



Muş Alparslan Üniversitesi
Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ / MUŞ ALPARSLAN UNIVERSITY

www.alparslan.edu.tr

HENDESE TEKNİK BİLİMLER VE MÜHENDİSLİK DERGİSİ

JOURNAL of
HENDESE TECHNICAL SCIENCES and ENGINEERING

Nisan/April 2024

Cilt/Volume: 1

Sayı/Issue: 1

MUŞ ALPARSLAN UNIVERSITY

JOURNAL OF HENDESE TECHNICAL SCIENCES AND ENGINEERING

İmtiyaz Sahibi

Rektör
Prof. Dr. Mustafa ALİCAN
Muş Alparslan Üniversitesi

Owner

Rector
Prof. Dr. Mustafa ALİCAN
Muş Alparslan University

Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Müdürlüğü Adına Hak Sahibi

Müdür
Dr. Öğr. Üyesi Fatih ŞEVGİN
Muş Alparslan Üniversitesi

Beneficiary on Behalf of the Vocational of Technical Sciences

Director
Dr. Öğr. Üyesi Fatih ŞEVGİN
Muş Alparslan University

Baş Editör

Dr. Öğr. Üyesi Fatih ŞEVGİN
Muş Alparslan Üniversitesi

Editor-in-Chief

Dr. Öğr. Üyesi Fatih ŞEVGİN
Muş Alparslan University

Baş Editör Yardımcısı

Doç. Dr. İshak ERTUĞRUL

Deputy Editor-in-Chief

Doç. Dr. İshak ERTUĞRUL

Editör

Prof. Dr. Z. Fuat TOPRAK
Prof. Dr. Sezgin ERSOY
Dr. Öğr. Üyesi Senai YALÇINKAYA
Dr. Yasin HAMARAT

Editor

Dicle University, Türkiye
Marmara University, Türkiye
Marmara University, Türkiye
Kaunas University of Technology, Lithuania

Teknik Editör

Öğr. Gör. Burak ERGÜNEŞ
Öğr. Gör. Anıl RIDVANOĞULLARI

Technical Editor

Muş Alparslan University
Muş Alparslan University

Yayın Kurulu

Prof. Dr. Ali Dad CHANDIO
Prof. Dr. Rolandas ŽAKELIS
Prof. Dr. Ömer YAVUZ
Prof. Dr. Gazanfer ERGÜNEŞ
Doç. Dr. Koray ÖZSOY
Doç. Dr. Melih KUNCAN
Dr. Öğr. Üyesi Gazi AKGÜN
Dr. Samet BAYRAM
Dr. Waleed ALABRI
Dr. Zafar Ali KHAN
Dr. Manuel S. Alvarez-ALVARADO
Dr. Yu WU

Editorial Board

NED University of Engineering & Technology University Road, Pakistan
Kaunas University of Technology, Lithuania
Dicle University, Türkiye
Tokat Gaziosmanpaşa University, Türkiye
Isparta University of Applied Sciences, Türkiye
Siirt University, Türkiye
Marmara University, Türkiye
University of Delaware, United States
University of Technology and Applied Sciences, Oman
Mirpur University of Science and Technology, Pakistan
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Ecuador
University College London, United Kingdom

Sekretarya ve Dizgi

Öğr. Gör. Burak ERGÜNEŞ
Öğr. Gör. Anıl RIDVANOĞULLARI

Secretariat and Layout

Muş Alparslan University
Muş Alparslan University

Yayıncı

Muş Alparslan Üniversitesi

Publisher

Muş Alparslan University

İletişim

Muş Alparslan Üniversitesi Külliyesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 49250, Muş, Türkiye
Tel: +90 436 249 2503

Contact

<https://dergipark.org.tr/en/pub/hendese/board>



MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
HENDESE TEKNİK BİLİMLER VE MÜHENDİSLİK DERGİSİ

MUŞ ALPARSLAN UNIVERSITY
JOURNAL OF HENDESE TECHNICAL SCIENCES AND ENGINEERING

Muş Alparslan Üniversitesi Külliyesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 49250, Muş, Türkiye

<https://dergipark.org.tr/en/pub/hendese/board>

Cilt / Volume: 1

Sayı / Issue: 1

Yıl / Year: 2024

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

	01	Optimization of Composite Materials for Enhanced Acoustic Performance in Headliners Melih Yazıcı, Naci Uysal, Hakan Donga	Sayfa / Pages 1-6
Sayfa / Pages 7-11		Investigation of Biological Properties of Acetone O-(4-chlorophenylsulfonyl)oxime and Acetone O-(2-naphthylsulfonyl)oxime Pınar Yalçın, Abdurrahman Dündar, Veysi Okumuş	02
	03	Gıda Kaynaklı Zehirlenmelerin Sosyo-demografik Açından İncelenmesi: Hakkâri, Konya ve Muş Örnekleri Canan Taşan, Gonca Buyrukoğlu, Zeynal Topalcengiz	Sayfa / Pages 12-18
Sayfa / Pages 19-27		Güneş Enerjisi ile Aydınlanan Bir Yaşam: Siirt'te 15 Kw'lık Bağ Evi Fotovoltaik Sistemi M. Süleyman Olgun, Ebuzer Cengiz, Rifat Evin	04
	05	Harmonik Plan Görünümüne Sahip Dairesel Savakların Nümerik Modellenmesi Ali Yıldız, Ali İhsan Martı, Mustafa Göğüş	Sayfa / Pages 28-35
Sayfa / Pages 36-45		Investigation of Production Parameters, Mechanical Properties and Microstructures of 5005 Aluminum Alloys Produced by St/Cu Shell Pair in TRC Furkan Berkay Tamer, Serdar Aslan, Onur Birbaçar	06
	07	MEMS Tabanlı Piezoelektrik Enerji Hasadı Sisteminin Tasarımı ve Analizi Ümit Söylemez	Sayfa / Pages 46-49



MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
HENDESE TEKNİK BİLİMLER VE MÜHENDİSLİK DERGİSİ

MUŞ ALPARSLAN UNIVERSITY
JOURNAL OF HENDESE TECHNICAL SCIENCES AND ENGINEERING

Muş Alparslan Üniversitesi Külliyesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 49250, Muş, Türkiye

<https://dergipark.org.tr/en/pub/hendese/board>

HENDESE Nisan 2024, 1 (1): 1-49

Cilt / Volume: 1

Sayı / Issue: 1

Yıl / Year: 2024

Optimization of Composite Materials for Enhanced Acoustic Performance in Headliners

Melih Yazıcı¹, Naci Uysal², Hakan Donga³

¹ R&D Department, Fompak Ambalaj ve Poliüretan San. ve Tic. A.Ş., Bursa, TÜRKİYE
melih.yazici@marturfompak.com - [ORCID](https://orcid.org/0000-0002-3745-2356) > [0000-0002-3745-2356](https://orcid.org/0000-0002-3745-2356)

