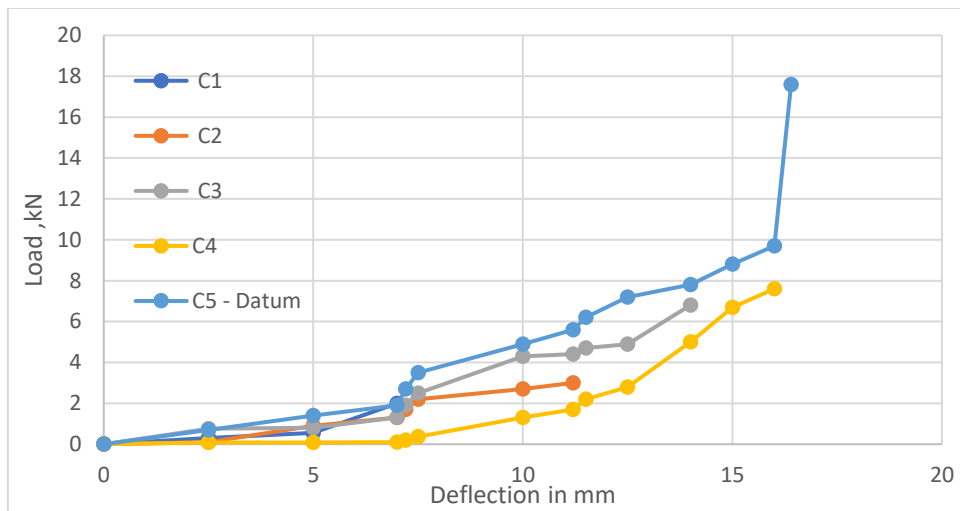


Figure 4: Ultimate load versus lap length of control reinforce concrete beams.



Figure 5: Failure mode under static load, for the steel fibers, reinforced concrete beam, B4 – S, and control beam B4 – C

4. CONCLUSION

In combination with the empirical examination in the previous paragraphs, the following can be concluded:

1. The presence of steel fibers in the concrete improves the compressive strength of both the cube and cylinder as well as the modulus of rupture. On the other hand, it reduces the values of the modulus of elasticity and the indirect tensile test. The change in the engineering properties could be due to the improvement in the bond between concrete and steel fibers. The fiber's orientation also hindered the propagation of the cracks due to stacking, therefore delaying the final destruction. The increase in water absorption is unnoticeable in both mixes.
2. The ultimate bond strength of the beams increased due to the addition of the fibers and produce a lower deflection in the steel fibers reinforced concrete beams than in the control beams. This could be due to the ductile behavior of the steel fibers on the tension zone of the beams that alter the normally elastic distribution of stress and strain over the beam depth and therefore shift the neutral axis of the beam toward the compression zone.
3. It is obvious that a normal concrete beam with a 43ϕ lap length will lead to a failure load similar to that of a beam without a lap in the tension zone. This complies with BS 8110 guideline for 42ϕ minimum lap length. Similarly, steel fibers reinforced concrete beam with 40ϕ lap length is anticipated to fail at a similar ultimate load.
4. Bond failure at a load lower than the datum beam load was recorded in all the lapped beams. The addition of steel fibers reduces the slippage in the laps.

Author Contribution: The authors carried out the practical and written parts of the research.

Acknowledgement: The authors would like to thank Transgulf Ready Mix Company and the HCT technicians for their great help and support during this investigation.

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest.

5. REFERENCES

- [1] State-of-the-Art Report on Fibers Reinforced Concrete. ACI Committee 544, 1R-96. 2002.
- [2] F. Bencardino, L. Rizzuti, G. Spadea, R.N. Swamy, "Experimental evaluation of fiber reinforced concrete fracture properties," *Compos. B. Eng.*, vol. 41, no. 1, pp. 17-24, January 2010.
- [3] Aminuddin Jamerana, Izni S. Ibrahima S., Siti Hamizah Yazan, Siti Nor A. A. Rahim, "Mechanical Properties of Steel-polypropylene Fibers Reinforced Concrete under Elevated Temperature," in *The 5th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF-5)*, Indonesia, 2015.
- [4] Muneer K. Saeed, Muhammad K. Rahman, Mohammed H. Baluch, "Influence of steel and polypropylene fibers on cracking due to heat of hydration in mass concrete structures," *Struct. Concr.*, vol. 20, no. 2, pp. 808-822, Apr. 2019.
- [5] BS 1881; testing Concrete Part 122 – Method of determination of water absorption. British Standard Institute London 1985.
- [6] BSEN1230-6; testing hardened concrete – Part 6: Method of determination of tensile splitting strength: Making test cylinders from fresh concrete, 2000.
- [7] BSEN 12390-5; testing hardened concrete – Part 5: Method of determination offlexural strength, 2000.
- [8] BS 1881; testing Concrete Part 121 – Method of determination of static modulus of elasticity in compression. British Standard Institute London 1985.
- [9] BSEN 12390-3; testing hardened concrete – Part 3: Method of determination of Compressive strength of cubes, 2000.
- [10] Tarig M.A. Ahmed, A. A. Tair, "The effect of polypropylene and steel fibers on the engineering properties of concrete," in *5th World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'20)*, Lisbon, Portugal Virtual Conference, October 2020, Paper No. ICGRE 198.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Mevcut ve Güçlendirilmiş Bina Temel Sistemlerinin Karşılaştırılması

Comparison of Existing and Strengthened Building Foundation Systems

Mustafa Esat Coşkun^{1,*} Şenol Gürsoy²

¹ Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, 78050, Karabük

² Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük

Geliş / Received: 11.01.2023

Kabul / Accepted: 19.04.2023

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Mustafa Esat Coşkun, mustafaesatc@gmail.com

ÖZ: Güncellenen deprem yönetmelikleri ile birlikte deprem performansı yapılan birçok binanın mevcut performansı yetersiz olduğu görülmüş ve talebe bağlı olarak söz konusu binalarda güçlendirme işlemi uygulanmaktadır. Güçlendirme projesi hazırlanan binalarda güçlendirme işlemi sadece üst yapıdaki yapısal elemanlara uygulanmakta ve bu şekilde hedef performans seviyesi sağlanmaktadır. Ancak güçlendirilen binaların kütlelerini mevcut durumlarına göre artırıldığından bununla orantılı olarak binaya etki eden deprem kuvveti de artırılmış olmaktadır. Ayrıca üst yapı elemanlarından temel sistemine aktarılan kuvvetler de büyüdüğü için mevcut temellerin üst yapı yüklerini taşıyamama durumu da oluşmaktadır. Diğer taraftan mevcut temel sistemlerinin yeni deprem yönetmeliğine göre taşıma gücünü ve zımbalama dayanımlarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Diğer bir ifadeyle güçlendirilen binaların mevcut temel sisteminde taşıma gücü, zımbalama dayanımı ve kesit yetersizliği oluşması durumunda temellerin güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu makalede örnek olarak seçilen okul binasının mevcut temel sistemi ve söz konusu temel sistemine farklı yöntemlerle yeni temeller ilave edilerek güçlendirilmiş temel sisteminin karşılaştırması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar üst yapıda uygulanan güçlendirme işlemi ile söz konusu yapı temelinin yetersiz kalabileceğini dolayısıyla hazırlanan güçlendirme projelerinde mutlaka temel sisteminin yeterliğinin kontrol edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca mevcut temel sistemi ile yönetmelik kriterlerini karşılamayan okul binasının güçlendirilmiş temel sistemiyle yeterli emniyet ve performansı sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güçlendirme, taşıma gücü, temellerde güçlendirme, zımbalama

ABSTRACT: With the updated earthquake regulations, it has been seen that the current performance of many buildings with earthquake performance is insufficient, and depending on the demand, the strengthening process is applied in these buildings. In buildings for which a retrofit project is prepared, the strengthening process is applied only to the structural elements of the superstructure, and in this way, the target performance level is achieved. However, since the masses of the strengthened buildings are increased according to their current conditions, the earthquake force acting on the building is increased proportionally. In addition, since the forces transferred from the superstructure elements to the foundation system increase, the existing foundations cannot carry the superstructure loads. On the other hand, the bearing capacity and punching strength of the existing foundation systems should be checked according to the new earthquake regulation. In other words, in case of insufficient bearing capacity, punching strength and cross-section in the existing foundation system of the reinforced buildings, the foundations should be strengthened. In this article, the existing foundation system of the school building chosen as an example and the reinforced foundation system by adding new foundations to the said foundation system with different methods were compared. The results obtained reveal that the foundation of the structure may be insufficient with the reinforcement process applied in the superstructure, therefore, the adequacy of the foundation system must be checked in the reinforcement projects prepared. In addition, it has been seen that the school building, which does not meet the regulation criteria with its existing foundation system, provides sufficient safety and performance with its strengthened foundation system.

Keywords: Strengthening, bearing capacity, strengthening the foundations, punching

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze kadar yaşanan depremler, özellikle eski deprem yönetmeliklerine göre tasarlanan, mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesini büyük ihtiyaç haline getirmiştir [1]-[5]. Ülkemizde geçmişte 1992 Erzincan, 1999 Kocaeli ve Düzce, 2011 Van, 2020 Elazığ depremleri ve yakın zamanda meydana gelen Düzce ili Gölyaka ilçesinde 6,1 büyüklüğünde depremi mevcut bina performanslarının incelenmesi gerektiğini gözler önüne sermektedir. Yapıların deprem performansını belirlemek için yapılan çalışmaların neredeyse tamamı üst yapı sistemiyle ilgili olup, olası güçlendirme projesi hazırlanan binaların temel sisteminin yeterliliğinin incelenmediği dikkat çekmektedir. Oysaki mevcut binaları güçlendirmek için taşıyıcı sisteme eklenen yapısal elemanlar binaların deprem davranışını değiştireceği gibi temele aktarılan yüklerin de artmasına neden olacaktır. Ayrıca temel güçlendirme projeleri tarihi yapıların korunması ve gelecek çağlara aktarılması için de yapılmaktadır. Ancak yapılacak güçlendirme işlemlerinin söz konusu yapıya uygun müdahale ve iyileştirmeleri içermelidir [6].

Bu makalede güçlendirme projesi hazırlanan bir okul binasının temelinde oluşan taşıma gücü farklılıkları Sta4-Cad yapısal çözümleme programı değerlendirilerek, ihtiyaç oluşması durumunda alternatif temel güçlendirme projesi hazırlanarak mevcut ve güçlendirilmiş temel sisteminin karşılaştırması ve üst yapının temel sistemine olan etkileri araştırılmaktadır [7]. Diğer bir ifadeyle Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY) göre temel güçlendirmelerinin de dikkate alınması gerektiği ve olası farklı temel güçlendirme yöntemleri belirtilerek bu konudaki literatür bilgilerinin zenginleştirilmesi amaçlanmaktadır.

2. DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİNDE İZLENECEK YÖNTEMLER

Deprem performansının belirlenmesi için bugün yürürlükte olan TBDY verilen tasarım kuralları dikkate alınacaktır [8]. Buna göre mevcut bir okul binasının TBDY'e göre performans analizi yapılmaktadır. Okul binasının deprem

performansının belirlenebilmesi için öncelikle söz konusu okul binası ile ilgili bilgilerin toplanması gerekmektedir. TBDY'e göre bilgi düzeyleri sınırlı ve kapsamlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [8]. Bunlardan sınırlı bilgi düzeyi; incelenecek olan bina ile ilgili mevcut bilgi ve verilerin kısıtlı olduğu anlamına gelmektedir. Kapsamlı bilgi düzeyinde ise mevcuttaki bilgi ve verilerin fazla olduğunu ifade etmektedir. Bu bilgi ve veriler ise söz konusu okul binasının projesinin ve detay çizimlerinin bulunmasıyla ifade edilmektedir. Ayrıca her iki bilgi düzeyi de kendi içinde farklı katsayılarla sahiptir. Dolayısıyla seçilecek bilgi düzeyine göre bu katsayılar performans analizinde kullanılmaktadır. Bu veriler ve yapılan çalışmalar aşağıdaki başlıklarda altında özetlenmiştir.

Bu kapsamda örnek olarak seçilen ilkokulu binası için kapsamlı bilgi düzeyi kullanılmıştır. Söz konusu bilgi düzeyinde verilen bilgilere göre taşıyıcı sistemde bulunan donatı adetleri, donatıların korozyon durumları ve beton basınç dayanımı değerleri belirlenmiştir.

3. OKUL BİNASI HAKKINDA BİLGİLER

Okul binasının projesi bulunmadığı için mimari ve statik rölövesi çizilmiştir. Alınan karot numuneleri sonucunda zemin kattaki beton dayanımının 16 MPa, 1. ve 2. katlardaki beton dayanımının ise 14 MPa olduğu görülmüştür. Yapılan tahribatlı ve tahribatsız donatı tespit yöntemleri ile donatılar tespit edilmiş ve donatı gerçekleşme katsayısı % 85 olarak hesaplanarak donatı düzeni oluşturulmuştur.

Deprem performansı incelenecek okul binasına ilişkin deprem ve zemin parametreleri TBDY'de verilen zemin etüdü çalışmaları kapsamında belirlenmiştir (bkz. Tablo 1). Bu tablodaki veriler 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan (DD2) deprem düzeyi için belirlenen katsayılarıdır. TBDY'e göre mevcut binaların performans hedeflerinin belirlenmesinde Tablo 2'de verilen deprem düzeylerine göre performans analizlerinin yapılması gerekmektedir. Tablo 2'deki deprem tasarım sınıfına bağlı olarak incelenecek binalar *Normal* ve *İleri* olmak üzere iki performans hedefine ayrılmaktadır. Buna göre DD1 (50 yılda aşılma olasılığı % 2 olan) deprem düzeyinde şekildeğiştirmeye göre tasarım (ŞGDT) yaklaşımı

ile ileri performans hedefi olan Kontrollü Hasar (KH) performansının sağlanması ve DD3 (50 yılda aşılma olasılığı %50 olan) deprem düzeyinde ise ŞGDT yaklaşımı ile ileri performans hedefi olan Sınırlı Hasar (SH) performansının sağlanması gerekmektedir. Performans analizi yapılacak olan binada normal performans hedefinin seçilmesi

durumunda DD2 deprem düzeyinde ŞGDT yaklaşımı ile KH performansı sağlanacaktır. Bu makalede deprem performansı belirlenecek okul binasının DTS 1a olduğu için ileri performans hedefine göre performans analizleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1: Okul binasına ilişkin deprem ve zemin parametreleri.

Deprem parametreleri		Zemin parametreleri	
S _s	0,7025	Zemin yatak katsayısı (K _o), t/m ³	2433
S ₁	0,2288	Zemin taşıma gücü gerilmesi (q _i), t/m ²	43
S _{D5}	0,87	Zemin Sınıfı	ZD
S _{D1}	0,49	(V _s) ₃₀ , m/s	244
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	1a		
Deprem Düzeyi (DD)	DD2		
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)	4		
Dayanım fazlalığı katsayısı (D)	2,5		
Bina önem katsayısı (I)	1		
Hareketli yük katılım oranı (n)	0,6		
BYS	7		

Tablo 2: Mevcut binaların performans analizinde kullanılacak deprem düzeyleri [8]

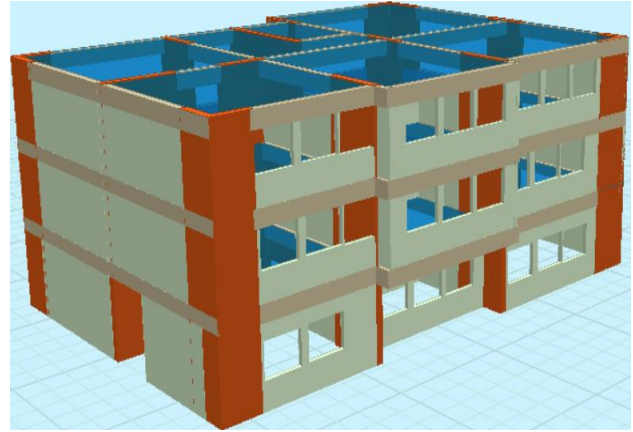
Deprem düzeyleri	DTS= 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS= 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme
DD3	-	-	SH	ŞGDT
DD2	KH	ŞGDT	-	-
DD1	-	-	KH	ŞGDT

3.1 Okul Binasının Statik ve Mimari Projeleri

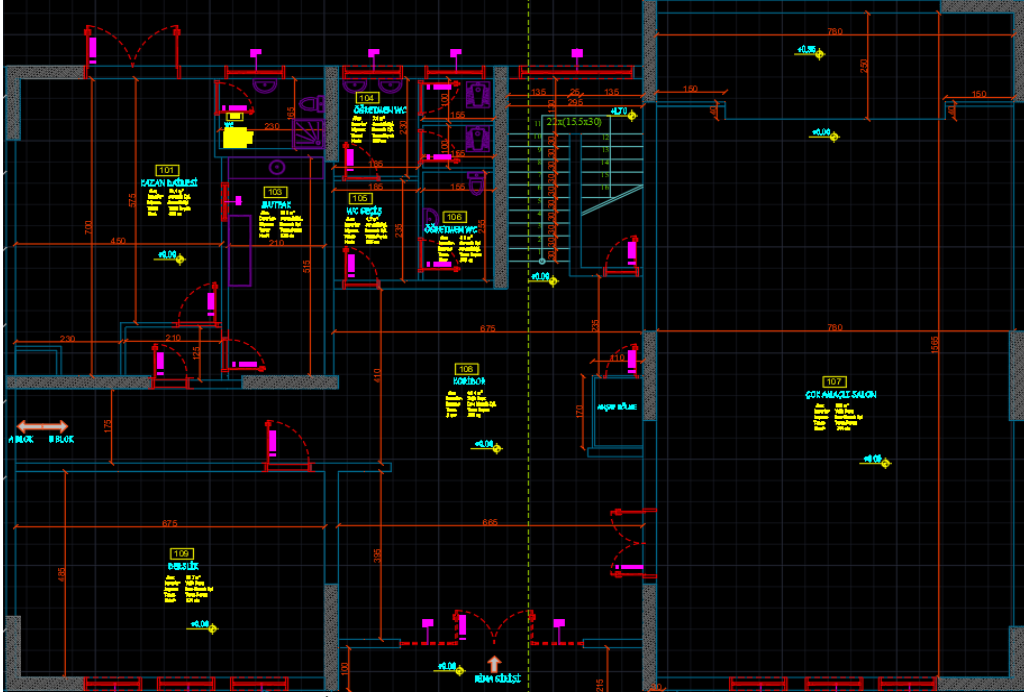
Dikkate alınan okul binasının ilişkin geometrik özellikleri ve Sta4-Cad programıyla oluşturulan üç boyutlu görünümü sırasıyla Tablo 3 ve Şekil 1’de verilmektedir. Ayrıca söz konusu okul binasının mevcut mimari projesi ise Şekil 2’de görülmektedir.

Tablo 3: Okul binasının geometrik özellikleri.

Taşıyıcı sistem türü	Betonarme çerçeve + boşluksuz perde sistem
Kat sayısı	3
Okul binası Eni boyutları (m)	22,30
Okul binası Boy	16,25



Şekil 1: İlkokul binasının 3 boyutlu görünümü.



Şekil 2: İlkokul binasının zemin kat mimari planı

4. DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

Bu çalışmada dikkate alınan okul binasının taşıyıcı sistem elemanları Sta4-Cad programında kolonlar ve kirişler çubuk eleman ve betonarme perde duvarlar ise kabuk eleman olarak modellenmiştir. Söz konusu okul binasının performans analizi TBDY'e göre Sta4-Cad programı kullanılarak çok modlu artımsal itme analizi yöntemiyle yapılmıştır. Kapsamlı bilgi düzeyine göre okul binası mevcut durumu için gerçekleştirilen performans analizlerinden yapısal elemanlarda oluşan hasar oranları sırasıyla Tablo 4~Tablo 7'de verilmektedir. Bu tablolardan DD1 deprem düzeyinde *Göçme Bölgesinde* (GÖ) kolonların bulunduğu ve DD3 deprem düzeyinde de *Belirgin Hasar* (BH) bölgesinde kolonların bulunduğu için hedef performans seviyesinin sağlamadığı görülmektedir.

Tablo 4: Mevcut okul binasının DD1 deprem düzeyinde kiriş hasar yüzdeleri.

Kat No	Kiriş Hasar Yüzdeleri															
	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	45.5	54.5	0	0	54.5	45.5	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	36.4	63.6	0	0	27.3	72.7	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	36.4	63.6	0	0	27.3	72.7	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks					72.7											

Tablo 5: Mevcut okul binasının DD1 deprem düzeyinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	Kolon Kesme Kuvveti Yüzdeleri															
	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	100	0	0	0	97.1	2.9	0	0	3.4	47.1	0	49.5	3.4	47.1	0	49.5
2	100	0	0	0	100	0	0	0	5	42.5	0	52.4	5	42.5	0	52.4
1	100	0	0	0	64.3	35.7	0	0	9.8	11.6	0	78.6	9.8	11.6	0	78.6
Maks																

Tablo 6: Mevcut okul binasının DD3 deprem düzeyinde kiriş hasar yüzdeleri.

Kat No	Kiriş Hasar Yüzdeleri															
	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks																

Tablo 7: Mevcut okul binasının DD3 deprem düzeyinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	Kolon Kesme Kuvveti Yüzdeleri															
	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	100	0	0	0	79.4	20.6	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks																

Gerçekleştirilen yapısal çözümlerlerden elde edilen performans sonuçları Tablo 8'de verilmektedir. Bu tablodan söz konusu okul

binasının hem DD1 hem de DD3 deprem düzeylerinde hedef performans seviyelerini sağlamadıkları görülmektedir. Bu nedenle okul binasının güçlendirilmesi gerekmektedir.

Tablo 8: Mevcut okul binasının deprem performans sonucu.

Deprem Düzeyi	ŞGDT Değerlendirme		
	Mevcut Performans	Hedeflenen Performans	Güçlendirilmiş Bina Performansı
DD1	GB	KH	KH
DD3	KH	SH	SH
Sonuç	Okul binasının güçlendirilmesi gerekmektedir.		Okul binası hedeflenen performans kriteri sağlanmaktadır.

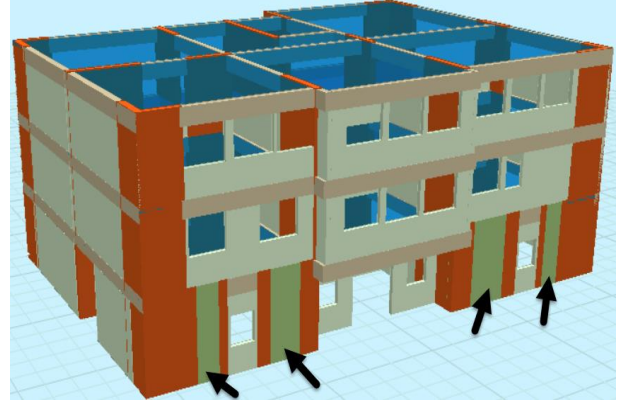
Okul binasının güçlendirme projesi, taşıyıcı sisteme güçlendirme perdeleri ilave edilerek hazırlanmıştır. Ancak güçlendirme projesi hazırlanırken sadece zemin kata 4 farklı güçlendirme perdesi eklenerek TBDY’de önerilen performans seviyesi hedeflenmiştir (bkz. Şekil 3 ve Şekil 4). Yapısal çözümlerden sadece zemin kata güçlendirme perdeleri kullanılarak gerekli performans hedefinin hem DD1 hem de DD3 deprem düzeylerinde sağlandığı görülmektedir.

Burada güçlendirme perdelerinin yetersiz olan dış akslara yerleştirildiğini söz konusu güçlendirme perdelerinin iç akslara yerleştirilmesi durumunda gerekli olan yapısal eleman yeterliliklerinin sağlanamadığını belirtmek yararlı olacaktır.

Güçlendirilmiş okul binasının kapsamlı bilgi düzeyine göre gerçekleştirilen performans analizlerinden yapısal elemanlarda oluşan hasar oranları sırasıyla Tablo 9-11’de verilmektedir. Bu tablolardan mevcut durumda DD1 deprem düzeyinde -y ve +y deprem doğrultularında göçme bölgesindeki kolonların ortadan kalktığı ve BH durumundaki kolonların sayılarının ise azaldığı görülmektedir. Ayrıca DD3 deprem düzeyinde ise tüm kolonlar SH bölgesinde bulunmakta ve yönetmelik koşulları sağlamaktadır.

Okul binasının mevcut ve güçlendirilmiş modelinin yapılan analizlerinden performans durumları sırasıyla Şekil 5-Şekil 8’de verilmektedir. Bu şekillerden mevcut ve güçlendirilmiş okul binası KH ve SH performans seviyelerine göre değerlendirildiğinde, güçlendirilmiş okul binasında daha iyi bir performans düzeyi elde

edilmektedir. Diğer bir ifadeyle, güçlendirilmiş okul binası KH ve SH performans seviyelerine göre değerlendirildiğinde hedeflenen performans düzeyi sağlanmaktadır.



Şekil 3: Güçlendirilmiş okul binasının 3 boyutlu modeli

Tablo 9: Güçlendirilmiş okul binasının DD1 deprem düzeyinde kiriş hasar yüzdeleri.

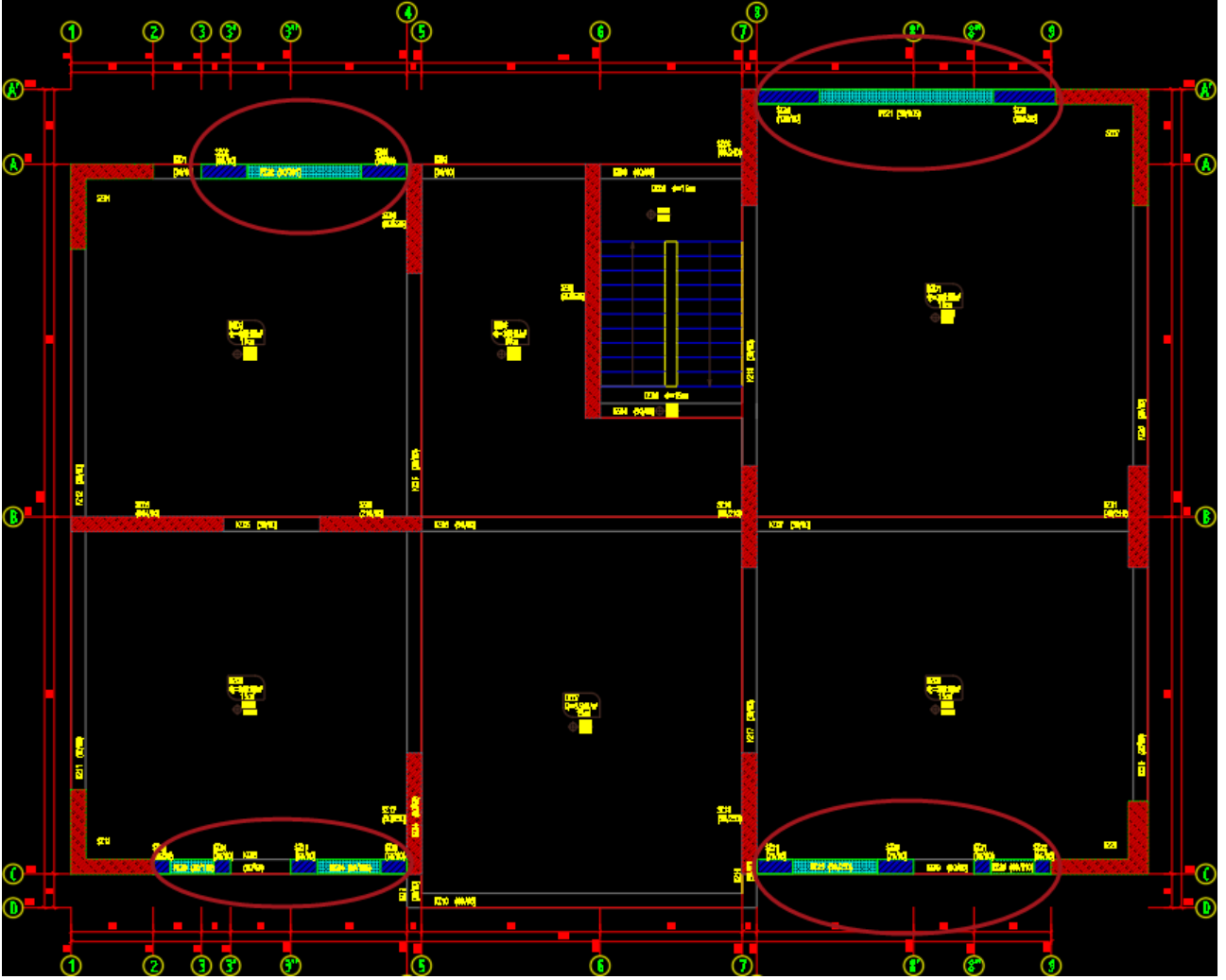
Kat No	Kiriş Hasar Yüzdeleri															
	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	36.4	63.6	0	0	36.4	63.6	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	18.2	81.8	0	0	18.2	81.8	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks																

Tablo 10: Güçlendirilmiş okul binasının DD1 deprem düzeyinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.

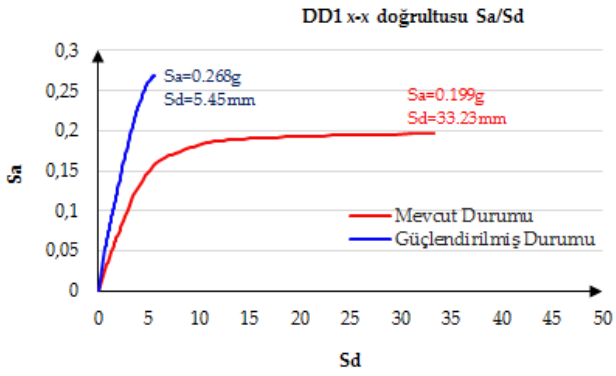
Kat No	Kolon Kesme Kuvveti Yüzdeleri															
	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	100	0	0	0	100	0	0	0	53	47	0	0	53	47	0	0
2	100	0	0	0	95.6	4.4	0	0	66	34	0	0	63.6	36.4	0	0
1	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	87.8	12.2	0	0
Maks																

Tablo 11: Güçlendirilmiş okul binasının DD3 deprem düzeyinde kiriş hasar ve kolon kesme kuvveti yüzdeleri.

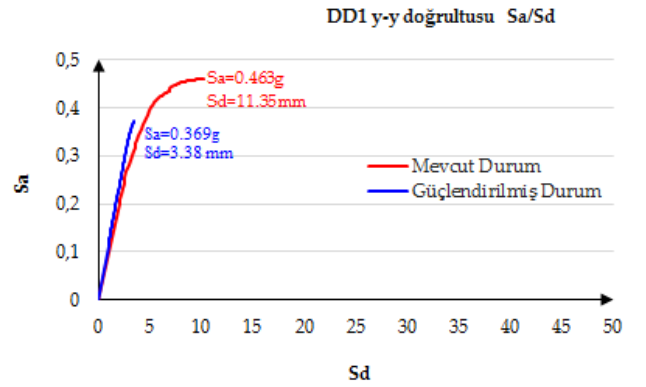
Kat No	Kiriş Hasar ve Kolon Kesme Kuvveti Yüzdeleri															
	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks																



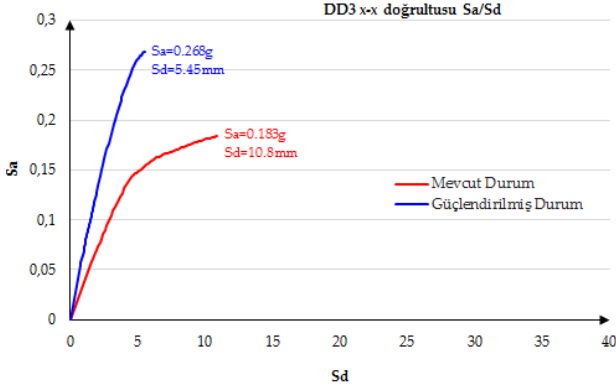
Şekil 4: Güçlendirilmiş okul binasının kalıp planı.



