

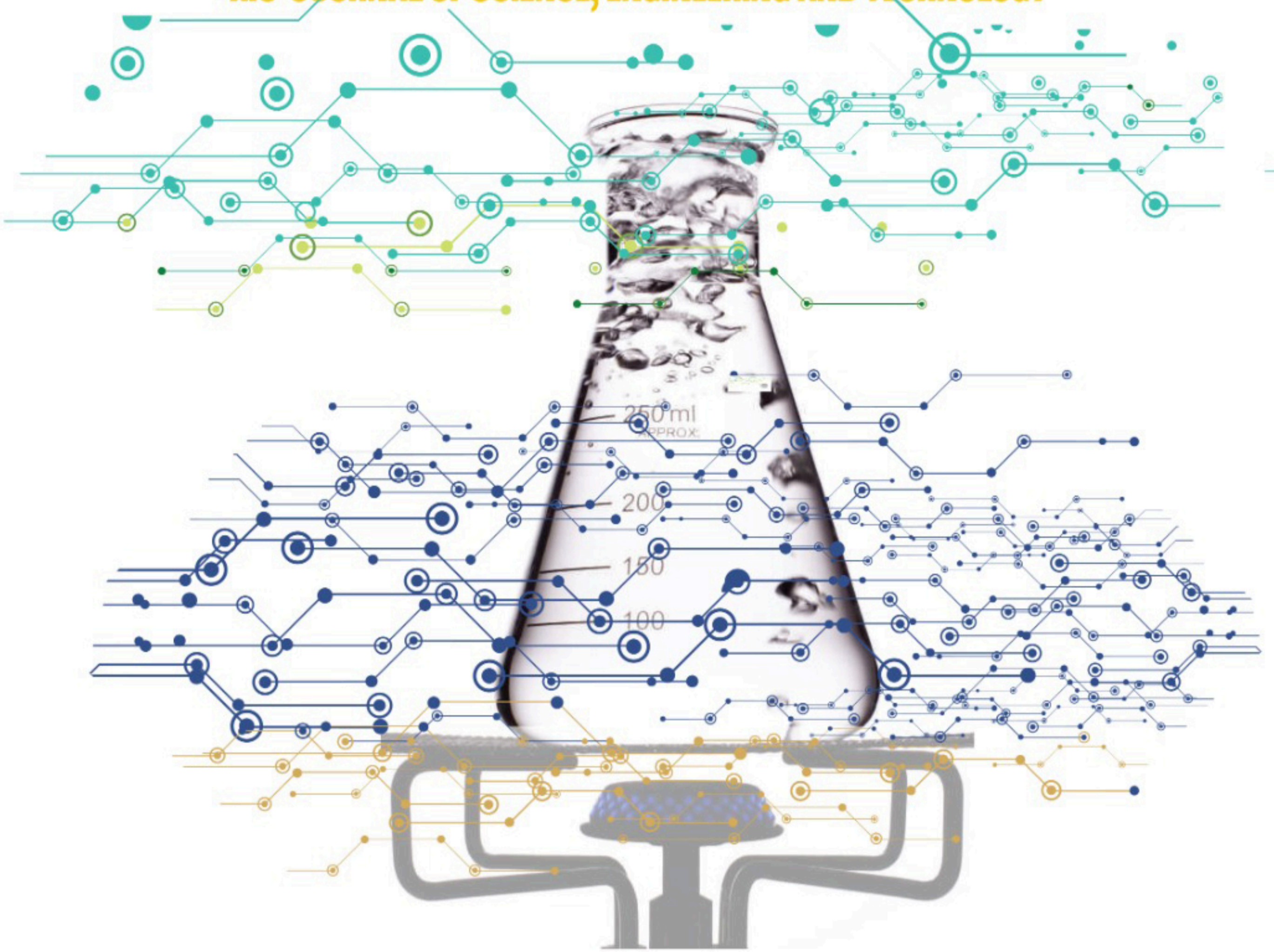


KAHRAMANMARAŞ İSTİKLAL ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KAHRAMANMARAŞ İSTİKLAL UNIVERSITY POSTGRADUATE EDUCATION INSTITUTE

KİÜ FEN, MÜHENDİSLİK VE TEKNOLOJİ DERGİSİ

KIU JOURNAL OF SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGY



CİLT 1, SAYI 1, HAZİRAN 2024

VOLUME 1, ISSUE 1, JUNE 2024

e-ISSN: 3023-8307





KİÜ FEN, MÜHENDİSLİK VE TEKNOLOJİ DERGİSİ
KİÜ JOURNAL OF SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGY

Cilt/Volume: 1

Sayı/Issue: 1

Haziran/June 2024

Editör Kurulu Editorial Board

Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi adına *On behalf of Kahramanmaraş İstiklal*
Yayın Sahibi *University Owner*

Prof. Dr. **Prof. Dr.**
İsmail BAKAN

Baş Editör *Editor-in-Chief*
Prof. Dr. **Prof. Dr.**
Süleyman KERLİ

Yardımcı Editör *Associate Editor*
Doç. Dr. **Assoc. Prof. Dr.**
Handan ÖZLÜ TORUN

Mizanpaj Editörleri Layout Editors

Dr. Öğr. Üyesi **Asst. Prof. Dr.**
Kemal KÖKSAL

Dr. Öğr. Üyesi **Asst. Prof. Dr.**
Begüm İLBAY VATAN

Öğr. Gör. **Lect.**
Hamza AYDEMİR

Dil Editörleri Language Editors

Asst. Prof. Dr. **Asst. Prof. Dr.**
Emrah PEKSOY

Öğr. Gör. **Lect.**
Şeyma Nur ZARARSIZ

Öğr. Gör. **Lect.**
İpek TAŞDEMİR

Grafik Tasarım Graphic Design

Asst. Prof. Dr. **Asst. Prof. Dr.**
Kemal KÖKSAL



KİÜ FEN, MÜHENDİSLİK VE TEKNOLOJİ DERGİSİ

KİÜ JOURNAL OF SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGY

Cilt/Volume: 1

Sayı/Issue: 1

Haziran/June 2024

Alan Editörleri Field Editors

Prof. Dr. Prof. Dr.
Ümit ALVER

Prof. Dr. Prof. Dr.
Barış AVAR

Prof. Dr. Prof. Dr.
Berre KÜMÜK

Doç. Dr. Assoc. Prof. Dr.
Yusuf KAVUN

Doç. Dr. Assoc. Prof. Dr.
Ahmet Hayrullah SEVİNÇ

Doç. Dr. Assoc. Prof. Dr.
Kerim MARTİN

Doç. Dr. Assoc. Prof. Dr.
Meryem GEÇİMLİ

Doç. Dr. Assoc. Prof. Dr.
Tuğbe LEVENT KASAP

Doç. Dr. Assoc. Prof. Dr.
Mustafa ÇEŞME

Dr. Öğr. Üyesi Asst. Prof. Dr.
Yaşar Doğan DALDAL

Dr. Öğr. Üyesi Asst. Prof. Dr.
Harika Eylül ESMER DURUEL

Dr. Öğr. Üyesi Asst. Prof. Dr.
Hakan YAYKAŞLI

Dr. Öğr. Üyesi Asst. Prof. Dr.
Başak ZENGİN

Dr. Öğr. Üyesi Asst. Prof. Dr.
Mustafa EKEN

Dr. Öğr. Üyesi Asst. Prof. Dr.
İbrahim ÇELİK

Danışma Kurulu Advisory Board

Prof. Dr. Prof. Dr.
Leon JOLOLIAN
University of Alabama, USA

Prof. Dr. Prof. Dr.
Chryssy POTSIOU
National Technical University of Athens, Greece

Prof. Dr. Prof. Dr.
Ruşen YAMAÇLI
Eskişehir Teknik Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Prof. Dr.
Esra ÖZTÜRK
Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Assoc. Prof. Dr.
Farzollah MIRZAPOUR
University of Zanjan, Iran

Doç. Dr. Assoc. Prof. Dr.
Muhammed Yasin DURGUN
Bartın Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Assoc. Prof. Dr.
Fatma Kılıç DOKAN
Kayseri Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Assoc. Prof. Dr.
Tuğbe LEVENT KASAP
Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Assoc. Prof. Dr.
Mehmet Fatih KAYA
Erciyes Üniversitesi, Türkiye

Dr. Dr.
Andrew PINKERTON
Lancaster University, England



KİÜ FEN, MÜHENDİSLİK VE TEKNOLOJİ DERGİSİ
KİÜ JOURNAL OF SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGY

Cilt/Volume: 1

Sayı/Issue: 1

Haziran/June 2024

Sayı Hakemleri Issue Reviewers List

Ahmet Hayrullah SEVİNÇ

Ali Kemal SOĞUKSU

Barış AVAR

Başak ZENGİN

Elif Belkıs ÖKSÜZ UNCU

Handan ÖZLÜ TORUN

Harika Eylül ESMER DURUEL

Himmet Erdi TANÜRÜN

Meltem KOŞAN

Mustafa KAVGACI

Mustafa EKEN

Soner ÇAKAR

Süleyman KERLİ

Yazışma Adresi Correspondence Address

Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi Kahramanmaraş İstiklal University Rectorate,
Rektörlüğü, Menderes Mah. Cumhuriyet Menderes Neighborhood. Cumhuriyet
Bulvarı 46036. Sokak No:7 46100 Boulevard 46036. Sokak No:7 46100
Dulkadiroğlu/KAHRAMANMARAŞ Dulkadiroğlu/KAHRAMANMARAŞ

E-Posta E-Mail

kiufemte@istiklal.edu.tr

İnternet Sayfası Web Page

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/kiufemte>



İçindekiler/Table of Contents

Research Article

Microstructure and Composition Design Modeling of Thermal Acidic and Enzyme Degraded Adana Origin Maize Starch Granules Using Field Emission Gun-Scanning Electron Microscope (FEG-SEM) 1

Yakup ERMURAT

Research Article

The Impact of Earthquakes on Natural Radiation Levels: A Study at KSU Avşar Campus 10

Selami EKEN

Araştırma Makalesi

İstanbul'da Tarihi Yarımada'daki Geleneksel Ahşap Konutların Deprem Performansının Değerlendirilmesi 17

Abdüllatif SARIKAYA, Caner GÖÇER

Araştırma Makalesi

Elbistan Meslek Yüksekokulu Çatı Üstü Güneş Enerjisi Santrali Kurulum Simülasyonu: Performans Analizi 33

Kerim MARTİN

Araştırma Makalesi

Glisin Yakma Tekniği ile Sentezlenen Ce_{1-x}LaxO₂ (x=0,04) Nanoparçacıklarının Faz Oluşumu ve Kristal Yapıları Üzerinde Glisin Miktarının Etkisi 43

Nurvet KIRKGEÇİT, Rabia KIRKGEÇİT, Ayşe KIRKGEÇİT



**Isıl, Asidik ve Enzimlerle Bozunmuş Adana Menşeli Mısır Nişastası
Granüllerinin Alan Emisyon Tabancası – Taramalı Elektron Mikroskobu
(AET-TEM) Kullanılarak Mikroyapı ve Bileşim Tasarımı Modellemesi**

Yakup ERMURAT^{1,2}

Öz

Doğal veya işlenmiş nişastalar; beslenme, ilaç, kumaş, kağıt, deterjan ve biyobozunur plastik endüstrilerinde yeni algılanabilir ürün yaklaşımlarının geliştirilmesini vaat etmektedir. Bu çalışmada Adana menşeli mısır nişastası granülleri ısı, asidik ve amilaz enzim bozunma işlemlerine tabi tutularak mikroyapı analizi ve kompozisyon tasarımı modellemesi amacıyla Alan Emisyon Tabancası-Taramalı Elektron Mikroskobu (AET-TEM) kullanılarak incelendi. Nişastanın bileşenleri ve mikroyapısal tasviri daha da açıklığa kavuşturuldu ve nişastanın üretimi ve kullanımına yönelik faydalı bilgiler sağlandı. Amilopektin polimer tabakalarının nişasta nanoparçacıklarının form yüzeyindeki genişlemeleri ve parçalanmaları öncelikle şaşırtıcı bir doğrulukla gösterilmiştir. Bozunmuş nişasta granüllerinin nanoparçacık şekil yüzeyi ve element analizi yapıldı. Bozunma basamakları üzerine amilopektin polimer katmanlarının bozunma aşamaları özellikle fevkalade bir hassasiyetle sunuldu. Glikoz molekülündeki karbon ve oksijen elementlerinin deneysel uyum oranları benzeşiklenmesi sırasıyla 0,99 ve 0,29 olarak belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Isıl Asidik ve Enzimatik Bozunma, Adana Menşeli Mısır Nişastası Granülleri, Mikroyapı ve Bileşim Tasarımı Modellemesi, Yapısal ve bileşim analizleri, Alan Emisyon Tabancası – Taramalı Elektron Mikroskobu (AET-TEM)

**Microstructure and Composition Design Modeling of Thermal, Acidic and
Enzyme Degraded Adana Origin Maize Starch Granules Using Field
Emission Gun-Scanning Electron Microscope (FEG-SEM)**

Abstract

Native or modified starches are utilized in nutrition, medicine, fabric, paper, detergent and biodegradable plastic industries promising the development of new perceptible product approaches. In this study, Adana origin maize starch granules were treated with thermal, acidic and amylase enzyme degradation processes and examined using the Field Emission Gun-Scanning Electron Microscope (FEG-SEM) for the microstructure analysis and composition design modeling. The nanoparticle shape surface and elemental analysis of the degraded starch granules were determined. The components and microstructural depictions of starch were further clarified, providing useful knowledge for the production and use of starch. The amylopectin polymer layers' expansions and breakdown on the starch nanoparticle's form surface were primarily demonstrated with startling accuracy. The destructions of the amylopectin polymer layers upon the degradation steps were particularly presented in extraordinary precision. The experimental deviation ratios modeling of carbon and oxygen elements in glucose molecule were determined as 0.99 and 0.29 respectively.

Keywords: Thermal Acidic and Enzymatic Degradation, Adana Origin Corn Starch Granules, Microstructure and Composition Design Modeling, Structural and compositional analysis, Field Emission Gun-Scanning Electron Microscope (FEG-SEM).

¹Bolu Abant İzzet Baysal University, Engineering Faculty

²Kahramanmaraş İstiklal University, Engineering Architecture and Design Faculty, Department of Basic Sciences, Kahramanmaraş, Türkiye, yakupermurat@ibu.edu.tr <https://orcid.org/0000-0002-0159-5283>

1. Introduction

Native or modified starches are broadly investigated biopolymer materials that are used in advantageous discoveries leading considerable manufacturing inventions. Varieties of starches depending on the origin and process are consumed in nutrition, medicine, fabric, paper, detergent and biodegradable plastic industries. The global starch demand is supplied by various plants as corn, cassava, wheat, and potato plants (Hill & Dronzek 1973; Jane, 1995, BeMiller, 2009; Vilpoux & Silveira 2023).

Starch biopolymer materials are purely composed of glucose (dextrose or sucrose) molecules as shown in Figure 1 (PubChem 2023), making of linear amylose and branched amylopectin biochain layer microstructures which are 1 to 100 μm sized spherical, oval or ellipsoidal shaped starch granular nanoparticles as displayed in Figure 2 (Pfister et al., 2020).

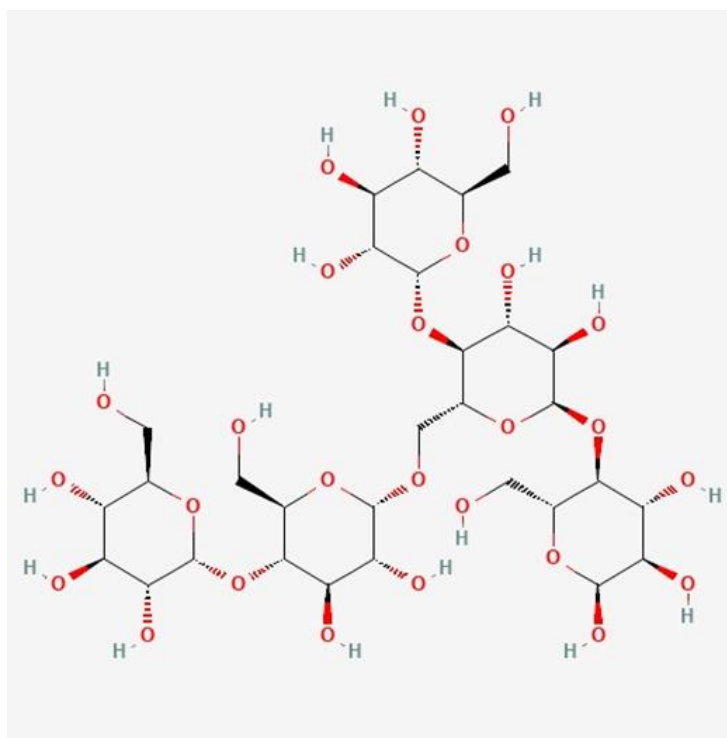


Figure 1. Amylose and amylopectin comprised purely glucose (or sucrose) molecules (PubChem 2023)

Figure 2 shows an illustration quoted from the study conducted by Pfister et al. which offers progressive diagram techniques to demonstrate molecular configuration of starch granules (Pfister et al., 2020; Vilpoux & Silveira 2023, PubChem, 2023).

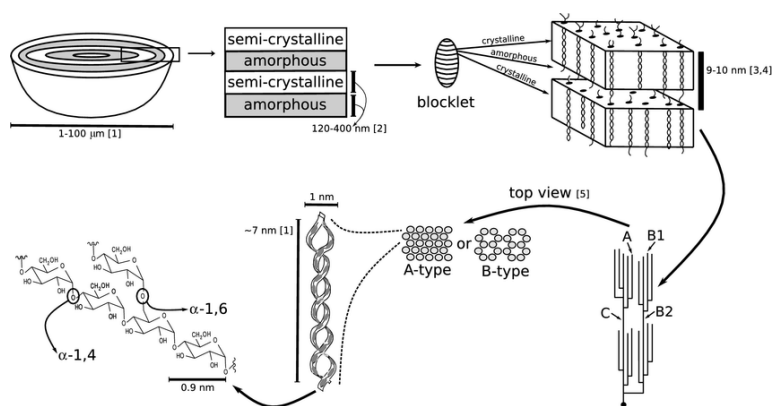


Figure 2. Configuration of glucose polymer amylose and amylopectin simulations of starch [3]

Glucose with $C_6H_{12}O_6$ molecular formula holds approximated mass percentages of carbon, oxygen and hydrogen as 42%C, 51%O and 7%H theoretically.

The structure of starch granules is susceptible to breakdown under thermal, chemical and biochemical operations to make starch more useful for food and non-food industries. The value of native starch polymer properties can be improved through physical and chemical modifications to expand textural characteristics to provide functional performances as flexibility, solubility and adhesion properties for industrial uses. Starch biopolymers can be degraded under high temperature conditions, and hydrolyzed in acidic or enzymatic breakdown applications. Potential use of interest in this case, the heat degraded starch is named as modified starch in which amylose and amylopectin molecules are degraded resulting more useful decomposed structure. Glucose bonds in starch polymers are hydrolysed to obtain complete yield to dextrose molecules by acid or enzyme hydrolysis process which are used for the productions of sweets as dextrose, maltose and fructose syrups or syrup mixtures such as high fructose corn syrup blends, commonly used as nutrition supplements for drinks, meals or serum productions (Bachler et al., 1970; Liu et al., 2016; Robyt, 2008).

The starch a polymeric material made of α -glucose chain structure is used as one of the most preferred biodegradable plastic materials contains ecologically pleasant constituents (Jane 1995). The starch polymers can be converted into biodegradable plastics by application of derivatization and degradation reactions. Chemical modification processes are used to fix functional groups into the starch polymer molecules to produce biodegradable plastic materials by derivatization; etherification, esterification and crosslinking or degradation; hydrolysis and oxidation reactions (Chen et al., 2018; Castillo et al., 2019). The most studied in the field of biodegradable plastics, etherification reaction mechanism was first developed by Williamson

in 1850, comprises a nucleophilic substitution to the hydroxyl groups of starch biopolymers (Olawoye et al., 2023).

It is greatly practiced study to investigate microstructure and composition of starch biopolymers to be benefited more efficiently and productively in relation to its applications in the industry (Nikuni, 1978; BeMiller, 2009). Morphology of untreated native or treated modified starch varieties systematically and extensively examined for the structure and constituent exploration by electron microscopy. The microstructural electron microscopy images of the native or modified starch granules in the size and shapes were scrutinized in several numerous preceding studies (Fannon et al., 1992; Li et al., 2010; Chakraborty, 2020; Govindaraju et al., 2020).