² R&D Department, Fompak Ambalaj ve Poliüretan San. ve Tic. A.Ş., Bursa, TÜRKİYE
naci.uysal@marturfompak.com - [ORCID](https://orcid.org/0009-0005-4751-3393) > [0009-0005-4751-3393](https://orcid.org/0009-0005-4751-3393)

³ Production Specialist, Fompak Ambalaj ve Poliüretan San. ve Tic. A.Ş., Bursa, TÜRKİYE
hakan.donga@marturfompak.com - [ORCID](https://orcid.org/0009-0005-5183-9011) > [0009-0005-5183-9011](https://orcid.org/0009-0005-5183-9011)

Article Information

Article Types: Research Article

Received: 09 February 2024

Accepted: 20 March 2024

Year: 2024 | **Volume:** 1 | **Issue:** 1 | **Pages:** 1-6

Cite as: Yazıcı, M., Uysal, N., Donga, H., "Optimization of Composite Materials for Enhanced Acoustic Performance in Headliners", Hendese, Vol. 1, Issue 1, Pages 1-6, 2024.

Corresponding Author: Melih Yazıcı

Optimization of Composite Materials for Enhanced Acoustic Performance in Headliners

Melih Yazıcı^{*1}, Naci Uysal², Hakan Donga³

^{*1,2}R&D Department, Fompak Ambalaj ve Poliüretan San. ve Tic. A.ş, Bursa, TÜRKİYE.

³Production Specialist, Fompak Ambalaj ve Poliüretan San. ve Tic. A.ş, Bursa, TÜRKİYE.

(Received: 09.02.2024, Accepted: 20.03.2024, Published Online: 26.04.2024)

Keywords

Headliner,
Acoustic,
Composites,
Automotive

ABSTRACT

This study investigates the acoustic performance of automotive headliner composites by examining the impact of various factors in the headliner composites, including the density, pore structure and thickness of the foam, the amount and type of fiberglass, and the type and weight of the fabric. The research aims to reveal the relationship between these variables and their effects on the overall acoustic properties of automobile headliner composites. Through a systematic examination, various combinations of fiberglass types, foam densities, foam structures/roughness, and fabric types are analyzed to determine their influence on sound absorption, transmission, and overall in-car acoustic comfort. The findings of this study have significant implications for the design and production of headliner composites, providing valuable insights for optimizing them to enhance sound performance within the automobile interior. This research contributes to an improved understanding of material and design factors crucial for achieving optimal acoustic conditions in automotive interiors.

1. INTRODUCTION

1.1. Headliner Composite in Automotive Industry

In the contemporary automotive industry, the focus has shifted beyond being merely a means of transportation to providing a comfortable driving experience. In-car comfort is a significant factor for both drivers and passengers, and this comfort is closely related not only to ergonomic seats or modern interior design but also to acoustic comfort, as illustrated by the effects on acoustics in vehicle interior components shown in Figure 1 [1]. At this stage, acoustic studies on automotive headliner composites (Figure 2) hold critical importance in maximizing sound comfort in the automotive sector.

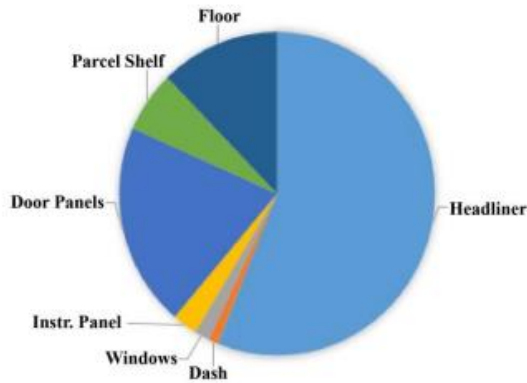


Figure 1. Effect of vehicle interior components on acoustics [2].



Figure 2. Example of headliner composite [3].

Headliner composites are designed with chosen materials that offer superior sound performance beyond other materials. Parameters such as the thickness, structure, and density of the foam used in these composite materials, as well as the characteristics and density of the fabric used, the density of fiberglass, among other factors, are crucial in influencing the sound insulation and absorption within the vehicle. Therefore, optimizing these parameters in headliner composites is a critical step in achieving a comfortable sound environment during driving.

This study will focus on improving sound comfort in the automotive industry, with a particular emphasis on acoustic

studies conducted on headliner composites. Optimizing the acoustic performance of the foam and other materials in headliner composites has the potential to offer drivers and passengers a quieter and more enjoyable driving experience.

1.2. Development of Headliner Composites

Headliner composites typically have a multi-layered structure, designed to optimize the acoustic performance of each layer. This composite structure often includes fiber-reinforced layers, filling materials consisting of sponge structures, and specialized coatings. Fiber-reinforced layers control sound transmission and are typically made of materials such as fiberglass or carbon fiber. Filling materials in the sponge structure can reduce echoes and enhance acoustic performance through their sound absorption properties. When these layers come together, ceiling cladding composites provide both structural integrity and effective sound control, offering a comfortable acoustic environment in interiors.

Several studies have investigated methods for enhancing the acoustic performance of automotive components. Lee and colleagues developed sound-absorbing materials using PET hollow fibers that exhibit better acoustic performance than traditional products [4]. Haque developed fiberglass non-woven fabrics with isotropic properties for headliner composites using the AcoustiMax product [5]. Additionally, Da Silva and collaborators conducted a comprehensive study demonstrating how changes in the design of headliner composites can affect acoustic performance. These studies underscored the potential for enhancing acoustic performance through design adjustments, bringing attention to this aspect [6].

These studies highlight the potential of various materials and design changes to enhance the acoustic performance of automotive components. The acoustic testing of headliner composites involves evaluating the sound absorption and insulation properties of the materials used within an alpha cabin in Figure 3. This test evaluates the capacity of headliner composite materials, such as foams, fabrics, and fiberglass, to absorb and block sound waves, enabling the assessment of acoustic comfort within the vehicle cabin. The acoustic performance of headliner composites is crucial for providing passengers in the vehicle with a quiet and comfortable interior environment.

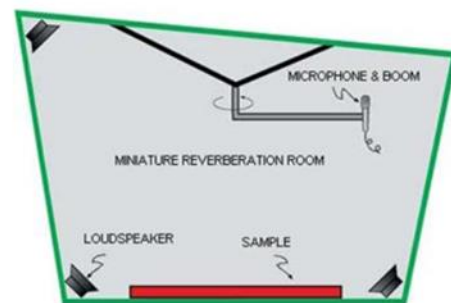


Figure 3. Alpha cabin test [7].