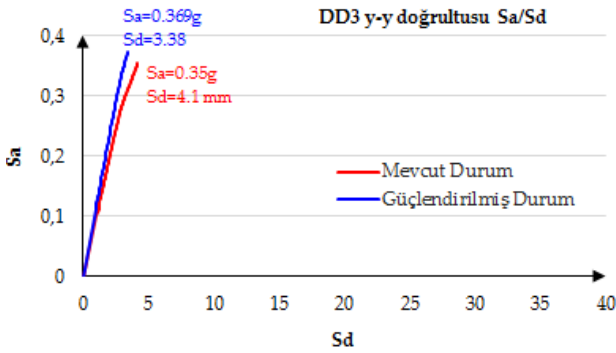
Şekil 5: Mevcut ve güçlendirilmiş okul binasının x-x doğrultusunda DD1 deprem düzeyindeki performans durumları.



Şekil 6: Mevcut ve güçlendirilmiş okul binasının y-y doğrultusunda DD1 deprem düzeyindeki performans durumları.



Şekil 7: Mevcut ve güçlendirilmiş okul binasının x-x doğrultusunda DD3 deprem düzeyindeki performans durumları



Şekil 8: Mevcut ve güçlendirilmiş okul binasının y-y doğrultusunda DD3 deprem düzeyindeki performans durumları

4.1 Mevcut Temel Sisteminin Tespit Edilmesi

Üst yapı güçlendirme projesi hazırlanan okul binasının mevcut temel sisteminin belirlenerek temellerin taşıma gücü gerilmesi ve zımbalama dayanımlarının da belirlenmesi gerekmektedir. Söz konusu okul binasının temel sistemi iş makineleriyle iç ve dış cephede kazı işlemi yapılarak ortaya çıkarılmıştır (bkz. Şekil 9 ve Şekil 10). Şekil 9 ve 10'dan görüldüğü gibi okul binasında kirişli radye temel sistemi tespit edilmiştir. Radye temelin plak yüksekliğinin 30 cm, kirişlerin genişliğinin 110 cm ve yüksekliğinin ise 80 cm olduğu tespit edilmiştir. Radye temelde sıyırma işlemi yapılarak x doğrultusunda Ø12/15 ve y doğrultusunda ise Ø12/30'luk donatıların olduğu görülmüştür (bkz. Şekil 10). Tespit edilen temel sisteminin enkesiti şematik görünüm Şekil 11'de verilmektedir.

Temel taşıma gücü hesabı TBDY'de verilen karakteristik dayanım (q_k) formülasyonu kullanılarak yapılmıştır. Okul binasının temel

sisteminin statik ve deprem yüklemeleri altındaki taşıma gücü kontrolü Tablo 11'de verilmektedir. Bu tablodan tasarım dayanımı değeri (q_t) gerilmeleri karşılaştırıldığında en olumsuz durumun 1.4G+1.6Q yük kombinasyonundan oluştuğu görülmektedir. Diğer taraftan okul binası temel sisteminin kayma kontrolü TBDY'e göre yapılarak Tablo 12'de verilmiştir. Bu tabloda P_{tv} , temel tabanına etkiyen düşey tasarım basınç kuvvetini, δ temel tabanı ile zemin arasındaki sürtünme açısını, γ_{Rh} , sürtünme direnci dayanım katsayısını, R_{th} , tasarım sürtünme direncini, R_{pk} , karakteristik pasif direnci, γ_{Rp} , pasif direnç dayanım katsayısını, R_{pt} , tasarım pasif direncini ve V_{th} , temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvvetini göstermektedir.

Tablo 11: Okul binasının temelde statik ve deprem yüklemelerindeki tasarım gerilmeleri

Maksimum tasarım gerilmesi (t/m^2)	G	Q	E	W	1.4G+1.6Q	G+Q+E	G+Q+W
	11.74	4.426	10.84	0.214	23.517	20.095	16.190

Tablo 12: Okul binasının temel sisteminin kayma kontrolü

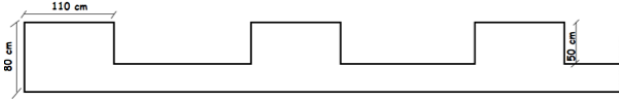
Yük bileşeni	Doğrultu	P_{tv} (kN)	$\tan\delta$	γ_{Rh}	R_{th} (kPa)	R_{pk} (kPa)	γ_{Rp}	R_{pt} (kPa)	$R_{th}+0.3 R_{pt}$	V_{th} (kN)	Sonuç
1.4G+1.6Q	x-x	0	0	1,1	0	179,01	1,4	127,86	38,359	0	Yeterli
	y-y	0	0	1,1	0	235,51	1,4	168,22	50,466	0	Yeterli



Şekil 9: İlkokulunun tespit edilen temel boyutları.



Şekil 10: İlkokulu temel sisteminin donatılarının belirlenmesi.

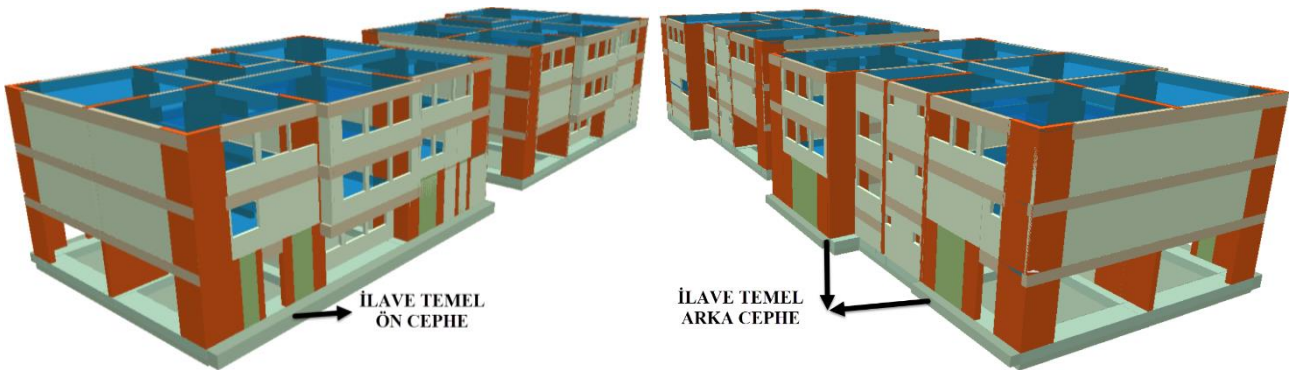


Şekil 11: Okul binasının mevcut temel sisteminin enkesit görünümü.

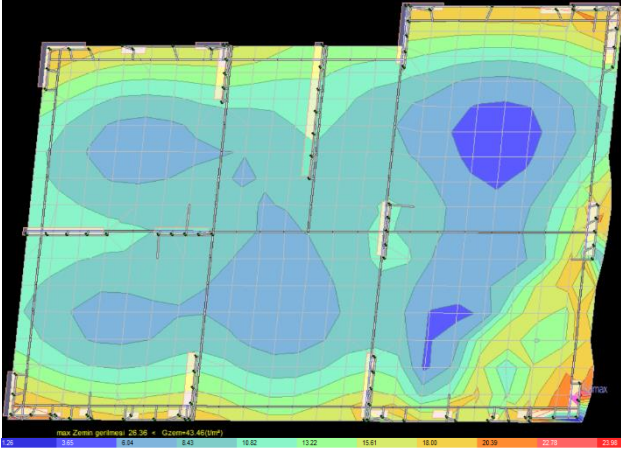
Mevcut kirişli radye temel sisteminin bütün bölgelerinin sıyrılarak donatılarının tespit edilmesi işlemi çok zahmetli ve hasarlı yöntem olduğundan, okul binasının yapıldığı 2001 yılında yürürlükte olan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğe (ABYYHY) göre donatı ataması yapılarak minimum donatı oranı kabulü yapılmıştır [9]. Ayrıca mevcut temel sisteminin beton dayanımını girebilmek için açılan temel sisteminden karot numuneleri alınmıştır. Elde edilen karot numuneleri ortalama basınç dayanımları 0,85 katsayısı ile çarpılarak mevcut temel sisteminin C28 beton sınıfına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Okul binasının mevcut ve güçlendirilmiş temel sisteminin Sta4-Cad programıyla oluşturulan 3 boyutlu görünümü Şekil 12’de verilmektedir. Sta4-Cad programıyla söz konusu okul binası temel sistemiyle birlikte ABYYHY’e göre analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda donatı ataması yapıldıktan sonra mevcut temel sisteminin taşıma gücü gerilmesi ve zımbalama kontrolü yapılmıştır (bkz. Şekil 13 ve Şekil 14). Şekil 13’ten meshlere ayrılan temel sisteminin maksimum zemin gerilmesi $23,517 \text{ t/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer zemin taşıma gücü gerilmesi olan (q)

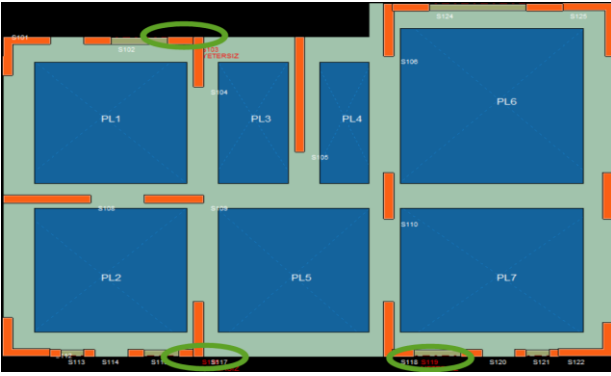
$43,46 \text{ t/m}^2$ değerinden küçük olduğundan taşıma gücü yeterlidir. Şekil 14’te zımbalama dayanımı yetersiz bölgeler yeşil daire içine alınmıştır. Buna göre özellikle başlık bölgesi olarak tasarlanan kolonların altındaki temel sisteminin zımbalama dayanımını karşılamadığı görülmektedir. Bu durumda zımbalama dayanımının artırılması için mevcut temel sistemine ilave temel tasarlanabilir ya da ilave temeller güçlendirme perdelerinden gelen yükün daha düzgün şekilde aktarılması için de yapılabilmektedir. Bu çalışmada yeterli zemin taşıma gücü gerilmesinin ve zımbalama dayanımlarının sağlanması için mevcut temel sistemi ilave temellerle güçlendirilmiştir. Şekil 15’te dış cephelere eklenen turkuaz renkli kısımlar ilave temel sistemini ifade etmektedir. Tasarlanan ilave temeller plak 1 (PL1), plak 2 (PL2) ve plak 3 (PL3) olarak adlandırılmakta ve bunların malzeme özellikleri ve donatı bilgileri Tablo 13’te verilmektedir. Gerçekleştirilen yapısal çözümlerden güçlendirilmiş temel sisteminin zımbalama dayanımının yeterli olduğu görülmektedir (bkz. Şekil 16). Ayrıca temel güçlendirilmesiyle temellerin efektif alanı artırıldığından üst yapıdan gelen yükler daha sağlıklı aktarılmaktadır. Diğer taraftan yapı-temel etkileşimli yapısal çözümleme yapıldığında söz konusu temellerin daha rijit davranış göstermesi nedeniyle üst yapıdaki yapısal elemanlarda oluşan kesit tesirlerinin azaldığı görülmüştür.



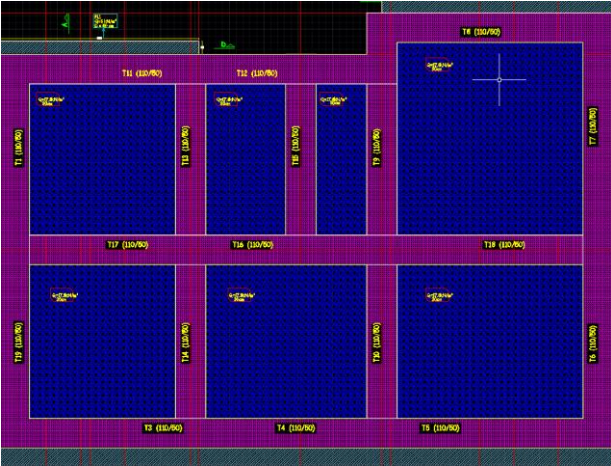
Şekil 12: Okul binasının mevcut ve güçlendirilmiş temel sisteminin üç boyutlu modeli.



Şekil 13: Kirişli radye temel sisteminin maksimum zemin gerilmesi analiz sonucu



Şekil 14: Okul binasının temel sisteminin zımbalama dayanımı sonucundan bir görünüm



Şekil 15: İlkokulu binasının temel sistemi güçlendirme uygulaması

Uygulama anlamında ilave temellerin mevcut temele ankre edilmesi için kullanılacak ankraj donatıları manuel olarak oluşturulacaktır. Ankraj donatıları; minimum çapı Ø16 mm, gömülme derinliği en az çapının on katı olan (10Ø) ve aralığı en fazla 40 cm olan ankraj donatıları kullanılacaktır [10]. Buna ek olarak ankraj donatısının kenetlenme

boyunun belirlenebilmesi için l_b boyunun belirlenmesi gerekmektedir [11]. Buna göre l_b boyu çekmeye çalışan elemanlarda;

$$l_b \geq \begin{cases} 0,12 * (f_{yd} / f_{ctd}) * \emptyset \\ 20\emptyset \end{cases} \quad (1)$$

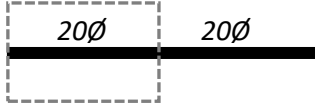
bağlantılarına göre hesaplanmalıdır. Yönetmeliğe göre basınca çalışan elemanlarda ise kenetlenme boyunun 20Ø'den az olmaması gerektiği belirtilmektedir [10]. Ankraj donatılarının uygulanmasında kullanılan epoksi malzemesi de çok büyük önem arz etmektedir. Epoksinin kalitesine göre yeni temelin mevcut temele olan aderansı değişiklik göstermektedir.

S113/S112		
d= 43 cm	Ac =2.424m ²	ϕx=0, ϕy=0
Ex =-19.3 cm		Ey =-63.7 cm
Ix = 1.941681 m ⁴		Iy = 2.178079 m ⁴
Up = 563.78 cm		fctd=127.71 t/m ²
Mx = 69.12 (tm)		My = 34.20 (tm)
Xt= 138.85 cm	Yx=1.0	Yt= 121.76 cm
Vd =116.21/116.21 (t)		Vdq= 33.08 (t)
Vp = Y · fctd · Up · d > Vd - Vdq		
Vxd=83.12 < Vp= 309.60 (t)	ZİMBALAMA YETERLİ.	
Vyd=83.12 < Vp= 309.60 (t)	ZİMBALAMA YETERLİ.	
S118/S119		
d= 43 cm	Ac =7.186m ²	ϕx=0, ϕy=0
Ex =-58.4 cm		Ey =-238. cm
Ix = 20.508765 m ⁴		Iy = 33.652683 m ⁴
Up =1671.23 cm		fctd=127.71 t/m ²
Mx = 0.20 (tm)		My = 68.24 (tm)
Xt= 276.82 cm	Yx=1.0	Yt= 381.74 cm
Vd = 60.37/ 60.37 (t)		Vdq= 21.29 (t)
Vp = Y · fctd · Up · d > Vd - Vdq		
Vxd=39.07 < Vp= 917.76 (t)	ZİMBALAMA YETERLİ.	
Vyd=39.07 < Vp= 917.76 (t)	ZİMBALAMA YETERLİ.	
S122/S123		
d= 43 cm	Ac =1.575m ²	ϕx=0, ϕy=0
Ex =-45.1 cm		Ey =-73.1 cm
Ix = 0.334542 m ⁴		Iy = 1.081410 m ⁴
Up = 366.47 cm		fctd=127.71 t/m ²
Mx =155.02 (tm)		My = 2.68 (tm)
Xt= 79.97 cm	Yx=1.0	Yt= 88.35 cm
Vd =177.75/177.75 (t)		Vdq= 13.23 (t)
Vp = Y · fctd · Up · d > Vd - Vdq		
Vxd=164.52 < Vp= 201.26 (t)	ZİMBALAMA YETERLİ.	
Vyd=164.52 < Vp= 201.26 (t)	ZİMBALAMA YETERLİ.	

Şekil 16: Güçlendirilmiş temel sisteminin zımbalama dayanımının yeterliliği

Tablo 13: İlave temellerin malzeme özellikleri ve donatı bilgileri.

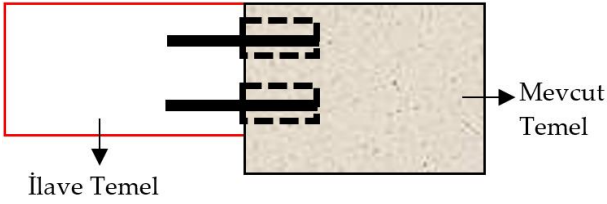
	PL1	PL2	PL3
H (cm)	50	50	75
Beton Sınıfı	C30	C30	C30
Donatı Sınıfı	B420C	B420C	B420C
X üst	Ø12/24	Ø12/24	Ø14/18
X alt	Ø12/25	Ø12/25	Ø14/16
Y üst	Ø12/25	Ø12/25	Ø12/16
Y alt	Ø12/24	Ø12/24	Ø12/16



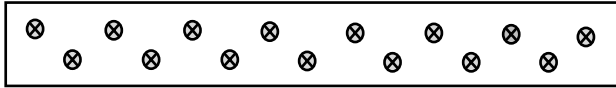
Şekil 17: Örnek ankraj donatı detayı.

Teknik literatürde temellerde aderansın sağlanması ile ilgili ACI 318 ve TS 500 yönetmeliklerinin kıyaslaması yapılmıştır [10, 12]. Buna göre TS 500'ün çok düşük aderans gerilmeleri tanımladığı dolayısıyla tekrar gözden geçirilerek düzenlemeler yapılması gerektiği ifade edilmiştir [13].

Bu makalede yapılan temel güçlendirmesinde kullanılacak ankraj donatıları şaşırtmalı olarak ankre edilmiştir. Okul binasının temel güçlendirme projesi için tasarlanan ankraj kesitleri Şekil 18 ve ankraj detayının boy kesiti ise Şekil 19'da verilmektedir. Şekil 18 incelendiğinde ankraj donatılarının şaşırtmalı olarak ankre edildiği görülmektedir. Yapılan bu tasarımda Ø20/30 L=80 cm olan ankraj donatıları kullanılmıştır.



Şekil 18: İlave temelin mevcut temel sistemine ankre edilmesi örneği.



Şekil 19. İlave temelin ankraj donatıları detayı.

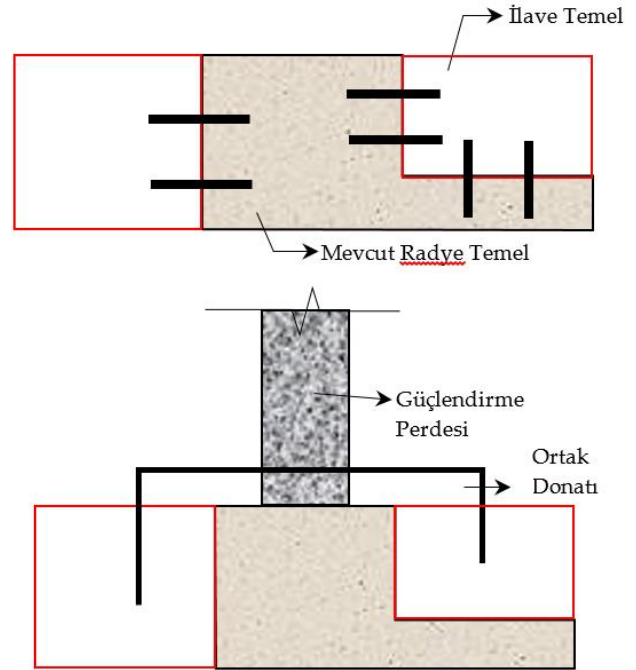
4.2. Güçlendirme Amacıyla İlave Edilen Temelin Tasarım Yöntemleri

Temel güçlendirmesinde birçok tasarım uygulaması yapılabilmektedir. Bu makale kapsamında kirişli radye temel sisteminde aşağıdaki verilen temel güçlendirme yöntemleri tercih edilmiştir.

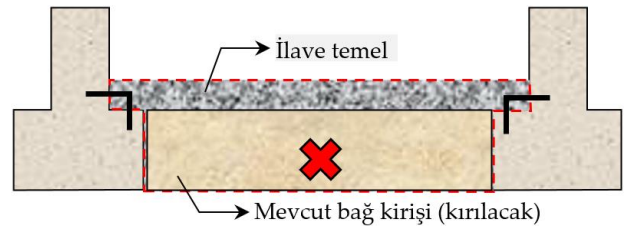
Yöntem 1: Bu yöntemle göre hem dış aksta hem de iç aksta ilave temel tasarımı gerçekleştirilmiştir. Buna göre mevcut temel sistemine yatay ankrajlarla ankre edilen ilave temeller eklenmektedir. Ayrıca mevcut radye temel sistemine denk gelmeleri

durumunda dikey ankrajlarla da ankre edilmesi yararlı olacaktır. İlave temellerin donatı düzeni aşağıdaki gibi yapılabilmektedir (bkz. Şekil 20). Bu şekilden görüldüğü gibi ilave temellerde donatılar ortak kullanılarak her iki ilave temelden daha fazla katkı alınabilmektedir. Güçlendirme perdesinin donatıları yerleştirilmeden önce her iki ilave temeli birbirine bağlayan donatılar oluşturulduktan sonra güçlendirme perdeleri oluşturulması faydalı olacaktır.

Yöntem 2: Yerinde tespit edilen temel türü bağ kirişleri ile birbirine bağlanan tekil temellerden de oluşabilir. Bu tür temellerde bağ kirişleri çekmeye çalıştığı için üstüne gelen güçlendirme perdeleri eğilmeye çalışacaktır. Dolayısıyla mevcut temel sisteminin radye temellerle güçlendirilmesi durumunda bağ kirişlerinin kırılarak monolitik bir plak oluşturulması gerekmektedir (bkz. Şekil 21).

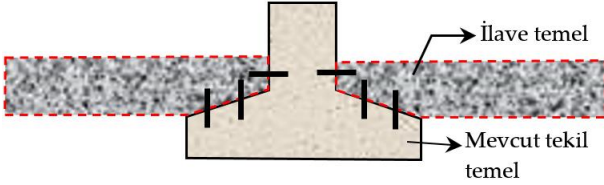


Şekil 20: Birinci yöntemle ilişkin ilave temel sistemine ilişkin ortak donatı düzenlemesi.



Şekil 21: İkinci yöntemle ilişkin ilave temel tasarımı.

Yöntem 3: Mevcut temel sistemindeki temel yüklerinin ilave edilen temellere taşıtılması için kesme ve çekme ankrajlarının epoksi ile ankre edilmesi gerekmektedir. Bu yöntemde ilave temeller mevcut temelin yükünü ilk yapıldığında taşımayacak, ancak zamanla gerçekleşen konsolidasyon oturmasıyla ilave temeller düşey yükleri taşımaya başlayacaktır.



Şekil 22: Üçüncü yönteme ilişkin ilave temel tasarımı.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deprem performansı yeterli olmayan ve üst yapı için güçlendirme projesi hazırlanan binaların temellerinin de performansının artırılması gerekebilmektedir. Temel altındaki zemin taşıma gücü ve yatak katsayısının iyileşmesi temellerin performansının artmasını sağlamaktadır. Temel güçlendirmesine karar verirken;

- Zeminde oluşan gerilmelerin ilgili zeminin taşıma gücü gerilmesini aşması durumunda,
- Projedeki donatılardan daha fazla miktarda donatı ihtiyacının oluşması durumunda,
- Zımbalama yetersizliği olması durumunda,

Yapı temellerinde güçlendirme işlemi yapılması gerekmektedir. Bu makalede örnek olarak seçilen okul binasının temel sistemine yapılan ilave temel uygulaması ile ilgili olarak;

- Mevcut temel sisteminde uygulanan güçlendirme işlemi ile yetersiz olan zımbalama dayanımı sağlanmıştır. Mevcut temel sistemi ile ilave temellerle güçlendirilmiş temel sistemi arasındaki farklılıklar Tablo 14'te görülmektedir

Tablo 14: Mevcut temel sistemi ile güçlendirilmiş temel sistemi sonuçları.

	Mevcut temel sistemi	Güçlendirilmiş temel sistemi
Mak zemin gerilmesi (t/m ²)	31,47	22,977
Zımbalama durumu	Yetersiz	Yeterli
Kesit yetersizliği	Yok	Yok
Beton dayanımı (MPa)	28	30

Mevcut durumda tespit edilen kirişli radye temel sistemi ve bundan alınan karot değerlerinin yüksek çıkması taşıma gücünün yeterli gelmesinde büyük rol oynamıştır. Zımbalama dayanımının yetersiz gelmesi yeni eklenen güçlendirme perdesinin başlık bölgesinde bulunan kolonlardan kaynaklanmaktadır. Ayrıca elde edilen bu sonuçlar teknik literatürdeki çalışmalardan [4], [5] elde edilen sonuçlarla uyumludur.

- Temel sisteminde yapılan güçlendirme işlemi sabit bir uygulamadan ibaret olmayıp birçok yöntem içermektedir. Diğer bir ifadeyle tespit edilen temel türüne göre güçlendirme işlemi farklılıklar göstermektedir.
- Üst yapıya yapılan güçlendirme işlemleri sonucunda temellerin taşıma gücünün ve zımbalama dayanımlarının kontrol edilmesi gerektiği üzerinde durulması gereken en önemli husus olduğu açıkça ortadadır.
- Üst yapı ve temel güçlendirme çalışmalarında eski beton ve yeni betonun arasında soğuk derzin önlenmesi için solüsyonlar kullanılarak daha iyi aderansın sağlanması da önem arz etmektedir.

Yazar Katkısı: Bu makale Prof. Dr. Şenol GÜRSOY'un danışmanlığında Mustafa Esat COŞKUN'un "Betonarme Okul Binalarında Güçlendirme İlkelerinin 2007 ve 2019 Türk Deprem Yönetmeliklerine Göre Karşılaştırılması" başlıklı Yüksek Lisans tezinin gelişmesi amaçlanarak temel güçlendirme sistemlerinin önemini vurgulamak için hazırlanmıştır.

Teşekkür: Bu çalışmamda okul bilgilerini kullanmama imkan tanıyan Karabük İl Özel İdaresi yetkililerine minnettar olduğumu bildirmek isterim.

Çıkar Çatışması: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

7. KAYNAKLAR

- [1] Coşkun, M.E. (2022), "Betonarme okul binalarında güçlendirme ilkelerinin 2007 ve 2019 Türk deprem yönetmeliklerine göre karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.

- [2] Coşkun, M.E. Gürsoy, Ş. ve Garip, Z.Ş. (2023). Betonarme bir okul binasında güçlendirme ilkelerinin 2007 ve 2019 Türk deprem yönetmeliklerine göre karşılaştırılması, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13 (2): (GÜFBED/GUSTIJ), (DOI:10.17714/gumusfenbil.1170731)
- [3] Mahrebel, H. A. (2006). "Tarihi yapılarda taşıyıcı sistem özellikleri, hasarlar, onarım ve güçlendirme teknikleri", Yüksek Lisans, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Şahin E. (2004) "Hasarlı betonarme yapılarda onarım-güçlendirme esasları ve bir uygulama örneği", Yüksek Lisans, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Özdemir H.O. (2002) "Betonarme perdeli bir binada deprem güvenliğinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi", Yüksek Lisans, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Fırat S. vd. "Tarihi Yapıların Temel Sistemlerinin Güçlendirilmesi", Bingöl Üniversitesi Türk Doğa ve Fen Dergisi, 9, 182-189 (2020).
- [7] Sta4-CAD (2021), "Structural analysis for computer aided design", ver.14.1. www.sta.com.tr
- [8] TBDY (2019), "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği", Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 30364 Sayılı Resmi Gazete.
- [9] ABYYHY (1998), "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [10] TS-500 2000, "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [11] Doğançün A. (2018) "Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı", Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [12] ACI Standard 318-83, Building Code Requirements for Reinforced Concrete, American Concrete Institute, Detroit, Michigan 1983.
- [13] Turan M. "Temellerde Kolon Donatı Çubuklarının Aderansı", Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1, 111-118 (1999).

RESEARCH ARTICLE

Preparation of Metal-Thin Film-Metal Device Structure for Pyroelectric Heat Sensor Measurement

Pyroelektrik Isı Sensörü Ölçümü İçin Metal-İnce Film-Metal Cihaz Yapısının Hazırlanması

Rifat Çapan^{1,*} Zikriye Özbek²

¹ Balıkesir University, Faculty of Art & Science, Department of Physics, Balıkesir, Turkey

² Çanakkale Onsekiz Mart University, Engineering Faculty, Bioengineering Department, Çanakkale, Turkey

Received / Geliş: 30.03.2023

Accepted / Kabul: 08.04.2023

*Corresponding Author: Rifat Çapan, rcapan@balikesir.edu.tr

ABSTRACT: In this study, the pyroelectric properties of organic Langmuir-Blodgett (LB) thin film material produced at the nanometer scale were investigated. LB thin films obtained by transferring organic molecules floating on the water surface to the solid surface were produced in an unsymmetrical structure. Steric acid and eicosylamine molecules were selected to fabricate unsymmetrical LB film structure. This structure was used to investigate the pyroelectric and electrical (C-f and C-tan δ) measurements. The pyroelectric figure of merit (FOM) was determined using pyroelectric constant, the dielectric constant value and dielectric loss. The value of FOM for the stearic acid/eicosylamine LB film was determined as $0.530 \mu\text{Cm}^{-2}\text{K}^{-1}$.

Keywords: Pyroelectric effect, Langmuir-Blodgett thin film, electrical measurements, stearic acid, eicosylamine

ÖZ: Bu çalışmada, nanometre ölçeğinde üretilen organik Langmuir-Blodgett (LB) ince film malzemesinin piroelektrik özellikleri incelenmiştir. Su yüzeyinde yüzen organik moleküllerin katı yüzeye aktarılmasıyla elde edilen LB ince filmler simetrik olmayan bir yapıda üretilmiştir. Simetrik olmayan LB film yapısını imal etmek için sterik asit ve eikosilamin molekülleri seçildi. Bu yapı, piroelektrik ve elektriksel (C-f ve C-tan δ) ölçümlerini araştırmak için kullanıldı. Piroelektrik figüre of merit (FOM) değeri piroelektrik sabiti, dielektrik sabiti değeri ve dielektrik kaybı kullanılarak hesaplandı. Sterik asit/eikosilamin LB filmi için FOM değeri $0.530 \mu\text{Cm}^{-2}\text{K}^{-1}$ olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Piroelektrik etki, Langmuir-Blodgett ince filmi, elektriksel ölçümler, sterik asit, eikosilamin

1. INTRODUCTION

The pyroelectric effect is electrical polarization due to temperature change [1]. The best examples of pyroelectric single crystals are barium titanium oxide (BaTiO_3) [2] and triglycerinsulfate (TGS) [3]. BaTiO_3 and TGS materials are used in thermal imaging devices. These materials show a high pyroelectric activity. The disadvantages of these materials are to have a high dielectric constant and high dielectric losses. Unfortunately, the easily fragile structure of TGS is an important disadvantage. In addition, it is very difficult to

process and change its structure due to its solubility in water. Other examples of single crystals such as lithium tantalate (LiTaO_3), strontium barium niobate ($\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{Nb}_2\text{O}_6$) and lithium niobate (LiNbO_3) are known to undergo structural degradation at high temperatures, however these materials are promising for thermal imaging applications due to their durable structure [4].