Corn is cultivated and harvested as both the primary and secondary crops in productive Adana province of Çukurova region where high amount of corn starch is produced (Say & Erdogan 2011; Rolbiecki et al., 2022).

The aim of this study is accomplishing the microstructure and composition design modeling of thermal, acidic and enzyme degraded Adana origin maize starch granules using Field Emission Gun-Scanning Electron Microscope (FEG-SEM).

2. Materials and Methods

Adana origin corn starch samples were heat roasted at 340 °C using pyrolysis process, hydrochloric acid acidified and applied to amylase enzyme conversion at 35 °C temperature and pH 3.0. The thermal, acidic and enzyme processed starch samples were dried at room temperature, than used for microstructural imaging by Field Emission Scanning Electron Microscopy (FEG-SEM) in facility of University of Düzce.

3. Results and Discussions

The thermal, acidic and the enzyme modifications of starch were accomplished in this study which offers native starch to have more opportunities of utilization in food and non-food products manufacturing. Native Adana origin starch granules were examined using the Field Emission Gun-Scanning Electron Microscope (FEG-SEM) after modification by heat, acid and enzyme application for the microstructure analysis and composition design modeling. Figure 3 represents the microstructural image of heat, acid and enzyme degraded starch granule which was provided in the sizes of 1 mm and 100 µm. The degradation of the amylopectin polymer layers upon the degradation steps were particularly presented in astonishing exactness for revealing molecular structure of starch granule in this observed figure.

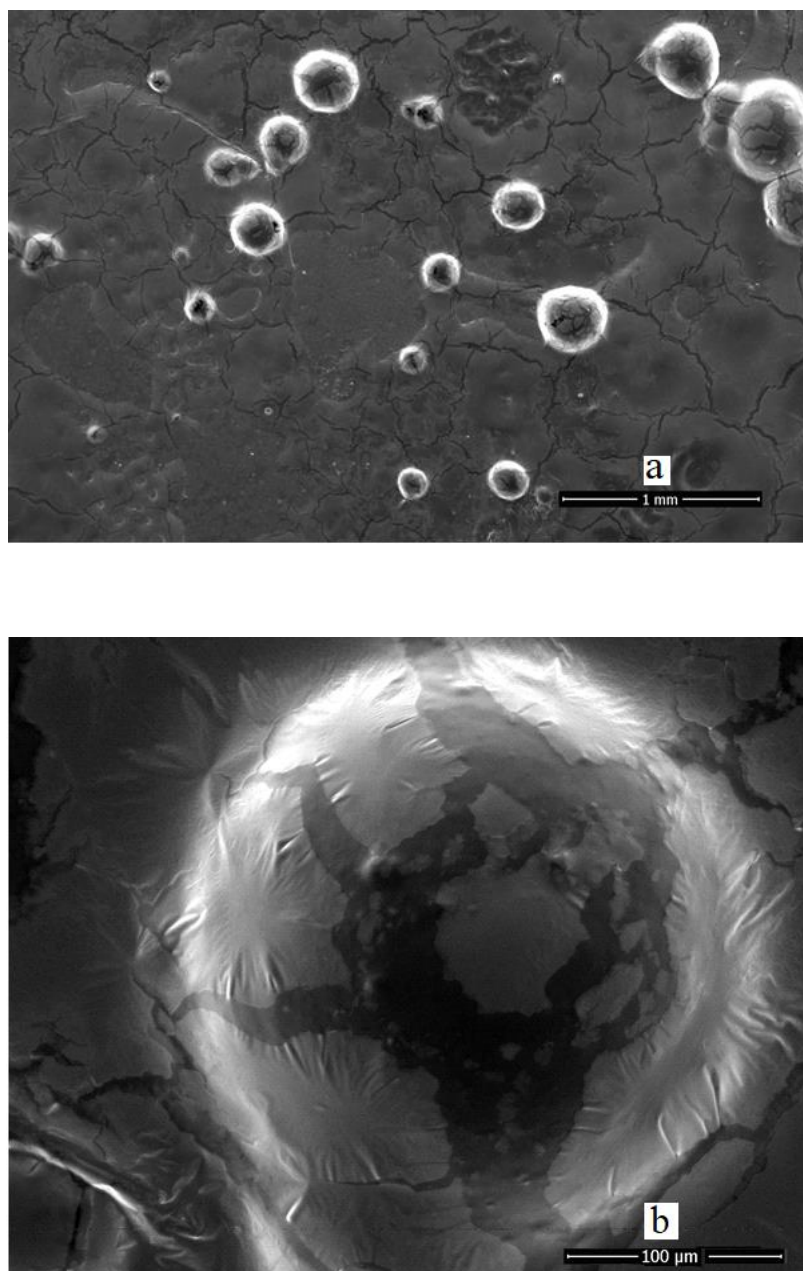


Figure 3 (a-b). The SEM images of the treated starch granule

Modified Adana origin maize starch granule was presented blustered spherical starch surface microstructure image as shown in Figure 3 (a-b) to reveal molecular structure of degraded starch granule as investigated in the previous studies. The polymeric material of starch, made of α -glucose chain structure constituent was biodegraded, and the destruction of the amylopectin polymer layers upon the degradation steps were particularly presented in astonishing precision similar to simulated and described in Figures 1 and 2 (PubChem, 2023). Above all, this starch microstructural image observation was significantly elucidated beneficial information offering for the starch manufacturing and utilizing than the formerly starch

structural visualization surveys found in the numerous related literature (Hill, 1973; Nikuni, 1978; Bertoft, 2017; Shi et al., 2019). In a very earlier classical starch structural investigation, Hall and Sayre compared various starch granules using both scanning electron and ordinary light microscopy techniques that established the concomitant microscopy study of starch granules (Hall & Sayre 1973), though this study dealt with single starch sample but more advanced microscopy technique. Surface scratches on the spherical starch granule in this study present more detail than that of Fannon et al. who observed starch granule surface pores (Fannon et al., 1992). Astounding accuracy was observed in Figure 3 (a-b) which was proved exactness of the layers of the decomposed spherical starch granule than that of Chakraborty et al. who studied molecular structure of starch granules using advanced microscopy techniques to divulge microstructure of the granules (Chakraborty, 2020), and Govindaraju et al. who surveyed structure and morphological properties of starch macromolecule using biophysical techniques (Govindaraju et al., 2020).

There was no esterification and etherification reactions conducted to convert the modified starch into biodegradable plastics in this study, however microstructural and composition analysis offers valuable information that can be benefited in bioplastic production relatively. Experimental over theoretical consistency ratios of carbon besides oxygen were calculated using the elemental composition design modeling analysis, and the calculation results of carbon ratio was determined as 0.99, and oxygen ratio was outcome as 0.29 in glucose molecule of starch biopolimer.

4. Conclusions

Adana origin native maize starch granules were modified with thermal, acidic and amylase enzyme breakdown processes and examined using FEG-SEM for the microstructure analysis and composition design modeling. The starch microstructural image and components were significantly elucidated advantageous information offering for the starch manufacturing and utilizing. The degradation and stretches of the amylopectin polymer layers on the shape surface of the starch nanoparticle were principally shown in astounding precision. The experimental obviousness modeling of the elemental ratios of carbon and oxygen of glucose molecule were approximated as 0.99 and 0.29 respectively. Further all, this starch microstructural image observation was significantly elucidated beneficial information offering for the starch manufacturing and utilizing than the formerly starch structural visualization surveys found in the numerous related literature. The structure of starch granules is susceptible to breakdown under thermal, chemical and biochemical operations to make starch more useful

for food and non-food industries. Value of native starch polymer properties are improved through physical and chemical modifications to expand textural characteristics to provide functional performances as flexibility, solubility and adhesion properties for industrial uses. Starch biopolymers can be degraded under high temperatures, and hydrolyzed in acidic or enzymatic breakdown applications. Potential use of interest in this case, the heat degraded starch is named as modified starch that the amylose and amylopectin molecules are degraded resulting more useful decomposed structure. Glucose bonds in starch polymer are fragmented by acid or enzyme hydrolysis process to obtain complete yield to dextrose molecules which are used for the production of sweets as dextrose, maltose and fructose syrups or syrup mixtures such as high fructose corn syrup blends, commonly used as nutrition supplement for drinks, meals or serum production (Bachler et al., 1970; Robyt, 2008). It is greatly practiced study to investigate microstructure and composition of starch biopolymers to be benefited more efficiently and productively in relation to its applications in the industry. Morphology of untreated native or treated modified starch varieties systematically and extensively examined for the structure and constituent exploration by electron microscopy.

References

- Bachler, M.J., Strandberg, G.W., & Smiley, K.L. (1970). Starch conversion by immobilized glucoamylase. *Biotechnology and Bioengineering* 1:12(1):85–92. <https://doi.org/10.1002/bit.260120108>
- BeMiller, J.N. (2009). *Starch: Chemistry and Technology*, 3rd Ed. Academic Press
- Bertoft, E. (2017). Understanding Starch Structure: Recent Progress. *Agronomy* 7(3):56. <https://doi.org/10.3390/agronomy7030056>
- Castillo, L.A., López, O.V., Garcia, M.A., Barbosa, S.E., & Villar, M.A. (2019). Crystalline morphology of thermoplastic starch/talc nanocomposites induced by thermal processing. *Heliyon* 1:5(6):e01877. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01877>
- Chakraborty, I., Pallen, S., Shetty, Y., Roy, N., & Mazumder, N. (2020). Advanced microscopy techniques for revealing molecular structure of starch granules. *Biophysical Reviews* 16:12(1):105–22. <https://doi.org/10.1007/s12551-020-00614-7>
- Chen, Y.F., Kaur, L., & Singh, J. (2018). Chemical modification of starch. In: Elsevier eBooks 283–321. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100868-3.00007-x>
- Chen, P., Yu, L., Chen, L., & Li, X. (2006). Morphology and Microstructure of Maize Starches with Different Amylose/Amylopectin Content. *Starch-starke* 1:58(12):611–5. <https://doi.org/10.1002/star.200500529>
- Fannon, J.E., Hauber, R.J., & BeMiller, J.N. (1992). Surface pores of starch granules. *Cereal*

Chemistry 69:284-288.

Govindaraju, I., Chakraborty, I., Baruah, V.J., Sarmah, B., Mahato, K.K., & Mazumder, N. (2020). Structure and morphological properties of starch macromolecule using biophysical techniques. *Starch-starke* 12:73(1–2). <https://doi.org/10.1002/star.202000030>

Hall, D., & Sayre, J.G. (1973). A comparison of starch granules as seen by both scanning electron and ordinary light microscopy. *Starch-starke* 1;25(4):119–23. <https://doi.org/10.1002/star.19730250404>

Hill, R.D., & Dronzek, B.L. (1973). Scanning Electron Microscopy Studies of Wheat, Potato and Corn Starch during Gelatinization. *Starch-starke* 1:25(11):367–72. <https://doi.org/10.1002/star.19730251104>

Jane, J. (1995). Starch Properties, Modifications, and Applications. *Journal of Macromolecular Science* 32(4):751-757. <https://doi.org/10.1080/10601329508010286>.

Li, P., Ben-Shan, Z., Shen, Q., Hu, X., & Li, W. (2010). Preparation and structure analysis of noncrystalline granular starch. *International Journal of Food Engineering* 26:6(4). <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1900>

Liu, Y., Xie, H., & Shi, M., (2016). Effect of ethanol–water solution on the crystallization of short chain amylose from potato starch. *Starch - Stärke*, 68:683-690. <https://doi.org/10.1002/star.201500300>

Nikuni, Z. (1978). Studies on Starch Granules. *Starch* 30(4):105-111. <https://doi.org/10.1002/star.19780300402>

Olawoye, B. et al. (2023). Modification of Starch. In: Sharanagat, V.S., Saxena, D.C., Kumar, K., Kumar, Y. (eds) *Starch: Advances in Modifications, Technologies and Applications*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35843-2_2

Pfister, B., Zeeman, S.C., Rugen, M.D., Field, R.A., Ebenhöf, O., & Raguin, A. (2020). Theoretical and experimental approaches to understand the biosynthesis of starch granules in a physiological context. *Photosynthesis Research* 18:145(1):55–70. <https://doi.org/10.1007/s11120-019-00704-y>

PubChem. (2023). Compound Summary for CID 439207 Amylopectin, National Library of Medicine (US), National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Amylopectin>

Robyt, J. (2008). Starch: Structure, Properties, Chemistry, and Enzymology. In: Fraser-Reid BO, Tatsuta K, Thiem J, *Glycoscience*. Springer, 1437–1472. https://doi.org/10.1007/978-3-540-30429-6_35.

Rolbiecki, R., Yücel, A.G., Kocięcka, J., Atilgan, A., Marković, M., & Liberacki, D. (2022). Analysis of SPI as a Drought Indicator during the Maize Growing Period in the Çukurova Region (Turkey). *Sustainability* Mar 21:14(6):3697. <https://doi.org/10.3390/su14063697>

Shi, M., Yue, J., Liu, Y., Huang, X., Wang, H., & Yan, Y. (2019). Structure and physicochemical properties of malate starches from corn, potato, and wrinkled pea starches. *Polymers* 19:11(9):1523. <https://doi.org/10.3390/polym11091523>

Say, S.M., & Erdogan, Y., (2011). Energy use pattern of first crop maize production: Case study for Cukurova region in a sample farm. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 9(2):309-312.

Vilpoux, O.F., & Silveira, J.F.S. (2023). Global production and use of starch. In: Elsevier eBooks 43–66. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-90058-4.00014-1>



Depremlerin Doğal Radyasyon Seviyelerine Etkisi: KSÜ Avşar Kampüsünde Bir Çalışma

Selami EKEN^{1*}

Öz

Yer kabuğundaki uzun yarı ömürlü radyoaktif çekirdekler nedeniyle insanlar düzenli olarak doğal radyasyona maruz kalırlar. Toprak, kaya ve yeraltı suyu, genellikle sismik faaliyetlerle yer değiştiren önemli doğal radyasyon kaynaklarıdır. Bu nedenlerden dolayı sismik faaliyetlerin, özellikle topraktan yayılan doğal radyasyonu nasıl etkilediği belirsizliğini koruyor. Bu çalışma, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi (KSÜ) Avşar Kampüsü Tıp Fakültesi (MF) çevresindeki ve kampüsteki çeşitli noktaları (VP) deprem öncesi ve deprem sonrası radyasyon düzeylerini ölçmeyi amaçlamıştır. Ölçümler 2024-Mayıs sonuna kadar 10 günlük aralıklarla yapılmıştır. Deprem öncesi ortalama MF ve VP değerleri sırasıyla MF-13±0.2 µR/h ve VP-12±0.3 µR/h olarak bulunmuştur. Deprem sonrası MF seviyeleri MF-14 ± 0,4 µR / h ve VP-13 ± 0,7 µR / h olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, sismik olaylarla ilişkili çevresel değişikliklerin değerlendirilmesinde devam eden araştırmalara yeni veriler katarak, depremler ve doğal radyasyon seviyeleri arasındaki ilişki hakkındaki bilgimizi geliştirmek için sürekli izleme araştırmalarına duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır. Ayrıca ölçüm yapılan alanlardaki doğal radyasyon düzeyinin yaşanabilir bir ortama uygun belirlendiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal Radyasyon, Deprem, Radyoaktivite.

The Impact of Earthquakes on Natural Radiation Levels: A Study at KSU Avsar Campus

Abstract

People are regularly exposed to natural radiation due to long half-life radioactive nuclei in the Earth's crust. Soil, rock, and groundwater are significant natural radiation sources, often displaced by seismic activities. Due to these reasons, it remains unclear how seismic activities affect natural radiation, especially those emitted from the soil. This study aimed to measure radiation levels before and after earthquake areas surrounding the Faculty of Medicine (MF) at Kahramanmaraş Sutcu Imam University (KSU) Avsar Campus and various points (VP) on the campus. Measurements were taken at 10-day intervals until 2024-May's end. Pre-earthquake mean values in MF and VP were MF-13±0.2 µR/h and VP-12±0.3 µR/h, respectively. After-earthquake, MF levels were MF-14±0.4 µR/h and VP-13±0.7 µR/h. These results contribute new data to the ongoing research in assessing environmental changes associated with seismic events, emphasizing the need for sustained monitoring research to enhance our knowledge of the relationship between earthquakes and natural radiation levels. Additionally, it has been determined that the measured areas maintain natural radiation levels suitable for a livable environment.

Keywords: Natural Radiation, Earthquake, Radioactivity.

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Medicine, Department of Radiation Oncology, Kahramanmaraş, Turkey, selami_ek@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0001-9320-0391>

1. Introduction

People are exposed to radiation in the water, soil and air in the environment in which they live. The normal limits of these amounts of radiation to which living things are exposed have been determined by organizations whose reliability is accepted by scientific circles. National Council for Radiation Protection and Measurements (NCRP), United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) and International Commission on Radiological Protection (ICRP) are a few of these organizations. Exposure to a dose above these limits affects the life of a living being. This effect can be defined as the difficulty of maintaining a life or maintaining a healthy one. Therefore, it is important to determine the natural radiation in a region, determine the changes in possible radiation doses, and take the necessary measures.

Determination of the natural basic level radiation of a region or a place means a radiological examination of that place, or, in other words, the determination of the natural radioactivity contained in the soil, water, and air of that place (Bayrak & Baltaş, 2023). The mineralogical structures of the soil and rocks and the geographical height affect the basic radiation level of the region (Tzortris et al., 2003). It is necessary to determine the environmental concentrations and the effect of radiation, especially on humans, and assess its effect on biological systems. A person is exposed at any time to various types of radiation emitted from sources in the natural environment in which he lives. It is known that the largest contribution to the world's population's average dose comes from terrestrial and cosmic radiation. For this reason, research is being conducted to evaluate the doses and types of radiation caused by environmental factors and the risks it may pose to human health (Kam et al., 2007; Kam et al., 2010; Al-Azmi, 2013; Bal & Karatepe, 2015; Karatepe et al., 2019). In addition, the impact of seismic activities on the earth's crust, particularly how they influence the natural radiation emitted from the soil, remains unclear. For this reason, much research has been conducted on these activities and their results. The effect of the Kahramanmaras earthquake on the natural radiation level in the region is not yet known.

This study aimed to measure the radiation levels in the areas surrounding the Faculty of Medicine (MF) within Kahramanmaras Sutcu Imam University (KSU) Avsar Campus and various points (VP) on the campus before and after the earthquake.

2. Materials and Method

2.1. Measurement Field

This study was made at Kahramanmaras Sutcu Imam University (KSU) Avsar Campus, Kahramanmaras/Onikisubat. To reduce the radiation effect from the buildings, distant areas

were selected for the measurement points. Three (red) points have been selected around the Faculty of Medicine (MF), and five (blue) points have been selected around the various points (VP) on the campus. There is also no correlation between the points.



Figure 1. Selected Places for the Measurement Points in Kahramanmaraş Sütçü İmam University (KSU) Avsar Campus

2.2. Geiger-Muller Detector

NEB.211B, Geiger counter (GM) is a device that detects and measures particles in ionized gases. It is widely used in applications like radiological protection, radiation dosimetry, and experimental physics. It is made of a metallic tube filled with gas (Mettler & Guiberteau, 2012).



Figure 2. Geiger-Muller Detector, NEB.211B

2.3. Method

Measurements started in July 2022 and were completed in May 2023. The total measurement time took 11 months. The eighth month represents February. During this period, measurements were made on the points marked with 10-day periods. Measurements were taken

for 2 minutes with the G-M detector placed 30 cm from the ground. The mean measurement value has been calculated for each month. Mean values were compared before and after an earthquake to determine any changes. The measurement results are shown in Figures 3 and 4.