In summary, the acoustic performance of vehicle headliner composites can be enhanced through the use of materials such as polyurethane foams, fiberglass, and fabrics. These materials undergo acoustic testing to evaluate their sound absorption and insulation properties, contributing to a quieter and more comfortable vehicle cabin environment.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials

The sponge used in the study was formulated with isocyanate named ISO 123/5 supplied by BASF, and two different densities of Elastoflex E3963/102 (22 kg/m³) and E3963/102 (26 kg/m³) polyols which also supplied by BASF. Chopped glass fibers added to the headliner composite in different ratios (100, 150, and 200 g/m²) were supplied by Jushi, and the glass fiber mat (150 g/m²) was obtained from P-D GLASSEIDEN GMBH. Non-woven fabrics used on the A surface of the headliner composites, including Printex fabric, non-woven fabric, and chemical barrier non-woven fabric, were sourced from Texno SRL.

2.2. Processing of Headliner Composites

Headliner composites were created using the hand lay-up method to form the composite structure. Subsequently, they were assembled in a mold heated to 110°C using a 100-ton Hürsan press machine. Afterward, excess parts were cut using a water jet, resulting in the preparation of the headliner composites.



Figure 4. Headliner composite process [8]

2.3. Test Methods

To evaluate the acoustic performance of the developed composite materials, sound absorption coefficient tests were carried out by the alpha cabin test device 7.R7401 specification. During these tests, our objective was to achieve the highest attainable sound absorption coefficient for frequencies above 2000 Hz.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Within the scope of the study, separate studies were carried out on the materials in the headliner composites to obtain the best acoustic performance in the headliner composite. It is aimed to use the data obtained as a result of the studies in the headliner composite that will provide the best acoustic

performance.

3.1. Selection of Foam Block Region

Tests were performed on the bottom, middle, and top regions of the sponge block to examine the noise, vibration, and harshness (NVH) performance of foam samples taken from different regions for headliner composite use. Acoustic testing, conducted within the frequency range of 1600 Hz to 10000 Hz, provided valuable insights into the sound absorption characteristics of the foam samples. The results indicated that the foam sample taken from the middle region exhibited the highest acoustic performance. Specifically, it was observed that the sample taken from the middle region met the OEM (Original Equipment Manufacturer) requested sound absorption coefficient of 0.8 in the frequency range of 4000 Hz to 9000 Hz (Figure 5). This result indicates that different regions of the foam block have varying sound absorption performances, suggesting that the pore size and distribution in the sponge depend on the region from which it is taken. Upon examining the foam structure, it was observed that the middle region of the sponge has smaller pores and a more homogeneous pore size distribution compared to the bottom and top regions.

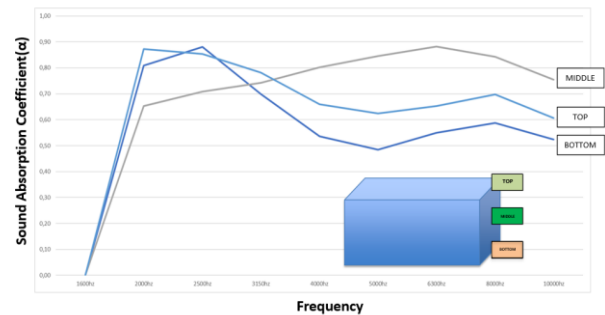


Figure 5. Sound absorption coefficient of the upper, middle, and lower regions of the sponge block.

To better understand the acoustic performance of foam samples, it is necessary to consider the material properties and structure of the foam. The acoustic behavior of porous materials like foam is influenced by factors such as porosity, pore size distribution, and material density. These properties affect the foam's ability to absorb sound energy within a specific frequency range.

In a study conducted by Cao and colleagues, the acoustic absorption of porous materials was investigated, emphasizing the importance of pore size and porosity in determining the sound absorption coefficient. The findings indicated that foam samples with medium-sized and homogeneously structured pores exhibited better results in terms of sound absorption capacity. In line with the findings of previous studies, including Cao and colleagues' research, our study further supports the notion that foam blocks with homogeneous pore structures offer superior sound absorption properties, thus establishing a clear correlation between foam pore structure and sound absorption [9].

3.2. Thickness of Foam

Within the scope of the study, the effect of foam thickness (7, 9, 9.5, 10, 10.5, and 11 mm) on the sound absorption of headliner composites was investigated. Based on the obtained information, the evaluation of sound absorption performance concerning sponge thickness indicates that 11 mm thickness provides the best performance, showing an improvement of approximately 5% compared to 10 mm thickness. The average sound absorption at 11 mm thickness was reported as 0.85 in the frequency range of 2000 Hz to 10000 Hz. Additionally, it was observed that the 9 mm thickness also exhibited satisfactory sound absorption by meeting the minimum requirement of 0.8, as shown in Figure 6.

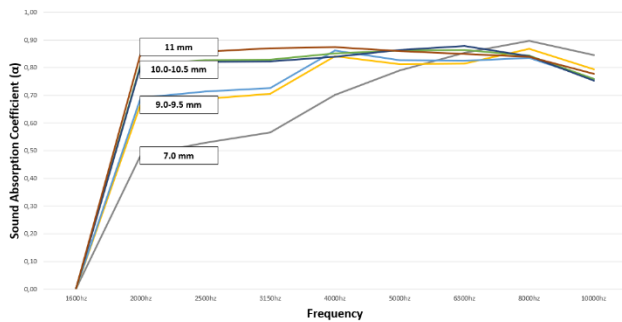


Figure 6. Sound absorption coefficient of sponges with thicknesses of 7, 9, 9.5, 10, 10.5, 11 mm.

In the context of sound absorption performance and foam thickness, various research studies in the literature have provided valuable insights into the acoustic behavior of materials and the impact of thickness variations. For instance, the study conducted by Farhad and Zahra investigated the influence of foam thickness on sound absorption properties, emphasizing the importance of thickness optimization to achieve the desired acoustic performance. This study laid the foundation for understanding the observed improvements between 25 mm and 50 mm thicknesses by highlighting the relationship between foam thickness and sound absorption coefficients. It was observed that increasing the thickness of the foam allowed it to absorb more sound, reaching an almost maximum absorption value of 0.98 [10].

The increase in foam thickness leading to an enhancement in sound absorption capability is evident both in our study and in various other studies in the literature. Considering the criteria of sound absorption capability, final product cost, and weight, the correct foam thickness was determined to be a minimum of 9 mm as the optimum thickness when all three criteria were taken into account.

3.3. Density of Foams

One of the most important foam properties affecting acoustic performance is known to be foam density. Foam density has a significant impact on the efficiency of sound absorption. Gwon demonstrated that numerous well-dispersed small cells in flexible polyurethane foams could enhance sound absorption even at low foam density [11]. Park also showed that cell

openness in low-density polyurethane foam is a crucial factor in achieving satisfactory sound absorption [12].