Ceramic pyroelectric materials can be prepared easily and at low cost compared to single crystals. Ceramics, which are in the class of high-performance pyroelectric materials, have a durable structure. An example of the most well-known is

the lead zirconate titanate (PZT) [5]. Ceramics can be produced in various thicknesses up to 10 μm . Ferroelectric polymers such as polyvinylidene fluoride (PVDF) show strong piezoelectric and pyroelectric properties. Polymers behave similarly to the behaviour of monomers and are formed by dissolving them in a suitable solvent, as in monomeric substances [6].

Organic Langmuir-Blodgett (LB) film materials are alternative materials for the thermal imaging devices such as pyroelectric heat sensor application due to a cost-effective compared to ceramics and single crystals. Due to the highly ordered structure of LB films, pyroelectric detectors have been extensively studied [7-12]. The unsymmetrical LB film material produces a current when heated or cooled. This phenomenon is called the pyroelectric effect. In addition, LB film materials have low dielectric constant and dielectric losses. However, the pyroelectric coefficients of LB film materials are lower than the pyroelectric coefficients of other pyroelectric materials [13].

LB film technique is a suitable technique to produce symmetrical or unsymmetrical organic thin films at the water surface. The thickness of the produced LB films can be controlled at the nanometer level (the thickness of a single molecule) [14-16]. The chemical structure of steric acid and eicosylamine molecules are given in Figure 1. Steric acid material is one of the well-known LB film material which contains a water-loving carboxylic acid group ($-\text{CO}_2\text{H}$) at one end and a water hating long hydrocarbon group ($\text{C}_{17}\text{H}_{35}$) at the other end. Eicosylamine has a similar structure to the steric acid molecule, instead of the water-loving carboxylic acid group, the amine group (NH_2) group. The novelty of this work is to use these two materials for a non-centrosymmetric LB film as a heat-sensor device and to obtain the Figure of Merit (FOM) value which is important parameter choosing heat-sensor devices.

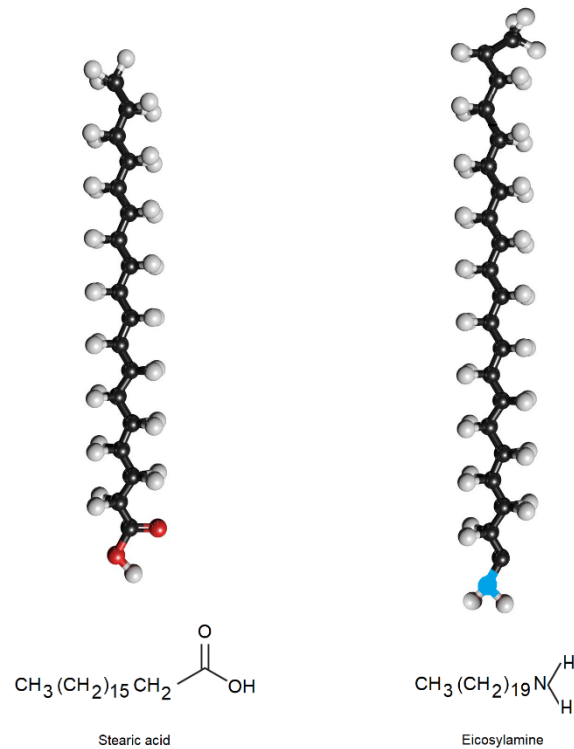


Figure 1: Chemical structure of materials.

In this paper, the LB thin film materials such as steric acid and eicosylamine are prepared to contain an unsymmetrical structure with one layer of acid and the other layer of amine. During LB film fabrication, LB film was followed step by step to monitor the transfer rate and surface area change which are important parameters in determining the film quality. The pyroelectric measurement and the variation of frequency according to capacitance and dielectric losses changes are detailed. FOM value for pyro device is determined using these experimental measurements.

2. EXPERIMENTAL DETAILS

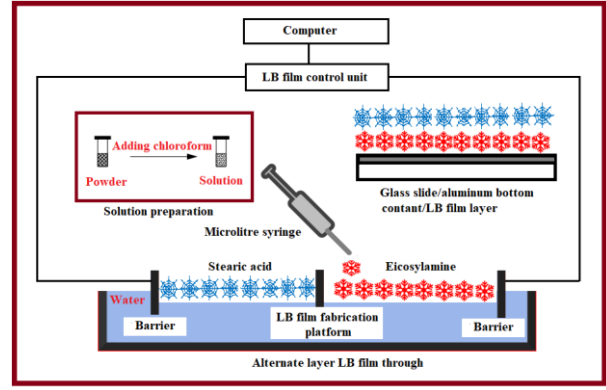
2.1 Device Fabrication Process

Super premium microscope glass slides were used for LB film coating. They were placed in a specially prepared and compartmentalized glass box, 10% decontaminated soap (decon 90) and 90% distilled water were added into a beaker. The beaker was placed in an ultrasonic bath and mixed for 15 minutes. The rinsing process is with 100% pure water and is repeated five times in an ultrasonic mixer for 15 minutes each. With the completion of the cleaning process, the next step, the aluminum

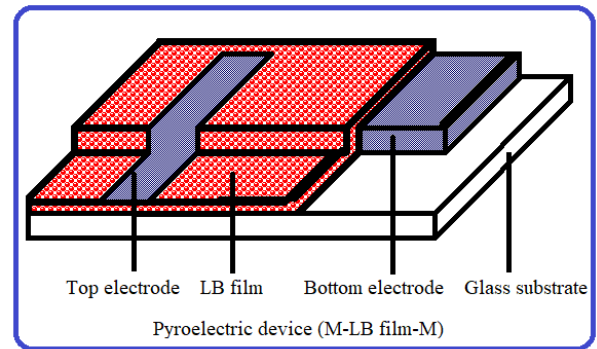
coating process, was started on the glass slides. For the preparation of the bottom aluminum contact, the glass slide was placed in the specially prepared mask and were placed inside the Edwards Coating System E306 evaporator system. The E306 evaporator system was put into vacuum for 24 hours. After providing the appropriate vacuum conditions, the aluminum evaporation process was started. Evaporation was done slowly at a rate of 0.1-0.3 Å/s up to 50 Å and 1-3 Å/s is reached and up to 500 Å. After than the system automatically was shut down and was waits for at least one hour to cool.

The LB thin film technique Is well known method to fabricate ultra-thin film devices for sensor applications which can be use in the field of nanotechnology. The basic fabrication process is to produce LB films from a floating monolayer to a solid substrate which can be moved from up to down. The biggest advantages of LB film technique is that the molecular arrangement of the film can be controlled during thin film production. NIMA 622 model alternate layer LB through was employed to fabricate a non-centrosymmetric stearic acid/eicosylamine LB film device. When the fabrication of bottom electrode was completed onto the glass slide, it is ready to prepare for the LB film fabrication process. There are certain conditions for film production (see Figure 2a) to occur by transferring molecules from the water surface to a solid surface.

LB film material was spread on the water surface with the help of a micro syringe, and then the solvent in it was evaporated. The barriers were gradually compressed to the solid phase state. Following this process, LB film production started. By moving the platform where the solid surface was located in water-thin layer-air-thin layer-water environments, LB film production was transferred to the solid surface (glass+Al₂O₃) in thin layers. By repeating this process, as much thin layer as desired was transferred to the solid surface. LB film fabrication process is made at the room temperature.



(a)



(b)

Figure 2: a) Fabrication process of LB film structure
b) Metal/LB film/Metal device structure.

LB films produced by this method were alternate layer type LB film. After the LB film fabrication process, it was passed to the upper contact coating following the LB film coating process. Top contact coating is required to obtain Metal/LB film/metal (M-LB-M) structure of LB film layers transferred onto glass+Al₂O₃. 50 nm thick top contact was prepared using the same evaporation procedure used for 50 nm thick bottom contact. The shape of the top contact coating used to create the final device structure is shown in Figure 2b.

2.2 Measurement Process

All electrical measurements were made with the help of aluminum coated lower and upper electrodes. To ensure good contact between the electrodes, a material named RS 186-3593 Silver Conductive Paint was used. After these steps, the produced LB film device contact connections were made and placed in the electrical measurement system given in Figure 3.

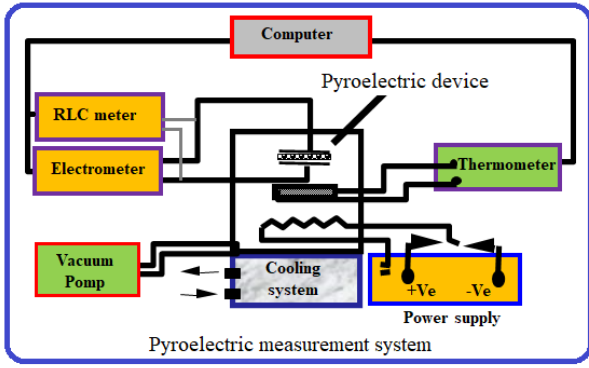


Figure 3: Schematic diagram of electrical measurement system.

The pyroelectric effect is briefly defined as electrical polarization due to temperature change. For example, when a material is heated or cooled, a temperature gradient forms on the material and this material produces a current. This current is called pyroelectric current and the phenomenon is called pyroelectric effect. In the pyroelectric effect, the electrical polarization of the substance changes with the temperature gradient. Pyroelectric measurements were taken by applying a temperature gradient onto LB film device. Dielectric measurements were taken from 100 Hz to 1 MHz.

2.3 Results and discussion

The pyroelectric current produced by the LB film is given in Equation 1 as:

$$I = \Gamma A \frac{dT}{dt} \quad (1)$$

where Γ is the pyroelectric coefficient, A is the measurement area and dT/dt is the rate of temperature change. It can be seen from Equation 1, if the temperature does not change with time, no pyroelectric current is observed. The pyroelectric coefficient is used as an important parameter in the comparison of heat sensor materials and in understanding their electrical polarization behaviour.

A quasi-static pyroelectric measurement technique can be used to investigate pyroelectric properties of thin films. These films is heated and cooled by a non-radiative source with a small temperature change (usually $\pm 1K$) controlled by a Peltier heater. Figure 4 shows an ideal form of a quasi-static

pyroelectric measurement (Temperature and pyroelectric current changes as a function of time).

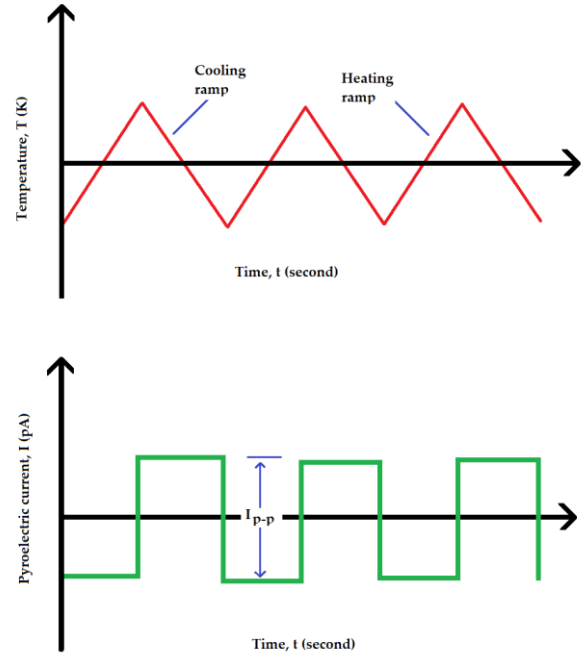


Figure 4: An ideal form of a triangular temperature profile for a square-wave pyroelectric current change.

If the electrode area of thin film sample is constant, the temperature gradient can be applied to the thin film by slowly heating or cooling of the sample. As a result of heating $(dT/dt)_{heating}$ or cooling $(dT/dt)_{cooling}$ ramp (with red colour), the sample yields a pyroelectric current (I_{p-p}) (with green colour) given in Figure 4. The total rate of temperature change can be measured from the triangular temperature profile and can be described as:

$$\left(\frac{dT}{dt}\right)_{Total} = \left|\left(\frac{dT}{dt}\right)_{heating}\right| + \left|\left(\frac{dT}{dt}\right)_{cooling}\right| \quad (2)$$

From Equation 1, it can be seen that a linear relationship between I_{p-p} and $\left(\frac{dT}{dt}\right)_{Total}$ should be expected.

The LB film device for pyroelectric heat sensor applications is required that it should produce the highest pyroelectric current. In addition, organic LB films are an alternative material against single crystal, ceramic and other pyro materials due to easy fabrication process, low cost, highly ordered

preparation and easy control of molecular structure.

Pyroelectric results of temperature ramps and pyroelectric current for stearic acid/eicosylamine LB film is given in Figure 5. When the temperature gradient (red colour) is slowly increased, LB film produced a pyroelectric current (green colour) due to a new molecular arrangement of stearic acid/eicosylamine LB film structure depends on temperature changes. These graphs were used to determine Γ of stearic acid/eicosylamine LB film used for the FOM value. The value of Γ for the stearic acid/eicosylamine LB film material produced within the scope of this study was calculated as $0.587 \mu\text{Cm}^{-2}\text{K}^{-1}$.

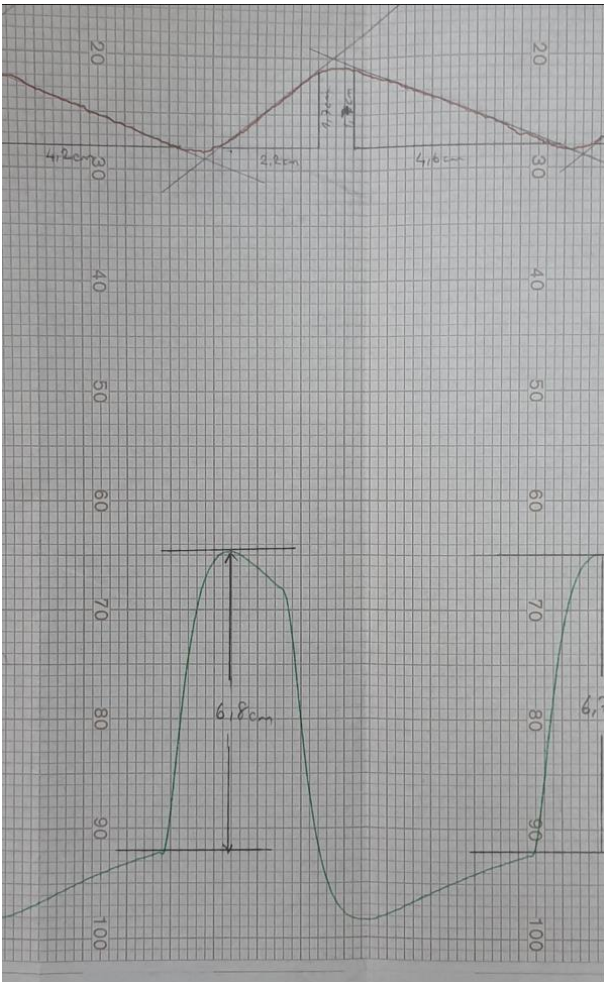


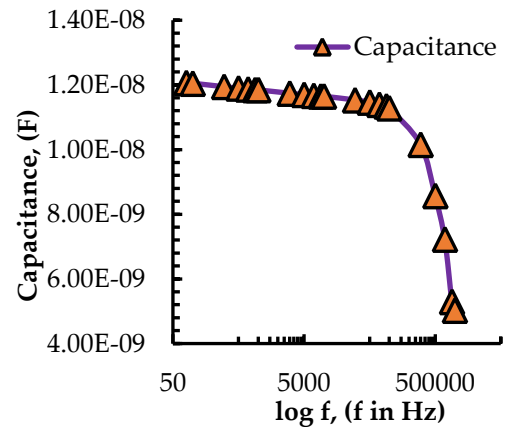
Figure 5: An experimental measurement between a triangular temperature profile and a square-wave pyroelectric current change.

FOM described at Equation 3 is an important parameter to design of pyroelectric thermal imaging devices.

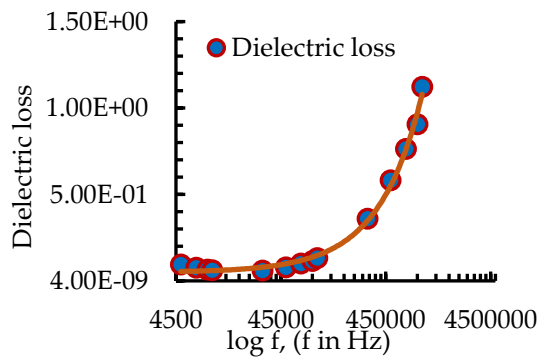
$$FOM = \frac{\Gamma}{\sqrt{\epsilon \tan \delta}} \quad (3)$$

where ϵ is the dielectric constant and $\tan \delta$ is the dielectric loss. To find out dielectric properties of our device, capacitance and dielectric loss measurements were taken as a function of frequency.

Experimental results were presented for dielectric relaxation in our M-LB-M pyro device along with the evaluation of values of relevant physical parameters. Figure 6 gives dielectric measurements of stearic acid/eicosylamine LB film. The variation in AC capacitance and $\tan \delta$ versus the frequency ($\log f$). Capacitance result shows small decrease initially and then a sharp reduction with increasing frequency. The behaviour pattern for $\tan \delta$ is, on the other hand, opposite.



a)



b)

Figure 6: AC measurements of a) capacitance, b) dielectric loss ($\tan \delta$) as a function of frequency.

The capacitance and dielectric losses as a function of the logarithmic frequency can be used to investigate the dielectric behaviour of LB film. These graphs are very useful to determine ϵ and $\tan \delta$ values which can be used for the calculation of FOM value. Using Figures 5, 6 and Equation 3, FOM value of our LB film structure is calculated to be $0.530 \mu\text{Cm}^{-2}\text{K}^{-1}$.

According to the literature there are three main components of the pyroelectric contribution in LB films. These are known as tilting [17] [18], proton transfer [19] [20] and ionic mechanism [21-23] respectively. In our case tilting and proton transfer mechanisms are occurred and they are shown symbolically in Figure 7. Tilting mechanism is based on the principle that thin layers are tilted at a certain angle because of temperature change. Proton transfer, on the other hand, is based on proton exchange between $-\text{COO}^-$ (in the structure of stearic acid) and $-\text{NH}_2^+$ (in the structure of eicosylamine) groups. This interaction between acid and amine groups which depends on temperature change. In both mechanisms, electrical polarization due to temperature change is observed, and LB films produce a pyroelectric current.

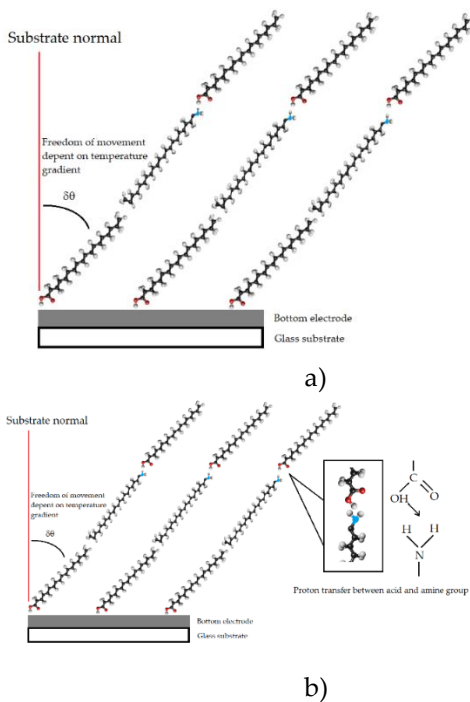


Figure 7: Pyroelectric interaction mechanisms a) tilting b) proton transfer

The ionic mechanism in the substances used in this study does not play a role because of no free ions between stearic acid and eicosylamine LB film structure. It can be concluded that the pyroelectric effect here is entirely dependent on tilting and proton transfer.

Author Contributions:

Rifat Çapan: Experimental & Measurements, Investigation, Writing, Review & Editing.

Zikriye Özbek: Investigation, Writing, Review & Editing.

Conflicts of Interest:

The authors report no conflicts of interest.

3. REFERENCES

- [1] R. Çapan, "Organic pyroelectric materials for device applications," Balıkesir University Journal of Science (BAÜ FBE Dergisi), vol. 12, no. 1, pp. 75-90, 2010.
- [2] Zhuo Han, Sana Ullah, Guangping Zheng, Hua bing Yin, Jinlin Zhao, Shiduo Cheng, Xianying Wang, Junhe Yang, "The thermal-to-electrical energy conversion in $(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5})_{0.94}\text{Ba}_{0.06}\text{TiO}_3/\text{graphene}$ oxide heterogeneous structures," Ceramics International, vol. 45, no. 18, pp.24493-24499, 2019.
- [3] M. B. Biddle, S. E. Rickert, "Opportunities for Langmuir-Blodgett-films in piezoelectric and pyroelectric devices," Ferroelectrics, vol. 76, no. 1-2, 133, 1987.
- [4] S. G. Porter, "A brief guide to pyroelectric detectors," Ferroelectrics, vol. 33, no. 1-4, pp. 193-206, 1981.
- [5] H. Huang, Z. Tianshu, J. T. Oh, P. Hing, "Effect of a-site substitution of calcium on Zr-rich lead zirconate titanate," Ferroelectrics, vol. 274, pp. 55-65, 2002.
- [6] B. Ploss, B. Ploss, F. G. Shin, H. L. W. Chan, and C. L. Choy, "Pyroelectric or piezoelectric compensated ferroelectric composites," Applied Physics Letters, vol. 76, no. 19, pp. 2776-2778, 2000.
- [7] D. Lacey, S. Holder, W H A. Majid, R. Capan, T. Richardson, "High Pyroelectric Sensitivity in Alternate Layer Langmuir-Blodgett Superlattices," Materials Science & Engineering C, vol. 3, pp. 197-203, 1995.

- [8] R. Capan, S.V. Batty, T. Richardson, D. Lacey, S. J. Holder, "Optimisation of The Pyroelectric Figure of Merit of Polysiloxane/amine Superlattices," *Thin Solid Films*, vol. 284-285, pp. 915-918, 1996.
- [9] R. Çapan, A.K. Ray, T. H. Richardson, A.K. Hassan and F. Davis, "Pyroelectric and Conduction Properties of Z-type Calix [4] acid Langmuir-Blodgett Films," *J. of Nanoscience and Nanotechnology*, vol: 5, no: 11, pp. 1910-1914, 2005.
- [10] R. Capan, T. Richardson, J. Tsibouklis, "A Study of Pyroelectric and Dielectric Characterisation Using Alternate Layer Langmuir-Blodgett Films," *Colloids & Surfaces A*, vol. 198-200, pp. 835-841, 2002.
- [11] P. Oliviere, J. Yarwood, T. H. Richardson, "Pyroelectric Activity in Calix[8]arene/Amine Langmuir Blodgett Films: New Insights into the Mechanism of Polarization Variation with Temperature," *Langmuir*, vol. 19, no. 1, pp. 63-71, 2003.
- [12] D. Lacey, T. Richardson, F. Davis, and R. Capan, "Pyroelectric Superlattices Based on Polysiloxane / Calix[n]arene Alternate LB Films," *Materials Science & Engineering C*, vol. 8-9 pp. 377-384, 1999.
- [13] R. Çapan, T. Richardson and D. Lacey, "Pyroelectric Figure of Merit for a Heterogeneous Alternate Layer Langmuir-Blodgett Film System," *Thin Solid Films*, vol. 415, no. 1-2, pp. 236-241, 2002.
- [14] R. Çapan, "Langmuir-Blodgett (LB) Film Technique in Nanotechnology," *Süleyman Demirel University Journal of Science*, vol. 8, no. 2, pp. 17-22, 2004.
- [15] L. Tian, J. Sun, Y. Li, X. Hua Zhang, "Pyroelectric response in the Langmuir-Blodgett fabricated artificial polymer multilayers," *Modern Physics Letters B*, vol. 33, no. 11, pp. 1950137, 2019.
- [16] A. Kausar, "Survey on Langmuir-Blodgett Films of Polymer and Polymeric Composite," vol. 56, no. 9, pp. 932-945, 2017.
- [17] R. Çapan, İ. Başaran, T.H. Richardson, D. Lacey, "A Theoretical Model for The Pyroelectric Response in Langmuir-Blodgett Films," *Materials Science & Engineering C*, vol. 22, no. 2, pp. 245-249, 2002.
- [18] R. Çapan, İ. Alp, T. H. Richardson, F. Davis, "Pyroelectric Figure of Merit for a calix [4] acid/amine alternate layer Langmuir-Blodgett Film," *Materials Letters*, vol.59, pp. 1945-1948, 2005.
- [19] R. Çapan, T. H. Richardson, "Pyroelectric effect in a mixed polysiloxane/eicosylamine Langmuir-Blodgett Thin Film," *Materials Letters*, vol. 25, pp. 3131-3135, 2004.
- [20] D. Lacey, T. Richardson, F. Davis, and R. Capan, "Pyroelectric Superlattices Based on Polysiloxane / Calix[n]arene Alternate LB Films," *Materials Science & Engineering C*, vol. 8-9 pp. 377-384, 1999.
- [21] R. Çapan, "Pyroelectric and Dielectric Characterisation of Alternate Layer Langmuir-Blodgett Films Incorporating Ions," *Materials Letters*, vol. 61, no. 4-5, pp. 1231-1234, 2007.
- [22] R. Çapan, T. H. Richardson, D. Lacey, "Pyroelectric Effect in Langmuir-Blodgett Films Incorporating Ions," *Thin Solid Films*, vol. 468, no. 1-2, pp. 262-267, 2004.
- [23] R. Capan, T. Richardson, D. Lacey, "Cd 2+ and Mn 2+ Incorporation in Copolysiloxane/Eicosylamine Alternate Layer LB Films: Influence on Pyroelectric Activity," *Thin Solid Films*, vol: 327-329, pp. 369-372, 1998.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Uçaklarda Statik Elektrik Yükü Çökme Durumu (P-Statik) ve Statik Deşarj Çubuklarının İncelenmesi

Analysis of Precipitation Static Condition (P-Static) and Static Discharger Wicks for Aircraft

Furkan Akbulut^{1*}, Özcan Kalenderli¹

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Geliş / Received: 30.03.2023

Kabul / Accepted: 17.04.2023

*Corresponding Author: Furkan Akbulut, akbulut20@itu.edu.tr

ÖZ: Uçaklar seyir halinde iken atmosfer içerisinde bulunan elektriksel olarak yüklü parçacıklarla (genellikle buz kristalleri, yağmur, kum ve tozlu parçacıklar) sürtünerek elektrostatik olarak yüklenmektedir. Bu yüklenmeler, biriken (çökelen) statik elektrik olarak adlandırılır ve kontrollü bir şekilde uçaklar üzerinden boşaltılmadığında çeşitli problemlere sebep olabilmektedir. Bu çalışmada ilk olarak uçaklar üzerinde biriken statik elektrik yüklerinin oluşum sebepleri ve uçaklardan kontrollü bir şekilde boşaltılmadığında ortaya çıkabilecek problemler (korona boşalmaları, ark oluşumları gibi) incelenmiştir. Elektrostatik yüklenmeler radyo ve navigasyon sistemlerinde bozulmalara yol açabilmektedir. İkinci bölümde, elektrostatik yüklerin uçak üzerindeki antenlere nasıl kuple olduğunu açıklayan kuplaj teorisi üzerine incelemeler yapılmıştır. Üçüncü bölümde, elektrostatik yüklerin uçaklardan boşaltılmasını sağlayan statik deşarj çubukları incelenmiştir. Statik deşarj çubuklarının özellikleri, kullanım alanları ve deşarj yöntemleri incelenmiştir. Ardından, statik deşarj çubuklarının montaj yöntemleri ve montaj yöntemlerinde dikkat edilmesi gereken parametreler ile ilgili araştırmalara yer verilmiştir. Son bölümde, uçaklarda kullanılması gereken statik deşarj çubuğu sayısı için yapılan literatür araştırması ve yapılması gereken hesaplamalara ilişkin denklemler belirtilmiştir. Aynı bölümde örnek bir uçak üzerinde yapılan literatür araştırması referans alınarak kullanılması gereken statik deşarj çubuğu hesaplamaları yer almaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışma için Van's Aircraft'a ait RV-10 modeli uçak referans olarak alınmıştır. Hesaplamalarda bulunan değerler benzer bir uçak için önceden yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik yükü tutma, statik elektrik, elektriksel deşarj, deşarj çubuğu, analiz

ABSTRACT: Aircrafts are electrostatically charged as a result of friction with electrically charged particles (generally ice crystals, rain, sand and dusty particles) in the atmosphere while flight. These charges are called precipitation statics and can cause various problems when they are not discharged from aircraft in a controlled manner. In this study, firstly, the reasons for the formation of static electricity charges accumulated on the aircraft and the problems that may arise when they are not discharged from the aircraft in a controlled manner (such as corona discharges, arc formations) are examined. Electrostatic charges can cause malfunctions on radio and navigation systems. In the second part, the coupling theorem, which explains how the electrostatic charges are coupled to the antennas on the aircraft, is examined. In the third chapter, static discharge rods that allow the discharge of electrostatic charges from aircraft are examined. The properties, usage areas, discharge methods and minimum features of static discharge rods are examined in detail. Then, researches on the mounting methods of static discharge rods and the parameters to be considered in mounting methods are included. In the last section, the literature search for the number of static discharge rods to be used in airplanes and the equations for the calculations are given. In the same section, there are static discharge rod calculations that should be used with reference to the literature research on a sample aircraft. For this study, the RV-10 model of Van's Aircraft was taken as a reference. The values found in the calculations are compared with previous studies for a similar aircraft.

Keywords: Precipitation, static electricity, electrical discharge, discharge wick, analysis

1. GİRİŞ

Günümüzdeki en önemli ulaşım araçlarından biri olan uçaklar, seyir halinde iken elektriksel olarak yüklü parçacıklarla çarpışmaktadır. Bu temas sonrasında uçaklar üzerinde statik elektrik yükü birikimi meydana gelmektedir. Elektriksel yükler, genellikle kanat ve kuyruk uçları gibi çıkıntılı geometriye sahip yüzeylerden deşarj olmaktadır. Ayrıca, bu yükler radyo ve navigasyon sistemlerinde bozulmalara sebep olmaktadır. Bu sebeple, statik yüklerin kontrollü olarak uçak üzerinden boşaltılması gerekmektedir. Aksi takdirde uçak üzerinden yüksek gerilim seviyelerinde korona boşalması türünde elektriksel boşalmalar meydana gelebilmektedir [1]-[6]. Uçak üzerinde biriken yüklerin kontrollü bir şekilde boşaltılması için çeşitli tiplerde statik deşarj çubukları kullanılmaktadır [7].

Bu çalışma; uçaklar üzerinde meydana gelen statik elektrik yüklenmesi ile ilgili matematiksel hesaplamaların belirlenmesi, elektrostatik yüklerin kontrollü bir şekilde deşarjında kullanılan statik deşarj çubuklarının tipleri, kullanım alanları ve montaj işlemleri ile ilgili araştırmaları ve bunlara ek olarak yapılan literatür araştırmaları referans alınarak örnek tek motorlu bir uçak üzerinde kullanılması gereken statik deşarj çubuğu sayısı ile ilgili hesaplamaları kapsamaktadır.

2. UÇAKLARIN ATMOSFERLE ELEKTROSTATİK ETKİLEŞİMİ

Bir uçağın atmosferle elektrostatik etkileşimi çeşitli parametrelere bağlı olan karmaşık bir olgudur.