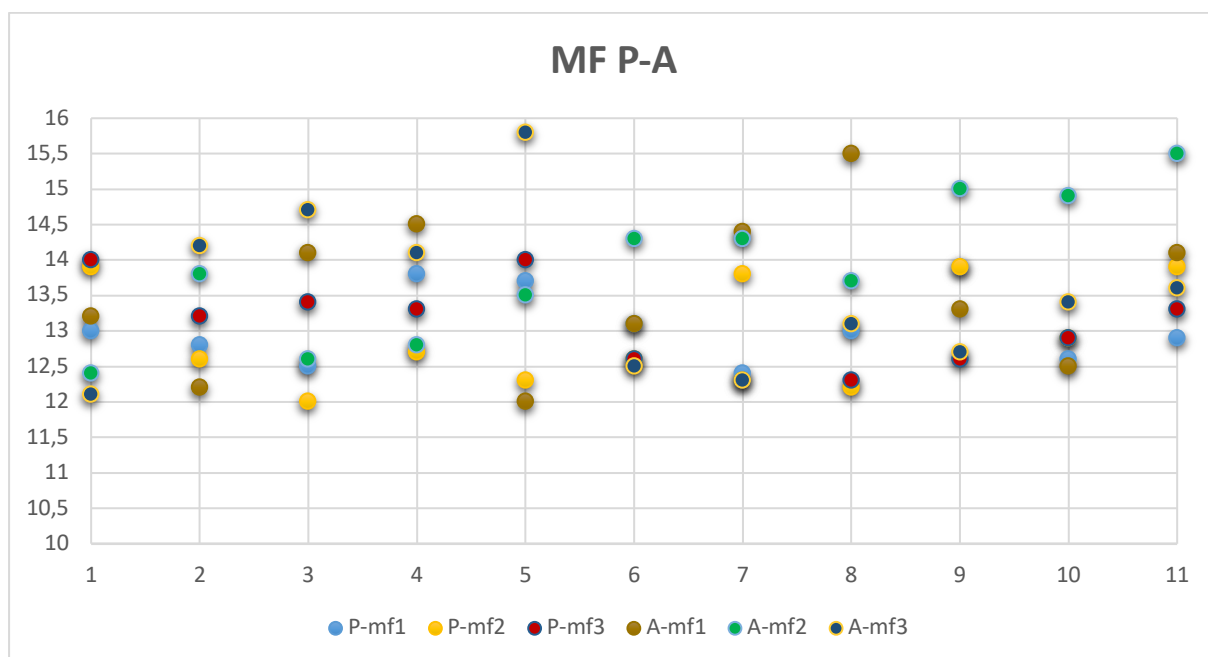


Figure 3. Faculty of Medicine (MF), pre-earthquake and after-earthquake, mean; P-MF, $13 \pm 0.2 \mu\text{R/h}$;
A-MF, $14 \pm 0.4 \mu\text{R/h}$

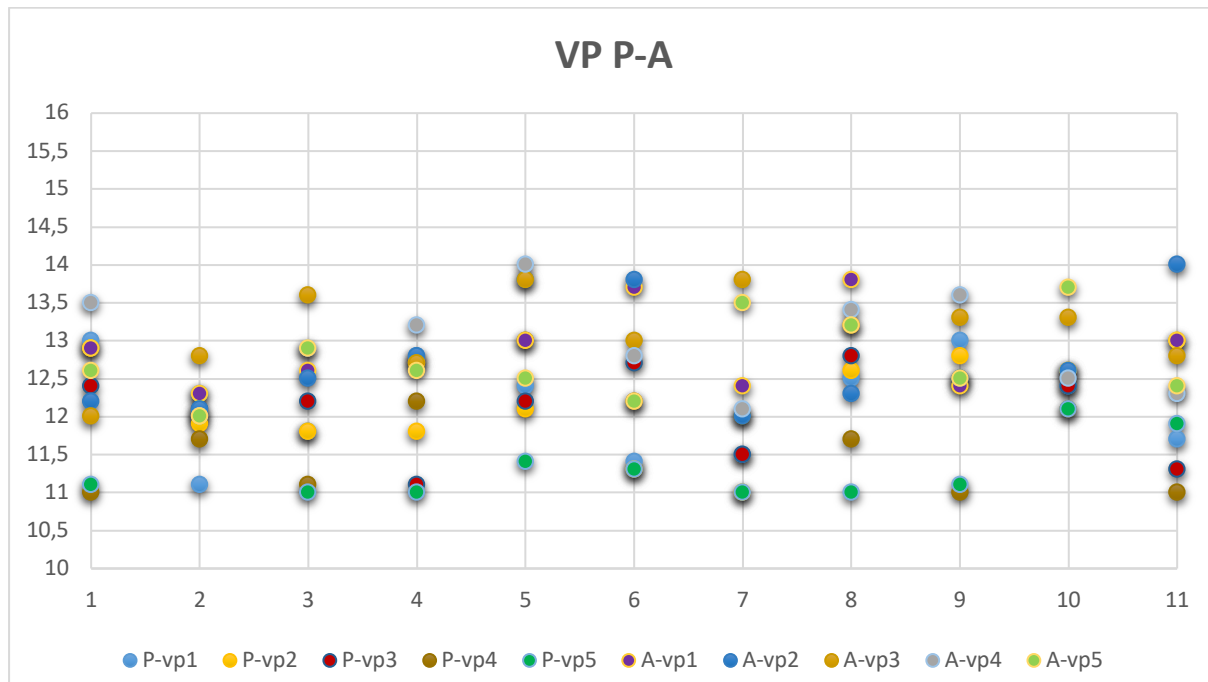


Figure 4. Various Points (VP) on the Campus, pre-earthquake and after-earthquake, mean; P-VP,
 $12 \pm 0.3 \mu\text{R/h}$; A-VP, $13 \pm 0.7 \mu\text{R/h}$

3. Results and Discussion

Living things are constantly exposed to natural radioactivity from the environment in which they are located. Natural radioactivity originates from cosmic rays, the earth's crust, building materials, the mineralogical structure of rocks, waters and radioactive nuclei in the human body. Natural radiation depends on the amount of sources of radioactivity present in the environment, which contributes to the radiation dose that people are exposed to. Since the amount of dose exposed varies depending on the geographical and geological structure of the environment, it also differs for different soil types on Earth (Kayakökü, 2022). The movement of the earth's crust changes many things. Measurements taken over an 11-month period to measure the impact that this movement may have are shown in Figures 2 and 3. Measurements up to the 8th Month in these figures have been accepted as reference values in this study since they are both pre-earthquake and long-term. The figures for the eighth month and after show measurements after the earthquake. In addition, since the purpose of this study was not to measure or determine the direct and indirect effects of radiation, such as the excess lifetime cancer risk (ELCR), we did not work with such formulas (Maden et al., 2020; Uyanık 2023).

The literature review is difficult because of the difference in the measuring instrument used and the very different probabilities of encountering earthquakes.

When the studies carried out in the region were examined, Değerliel et al.'s Adana-based studies detected radioactive material in the soil at a low level (Değerliel & Peştemalcı, 2012). In Kayakökü's study, she made radiation measurements within the borders of Malatya province. It has determined values on a wide scale between 12.50 and 86.80 (nGy/h) (Kayakökü, 2022). In the study by Gumbur et al. in Kahramanmaraş, dose values of 49.2-162.6 (nGy/h) were measured (Gümbür et al., 2023). The measurements taken in this study are on a vast scale. In addition, the difference in measuring equipment makes it difficult to compare. In the measurements made by Karataşlı in Hatay, he shared the values of 2.63-17.89 ($\mu\text{R/h}$) (Karataşlı, 2018). Küçükönder et al., during the soil surveys in Kahramanmaraş, detected 238U, 232Th and 40K radionuclides with various activity levels in the soil (Küçükönder, 2023). These radionuclides cause natural radiation. In this study, the mean values in the VP and MF were found as MF-13 \pm 0.2 $\mu\text{R/h}$, VP-12 \pm 0.3 $\mu\text{R/h}$ for the pre-earthquake and MF-14 \pm 0.4 $\mu\text{R/h}$, VP-13 \pm 0.7 $\mu\text{R/h}$ for the post-earthquake. It can be seen that the measurement results in our study are among the values shared in Karataşlı's study.

The measurement results of Karataşlı's study and our study support each other. The fact that they are close to each other significantly increases the accuracy of our measurements. Taking our measurements in a narrower area rather than in the whole city explains the fact that

they come out close to each other. In addition, our average values of pre-earthquake and post-earthquake are close to each other. There was a 7.69% and 8.33% difference in MF and VP of pre- and post-earthquake. Considering the measurement results in a wide range of values in previous studies, we can say that the difference in our measurements is acceptable.

4. Conclusion

These results contribute new data sources to the ongoing research on assessing environmental changes associated with seismic events. They emphasize the need for sustained monitoring research to enhance our knowledge of the relationship between earthquakes and natural radiation levels. Additionally, it has been determined that the measured areas maintain natural radiation levels suitable for a livable environment.

Kaynaklar

Al-Azmi, D. (2013). Performance of some handheld dosimeters used for gamma-ray ambient dose rate measurements. *International Journal of Low Radiation*, 9(2), 95–109. <http://doi.org/10.1504/IJLR.2013.055597>

Bal, S. Ş., Karatepe, Ş., Kuluöztürk, M. F., Yılmaz, E., & Kurşat, M. (2018). The annual change of environmental gamma radiation in Bitlis. *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*, 8(1), 19–23. <https://doi.org/10.17678/beuscitech.405676>

Bayrak, Y. E., & Baltaş, H. (2023). Determination of radioactivity levels in soil samples of Recep Tayyip Erdogan University Campus in Rize Province. *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(2), 87-96. <https://doi.org/10.53501/rteufemud.1274822>

Değerlier M., & Peştemalçı V. (2012). Adana ili ve çevresinin çevresel doğal radyoaktivitesinin saptanması ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğerinin bulunması. *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(5), 31-35.

Gümbür S., & Küçükönder E. (2023). Fay hattı üzerinde doğrudan gama doz hızı ölçümü, yıllık efektif doz eşdeğeri ve yaşam boyu kanser riskinin hesaplanması. *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(4), 834. <http://doi.org/10.17780/ksujes.1291478>

Kam, E., & Bozkurt, A., (2007). Environmental radioactivity measurements in the Kastamonu region of northern Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*, 65, 440–444. <http://doi.org/10.1016/j.apradiso.2006.11.005>

Kam, E., Bozkurt, A., & Ilgar, R., (2010). A study of background radioactivity level for Canakkale Turkey. *Environmantal Monitoring and Assessment*, 168, 685– 690. <http://doi.org/10.1007/s10661-009-1143-y>

Karataşlı, M. (2018). Hatay ve çevresinde çevresel gama radyasyon ölçümü. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18, 780-785. <http://doi.org/10.5578/fmbd.67766>

Karatepe, Ş., & Kuluöztürk, M. F. (2019). Determination of environmental radiation in the beach sand of Tatvan, Ahlat and Adilcevaz. *Sakarya University Journal of Science*, 23(6), 1173-1176. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.504822>

Kayakökü H. (2022). Malatya ili ve ilçelerinde çevresel gama radyasyonunun ölçümü, doz hızı ve ömür boyu kanser riski değerlendirmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 12(2), 634-644. <http://doi.org/10.31466/kfbd.1091391>

Küçükönder, E., Gümbür, S., Söğüt, Ö., & Doğru, M., (2023). Natural radioactivity in soil samples taken from Kahramanmaraş Provincial center. *Environ Geochem Health*, 45, 5245–5259. <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01577-w>

Maden, N., Akaryalı, E., & Gücer, M. A. (2020). Excess lifetime cancer risk due to natural radioactivity in Gümüşhane Province, NE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29(2), 347-362. <https://doi.org/10.3906/yer-1907-8>

Mettler, F. A., & Guiberteau, M. J. (2012). Instrumentation and Quality Control. In *Essentials of Nuclear Medicine Imaging*, (pp. 23-69). Elsevier/Saunders. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-0104-9.00002-0>

Tzortzis M., Tsertos H., Christofides S., & Christodoulides G. (2003). Gamma-ray measurements of naturally occurring radioactive samples from Cyprus characteristic geological rocks. *Radiation Measurements*, 37, 221-229. [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(03\)00028-3](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(03)00028-3)

Uyanık N. A. (2023). An alternative approach for the excess lifetime cancer risk and prediction of radiological parameters. *Open Chemistry*, 21(1), 1-13. <https://doi.org/10.1515/chem-2022-0359>



İstanbul'da Tarihi Yarımada'daki Geleneksel Ahşap Konutların Deprem Performansının Değerlendirilmesi

Abdüllatif SARIKAYA^{1*}, Caner GÖÇER²

Öz

Günümüzde Türkiye'de çoğu bölgede büyük depremler belirli aralıklarla meydana gelmektedir. Bu depremler betonarme iskelete sahip yapıların yanı sıra geleneksel yapı sistemlerine sahip yapıları da etkilemektedir. Özellikle İstanbul'daki tarihi yarımada bölgesinde geleneksel malzeme ve yapı sistemi ile inşa edilmiş çok sayıda tescilli yapı mevcuttur. Tarihi yarımada'daki geleneksel ahşap ve kargir yapıların plan tipleri, kat sayıları ve cephe kurguları bakımından birbirlerine benzerlikler söz konusudur. Beklenen Marmara depremi kapsamında bu tür yapıların olası hasar mekanizmalarının değerlendirilmesi ve gerekli önlemlerin alınması için bazı çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu çalışmada öncelikle Türkiye'de yaşanan depremler sonucunda geleneksel ahşap yapıların aldığı hasarlar literatür taramasına bağlı incelenmiş ve oluşan hasar türü ile hasarların nedenleri belirlenmiştir. Bu verilere bağlı olarak Marmara Denizi'nde gerçekleşmesi beklenen depremin İstanbul'da bulunan tarihi yarımada'daki geleneksel ahşap yapılar üzerindeki muhtemel etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen bu veriler doğrultusunda taşıyıcı sistem kurgusu ve malzeme farklılıklarına bağlı olarak tarihi yarımada'da bulunan geleneksel ahşap yapılar değerlendirilerek depreme karşı sahip oldukları güçlü ve zayıf yönleri belirlenmiş ve dikkate alınması gereken öneriler özetlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Geleneksel Ahşap Yapılar, Kahramanmaraş Depremi, Marmara Depremi, Deprem Performansı, Mimari Miras.

Evaluating the Seismic Performance of Traditional Timber Houses in the Historical Peninsula of Istanbul

Abstract

Throughout history, Turkey has been subject to numerous major earthquakes. These earthquakes affect structures with traditional construction systems, as well as reinforced concrete frame structures. Particularly in the historical peninsula area in Istanbul, numerous registered structures are built with traditional materials and construction systems. The plan types, floor numbers, and facade configurations of traditional timber and masonry structures in the historical peninsula exhibit similarities. Within the scope of the expected Marmara earthquake, some studies are needed to evaluate the possible damage mechanisms of such structures and take the necessary precautions. In this study, first of all, the damages suffered by traditional timber structures as a result of the earthquakes in Turkey were examined based on literature review, and the type of damage and its causes were identified. Subsequently, the potential effects of the expected earthquake in the Marmara Sea on traditional timber structures in the historical peninsula of Istanbul were evaluated. Based on the obtained data, the strengths and weaknesses of traditional timber structures in the historical peninsula were determined according to the structural system and material differences. Recommendations that should be considered were summarized.

Keywords: Traditional Timber Structures, Kahramanmaraş Earthquake, Marmara Earthquake, Seismic Performance, Architectural Heritage.

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, sarikayaab@itu.edu.tr, <https://orcid.org/0009-0006-9927-2816>

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, gocercan@itu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-6767-4235>

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author Geliş/Received: 28.02.2024 Kabul/Accepted: 05.06.2024

1. Giriş

Tarih boyunca insanlar barınma ihtiyaçlarını karşılayabilmek için doğal malzemeleri kullanmıştır. Kültürel özellikler, ekonomik yapı ve çevre koşulları gibi etkenler doğal malzemelerin kullanımını çeşitlendirerek özelleştirmiştir. Bu etkenler arasında depremin payı büyüktür. Fay hattına yakın konumlanan yerleşimler için yapım sistemi ve yapısal malzeme seçiminde depreme karşı dayanıklı olmasına dikkat edilmiştir. Yüzyıllar boyu geleneksel yöntemlerle inşa edilen konutlar deprem karşısında yapısal hasarlar görmüştür. Süreç boyunca yeni yapım sistemleri geliştirilmiş ve depreme karşı evlerin dayanımı arttırılmaya çalışılmıştır.

Anadolu'daki geleneksel konut mimarisinde sıklıkla ahşap tercih edilmiştir. 20. Yüzyılın ortalarına kadar az katlı yapıların taşıyıcı sisteminde yaygın olarak kullanılmıştır. Ahşap yapım sisteminin yaygınlaşmasında, ahşabın fiziksel olanakları ve kolay oluşturulabilen yapım yöntemleri önemli rol oynamıştır (Kafesçioğlu, 1955). Depreme karşı dayanımında kerpiç ve tuğla gibi malzemelerin ahşap ile birlikte kullanımı olumlu katkı sağlamaktadır (Aksoy, 2003).

Aksoy (2003), çalışmasında 1999'daki depremlerden sonra Sakarya, Kocaeli, Düzce ve Yalova'daki ahşap iskeletli yapıların mevcut durumu üzerinde gözlemler yaparak deprem davranışlarının anlaşılmasını amaçlamıştır. Çalışma sonucunda hasar alan binaların ortak özellikleri ve eksiklikleri listelenmiştir. Pencere, payanda ve dikmelerdeki hatalı uygulamalar, yanlış kesit ölçüleri, yanlış bağlantı ve çerçeve-dolgu arası bağlantı eksikliği gibi eksikler vurgulanmıştır. Dışkaya (2011), Marmara Bölgesinde bulunan 19. yüzyıl ahşap yapılarını malzeme seçimi, uygulama yöntemi ve yapı sistemi ölçeğinde incelemiş, ardından depreme karşı yeterli olup olmadığını analiz etmek bir yöntem önerisi geliştirmeyi amaçlamıştır. Avşar ve Yıldırım (2021), ahşap yapı mevzuatının yıllara göre değişimlerini ve bu değişimlerin sebebi olan depremleri incelemiştir. Mevzuatlardaki eksiklikleri ve değişiklikleri ahşap iskeletli yapılara göre değerlendirmiştir. Mevzuatlardaki olumlu değişikliklerin yapılarda ahşap iskeletli yapılarda depreme dayanımı ne şekilde arttırdığını aktarmıştır.

6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş'ta Pazarcık merkezli 7.7 büyüklüğünde ve Elbistan merkezli 7.6 büyüklüğünde gerçekleşen depremlerde betonarme iskelet sistemli yapıların yanı sıra çok sayıda tescilli geleneksel ahşap yapı da farklı düzeylerde hasar almıştır. Ağır hasarlı, kısmen göçmüş ve yıkılmış hasar türüne sahip geleneksel ahşap yapılar kültürel mirasın önemli bir parçasıdır ve yapısal kimliklerini sürdüreceği şekilde korunmalıdır.

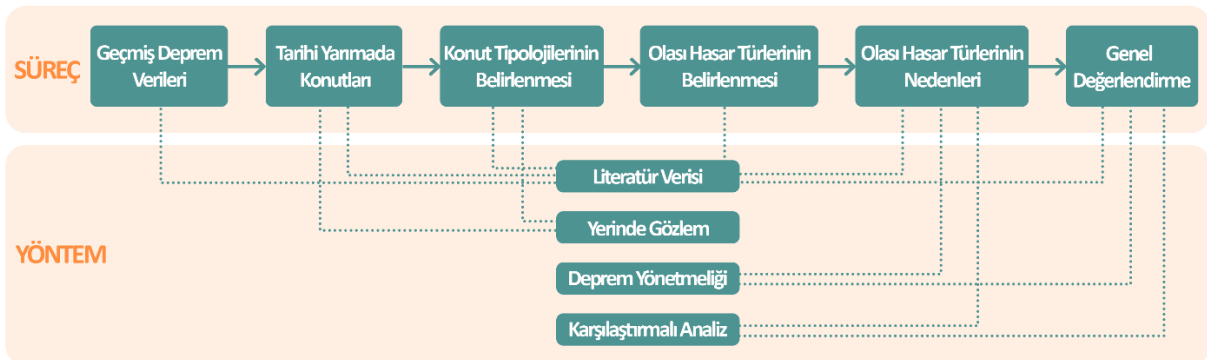
Türkiye'de ahşap yapılar üzerine yapılan çalışmalar, çoğunlukla bölgesel olarak yapıların ortak mimari özelliklerinin belirlenmesi ve bina ölçeğindeki yapısal analizlerden oluşmaktadır. Geleneksel ahşap yapıların yapısal performansları konusunda çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada daha önce farklı bölgelerdeki depremlerle ilgili yapılmış çalışmalardan yola çıkılarak

gerçekleşmesi beklenen Marmara depremine karşı tarihi yarımada'daki geleneksel ahşap konutların sahip oldukları güçlü ve zayıf yönler incelenmiş ve yapıların deprem performansına yönelik değerlendirmeler yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada tarihi yarımada bölgesindeki farklı mimari ve yapısal özelliklere sahip ahşap strüktürlü yapıların olası İstanbul depremine karşı performansı değerlendirilmiştir. Tarihi yarımada'daki geleneksel ahşap konutların deprem performansının belirlenmesi için öncelikle geçmişte yaşanan depremlerin geleneksel ahşap yapılara olan etkisi literatür taraması ile derlenmiştir. Ardından tarihi yarımada'daki geleneksel ahşap konutların birbirine benzerlik gösteren yapım sistemi, plan tipleri, kat sayıları, cephe özellikleri ve malzeme özellikleri yerinde gözlem esasına göre belirlenmiştir. Tarihi yarımadada bulunan bazı konutların mahremiyet ve güvenlik nedeniyle elde edilemeyen verileri için akademik çalışmalar ve belediyeden temin edilen çizimlerden yararlanılmıştır.