In NVH tests conducted with polyurethane foams of two different densities, it was observed that the foams with a density of 22 kg/m^3 exhibited particularly 10% better sound absorption capability than the foam with a density of 26 kg/m^3 , especially at sound wave lengths of 4000 Hz and above (Figure 7).

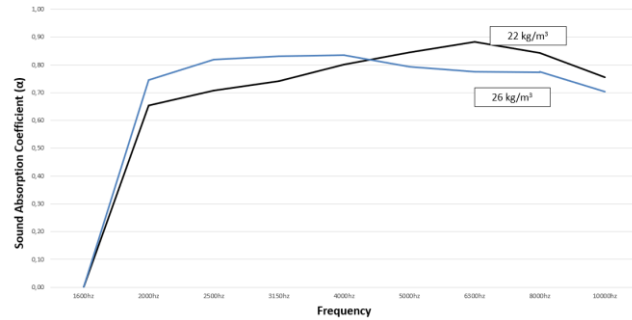


Figure 7. Sound absorption coefficient of foam with densities of 22 and 26 kg/m^2 .

3.4. Type of Glass Fiber

Glass fiber materials can be used in schools, offices, private properties, and various other areas due to their high sound absorption capabilities. Glass fiber materials primarily used to provide strength in ceiling covering composites are also important components affecting the sound absorption ability in addition to their strength properties. Glass fiber materials have various structures such as chopped, fabric, felt, or mat.

In the study, when the sound absorption ability of glass fiber material with a weight of 150 g/m^2 , in chopped and mat forms, used in headliner composites was examined, it was observed that chopped glass fiber material absorbs sound 10% better than mat glass fiber material (Figure 8).

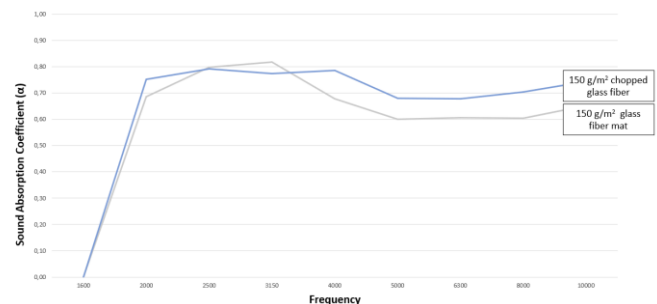


Figure 8. The sound absorption coefficient of chopped glass fiber and glass fiber mat.

3.5. Amount of Glass Fiber in Headliner Composite

In the study, the ratios of glass fiber used in headliner composite were altered, and their sound absorption capabilities were tested. Headliner composites reinforced with glass fiber amounts of 100, 150, and 200 g/m^2 were examined, revealing that the composite with 200 g/m^2 glass fiber reinforcement exhibited the best sound absorption capability. The headliner composite reinforced with 200 g/m^2 glass fiber was observed to

absorb sound 10% better than the one with 100 g/m² glass fiber reinforcement and 5% better than the one with 150 g/m² glass fiber reinforcement (Figure 9).

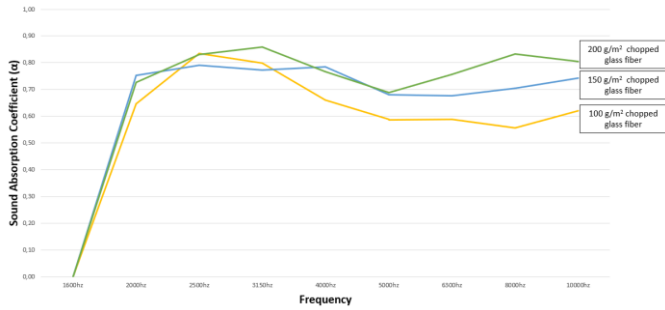


Figure 9. Sound absorption coefficient of different amounts of chopped glass fiber reinforced composites.

3.6. A Surface Fabric Type

The surface coatings of ceiling covering composites, particularly the A surface (the surface seen by passengers inside the cabin), are not only important aesthetically but also play an effective role in sound absorption due to being a layer of the composite structure. The study examined how the use of three different types of fabrics on the A surface could impact sound absorption. In the conducted research, Printex fabric, non-woven fabric, and chemical barrier non-woven fabrics were tested along with a foam block taken from the middle region of a foam with a density of 22 kg/m² and a thickness of 9 mm, and a composite structure with chopped glass fibers weighing 150 g/m². The composite structure utilizing Printex fabric demonstrated the best sound absorption capability. Compared to the non-woven fabric structure, the Printex structure absorbed sound 14% better and 46% better than the chemical barrier non-woven fabric structure (Figure 10).

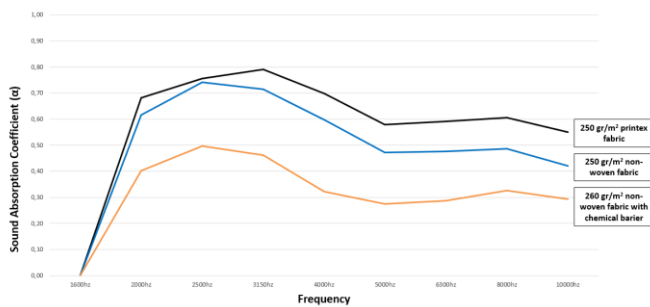


Figure 10. The sound absorption coefficient of composites using different A surface fabrics.

3.7. Density of A Surface Fabric

It was anticipated that fabric densities, similar to their impact on the sound absorption capabilities of glass fiber and sponge structures, could influence them. Therefore, two different densities of non-woven fabric were tested. The test results revealed that the fabric with a density of 250 g/m² absorbed sound 12% better than the fabric with a density of 200 g/m² (Figure 11).

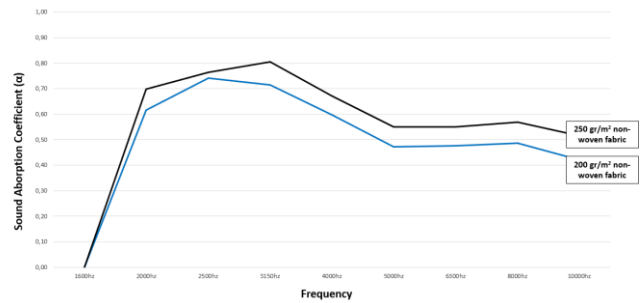


Figure 11. The sound absorption coefficient of non-woven fabric composites with a density of 200 and 250 g/m².