Uçak faktörü

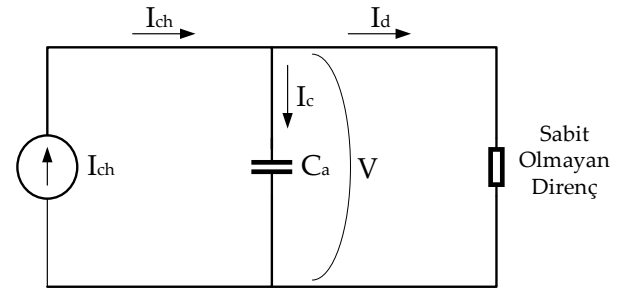
- Elektrik yükü tutma kapasitesi
- Uçağın şekli
- Uçak hızı
- Motor karakteristiği
- Uçak yüzey malzemesi

Atmosferik faktörler

- İrtifa
- İletkenlik
- Sıcaklık ve basınç
- Açık hava elektrik alanı
- Tutulan (çökelen) elektrikli parçacıkların karakteristikleri

Her uçak çeşitli süreçlerde elektriksel olarak şarj ve deşarj olabilen bir kapasite olarak düşünülebilir. Kapasitenin şarj veya deşarj oranı, şarj veya deşarj olduğu konumlar ve bu parametrelerin büyüklükleri uçakların elektrostatik durumu olarak tanımlanabilir [8].

Seyir halindeki bir uçağın elektrostatik yüklenme durumu, Şekil 1'deki gibi Kirchoff yasası ile ilişkili olarak açıklanabilir. Uçaklardaki statik elektrik yük birikimi durumu kapasite ile paralel bağlı sabit olmayan direnç olarak modellenmektedir [4].



Şekil 1: Elektrostatik yüklenme bakımından uçak eşdeğer devre modeli.

Şekil 1'deki eşdeğer devreden

$$I_{ch} = I_d + C_a \frac{\partial V}{\partial t} \quad (1)$$

yazılır. Denklem (1)'de, V uçak potansiyeli [V], I_{ch} toplam şarj akımı [A], I_d toplam deşarj akımı [A], C_a uçak kapasitesi [F] büyüklükleridir.

Uçak üzerinde biriken toplam net elektrik yükü (Q_a) coulomb cinsinden Denklem (2)'de belirtilmektedir [4], [8]:

$$Q_a = C_a \times V_a \quad (2)$$

2.1 Çökme Elektrostatığı (P-Statik)

Statik elektrik, bir malzemenin içindeki veya yüzeyindeki elektrik yüklerinin dengesizliği olarak tanımlanabilir. Statik yükler, iki yüzeyin birbirine temas edip ayrılması veya sürtünmesi ile meydana gelmektedir. Statik yükler, herhangi bir deşarj durumu gerçekleşene kadar hareketsizdirler. Birbirleri ile temas halinde olan maddeler arasında temas yüzeyi boyunca elektron alışverişi olmaktadır. Maddeler birbirinden ayrıldığında biri

pozitif diğeri ise negatif elektrik yükü ile yüklenmektedir. Bu zıt yüklerle yüklenme sebebiyle maddeler birbirini çekerler ve arada bulunan yalıtkan tabaka üzerinde ark şeklinde elektriksel boşalma oluşturmaktadırlar. Bu gibi oluşumlar tehlikeli durumlara sebep olmaktadır [9].

Statik yüklerin uçak üzerinde birikimi sonucunda üç tip deşarj oluşumu gözlenmektedir:

1. Korona Deşarjı (Corona Discharge)

Korona, yüksek elektrik alanının olduğu yerlerde havanın iyonlaşması sonucu olan bir elektrik boşalmasıdır. Korona deşarjları gözlemlenebilir yapıdadırlar, ışıltılıdırlar ve duyulabilirler. Bir uçaktaki yüklenme durumu 100 kV ile 200 kV arasında gerilim seviyelerine ulaştığında uçağın kanat uçları ve kuyruk gibi çıkıntılı geometriye sahip bölgelerinde korona deşarjı gerçekleşebilir [10].

2. Akış (Streaming)

Akış, uçak üzerindeki dielektrik yüzeylerden (cam ve seramiklerin yanı sıra kompozit radomlar ve kompozit kanatçıklar gibi yerlerden) meydana gelebilecek bir elektrik deşarjıdır. Bu yolla kompozit malzemedeki metal bir gövdeye veya havada birkaç santimetre mesafeye kadar atlamalar olabilir [10].

3. Ark (Arcing)

Ark oluşumu, akışa (streaming) benzer parlak bir ışıltı oluşturabilir, ancak genellikle bir santimetre veya daha kısa mesafelerde noktadan noktaya atlama ile sınırlıdır. Arklar hemen hemen her zaman uçağın bir bölgesinin ana yapıdan elektriksel olarak yalıtılmasının bir sonucudur ve böylece yalıtılmış kısımda yük biriktiğinde ana yapıya ark oluşabilmektedir [10].

2.2 Kuplaj Teorisi

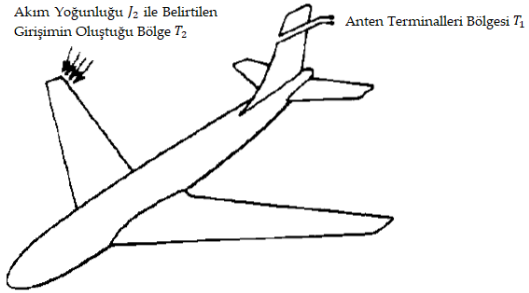
Statik elektrik yükleri yakınındaki antenler üzerine kuplajla elektriksel bozulmalara sebep olmaktadır. Antenler üzerindeki korona deşarjından kaynaklanan girişimin belirlenmesinde kuplaj

teorisi kullanılmaktadır. Teori, bir karşılıklık ilişkisinden türetilmektedir. Kuplaj teorisi Denklem (3) ile belirtilmiştir. Denklemde; I_2 anten üzerinde oluşan kuplaj akımını, V_1 anten uçlarına uygulanan gerilimi, E_1 bu gerilim sebebiyle anten çevresindeki her noktada oluşan elektrik alanı ve J_2 , T_2 bölgesinde oluşan akım yoğunluğunu belirtmektedir [1], [2], [4].

$$I_2(w) = \frac{1}{V_1(w)} \int_{T_2} E_1(x, w) \times J_2(x, w) dv \quad (3)$$

Denklem (3)'ten görüldüğü gibi anten akımı I_2 'nin gürlütüsünün azaltılabileceği veya ortadan kaldırılabilceği birkaç yöntem bulunmaktadır.

1. Deşarj akımı J_2 'nin sifıra yaklaşmasının sağlanması.
2. E_1/V_1 'in sifıra yaklaşmasının sağlanması.
3. J_2 'nin E_1 'e dik olmasının sağlanması [1].



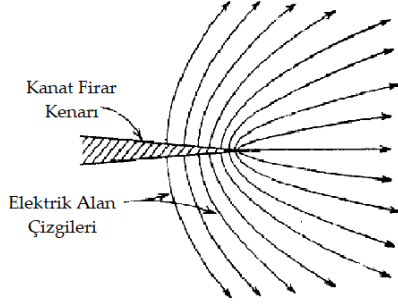
Şekil 2: Kuplaj teorisinin uçak üzerinde gösterimi [1].

3. STATİK DEŞARJ ÇUBUKLARI

Statik deşarj çubukları uçak üzerinde biriken statik elektrik yüklerini herhangi bir ark olayı oluşmadan havaya kontrollü bir şekilde boşaltılması sağlamaktadır.

Statik deşarj çubukları genellikle uçakların flap, kanatçık, dikey ve yatay stabilizatörlerinin firar kenarlarına konumlandırılmaktadır. Kanat ucu (winglet) gibi bölgelerde kullanılan uç kenar (tip edge) tip ve flap, kanatçık gibi kontrol yüzeylerinin firar kenarlarında kullanılan firar kenar (trailing edge) tip olmak üzere iki tip statik deşarj çubuğu bulunmaktadır. Statik deşarj çubuklarının dirençleri; genellikle firar kenar montajlı (trailing edge mounted) olanlar için 6-200 Mohm, uç kenar montajlı (tip edge mounted) olanlar için 6-120

Mohm arasında oldukça yüksek direnç değerindedir [6],[11]. Statik deşarj çubuklarının uçak yüzeylerine elektrikselsel olarak yeterli elektrik yükü iletimi sağlayacak şekilde montajlanmaları gerekmektedir. Herhangi bir arıza durumunda kolayca değiştirilebilmektedirler [3].



Şekil 3: Uçak kanat profilindeki elektrik alan çizgileri [4].

Statik deşarj çubuklarının uçakların karakteristik özelliklerine göre çeşitli türleri bulunmaktadır. Düşük hızlarda uçan ticari uçakların ve süpersonik hızlarda uçan savaş uçaklarında aynı statik deşarj çubuğunun kullanılmaması gerekmektedir [3]. Firar kenar tipi ve uç kenar tipi statik deşarj çubukları için asgari gereklilikler Tablo 1: *Firar kenar ve uç kenar tipi static deşarj çubukları için asgari gereklilikler* [4]

ile belirtilmiştir.

Tablo 1: Firar kenar ve uç kenar tipi static deşarj çubukları için asgari gereklilikler [4]

Özellikler	Firar Kenar Tipi	Uç Kenar Tipi
Uzunluk	15-30 cm	10-15 cm
Tipik Ağırlık (gram)	30	15
Direnç (Mohm)	6-200	6-120
Deşarj Akımı@40kV (μ A)	10 (en az)	10 (en az)
Deşarj Gürültü Kaybı@50 μ A (dB)	-40 (en az)	-30 (en az)
Güç Kaybı (Watt)	5	5
En yüksek Deşarj Akımı (μ A)	400	400
Sürekli Deşarj Akımı (μ A)	50	50

Gerilme (kg)	22	22
--------------	----	----

3.1 Statik Deşarj Çubuğu Tipleri

Statik deşarj çubukları ilk olarak 1940'lı yıllarda ortaya çıkmıştır. O günlerden bugüne kadar gelişen havacılık teknolojisi ile birlikte ihtiyaca yönelik farklı tiplerde statik deşarj çubukları geliştirilmiştir.

3.1.1 Karbon ve Naylon Statik Deşarj Çubukları (Carbon wick/Nylon wick)

Bu tür statik deşarj çubukları, 1940'lı yıllarda geliştirilmiştir. Esnek bir plastik sarmal içerisinde karbon kaplanmış liflerden oluşmaktadır. Bu tür deşarj çubukları orta düzeyde (25-30 dB) gürültü azaltma özelliği sağlamaktadır. Rüzgârın statik deşarj çubuğu üzerindeki pamuktan parçacıkları savurarak koparması nedeniyle çok kısa ömürlüdürler. Deşarj çubuğunun ucu siyah renkten griye döndüğünde uçlarda düzenli olarak onarım yapılması gerekmektedir. Bu tip deşarj çubukları, düşük başlangıç maliyetleri sebebiyle tercih edilmektedir. Jet uçakları veya yüksek performanslı çift motorlu uçaklar için uygun değildirler. 260 knot altında seyreden uçaklar için daha uygundur [7].

3.1.2 Mikro Uç Statik Deşarj Çubukları (Micropoint Tip)

Mikro uç türü statik deşarj çubuklarının gürültü azaltma kapasitesi, yapısında bulunan çok küçük çaplı, ince teller sayesinde olmaktadır. Deşarj noktasının küçük çaplı olması elektrostatik alan şiddetinin deşarj noktasında yükselmesine sebep olmaktadır. Bu durum, koronanın daha düşük bir potansiyelde başlamasına neden olur. Mikro uç türü statik deşarj çubuklarının ucunda yaklaşık 4000 adet her biri 4 mikron çapında tel kullanılmaktadır. Bu sayede, iyonlar tüm tellere eşit olarak dağılmakta ve gürültü azalmaktadır. Mikro uç türü statik deşarj çubukları, statik deşarj çubuğu olmayan uçaklardaki elektrik yükü boşalmasına kıyasla yaklaşık 40 dB'lik bir gürültü azaltma özelliği sağlamaktadır [7].

3.1.3 Null-Plus Tip

Null-Plus tip statik deşarj çubukları, 200 knot üzerinde hızla uçan her tür uçak için tasarlanmış karbon noktalı statik elektrik yükü boşaltıcılardır.

Bu deşarj modeli, VLF frekanslarında optimum gürültü azaltması sağlamak için mevcut en etkili modeldir. Tipik gürültü azaltma seviyesi 60 dB'nin üzerindedir. Uçak üzerindeki sürtünmeyi (drag) azaltıcı yönde tasarımları bulunmaktadır. 520 knot altında hızla uçan uçaklar için uygundur [7].

3.1.4 Null-Field Tip

Null-Field tip statik deşarj çubukları, anten alanlarının sıfır olduğu bölgelerde bu alanlara dik açılarda statik yüklerin deşarjını gerçekleştirmektedir. Çubuğun gövdesine dik açılarda çıkıntı yapan sivri uçlar (tungsten pimler) statik alanı daha da yükselterek deşarjın bu noktalardan gerçekleşmesini sağlamaktadır [4], [7].

3.1.5 Null-Strike Tip

Bu statik deşarj çubukları yıldırım önleyici deşarjlar ancak gelişen teknoloji ile birlikte yıldırım dayanımı özelliğine sahip deşarj çubukları geliştirilmiştir. Null-Strike statik deşarj çubukları, yıldırım koruması için özel olarak tasarlanmaktadır. Güçlü bir yapıştırıcı ile deşarj çubuğunun yüzeyine epoksi kaplanmış alüminyum parçacıklardan oluşmaktadır. Bu parçacıklar "Darbe önleyici" olarak adlandırılmaktadır. Darbe önleyici elemanlar, uçak gövdesine verilen hasarı en aza indirmek için herhangi bir yıldırım çarpması durumunda yıldırım akımının deşarj çubuğu üzerinden boşalmasını sağlamak için kullanılmaktadır [7].

3.2 Statik Deşarj Çubuğu Montaj Yöntemleri

Statik deşarj çubukları, uçaklara genellikle tutucu (retainer) olarak adlandırılan bağlantı elemanları ile tutturulmaktadır. Tutucuların firar kenar tipi ve uç kenar tipi deşarj çubukları için olan iki tipi bulunmaktadır. Tutucuların kullanımı sayesinde herhangi bir sebeple zarar gören statik deşarj çubukları tutuculardan sökülerek yenisi ile değiştirilebilmektedir. Statik deşarj çubuklarının uçağın gövdesine tam iletken tutucularla tutturulması gerekmektedir. Eğer uçak montaj yüzeyi iletken değilse en yakın iletken yüzey ile arasında bir iletken bağlantı sağlanması gerekmektedir. Kanat ve kuyruk uçları gibi çıkıntılı geometriye sahip yüzeylere statik deşarj çubuğu yerleştirilmesi sebebiyle uçaklar yıldırım hasarlarına daha açık hale gelebilmektedir. Uçağa

deşarj çubukları üzerinden herhangi bir yıldırım çarpması durumunda yıldırım akımı tutucu üzerinden uçak gövdesine geçecektir. Bu sebeple, tutucunun uçak yapısına 0.1 ohm gibi düşük bir bağlantı direnci ile bağlanması gerekmektedir [3], [12].

3.3 Statik Deşarj Çubuğu Sayısının Hesaplanması

Uçaklar üzerinde biriken statik yükün yeterli miktarda statik deşarj çubuğu ile boşaltılması gerekmektedir. Aksi takdirde statik deşarj çubukları üzerinden anma deşarj kapasitelerinin üzerinde bir akım akışı meydana gelmektedir. Bu sebeple, her uçağa özgü parametreler referans alınarak hesaplamalar uçak özelinde yapılmalıdır [4]. Hesaplamalar yapılırken ilk olarak uçak üzerinde biriken toplam şarj akımı bulunmalıdır. Toplam şarj akımının bir adet statik deşarj çubuğunun minimum deşarj kapasitesine bölünmesi ile kullanılması gereken statik deşarj çubuğu sayısı bulunabilir. Yapılacak hesaplamalar Denklem (4) ve Denklem (5) ile belirtilmiştir [4], [8].

$$I_{ch} = q_p \times N_p \times v_{air} \times A_e(v_{air}) \quad (4)$$

$$N = \frac{I_{ch}}{I_{min}} \quad (5)$$

Bu denklemlerde, I_{ch} toplam şarj akımı [A], q_p tek bir parçacık tarafından uçak üzerinde biriken elektrik yükü [C/parçacık], N_p parçacık yoğunluğu [parçacık sayısı/m³], v_{air} uçak hızı [m/s], $A_e(v_{air})$ hızın fonksiyonu olarak etkin parçacık yakalama alanı [m²], I_{min} deşarj çubuğunun minimum deşarj akımı [A] ve N kullanılması gereken deşarj çubuğu sayısı [adet] büyüklükleridir.

3.4 Örnek Bir Uçak için Statik Deşarj Çubuğu Sayısının Hesaplanması

Van's Aircraft'a ait RV-10 modeli için kullanılması gereken statik deşarj çubuğu sayısı araştırılmıştır. Uçağın 8000 ft irtifadaki seyir hızı 171 kn (88 m/s)'dir [13]. Ön yüzey alanı üretici firmanın uçak ile ilgili hazırladığı dokümanlarda belirtilmemiştir. Bu sebeple kanat açıklığı benzer olan Denney Kitfox Classic 4 referans alınarak 3 m² olarak kabul edilmiştir [14]. Sirüs tipi bulutlarda parçacık yoğunluğu 2×10^4 [Parçacık sayısı/m³] ve kümülüs tipi bulutlarda ise 6×10^4 [Parçacık

sayısı/m³]’tür. RV-10’un bu bulut tiplerinin her ikisinde de seyir halinde bulunacağı değerlendirilmiştir. Bu sebeple, $N_p = 4 \times 10^4$ [Parçacık sayısı/m³] olarak ortalama bir değer alınmıştır. Tek bir parçacık tarafından uçak üzerinde biriken yük [C/parçacık] ortalama olarak buz kristalleri içeren sirüs bulutlarında 60×10^{-12} C/parçacık değerine kadar çıkabilmektedir [4]. Bu değerler referans alınarak uçağın toplam şarj akımı Denklem (6) ile belirtildiği gibi bulunmuştur.

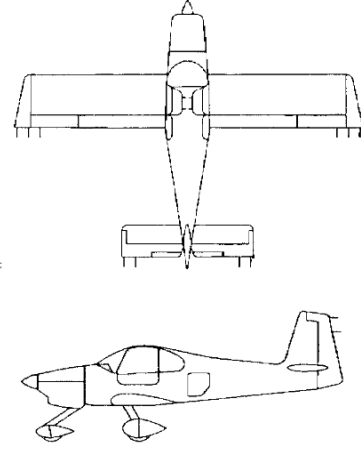
$$I_{ch} = (60 \times 10^{-12}) \times (4 \times 10^4) \times 88 \times 3 \quad (6)$$

$$I_{ch} = 6,34 \times 10^{-4} A \quad (7)$$

Bulunan bu değer uçak üzerinde biriken toplam şarj akımını belirtmektedir. Bu sebeple, kullanılması gereken deşarj çubuğu sayısı bir deşarj çubuğunun minimum deşarj kapasitesine bölünmelidir. Belirlenen standartlara göre bir deşarj çubuğunun minimum deşarj kapasitesi 50 μA ’dır [4]. Bu sebeple, Denklem (7) ile belirtilen değer 50 μA değerine bölünmesi gerekmektedir.

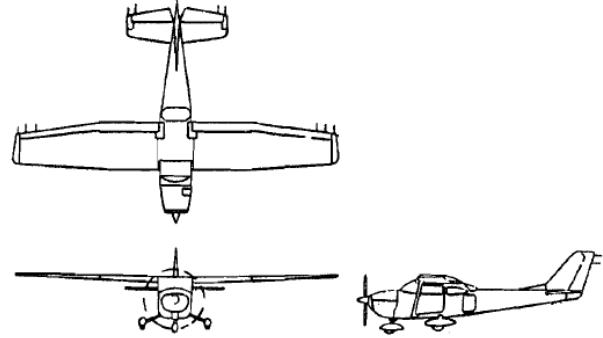
$$N = \frac{6,34 \times 10^{-4}}{50 \times 10^{-6}} \cong 12 \text{ adet} \quad (8)$$

Yapılan hesaplamalar sonrasında kullanılması gereken deşarj çubuğu sayısı, Denklem (8) ile belirtildiği gibi 12 adet olarak kabul edilebilir. RV-10 için yapılan statik deşarj çubuğu yerleşimi Şekil 4’da gösterilmiştir. Buna göre; kanatların firar kenarlarında 3’er adet, yatay stabilizatörlerde 2’şer adet ve dikey stabilizatörde 2 adet olmak üzere toplam 12 adet statik deşarj çubuğu yerleşimi yapılabilir [15].



Şekil 4: RV-10 için statik deşarj çubuğu yerleşimi [15].

RV-10 modeline benzer tek motorlu bir uçak için statik deşarj çubuğu kullanım sayısı araştırılmıştır. Yapılan literatür taraması neticesinde benzer boyutlardaki tek motorlu bir uçak için statik deşarj çubuğu kullanım sayısının RV-10 için hesaplanan değer ile aynı olduğu (12 adet) bulunmuştur [16].



Şekil 5: RV-10 modeline benzer tek motorlu bir uçak için statik deşarj çubuğu yerleşimi [16].

4. SONUÇ

Yapılan çalışma sonucunda uçaklar üzerinde biriken statik yüklerin antenler üzerindeki bozucu etkileri kuplaj teorisi ile ilişkilendirilerek incelenmiştir. Statik deşarj çubuklarının tiplerine göre elektriksel özellikleri ve operasyonel kullanım koşulları belirtilmiştir. Ayrıca, uçak yüzeylerine montaj işlemleri için kullanılması gereken cihazlar ve bağlantı yöntemleri değerlendirilmiştir. Bunlara ek olarak, uçakların yüklenme akımının bulunması için yapılan literatür araştırması örnek bir uçağın teknik özellikleri ile ilişkilendirilerek kullanılması gereken statik deşarj çubuğu sayısı hesaplanmıştır.

Bulunan değerler, tek motorlu benzer bir uçak için yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

Yazar Katkısı: Furkan Akbulut, literatür taraması ve çalışmanın gerçekleştirilmesi, Özcan Kalenderli, içerik belirleme ve kontrol kısımlarına katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması: Bu çalışmanın yazarları olarak, herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile çıkar çatışması bulunmadığını onaylarız.

5. KAYNAKLAR

- [1] J. A. Nanevicz and R. L. Tanner, "Some Techniques for the Elimination of Corona Discharge Noise in Aircraft Antennas," Proc IEEE, vol. 52, no. 1, pp. 53-64, Jan. 1964.
- [2] R. L. Tanner, "Precipitation Particle Impact Noise Aircraft Antennas," IEEE IRE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 5, no. 2, pp. 232-236, Apr. 1957.
- [3] Aircraft Precipitation Static Certification, ARP5672, 2016.
- [4] J. A. Nanevicz and R. L. Tanner. (1961, Apr.). Precipitation Charging and Corona-Generated Interference in Aircraft. Armed Services Technical Information Agency. Virginia, USA. [Online]. Available: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD0261029.pdf>
- [5] N. Felici, S. Larigaldie, "Experimental study of a static discharger for aircraft with special reference to helicopters," Journal of Electrostatics, vol. 9, no. 1, pp. 59-70, June 1980.
- [6] J. Y. Lee, "Electrostatic Discharges and Grounding for Aircraft," 2019 IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, USA, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/AERO.2019.8741867.
- [7] Dayton Granger Team. (2022, Feb.). Types of Static Dischargers. Dayton Granger Company. Fort Lauderdale, USA. [Online]. Available: <https://daytongranger.com/app/uploads/2022/02/StaticDischargersTypes.pdf>
- [8] R. A. Perala. (2009). A Critical Review of Precipitation Static Research Since 1930's and Comparison to Aircraft Charging By Dust. Electro Magnetic Applications, Inc. Colorado, USA. [Online]. Available: https://www.ema3d.com/wp-content/uploads/downloads/AEP_3.pdf
- [9] F. Ünal Toktaş, "Statik Elektrik," Elektrik Mühendisliği, sayı 330-331, s. 60-64, Nisan, 1986.
- [10] AviationHunt Team. (2021, July). Aircraft Static Discharge. AviationHunt. [Online]. Available: <https://www.aviationhunt.com/aircraft-static-discharge/>
- [11] Dischargers, Electrostatic General Specification, MIL-DTL-9129G, 2014.
- [12] Dayton Granger Team. (2022, Feb.). Instruction and Service Manual Dischargers and Retainers. Dayton Granger Company. Fort Lauderdale, USA. [Online]. Available: https://daytongranger.com/app/uploads/2022/02/Dischargers_Retainers-ServiceManual.pdf
- [13] Van's Aircraft Team. (2019, Jan.). RV-10 Brochure. Van's Aircraft Company. Oregon, USA. [Online]. Available: <https://www.vansaircraft.com/wp-content/uploads/2019/01/10FLY-2-19-Screen.pdf>
- [14] C. Lum and B. Waggoner. (2010, Feb.). A Risk Based Paradigm and Model For Unmanned Aerial Systems in the National Airspace. University of Washington. Seattle, USA. [Online]. Available: https://www.aa.washington.edu/sites/aa/files/research/afsl/publications/lum_risk_for_uavs_2010_2.pdf
- [15] Dayton Granger Team. (2005, May). Discharger Installation Diagram Van's Aircraft RV-10. Dayton Granger Company. Fort Lauderdale, USA. [Online]. Available: <http://mouser.org/projects/rv-10/daytongranger-rv10.png>
- [16] R. W. Lilley and R. W. Burhans. (1980, Sept.). VLF P-Static Noise Reduction in Aircraft. Ohio University. Ohio, USA. [Online]. Available: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA098451.pdf>

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Kaliks[4]Aren Türevi Temelli Gaz Sensör Çalışmaları

Calix[4]Aren Derivative Based Gas Sensor Studies

Zikriye Özbek^{1,*}

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik, Çanakkale, Türkiye

Geliş / Received: 06.04.2023

Kabul / Accepted: 17.04.2023

*Corresponding Author: Zikriye Özbek, zikriye@comu.edu.tr

ÖZ: Kaliks[4]aren türevi olan iki farklı C11AMINE ve CBAMINE maddeleri kullanılarak oluşturulacak organik ince filmlerin hazırlanma süreçleri, Langmuir-Blodgett (LB), Kuartz Kristal Mikrobalans (QCM), Atomik Kuvvet Mikroskopisi (AFM) ve Yüzey Plazma Rezonansı teknikleri ile takip edilmiştir. Langmuir-Blodgett tekniği ile farklı alttaşlar kullanılarak su-hava ara yüzeyinde ince filmlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, iki farklı kaliks[4]aren moleküllerinin bazı organik çözücü moleküllerine karşı davranışları Yüzey Plasmon Rezonans (SPR) tekniği ile incelenmiştir. SPR ile yapılan ölçümlerde kaliks[4]aren çözeltisi ile Langmuir-Blodgett ince film kaplama tekniği ile kaplanmış ve özel bir düzenek yardımı ile buhar fazındaki kloform, benzen, toluen ve etil alkol moleküllerine karşı tepkileri ve moleküler arası etkileşimler incelenmiştir. Bu ince filmlerin, organik uçucu bileşiklere karşı olan sensör özellikleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaliks[4]aren, Langmuir-Blodgett, yüzey plazmon rezonans, organik molekül, gaz sensör

ABSTRACT: The preparation processes of organic thin films to be formed using two different components of C11AMINE and CBAMINE, which are calix[4]arene derivatives, were followed using Langmuir-Blodgett (LB), Quartz Crystal Microbalance (QCM), Atomic Force Microscopy (AFM) and Surface Plasma Resonance. With the Langmuir-Blodgett technique, thin films with water-air intermediate properties were produced by using different substrates. In this study, the behavior of two different calyx[4]arene molecules against some organic solvent molecules was investigated by Surface Plasmon Resonance (SPR) technique. In the measurements made with SPR, the calix[4]arene solution was coated with Langmuir-Blodgett thin film coating technique and their reactions to chloroform, benzene, toluene and ethyl alcohol molecules in the vapor phase and intermolecular interactions were investigated with the help of a special device. The sensor properties of these thin films against organic volatile compounds were investigated.

Keywords: Calix[4]aren, Langmuir-Blodgett, surface plasmon resonance, organic molecule, gas sensor

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte temelde organik malzeme bulunan yapıların araştırılması ve kullanım alanları oldukça yaygınlaşmaktadır. Uygulama alanları arasında algılayıcılar(sensörler), güneş pilleri ve birçok elektronik devre elemanları bulunmaktadır. Sentezlenebilir olmalarının kolaylığı açısından diğer malzemelere göre önceliklidir. Bu bağlamda, kullanılan organik temelli yapıdaki özel grupların değiştirilmesi ile algılayıcının duyarlılığı değişim göstermekte ve hedefe duyarlı malzemeler üretilebilmektedir.

Özellikle 21. yüzyılda gaz algılayıcı olarak geniş bir alan tutmaktadırlar. Birçok ortamda bulunan kimyasal maddelerin oluşturduğu uçucu organik bileşikler insan sağlığı ve iş güvenliği bakımından olumsuz durumlar oluşturmaktadır. Böyle uçucu organik bileşiklere karşı algılayıcı geliştirmek oldukça önem arz etmektedir.

Nobel ödüllü bilim insanı Johann Friedrich Wilhelm Adolph von Baeyer kaliksarenleri 1872 senesinde sentezlemeyi başarmış ancak bu yapıların aydınlatılmasını gerçekleştirememiştir. [1]. Daha sonraki yıllarda, kaliksarenlerin yapılarının aydınlatılması üzerine birçok çalışma

mevcuttur. David Gutsche ve arkadaşları 1980 yılında, 4, 5, 6, 7 ve 8 fenolikden meydana gelen kaliksaren türevlerinin sentezini başarı ile tamamlamışlardır [2]. Son zamanlarda birçok aromatik bileşiklerden meydana gelen (3-20) kaliksaren türevleri sentezlenmektedir [3].

Kaliksaren moleküllerine ait yapı, arkeolojik kazılardan çıkarılan sunak, tas, vazo, sepet veya saksı görünümündeki kaplara benzer olması nedeniyle, "Kaliks" kelimesiyle adlandırılmıştır.

Kaliks[n]arenler fenol- formaldehit oligomerler olarak isimlendirilirler [1]. Fenolden gelecek olan aromatik halkaların miktarı ile guruplandırma yapılırlar. Kaliks[4]aren'de bu miktar 4 olarak belirlenmiştir [4]. Dört farklı kaliks[4]aren arasından kararlı olanı simetrisi yüksek ve kesik koni şeklinde olanlarıdır. Elde edilen şekillerdeki kesik koninin daralan uç kısmındaki fenolik hidrosiller (aralarındaki hidrojen bağı) sayesinde kararlı halde durmaktadır [1]-[2]. Kaliksaren maddeleri supramoleküler kimyanın çatısı altında olup, moleküllerin hidrojen bağları, dipol-dipol etkileşimleri ve Van der Waals kuvvetleri gibi zayıf kuvvetlerle etkileşerek konuk-konakçı (host-guest) türü bileşikler oluşturabilme özelliklerine sahiptirler [5]. Kaliks[n]arenlerin yapılarının halka şeklinde olması nedeniyle kolay bir şekilde çeşitlendirilmesi ve oluşan molekül boşlukları sebebi ile taşıyıcı olarak kullanılmaktadırlar [6]-[8].

Birçok ince film hazırlama tekniği yardımıyla, kaliks[n]arenler tek veya çok tabaka şeklinde organize edilebilir ya da çeşitli metal iyonlar kolayca eklenebilir [9]-[10]. Ayrıca bu moleküller, elektrokimyasal ya da optik sensörler de aktif bağlayıcı olarak kullanılabilirler; çünkü kaliksarenler, alkali/toprak alkali metal iyonları ya da biogen aminleri seçerek bağlanması eğilimlidirler [11]. Kaliksarenler sensör araştırmalarında konuk molekülleri olarak sıkça seçilip kullanılırlar ve büyük boşluklara sahip olduklarından düzenlenmesi açısından oldukça uygundur [12]-[13]. Bazı kaliksaren maddelerinin kimyasal gaz sensör özellikleri incelenmiş ve sensör etkileşmesinde kaliksaren maddesinin yapısı, kalınlığı, ince film kaplanan yüzeyin morfolojisi, sensör geometrisi ve sensör rezistansının, gaz sensörünü etkileyen faktörler olduğu bulunmuştur [14]-[15]. Filenko ve ark. tarafından yapılan çalışmada, kuartz bir yüzey üzerine termal buharlaştırma ile ince film

hazırlanmış ve perkloroetilen, kloroform, toluen ve benzen gazları ile olan ilişkileri QCM sistemi ile incelenmiştir. Kaliksaren maddelerinin çok çeşitli türevleri hazırlanabileceği ve üç boyutlu simetriye sahip oldukları için kaliksarenlere olan ilgi ve bu maddelerle yapılan çalışmalar her geçen gün hızla artmaktadır [16].