Ahşap iskeletli yapıların büyük bir kısmının kargir bir temel üzerinde inşa edildiği ve taşıyıcı elemanların arasının boş bırakılarak cephesinin ahşap ile kaplandığı görülmüştür. Buna karşın hımsız dolgulu duvarlara sahip ahşap yapılara da yerinde gözlem sırasında rastlanmıştır. Eski ve yakın tarihli haritalar ile güncel hava fotoğraflarından görüldüğü üzere yapılar çoğunlukla bitişik nizam inşa edilmiştir. Ancak tekil olarak tasarlanan ve inşa edilen bahçeli yapılar da bulunmaktadır. Bitişiklerdeki yapıların yıkılması nedeniyle ayırık nizam haline gelen yapılar da yerinde tespit edilmiştir. Alan çalışması kapsamında Süleymaniye ve Zeyrek ağırlıklı olmak üzere tarihi yarımada genelinde 105 adet ahşap yapı incelenmiştir. Bu yapıların 73 adeti bitişik nizam yapı iken 32 adeti ayırık nizamdır. Tarihi yarımada'daki geleneksel ahşap yapıların bitişik veya ayırık nizamda olmasına ve bulundurduğu duvar sistemine göre dört farklı yapı tipi belirlenmiştir.



Şekil 1. Araştırma süreci ve yöntemi

Taşıyıcı sistem kurgusu ve malzeme farklıları bağlamında bölgede bulunan ahşap yapılar literatür taramasına bağlı olarak elde edilen deprem verileri doğrultusunda değerlendirilerek depreme karşı muhtemel davranışları yorumlanmıştır. Bölgedeki yapıların depreme karşı sahip oldukları güçlü ve zayıf yönler maddeler halinde listelenmiştir.

3. Geçmiş Depremlerde Ahşap Konutların Performansı

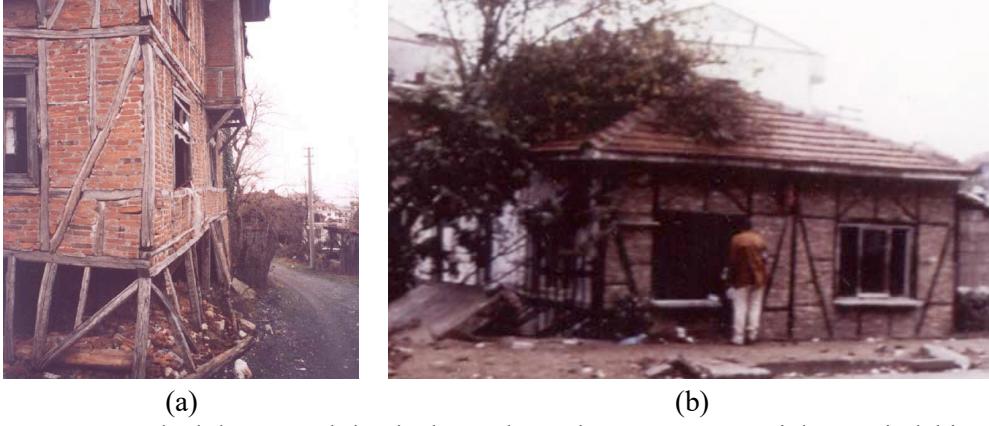
Marmara Bölgesinde benzer mimari özelliklere sahip çok sayıda ahşap yapı bulunmaktadır. 1999 depremlerinden sonra Kocaeli ve Adapazarı çevresindeki geleneksel yapılarda çalışmada çok sayıda ahşap iskeletli yapının hasar aldığı görülmüştür. Aksoy ve Ahunbay (2005), 20. yüzyılın başında yapılmış olan geleneksel yapılar ve 1940-1970 arası Bayındırlık Bakanlığı'nın uyarılarına göre yapılmış olan yakın tarihli yapılar (Şekil 2) olmak üzere iki farklı tipte ahşap iskeletli konut sistemini incelemiştir. İncelenen geleneksel yapılar daha çok hımış yapıda ve 1-3 kat aralığındadır. Yakın tarihli yapılarda ise standart ölçülerde malzemeler bulunmaktadır ve dolgu malzemesi olarak tuğla tercih edilmiştir. Geleneksel yapılarda zemin katı kargir iken üst katları ahşap veya tüm katları ahşap olurken yakın tarihli yapılarda ahşap iskelet, taban aracılığı ile temele oturtulmuştur. Payanda geleneksel yapılarda dikmelerin orta noktasına yakın bir noktaya dayandırılırken yakın tarihli yapılarda çapraz payanda olarak köşegen olacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 2. 1999 depreminde hasar almamış geleneksel ahşap yapılar (Aksoy & Ahunbay, 2005)

Bölgedeki yapıların deprem karşı dayanımlarını arttıran özellikler şunlardır:

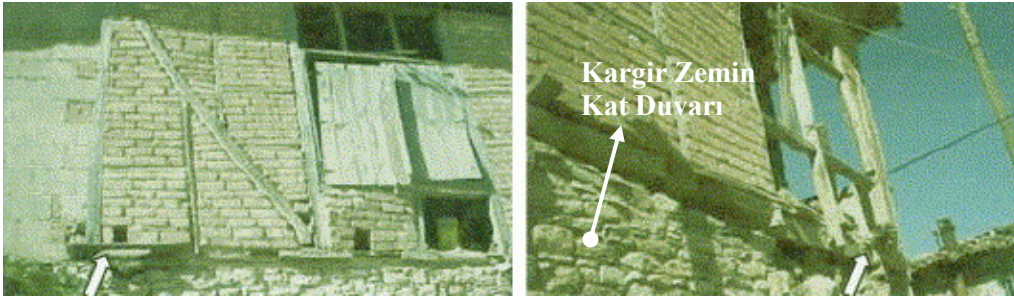
- Taşıyıcı elemanların güncel yönetmeliğe uygun olması
- Payanda birleşiminin düzgün yapılması
- Bağlantı noktalarında metal kenetli bağlantıların uygulanması
- Yapıların basit ve simetrik plana sahip olması



Şekil 3. a. Hımiş yapıda dolgunun yıkılarak ahşap elemanlara zarar vermesi, b. Zemindeki sıvılaşmaya bağlı yapının oturması (Aksoy & Ahunbay, 2005)

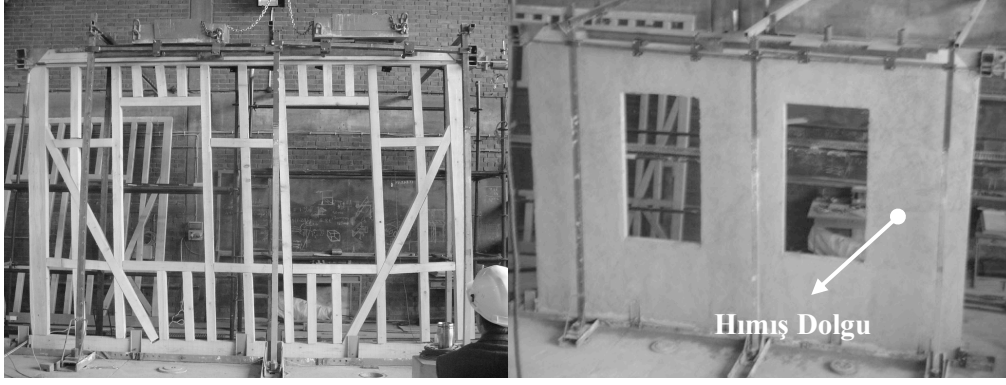
Bölgedeki yapıların depreme karşı dayanımlarını azaltan özellikler şunlardır:

- Yapıların sağlam zemine oturtulmaması (Şekil 3b)
- Kargir zemin kat duvarlarının düzensiz örgü sistemine sahip olması,
- Kargir zemin kat duvarlarında rijit hatıl kullanılmaması
- Ahşap strüktür bileşenleri ile temel bağlantısının zayıf olması (Şekil 4)
- Farklı kat duvarlarında farklı yapım tekniklerinin uygulanması
- Katlar arası yükseklik farkının olması



Şekil 4. Ahşap iskelet duvar – yığma taş duvar bağlantısının zayıf olması (Doğangün vd., 2006)

Aktaş ve diğerleri (2010), geleneksel Safranbolu evleri üzerine yaptığı bir çalışmada mevcut geleneksel evlerde bulunan bir duvar örneğini yerel ustalar aracılığıyla aynı büyüklük, kurgu ve malzeme özelliklerine sahip olacak şekilde tekrar üreterek bir takım laboratuvar testine tabi tutmuştur. Şekil 5'te görülmekte olan deneyler başlangıçta dolgusuz ahşap çerçevelerle gerçekleştirilmiş ve daha sonra geleneksel olarak hazırlanmış tuğla, kerpiç ve taş dolgulu ahşap çerçevelerle tekrarlanmıştır. Dolgu malzemenin varlığı yapının yük taşıma kapasitesini 1,5-2 kat artırırken aynı zamanda yanal öteleme miktarının azalmasına sebep olmuştur. Yanal ötelenme arttıkça dolgulu ahşap çerçevelerin bağlantı noktasındaki çivilerin bağlantı noktalarından çıktığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5. Deney uygulamaları (Aktaş vd., 2010)

Ahşap iskelet sisteminde geleneksel dolgu malzemeleri olan taş, tuğla veya kerpiç yerine hafif ve esnek bir uygulama olan bağdadi tekniğinin tercih edilmesi sistemin yanal kuvvetlere karşı direncini arttırmaktadır (Güçhan, 2018). Kargir zemin kat duvarları depremden herhangi bir hasar almamışken ahşap iskelet sistemin tamamen yıkıldığı örnekler görülmektedir. Şekil 6a’da bağdadi teknikle inşa edilen duvarlar yapının yıkılması durumunda blok halinde hareket ettiği görülmektedir.



Şekil 6. Kahramanmaraş'ta üst katı göçmüş bağdadi tekniği ile inşa edilmiş ahşap yapı, 2023



Şekil 7. Bağlantı noktasında hatalı uygulama, Kocaeli (Doğangün vd., 2006)

Hımış yapılarda ahşap taşıyıcılar arasında gergi bağlantıları bulunmadığı durumlarda deprem sırasında duvar dolgularının taşıyıcı sistemden ayrılarak kısmen döküldüğü görülmektedir (Şekil 8). Dizeme ve bağdadi tekniği ile inşa edilmiş yapılarda dolgular taşıyıcı sistemle birlikte bir hareket ettiği için bütünlüğünü korumaktadır (Doğangün vd., 2006).



Şekil 8. Hımsıy yapıda dolgu dökülmesi (Doğangün vd., 2006)

Dışkaya (2011), İstanbul’da tarihî yarımadaadaki 20. yüzyılın başlarında sıra ev olarak inşa edilmiş bir yapıyı, 1999 depremlerindeki sismik verilere göre simülasyon yardımı ile analiz etmiştir. Şekil 9’da görülen ahşap karkas yapı, kargir bir bodrum kat ile birlikte zemin ve üzerindeki iki kattan oluşmaktadır. Cephe dışta ahşap ile kaplanırken içte bağdadi çita kullanılmış ve dolgusuz yapılmıştır. Yapının mimari ve malzeme özellikleri baz alınarak sağlam yapı, eski yapı ve düğüm noktaları çürümüş yapı olmak üzere üç farklı durum analiz edilmiştir. En kötü senaryoda dahi yapının deprem sırasında ayakta kalacağı saptanmıştır.



Şekil 9. Tarihi yarımadaadaki konutun restitüsyon kesiti (Dışkaya, 2011)

Son olarak Kahramanmaraş Pazarcık ve Elbistan merkezli depremlerde çok sayıda geleneksel yapı farklı düzeylerde hasar görmüştür. Bölgedeki ağır hasar alan veya yıkılan geleneksel ahşap yapılarda taşıyıcı dikmelerin temele kadar ulaştırılmaması, kargir zemin kat duvarlarının yetersiz olması, ahşap iskeletin kargir zemin kat duvarına sağlam bir şekilde oturtulmaması ve taşıyıcı eleman bağlantılarının yeterli olmaması göze çarpmaktadır. Şekil 10’da görülen yapının bağdadi çitalarla inşa edilmiş duvarları deprem sırasında bir perde duvar gibi hareket etmektedir. Bağlantı noktalarında zayıflık duvarın düzlem dışı hareket ederek devrilmesine yol açmıştır.

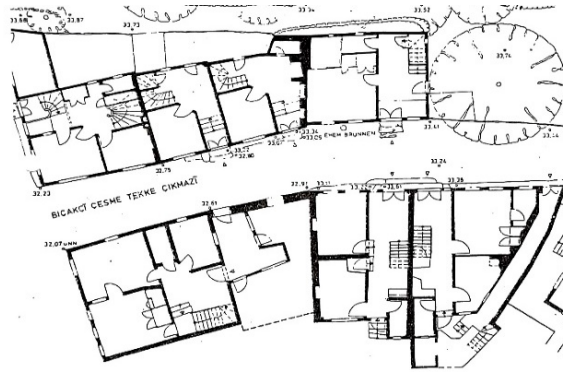


Şekil 10. Malatya’da tamamen yıkılmış bağdadi tekniği ile inşa edilmiş ahşap yapı, 2023

4. İstanbul’da Tarihi Yarımada’daki Ahşap Konut Örnekleri

4.1. Mimari Özellikler

Haydar Mahallesi, Zeyrek, Sultanahmet, Küçükayasofya, Süleymaniye, Vefa, Aksaray ve Laleli gibi yerlerde orta gelir grubunun ikamet ettiği birbirine benzer sıra evler bulunmaktadır. Kısmi kargir bodrum ve iki kat ahşap karkas görülmektedir. Bitişik nizamdaki sıra evlerin cephelerinde cumba ve açıklık birbirini tekrar etmektedir. Evler buldukları parsellerin sokak sınırına yerleşirken arka taraflarında bahçeleri bulunmaktadır. Kargir yapılar ile ahşap yapıların plan tipolojisi açısından benzerlikleri söz konusudur. Genel olarak iç sofalı plan tipleri görülmektedir (Şekil 11). Zamanla ihtiyaca göre yan sofa ve eyvanla genişletilen örnekler vardır. Parsel genişlikleri 5-6 metre, parsel uzunlukları ise 8-10 metre arasında değişiklik göstermektedir (Çobançoğlu vd., 2018). Ayrık düzendeki evler ise daha büyük alana sahip olurken cephe kurguları da farklılaşmaktadır. Genellikle varlıklı ailelerin oturduğu ayrık düzendeki evler yine geleneksel mimari plan şemalarına uygun olarak inşa edilmiş bahçeli yapılardır. Ortada geniş bir sofa ve sofayı çevreleyen odalar bulunmaktadır.



Şekil 11. Zeyrek’te bir sokaktaki ahşap yapıların zemin kat planları (İBB Etüd ve Projeler Daire Başkanlığı, 2009)

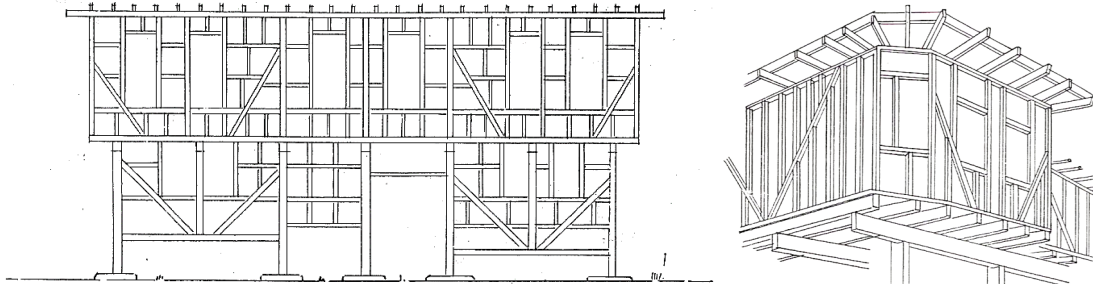
Şekil 12’de görüldüğü üzere ahşap karkas yapılar çoğunlukla kısmi kargir bodrum kat üzerine iki kat olarak inşa edilmiştir. Zemin katta mutfak ve tuvalet gibi servis alanları bulunurken üst katlarda yaşam mekânları bulunur. Yaz aylarında kullanılan en üst katın kat yüksekliği, kış aylarında kullanılan ara katın kat yüksekliğinden fazladır. Zemin katlar parsel sınırında tam otururken üst katlar düz, gönye veya çokgen çıkmalarla sokağa taşma yapmaktadır. Cephede ikili veya üçlü pencere sistemi bulunmaktadır. Çoğunlukla $\frac{1}{2}$ oranına sahip düşey dikdörtgen konumlu pencerelerin, açılış mekanizmaları giyotindir. Yarım kargir katların yüksek pencereleri ise demir parmaklık ile kapatılmıştır. İstanbul çevresinde 18. yüzyıldan itibaren ahşap karkas sistemin dikmeleri arası boş bırakıldığı, dış cephesinin ahşap malzeme ile kaplandığı, iç cephesinin ise bağdadi tekniği ile sıvandığı gözlemlenmektedir. 2,5 cm kalınlığında ahşap kaplamalar yalı baskısı ya da fugalı olarak uygulanmıştır (Eldem, 1987).



Şekil 12. Süleymaniye’deki geleneksel ahşap konut örnekleri

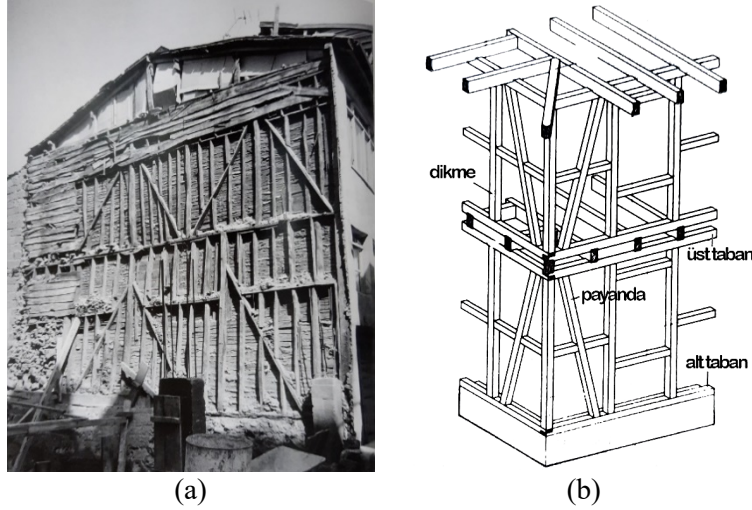
4.2. Taşıyıcı Sistem ve Malzeme

Ahşabın su ile bağlantısını kesmek için zemin katta kargir duvar kullanılmıştır. Kargir duvarda zeminden itibaren 40-50 cm üzerine ahşap taban yerleştirilmiş, köşelerde ise yarım bindirme tekniği ile bağlanmıştır. Başlıklarında üzerine oturtulan üst taban iki katlı evlerde ana kirişleri taşıırken tek katlı evlerde bırakma kirişlerini taşır.



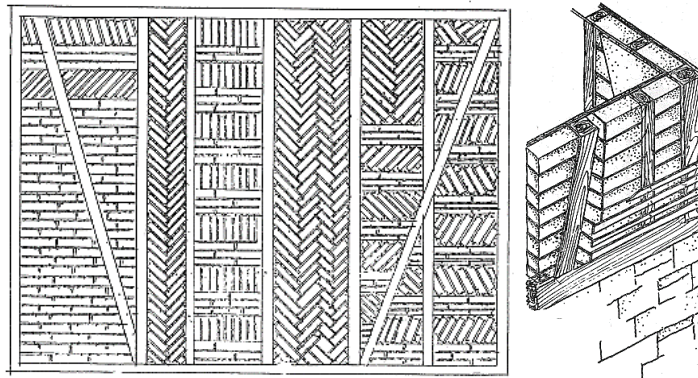
Şekil 13. Ahşap iskelet yapılarında taşıyıcı sistem kurgusu (Kafesçioğlu, 1955)

19. Yüzyılın ikinci yarısında ise çift taban yerine tek tabanlı sistemlerin kullanımı yaygınlaşmıştır. 12x12 cm boyutlarındaki ana dikmeler başlıklı kullanılarak 150-200 cm aralıklarla duvar boyunca yerleştirilmiştir. Bitişik olmayan cephelerde 120-150 cm aralıklı yerleştirilen dikmeler pencere oluşturulmasına imkân vermektedir. Ana kirişlerin araları 200 cm'ye kadar ulaşırken, tali kirişler 40-70 cm arasındadır (Eldem, 1987).