4. CONCLUSION

Through detailed studies, specific criteria have been identified to ensure that headliner composites have the best sound absorption capability. These criteria form the basis of the 7-stages of the process:

- 1) In cases where foam material is used, it is recommended to prefer the middle part of the foam block. When three different foam block regions were tested in terms of sound absorption, the foam sample taken from the middle region showed 18% better sound insulation performance than the bottom region and 7,5% better than the top region. This is because the middle block of the foam sample allows for a more homogeneous pore structure, thereby increasing sound absorption.
- 2) Preferring low-density foam allows for obtaining a larger pore structure. This enables more effective damping of sound. This claim has been confirmed by the fact that low-density foam provides 10% better sound absorption performance than high-density foam.
- 3) Selecting the maximum thickness for the foam is recommended, which also increases sound absorption. Tests performed on foam thickness varying from 7 mm to 11 mm showed that the sound absorption coefficient increased by up to 16,5% from the thinnest sponge to the thickest sponge.
- 4) It is preferred that the glass fiber used within the composite be chopped glass fiber, which has a higher sound absorption capability. It has been observed that such a structural difference provides a significant improvement in the sound absorption coefficient, approximately 9%.
- 5) An increase in glass fiber density can enhance sound absorption capability. However, to maintain the flexibility of the composite and keep its weight under control, the optimum density should target 150 g/m².
- 6) The A-surface fabric should have a printex fabric structure to ensure effective sound absorption.
- 7) The density of the A-surface fabric should be selected as high as possible for better sound absorption.

Developed by these criteria, the headliner composite has been successfully designed as a product that meets the 0.8 sound absorption coefficient demanded by many OEMs.

REFERENCES

- [1] Işık, Y., Tuzla, M., “Investigation of Sound Absorption Performance of Roof Panels in Automobiles”, *International Journal of Mechanical Engineering*, Vol. 9, Issue 12, Pages 1-9, 2022.
- [2] Aggarwal, A., Khan, H., Crepeau, H., “New Headliner Composites with Improved Acoustical Performance” SAE Technical Paper, 980946, 1998.
- [3] spe.automotive, «<https://commons.wikimedia.org/>,» <https://commons.wikimedia.org/>, 2 October 2018. [Online]. Available: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Headliner_with_Integration_of_Components_\(30454241607\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Headliner_with_Integration_of_Components_(30454241607).jpg).
- [4] Lee, J.W., Lee, S.N., Shim, J.H., Jung, P.K., Lee, W.K., “The Study on Improvement of Acoustic Performance for Automobile Sound-absorbing Materials Using Hollow Fiber”, *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 21, Issue 1, Pages 850-857, 2011.
- [5] Haque, E. “Designing strength, stiffness and acoustics in headliner substrate material”, *AutoTechnology*, Vol. 6, Issue 1, Pages 42-45, 2006.
- [6] Augusto Garcez da Silva, C., Calçada, M., Cesar Massarelli, L., “Vehicle Interior Noise Reduction Using Innovative Roof Trim Structure”, *SAE International*, Vol. 36, Issue 1, Pages 1-10, 2014.
- [7] Memon, H., Ayele, H. S., Yesuf, H. M., Sun, L., (2022). Investigation of the physical properties of yarn produced from textile waste by optimizing their proportions. *Sustainability*, Vol. 14, Issue 15, Pages 1-15, 2022.
- [8] alibaba.com, «www.alibaba.com,» alibaba, [Online]. Available: https://www.alibaba.com/product-detail/automotive-headliner-interior-exterior-trim-press_60623679868.html.
- [9] Pornea, A. G. M., Puguian, J. M. C., Ruello, J. L. A., Kim, H., “Multifunctional dual-pore network aerogel composite material for broadband sound absorption, thermal insulation, and fire repellent applications”, *ACS Applied Polymer Materials*, Vol. 4, Issue 4, Pages, 2880-2895, 2022.
- [10] Forouharmajd, F., Mohammadi, Z., Salehian, J., Mosayebi, M., “The effect of foam thickness, sound intensity, and air layer on sound absorption coefficient of polyurethane foam using transfer function method”, *Journal of Health System Research*, Vol. 12, Issue 2, Pages 190-195, 2016.
- [11] Gwon, J. G., Kim, S. K., Kim, J. H., “Sound absorption behavior of flexible polyurethane foams with distinct cellular structures” *Materials & Design*, Vol. 89, Issue 1, Pages 448-454, 2016.
- [12] Park, J. H., Minn, K. S., Lee, H. R., Yang, S. H., Yu, C. B., Pak, S. Y., Youn, J. R., “Cell openness manipulation of low density polyurethane foam for efficient sound absorption”, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 406, Pages 224-236, 2017.



MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
HENDESE TEKNİK BİLİMLER VE MÜHENDİSLİK DERGİSİ
MUŞ ALPARSLAN UNIVERSITY
JOURNAL OF HENDESE TECHNICAL SCIENCES AND ENGINEERING

Muş Alparslan Üniversitesi Külliyesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 49250, Muş, Türkiye

<https://dergipark.org.tr/en/pub/hendese/board>

HENDESE Nisan 2024, 1 (1): 1-49

Cilt / Volume: 1

Sayı / Issue: 1

Yıl / Year: 2024

Investigation of Biological Properties of Acetone O-(4-chlorophenylsulfonyl)oxime and Acetone O-(2-naphthylsulfonyl)oxime

Pınar Yalçın¹, Abdurrahman Dündar², Veysi Okumuş³

¹ Graduate Education Institute Department of Biology, Mardin Artuklu University, Mardin, TÜRKİYE
pinarylc21@gmail.com - [ORCID](https://orcid.org/0000-0003-2503-6993) > [0000-0003-2503-6993](https://orcid.org/0000-0003-2503-6993)

² Vocational Higher School of Health Services Department of Medical Services and Techniques, Mardin Artuklu University, Mardin, TÜRKİYE
anzdundar@gmail.com - [ORCID](https://orcid.org/0000-0002-7930-1054) > [0000-0002-7930-1054](https://orcid.org/0000-0002-7930-1054)

³ Medical Faculty Department of Medical Biology, Siirt University, Siirt, TÜRKİYE
veysiok@hotmail.com - [ORCID](https://orcid.org/0000-0002-5505-2700) > [0000-0002-5505-2700](https://orcid.org/0000-0002-5505-2700)

Article Information

Article Types: Research Article

Received: 01 February 2024

Accepted: 21 February 2024

Year: 2024 | **Volume:** 1 | **Issue:** 1 | **Pages:** 7-11

Cite as: Dundar, A., Yalcin, P., Okumus, V., "Investigation of Biological Properties of Acetone O-(4-chlorophenylsulfonyl)oxime and Acetone O-(2-naphthylsulfonyl)oxime", *Hendese*, Vol. 1, Issue 1, Pages 7-11, 2024.