Bu çalışmada, kaliks[4]aren türevi iki farklı C11AMINE ve CBAMINE moleküllerinin ince film ve gaz sensör özellikleri araştırılmıştır. LB tekniği kullanılarak bu iki molekülün su-hava arayüzündeki moleküler davranışları incelenmiştir. LB ince filmleri için karakterizasyon yöntemi olarak QCM, AFM ve SPR sistemleri kullanılarak ince filmlerin üretim süreci takip edilmiştir. Yüzey plazmon rezonans (SPR) tekniği kullanılarak ince filmlerin dört farklı uçucu organik buharlar ile gaz etkileşimleri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Kaliksarenler, farklı analit molekülleri ile kompleks yapabilme özelliklerine sahip makrosiklik yapıdaki bileşiklerdir ve sensör çalışmalarında algılayıcı molekül olarak kullanılabilirler. Sensör çalışmalarında, algılayıcı moleküller ile analit arasındaki etkileşim dolayısıyla gerçekleşen algılama ölçülerek malzemenin algılama özelliği belirlenmektedir.

LB film tekniği yardımıyla, bu maddelerden ince filmler hazırlanmış ve QCM, AFM, SPR teknikleri kullanılarak ince film özellikleri incelenmiştir. Organik buharlardan kloroform, benzen, toluen ve etil alkol seçilmiş ve bunların kaliksaren ince filmlerle olan tepkileri SPR teknikleri yardımıyla incelenmiştir.

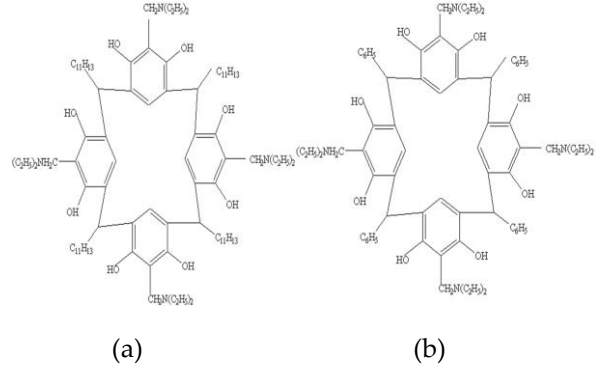
C11AMINE ve CBAMINE LB filmleri, otomatik yüzey denge sistemine sahip bir NIMA 622 alternatif LB teknesi tarafından üretildi. LB ince filmlerin üretimi için alttaş olarak ultrasonik olarak temizlenmiş mikroskobik cam slaytlar kullanıldı. Yüzey basıncı Wilhemly plate yöntemi [17] kullanılarak kontrol edildi, ardından tabaka tabaka C11AMINE ve CBAMINE LB filmleri bu alttaşlar üzerine aktarıldı. QCM ölçümleri için kuartz kristal alttaşlar kullanıldı. AFM ölçümleri, standart bir silikon nitrid kullanılarak, hafifçe vurma modunda havada gerçekleştirildi. 40 nm'lik bir yay sabitine sahip bir kantilaver yardımıyla 3D görüntüleri elde

edildi. AFM görüntüleri $4\mu\text{m} \times 4\mu\text{m}$ 'lik bir alanda alınmıştır.

SPR ölçümleri, 0.0030 çözünürlüklü SPR kurulumu Kretschmann tipi (BIOSUPLAR 6 Modeli) SPR kurulumu ile alındı. Biosuplar-Yazılımı, SPR sistem ayarları, ölçümler ve veri toplamanın yanı sıra veri sunumu için kullanıldı. SPR verileri WinSpall yazılımında Fresnel denklemlerinin (en küçük kareler algoritması aracılığıyla) [18] teorik uyumu kullanılarak, film kalınlığı ve kırılma indisi elde etmek için analiz edildi. C11AMINE ve CBAMINE ince filmlerinin kloroform, benzen, toluen ve etanol buharlarına maruz kalma üzerindeki etkileri özel bir sistem olan şeffaf plastik akış hücresi kullanılarak ölçümler alındı. Sabit bir geliş açısındaki yansıma yoğunluğu, ince filmlerin en az 2 dk farklı buharlara maruz bırakılarak sürenin bir fonksiyonu olarak izlendi ve 2 dk sonra da ince filmler üzerine temiz hava gönderilerek ölçüm alındı. C11AMINE ve CBAMINE ince filmlerinin bir algılama malzemesi olarak tekrar üretilebilirliğini gözlemlemek için bu işlemler dört kez tekrarlandı. Tüm organik buharlar küçük gaz hücresinde kuru hava kullanılarak ölçümler yapılmış, ve böylece suyun etkisi ortadan kaldırılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Algılayıcı madde olarak kullanılan kaliks[4]aren türevlerinin kimyasal yapıları Şekil 1'de verilmiştir. Kaliks[4]aren türevleri C11AMINE ve CBAMINE kullanılarak Tablo 1'de belirtilen oranlarda çözeltiler hazırlandı ve bu çözeltiler kullanılarak bu moleküllerin su yüzeyindeki davranışları incelendi. İzoterm grafiği, su yüzeyindeki yüzen moleküllerin su üzerindeki davranışlarını verirken diğer taraftan katı bir yüzeye transfer olabilecek uygun basınç değer(ler)ini verir.

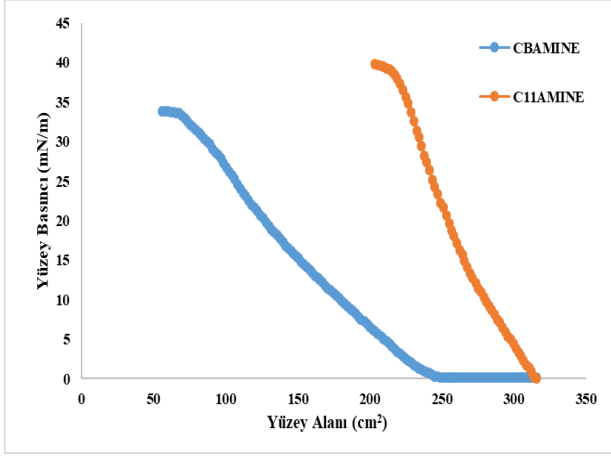


Şekil 1: Kaliks[4]aren maddeleri (a) C11AMINE (b) CBAMINE.

Tablo 1: Çözelti bilgileri.

Kullanılan madde	Molekül ağırlığı (g/mol)	Kullanılan çözücü	Madde miktarı (mg)	Çözelti miktarı (ml)	Konsantrasyon Oranı (mg/ml)
C11AMINE	1060	Kloroform	~ 2,5	~10	~ 0,25
CBAMINE	668		~2,5		~0,25

C11AMINE ve CBAMINE çözeltilerinden, 250 μl miktarları Hamilton şırıngası yardımıyla su yüzeyi üzerine serpilmiş ve kloroform çözücüsünün buharlaştırılmasından sonra hareketli bariyer sistemi kullanılarak, su yüzeyi üzerinde yüzen moleküller yavaş yavaş 0.2 mm/s sahip bariyer hızında sıkıştırılmıştır. Yüzey alanın azalması ile birlikte yüzey basıncı artmıştır. Katı, sıvı, gaz fazları ve dağılma (collapse) geçişleri gözlenmiştir. Şekil 2'de verilen izoterm grafiği, Tablo 2'de özetlenmiştir. İzoterm grafiğinden elde edilen sonuçlar, bu maddenin su yüzeyinde organize olabileceğini göstermiş ve bir sonraki aşamada 20 mN/m yüzey basınç değeri seçilerek katı bir yüzeye ince tabaka halinde transfer edilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu bulunan katı fazının yüzey basınç değeri literatür ile uyumludur [19].

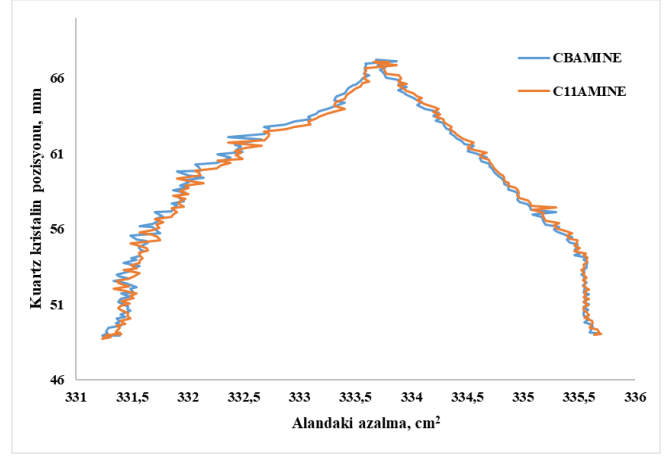


Şekil 2: C11AMINE ve CBAMINE maddelerine ait izoterm grafiği.

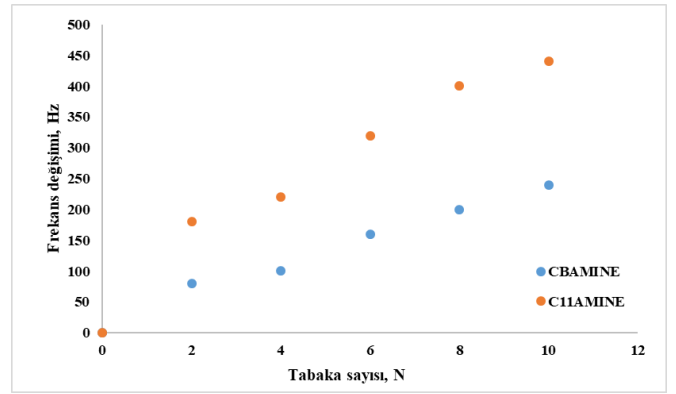
Tablo 2: İzoterm grafiğine ait detaylar.

(250 µl)				
C11AMINE	Gaz fazı	Sıvı faz	Katı faz	Dağılma
Yüzey	-0-1	-1-18	-18-38	>38
Basıncı(mN/m)				
Yüzey	~315-308	~308-254	~254-213	<213
Alanı(cm²)				
(250 µl)				
CBAMINE	Gaz fazı	Sıvı faz	Katı faz	Dağılma
Yüzey	-0-1	-1-16	-16-33	>33
Basıncı(mN/m)				
Yüzey	~315-235	~235-141	~141-69	<69
Alanı(cm²)				

Kuartz kristal üzerine LB ince film yöntemi ile üretilen ince filmlerin yüzey alanındaki azalmasına ait 2 tabaka transfer grafiği Şekil 3'de görülmektedir. C11AMINE ve CBAMINE maddesinden 10 tabakaya kadar ince filmler hazırlanmış ve frekans değişimleri QCM sisteminde ölçülmüştür. Şekil 4'de bu değişim gösterilmektedir. Bu grafik lineer bir ilişki göstermiş ve sonuç olarak, C11AMINE ve CBAMINE maddeleri de kuartz kristal üzerine transfer olmuştur. Grafikte elde edilen alan azalması, su yüzeyi üzerindeki ince tabakanın transfer olduğu şeklinde yorumlanır.



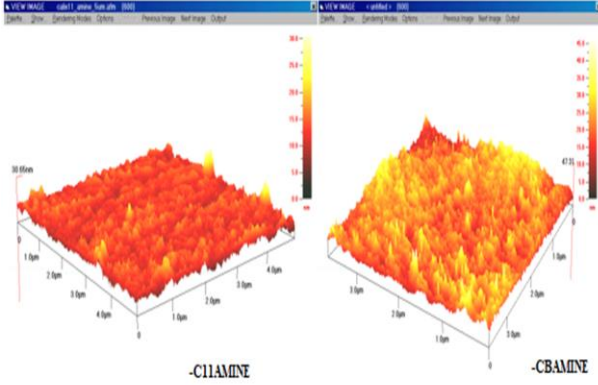
Şekil 3: Kuartz Kristal transfer grafiği.



Şekil 4: C11AMINE ve CBAMINE maddelerine ait frekans değişiminin tabaka sayısına göre değişimi.

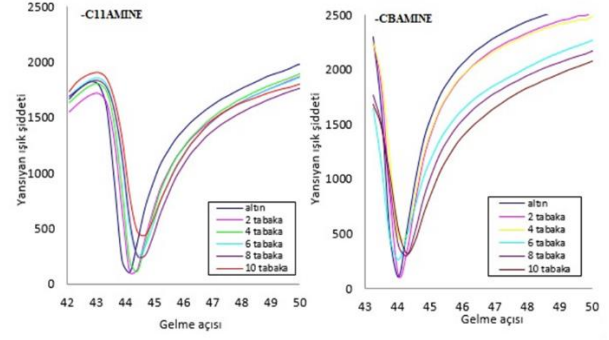
AFM çekme modu kullanılarak, hidrofilik cam altaşlar üzerine LB tekniği ile 15 tabaka olarak üretilen C11AMINE ve CBAMINE moleküllerinin morfolojik incelemesi gerçekleştirildi (Şekil 5). Numunenin farklı alan bölgeleri kullanılarak ölçümler tekrarlandı ve sonunda yüzey morfolojilerinin üç boyutlu (3D) AFM görüntüleri alındı. 3D AFM resimleri, C11AMINE ve CBAMINE moleküllerinden LB ince filminin üretilmiş olduğunu göstermiştir. Üç boyutlu resimlerden de görüleceği gibi renkler birbirine çok yakındır. Yüzeyde bazı iki büyük tepe şeklinde yükseklikler gözlemlendi, bu tümseklerin C11AMINE ve CBAMINE moleküllerinin toplanmasıyla oluştuğu varsayılmaktadır. Ayrıca, bu tümsek şeklindeki yükseklikler cam yüzey düzensizliklerinden kaynaklanabilir. Her ne kadar oluşan tümsek görüntüleri RMS (the surface root mean square roughness) değerini artırsa da, sonuçlar LB filmlerinin düzgün, kompakt, uniform ve boşluksuz bir şekilde üretilmiş olduğu gözlemlenmiştir. AFM resimlerinin analizi sonucunda C11AMINE RMS değeri 2.244 nm olarak elde edilmiştir. Bu şekil

incelenirse film kalınlığının ortalama değeri 11.19 nm olup, değişiminin 5.25 -15.25 nm aralığında olduğu görülmektedir. RMS değerinin yüksek çıkmasının nedeni, yukarıda bahsi geçen iki yüksek tepeden kaynaklandığı düşünülmektedir. CBAMINE RMS değeri ise 4.596 nm olarak elde edilmiştir. Bu resme göre ince film kalınlığının ortalama değeri 18.58 nm'dir ve kalınlık değeri 5.5–30 nm arasında değişmektedir.



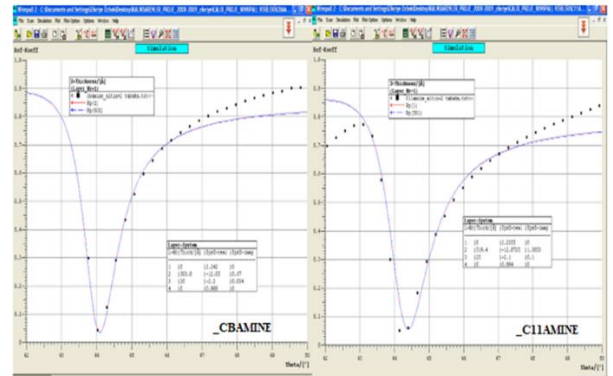
Şekil 5: C11AMINE ve CBAMINE LB filmine ait üç boyutlu AFM görüntüsü.

Şekil 6'daki sonuçlara göre alınan SPR spektrumlarının simülasyonlarının yapıldığı WinSpall programı kullanıldı ve üzeri altın kaplı cam alttaşlar üzerine üretilen LB filmlerin kalınlık ve kırılma indislerine ait hesaplar yapıldı. İlk olarak LB filmlerin kalınlıklarının hesaplanması için altın yüzeyin hangi kalınlıkta olduğu bilinmelidir. Bu aşamada, film kaplanması gerçekleştirilmeden önce alınan altın yüzey için elde edilmiş SPR spektrumu kullanılarak, WinSpall simülasyon programında altın yüzeyin kalınlığı hesaplanmıştır. Cam yüzey üzerine kaplanmış olan altın yüzeyler SPR sistemi ile birlikte hazır olarak alınmıştır. Üretici firma tarafından bu altın kaplamaların kalınlıkları 500 Å (50 nm) olarak hesaplanmıştır. Bu hesap altın kaplamanın üretimi esnasında olup, kuartz kristal kullanılarak hesaplanmıştır. Deneysel olan yapılan SPR ölçümleri sonucunda bu altın kaplamanın kalınlık değeri 491 Å (49.1 nm) olarak bulunmuştur. Bu iki sonucun birbiri ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.



Şekil 6: C11AMINE ve CBAMINE LB filmlerine ait SPR spektrumu.

Bir sonraki aşamada, altın yüzey üzerine üretilen 2 tabaka C11AMINE ve CBAMINE için WinSpall fit programı vasıtasıyla kalınlık ve kırılma indisi hesapları yapılmıştır. Altın yüzey üzerine 2 tabaka kaplanan C11AMINE ve CBAMINE LB ince filmlerine ait alınan deneysel sonuçlara ait teorik fitler Şekil 7'de gösterilmektedir. Sonraki aşamada, altın yüzeye C11AMINE ve CBAMINE kaplanmaya devam edilmiş ve yüzeye kaplanan 4, 6, 8, ve 10 tabaka için kalınlık hesabı aynı program yardımıyla yapılmıştır.

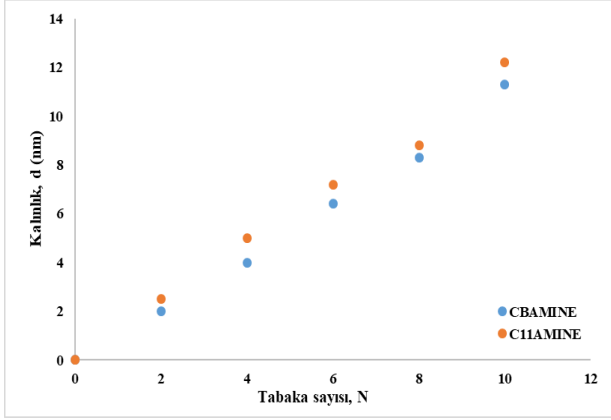


Şekil 7: Altın yüzeye kaplanan 2 tabaka C11AMINE ve CBAMINE için hesaplanan kalınlık değeri.

Elde edilen kalınlık ve kırılma indis değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Kalınlık değerlerinin tabaka sayısına göre değişimi ise Şekil 8'de gösterilmiştir. Bu grafiğin eğiminden faydalanarak C11AMINE ve CBAMINE için tek bir tabakanın kalınlığı sırasıyla 1.17 nm ve 1.11 nm olarak elde edilmiştir.

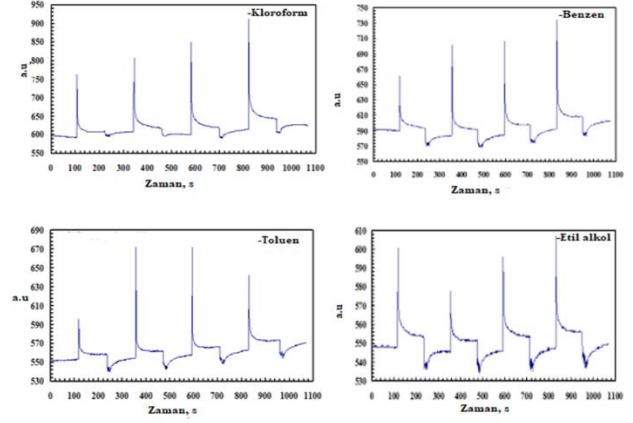
Tablo 3: C11AMINE ve CBAMINE için kalınlık ve kırılma indis değerleri.

Tabaka Sayısı	Kalınlık (nm)		Kırılma İndisi	
	C11AMINE	CBAMINE	C11AMINE	CBAMINE
2	2.5	2.0	1.45	1.48
4	5.0	4.0	1.44	1.64
6	7.2	6.4	1.34	1.72
8	8.8	8.3	1.30	1.68
10	12.2	11.3	1.46	1.90

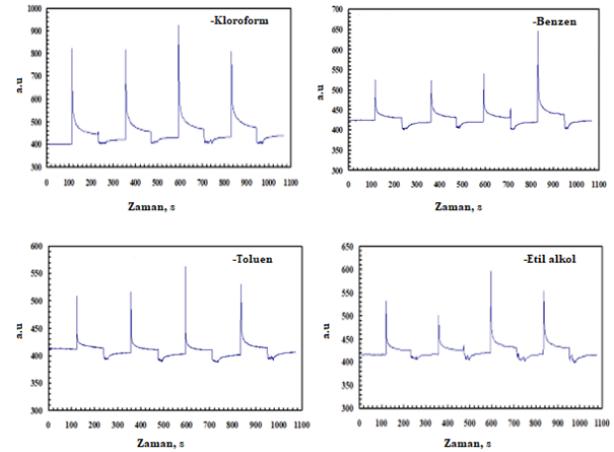
**Şekil 8:** Kalınlığın tabaka sayısına göre değişimi.

Benzer bir kaliksaren molekülü kullanarak üretilen LB filmi için X-ray spektroskopisinden [20] tabaka kalınlığını 1.23 nm olarak elde edilmiştir. Diğer bir çalışmada ise SPR ve elipsometri teknikleri kullanılarak, LB film kalınlıkları SPR sisteminde 1.33 nm, elipsometri ölçümlerinden 1.37 nm olarak elde edilmiştir [21]. Kırılma indisleri ise kaliks[n]aren (n = 4, 8) için 1.46 [20, 22-23] 1.494 [24] 1.48 [24] and between 1.54 and 1.43 [25] olarak elde edilmiştir. Katantseva tarafından yapılan çalışmada ise kaliks[n]aren maddeleri için kırılma indisleri 1.47 ± 0.01 ile 1.70 ± 0.01 aralığında, kalınlıkları ise 0.80 ± 0.1 ile 1.50 ± 0.1 nm aralığında elde edilmiştir [26].

Sensör araştırmalarında, sensör maddesinin istenen gaz veya organik buhar etkileşmelerine ait ölçümler SPR kinetik grafiği yardımıyla elde edilir. C11AMINE ve CBAMINE maddelerinin kloroform, benzen, toluen ve etil alkolü gibi zararlı olan organik buharlara olan tepkileri kinetik grafik ölçümleri yapılarak elde edilmiştir.

**Şekil 9:** C11AMINE ince filmin dört farklı uçucu organik bileşikleriyle etkileşmesi.

C11AMINE maddesi kullanılarak elde edilen LB filmlerinin dört farklı organik buharlarla etkileşmeleri Şekil 9'da verilmiştir. Elde edilen grafiklerden de görüldüğü gibi C11AMINE molekülü tüm organik buharlara bir tepki vermiştir. Bu ince filmlerin kloroform, benzen, toluen ve etil alkolü algılayabildiğini ve bu organik buharların belirlenmesinde kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak elde edilen grafiklerden, bu organik buharlara karşı çok seçici olmadığını da göstermektedir. Tepki ve geri dönüşüm süreleri oldukça hızlıdır. C11AMINE ince filmlerin belirtilen organik buharları algılamasında birçok kereler kullanılabileceği belirlenmiştir.

**Şekil 10:** CBAMINE ince filmin dört farklı uçucu organik bileşikleriyle etkileşmesi.

Benzer şekilde, diğer kaliks[4]aren türevi olan CBAMINE için de elde edilen LB filmlerinin dört farklı organik buharla karşı etkileşmeleri Şekil 10'da gösterilmiştir. CBAMINE molekülü kloroform, benzen, toluen ve etil alkolü algılayabilir ve

bunların algılanmasında kullanılabilir. Tepki ve geri dönüşüm sürelerinin hızlı olduğu ve bu ince filmlerin belirtilen organik buharların algılamasında kullanılabileceği tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada farklı 2 adet kaliks[4]aren türevi C11AMINE ve CBAMINE maddeleri kullanılmış, bu maddelere ait ince film özellikleri ve maddelerin bazı organik buharlara tepkileri incelenmiştir. İnce film hazırlama teknikleri olarak, Langmuir-Blodgett (LB) film, analiz yöntemleri ise, QCM, AFM ve SPR seçilmiştir. Bu iki molekül kullanılarak cam, kuartz kristal ve altın kaplamalı cam yüzeylerde LB ince filmler olarak başarılı bir şekilde üretilmiş ve biriktirilmiştir. Düzenli ince tabakanın meydana geldiği katı faz değerleri benzer yüzey basınç aralıklarında gerçekleşmiş olup, ortak basınç değeri olarak 22.5 mN/m olarak seçilmiş ve tüm transfer işlemlerinde bu basınç değeri kullanılmıştır. LB film transfer işleminin takip edilmesinde kullanılan diğer bir teknik QCM tekniği olup, kuartz kristal üzerine üretilen her bir madde için farklı tabaka sayılarında, frekans değişimi gözlenmiştir. Kaliks[4]aren maddelerinden LB ince filmler arasındaki ilişkinin lineer olduğu gözlenmiş ve tabaka sayısı arttıkça frekanstaki değişimde ona paralel olarak artmıştır. Her iki maddenin de kuartz kristal üzerine transfer olduğu görülmüştür.

C11AMINE ve CBAMINE ince filmlerinin yüzey morfolojik özellikleri AFM görüntüleri ile araştırılmıştır. C11AMINE LB filmine ait AFM görüntüsünden, filmin düzenli bir yapı oluşturduğu ve büyük tepe yükseklikler gözlenmiş ve AFM görüntüsünün analizinde RMS değeri 2.244 nm elde edilmiştir. Bu tepelerin cam yüzeydeki düzensizlikten veya toz zerreciklerinden kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır. Benzer AFM ölçümleri CBAMINE LB filmi için de yapılmış ve RMS değeri 4.596 nm olarak elde edilmiştir. AFM görüntüleri, LB film transfer işleminin katı yüzeye düzenli bir şekilde transfer olduğunu göstermiştir.

Kaliks[4]aren maddeleri için, film oluşumu son olarak SPR yöntemi kullanılarak takip edilmiş ve altın kaplanmış cam yüzey üzerine LB ince filmleri farklı tabakalarda üretilmiştir. SPR sonuçları, film kalınlığının ve kırılma indislerinin bulunmasında

kullanılmıştır. Hazır olarak satın alınmış olan altın kaplama kalınlıkları 50 nm olarak üretilmiştir. Altın yüzeylere ait SPR grafiklerine ait fit grafiklerinde kalınlık değeri 49.1 nm bulunmuş ve iki sonuç arasında iyi bir uyum olduğu gözlenmiştir. Kalınlık değerleri ise 1.0-1.22 nm aralığında değiştiği elde edilmiş olmasına rağmen, bu değerler literatürde 1.23-1.37 nm aralığında elde edilmiştir. Kırılma indisi değerleri Winspall fit programı ile yapılan hesaplarda 1.30- 1.90 aralığında elde edilmiş ve literatürdeki farklı çalışmalarda farklı kaliksaren maddeleri için 1.43-1.7 aralığında değişen kırılma indisi değerleri bulunmuştur. Elde edilen kalınlık ve kırılma indisi değerlerinin, literatürdeki farklı kaliksaren maddeleri için yapılan ölçümlerle uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir. SPR tekniği de LB ince filmlerin optik ve adsorpsiyon özelliklerini araştırmak için kullanılmıştır. Her iki kaliks[4]aren türevi maddeler adsorpsiyon kinetik özellikleri elde edildi. Dört farklı buharlarla yapılan deneylerde 2 dakika süreyle, 4 adet tepki ölçülmüş ve sensör maddesinin kendisini yenileyip, yenileyemediği gözlenmiştir. C11AMINE ve CBAMINE molekülleri tüm organik buharlara bir tepki vermiş ve bu tepkilerin geri dönüşümlü olduğu gözlenmiştir. Tepki ve geri dönüşüm süreleri saniyeler mertebesinde. Bu LB ince filmlerinin kloroform, benzen, toluen ve etil alkolü algılamada birden fazla kullanılabileceği ve ancak elde edilen grafiklerden, bu organik buharlara karşı çok seçici olmadığını da göstermiştir.

Yazar Katkısı: Zikriye Özbek, kavramsallaştırma, metodoloji, yazılım, veri iyileştirme, yazma-özgün taslak hazırlama, görselleştirme, denetleme, kaynaklar, yazma-inceleme ve düzenleme araştırılması kısımlarına katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması: Bu çalışmanın yazarı olarak, herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile çıkar çatışması bulunmadığını onaylıyorum.

5. KAYNAKLAR

- [1] C. D. Gutsche, "Calixarenes," Royal Society of Chemistry, Cambridge, England, 1989, pp. 210.
- [2] C. D. Gutsche, "Calixarenes: An Introduction (Monographs in Supramolecular Chemistry)," 2nd ed. London, England, RSC Publishing, vol 10, 2008.