Şekil 14. a. Zeyrek'te bir yapının taşıyıcı sistemi (Bachmann, 2008), b. Ahşap iskelet yapılarında taşıyıcı elemanlar (Hasol, 2021)

Döşemelerde kullanılan kaplama tahtalarının kalınlığı 2,5 cm, genişliği ise 30 cm'ye kadar varmaktadır. Duvarların iç yüzeyleri bağdadi tekniği ile sıvanırken dış yüzeylerinde 2,5 cm kalınlıkta 25 yükseklikte ahşap kaplamalar görülmektedir. (Çobancaoğlu vd., 2018). Duvarlar genellikle dolgu malzemesi olmadan inşa edilirken kerpiç ve tuğla dolgulu duvar örneklerine de rastlanmaktadır. Taşıyıcı sistem için kestane, çam ve meşe gibi orta sertlikte ağaç türleri tercih edilmiştir. Kaplama tahtalarında ise genellikle çam ağacı kullanılmaktadır (Eldem, 1987).



Şekil 15.-Ahşap iskelet duvar sisteminde hımsı dolgu tipleri (Kafesçioğlu, 1955)

5. İstanbul'da Tarihî Yarımada'daki Ahşap Konut Tipolojilerinin Deprem Performansının Değerlendirilmesi

Tarihî yarımada'daki geleneksel ahşap konutların mevcut örnekleri incelendiğinde yapıların yapım tekniğinin bir tipoloji oluşturduğu görülmektedir. İskelet sistemin kurgusu ile kullanılan ahşap yapı elemanlarının malzeme ve kesit özellikleri büyük ölçüde benzeşmektedir. Mimari mekân kurgusu ve cephedeki pencere yerleşimlerinde de ortak bir mimari dil söz konusudur.

Tablo 1'de tarihî yarımada'da bulunan farklı tipolojideki geleneksel ahşap yapıların deprem performansı yorumlanmıştır. Öncelikle tasarım, strüktür, yapım ve kullanım aşaması olmak üzere dört ana değerlendirme kriteri belirlenmiştir. Ardından her bir kriter detaylandırılarak alt kriterler oluşturulmuştur. Son olarak alan çalışması ile incelenen yapıların benzer özellikleri ele alınarak oluşturulan dört farklı konut tipolojisinin belirlenen alt kriterlere göre deprem performansı değerlendirilerek derecelendirilmiştir. Derecelendirme sırasında tipolojilere ait seçilmiş bir yapı örneği yerine tipolojilerin genel yapısal özelliklerine odaklanılmıştır. Değerlendirmeler benzer yapısal özelliklere sahip yapıların geçmiş deprem performansına, Türkiye'deki deprem yönetmelikleri esaslarına ve karşılaştırmalı analiz verilerine göre yapılmıştır.

5.1. Tasarım

Tarihî yarımada'da bulunan bitişik nizam konutlarda dikdörtgene benzer köşeli plan tipolojileri mevcuttur. Ayrık nizam konutlarda da plandaki simetri büyük ölçüde korunmuştur. Bu simetri deprem kuvvetinin yapı elemanları üzerinde düzgün dağılmasına olanak sağlamaktadır. Katlar arası yükseklik farkının fazla olması deprem sırasında katların farklı hareket etmesine neden olmaktadır. Farklı katlarda farklı tekniklerin uygulanması durumunda dolgulu duvarlara deprem kuvveti daha fazla etki etmektedir. Boşluklu duvarlara sahip katlarda yumuşak kat etkisi görülmektedir. Bu durumda yapıda ağır hasarların oluşması beklenmektedir. Girintili plana sahip olan yapılarda ağırlık arttıkça burulma etkisi de artmaktadır. Dolayısıyla girintili plana sahip yapılar içerisinde duvar ağırlığı fazla olan dolgulu yapılar deprem kuvvetinden daha fazla etkilenmesi beklenmektedir.

Türkiye'nin deprem ile ilgili ilk yönetmeliği 1940 yılında yürürlüğe girmiştir ve deprem yönetmeliği 1940'tan günümüze kadar 9 kere güncellenmiştir. 2018 yılında yayımlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği onuncu ve son yönetmeliktir. 1940 yılı öncesinde geleneksel ahşap yapılarla ilgili bir yönetmelik bulunmamaktadır. 1940 ve sonrasında yayımlanan yönetmeliklerde geleneksel ahşap yapılar için bina yüksekliğinin sınırlandırılması,

zemin kattaki kargir duvarın kurulumu ve taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılması ile ilgili kurallara yer verilmiştir. Özellikle dikme, kiriş ve payanda birleşimlerinde geçmeli birleşimin kullanılması ve çivi ile bu birleşimlerin desteklenmesi önerilmiştir. 2007 yılında yayımlanan deprem yönetmeliğinde ahşap yapılarla ilgili bir kısım bulunmamaktadır. 2018 yılında güncellenen deprem yönetmeliğinde ahşap yapılar tekrar ele alınmıştır. Ancak geleneksel ahşap iskelet yapılarla ilgili kurallar detaylı değildir. Ahşap iskeletin kurulumu ve taşıyıcı elemanların yapısal özellikleri ile ilgili bazı kurallar 1953 yılında yayımlanan deprem yönetmeliği ile benzerlik gösterilmiştir (Avlar & Yıldırım, 2021). Güncel deprem yönetmeliğinde yapının mimari tasarımı ile ilgili bir öneri bulunmazken döşeme ve duvarların uygulama şekilleri ve ölçüleri ile ilgili bazı bilgiler mevcuttur. Son olarak 2024'te ahşap yapılarla ilgili Ahşap Binaların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik yayımlanmıştır. Ahşap yapılar için kullanılacak malzemenin yapısal özellikleri, farklı türde ahşaplar için boyut katsayıları ve birleşim yöntemleri tanımlanmıştır. Deprem performansına yönelik yapısal modelleme, analiz ve hesaplama yönteminin yanı sıra kuvvet etkileri açıklanmıştır. Ahşap perde elemanlarının düzenlenmesi, bağlantı elemanlarının birleşimi ve döşeme tasarımı gibi yapısal tasarıma yönelik başlıklar da bulunmaktadır.

5.2. Strüktür

Kesitleri yetersiz büyüklükte olan bazı taşıyıcı ahşap elemanların kullanım ömrü boyunca oluşan hasarlar nedeniyle taşıma kapasitelerini kaybettiği gözlemlenmiştir. Bu durumdaki yapılarda büyük bir deprem etkisi karşısında yıkıcı hasar oluşma ihtimali yüksektir. Ancak kerpiç veya tuğla dolguya sahip duvarlar rijit bir davranış göstermektedir. Dolgulu duvarı bulunan yapılarda taşıyıcı elemanlar yetersiz kesit boyutuna sahip olsa bile duvar dolgusu yapının daha az hasar alarak ayakta kalmasını sağlayabilir. Yetersiz birleşim sistemleri ise deprem kuvveti karşısında yatay ve düşey elemanların birbirleriyle olan bağlantısının kaybetmesine neden olmaktadır. Bitişik nizam yapılarda, konutlar deprem sırasında gelen yanal enerjiyi sönmüleyerek birbirlerinin yıkılmasına engel olmaktadır. Payanda yerleşimi ise özellikle ahşap kaplamalı dolgusuz duvarlarda daha önemlidir. Yapının yanal deprem kuvvetine karşı rijitliğini sağlayan payandaların köşegen olacak şekilde tabanlara bağlanması durumunda deprem performansını arttırdığı söylenebilir. Payandanın dikmeye bağlanması durumunda, deprem etkisiyle dikmelerin bağlantı noktalarında kopma meydana gelmektedir. Dolgulu duvara sahip yapılarda ise duvar rijit bir davranış sergilediği için payandaların düzensiz yerleşiminin olumsuz etkisi dolgusuz duvarlara göre daha az olacaktır.

5.3. Yapım

Yapının sağlam zemine oturmadığı durumlarda binada oturma, yan yatma ve kayma hasarı meydana gelebilmektedir. Zemin kat kargir duvarlarında örgü sisteminin düzensiz olması, moloz taş gibi uygun olmayan bileşen formunun tercih edilmesi ve zayıf bağlayıcı harç kullanılması, kargir duvarın deprem kuvveti karşısında dağılması ve yapının yıkıcı hasar alması ile sonuçlanmaktadır. Ahşabın uygun koşullarda kurutulmaması, içinde fazla nem barındırmasına ve mukavemetini kaybetmesine sebep olmaktadır. Buna bağlı olarak özellikle dolgusuz yapılarda deprem kuvveti karşısında yapının ağır hasar alması olasıdır. Birleşim tekniklerinin doğru uygulanmaması durumunda özellikle dolgulu duvarların rijit hareketi sonucu yapı yıkıcı hasar alabilir. Aynı şekilde birleşim noktaları zayıf bağdadi duvarlı yapılarda duvar panel gibi davranış gösterdiği için deprem sırasında duvarların düzlem dışı devrilmeleri görülmektedir. Dolgu ve kaplama bağlantılarının eksik yapıldığı durumlarda deprem etkisiyle dolgu ve kaplamaların dökülmesi yıkıcı bir etki oluşturmayacağı için az hasarlı bir davranış beklenmektedir.

5.4. Kullanım Aşamasında

Bakımsızlık ve atmosferik etkilerden kaynaklı yüzeysel bozulmalar uzun vadeli yapısal hasarlara neden olur. Aynı şekilde biyolojik ve kimyasal bozulmalar da ahşap elemanların taşıyıcılığını büyük ölçüde düşürmektedir. Onarım aşamasındaki yanlış müdahaleler de yapının deprem sırasında ağır hasar almasına neden olabilir. Kullanım aşamasında taşıyıcıların çevresel etkenlerden dolayı gördüğü etkiler ilerledikçe yapının deprem performansı da azalmaktadır.

5.5. Değerlendirme

Tablo 1’de hasar nedenlerinin konut tipolojilerine üzerindeki hasar dereceleri görülmektedir. Dört ana başlık altında anlatılan ve detaylandırılan hasar nedenlerinin her bir yapı tipolojisi üzerinde farklı deprem hasar derecesine sahip olacağı tespit edilmiştir. Örnek olarak tasarım kaynaklı hasar nedenleri incelendiğinde T2 ve T4’ün duvarlarının dolgulu olması yapının kütlelerini arttırmaktadır ve T1 ve T3’e göre daha büyük deprem kuvvetlerine maruz kalacağı için hasar derecesi genellikle daha fazla beklenmektedir. Öte yandan strüktürel hasar nedenleri incelendiğinde T2 ve T4’ün sahip olduğu dolgulu duvarlar taşıyıcı sisteme katkı sağladığı için hasar derecesinin diğer tipolojilere göre daha az olacağı öngörülmüştür. Aynı duvar sistemine sahip T2 ve T4 karşılaştırıldığında ise bitişik nizam olan T2’nin bitişikindeki yapıların yanal deprem kuvvetlerini sönmemesinden dolayı strüktürel hasar nedenlerinin genellikle daha az hasar derecesine sahip olacağı öngörülmüştür. Yapım sürecinden kaynaklanan hasar nedenleri ise her tipoloji için büyük ölçüde benzer etkilere sahiptir. Birleşim

tekniklerinin doğru uygulanmaması ayırık nizam olan T2 ve T4 için daha fazla deprem hasar derecesine sahiptir. Kullanım aşamasında ortaya çıkan hasar nedenlerinin deprem hasar dereceleri birbirine benzerdir.

Tablo 1. Hasar nedenlerinin konut tipolojilerine bağlı olarak hasar dereceleri.

Ana Kriterler	Hasar Nedenleri	Hasar Derecesi			
		Yapı Tipolojileri			
	Alt Kriterler	T1	T2	T3	T4
Tasarım	Katlar arası yükseklik farkı	■	■	■	■
	Deprem yönetmeliğine uygun olmaması	■	■	■	■
	Farklı katlarda farklı tekniklerin uygulanması	■	■	■	■
	Girintili planlara sahip olması	■	■	■	■
Strüktürel	Yetersiz kesit boyutları	■	■	■	■
	Yetersiz birleşim sistemleri	■	■	■	■
	Düzensiz payanda yerleşimi	■	■	■	■
Yapım	Yapının sağlam zemine oturtulmaması	■	■	■	■
	Kargir duvarlarda düzensiz örgü sistemi uygulanması	■	■	■	■
	Kargir duvarlarda uygun olmayan bileşen formu	■	■	■	■
	Kargir duvarlarda zayıf bağlayıcı harç	■	■	■	■
	Uygun koşullarda kurutulmuş ahşabın kullanılmaması	■	■	■	■
	Birleşim tekniklerinin doğru uygulanmaması	■	■	■	■
	Taşıyıcı sistem ile dolgu veya kaplamanın bağlantısının eksik olması	■	■	■	■
Kullanım Aşamasında	Bakımsızlık	■	■	■	■
	Yanlış müdahaleler	■	■	■	■
	Taşıyıcı sistemdeki biyolojik bozulma	■	■	■	■
	Yüzeysel atmosferik etkiler	■	■	■	■

T1: Bitişik Nizam, Cephesi Ahşap Kaplamalı, T2: Bitişik Nizam, Dolgulu Duvar,

T3 Ayırık Nizam, Cephesi Ahşap Kaplamalı, T4: Ayırık Nizam, Dolgulu Duvar

■ Yıkıcı Hasar ■ Ağır Hasar ■ Orta Hasar ■ Az Hasar ■ Hasarsız

6. Sonuçlar

Büyük depremlerin geleneksel ahşap sistemleri etkilediği açıkça görülmektedir. Geçmiş depremler ve Kahramanmaraş depremlerindeki verilerden yola çıkarak farklı bölgelerdeki mimari mirasın korunması gerekmektedir. Elde edilen verilere göre deprem bölgelerindeki ve İstanbul'da tarihî yarımadaadaki geleneksel ahşap yapıların deprem performanslarının belirlenebilmesi ve gerekli önlemlerin alınabilmesi için çıkarılan sonuç ve öneriler aşağıda özetlenmiştir.

- Plan tipolojilerine bağlı olarak tasarımsal hatalar yapıların ağır hasar alması ile sonuçlanabilir.
- Farklı doğrultularda taşıyıcı duvarların bulunması yapının deprem sırasında daha az hasar almasına katkı sağlar. X ve Y doğrultusunda perde duvar gibi çalışacak iç bölme

duvar düzenlemelerinin yeterli oranda bulunması yapının deprem performansı açısından olumludur. Bu özelliklere sahip olmayan yapılar için düşeyde sürekli olması şartıyla duvar eklenmesi yapının deprem performansını arttıracaktır.

- Simetrik plana sahip yapıların girintili plana sahip yapılardan daha az hasar alacağı öngörülmektedir.
- Katlar arası yükseklik farkı ve farklı katlarda aynı yapım sisteminin uygulanmaması katların deprem esnasında farklı kuvvetlere maruz kalacağını göstermektedir.
- Yetersiz kesit büyüklüğünden kaynaklanan strüktürel hatalar ağır veya yıkıcı hasar ile sonuçlanabilir.
- İskelet sistemdeki dikme, taban ve payanda birleşim noktalarındaki bağlantı sistemlerinin zayıf olması özellikle dolgulu duvarlara sahip olmayan yapılarda yıkıcı etkilere neden olabilir.
- Yatay yükleri karşılaması için kullanılan payandaların alt ve üst taban yerine dikmelere bağlanması durumunda, dikmelere gelen yanal yük arttığı için dikme bağlantılarında kopma meydana gelebilir. Dikme bağlantıları kopan yapılarda yıkıcı hasar beklenir.
- Zemin kattaki rijit yapı sistemi ile üst katlardaki esnek iskelet kurguya sahip yapı sisteminin farklı salınım hareketlerine bağlı olarak birleşim yerlerinde hasar oluşabilmektedir.
- Kullanım aşamasındaki bakımsızlık nedeniyle çevresel ve insan kaynaklı etkiler ahşapta kimyasal ve biyolojik bozulmalara yol açmaktadır. Bu bozulmalar hem kesit üzerinde hem de birleşim noktalarında gerekli performansın sağlanmasının önüne geçmektedir.
- Ahşap bileşenlerin birleşiminde çivi gibi zayıf bağlantılar yerine geçmeli birleşimlerin tercih edilmesi ve birleşimi güçlendirecek metal kenetlerin vidalanması yapının deprem performansını arttıracaktır. Bu tip birleşimlere sahip olmayan yapılar deprem sırasında yıkıcı etkiye açıktır.

Mimari mirasın sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi için geleneksel ahşap konutların yapısal özelliklerinin kayıt altına alınması gerekmektedir. Özellikle beklenen Marmara depremi karşı yapıların performanslarının belirlenerek gerekli önlemler alınmalıdır. Benzer yapısal özelliklere sahip diğer bölgelerdeki yapılar için de gerekli tespitler ve değerlendirmeler yapılmalıdır.

Yazarların Katkısı

1. Yazar: %50

2. Yazar: %50

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

Aksoy, D. & Ahunbay, Z. (2005). Geleneksel ahşap iskeletli Türk konutu'nun deprem davranışları. *İTÜ Dergisi Seri A: Mimarlık, Planlama, Tasarım*, 4(1), 47-58.

Aksoy, D. (2003). *Geleneksel ahşap karkas yapıların deprem davranışları*. (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Aktaş Erdem, Y. D., Akyüz, U., Erdil, B., Türer, A., & Şahin Güçhan, N. (2010). *Assessment of seismic behavior of traditional timber frame Ottoman Houses: Frame tests*. 1st International Conference on Structures and Architecture (ICSA) (ss.1157-1164). Guimaraes, Portugal.

Avlar, E. & Yıldırım, H. S. (2021). Deprem mevzuatı bağlamında Türkiye'deki geleneksel ahşap karkas yapı kurallarının analizi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 20(78), 1117-1137.

Bachmann, M. (2008). İstanbul Ahşap Evlerinin Teknik ve Yapısal Özellikleri, Ahşap İstanbul Konut Mimarisinden Örnekler, İstanbul.

Çobancoğlu, T., Güler, K., & Güleycan Okyay, G. (2018). İstanbul Tarihi Yarımada'da ahşap konut mimarisinin belgelenmesi: Geleneksel Haydar Mahallesi ve koruma sorunları. *METU Journal of the Faculty of Architecture*, 35(1), 27-49.

Dişkaya, H. (2011). 19. yüzyıl İstanbul geleneksel ahşap karkas yapılarında deprem etkisinin sonlu elemanlar yöntemi ile değerlendirilmesi. (Doktora tezi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Doğangün, A., Tuluk, Ö. İ., Livaoğlu, R., & Acar, R. (2006). Traditional wooden buildings and their damages during earthquakes in Turkey. *Engineering Failure Analysis*, 13(6), 981-996.

Eldem, S. H. (1987). *Osmanlı Dönemi Türk Evi III*. İstanbul: TAÇ Vakfı.

Hasol, D. (2021). *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü*. İstanbul: YEM Yayınları.

İBB Etüd ve Projeler Daire Başkanlığı. (2009). *Zeyrek'te Sivil Mimari*. İstanbul.

Kafesçioğlu, R. (1955). *Kuzey-Batı Anadolu'da Ahşap Ev Yapıları*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi.

Güçhan, N. Ş. (2018). History and characteristics of construction techniques used in traditional timber Ottoman houses. *International Journal of Architectural Heritage*, 12(1), 1-20. <https://doi.org/10.1080/15583058.2017.1336811>

TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.