Corresponding Author: Abdurrahman Dündar

Investigation of Biological Properties of Acetone O-(4-chlorophenylsulfonyl)oxime and Acetone O-(2-naphthylsulfonyl)oxime

Pınar Yalçın¹ , Abdurrahman Dünder^{*2} , Veysi Okumuş³ 

¹ Graduate Education Institute Department of Biology, Mardin Artuklu University, Mardin, TÜRKİYE

^{*2} Vocational Higher School of Health Services Department of Medical Services and Techniques, Mardin Artuklu University, Mardin, TÜRKİYE

³ Medical Faculty Department of Medical Biology, Siirt University, Siirt, TÜRKİYE

(Received: 01.02.2024, Accepted: 21.02.2024, Published Online: 26.04.2024)

Keywords

Acetone,
Oxime,
Antibacterial activity,
Antioxidant activity

ABSTRACT

The purpose of this study is to survey if acetone O-(4 chlorophenylsulfonyl) oxime (1a) and acetone O-(2-naphthylsulphonyl)oxime (2a) compounds have antimicrobial and antioxidant properties or not. For this purpose, the antioxidant activity of the compounds was tested using the DPPH free radical method and the method of determining the antibacterial activity of newly synthesized compounds. As a result, compound 1a shows better antioxidant activity than compound 2a at all tested concentrations. The antibacterial activities of sulfonate derivatives on *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, and *Enterococcus hirae* strains were investigated and it was determined that all compounds showed partial antibacterial activity for *S. aureus*, *E. coli*, and *K. pneumoniae* strains.

1. INTRODUCTION

Oximes are nitrogen-containing chemical compounds that occur in species representing kingdoms representing all life forms on earth [1]. After it has been determined that naturally synthesized oximes have high biological activity, chemically synthesized oximes are used for a number of different purposes, especially in the agricultural sector [2]. The literature review has shown that; Various sulfonate derivative oximes have antimicrobial, anticancer, antiviral, antihypertension, enzyme inhibition, antioxidant, heavy metal chelator, and antitubercular effects [3-14]. While these studies provide important information about the effects of sulfonate derivatives, they also emphasize the importance of sulfonate derivatives in many areas regarding the problems that human beings may face today and in the future.

The ability of antioxidants to capture free radicals makes them important in maintaining human health. Free radicals attack nucleic acid, proteins, lipids, and other oxidizable components of cells, initiating degenerative disease. The resulting anion compounds inhibit the oxidative mechanism that leads to degenerative diseases. For these reasons, antioxidant molecules with free radical scavenging properties play an important role as health-protective compounds [15]. According to Hazra et al. [16] determined by the DPPH method that fluorobenzopyrazoline derivative at 0.01 mM concentration has strong antioxidant properties. The results of another study by Su et al. [17] showed that sulfonate-containing myricetin derivatives can be considered as a new antibacterial reagent. While it has been shown that azomethine-bearing benzothiazole sulfonate derivatives have inhibitory effects on pancreatic lipase and tyrosinase enzymes, the interactions that occur in the active site of enzymes by the inhibition effect of sulfonate derivatives on enzymes have been demonstrated by molecular docking method [3]. Obesity, which is considered as one of the most important causes of many chronic diseases such as diabetes, hypertension, and cardiovascular diseases, is considered as one of the biggest threats to human health in our age [4]. The interaction of pancreatic lipase, which is the main enzyme responsible for the digestion of triacylglycerides, with other compounds has an important place in the prevention of obesity [19]. Tyrosinase, which has important functions in the production of melanin and hyperpigmentation of the skin and hair, is a copper-containing metalloenzyme that catalyzes the hydroxylation of L-tyrosine to L-DOPA and the oxidation of L-DOPA to dopaquinone reactions. Because of these features, tyrosinase is an important enzyme for the R&D units of cosmetic companies [20]. Acetylcholinesterase is an esterase that uses acetylcholine as a substrate. Butyrylcholinesterase is an esterase that uses butyrylcholine as a substrate. It also hydrolyzes xenobiotic compounds such as cocaine, succinylcholine, and aspirin [21]. In the advanced stages of Alzheimer's disease, which is one of the neurodegenerative diseases caused by a significant dysfunction in the cholinergic system, it is characterized by an increase in BuChE level and a decrease in AChE level [22]. In this situation, it is vital to develop substances that will interact selectively with BuChE and AChE.

Acetone O-(4-chlorophenylsulfonyl)oxime (1a) and Acetone

O-(2-naphthylsulfonyl) oxime (2a) are easier for radicals to join the C = C double bond than the C = N or C = S bond. Because converting C=N or C=S bonds to C-N or C-S requires more energy than converting C=C to C-C. Thanks to the C=N, S=O, and C=C structures in (1a) and (2a) structures, it is possible for (1a) and (2a) to gain radical scavenging properties. In addition, it is predicted that increasing the stability of the electronegative -Cl group radicals in the molecular structure of (1a), will contribute to the trapping of the radicals in the structure and provide antioxidant properties to the molecules [23-25]. Su et al. [17] reported that the oxime ether derivative significantly affects the proliferation of SMMC-7721 liver cancer cells by preventing DNA replication. In the literature, there are not any findings on (1a) and (2a) compounds features to the antimicrobial and antioxidant. In the present study, the antioxidant and antibacterial activities of (1a) and (2a) sulfonate derivatives were determined.

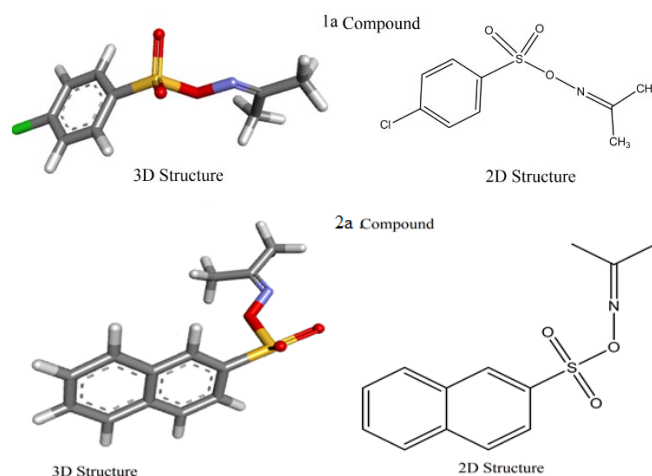


Figure 1. Structure of acetone O-(4-chlorophenylsulfonyl)oxime (1a) and Acetone O-(2-naphthylsulphonyl)oxime (2a) compounds

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Chemicals

DPPH, DMSO (Dimethyl sulfoxide) and Trolox were obtained from Sigma (Sigma-Aldrich GmbH, Sternheim, Germany). The blank antimicrobial test discs purchased from Oxoid (7.0 mm, Oxoid Ltd, Wade Road, Basingstoke, Hants, RG24 8PW, UK).