- [3] G. Mc Mahon, R. Wall, K. Nolan, D. Diamond, "Characterisation of the estersubstitued products of the reaction of p-t-butyl calix[4]arene and ethyl bromoacetate using LC-UV-MS and LC-DAD," *Talanta*, 57 : 1119–1132, July, 2002.
- [4] C. Rizzoli, G.D. Andreetti, R. Ungaro, A.J. Pochini, "Molecular inclusion in functionalized macrocycles 4.the crystal and molecular structure of the cyclo{tetrakis[(5-t-butyl-2-acetoxy-1,3-phenylene)methylene]}-acetic acid (1:1) clathrate," *J. Mol. Struct.*, 82(1-2), 82–133, 1982.
- [5] C. D. Gutsche, B. Dhawan, J. A. Levine, K. H. No, L. J. Bauer, "Calixarenes 9: Conformational isomers of the ethers and esters of calix[4]arenes," *Tetrahedron*, 39 :409–426, 1983.
- [6] V. Böhmer, "Claxarenes, Macrocycles with (almost) unlimited possibilities," *Angew. Chem. Int. Edit.*, 34:7, 713–745, April, 1995.
- [7] M. A. Markowicz, V. Janout, D. G. Castner, S. L. Regen, "Perforated monolayers design and Synthesis of porous and Cohesive monolayers from Mercurated Calix[n]arenes," *J. Am. Chem. Soc.*, 111 (21), 8192–8200, October, 1989.
- [8] M. Conner, V. Janout, I. Kudelka, p. Dedek, j. Zhu, S. L., Regen, "Perforated monolayers fabrication of Calix[6]arene-Based composite membranes that function as molecular-sieves," *Langmuir*, 9, 2389–2397, September, 1993.
- [9] P. Vitovič, D. P. Nikolelis, T. Hianik, 'Study of calix[4]resorcinarene–dopamine complexation in mixed phospholipid monolayers formed at the air–water interface," *Biochim. Biophys. Acta*, 1758:11, 1852–1861, November, 2006.
- [10] F. Davis, C. J. M Stirling, "Calix-4-resorcinarene Monolayers and Multilayers: Formation, Structure, and Differential Adsorption," *Langmuir*, 12:22, 5365-5374, October, 1996.
- [11] M.Z. Ildiko', "Selective complex formation of some chromogenic calix[4]arene derivatives detected by Fourier transform infrared spectroscopy 1. Solution experiments," *Spectrochimica Acta Part A*, 59:1, 19-27, January, 2003.
- [12] S. Kunsági-Máté, G. Nagy, L. Kollár, "Host-guest interaction of kaliksarene molekül with neutral benzotrifluorides Comparison of luminescence spectral data with results of model calculations relating to complex formation," *Analytica Chimica Acta*, 428:2, 301–307, February, 2001.
- [13] I. Oueslati, "Calix(aza)crowns: synthesis, recognition, and coordination," *Tetrahedron*, 63:44, 10840-10851, October, 2007.
- [14] D. Filenko, T. Gotszalk, Z. Kazantseva, O. Rabinovych, I. Koshets, Y. Shirshov, V.I. Kalchenko, I. Rangelow, "Chemical gas sensors based on kaliksarene-coated discontinuous gold films," *Sensors and Actuators B*, 111, 264–270, November, 2005.
- [15] Yu.M. Shirshov, S.A. Zynio, E.P. Matsas, G.V. Beketov, A.V. Prokhorovich, E.F. Venger, L.N. Markovskiy, V.I. Kalchenko, A.V. Soloviov, R. Merker, "Optical parameters of thin calixarene films and their response to benzene, toluene and chloroform adsorption", *Supramolecular Science*, 4:3-4, 491-494, September – December, 1997.
- [16] E. K. Ertürün, "Anyon-seçici elektrot hazırlanması: Dikromat-seçici elektrot", Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2006.
- [17] Z. Özbek, "Kalikseren maddelerinin ince film ve elektrik özellikleri," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye, 2007.
- [18] I. Pockrand, "Surface plasma oscillations at silver surfaces with thin transparent and absorbing coatings," *Surf. Sci.*, 72:3, 577-88, April, 1978.
- [19] Z. Özbek, R. Çapan, H. Gökaş, S. Şen, F. G. İnce, M. E. Özel, F. Davis, "Optical parameters of calix[4]arene films and their response to volatile organic vapors," *Sensors and Actuators B*, 158:1, 235–240, November, 2011.
- [20] A. V. Nabok, T. Richardson, C. McCartney, N. Cowlam, F. Davis, C. J. M. Stirling, A. K. Ray, V. Gacem, A. Gibaud, "Size-quantization in extremely small CdS clusters formed in calixarene LB films", *Thin Solid Films*, 327–329, 510–514, August, 1998.
- [21] A. Nabok, A. K. Ray, Iwantono, A. Hassan and M. Simmonds A. Nabok, A. K. Ray, A. H. Iwantono, M. Simmonds, "Optical study on II-VI semiconductor nanoparticles in Langmuir-Blodgett films", *IEEE Trans. Nanotech.*, 2:1, 44-49, March, 2003.
- [22] A.K Hassan, A.V Nabok, A.K Ray, A Lucke, K Smith, C.J.M Stirling, F Davis, "[23] Thin films of calix-4-resorcinarene deposited by spin

- coating and Langmuir–Blodgett techniques: determination of film parameters by surface plasmon resonance”, *Mat. Sci. Eng. C*, 8–9, 251–255, December, 1999.
- [23] A. V. Nabok, A. K. Hassan, A. K. Ray, “Condensation of organic vapours within nanoporous calixarene thin films”, *J. Mater. Chem.*, 10, 189-194, December, 1999.
- [24] A.K. Hassan, A.K. Ray, A.V. Nabok, T. Wilkop, “Kinetic studies of BTEX vapour adsorption onto surfaces of calix-4-resorcinarene films”, *Appl. Sur. Sci.*, 182:1-2, 49-54, October, 2001.
- [25] M. C. Oh, K. J. Kim, J. H. Lee, H. X. Chen, K. N. Koh, “Polymeric waveguide biosensors with calixarene monolayer for detecting potassium ion concentration”, *Appl. Phys. Lett.*, 89:25, 251104, December, 2006.
- [26] Z.I. Kazantseva, N.V. Lavrik, A.V. Nabok, O.P. Dimitriev, B.A. Nesterenko, V.I. Kalchenko, S.V. Vysotsky, L.N. Markovskiy, A.A. Marchenko, “Structure and electronic properties of Langmuir-Blodgett films of calixarene/fullerene composites”, *Supramolecular Sci.*, 4:3-4, 341-347, December, 1997.
- [27] R. Çapan, T. H. Richardson, “Pyroelectric effect in a mixed polysiloxane/eicosylamine Langmuir-Blodgett Thin Film,” *Materials Letters*, vol. 25, pp. 3131-3135, 2004.
- [28] D. Lacey, T. Richardson, F. Davis, and R. Çapan, “Pyroelectric Superlattices Based on Polysiloxane / Calix[n]arene Alternate LB Films,” *Materials Science & Engineering C*, vol. 8-9 pp. 377-384, 1999.
- [29] R. Çapan, “Pyroelectric and Dielectric Characterisation of Alternate Layer Langmuir-Blodgett Films Incorporating Ions,” *Materials Letters*, vol. 61, no. 4-5, pp. 1231-1234, 2007.
- [30] R. Çapan, T. H. Richardson, D. Lacey, “Pyroelectric Effect in Langmuir-Blodgett Films Incorporating Ions,” *Thin Solid Films*, vol. 468, no. 1-2, pp. 262-267, 2004.
- [31] R. Çapan, T. Richardson, D. Lacey, “Cd 2+ and Mn 2+ Incorporation in Copolysiloxane/Eicosylamine Alternate Layer LB Films: Influence on Pyroelectric Activity,” *Thin Solid Films*, vol: 327-329, pp. 369-372, 1998.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Yüzüncü Kuruluş Yılında Türkiye'nin Enerji Görünümü, Hedefleri ve Gelecek Projeksiyonu

Turkey's Energy Outlook, Goals, and Future Projections on the Occasion of Its Centennial

Mert Ökten^{1,*}

¹ Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Manisa, Türkiye

Geliş / Received: 20.04.2023

Kabul / Accepted: 08.05.2023

*Corresponding Author: Mert Ökten mert.okten@cbu.edu.tr

ÖZ: Enerji, modern dünyanın en önemli ihtiyaçlarından biridir. Bugün dünya enerji talebi giderek artmaktadır. Bu talebin çevreye zarar vermeden sürdürülebilir kaynaklardan karşılanması, enerji verimliliğinin artırılması, enerji depolama sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Türkiye, enerji kaynaklarının geçiş güzergahında olması, doğal gaz ve petrol hatlarının bir kısmının üzerinden geçmesi, ülkeyi enerji politikaları açısından önemli bir konuma getirmektedir. Coğrafi konumu itibarıyla de gerek fosil kökenli enerji kaynakları gerekse yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir ülkedir. Bu çalışmada, Türkiye'nin mevcut enerji görünümü Enerji Piyasası Denetleme Kurulu verileri incelenerek, hedefleri doğrultusunda gelecek projeksiyonu çıkarılmıştır. Çalışma sonunda, ulusal enerji planı 2035 hedefleri doğrultusunda yenilenebilir ve alternatif enerji kaynaklarına yönelimin gerçekleşmesiyle sürdürülebilirliğin ve verimliliğin artacağı, çevresel etkilerin azalacağı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Enerji, hidrokarbon, projeksiyon, sürdürülebilirlik, Türkiye

ABSTRACT: Energy is one of the most crucial needs of the modern world. Today, the global demand for energy is increasing rapidly. Meeting this demand from sustainable sources without harming the environment requires an increase in energy efficiency, the development of energy storage systems, and the utilization of sustainable resources. Turkey's location on the energy transit route and the fact that some of the natural gas and oil pipelines pass through the country make it an important player in terms of energy policies. Turkey is also a rich country in terms of both fossil-based and renewable energy resources due to its geographical location. This study examines Turkey's current energy outlook by analyzing data from the Energy Market Regulatory Authority, and a future projection is made in line with its goals. At the end of the study, it is observed that sustainability and efficiency will increase, and environmental impacts will decrease with the realization of a shift towards renewable and alternative energy sources in line with the national energy plan 2035 objectives.

Keywords: Energy, hydrocarbons, projection, sustainability, Turkey

1. GİRİŞ

Enerji, dünya üzerindeki tüm canlıların varlığı ve faaliyetleri için gerekli olan bir fiziksel kavramdır. Enerji, iş yapmak veya hareket etmek için kullanılabilir ve çeşitli kaynaklardan elde edilebilir. Bugün, enerji dünya ekonomisi ve yaşam standardı için temel bir bileşen haline gelmiştir. Günümüzde, sanayi, ulaşım, iletişim ve gıda üretimi gibi pek çok

sektör, enerjiye bağımlıdır. Enerji kaynakları, fosil kaynaklar ve yenilenebilir kaynaklar olmak üzere iki ana gruba incelenebilir.

Fosil enerji kaynakları, yıllar önce var olan organik maddelerin milyonlarca yılda yavaşça çürümesi ve basınç altında kalması sonucu oluşan enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklar arasında kömür, petrol ve doğal gaz gibi yakıtlar yer alır.

Kömür, bitkilerin ve ağaçların milyonlarca yıl önce çürümesi ve toprağın altında basınç altında kalması sonucu oluşan kömür, dünya enerji üretiminin önemli bir bölümünü karşılamaktadır. Kömürün kalitesi, içerdiği karbon miktarına ve ne kadar kükürt ve diğer kirleticiler içerdiğine bağlıdır. Düşük kaliteli kömür, daha yüksek kirlilik seviyelerine sahiptir ve çevreye zararlıdır. Deniz ve kara altındaki organik maddelerin milyonlarca yılda çürümesi ve basınç altında kalması sonucu oluşan petrol, dünya enerji tüketiminin büyük bir bölümünü karşılamaktadır. Benzin, dizel, jet yakıtı ve fuel-oil gibi ürünler, petrolün rafine edilmesi sonucu elde edilen yakıtlar arasındadır. Petrol ayrıca endüstriyel kimyasalların üretiminde ve plastik gibi ürünlerin yapımında da kullanılır. Organik maddelerin çürümesi sonucu oluşan doğal gaz, petrol yataklarının altında veya ayrı bir doğal gaz yatağı olarak bulunur. Gaz hidratlar, doğal gazın donmuş hali olarak da bilinir ve doğal gazın metan moleküllerinin su molekülleriyle birleşmesiyle oluşur. Şeyl gazı ise yer kabuğunun derinliklerindeki kayalıkların içindeki doğal gazdır.

Nükleer enerji, atom çekirdeklerindeki reaksiyonlardan elde edilen enerjiyi kullanarak elektrik üretimini sağlayan bir enerji kaynağıdır. Bu işlem, atom çekirdeklerinin bölünmesi (filyon) veya birleştirilmesi (füzyon) ile gerçekleştirilir. Nükleer enerji, fosil yakıtlara kıyasla daha düşük karbon emisyonlarına sahiptir ve yüksek enerji yoğunluğu nedeniyle, dünya genelinde elektrik üretiminde önemli bir rol oynar. Ancak, nükleer enerjinin kullanımı çevresel, sağlık ve güvenlik risklerini de beraberinde getirir. Radyoaktif atıkların depolanması ve işlenmesi zorlu bir süreçtir ve nükleer kazaların potansiyel riski bulunmaktadır.

Fosil yakıtlar, ucuz oldukları için yaygın olarak kullanılırlar. Ancak, fosil yakıtların kullanımı, atmosfere zararlı sera gazlarının salınımına neden olur ve küresel iklim değişikliğinin en büyük nedenlerinden biridir.

Diğer taraftan, yenilenebilir enerji kaynakları, doğal süreçlerle sürekli olarak yenilenen ve sınırsız olan enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklar arasında güneş, rüzgar, hidroelektrik, jeotermal ve biyokütle gibi kaynaklar yer alır.

Güneş enerjisi, güneşten gelen ışık ve ısı enerjisini kullanarak elektrik enerjisi veya ısı enerji üretme sürecidir. Güneş enerjisi, farklı teknolojilerle kullanılabilir. Fotovoltaik (PV) teknolojisi, güneş panelleri aracılığıyla güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür. PV/T sistemleri ise hem ısı hem de elektrik üretmek için kullanılabilirler. Güneş kolektörleri ise güneş enerjisini kullanarak ısı enerji üretirler. Rüzgar enerjisi, rüzgarın hareket enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Hidroelektrik enerji, su gücünün elektrik enerjisine dönüştürülmesi yoluyla elde edilen bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bu yöntemde, suyun yüksek basınç altında tutulduğu barajlar inşa edilir ve suyun yüksekliği azaltılarak kinetik enerjisi türbinlerle mekanik enerjiye dönüştürülür. Bu mekanik enerji daha sonra jeneratörlere bağlanarak elektrik enerjisine dönüştürülür. Biyokütle enerjisi, organik materyallerin yakılması veya parçalanması yoluyla elde edilen bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Biyokütle, bitkisel malzemeler ve hayvansal atıklar gibi çeşitli kaynaklardan elde edilebilir. Ayrıca, biyokütlenin gazlaştırılması veya sıvılaştırılması yoluyla biyoyakıtlar üretilebilir. Jeotermal enerji, yer altındaki sıcak su ve buhar, yüzeye çıkarılarak türbinlerle mekanik enerjiye dönüştürülür ve jeneratörlere bağlanarak elektrik enerjisine dönüştürüldüğü bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Okyanus termal enerjisi, okyanusların yüzeyindeki sıcak su ve daha derinlerdeki soğuk su arasındaki sıcaklık farklarından kaynaklanan bir enerji kaynağıdır. Dalga enerjisi, dalgalarının hareket enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Gel-git enerjisi, gelgitlerinin yüksek ve alçak seviyeleri arasındaki farklılıkları kullanarak elektrik enerjisi üretir.

Hidrojen enerjisi, hidrojen gazının yakıt olarak kullanılması yoluyla elektrik enerjisi üretimi amacıyla kullanılan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Hidrojen gazı, suyun elektrolizi yoluyla veya biyokütle, kömür veya doğal gaz gibi malzemelerin gazifikasyonu veya reformasyonu yoluyla üretilebilir. Hidrojen enerjisi, çok yönlü bir enerji kaynağıdır. Saf hidrojen gazı, düşük emisyonlu bir yakıttır ve yanma sonucu sadece su buharı üretir. Bu nedenle, hidrojen enerjisi, düşük karbonlu bir enerji dönüşümü için potansiyel bir aday olarak kabul edilir. Ancak, hidrojen enerjisi,

yüksek maliyetleri ve hidrojen gazının üretimi için gereken enerji kaynaklarına bağımlılığı nedeniyle henüz yaygın olarak kullanılan bir enerji kaynağı değildir.

Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtlara kıyasla daha temiz ve çevre dostudur ve küresel iklim değişikliğiyle mücadele için önemli bir araçtır. Ancak, yenilenebilir enerji kaynaklarının bazı dezavantajları da vardır. Örneğin, güneş enerjisi veya rüzgar enerjisi gibi kaynakların verimli kullanımı için uygun koşulların sağlanması gerekmektedir.

Türkiye'nin modern tarihi, Osmanlı İmparatorluğu'nun çöküşü ve ardından 1923 yılında Mustafa Kemal Atatürk liderliğinde cumhuriyetin kurulması ile başlamaktadır. Türkiye'nin, hem Avrupa hem de Asya kıtalarının birleştiği noktada yer alması, Akdeniz, Karadeniz ve Ege Denizi gibi önemli denizlere kıyısı olması ve Orta Doğu, Balkanlar ve Kafkaslar gibi stratejik bölgelere yakın olması sebebiyle jeopolitik ve jeostratejik önemi oldukça yüksektir. Özellikle enerji kaynaklarının geçiş güzergahında olması, doğal gaz ve petrol hatlarının bir kısmının Türkiye üzerinden geçmesi, ülkeyi enerji politikaları açısından önemli bir konuma getirmektedir.

Türkiye'nin uluslararası enerji stratejisinde, bölgesel ve küresel enerji güvenliğine katkıda bulunarak, bölgesinde enerji ticaret üssü olmayı hedeflemektedir. Artan talep ve ihtiyacı göz önünde bulundurarak, petrol ve doğal gaz arzında kaynakların ve rotaların çeşitlendirilmesi, enerji zincirinin her aşamasında çevresel etkileri dikkate alarak sürdürülebilirliğin sağlanması, elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK) ve yeşil enerjinin payının artırılması ve enerji kaynaklarına nükleer enerjinin dahil edilmesi bu stratejiyi oluşturan temel unsurlardandır [1].

Erdin ve Özkaya, Türkiye'de YEK'ler için "Site Seçimi" konusu, çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan ELECTRE ile değerlendirmişlerdir. Analizin sonucunda, bölgelerin coğrafyasına ve enerji potansiyeline göre en uygun enerji kaynaklarını belirlemişlerdir. Buna göre; İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde biyokütle ve güneş, Güney Doğu Anadolu bölgesinde hidroelektrik ve güneş, Karadeniz

bölgesinde hidroelektrik, Marmara bölgesinde jeotermal ve rüzgar, Ege bölgesinde jeotermal, biyokütle ve rüzgar enerjisi ön plana çıkmaktadır. Akdeniz bölgesinde ise tüm YEK'lerin kullanılabilmesi belirtilmiştir [2].

Genç ve ark., Türkiye'nin kıyı alanları için uygulanabilir bir offshore rüzgar enerjisi santrali için kapsamlı olasılıklar analizi yapmak üzere coğrafi bilgi sistemleri ve çok kriterli karar verme rehberliğini kullanarak değerlendirmişlerdir. Türkiye Denizlerinin %1,38'inin (3294,8 km²) offshore rüzgar çiftlikleri için uygun olduğunu, en uygun bölgenin ise 1194 km²'lik bir alan ile Marmara Denizi olduğu, onu sırasıyla Ege Denizi, Karadeniz ve Akdeniz'in takip ettiği sonucuna ulaşmışlardır [3].

Yeni teknolojiler üzerine yapılan araştırmalardan [4]'te hidrojen enerjisinin Türkiye için yüksek potansiyel vaat ettiği, [5]'te ise dalga enerjisi için en uygun bölgenin İzmir - Antalya arası olduğu belirtilmiştir. Türkiye'nin 2023 yılında birincil enerji ihtiyacının yapay sinir ağları ile hesaplanmasında 161.279 Bin Ton Eşdeğer Petrol olacağı öngörülmüştür [6].

Sürdürülebilir ekonomik büyümede en stratejik öneme sahip olan enerji üretim faktörüdür [7]. Enerji arz güvenliği, enerji talebinin karşılanmasında ön plana çıkmaktadır [8]. Türkiye'nin coğrafi konumu itibarıyla bölgesel çatışmaların odağında olma riski göz ardı edilmemektedir [9]. Türkiye'nin özellikle Türk devletleri ile ilişkilerini ilerletmesi enerji politikasında önemli bir transit ülke olma amacı doğrultusunda attığı önemli adımlardandır [10], [11].

Bu çalışmada, Türkiye'nin mevcut enerji görünümünün ve gelecek projeksiyonunun incelenip yol haritasının çıkarılması amaçlanmıştır.

2. METODOLOJİ

Enerji santrallerinin ekonomik ve çevresel etkilerinin belirlenmesinde güç ve verim ifadeleri önemli göstergelerdir. Güç, bir enerji santralının üretebileceği maksimum enerji miktarını ifade eder. Verim ise, bir enerji santralının girdi olarak aldığı enerjinin ne kadarını çıktı olarak üretebildiğinin göstergesidir. Yüksek güç verimli santraller, daha

düşük işletme maliyetleri, daha yüksek üretkenlik ve daha az çevresel etki sağlar.

Güneş enerjisi santrallerinde optik ve termal olmak üzere iki çeşit güç ve verim hesabı yapılır. Optik güç (P) ve verim (η) ifadeleri Eşitlik 1 ve Eşitlik 2'de gösterilmiştir [12].

$$P = \eta_o \times A_p \times I \quad (1)$$

$$\eta = \tau \times \alpha \quad (2)$$

Burada, A_p ; panel yüzey alanını (m^2), I ; yutucu yüzey üzerine düşen radyasyon miktarını (W/m^2), τ ; kullanılan camın geçirgenlik katsayısını ve α ; yutucu yüzeyin absorblleme oranını ifade etmektedir.

Termal güç (P) ve verim (η) ifadeleri Eşitlik 3 ve Eşitlik 4'te gösterilmiştir [12].

$$P = \eta_t \times A_c \times I \quad (3)$$

$$\eta = Q_c / I \quad (4)$$

Burada, A_c ; kolektör yüzey alanını (m^2) ve Q_c ; kolektörden suya aktarılan ısı miktarını (W/m^2) ifade etmektedir.

Rüzgar enerjisi santrallerinde güç, rüzgar türbini çarkının süpürdüğü alan (A_t), rüzgar hızı (V), havanın yoğunluğu (ρ_a) ve Betz katsayısı (β) çarpanlarına bağlıdır (Eşitlik 5). Betz katsayısı, rüzgar türbininin rotoruna çarpan rüzgar akışının, rotorun ön yüzey alanından geçen rüzgar akışının en fazla %59.3'ünü hareketlendirebileceğini belirten, rüzgar türbininin teorik olarak elde edebileceği en yüksek verimlilik seviyesidir [12].

$$P = \eta \times \beta \times \rho_a \times A_t^2 \times V^3 \times 0.5 \quad (5)$$

$$\eta = P_{\text{ü}} / P \times t \quad (6)$$

Verim ifadesinde $P_{\text{ü}}$; üretilen elektrik enerjisini (Wh), P ; santral gücünü (W), t ; ise çalışma süresini (h) ifade etmektedir.

Hidroelektrik enerji santrallerinde güç hesabı Eşitlik 7'de verilmiştir. Burada, \dot{V} ; suyun hacimsel debisini (m^3/s), Z_o ; yükseklik farkını (m), g ; gravitasyon sabitini ($9.81 m/s^2$) ve ρ_w ; suyun yoğunluğunu (kg/m^3) belirtmektedir. Verim ise Eşitlik 6'da gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$P = \eta \times \dot{V} \times Z_o \times g \times \rho_w \quad (7)$$

Dalga ve gel-git enerjisi santrallerinde verim hesabı Eşitlik 6'da gösterildiği gibi yapılırken, güç hesabı dalga enerjisi santralleri için Eşitlik 8, gel-git enerjisi santralleri için Eşitlik 9'da gösterildiği şekildedir [12].

$$P = Z_m^2 \times T \times 0.5 \quad (8)$$

$$P = 0.5 \times g \times \rho_w \times A_y \times R^2 \quad (9)$$

Bu eşitliklerde Z_m ; dalga yüksekliğini (m), T ; dalga periyodunu (1/s), A_y ; havuzun yüzey alanını (m^2) ve R ; gel-git aralığını (m) ifade etmektedir.

Biyokütle ve jeotermal enerji santrallerinde güç hesabı Eşitlik 10'da gösterildiği gibidir. Aralarındaki fark ise akışkanın kütledebisinde (\dot{m}_x) 'x' alt indisi jeotermal santrallerde suyu ifade ederken, biyokütle santrallerinde kullanılan biyokütle malzemesini ifade etmektedir [12]. Q ; ısı kapasiteni (kJ/kg) belirtirken, verim hesabında ise Eşitlik 6 kullanılmaktadır.

$$P = \eta \times \dot{m}_x \times Q \quad (10)$$

Okyanus termal enerjisi santrallerinde güç hesabında akışkanın türbine giriş ($h_{t,i}$) ve türbinden çıkış ($h_{t,o}$) entalpi farkından yararlanılır (Eşitlik 11). Verim ise santral gücünün elde edilen ısı gücüne (\dot{Q}) oranıdır.

$$P = \dot{m}_w \times (h_{t,i} - h_{t,o}) \quad (11)$$

$$\eta = P / \dot{Q} \quad (12)$$

Termal enerji santrallerinde güç hesabı kömür yakıtlı santraller için Eşitlik 13, doğal gaz yakıtlı santraller için Eşitlik 14, buhar çevrimli santraller içinse Eşitlik 15'te gösterildiği gibidir. Verim hesabı ise Eşitlik 16'da verilmiştir [13].

$$P = \eta \times H_c \times \rho_c \quad (13)$$

$$P = \eta \times H_n \times \rho_n \quad (14)$$

$$P = \eta \times \dot{m}_s \times h_s \quad (15)$$

$$\eta = P_e / Q_o \quad (16)$$

Burada, H_c ve H_n ; kömürün ve doğal gazın ısı kapasitelerini (J/kg), ρ_c ve ρ_n ; kömürün ve doğal gazın yoğunluklarını (kg/m^3), h_s ; buharın özgül entalpisini (J/kg), \dot{m}_s ; buharın kütledebisini (kg/s), P_e ; elektrik üretimini (W) ve Q_o ; yakıt tüketimini (W) ifade etmektedir.

Eşitlik 17’de nükleer enerji santralleri için güç hesabı verilmiştir [5]. Burada, m ; yakıt kütlelerini (kg), c ; ışık hızını (299,792,458 m/s) göstermektedir. Eşitlik 18’de verilen verim ifadesinde ise E_f ; serbest bırakılan enerji (J) miktarını belirtmektedir.

$$P=m \times c^2 \quad (17)$$

$$\eta = \frac{E_f}{m \times c^2} \quad (18)$$

3. BULGULAR

Türkiye, enerji kaynakları açısından oldukça zengin bir ülke olarak kabul edilir. Ülkenin doğal gaz, petrol, linyit, taşkömürü, hidroelektrik, rüzgar, güneş, jeotermal ve biyokütle gibi farklı enerji kaynaklarına sahiptir. Çalışmada Enerji Piyasası Denetleme Kurulu aylık sektörel tüketim raporları baz alınarak mevcut kurulu güç, üretim ve tüketim değerleri irdelenmiştir.

Aşağıda Türkiye'nin enerji potansiyeli hakkında bazı sayısal bilgiler verilmiştir [14] - [16]:

- Y Doğal gazda %98, petrolde %92, kömürde ise %50 olmak üzere toplamda %70 enerjide dışa bağımlı bir ülkedir. Şubat 2023 sonu itibariyle 104.14 GW elektrik kurulu gücü bulunmaktadır. Bu kurulu gücün %30.3’ü hidroelektrik, %24.4’ü doğal gaz, %20.9’u kömür, %11’i rüzgar, %9.3’ü güneş, %1.6’sı jeotermal ve %2.5’i de diğer enerji kaynaklarından karşılanmaktadır.
- Y Dünyanın en büyük kömür rezervlerinden birine sahip olan Zonguldak Havzası'na ev sahipliği yapmaktadır. Kömür rezervi 15 milyar tondur. Bu rezervin %70’i linyit, %30’u ise taş kömürüdür. 67 adet üretim santraline, 21.4 GW kurulu güce ve yıllık 11.19 TWh enerji üretime sahiptir.
- Y Petrol rezervleri özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer almaktadır. Rezervi 430 milyon varildir. Ayrıca, yıllık 50 milyon ton taşıma kapasiteli Bakü – Tiflis – Ceyhan ile yıllık 70.9 milyon ton taşıma kapasiteli Kerkük – Yumurtaalık boru hatlarıyla Hazar Bölgesi ve Irak petrolünü dünya pazarına ulaştırmaktadır.
- Y Mevcut doğal gaz rezervi 4.2 milyar metreküp olan Türkiye’de, 2020 yılında Karadeniz’de Sakarya gaz sahasında toplamda 710 milyar metreküp doğal gaz keşfedilmiştir. 345 adet üretim santraline, 25.7 GW kurulu güce ve yıllık 7.12 TWh enerji üretime sahiptir. Rusya’dan Trans Balkan (14 milyar metreküp), Mavi Akım (16 milyar metreküp) ve Türk Akımı (31.5 milyar metreküp); Azerbaycan’dan Trans Anadolu (16 milyar metreküp) ve Güney Kafkasya (6.6 milyar metreküp) ve İran’dan Doğu Anadolu (10 milyar metreküp) boru hatlarıyla doğal gaz ithal etmektedir. Ayrıca, Katar, Nijerya ve Cezayir’den toplam yıllık 14,7 milyar metreküp sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) ithalatı gerçekleştirmektedir.
- Y Karadeniz ve Akdeniz’de (Mersin, Antalya, Adana ve Hatay kıyıları) önemli hidrokarbon potansiyeline sahip olduğu düşünülmekte ve bu yönde keşif çalışmaları sürdürülmektedir.
- Y Trakya ve Güney Doğu Anadolu (Gaziantep – Hatay – Kahramanmaraş - Adıyaman) bölgelerinde şeyl gazı, Karadeniz ve Marmara Denizi’nde ise önemli ölçüde gaz hidrat potansiyeline sahiptir. Ancak ekonomik olarak çıkarılamamakta ve bu alanda araştırmalar devam etmektedir.
- Y Mersin Akkuyu’da 4800 MW kurulu güç ve yıllık 33 milyar kWh enerji üretiminde bulunacak olan ilk nükleer enerji santrali 2023 yılında faaliyete geçmesi planlanmaktadır. Ayrıca biri Sinop’ta diğeri Kırklareli İğneada’da olmak üzere iki adet daha nükleer enerji santrali inşası için projeler geliştirmektedir.
- Y 31500 MW ile jeotermal kaynak açısından dünyanın en büyük potansiyeline sahip ülkelerinden biridir. Menderes Masifi'nin batı kesimi ve çevresinde, Denizli, Aydın, Manisa, İzmir ve Afyonkarahisar illerinde yüksek sıcaklıklı, Çanakkale, Bursa, Balıkesir, Kütahya ve Uşak'ta da ise orta sıcaklıklı jeotermal kaynaklar mevcuttur. 63 adet üretim santraline, 1.9 GW kurulu güce ve yıllık 0.83 TWh enerji üretime sahiptir.
- Y Hidroelektrik enerji potansiyeli yıllık 216 milyar kWh’dir. Büyük bir kısmı Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve Karadeniz bölgelerindeki nehirler üzerinde kurulu baraj ve santrallerden elde edilmektedir. 551 adet üretim santraline, 31.6 GW kurulu güce ve yıllık 2.97 TWh enerji üretime sahiptir.
- Y Yıllık 2640 saat güneşlenme süresi ve ortalama 1.360 kWh/m² güneş ışınımı ile 380 milyar kWh güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Bu potansiyelin en yüksek olduğu bölgeler Akdeniz, Ege ve Güneydoğu Anadolu

bölgeleridir. 9635 adet üretim santraline, 9.6 GW kurulu güce ve yıllık 0.88 TWh enerji üretime sahiptir.

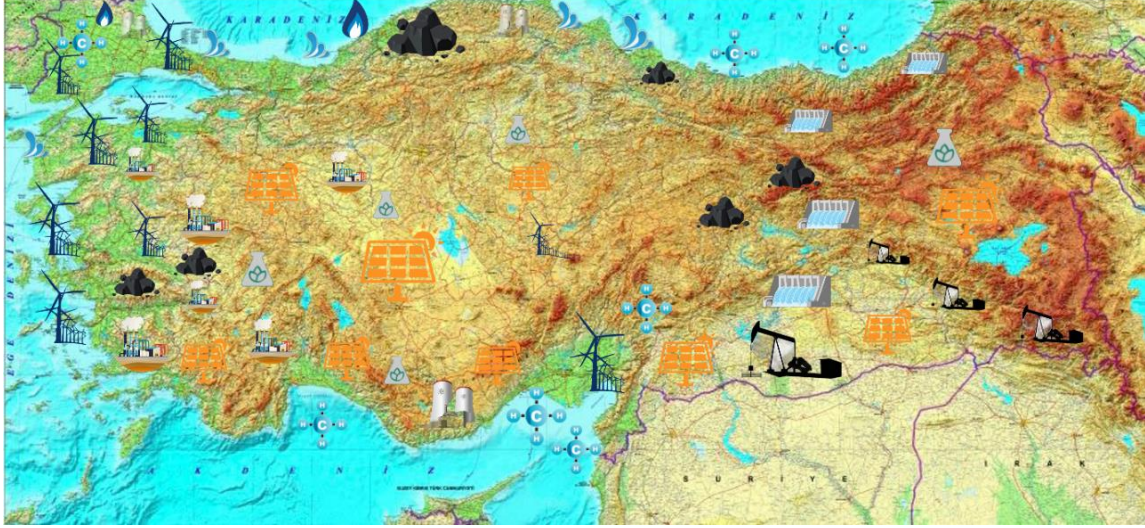
- Y 48 milyar kWh rüzgar enerjisi potansiyeli bulunmaktadır. Batı sahil şeridi, Marmara bölgesi, Ege bölgesi ve Güneydoğu Anadolu bölgesi rüzgar enerjisi üretimi için en uygun bölgeler arasında yer almaktadır. Özellikle Ege Denizi ve Karadeniz'de, derinliği 50 metrenin altında olan bölgelerde deniz üstü rüzgar enerjisi santralleri kurulması planlanmaktadır. 360 adet üretim santraline, 11.4 GW kurulu güce ve yıllık 2.72 TWh enerji üretime sahiptir.
- Y Biyokütle potansiyeli yıllık 32 milyon tondur. 1.7 GW kurulu güce ve yıllık 1.01 TWh enerji üretime sahiptir.