Elbistan Meslek Yüksekokulu Çatı Üstü Güneş Enerjisi Santrali Kurulum Simülasyonu: Performans Analizi

Kerim MARTİN^{1*}

Öz

Günümüzde dünya enerji talebini karşılamak için yaygın olarak kullanılan fosil yakıtların olumsuz etkileri ve sınırlı rezervleri nedeniyle daha çevre dostu ve sürdürülebilir enerji kaynakları arayışı hız kazanıyor. Bu bağlamda güneş enerjisi uygulamaları ön plana çıkmaktadır. Türkiye güneş enerjisi açısından kayda değer bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyelin değerlendirilmesi ile enerjide dışa bağımlılığımız azaltılarak daha sürdürülebilir bir enerji arzı sağlanacak ve daha çevreci bir enerji üretimi gerçekleştirilecektir. Bu çalışmada Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi Elbistan Meslek Yüksekokulu binalarının güneşe bakan çatılarına kurulabilecek bir çatı üstü güneş enerjisi santrali projesi planlanmış ve simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon PVSOL yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Simülasyonda güneş enerjisi santrali kurulabilecek 4 çatı değerlendirilmiş ve toplam çatı alanı 684,3 m² olarak dikkate alınmıştır. Bu alana yerleştirilebilecek PV modül sayısı 220 ve toplam kurulu güç 148,5 kW olarak hesaplanmıştır. Elbistan'ın yıllık güneş radyasyonu değerleri dikkate alındığında santralin yıllık toplam elektrik üretimi 225459 kWh'dir. Enerji üretiminin yanı sıra engellenen CO₂ emisyon miktarı 105867 kg/yıl olarak hesaplanmıştır. Mevcut maliyetler ve elektrik birim fiyatı verilerine göre projenin geri ödeme süresi 7,2 yıl olarak hesaplanmıştır. Geri ödeme sürelerinin 10 yılın altında uygulanabilir olduğu varsayıldığında, bu projenin geri ödeme süresinin oldukça iyi olduğu anlaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: PV Sistemleri, PVSOL Yazılımı, Yenilenebilir Enerji, Simülasyon.

Elbistan Vocational School Roof Top Solar Power Plant Installation Simulation: Performance Analysis

Abstract

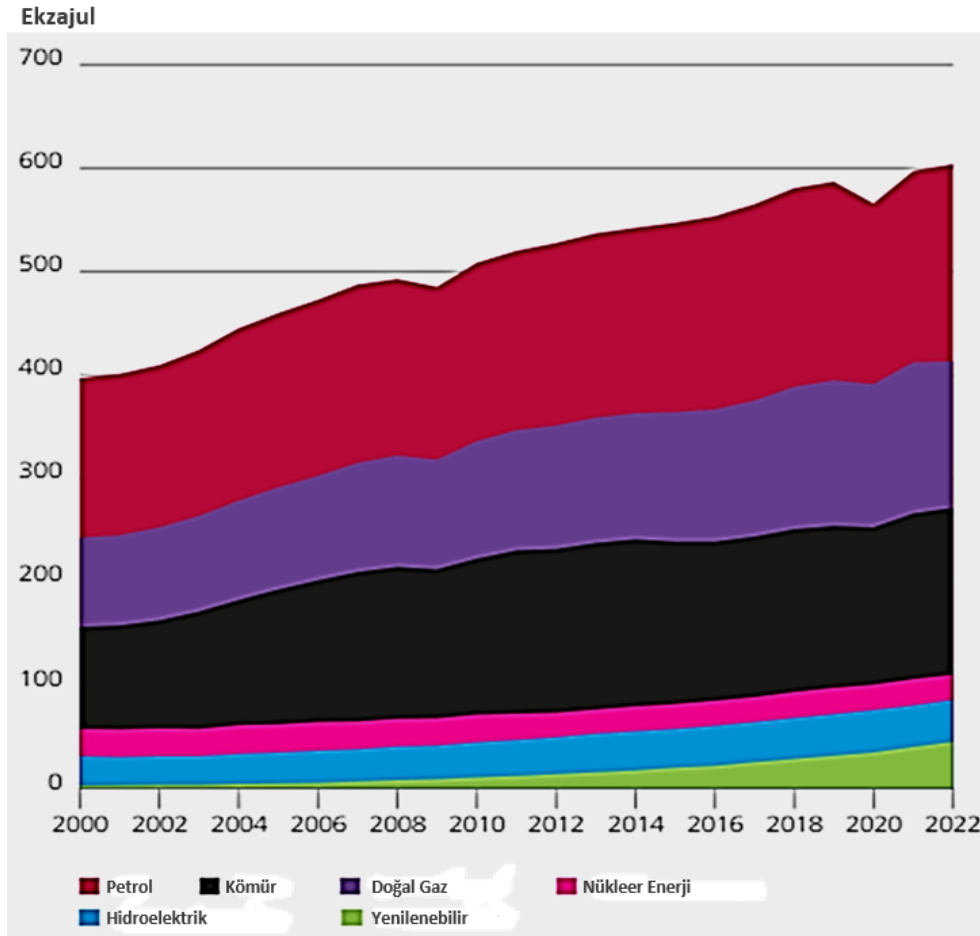
Nowadays, the search for more environmentally friendly and sustainable energy sources is gaining momentum due to the negative effects and limited reserves of fossil fuels, which are widely used to meet the world's energy demand. In this context, solar energy applications come to the fore. Turkey has a remarkable potential in terms of solar energy. Utilizing this potential will provide a more sustainable energy supply by reducing our dependence on foreign energy and a more environmentally friendly energy production will be achieved. In this study, a rooftop solar power plant project that can be installed on the south-facing roofs of Kahramanmaraş İstiklal University Elbistan Vocational School buildings was planned and simulated. The simulation was performed by using PVSOL software. In the simulation, 4 roofs on which solar power plant could be installed were evaluated and the total roof area was taken into account as 684.3 m². The number of PV modules that can be placed in this area is calculated as 220 and the total installed power is 148.5 kW. Considering Elbistan's annual solar radiation values, the power plant has a total annual electricity production of 225459 kWh. In addition to energy production, the amount of CO₂ emissions prevented was calculated as 105867 kg/year. According to current costs and electricity unit price data, the payback period of the project is calculated as 7.2 years. Assuming that payback periods under 10 years are feasible, it is understood that the payback period of this project is quite good.

Keywords: PV Systems, PVSOL Software, Renewable Energy, Simulation.

¹Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi, Elbistan Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye, martinkerim@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1960-8070>

1. Giriş

Enerji geçmişten günümüze, toplumların sürdürülebilirliği, kalkınması ve gelişmesi için her zaman en temel ihtiyaç olarak görülmüştür. Gelişen teknoloji ve artan nüfus daha fazla bir enerji tüketimi ortaya çıkarmış ve bu enerjinin büyük bir kısmı hâlen geleneksel fosil yakıtlardan karşılanmaktadır (Arı & Yılmaz, 2023). Şekil 1’deki grafikten yıllar içerisinde hem kullanılan toplam enerji miktarının hem de fosil yakıt kullanımının arttığı anlaşılmaktadır. Fosil yakıtların kullanılmasıyla çevreye olan karbon ve sera gazı salınımı artış göstermekte ve başta küresel ısınma olmak üzere çeşitli çevre sorunlarına yol açmaktadır. Bu salınımların büyük bir kısmı insan kaynaklı faaliyetlerden doğmaktadır (Şencan, 2021).



Şekil 1. Kaynak Bazında Dünya Enerji Tüketimi (Energy Institute, 2022)

Artan dünya nüfusu da dikkate alınırsa bu sorunun önümüzdeki yıllarda daha da artarak devam edeceği aşikârdır. Ancak bunun yanında son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına ciddi bir yönelim vardır ve bu durum ümit vericidir.

Ülkemiz fosil enerji kaynakları bakımından oldukça yetersiz bir durumda olmasına rağmen yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir (Kan Kaynar, 2016). 7,5 saatlik günlük ortalama güneşlenme süresi ile Türkiye Almanya’dan %60 daha fazla bir ışınım miktarına

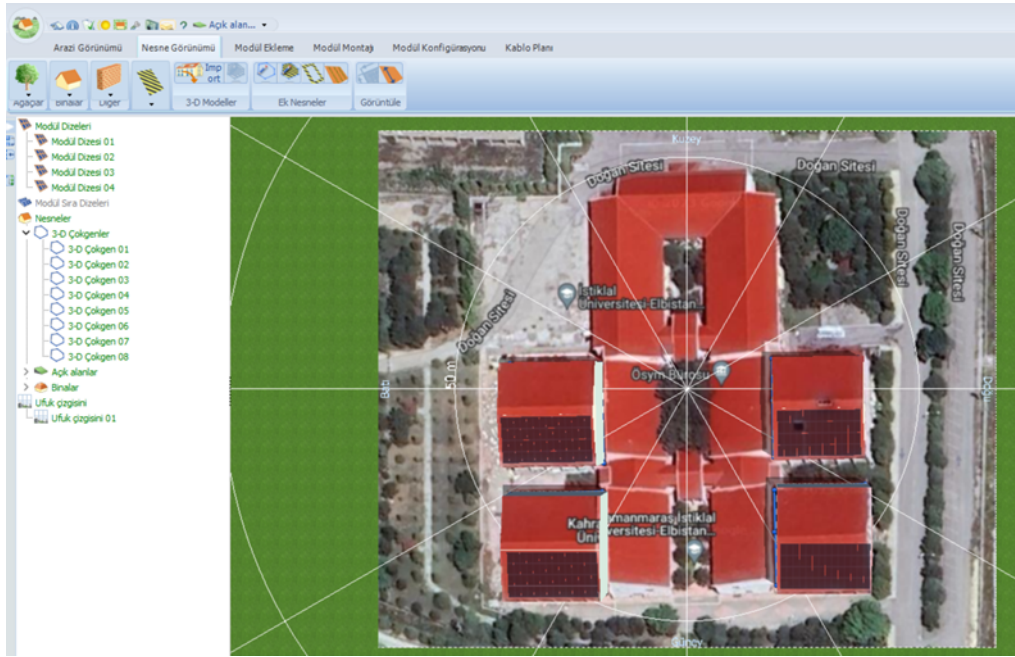
sahiptir (Taktak & Ili, 2018). Sahip olduğumuz bu potansiyelin en verimli şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Ülkemizin toplam kurulu gücü 2024 Mart ayı sonu itibarıyla 107959 MW'a ulaşmış ve güneş enerjisinin buradaki payı %11,7 olmuştur (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024). Bu yükselişin devam ettirilmesi ülkemizin enerji talebinin karşılanması açısından önem arz etmektedir.

GES kurulumu için geniş alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kurulumlar yapılırken verimli tarım arazilerinin kullanılmaması gerekmektedir. Çünkü milli gelir, istihdam ve dış ticaret açısından bakıldığında tarım sektörü ülkemizde önemli bir yer tutmaktadır (Ceylan & Mizirak, 2023). Bu bağlamda çatı GES projeleri önem kazanmaktadır. GES kurulumu planlamada çeşitli simülasyon programları gerek araştırmacılara gerekse yatırımcılara büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu programlar sayesinde çatı alanı hesabı, güneş radyasyonu hesabı, GES bileşenlerinin ve yatırımın geri dönüş sürelerinin hesaplanması gerçeğe oldukça yakın bir şekilde kolaylıkla yapılabilmektedir. Literatürde bu programların kullanımıyla alakalı çalışmalar mevcuttur. Örneğin, Büyükzeren vd. RETScreen programıyla yaptıkları çalışmada Konya Meram ilçesinde yer alan Tıp Fakültesi Hastanesinin çatısına kurulabilecek bir GES'in simülasyonunu ve çevresel analizini yapmışlardır. Analize göre GES Kurulu gücü 900 kW, yatırımın geri ödeme süresi de 5.1 yıl olarak tespit edilmiştir (Büyükzeren et al., 2016). Başka bir çalışmada Dal yine RETScreen ile, Kayseri ilinde yer alan Yamula Barajının %10 luk bir kısmına kurulabilecek yüzer GES projesini simüle etmiş ve elde ettiği sonuca göre kurulu gücü 576,4 MW, üretilebilecek elektrik miktarını 802,4 GWh ve azaltılacak olan CO₂ miktarını ise 378336,3 ton olarak tespit etmiştir (Dal, 2021a). Diğer bir çalışmada Aksangör vd., Ankara ilinde yer alan bir kampüsteki bazı binaların çatılarının GES için uygunluğunu araştırmak için PVsyst programından yararlanmıştır. Çalışmada uygun çatılara 2160 adet PV panel yerleştirilerek toplam 604.8 kW'lık bir kurulu güç değeri elde edilebileceği ve şebekeye yıllık 712,3 MWh'lik enerji beslemesi yapılabileceği belirtilmiştir (Aksangör et al., 2019). Çalık ve Emre ise Isparta ilinde yer alan bir kamu binasının çatısına 10 kW kurulu güce sahip GES projesinin değerlendirmesini PVSOL programını kullanarak yapmıştır. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada böyle bir GES projesinin bu kamu binasının enerjisini kolaylıkla karşılayabilecek potansiyelde olduğunu ve yatırımın geri ödeme süresinin yaklaşık 4 yıl olduğunu saptamışlardır (Çalık & Emre, 2022). Literatürde bu çalışmalara benzer şekilde, çeşitli programlar kullanılarak yapılan farklı fizibilite çalışmaları da mevcuttur (Akkaya & Akkaya, 2021; Dal, 2021b; Kalay vd., 2023; Öztürk vd., 2023). Görüldüğü gibi simülasyon programları sayesinde planlanan GES projeleri hakkında kolaylıkla bilgi sahibi olunabilmekte ve fizibilite çalışmaları yapılabilmektedir. Bu çalışmada da Kahramanmaraş Elbistan ilçesinde

yer alan Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi Elbistan MYO binalarının güneye bakan cephelerine kurulumu yapılabilecek bir GES projesinin simülasyonu PVSOL programı kullanılarak yapılmış ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır.

2. Materyal ve Metot

GES kurulumunda bina çatılarının kullanımı tarım arazilerinin kullanımından daha doğru olacaktır. Ayrıca çatılara kurulacak GESler sayesinde enerjinin tüketim yerinde üretilmesi söz konusu olacak ve iletim kayıpları en aza inecektir. Ancak her çatı alanı GES kurulumu için yeterli değildir. Kamu binaları konut olarak kullanılan binalara nazaran daha geniş bir çatı alanı sunmaktadır. Bu çerçeveden değerlendirilerek kurulumun Elbistan MYO binalarının güneye bakan cepheleri üzerine yapılması planlanmış ve böylece farklı amaçlar için kullanılabilen bir alan yerine çatı alanından yararlanılmış olacak ve üniversitenin enerji giderinin bir kısmı buradan karşılanabilecektir. Sistem PVSOL programı kullanılarak tasarlanmıştır. Bu program güneş enerjisi sistemlerini verimli bir şekilde tasarlamalarına ve performanslarını analiz etmelerine olanak tanır. Programın sistem tasarımı, simülasyon ve performans analizi, gölge analizi ve raporlama gibi özellikleri vardır. GES kurulum lokasyonu olarak Elbistan kampüs alanı seçilmiş ve iklim verileri programın veri tabanından sağlanmıştır.



Şekil 2. 3D Tasarım ara yüzü

PVSOL Programı 3D tasarım yapılmasına, alan ve hacim hesaplamalarına olanak sağlamaktadır (Şekil 2). Şekil 3'te PV panel yerleşimi için kullanılabilen güney cepheli çatılar görülmektedir. Bu çatıların alanları hesaplanmış ve paneller sanal olarak çatılara yerleştirilmiştir. Panel seçiminde Türk firmaların tercih edilmesi planlanmaktadır. Bu yerleşime

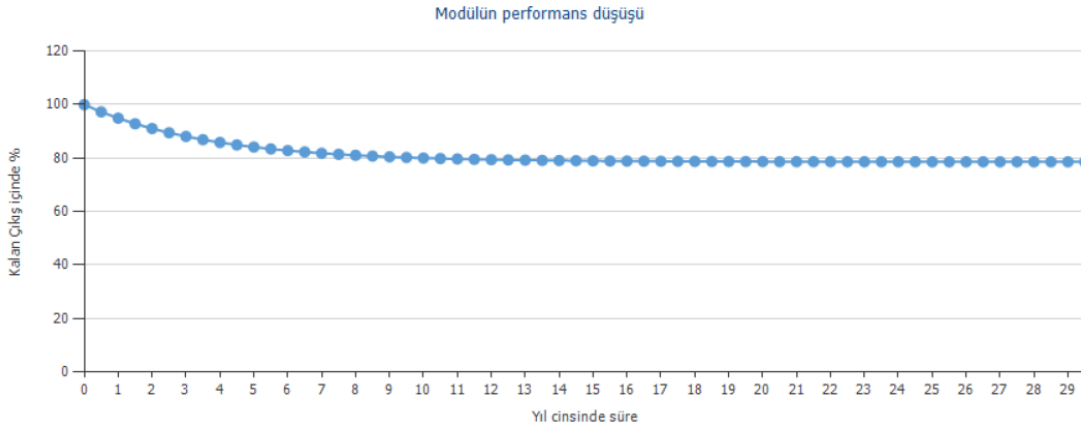
göre ortaya çıkan panel sayısı 220 adet olup yüzey alanı ve toplam kurulu güç değeri sırasıyla 683,4 m² ve 148,5 kW olmuştur. Ayrıca kullanılan evirici sayısı da 8 adettir. Sistem şebeke bağlantılı olarak planlanmış ve herhangi bir akü grubuna ihtiyaç duyulmamıştır.



Resim: Genel Görüntü, 3D Tasarım

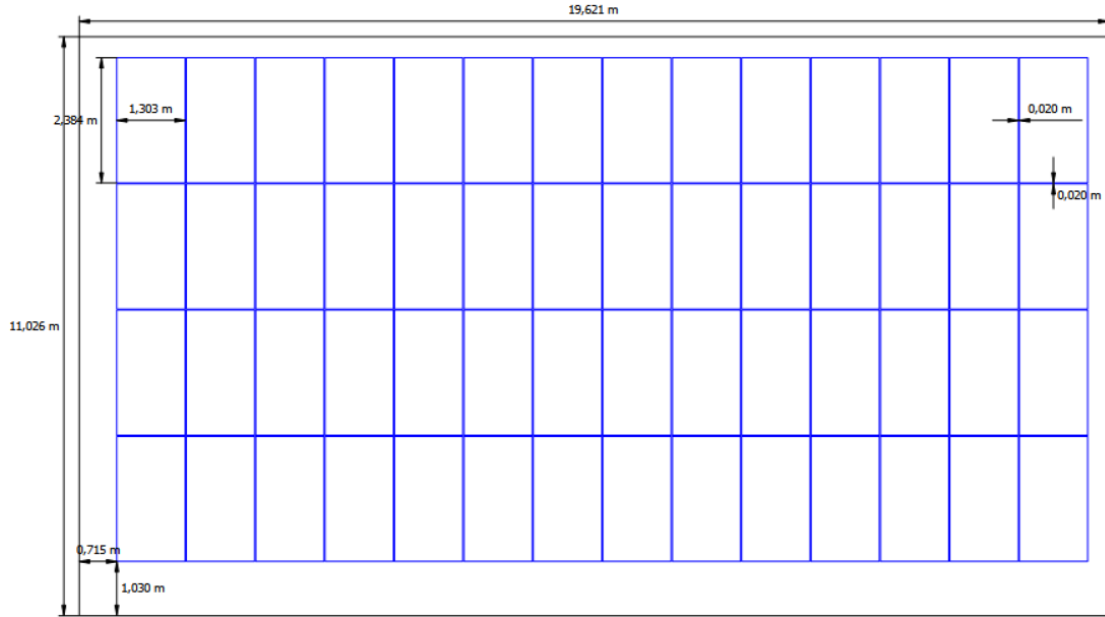
Şekil 3. Elbistan MYO genel görünümü

Programın iklim verilerine göre seçilen konum için yıllık ortalama sıcaklık değeri ve yıllık toplam ışınım değeri sırasıyla 12,9 °C ve 1683 kWh/m² olarak dikkate alınmıştır. Ayrıca panellerin yıllar içerisindeki performans düşüşleri de hesaba katılmıştır (Şekil 4).

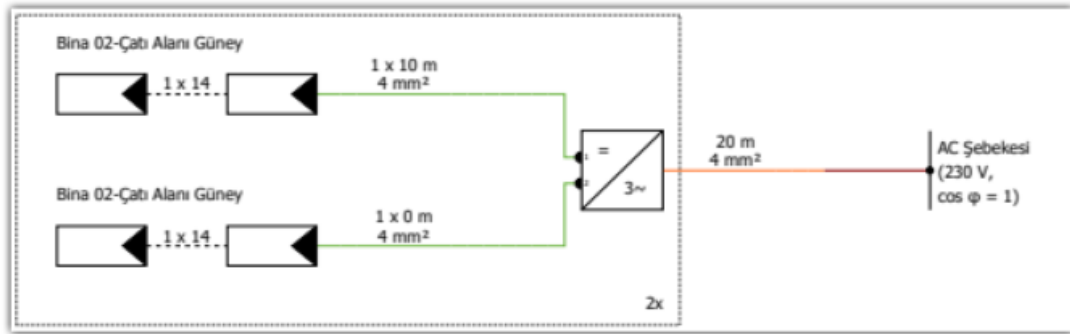


Şekil 4. Modülün performans düşüş grafiği

Paneller arasında ve kenarlarda gerekli boşluklar bırakılarak yerleşim ve kablolama işlemi yapılmıştır. Panel yerleşim ve kablolama detayları Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmektedir.