2.2. DPPH Radical Scavenging Activity

The antioxidant activity of the compounds was tested using the DPPH free radical method [26]. Solutions of the samples used as stock and were prepared at concentrations of 50 and 500 µg/ml. After adding 0.5 ml of the samples to be tested to 2.0 mL of DPPH solution dissolved in methanol, they were incubated at room temperature and in the dark for 30 minutes. The absorbance values of the solutions were measured spectrophotometrically at 517 nm. Trolox was used as the standard antioxidant.

2.3. Antibacterial Activity

The antibacterial activity of newly synthesized compounds was tested by the method of Tarhan et al. [27] *P. aeruginosa* (ATCC 9027) and *E. coli* (ATCC 10536) were used as Gram-negative bacteria and *E. hirae* (ATCC 10541) and *S. aureus* (ATCC 6538) were used as Gram-positive bacteria. Tetracycline (30 µg) was used as the positive control.

2.4. Statistical Analysis

Duncan Multiple Range Test was carried out using SPSS (v.17) to analyze the data obtained from the experiments, which was designed in repetitions. The statistical significance was set at $P \leq 0.05$ in all analyses.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. DPPH Radical Scavenging Activity

We can say that the main cause of damage to biological macromolecules is free radicals. One of the quick and simple ways to measure the antioxidant capacity of molecules is through DPPH radical quenching activity. Using the method, the free radical scavenging activities of natural and synthesized substances can be determined quickly and simply [28]. These molecules with antioxidant potential can be used in many areas [29]. As seen in Figure 2, the DPPH inhibitory activities of the tested compounds vary depending on concentration. It was determined that 1a showed better activity than 2a at all concentrations studied. It was measured that the concentration increase from 50 µg/ml to 500 µg/ml increased the antioxidant capacity from 8.8% to 42.8% for 1a and from 6.2% to 18.5% for 2a. Trolox used as standard was found to have higher cleaning activity than the compounds. In parallel with the current study, the antioxidant activity of the fluorobenzopyrazoline derivative, a sulfonated derivative, was tested by the DPPH method and it was determined that it had strong antioxidant activity at a concentration of 0.01 mM [16]. In a study conducted on corn, it was determined that substance 1a had positive effects in clearing H₂O₂ and alleviated the negative effects of stress by stimulating the antioxidant system [7].

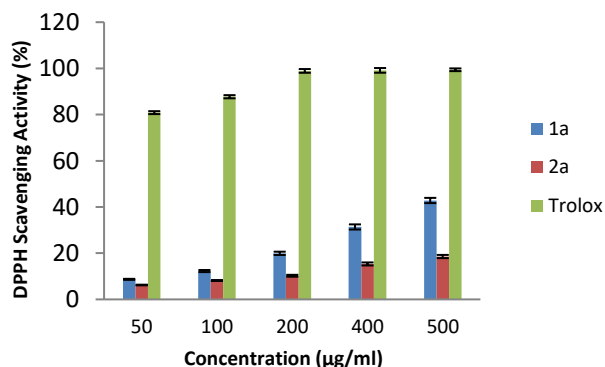


Figure 2. The effect of (1a) and (2a) compounds on antioxidant activity

3.2. Antibacterial Activity

The antimicrobial potential of the compounds was studied against four bacterial strains, two of them was Gram-positive and the others were Gram-negative whether it shows activity or not. Of the two compounds, only 1a showed weak antibacterial activity against *S. aureus* (8 mm zone of inhibition). Tetracycline, used as a standard antibiotic against the same bacterium, formed a 20 mm zone of inhibition. Both compounds tested showed no activity against other bacteria (Fig. 3). Mishra et al. [11] in their study; The antibacterial activities of sulfonate derivatives containing Schiff base on *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *E. coli*, and *E. hirae* strains were investigated and it was determined that all compounds showed partial antibacterial activity for *S. aureus*, *E. coli* and *K. pneumoniae* strains.

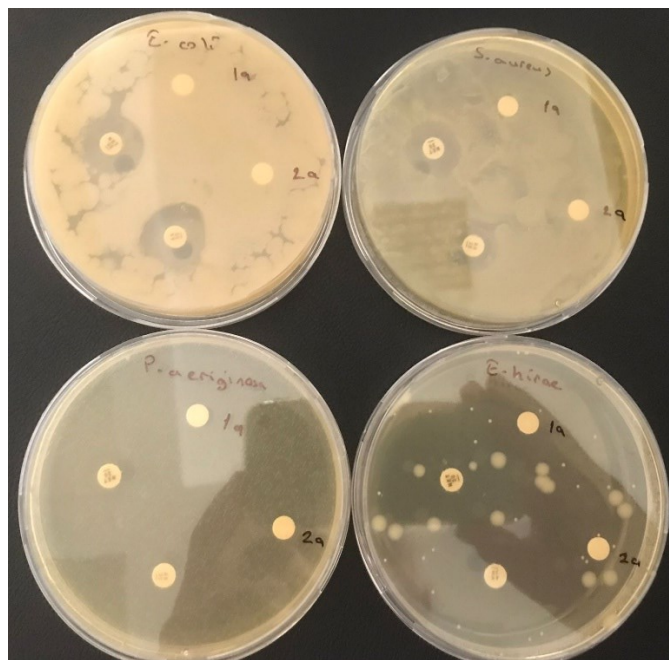


Figure 3. The effect of (1a) and (2a) compounds on antibacterial activity

According to the reports of the World Health Organization and many researchers, resistance to antibiotics that are naturally developed by bacteria or that arise as a result of the wrong and unconscious use of antibiotics in humans and animals seems to be a scourge for the whole world. An increasing number of diseases (such as pneumonia, tuberculosis, gonorrhea, salmonellosis) are becoming increasingly difficult to treat as the antibiotics that treat them are less effective. In addition, resistance to antibiotics increases the number of deaths, the length of hospital stays, and therefore the costs of medical care [30,31]. Oxidative stress and cancer caused by oxidative stress, it is undeniable that one of the important problems of today. Standard antioxidants and anticancer drugs that used against them have so many side effects and that phenomenon is still a big problem [32-34]. All these negativities we have mentioned have encouraged researchers to synthesize new nano molecules that have antimicrobial, anticancer, antioxidant properties, but have no or minimized side effects [27, 35].

In the light of the available findings, although the antioxidant properties of compounds (1a) and (2a) were seen to be quite low compared to trolox, it was determined that the antioxidant property of compound (1a) was significantly higher than that of compound (2a).

4. CONCLUSION

As a result, compound (1a) shows better antioxidant activity than compound (2a) at all tested concentrations. The antibacterial activities of sulfonate derivatives on *S. aureus*, *E. hirae*, *E. coli*, and *P. aeruginosa* strains were investigated and it was determined that all compounds showed partial antibacterial activity for *S. aureus*, *E. coli*, and *K. pneumoniae* strains. The activities exhibited in in vitro tests are at a weak level. More specific and targeted in vivo experimental studies are required to take advantage of the bioavailability properties of the compounds and to increase its bioactivity to higher levels.