Y Ege Denizi ve Akdeniz kıyılarında dalga enerjisi, Karadeniz ve Boğazlar (İstanbul ve Çanakkale) bölgesinde ise gel-git enerjisi potansiyeli yüksektir.

Y 1.6 milyon ton yeşil hidrojen potansiyeli bulunmaktadır.

Y Yıllık enerji tüketimi ise 0.56 TWh aydınlatmada, 5.36 TWh kamu ve özel hizmetler sektöründe, 5.59 TWh meskenlerde, 8.93 TWh sanayide ve 0.51 TWh tarımsal faaliyetlerde olmak üzere toplam 20.95 TWh'tir.

Şekil 1'de yukarıdaki bilgiler ışığında Türkiye enerji haritası gösterilmiştir. Haritadaki sembollerin anlamları Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Türkiye enerji haritası.

Tablo 1: Enerji haritasındaki semboller ve anlamları.

Sembol	Anlamı	Sembol	Anlamı	Sembol	Anlamı	Sembol	Anlamı
	Hidroelektrik enerji		Rüzgar enerjisi		Nükleer enerji		Doğal gaz
	Biyokütle enerjisi		Dalga enerjisi		Kömür		Gaz hidrat ve Şeyl gazı
	Güneş enerjisi		Jeotermal enerji		Petrol		

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Türkiye'nin Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ulusal enerji planında 2035 yılı için enerji alanındaki kurulu güç planlaması yol haritası çıkartılmıştır. Bu plana göre [17];

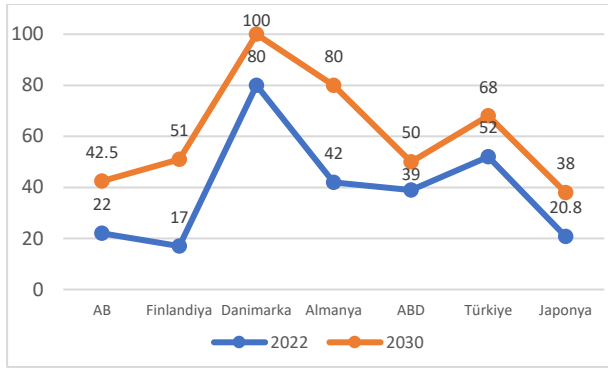
∴ Rüzgar enerjisi – 29.8 GW (24.8 GW kara + 5 GW denizüstü)

∴ Güneş enerjisi – 52.9 GW

∴ Hidroelektrik enerji – 35.1 GW

- ∴ Diğer yenilenebilir (Jeotermal + Biyokütle) enerji – 5.1 GW
- ∴ Elektrolizör kapasitesi – 5 GW
- ∴ Batarya kapasitesi – 7.5 GW
- ∴ Nükleer enerji – 7.2 GW
- ∴ Konvansiyonel kaynaklar – 59.8 GW
- ∴ Toplam elektrik kurulu güç – 189.7 GW
- ∴ Toplam üretim – 507.7 TWh
- ∴ Toplam tüketim – 510.5 TWh

olması beklenmektedir. Böylelikle yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam elektrik kurulu güç içerisindeki payı %68'e çıkması sağlanacaktır. Şekil 2'de bazı ülkelerin 2030 hedefleri gösterilmiştir [18-23].



Şekil 2: Ülkelerin 2030 yenilenebilir enerji hedefleri.

Türkiye COP 27 iklim zirvesinde, 2030 için belirlediği yüzde 21 emisyon azaltım hedefini yüzde 41'e yükseltmiştir. Türkiye'nin 2015 tarihli Ulusal Katkı Beyanı'nda, 2030 yılına kadar hiçbir önlem alınmadığı durumda sera gazı salımının 1.175 MtCO₂'ye ulaşması, fakat alınacak önlemlerle 929 MtCO₂'ye düşürülmesi hedeflenirken, COP 27'de ise bu hedef 700 MtCO₂'e seviyesine indirilmiştir [24].

Bu hedeflerin gerçekleşmesi, enerjinin daha verimli kullanılması ve sürdürülebilir, yeşil bir gelecek için birtakım öneriler aşağıda sunulmuştur:

- Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının ve nükleer enerjinin payı artırılmalıdır.
- Yenilenebilir enerji kaynaklı yeşil hidrojen üretimine geçilmelidir.
- Enerji depolama sistemleri geliştirilmelidir. Elde edilen enerjinin depolanması, daha sonra kullanılabilmesi açısından son derece önemlidir. Enerji depolama yöntemleri, enerji üretiminin zamanla değişken olduğu durumlarda, enerjiyi

depolayarak daha verimli bir şekilde kullanmayı sağlar. Pompalı hidroelektrik enerji depolama, batarya depolama sistemleri, kinetik enerji depolama, sıcaklık enerjisi depolama, hidrojen yakıt hücreleri, süperiletken manyetik enerji depolama, sıkıştırılmış hava depolama, flywheel ve süperkapasitörler olarak sınıflandırılabilir.

- Kendi enerjisini üreten binalar yaygınlaştırılmalıdır. Sıfır enerjili binalar, sıfır enerji tüketimi ile çalışabilen ve enerji ihtiyaçlarını tamamen yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılayabilen binalardır.
- Çevre dostu ısıtma, soğutma ve iklimlendirme sistemlerine geçilmelidir. Earth Air Tunnel olarak bilinen çevre dostu ısıtma ve soğutma sisteminde, ev veya bina altındaki toprağa gömülü tünel ve borular kullanılarak, toprağın sabit sıcaklığından yararlanılarak, binanın içini ısıtmak veya soğutmak için doğal bir havalandırma yapılır. Bu sayede, daha az enerji tüketilir ve karbon ayak izi azaltılır.
- Elektrikli araçlara teşviğin artırılarak ve şarj altyapısının hızlı bir şekilde büyümesi gerekmektedir.
- eFuels olarak bilinen fosil yakıtların yerine kullanılabilen, çevre dostu bir yakıttır. eFuels, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisi kullanılarak üretilir. eFuels, genellikle iki aşamalı bir üretim sürecinden geçer. İlk aşamada, elektrik enerjisi kullanılarak suyun hidrojen ve oksijen gazlarına ayrıştırılması gerçekleştirilir. Bu işlem elektroliz adı verilir. Elde edilen hidrojen gazı daha sonra bir sentez gazı üretmek için Fischer-Tropsch sentezi olarak bilinen yöntemle karbondioksit gazıyla birleştirilir. Sonuçta sentez gazı, yapay yakıt üretmek için kullanılabilen uzun zincirli hidrokarbon molekülleri oluşturur. eFuels, geleneksel fosil yakıtların aksine, kullanılan karbondioksitin atmosferden alınması nedeniyle karbon nötr olarak adlandırılır. Bu, eFuels üretiminde kullanılan karbondioksitin yakıtın yanması sırasında atmosfere geri salınan miktarla aynı olduğu anlamına gelir. Bu nedenle, eFuels, karbon ayak izi azaltmak için potansiyel olarak önemli bir çözüm olabilir.
- Enerji ve petrol taşımacılığını karayolu ulaşımından raylı sistemlere ve deniz ulaşımına geçiş hızlandırılmalıdır.

Yazar Katkısı: Yayının tüm süreçleri yazar tarafından %100 gerçekleştirilmiştir.

Çıkar Çatışması: Bu çalışmanın yazarı olarak, herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile çıkar çatışması bulunmadığını onaylarım.

5. KAYNAKLAR

- [1] Republic of Türkiye Ministry of Foreign Affairs (2023, Mar.), Türkiye's International Energy Strategy. [Online]. Available: <https://www.mfa.gov.tr/turkeys-energy-strategy.en.mfa>
- [2] C. Erdin and G. Özkaya, "Turkey's 2023 Energy Strategies and Investment Opportunities for Renewable Energy Sources: Site Selection Based on ELECTRE," Sustainability, vol. 11, pp. 2136, 2019.
- [3] M. S. Genç, F. Karipoğlu, K. Koca and Ş. T. Azgın, "Suitable site selection for offshore wind farms in Turkey's seas: GIS-MCDM based approach," Earth Science Informatics, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12145-021-00632-3>
- [4] A. E. Yıldırım, E. B. Kaplan and A. Khanayev, "Hydrogen Based Energy and Turkey," International Journal of Afro-Eurasian Research (IJAR), vol. 8(15), pp. 29-47, 2023.
- [5] M. Sağlam ve T.S. Uyar, "Dalga Enerjisi ve Türkiye'nin Dalga Enerjisi Teknik Potansiyeli," III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildirileri, Elektrik Mühendisleri Odası, 2005.
- [6] N. Yılankırkan ve H. Doğan, "Türkiye'nin Enerji Görünümü ve 2023 Yılı Birincil Enerji Arz Projeksiyonu," Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, sayı 10(2), sayfa 77-92, 2020.
- [7] E. Kayar, N. İl ve H. F. Carlak, "Türkiye Elektrik Enerjisi Görünümü ve Yenilenebilir Enerjinin Global Ölçekte Mevcut Konumu," EMO Bilimsel Dergi YEKSEM 2019 Özel Sayısı, sayfa 85-97, 2019.
- [8] Ö. S. Yıldırım, "Türkiye'nin Enerji Görünümü ve Diplomasisi," MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, sayı 23, sayfa 37-41, 2017.
- [9] H. N. Bayraç, "Küresel Enerji Politikaları ve Türkiye: Petrol ve Doğal Gaz Kaynakları Açısından Bir Karşılaştırma," Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, sayı 10(1), sayfa 115-142, 2009.
- [10] U. Kantörün, "Bölgesel Enerji Politikaları ve Türkiye," Bilge Strateji, sayı 2(3), sayfa 87-114, 2010.
- [11] B. Özsoy, E. B. Sipahi ve Y. Sayın, "Orta Asya'da Enerji Politikaları ve Küresel Rekabet Bağlamında Türkiye'nin Rolü Üzerine Bir Değerlendirme," Gazi Akademik Bakış Dergisi (GABD), sayı 30(1)5, sayfa 303-328, 2022.
- [12] M. Kanoğlu, Y. A. Çengel, and J. M. Cimbala, "Fundamentals and Applications of Renewable Energy," 1st ed., Newyork: Mcgraw-Hill Education, 2020.
- [13] Y. A. Çengel, J. M. Cimbala and R. H. Turner, "Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences," 5th ed., Newyork: Mcgraw-Hill Education, 2017.
- [14] Enerji Piyasası Denetleme Kurulu (2023, Mart), Ocak Ayı Sektör Raporu. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.epdk.gov.tr/detay/icerik/3-0-23-3/elektrikaylik-sektor-raporlar>
- [15] M. Ökten, "Enerji Koridoru ve Bölgesel Güç Yolunda: Türkiye," I. Uluslararası Türk Enerji Birliği Kongresi, 225-238, Almatı, Kazakistan, 2021.
- [16] Türkiye'nin Ulusal Hidrojen Stratejisi için Öncelik Alanları (2021, Haziran), SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi. [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2021/03/Turkiyenin_ulusal_hidrojen_stratejisi_icin_öncelik_alanlari.pdf
- [17] Türkiye Ulusal Enerji Planı (2022, Nisan), T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.enerji.gov.tr/media/dizin/eigm/tr/raporlar/tuep/t%c3%bcirkiye_ulusal_enerji_plan%c4%b1.pdf
- [18] Temiz Enerji (2023, Mayıs). [Çevrimiçi]. Erişim: <https://temizenerji.org/2022/11/18/danimarka-isvec-ve-finlandiya-yenilenebilir-enerji-uretimini-2030a-kadar-74-gwa-cikaracak/>
- [19] Danimarka Enerji Modeli (2023, Mayıs). [Çevrimiçi]. Erişim: <https://haber.yasar.edu.tr/genel/yesil-enerji-danimarka-modeli.html>
- [20] AB Yenilenebilir Enerji (2023, Mayıs). [Çevrimiçi]. Erişim: <https://tr.euronews.com/my-europe/2023/03/30/abnin-enerji-tuketiminde-yenilenebilir-kaynaklarin-payi-2030a-kadar-yuzde-425e-yukseltilec#:~:text=En%20son%20verilere%20g%C3%B6re%2C%20AB,%C4%B1s%C4%B1tma>

[%20alanlar%C4%B1na%20da%20hedefler%20g
etirilecek.](#)

- [21] Almanya Yenilenebilir Enerji (2023, Mayıs).
[Çevrimiçi]. Erişim:
<https://www.iklimhaber.org/almanya-2030-hedeflerine-ulasmak-icin-enerji-kullanimini-yuzde-20-25-azaltmali/>
- [22] ABD Yenilenebilir Enerji (2023, Mayıs).
[Çevrimiçi]. Erişim:
<https://www.donanimhaber.com/yenilenebilir-enerji-abd-de-ilk-defa-komuru-geride-birakti--162018>
- [23] Japonya Yenilenebilir Enerji (2023, Mayıs).
[Çevrimiçi]. Erişim:
<https://mc2haber.com/japonya-2030-yenilenebilir-enerji-hedefine-yaklasti#:~:text=Yenilenebilir%20enerji%20kaynaklar%C4%B1n%C4%B1n%20geli%C5%9Fimine%20odaklanan,38%20yenilenebilir%20enerji%20hedefi%20belirledi.>
- [24] COP 27 Çıktıları ve Türkiye'nin Konumu (2023, Mayıs). [Çevrimiçi]. Erişim:
<https://sefia.org/blog/cop-27-ciktilari-ve-turkiyenin-konumu/>

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Termoplastik Matrisli Cam ve Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin ANSYS Programı ile Modellenmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Modeling of Thermoplastic Matrix Glass and Carbon Fiber Reinforced Composite Materials with ANSYS Program and Investigation of their Mechanical Properties

Deniz Ergin Toptaş^{1*} Tayfun Fındık¹

¹Gazi Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Geliş / Received: 27.04.2023

Kabul / Accepted: 05.05.2023

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Deniz Ergin Toptaş, dergin.toptas@gazi.edu.tr

ÖZ: Kompozit malzemelerin günümüzde kullanımın artmasıyla birlikte, farklı ürün tasarımları ve bu tasarımların bilgisayar destekli mukavemet analizleri de yapılmaktadır. Yapılan bilgisayar destekli tasarımlar önemli bilgiler içermesinin yanı sıra doğru modelleme ile gerçek test sonuçlarına yakın kabul edilebilir sonuçlar da elde edilmektedir. Bu çalışma Sonlu Elemanlar Tabanlı matematiksel modelleme mantığı ile çalışan ANSYS programı ile yapılmıştır ve çoğu çalışmanın aksine eğri bir kompozit malzeme için belirli bir kuvvete karşı gösterdiği dayanım ve yer değiştirme analizleri yapılmıştır. Çalışmada otomotiv ve havacılık sanayinde yoğun kullanım alanı bulan, aerodinamik avantajlarından kaynaklı eğri düzlemlerde kompozit malzemelerin kuvvete karşı dayanım analizleri incelenmiştir. Karbon, cam ve hem karbon hem cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerden oluşan tasarımlar 10 katmanlı lamine kompozitler olarak tasarlanmıştır. ($0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ$) serim açılarıyla toplamda 3 kompozit model üzerinde kuvvet ve yer değiştirme sonuçları incelenmiştir. Kompozit prepegler 0,5 mm olarak hesaplanmış ve her kompozit model 5 mm kalınlığa sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Tanımlanan malzeme özellikleri üretici firma olan Polyram Group firması kaynaklarından alınmış olup karbon ve cam prepegler sırasıyla PLUSTEK PAT300R8BK ve PLUSTEK PAT801G50BK10 olarak alınmıştır. Bu çalışmada termoplastik kompozit malzemelerin takviye elemanına göre göstermiş olduğu mukavemet sonuçları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yük ve basınç analizi, termoplastik matrisli kompozit malzemeler, cam ve karbon elyaf, ANSYS

ABSTRACT: With the increasing use of composite materials today, different product designs and computer-aided strength analyzes of these designs are also carried out. In addition to the fact that the computer-aided designs contain important information, acceptable results close to the real test results are obtained with the correct modeling. This study was carried out with the ANSYS program working with Finite Element Based mathematical modeling logic and unlike most studies, strength and displacement analyzes of a curved composite material against a certain force were made. In this study, the strength analyzes of composite materials in curved planes due to their aerodynamic advantages, which are widely used in the automotive and aviation industries, were examined.

The designs consisting of carbon, glass and both carbon and glass fiber reinforced composite materials are designed as 10-layer laminated composites. The force and displacement results on a total of 3 composite models with laying angles ($0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ$) were examined. Composite prepregs were calculated as 0.5 mm and each composite model was designed to have a thickness of 5 mm. The defined material properties were taken from the sources of the manufacturer Polyram Group, and the carbon and glass prepregs were taken as PLUSTEK PAT300R8BK and PLUSTEK PAT801G50BK10, respectively. In this study, the strength results of thermoplastic composite materials according to reinforcement element were examined.

Keywords: Force and pressure analysis, thermoplastic matrix composite materials, glass and carbon fiber reinforced, ANSYS

1. GİRİŞ

Yüksek sertlik, yüksek özgül mukavemet ve hafif ağırlık özellikleri, kompozit malzemelerin geleneksel malzemelere göre daha verimli bir yapısal tasarım yapılmasını sağlar. Temel olarak, polimer kompozitleri birden fazla fazda sahip malzemelerdir ve en az bir fazda polimer matrisidir. Polimerlerin matris olarak farklı takviyelerle, örneğin epoksi, polyester veya PVC köpük ile karıştırılması, bileşenlerin fiziksel özelliklerinden farklı temel fiziksel özelliklerle sonuçlanır. Genellikle, bu malzemeler polimer matrisli ve epoksi, polyester veya PVC köpük gibi farklı takviyeler içerir [1]. Bu malzemelerin otomotiv ve havacılık endüstrileri gibi farklı alanlarda üretimi, termal ve mekanik özelliklerinin farklılıklarından kaynaklanır [2]. Kompozit malzemeler hakkındaki çalışmaların çoğu, 20. yüzyılın ikinci yarısından günümüze kadar olan dönemi kapsar. Doğadaki ilk kompozit malzeme olarak çam ağacı bilinmektedir. Bunun sebebi çam ağacının içi kışın sert ve kırılabilir, yazın ise yumuşak ve esnek olmasından kaynaklanır. En basit kompozit malzeme örneği ise saman takviyeli kerpiçlerdir [3]. Günümüzde en yaygın olarak kullanılanlar ise tungsten-molibden takviyeli karbon, alüminyum ve cam fiber takviyeli plastiklerdir.

Yapılan çalışmalarda; Farklı darbe enerji değerleri ile farklı oryantasyonlar içeren cam elyaf / epoksi kompozitlerin darbe dayanımını deneysel olarak incelenmiştir. Darbe deneyi için 8 ve 12 katmandan oluşan 150 mm x 100 mm ölçülerinde numuneler oluşturulmuş ve 10 J, 20 J ve 30 J artan darbe enerjisi değerlerinde teste tabi tutulmuştur. Elyaf oryantasyonu ve katman kalınlığının darbeye karşı davranışının incelendiği çalışmalarda artan darbe enerjisine karşın çökme miktarının arttığı, 30J darbe enerjisi için çökmenin en fazla olduğu numunenin [0°/30°/60°/0°] elyaf dizilimine sahip numune olduğunu gözlemlenmiştir [4].

Farklı matris malzemelere sahip, tek doğrultulu, karbon elyaf takviyeli plastikler imal edilmiştir. Matris malzemesi olarak termoplastik poliamid 6 ve ısı ile sertleşen epoksi kullanılmıştır. Tek yönlü karbon elyaf takviyeli poliamid 6 ve tek yönlü karbon elyaf takviyeli epoksi tabakalarda çok sayıda aksel çekme testi gerçekleştirilmiştir.

Mekanik özellikler ve kopma davranışları, elyaf dağılımları, emdirme koşulları ve ara yüzey kayma mukavemetleri belirlenerek tartışılmıştır. Çekme mukavemetleri, modifiye bir küresel yük paylaşım modeli vasıtasıyla öngörülmüş ve deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır [5].

Kompozit malzemelerde mekanik özelliklerinin artırılması adına birçok deney yapılmıştır. Tek yönlü kompozit tabakaların enine basınç dayanımını üç noktalı eğme ile ölçmek için yeni bir test konfigürasyonu önerilmiş ve çapraz katlı deney numuneleriyle bu incelenmiştir. Farklı kalınlıklara sahip çapraz katlı karbon / epoksi, hasara uğrayana kadar üç noktalı eğme ile test edilmiştir. Enine basma hasar bölgesinin, literatürde bulunan çalışmalarla iyi bir uyum sağladığı tespit edilmiştir. Çekme gerilmelerinin 90° laminelerde eğilme gerilmelerinden düşük olduğu 0° laminelerde maksimum çekme gerilmelerinin boyuna çekme gerilmelerinden düşük olduğu, ancak maksimum çekme gerilmesinin çekme gerilmesine oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir [6]. Elyaf yerleşiminin etkilerini araştırmak için lamine kompozitler üzerinde bir bükülme simülasyonu geliştirilmiştir. FEA (Finite Element Analysis) simülasyonunun sonuçları, çapraz kenarlı laminatta düzlemsel normal gerilmeleri ve serbest kenar bölgesinin yakınındaki açılı laminattaki düzlem içi kayma gerilmesini ortaya çıkardı. Bu enine normal gerilmeler geleneksel laminat teorisinde dikkate alınmamıştır [7]. Simetrik ve simetrik olmayan plakaların elasto-plastik gerilme analizleri yapılmıştır. Çalışmalarda sonlu elemanlar metodu kullanarak çok sayıda iterasyonla çözüm yapılmıştır [8]. Birçok deneysel ve teoriksel çalışma yapılmıştır. İki farklı kompozit malzemenin kuvvet - yer değiştirme davranışını deneysel ve sayısal olarak ANSYS sonlu elemanlar yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda sayısal çözüm ve deneysel çözüm birbirine yakın sonuçlar vermiştir [9].

Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak, fiberlerle güçlendirilmiş termoplastik matrisli ve dikdörtgen delikli çelik kompozit plakaların elastik gerilme, kalıcı deformasyon ve plastik şekil değiştirmesini incelenmiştir. Yapılan çalışmada, simetrik ve simetrik olmayan katmanları farklı plakalar değerlendirilmiş ve plakaya yerleştirilen dikdörtgen deliğin çevresinde gerilme ve şekil

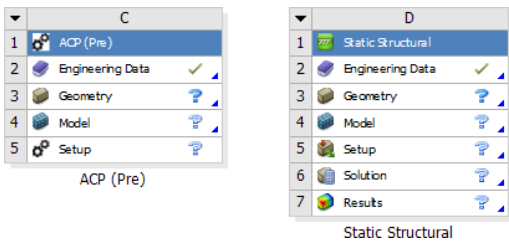
değiştirme değerlerinin maksimum olduğunu gözlemlemiştir [10].

Bu çalışmada laminasyon tekniği kullanılarak sürekli cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli poliamid, matrisli termoplastik kompozit malzemelerin dayanım analizleri incelenmiştir. Tasarlanan kompozit malzemeler standartlara uygun kalınlıklarda olup 10 katmana sahiptir. Bu malzemelerin belirli bir yük altındaki göstermiş oldukları dayanım değerleri belirleme amacıyla eğri düzlemine dik gelecek şekilde sabit kuvvet uygulanmıştır. Çalışmada eğri bir model tasarlanarak günümüz otomotiv ve havacılık sektöründe kullanılan termoplastik matrisli kompozit malzemelerde elyaf tipi ve elyaf serim açısının, kompozit malzemenin dayanımına olan etkisi incelenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

ANSYS 2023 R1 paket programı ile yapılan bu çalışmada, modelleme ve analiz için kullanılan ANSYS modülleri ACP(Pre) ve Static Structural (Yapısal Analiz) kullanılmıştır. ACP(Pre) kompozit malzemeleri oluşturmak için kullanılan çok yönlü bir modelleme modülüdür. Bu yöntem ile kompozit yapı oluşturabilmek için öncelikle bir 2 boyutlu yüzey oluşturmak gerekmektedir ve elyafların serim açısına, tipine ve kalınlığına göre nasıl bir serim yapılacağına belirlendiği pakettir [11].

Static Structural yöntem ile ACP(Pre) ile oluşturulan kompozit malzemelere çekme, eğme ve 3 nokta dayanım gibi birçok mekanik özelliklerin teste sokulup, analizleri ve sonuçların incelenmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 1: ANSYS model şeması.

Bu çalışmada kullanılan kompozit malzemeyi oluşturan karbon elyaf takviyeli termoplastik matrisli prepreg ile cam elyaf takviyeli termoplastik matrisli prepreglerin mekaniksel

özellikleri Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir [12]-[13].

Tablo 1: PLUSTEK PAT300R8BK mekaniksel özellikleri

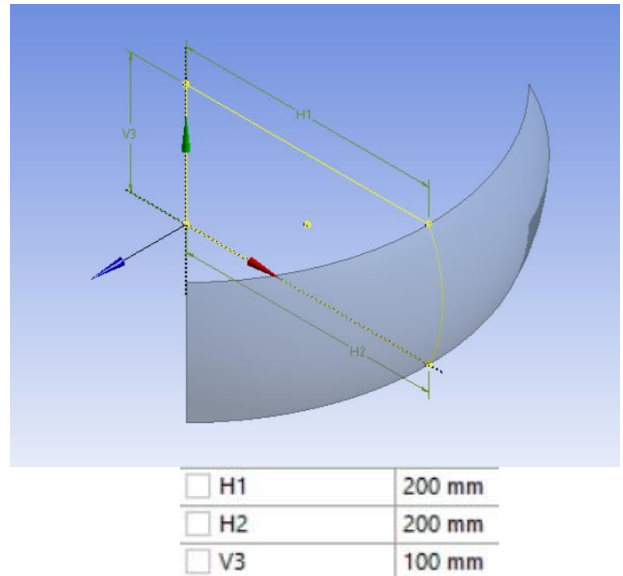
Yoğunluk (g/cm ³)	Gerilme Direnci (MPa)	Gerilme Modülü (MPa)	Bükülme Direnci (MPa)	Bükülme Modülü (MPa)
1.31	245	27300	360	25000

Tablo 2: PLUSTEK PAT801G50BK10 mekaniksel özellikleri

Yoğunluk (g/cm ³)	Gerilme Direnci (MPa)	Gerilme Modülü (MPa)	Bükülme Direnci (MPa)	Bükülme Modülü (MPa)
1.23	195	15500	310	14500

2.1 Kompozit Modelinin Oluşturulması

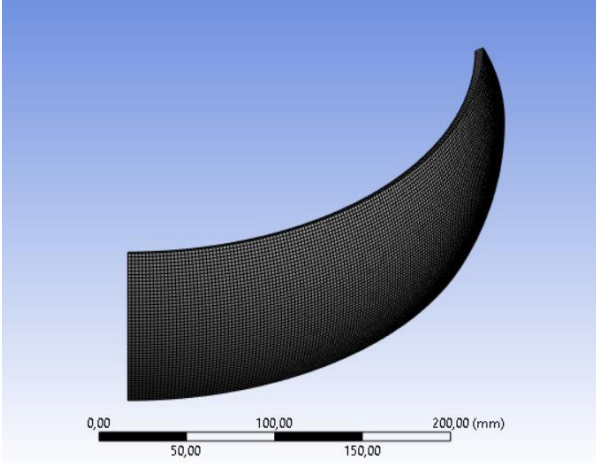
Analizleri yapabilmek için öncelikle eğri bir model oluşturulmuştur. Modelin yarıçap uzunluğu 200 mm, modelin genişliği 100 mm olarak verilmiştir. Parçanın başlangıç ve bitiş noktaları tam 90° olacak şekilde yüzey alanı oluşturulmuştur ve toplam yüzey alanı 172120 mm²’dir. Modelin görüntüsü Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2: ANSYS 2023 R1 programı ile oluşturulmuş model görüntüsü

2.2 Mesh Yapısı

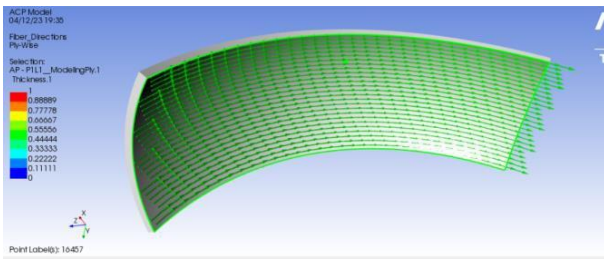
ACP(Pre) modeli üzerinden öncelikle mesh oluşturularak geometrik modelin simülasyonun yürütülebileceği en küçük parçalara ayrılmıştır. 2mm'lik parçalara ayrılarak toplamda 8374 parça oluşturulmuştur. Şekil 3'de tasarımın mesh modeli gösterilmiştir.



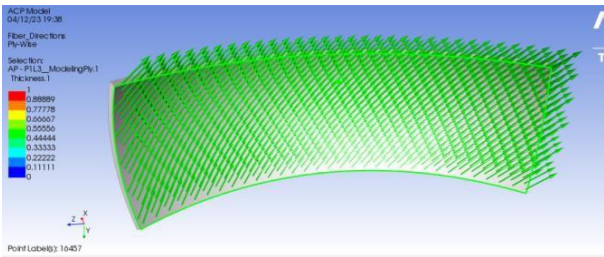
Şekil 3: Modelin mesh görüntüsü.

2.3 Kompozit Modelde Fiber Yerleşimi

Kompozit tasarımın son aşamasında toplamda 3 adet kompozit model oluşturulmuştur. Karbon, cam ve karbon-cam fiberlerin kullanıldığı ($0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ$) derece olarak şekilde toplam 3 adet kompozit model oluşturulmuştur. Şekil 4 ve şekil 5 sırasıyla ($0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ$) fiber serimlerinin modellenışı gösterilmiştir.



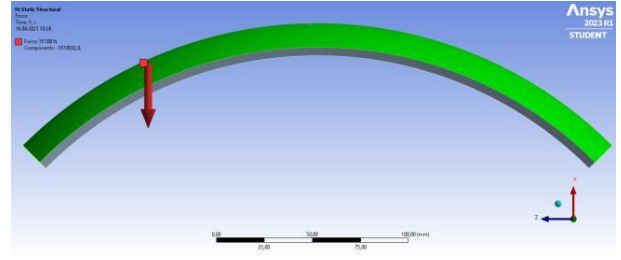
Şekil 4: (0°) fiber serim gösterimi.



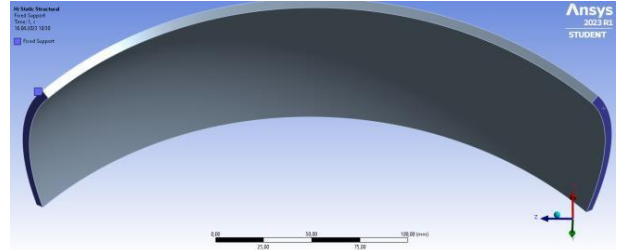
Şekil 5: ($0^\circ/\pm 45^\circ/0^\circ$) fiber serim gösterimi.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Static Structural modülü kullanılarak kompozit modelin iki kısa kenarı sabitlenerek, eğri modele tam dik bir doğrultuda gelecek şekilde 35100 N kuvvet uygulanmıştır. Kompozit modelin kuvvet karşısında gösterdiği dayanım için Equivalent (Von- Mises) Stress değerleri incelenmiştir. Şekil 6 ve Şekil 7'de sırasıyla modelin kuvvet doğrultusu ve sabitlenme yerleri gösterilmiştir.