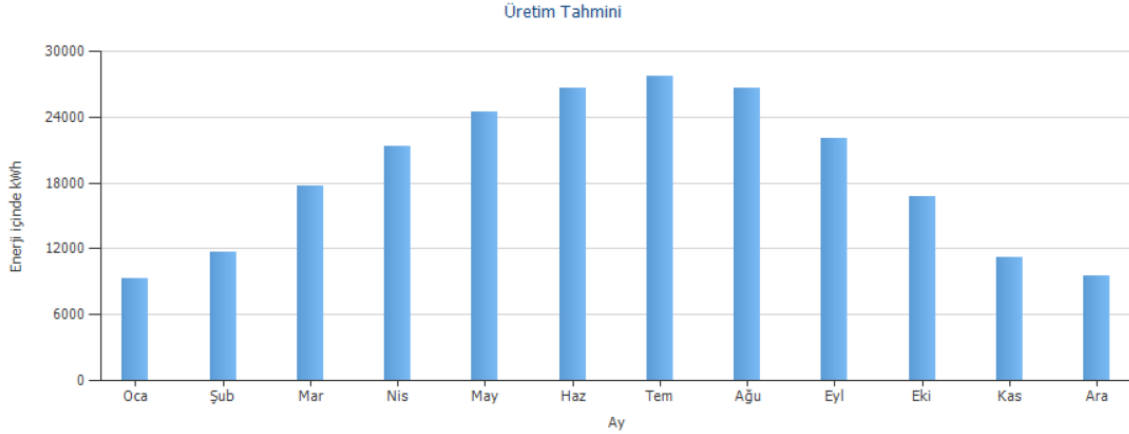
Şekil 5. Panel yerleşimi detayı



Şekil 6. Kablolama detayı

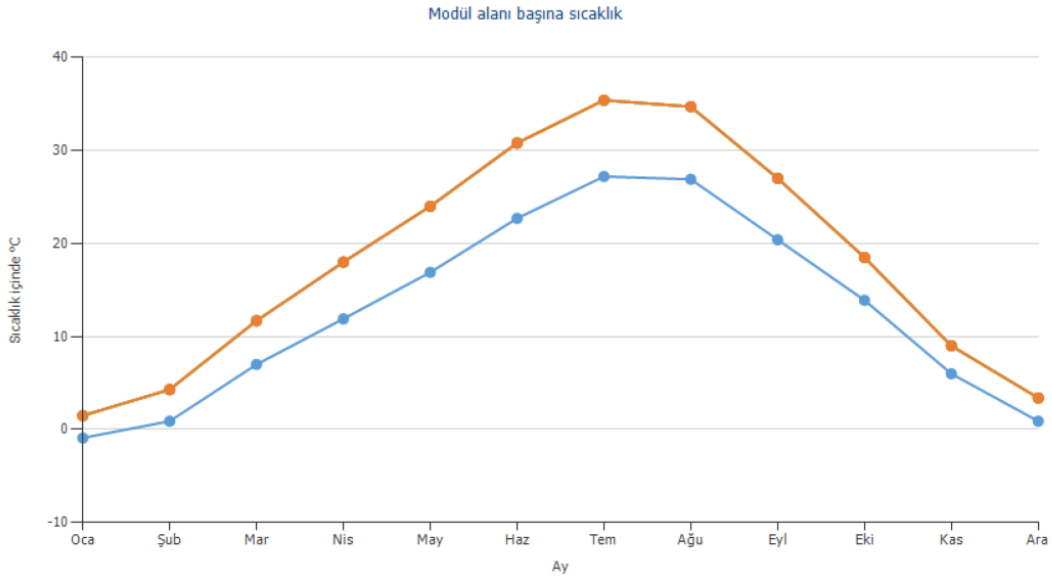
3. Bulgular ve Tartışma

Simülasyon sonuçlarına göre PV panellerin enerji üretimi yıl içinde aylara göre değişiklik göstermiştir. Aylık enerji üretim grafiği Şekil 7’de gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde yılın en sıcak ayları olan yaz aylarında enerji üretiminin diğer aylara göre daha fazla olduğu görülmektedir. Maksimum üretim ise temmuz ayında yaklaşık 2800 kWh olarak gerçekleşmiştir.

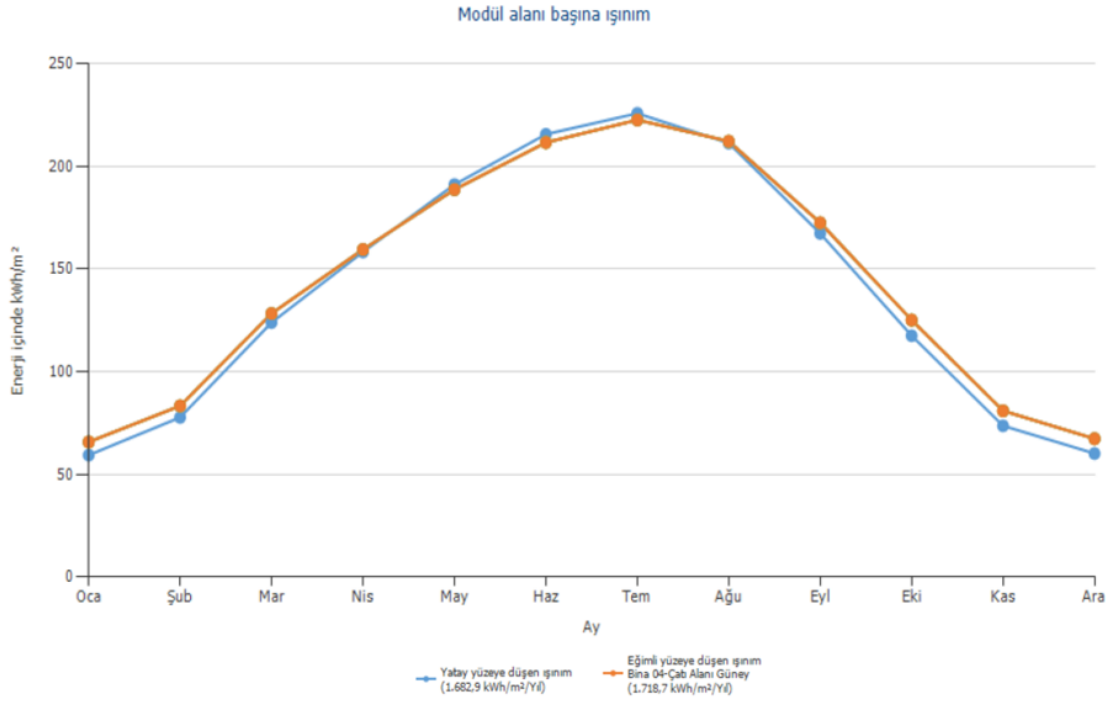


Şekil 7. Aylık enerji üretimi

PV panellerin sıcaklıkları verimi etkileyen faktörlerden biridir. Panel verimi belli bir sıcaklığın üstünde olursa verim kaybı yaşanmaktadır (Başay vd., 2019). Şekil 8’de PV modül alanı başına aylara göre sıcaklık değişimleri, şekil 9’da ise modül alanı başına ışınım miktarları aylık olarak gösterilmektedir. Şekil 7, 8 ve 9 birlikte düşünüldüğünde yazın en sıcak aylarında panel sıcaklığı artmasına rağmen üretilen enerjinin de arttığı görülmektedir. Burada panel verimleri sıcaklıkla azalmış olsa da birim alana gelen ışınım miktarı bu aylarda fazla olduğu için üretilen enerjinin de fazla olduğu yorumu yapılabilir. Bunun yanı sıra yaz aylarında güneşlenme sürelerinin uzun olması da üretilen enerji miktarının fazla olmasını sağlamıştır.

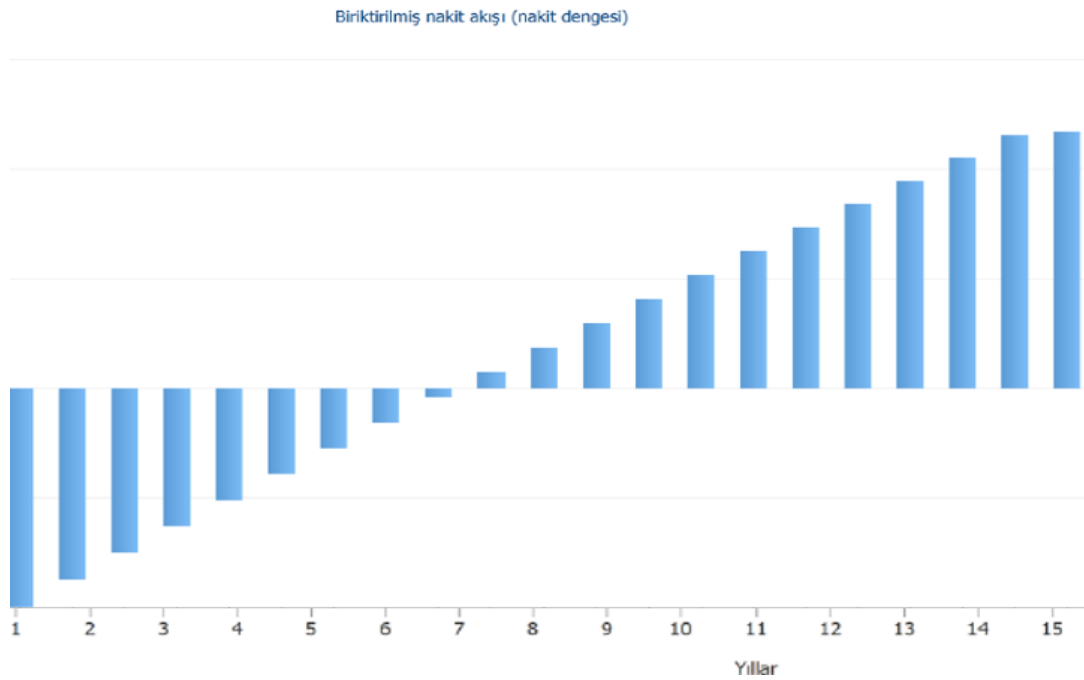


Şekil 8. Modül alanı başına sıcaklık değişimi



Şekil 9. Modül alanı başına ışınım miktarı

Şekil 10'da gösterilen grafik 15 yıllık bir periyot için birikimli nakit akışını göstermektedir. Grafik incelendiğinde şebeke bağlantılı olarak planlanan projenin kâra geçme süresinin 7. yıldan sonra başladığı görülmektedir. Simülasyon verilerine göre projenin geri dönüş süresi 7,2 yıl olarak saptanmıştır. Benzer çalışmalarla (Atalay Ayran & Aslan, 2019; Diken & Kayışoğlu, 2022; Kumruoğlu & Ateş, 2022) kıyaslandığında bu sürenin makul bir aralıkta olduğu görülür.



Şekil 10. Biriktirilmiş nakit akışı

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada Kahramanmaraş'ın Elbistan ilçesinde yer alan Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi Elbistan MYO kampüsünde yer alan binaların güney cephelerine uygulanabilecek GES kurulumunun simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon neticesinde MYO binalarının güney cephelerine 220 adet PV panelin yerleştirilebileceği ve sistemin 148,5 kW'lık kurulu güce sahip olacağı belirlenmiştir. Ayrıca şebekeye beslenecek olan enerji miktarı, önlenen CO₂ salınımı miktarı ve projenin geri ödeme süresi sırasıyla 225459 kWh/yıl, 105867 kg/yıl ve 7,2 yıl olarak ortaya çıkmıştır. Bu değerler böyle bir GES kurulumunun makul bir sürede kendini geri ödeyeceğini ve hem üniversite açısından hem de çevre açısından oldukça yararlı bir projenin hayata geçirilmiş olacağını göstermektedir.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

Akkaya, S., & Akkaya OY, S. (2021). Samsun, Bayburt ve Mersin illerine kurulabilecek güneş enerjisi santrallerinin modellenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(2), 759-773. <https://doi.org/10.29130/dubited.785908>

Aksangör, N. N., Martin, K., & Boran, K. (2019). *PVsyst simülasyon aracı kullanarak Ankara'da fotovoltaik güneş sistemlerin performans ve maliyet analizi*. 3rd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies.

Arı, F., & Yılmaz, V. (2023). Türkiye'de ve Dünya'da enerji kaynaklarının genel görünümü ve alternatif enerji kaynaklarının önemi. *Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 34, 496-519. <https://doi.org/10.15182/diclesosbed.1340642>

Atalay Ayran, Z., & Aslan, Y. (2019). Kütahya ili güneş enerji potansiyelinin araştırılması ve örnek bir güneş enerji santralinin ekonomik analizi.

Başay, V., Akyüz, C., & Yılmaz, G. (2019). Uludağ çevresinde ormanlık ve orta yükseklikte dağlık bölgelerde kurulan güneş enerjisi santralının verimliliğini belirleyen etkenler. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 24(1), 181-192. <https://doi.org/10.17482/uumfd.444536>

Büyükzeren, R., Altıntaş, H. B., Martin, K., & Kahraman, A. (2016). Binalardaki fotovoltaik uygulamasının teknik, çevresel ve ekonomik incelenmesi: Meram Tıp Fakültesi Hastanesi örneği. *EMO Bilimsel Dergi*, 5(10).

Çalık, A., & Emre, Ö. (2022). Isparta ili için güneş enerjisi santrali (fotovoltaik) çatı uygulamasından elde edilen simülasyon verilerinin ekonomik analizi. *Cihannüma Teknoloji Fen ve Mühendislik Bilimleri Akademi Dergisi*, 12-35. <https://doi.org/10.55205/joctensa.12202261>

Ceylan, A., & Mizirak, Z. (2023). 100. Yılında Türkiye'deki Tarım Politikalarının Yapısal Değişimi. <https://doi.org/10.51124/jneusbf.2023.53>

Dal, A. R. (2021a). Göl ve barajların güneş enerji santrali olarak kullanım potansiyelinin incelenmesi: Yamula Barajı örneği. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 9(4), 726–738. <https://doi.org/10.29109/gujsc.1002791>

Dal, A. R. (2021b). Yat Limanlarındaki güneş enerji santralleri panel eğim açısı değişiminin elektrik üretimi açısından incelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(4), 1113–1127. <https://doi.org/10.29130/dubited.869639>

Diken, B., & Kayışoğlu, B. (2022). RetScreen programı kullanılarak Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi ziraatbiyotek binasına uygulanabilecek fotovoltaik tasarımın fizibilite analizi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(3), 656–667. <https://doi.org/10.33462/jotaf.1058491>

Energy Institute. (2022). *EI Statistical Review of World Energy*. Retrieved April 30, 2024, from <https://www.energinet.org/statistical-review/home>

Kalay, A., Ağçal, A., & Ulgen, K. (2023). Yatağan-Muğla Türkiye' de kurulu olan 1 Mw şebeke bağlantılı bir Pv güç santralinde Matlab-Simulink portalında Statcom yoluyla performans iyileştirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 11(1), 113–125. <https://doi.org/10.21923/jesd.1168233>

Kan Kaynar, N. (2016). Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin Amasya ilindeki potansiyeli. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 4(2), 48–54.

Kumruoğlu, C. L., & Ateş, S. B. (2022). Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ve İskenderun için örnek üretim projeksiyonu. *Cukurova University Journal of the Faculty of Engineering*, 37(1).

Öztürk, B., Akyazı, Ö., Şahin, M., & Yılmaz, G. (2023). Şebeke bağlantılı güneş enerji santralinin modellenmesi ve simülasyon analizi: Ağrı/Çukurçayır Köyü 999 kW güneş enerjisi santrali örneği. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 13(4), 1623–1647. <https://doi.org/10.31466/kfbd.1327312>

Şencan, D. (2021). Çevresel sorunların önlenmesinde karbon vergisi üzerine genel bir bakış. *Türkiye Mesleki ve Sosyal Bilimler Dergisi*, 6, 50–58. <https://doi.org/10.46236/jvosst.966313>

Taktak, F., & Ilı, M. (2018). Güneş enerji santrali (GES) geliştirme: Uşak örneği. *Geomatik Dergisi Journal of Geomatics*, 3(1), 1–21.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>



**Glisin Yakma Tekniği ile Sentezlenen Ce_{1-x}LaxO₂ (x=0.04)
Nanoparçacıklarının Faz Oluşumu ve Kristal Yapıları Üzerinde Glisin
Miktarının Etkisi**

Nurvet KIRKGEÇİT AKSOY^{1*}, Rabia KIRKGEÇİT², Ayşe KIRKGEÇİT³

Öz

Bu çalışmada, glisin yakma tekniği kullanılarak sentezlenen lantanyum katkılı Ce_{1-x}LaxO₂ (x=0.04) nanoparçacıklarının glisin miktarının faz oluşumu ve kristal yapıları üzerindeki etkisi incelenmiştir. X-ışını kırınımı (XRD) ve Raman saçılma spektroskopisi kullanılarak yapılan karakterizasyonlar sonucunda elde edilen bulgulara göre, farklı glisin miktarlarına bağlı olarak örneklerin kristal boyutlarında değişimler gözlemlenmiş ve glisin miktarının artmasıyla kristal boyutunda azalma tespit edilmiştir. Ayrıca, Raman saçılma spektroskopisi sonuçları, örneklerdeki Ce-O bağlarına ilişkin karakteristik piklerin ve örneklerin kristal boyutları arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, glisin miktarının nanoparçacıkların yapısal özellikleri üzerinde belirgin bir etkisi olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, lantanyum katkılı Ce_{1-x}LaxO₂ nanoparçacıklarının sentezi ve yapısal karakterizasyonuyla ilgilenen araştırmacılar için önemli bir referans kaynağı olabilir.

Anahtar Kelimeler: Seryum oksit, Glisin yakma tekniği, Sentez parametreleri.

**The Effect of Glycine Quantity on the Phase Formation and Crystal
Structures of Ce_{1-x}LaxO₂ (x=0.04) Nanoparticles Synthesized by Glycine
Combustion Technique**

Abstract

In this study, the effect of glycine quantity on the phase formation and crystal structures of lanthanum-doped Ce_{1-x}LaxO₂ (x=0.04) nanoparticles synthesized using the glycine combustion technique was investigated. Characterizations were conducted using X-ray diffraction (XRD) and Raman scattering spectroscopy. According to the results obtained from these characterizations, variations in the crystal sizes of the samples were observed depending on different glycine quantities, with an observed decrease in crystal size as the glycine quantity increased. Additionally, the results from Raman scattering spectroscopy revealed the relationship between characteristic peaks corresponding to Ce-O bonds and the crystal sizes of the samples. These findings demonstrate a significant influence of glycine quantity on the structural properties of the nanoparticles. This study serves as an important reference for researchers interested in the synthesis and structural characterization of lanthanum-doped Ce_{1-x}LaxO₂ nanoparticles.

Keywords: Cerium Oxide, Glycine Combustion Technique, Synthesis Parameters.

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalı, Kahramanmaraş, Türkiye, nurvetkrkgct@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4568-6582>

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Ana Bilim Dalı, Kahramanmaraş, Türkiye, <https://orcid.org/0000-0003-0766-7214>

³Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kahramanmaraş, Türkiye, <https://orcid.org/0000-0001-5859-3345>

1. Giriş

Seryum oksit (CeO_2) ve onun katkılı türevleri, mühendislik ve biyomedikal gibi çeşitli çok yönlü uygulama alanına sahip önemli bir nadir toprak metal oksitidir (Goharshadi et al., 2011; Das et al., 2024; Soğuksu et al., 2024; Soğuksu et al., 2022). Seryum oksit, tipik bir florit yapılı bileşik olan sekiz koordinatlı Ce^{4+} ve dört koordinatlı O^{2-} içeren kübik sıkı paketlenmiş metal atomları dizisinden oluşmaktadır. Seryum oksitin geniş teknolojik uygulaması, temel olarak, kendine özgü n-tipi florit yapısında oksijeni depolama ve serbest bırakma kapasitesinden, yani redoks döngülerinden hızla tekrar tekrar geçme yeteneğinden kaynaklanmaktadır (Calvache-Muñoz et al., 2017).