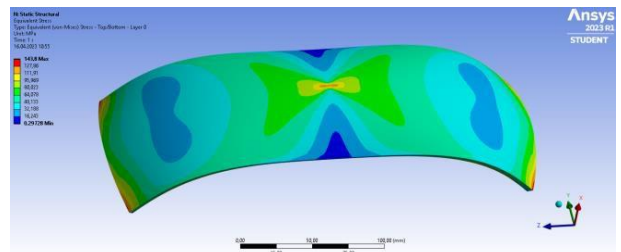


Şekil 6: Kompozit modele gelen kuvvet değeri ve doğrultusu.



Şekil 7: Kompozit modelin sabit yüzeyleri.

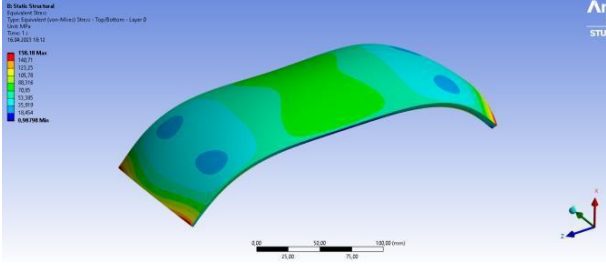
Şekil 8'de ($0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ$) serim açısına sahip cam elyaf takviyeli kompozit modelin yük altında gösterdiği davranış incelenmiştir. En yüksek dayanım değeri 143.8 MPa bulunmuştur. Tablo 3'de karbon, cam ve karbon-cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin serim açılarına oranla gösterdikleri dayanım değerleri verilmiştir.



Şekil 8: ($0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ$) serim açılı cam elyaf takviyeli kompozit model.

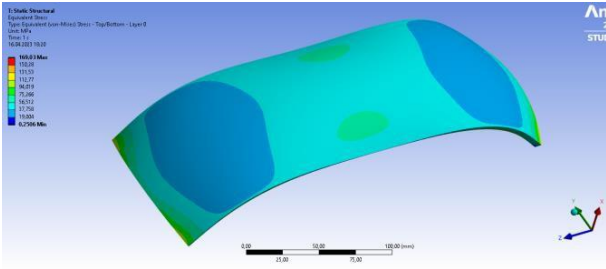
Şekil 9'da ($0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ$) serim açısına sahip karbon

elyaf takviyeli kompozit modelin yük altında gösterdiği davranış incelenmiştir. En yüksek dayanım değeri 158.18 MPa bulunmuştur.



Şekil 9: $(0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ)$ serim açılı karbon elyaf takviyeli kompozit model

Şekil 10'da $(0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ)$ serim açısına sahip hem karbon hem cam elyaf takviyeli kompozit modelin yük altında gösterdiği davranış incelenmiştir. En yüksek dayanım değeri 169.03 MPa bulunmuştur.



Şekil 10: $(0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ)$ serim açılı karbon-cam elyaf takviyeli kompozit model.

Tablo 3: PLUSTEK PAT300R8BK mekaniksel Özellikleri.

Elyaf Tipi	Matris Malzemesi	Serim Açısı	Equivalent (Von-Mises) Stress (MPa)
Karbon	Aromatik Poliamid	$(0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ)$	158.18
Cam	Aromatik Poliamid	$(0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ)$	143.8
Karbon-Cam	Aromatik Poliamid	$(0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ)$	169.03

ANSYS ile yapılan kompozit modellerinin literatürde yapılan numunesel çalışmalarla kıyaslamak için 2 farklı çalışmanın kompozit numuneleri modellenmiştir. Yapılan bu

çalışmalarda kompozit numuneler çekme testlerine maruz bırakılmıştır ve kopma anındaki maksimum gerilme kuvveti ölçülmüştür.

Yapılan çalışmada sürekli cam elyaf kullanılan termoplastik kompozit numunelerde çekme testleri yapılmıştır. Numune parçalarının ebatları 140 mm x 12 mm x 2 mm'dir. Kompozit numunenin malzeme özellikleri aynı olacak şekilde ANSYS'de modellenmiştir ve aynı kuvvet değerlerinde çekme testine sokulmuştur [14].

Karbon elyaf takviyeli epoksi kompozit numunelerde yapılan çalışmalarda numune boyutları 250 mm x 25 mm x 2 mm olarak çekme testine sokulmuştur. Kullanılan prepreg malzemenin mekanik özellikleri ile birlikte ANSYS'de modellenmiştir [15].

4. SONUÇ

- Termoplastik matrisli kompozit malzemeler eğri model doğrultusunda serilmiştir elyaf tipi ve serim açısının malzeme mukavemetinde farklı dayanım değerleri oluşturduğu gözlemlenmiştir ve modellenen kompozit malzemeler kullanılan elyaf tiplerinden kaynaklı maksimum gerilme değerleri aynı modelin farklı yerlerinde gözlemlenmiştir. Karbon elyaf takviyeli kompozit tasarımında en yüksek dayanım değeri 158.18 MPa, cam elyaf takviyeli kompozit tasarımında 143.8 MPa ve hem karbon hem cam elyaf takviyeli kompozit tasarımında 169.03 MPa bulunmuştur.
- Karbon, cam ve karbon-cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerde en yüksek mukavemet değeri 3 modelin için $(0^\circ / \pm 45^\circ / 0^\circ)$ serim açılarında karbon-cam elyaf takviyeli kompozit modelde olduğu gözlemlenmiştir ve 169.03 MPa bulunmuştur.
- Karbon ve cam elyaf takviyeli kompozit malzeme arasında karbon elyaf takviyeli kompozit model diğer 2 modele göre daha yüksek mukavemete sahiptir.
- Numunesel çalışmalarda çekme testine sokulan cam elyaf takviyeli kompozit parçanın kopma anındaki gerilme değeri 231 MPa ve karbon elyaf takviyeli kompozit numunenin kopma

anındaki gerilme değeri 1713.46 MPa çıkmıştır. ANSYS ile modellenen kompozit numunelere göre cam elyaf elyaf takviyeli kompozit modelin kopma anındaki gerilim değeri 246 MPa, karbon elyaf takviyeli kompozit modelin kopma anındaki gerilim değeri 1746.3 MPa çıkmıştır.

- Kompozit modellerin numunesel çalışmaları ve ANSYS model çalışmaları arasında %98 uyum vardır. Bu çalışmalar teorik olarak numunesel çalışmalarda zorluk çıkaracak parçaların ANSYS ile modellenmesinin doğruluk oranını göstermektedir.

Yazar Katkısı: Deniz Ergin Toptaş, Termoplastik Matrisli Cam ve Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin ANSYS Programı ile Modellenmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Tayfun Fındık, kompozit modellemesi ve ANSYS 2023 R1 kullanımı ve uygulanabilirliğinin araştırılması kısımlarında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması: Bu çalışmanın yazarları olarak, herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile çıkar çatışması bulunmadığını onaylarız.

5. KAYNAKLAR

- [1] K.P. Ashik, R.S. Sharma, A review on mechanical properties of natural fiber reinforced hybrid polymer composites, *J. Miner. Mater. Charact. Eng.*, vol.03(05):420–426, January, 2015.
- [2] L.C. Hollaway, M.K. Chryssanthopoulos, S.S.J. Moy (Eds.), *Advanced Polymer Composites for Structural Applications in Construction*, Woodhead, Publishing Limited, UK, 2004, pp. 360-370
- [3] Sayman, O. Aksoy, S., “tabakalı kompozit plakalarda takviye malzemesi ve oryantasyon açısının gerilme analizine etkisi”, *Ege Üniv. Mak. Fak. Mak. Müh. Böl.*, vol. 1, no. 6, 2007.
- [4] Öndürücü, A., & Karacan, A., Tabakalı Cam Elyaf/Epoksi Kompozitlerin Darbe Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi. *Müh. Bil. ve Tas. Der.*, 6(3), 435–447. <https://doi.org/10.21923/jesd.363292>, 2008
- [5] Ma, Y., Ueda, M., Yokozeki, T., Sugahara, T., Yang, Y., Hamada, H., A comparative study of the mechanical properties and failure behavior of carbon fiber/epoxy and carbon fiber/polyamide 6 unidirectional composites. *Compos. Struct.*, 160, 89–99. 2017.
- [6] K. Friedrich, A.A. Almajid, Manufacturing aspects of advanced polymer composites for automotive applications, *Appl. Compos. Mater.* 20 107–128, <https://doi.org/10.1007/s10443-012-9258-7>. 2013.
- [7] Carbajal, N., & Mujika, F. Determination of transverse compressive strength of long fibre composites by three-point bending of [90 m /0 n] cross-ply laminated strips. *Poly. Test.*, 30(5), 578–584. 2001.
- [8] M.E. Demir, Y.H. Çelik, E. Kilickap, Effect of matrix material and orientation angle on tensile and tribological behavior of jute reinforced composites, *Material./Mater. Test.* 61 (8) 806–812. 2019.
- [9] Meng, M., Le, H. R., Rizvi, M. J., & Grove, S. M. (2015). 3D FEA modelling of laminated composites in bending and their failure mechanisms. *Compos. Struct.*, 119, 693–708. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2014.09.048>.
- [10] Arriaga, A., Lazkano, J. M., Pagaldai, R., Zaldua, A. M., Hernandez, R., Atxurra, R., & Chrysostomou, A. Finite-element analysis of quasi-static characterisation tests in thermoplastic materials: Experimental and numerical analysis results correlation with ANSYS. *Poly. Test.*, 26(3),284–305. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2006.10.012>. 2007.
- [11] Xiong, J., Ma, L., Stocchi, A., Yang, J., Wu, L. and Pan S., Bending response of carbon fiber composite sandwich beams with three dimensional honeycomb cores. *Compos. Struct.*, 108(1), 234–242. 2013. Feb, 2014.
- [12] <https://polyram-group.com/product/plustek-pat300r8bk>
- [13] <https://polyram-group.com/product/plustek-pat801g50bk10>
- [14] H. Özer., “Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Termoplastik Kompozit Malzemelerin Geliştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, 2015
- [15] A. Demirel, “Karbon elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerin karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 2007.

RESEARCH ARTICLE

An Experimental Study on the Total and Capillary Water Absorption of Mortar Containing Phragmites Australis Ash

Lelian W. ElKhatib^{1,*} Jamal Khatib^{1,2} Adel Elkordi^{1,3} Seyhan Firat⁴

¹Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Beirut Arab University, Beirut 11-5020, Lebanon

² Faculty of Science and Engineering, University of Wolverhampton, Wolverhampton WV1 1LY, UK

³ Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Alexandria University, Alexandria 21511, Egypt

⁴ Department of Civil Engineering, Technology Faculty, Gazi University, Teknikokullar, 06500 Ankara, Türkiye

Received / Geliş: 04.04.2023

Accepted / Kabul: 17.05.2023

*Corresponding Author: Lelian W. ElKhatib, lwe015@student.bau.edu.lb

ABSTRACT: The use of biomass ashes as cement replacement have become a notable and trending aspect due to the huge increase in the pollution levels caused by the manufacturing process of cement. Phragmites Australis Ashes (PAA) can be an eco-friendly alternative to cement since it can be burnt in a closed container decreasing the CO₂ emissions into atmosphere. Also, PAA is considered an economical material since it is available locally and grows massively on the banks of the rivers in Lebanon. The performance of mortar mixes produced by a partial replacement of cement were evaluated in this paper revealing a big potential for PAA to be used as cement replacement. Cement in mortar specimens was replaced by 0, 10, 20 and 30% by weight PAA. Mix proportions and water to binder ratio were set constant for all casted mixes. Durability properties, including total water absorption and capillary water absorption, containing different PAA percentages were evaluated at 1, 7, 28 and 90 days of curing ages in comparison to the control specimen. The test results show an increase in the total water absorption percentages as PAA percentage is enhanced in mixes. The same trend was also obtained for capillary water absorption test.

Keywords: Sustainability, bio-ash, Phragmites Australis ash, carbon footprint reduction, cement replacement

ÖZ: Biyokütle küllerinin çimento yerine kullanılması, çimento üretim sürecinin neden olduğu kirlilik seviyelerindeki büyük artış nedeniyle dikkate değer ve son yıllarda araştırmacılar tarafından önem verilen konular arasına girmiştir. Phragmites Australis Ashes (PAA), kapalı bir kaptaki yakılarak atmosfere salınan CO₂ emisyonunu azalttığı için çimentoya çevre dostu bir alternatif olabilir. Ayrıca PAA, yerel olarak bulunduğu ve Lübnan'daki nehirlerin kıyılarında yoğun bir şekilde büyüdüğü için ekonomik bir malzeme olarak kabul edilir. Kısmi çimento ikamesi ile üretilen harç karışımlarının performansı, PAA'nın çimento ikamesi olarak kullanılması için büyük bir potansiyel ortaya koyan bu yazıda değerlendirilmiştir. Harç numunelerindeki çimento, ağırlıkça %0, 10, 20 ve %30 PAA ile değiştirilmiştir. Karışım oranları ve su/çimento oranı tüm dökülen karışımlar için sabit tutulmuştur. Farklı PAA yüzdeleri içeren toplam su emme ve kılcal su emme dahil olmak üzere dayanıklılık özellikleri, kontrol numunesine kıyasla 1, 7, 28 ve 90 günlük kürleme yaşlarında değerlendirilmiştir. Test sonuçları, karışımlarda PAA yüzdesi arttıkça toplam su emme yüzdelerinde bir artış olduğunu göstermektedir. Aynı eğilim kılcal su emme testi için de elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, biyo-kül, Phragmites Australis külü, karbon ayak izinin azaltılması, çimento ikamesi

1. INTRODUCTION

Concrete is considered as the most commonly used material in construction processes due to the fact that concrete have good strength and durability properties

[1,2]. Typical concrete mixes consist of aggregates, cement and water [3]. Cement is one of the main constituents where it plays a significant role in binding all materials together [4].

The production of ordinary Portland cement (OPC) is done by burning some naturally occurring raw materials and combining them together. These materials are known as clay and limestone [5]. The production of cement requires a very high temperature, around 1450 °C, where it consumes a lot of energy [5,6]. So, one of the main contributors for carbon dioxide emissions is the process of producing cement where it is responsible for around 8% of the globally CO₂ emissions and 7% of greenhouse emissions where around 30 to 40% results from burning fossil fuels and 60 to 70% results from decarbonation to get cement [7-9]. Each ton of cement manufactured and produced emits around 900 kg of CO₂ into the atmosphere [7,10].

The construction industry is being pressurized to find an alternative for cement after the global warming reached enormous levels, the increase in carbon footprint and the depletion of renewable resources where construction process requires around 60% of natural materials [7,11-13]. So, the trend aspect now is by moving towards utilizing and inventing green concrete to overcome the problems in the traditional construction projects after the sustainable development became one of the pioneering issues and the goal of most nations [14,15]. Green concrete conserves natural resources, reduces environmental pollution, lower CO₂ emissions and reduce waste disposal issues and may enhance some concrete properties [16,17].

So, bio-ash materials can be a good alternative instead of throwing them or burning them in open air and increasing pollution levels [18]. There are many bio-ash materials that can be used as fibers or as cement replacement in concrete/mortar mixes including shells, leaves, wood, etc [19-21]. Some examples are rice husk ash, wheat straw ash, saw dust ash, sugarcane baggase ash, etc [7,22]. These bio-ash materials, also known as agro-wastes, are considered to be ecofriendly materials and inexpensive [23-25].

Studies showed that a slight decrease is obtained when using sugarcane bagasse ash as cement replacement for capillary absorption test [26]. Also, absorption test was done on mixes containing Bermuda grass ash, results reveals a slight decrease in its values [27].

This paper will evaluate the total and capillary water absorption tests on mortar specimens after replacing cement with PAA by 0, 10, 20 and 30% at 1, 7 28 and 90 days of curing ages. Correlation between total and capillary water absorption at all curing ages were also examined.

2. EXPERIMENTAL

2.1 Materials

Portland cement Type I conforming EN 197-1 standards was used. The sand used in this mix was passing through 4.75 mm and retaining on 200 µm. After burning PAA and grinding it, it was sieved through 300 µm. Tap water was also used.

2.2 Chemical Composition

The main chemical contents that were found in cement and PAA are SiO₂, CaO and Al₂O₃. Table 1 illustrates the chemical composition percentages.

Table 1: Chemical composition (%).

Chemical Composition	Cement	PAA
SiO ₂	18.1	76.15
CaO	61.55	6.15
Al ₂ O ₃	4.29	0.84

2.3 Mix Proportions

Four different mortar mixes were casted with different percentages of PAA as cement replacement from 0% up to 30% in increment of 10. The binder: Sand ratio used was 1:3. The water to binder ratio for all mixes was 0.55. The details of quantities are shown in Table 2.

Table 2: Mix proportions.

Mix ID	Quantities (kg/m ³)			
	Cement	PAA	Sand	Water
0% PAA	475.0	0.0	1425	262
10% PAA	427.5	47.5	1425	262
20% PAA	380.0	95.0	1425	262
30% PAA	332.5	142.5	1425	262

2.4 Testing

2.4.1 Compressive Strength

Mortar cubes with dimensions 50x50x50 mm were casted for compressive strength test. After the curing time passes, cubes were removed from water and test was applied. The following equation was used to calculate the compressive strength:

$$f'_c = \frac{P}{A} \tag{1}$$

f'c: Compressive strength (MPa)

P: Load (N)
 A: Area (mm²)

2.4.2 Total Water Absorption

Mortar cubes of 100x100x50 mm size were casted, cured for a specific period, removed from water and dried at 80° C in the oven until reaching the mass of each specimen become constant. The test were then performed and the total water absorption (TWA) percentage were calculated according to the following formula:

$$TWA = \frac{M_{30}-M_d}{M_d} \times 100 \quad (2)$$

TWA: Total water absorption (%)
 M30: Mass at time 30 min (kg)
 Md: Mass for dry specimen (kg)

2.4.3 Capillary Water Absorption

Specimens of size 100x100x50 mm were used to test for capillary water absorption (CWA). Specimens were cured to specific period, placed also in oven at 80° C until reaching a constant mass and then removed and test was conducted. The specimens were placed in a shallow tray on 2 supports and then water was added gradually to 2 mm level above the mortar face as shown in Figure 1. CWA were then calculated based on the following formula:

$$CWA = \frac{M_t-M_d}{A} \quad (3)$$

CWA: Capillary water absorption (g/mm²)
 Mt: Mass at time t (kg)
 Md: Mass for dry specimen (kg)
 A: Area of specimen (mm²)

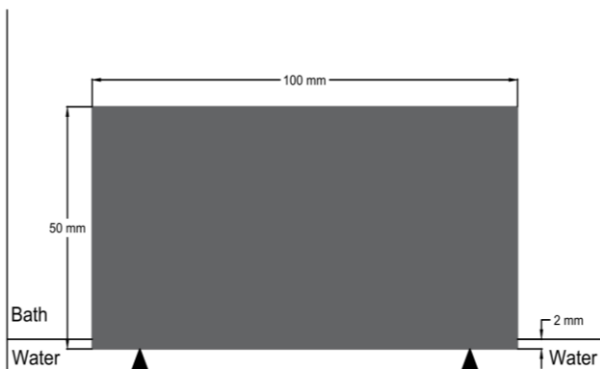


Figure 1: Capillary absorption test.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Compressive Strength

The compressive strength results are displayed in Table 3. The compressive strength decreases as the percentage of PAA is enhanced in the mortar mix from 10% to 30%. For 10% PAA, the compressive strength results are approximately similar to that of control mix. However, as curing time increases, the compressive strength increases for all casted mixes.

Table 3: Compressive strength with different PAA replacements at different curing ages.

Mix ID	Compressive Strength (MPa)			
	Day 1	Day 7	Day 28	Day 90
0% PAA	3.939	9.776	14.309	17.560
10% PAA	3.652	10.610	15.634	18.300
20% PAA	3.132	8.128	12.100	13.988
30% PAA	2.789	7.320	11.111	12.316

3.2 Total Water Absorption

The total water absorption percentage at 30 min versus PAA percentage is shown in Figure 2 at 1, 7, 28 and 90 days of curing respectively. The results show that the control mix and mix with 10% PAA recorded approximately the same values at most curing ages. As PAA replacement percentage increases in the mix, TWA values increase. However, TWA percentage decreases for all mortar mixes as the curing period is enlarged. The TWA is inversely proportional to compressive strength; as the compressive strength increases, the TWA decreases.

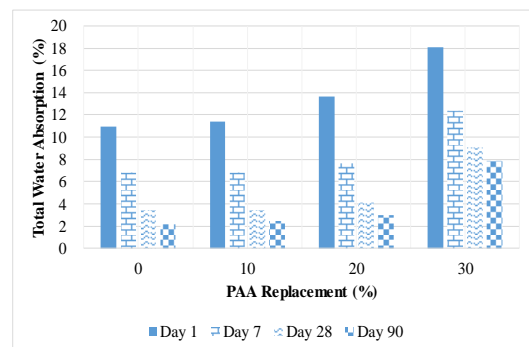


Figure 2: Total water absorption with different PAA replacements at different curing ages.

3.3 Capillary Water Absorption

Figure 3 shows the capillary water absorption results at 30 min versus PAA percentage for the different four mortar mixes at curing ages 1, 7, 28 and 90 days respectively. The water absorbed per unit area increases at all curing ages as the percentage of PAA replacement increases in the mix. Also, as curing time increases from day 1 to day 90, the water absorbed per unit area decreases for all mortar mixes tested. Regarding CWA, the trend is similar to that obtained for TWA. As the compressive strength increases, the CWA decreases.

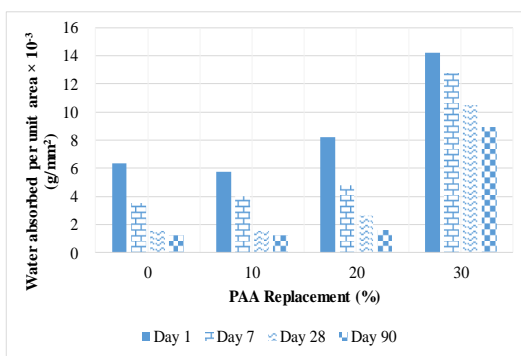


Figure 3: Capillary water absorption with different PAA replacements at different curing ages.

3.4 Correlation between Total Water Absorption and Capillary Water Absorption

Figure 4 plots the relationship between total water absorption and capillary water absorption for all mortar mixes containing 0% to 30% PAA as cement replacement at different curing ages 1, 7, 28 and 90 days. There is a linear relationship between both parameters with high correlation coefficient (>0.97).

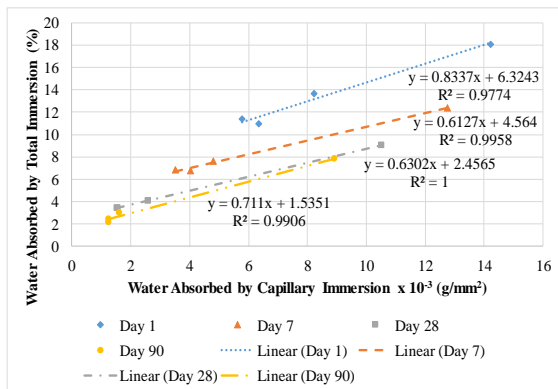


Figure 4: Correlation between Total and capillary water absorption at different curing ages.

4. CONCLUSIONS

Based on the results of the experimental tests done, it was concluded that:

There is a high potential for Phragmites Australis ashes (PAA) to be used as partial cement replacement.

For 10% PAA, the compressive strength is approximately similar to the control.

Beyond 10% replacement, the compressive strength decreases with the increase in PAA percentage in the mortar mix.

The absorption by total immersion and capillary action for the control mix and the mix with 10% PAA is approximately the same.

Beyond 10% PAA replacement, there is an increase in the absorption values for both total and capillary absorption as PAA percentage increases in the mix. As the compressive strength increases, the water absorption by total immersion and capillary action decreases.

There is a good linear relationship between total and capillary water absorption with high correlation coefficient above 0.97.

Author Contributions: Lelian W. ElKhatib and Jamal Khatib contributed to the literature review, experimental studies and the realization of the study while Adel Elkordi and Seyhan Firat contributed to the content determination and proof reading.

Acknowledgement: Special thanks for technical staff in the Faculty of Engineering Beirut Arab University.

Conflicts of Interest: As the authors of this study, we confirm that there is no conflict of interest with any institution/organization or person.

5. REFERENCES

[1] A. Abitha, C.A. Jesty, S. Siyad, P.C. Vijay, S. Sreerekha Raj, B.S. Dhanya, "Feasibility assessment of rice straw ash as a supplementary cementitious material," Mater Today-Proc., Jan, 2023.

- [2] A. Aneja, R.L. Sharma, H. Singh, "Mechanical and durability properties of biochar concrete," *Mater Today-Proc.*, vol. 65, part 8, pp 3724–3730, 2022.
- [3] M.A. Kareem, B.B. Akintonde, J.S. Adesoye, K. Ishola, I.A. Tijani, A.U. Adebajo, M.O. Thanni, W.O. Oduoye, D.O. Adeyanju, A.A. Bello, "Influence of cashew leaf ash as partial replacement for cement on the properties of fresh and hardened concrete," *Cleaner Waste Systems*, vol. 4, no. 100063, Apr, 2023.
- [4] K. Nandhini, J. Karthikeyan, "Sustainable and greener concrete production by utilizing waste eggshell powder as cementitious material – A review," *Const Build Mater*, vol. 335, no. 127482, Jun, 2022.
- [5] D. Ali, R. Agarwal, M. Hanifa, P. Rawat, R. Paswan, D. Rai, I. Tyagi, B. S. Naik, A. Pippal, "Thermo-physical properties and microstructural behaviour of biochar-incorporated cementitious material," *J Build Eng*, vol. 64, no. 105695, Apr, 2023.
- [6] H.Y.B. Katman, W.J. Khai, N. Bheel, M.S. Kirgiz, A. Kumar, J. Khatib, O. Benjeddou, "Workability, strength, modulus of elasticity, and permeability feature of wheat straw ash-incorporated hydraulic cement concrete," *Buildings*, vol. 12, no. 9, Sept, 2022.
- [7] N. Sathiparan, A. Anburuvel, V. V. Selvam, "Utilization of agro-waste groundnut shell and its derivatives in sustainable construction and building materials – A review," *J Build Eng*, vol. 66, no. 105866, May, 2023.
- [8] M. Shakouri, C. L. Exstrom, S. Ramanathan, P. Suraneni, J. S. Vaux, "Pretreatment of corn stover ash to improve its effectiveness as a supplementary cementitious material in concrete," *Cement Concrete Comp*, vol. 12, no. 103658, Sept, 2020.
- [9] M. Pekgöz, İ. Tekin, "The effects of different origins NaOH on the mechanical and microstructural properties of tuff-based alkali-activated pastes," *Turk J Eng Res Educ*, vol. 1, no. 1, pp. 29-37, 2022.
- [10] M. H. Javed, M. A. Sikandar, W. Ahmad, M. T. Bashir, R. Alrowais, M. B. Wadud, "Effect of various biochars on physical, mechanical, and microstructural characteristics of cement pastes and mortars," *J Build Eng*, vol. 57, no. 104850, Oct, 2022.
- [11] H. Affan, W. Arairoy, J. Arayro, "Mechanical and thermal characterization of bio-sourced mortars made from agricultural and industrial by-products," *Case Stud Const Mater*, vol. 18, no. e01939, Jun, 2023.
- [12] S.S. Dash, S. P. Mishra, S. Panda, "Physiognomies and strength investigation of concrete part blended by wood ash," *Int. J. Environ. Clim. Change*, vol. 11, no. 5, pp. 143-155, Jul, 2021.
- [13] M. Sonebi, A. Abdalqader, T. Fayyad, S. Amaziane, J El-Khatib, "Effect of fly ash and metakaolin on the properties of fiber-reinforced cementitious composites: A factorial design approach," *Comput Concrete*, vol. 29, no. 5, pp347-360, May, 2022.
- [14] H. Ghanem J. Khatib A. Elkordi, "Effect of partial replacement of sand by mswi-ba on the properties of mortar," *BAU J Sci Tech*, vol. 1, no. 2, 2020.
- [15] M. Machaka, J. Khatib, A. Elkordi, H. Ghanem, O. Baalbaki, "Selected properties of concrete containing municipal solid waste incineration bottom ash (MSWI-BA)," *5th Int Conf Sust Const Mater Tech (SCMT5)*, London, UK, 2019, pp. 14-17.
- [16] N. N. A. Rasid, N. H. A Khalid, A. Mohamed, A. R. M. Sam, Z. A. Majid, G. F. Huseien, "Ground palm oil fuel ash and calcined eggshell powder as SiO₂-CaO based accelerator in green concrete," *J Build Eng*, vol. 15, no. 105617, Apr, 2023.
- [17] H. Ghanem, M. Machaka, J. Khatib, A. Elkordi, O. Baalbaki, "Effect of partial replacement of cement by MSWIBA on the properties of mortar," *Acad J Civ Eng*, vol. 37, no. 2, pp. 82-89, Jun, 2019.
- [18] K. Nandhini, J. Karthikeyan, "Effective utilization of waste eggshell powder in cement mortar," *Mater Today-Proc*, vol. 61, no. 2, pp. 428 – 432, Jan, 2022.
- [19] F. Wu, Q. Yu, H. J. Brouwers, "Long-term performance of bio-based miscanthus mortar," *Const Build Mater*, vol.21, no. 126703, Mar, 2022.
- [20] M. Machaka, J. Khatib, S. Baydoun, A. Elkordi, J. J. Assaad, "The effect of adding phragmites australis fibers on the properties of concrete," *Buildings.*, vol. 12(3), no. 278, Mar, 2022.
- [21] M. Machaka, A. Elkordi, H. Ghanem, J. Khatib, O. Baalbaki, "Selected properties of concrete

- containing palm fibers," *Acad J Civ Eng*, vol. 37, no. 2, pp. 279-286, Jun, 2019.
- [22] B. S. Thomas, J. Yang, K. H. Mo, J. A. Abdalla, R. A. Hawileh, E. Ariyachandra, "Biomass ashes from agricultural wastes as supplementary cementitious materials or aggregate replacement in cement/geopolymer concrete: A comprehensive review," *J Build Eng*, vol. 40, no. 102332, Aug, 2021.
- [23] J. He, S. Kawasaki, V. Achal, "The utilization of agricultural waste as agro-cement in concrete: A review," *Sustainability*, vol. 12, no. 6971, Aug, 2020.
- [24] L. ElKhatib, F. A. Aridi, A. ElKordi, J. Khatib, "Mechanical and durability properties of geopolymer concrete– A Review, " *BAU J Sci Tech*, vol. 3, no. 8, 2022.
- [25] L. ElKhatib, F. A. Aridi, A. ElKordi, Adel, Khatib, Jamal M., "Selected properties on geopolymer concrete – A review," *III International Turkish World Engineering and Science Congress*, 2021, pp. 337-345.
- [26] V.T. de Sande, M. Sadique, A. Bras, P. Pineda, "Activated sugarcane bagasse ash as efficient admixture in cement-based mortars: Mechanical and durability improvements," *J Build Eng*, vol. 59, no. 105082. Nov, 2022.
- [27] B. Patnaik, J. Chimdi, T. S. Sekhar, "Bermuda grass ash as a sustainable cementing material in concrete for ethiopian construction industry," *Mater Today-Proc*, vol. 1, no. 62, pp. 7261-7264, Jan, 2022.