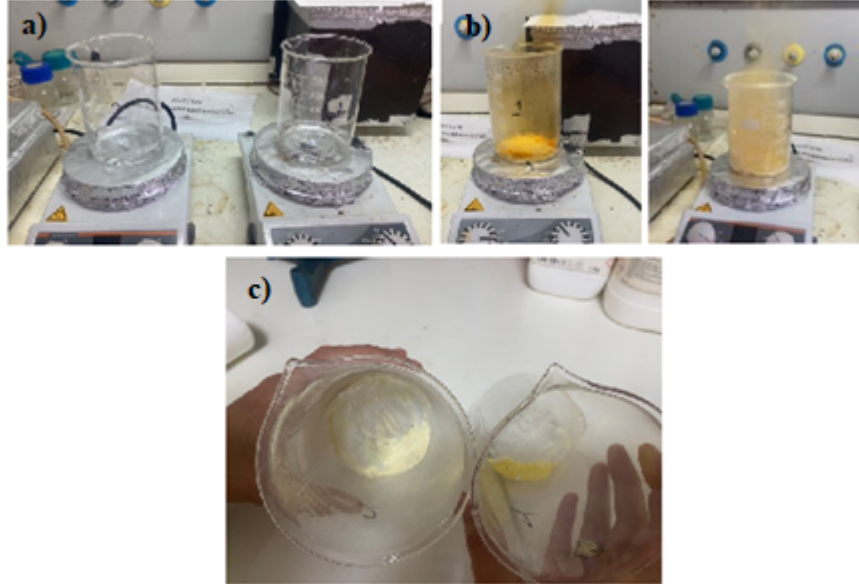
Seryum oksit nanoparçacıklarının sentezi, uygulama gereksinimlerine uygun şekilde çeşitli yöntemler kullanılarak başarılı bir şekilde gerçekleştirilmektedir. CeO_2 nanoparçacıkları, birlikte çökeltme, hidrotermal, katıhal reaksiyon yöntemi, sol-jel teknikleri, yanma reaksiyonu ve benzeri gibi çözelti bazlı yöntemlerle sentezlenebilir (Rajkumar et al., 2024; Rianjanu et al., 2024; Subbaiah, 2024; Torun&Kırkgeçit, 2024; Chopra&Kumar, 2024). Farklı araştırmalar, sentez koşullarındaki değişikliklerin son ürünün fiziksel, morfolojik ve kimyasal özelliklerini etkilediğini bildirmektedir (Nyoka et al., 2020; Kırkgeçit & Bozgeyik, 2021). Bu nedenle, hedeflenen uygulamaya uygun olarak sentez yönteminin belirlenmesi son derece önemlidir. Çünkü bu, iyi performans sergileyen nanoyapıların elde edilmesini sağlar. Nanoparçacıkların küçük boyuta sahip olması, nanoteknoloji ve malzeme bilimi gibi ileri düzey malzeme alanlarında karşılaşılan temel bir zorluktur.

Son yıllarda, çözelti yakma sentezi yöntemi nanomalzemelerin hazırlanmasında büyük ilgi görmüş ve popülerlik kazanmıştır. Bu yöntem, kısa sürede ve daha az enerji tüketimiyle yüksek saflıkta, homojen kristal oksitler üretebilme yeteneği sayesinde oldukça etkili bir işlem olarak kabul edilir. Ayrıca, çözelti yanma sentezi, karmaşık ekipmanlara veya pahalı kimyasallara ihtiyaç duymadan gerçekleştirilebilen bir tekniktir, bu da onu maliyet açısından avantajlı kılar (Mužina et al., 2024). Özellikle, yüksek sıcaklıklar gerektiren oksit fazlarının oluşumu için, bu teknik $600\text{ }^{\circ}C$ 'nin çok altındaki sıcaklıklarda yanma reaksiyonu başlatarak bu tür oksitlerin kolayca sentezlenmesini sağlar (Aruna et al., 2009). Çözelti yakma sentezi, bir metal nitrat ve bir yakıt arasında gerçekleşen yüksek derecede ekzotermik redoks reaksiyonuna dayanan bir tekniktir. Reaksiyonun ekzotermikliği, yüksek sıcaklıklara ulaşılmasını garanti eder ve böylece kısa sürede kristal oksit tozlarının oluşması sağlanır. Bu yöntem, başlangıç reaktiflerine tutarlı bileşimlerde nanokristaller üretir (Barrón et al., 2016). Çözelti yakma sentezi, genellikle metal nitratlar ile bir yakıt arasında (glisin, üre, sitrik asit vb.) su içinde çözülmüş bir doymuş çözeltinin oluşturulmasıyla başlar. Daha sonra sentez süreci, bu

karışımın tüm suyunun buharlaşana kadar ısıtılması ve kendiliğinden tutuşmasıyla gerçekleşen bir redoks reaksiyonuna içermektedir (Deganello & Tyagi, 2018). Bu çalışmada, lantanyum katkılı $Ce_{1-x}La_xO_2$ ($x=0.04$) nanoparçacıkların sentezi için glisin yakma tekniği kullanılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı, yakıt olarak kullanılan glisin miktarının lantanyum katkılı $Ce_{1-x}La_xO_2$ ($x=0.04$) nanoparçacıklarının faz oluşumu, kristal yapıları ve boyutları üzerindeki etkilerini araştırmaktır.

2. Materyal ve Metot

Lantanyum katkılı $Ce_{1-x}La_xO_2$ ($x=0.04$) nanoparçacıkları, glisin ($C_2H_5NO_2$) kullanılarak yakma sentezi yoluyla sentezlendi. Başlangıç malzemeleri olarak seryum (III) nitrat heksahidrat ($Ce(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$), lantan (III) nitrat heksahidrat ($La(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$) Sigma-Aldrich marka ve analitik saflıkta bileşikler kullanıldı. 1.6678 gram seryum (III) nitrat heksahidrat ve 0.068 gram lantan (III) nitrat heksahidrat 50 ml saf su içeren iki cam behere ayrı ayrı ilave edildi. Çözünme gerçekleştikten sonra glisin, 0.5 mmol (G1) ve 1 mmol (G2) oranlarına sahip olacak şekilde doğrudan katı formunda ilave edildi. Çözeltiler, sıcaklığı $80^\circ C$ 'ye çıkarılarak jel oluşturulmuştur. Daha sonra jel halindeki örnekler, ısıtıcı karıştırıcı üzerinde $300^\circ C$ 'ye kadar ısıtılarak yakma işlemi ile redoks reaksiyonu oluşmuş ve tozlar elde edilmiştir. Şekil 1, glisin yakma senteziyle hazırlanan lantanyum katkılı $Ce_{1-x}La_xO_2$ ($x=0.04$) nanoparçacıklarının deneysel akış şemasını göstermektedir.

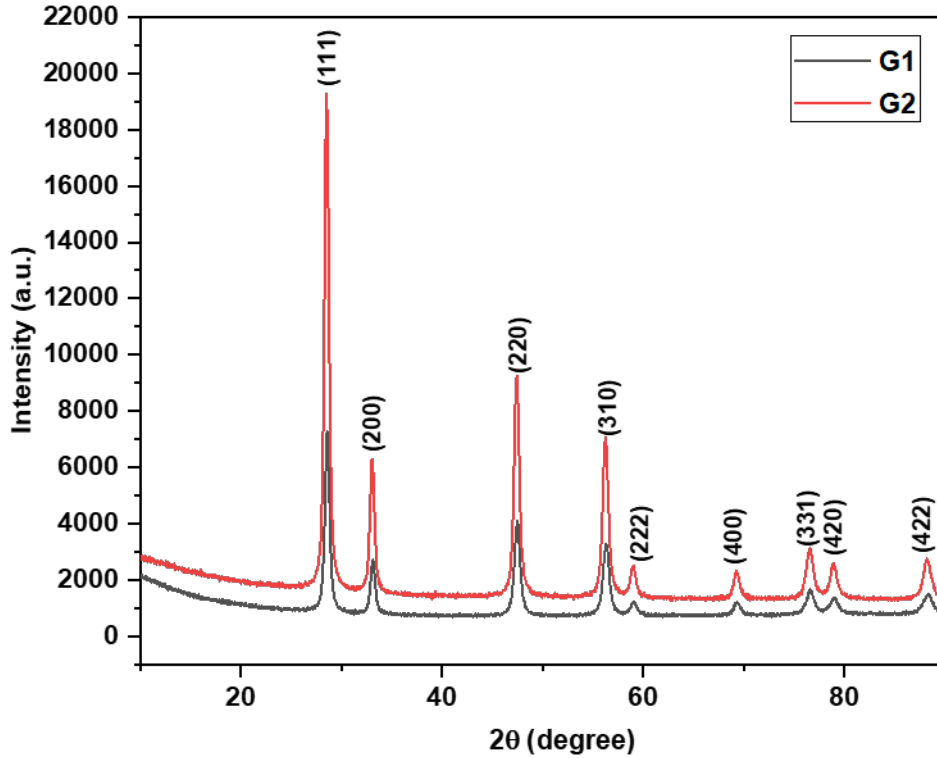


Şekil 1. a) Başlangıç çözeltisi b) Glisin ile yakma aşaması c) Elde edilen ürünlerin kalsine edilmeden önceki hali

Elde edilen tozlar 650 °C’de 4 saat süreyle kalsine edildi. Örneklerin ortalama kristal boyutunun hesaplanması, faz ve pik analizleri için XRD (Philips X’Pert Promodel, $\lambda=0.154056$ nm, Cu-Ka radyasyonu) kırınım ölçer kullanıldı. Elde edilen veriler, X’Pert High Score Plus yazılımı ile değerlendirildi. Ayrıca, moleküllerin hareketleri ve sentezlenen toz parçacıklarının titreşimi nedeniyle yapıda meydana gelen deformasyonlar 785 nm lazerli Raman spektrometresi (BWS465 B.W. Tech. Inc.) kullanılarak incelenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

XRD tekniği, malzemelerin kristalografik yapısını tanımlamak için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Bu yöntem malzemenin kristal yapısal özelliklerini, kristal boyutunu ve faz bileşimini belirlemek için kullanılmaktadır. Şekil 2, glisin yakma tekniğiyle hazırlanan lantanyum katkılı $Ce_{1-x}La_xO_2$ ($x=0.04$) numunelerinin XRD kırınım desenini göstermektedir.



Şekil 2. 0.5 mmol (G1) ve 1 mmol (G2) oranlarına sahip lantanyum katkılı $Ce_{1-x}La_xO_2$ ($x=0.04$) nanoparçacıkların XRD grafiği

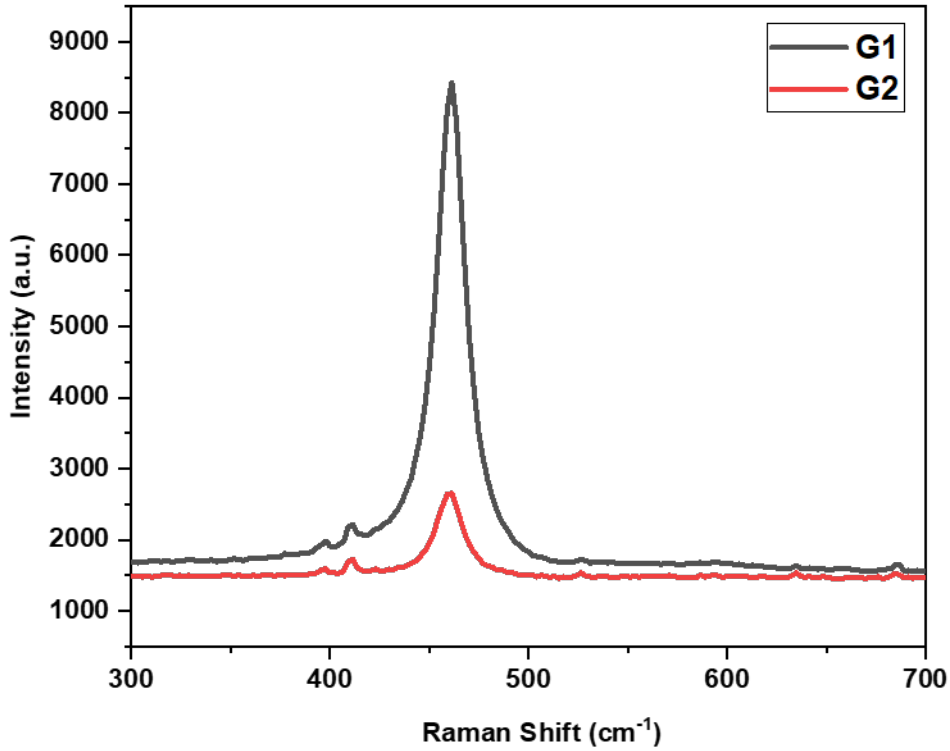
G1 ve G2 örneğine ait XRD verileri, kübik florit benzeri yapıya sahip olan CeO_2 'ye karşılık gelen PDF 01-081-0792 ile uyumlu kırınım piklerine sahiptir. CeO_2 'ye atfedilenlerden başka hiçbir ek kırınım piki gözlenmemiştir. Her iki CeO_2 örneğinin birim hücresi, Fm-3m uzay grubunun tanımladığı kübik simetriye sahiptir. Bu sonuçlar, örneklerin CeO_2 'in yapısal

özelliklerine uyumlu olduğunu göstermektedir. Sentezlenen numunelerin ortalama kristal boyutu Debye–Scherrer formülüne göre:

$$D=0.90\lambda/\beta\cos\theta$$

XRD piklerinden hesaplanmıştır. Burada D ortalama kristal boyutu, λ ise X-ışını dalga boyu, β kırınım açısı için (2θ) yarı maksimumdaki kırınım pikinin genişliğidir. Farklı glisin miktarlarına göre G1 ve G2 seryum oksit tozlarının ortalama kristal boyutları sırasıyla 33.61 nm ve 23.57 nm olarak hesaplanmıştır. Bu bulgular, glisin miktarının seryum oksit tozlarının kristal boyutu üzerindeki etkisini göstermektedir. Glisin miktarının iki kat artırılmasıyla kristal boyutunda bir azalma belirlenmiştir.

Şekil 3, glisin yakma tekniğiyle hazırlanan lantanyum katkılı $Ce_{1-x}La_xO_2$ ($x=0.04$) numunelerinin Raman saçılma spektrumunu göstermektedir.



Şekil 3. 0.5 mmol (G1) ve 1 mmol (G2) oranlarına sahip lantanyum katkılı $Ce_{1-x}La_xO_2$ ($x=0.04$) nano tozlarının raman saçılma spektrumu

Şekil 3'te verilen spektrum piklerini incelediğimizde, gözlemlenen karakteristik pik, $\sim 465\text{ cm}^{-1}$ 'de Ce-O8 titreşimsel F2g Raman aktif iç fonon moduna atfedilmiştir, bu da fluorit yapısındaki Fm3m uzay grubu ile örtüşmektedir (Kırkgeçit et al.,2023). Ayrıca, G2 örneğinin

kristal boyutu, G1'e göre daha küçüktür. Daha küçük kristal boyutu, Raman saçılma sinyalinin azalmasına neden olur. Bu durum, daha küçük kristal boyutuna sahip örneklerde ışığın daha az etkin şekilde saçılmasıyla ilişkilendirilir (Gómez el al., 2019).

4. Sonuçlar ve Öneriler

Lantanyum katkılı $Ce_{1-x}La_xO_2$ ($x=0.04$) nanoparçacıklar glisin yakma tekniğiyle başarılı bir şekilde hazırlandı. Bu çalışmada glisin miktarının seryum oksit faz oluşumu ve kristalit boyutu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen lantanyum katkılı $Ce_{1-x}La_xO_2$ ($x=0.04$) nanoparçacıkların kristal fazı kübik yapıda olduğu belirlenmiştir. 0.5 mmol (G1) ve 1 mmol (G2) oranlarına sahip farklı glisin miktarlarına göre seryum oksit tozlarının ortalama kristal boyutları sırasıyla 33.61 nm ve 23.57 nm olarak hesaplanmıştır. Glisin miktarının iki katına çıkarılması (0.5 mmol'dan 1 mmol'a), seryum oksit tozlarının ortalama kristal boyutlarını 33.61 nm'den 23.57 nm'ye düşürmüştür. XRD verileri, glisin miktarındaki artışın kristal boyutunu azalttığını göstermektedir. Raman spektroskopisiyle belirlenen karakteristik pikler, XRD sonuçlarıyla uyumlu bulunmuştur. Bu verilere dayanarak lantanyum katkılı $Ce_{1-x}La_xO_2$ ($x=0.04$) nanoparçacıklarının seramik elektrolit, fotokatalitik ve süperkapasitör gibi çalışmalarda kullanılabileceği öngörülmektedir.

Teşekkür

Çalışmada yardımlarından dolayı Doç. Dr. Handan ÖZLÜ TORUN'a teşekkür ederiz.

Yazarların Katkısı

1. Yazar : %60
2. Yazar: %30
3. Yazar: %10

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Aruna, S. T., Kini, N. S., & Rajam, K. S. (2009). Solution combustion synthesis of CeO₂-CeAlO₃ nano-composites by mixture-of-fuels approach. *Materials Research Bulletin*, 44(4), 728-733.
- Barrón, V. R. O., Ochoa, F. M. E., Vázquez, C. C., & Bernal, R. (2016). Thermoluminescence of novel MgO-CeO₂ obtained by a glycine-based solution combustion method. *Applied Radiation and Isotopes*, 117, 86-90.
- Calvache-Muñoz, J., Prado, F. A., & Rodríguez-Páez, J. E. (2017). Cerium oxide nanoparticles: Synthesis, characterization and tentative mechanism of particle formation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 529, 146-159.
- Chopra, L., & Kumar, R. (2024). Combustion-synthesized ZnO-CeO₂ heterojunctions for advanced photocatalytic dye degradation. *Inorganic Chemistry Communications*, 160, 111896.
- Das, S., Bhaskar, R., & Narayanan, K. B. (2024). Multifunctional applications of gadolinium-doped cerium oxide (Ce_{1-x}GdxO_{2-δ}) ceramics: A review. *Journal of Rare Earths*.
- Deganello, F., & Tyagi, A. K. (2018). Solution combustion synthesis, energy and environment: Best parameters for better materials. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, 64(2), 23-61.
- Goharshadi, E. K., Samiee, S., & Nancarrow, P. (2011). Fabrication of cerium oxide nanoparticles: Characterization and optical properties. *Journal of colloid and interface science*, 356(2), 473-480.
- Gómez, D. A., Coello, J., & MasPOCH, S. (2019). The influence of particle size on the intensity and reproducibility of Raman spectra of compacted samples. *Vibrational spectroscopy*, 100, 48-56.
- Kırkgeçit, R., Torun, H. Ö., Öztürk, E., & Dokan, F. K. (2023). Synergistic effect of CeO₂: La and CeO₂: La-Gd nanostructures: Photoluminescence and electrical properties. *Optik*, 272, 170236.
- Kırkgeçit, N., & Bozgeyik, M. S. (2021). Mikroyapının Stronsiyum Bizmut Tantalat İnce Filmlerin Ferroelektrik ve Elektriksel Özelliklerine Etkisi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 37(3), 468-478.
- Mužina, K., Kurajica, S., Bach-Rojecky, H., Brleković, F., & Duplančić, M. (2024). Combustion Synthesis of Zirconium-Doped Ceria Nanocatalyst. *Crystals*, 14(2), 108.
- Nyoka, M., Choonara, Y. E., Kumar, P., Kondiah, P. P., & Pillay, V. (2020). Synthesis of cerium oxide nanoparticles using various methods: implications for biomedical applications. *Nanomaterials*, 10(2), 242.
- Rajkumar, P., Selvaraj, S., & GP, S. M. (2024). Structural, Optical, and Magnetic Studies of Palladium (Pd) Doped Cerium Oxide (CeO₂) Nano Particles. *Physical Chemistry Research*, 12(2), 407-417.
- Rianjanu, A., Mustamin, A. S. P., Melati, E. K. A., Aflaha, R., Khamidy, N. I., Utami, M., ... & Taher, T. (2024). Photocatalytic degradation of aqueous Congo red dye pollutants by rare-earth metal oxide (CeO₂) nanorods. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 682, 132919.
- Soğuksu, A. K., Kerli, S., Kavgacı, M., & Gündeş, A. (2022). Electrochemical Properties, Antimicrobial Activity and Photocatalytic Performance of Cerium-Iron Oxide Nanoparticles. *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 96(1), 209-215.
- Soğuksu, A. K., Kerli, S., Kavun, Y., & Alver, Ü. (2024). Synthesis and characterizations of Ce-doped ZnO thin films for radiation shielding. *Optical Materials*, 148, 114941.
- Subbaiah, G. C. V. (2024). Structural, optical and magnetic properties of Cu doped CeO₂ nano powders synthesized by solid state reaction. *Nano Express*, 5(1), 015007.

Torun, H. Ö., & Kırkgeçit, R. (2024). Investigation of Photocatalytic and Photoluminescent Properties of a Novel Multifunctional Near-UV Excited NanoStructure CeO₂: 0.1 Dy0. 1Ho. *Indian Journal of Pure & Applied Physics (IJPAP)*, 62(4), 320-328.