ACKNOWLEDGMENTS

Thanks to PhD Adem KORKMAZ, who synthesized the acetone O-(4-chlorophenyl sulfonyl)oxime and acetone O-(2-naphthylsulphonyl)Oxime compounds.

REFERENCES

- [1] Sørensen, M., Neilson, E.H., Møller, B.L., "Oximes: unrecognized chameleons in general and specialized plant metabolism", *Molecular Plant*, Vol. 11, Issue 1, Pages 95-117, 2018.
- [2] Mahadevan, S., "Role of oximes in nitrogen metabolism in plants", *Annual Review of Plant Physiology*, Vol. 24, Issue 1, Pages 69-88, 1973.
- [3] Korkmaz, A., Bursalı, E., "An in vitro and in silico study on the synthesis and characterization of novel bis (sulfonate) derivatives as tyrosinase and pancreatic lipase inhibitors", *Journal of Molecular Structure*, 1259, 132734, 2022.
- [4] Asif, M., Imran, MA., "Mini-Reviews in Organic Chemistry, A Mini-Review on Pharmacological Importance of Benzothiazole Scaffold", Vol. 18, Issue 8, Pages 1086-1097, 2021.
- [5] Korkmaz, A., Bursalı, E., "Benzothiazole sulfonate derivatives bearing azomethine: Synthesis, characterization, enzyme inhibition, and molecular docking study", *Journal of Molecular Structure*, 1257, 132641, 2022.
- [6] Taslimi, P., Işık, M., Türkan, F., Durgun, M., Türkeş, C., Gülçin, İ., Beydemir, Ş., "Benzenesulfonamide derivatives as potent acetylcholinesterase, α -glycosidase, and glutathione S-transferase inhibitors: biological evaluation and molecular docking studies", *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, Vol. 39, Issue 15, Pages 5449-5460, 2021.
- [7] Yetişsin, F., Kardeş, İ., "Could acetone O-(4-chlorophenylsulfonyl) oxime be a copper chelating and antioxidative molecule on maize seedlings?", *International Journal of Phytoremediation*, Vol. 24, Issue 7, Pages 721-729, 2022.
- [8] Yetişsin F., Karakaya A., "Investigation of the effects of acetone o-(4 chlorophenylsulfonyl) oxime pre-application on biochemical parameters of maize seedlings under salt stress", *Artvin Coruh University Journal of Forestry Faculty*, Vol. 23, Issue 1, Pages 74-83, 2022.
- [9] Yetişsin, F., "Exogenous acetone O-(2-naphthylsulfonyl) oxime improves the adverse effects of excess copper by copper detoxification systems in maize", *International Journal of Phytoremediation*, Vol. 25, Issue 14, Pages 2001-2013, 2023.
- [10] Demiralay, M., "Exogenous acetone O-(4-chlorophenylsulfonyl) oxime alleviates Cd stress-induced photosynthetic damage and oxidative stress by regulating the antioxidant defense mechanism in *Zea mays*", *Physiology and Molecular Biology of Plants*, Vol. 28, Issue 11, Pages 2069-2083, 2022.
- [11] Mishra, V.R., Ghanavatkar, C.W., Mali, S.N., Chaudhari, H.K., Sekar, N., "Schiff base clubbed benzothiazole: synthesis, potent antimicrobial and MCF-7 anticancer activity, DNA cleavage and computational study", *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 1621213, 2019.
- [12] Venugopala, K.N., Chandrashekarappa, S., Pillay, M., Bhandary, S., Kandeel, M., Mahomoodally, F.M., Morsy, M.A., Chopra, D., Aldhubiab, B.E., Attimarad, M., "Synthesis and Structural Elucidation of Novel Benzothiazole Derivatives as Anti-tubercular Agents: In-silico Screening for Possible Target Identification", *Medicinal Chemistry*, Vol. 15, Issue 3, Pages 311-326, 2019.
- [13] Gabr, M.T., El-Gohary, N.S., El-Bendary, E.R., El-Kerdawy, M.M., Ni, N., Shaaban, M.I., "Synthesis, antimicrobial, anti-quorum-sensing and cytotoxic activities of new series of benzothiazole derivatives", *Chinese Chemical Letters*, Vol. 26, Issue 12, Pages 1522-1528, 2015.
- [14] Ke, S., Wei, Y., Yang, Z., Wang, K., Liang, Y. Shi, L., "Novel cycloalkylthiophene-imine derivatives bearing benzothiazole scaffold: Synthesis, characterization and antiviral activity evaluation", *Bioorganic Medicinal Chemistry Letters*, Vol. 23, Issue 18, Pages 5131-5134, 2013.
- [15] Joseph, J., Janaki, G.B., "Copper complexes bearing 2-aminobenzothiazole derivatives as potential antioxidant: Synthesis, characterization", *Journal of Photochemistry and Photobiology B*, 162, Pages 86-92, 2016.
- [16] Hazra, A., Mondal, S., Maity, A., Naskar, S., Saha, P., Paira, R., Mondal, N.B., "Amberlite-IRA-402 (OH) ion exchange resin mediated synthesis of indolizines, pyrrolo [1, 2-a] quinolines and isoquinolines: Antibacterial and antifungal evaluation of the products", *European Journal of Medicinal Chemistry*, Vol. 46, Issue 6, Pages 2132-2140, 2011.
- [17] Su, S., Zhou, Q., Tang, X., Peng, F., Liu, T., Liu, L., Xie, C., He, M., Xue, W., "Design, synthesis, and antibacterial activity of novel myricetin derivatives containing sulfonate", *Monatshefte für Chemie, Chemical Monthly*, Vol. 152, Issue 3, Pages 345-356, 2021.
- [18] Rajan, L., Palaniswamy, D., Mohankumar, S.K., "Targeting obesity with plant-derived pancreatic lipase inhibitors: A comprehensive review", *Pharmacological Research*, Vol. 155, 104681, 2020.
- [19] Kumar, A., Chauhan, S., "Pancreatic lipase inhibitors: The road voyaged and successes", *Life Sciences*, Vol. 271, 119115, 2021.
- [20] Riaz, R., Batool, S., Zucca, P., Rescigno, A., Peddio, S., Peddio, R., Saleem, S., "Plants as a promising reservoir of tyrosinase inhibitors", *Mini Reviews in Organic Chemistry*, Vol. 18, Issue 6, Pages 808-828, 2021.
- [21] Gatley, S.J., "Activities of the enantiomers of cocaine and some related compounds as substrates and inhibitors of plasma butyrylcholinesterase", *Biochemical Pharmacology*, Vol. 41, Issue 8, Pages 1249-1254, 1991.
- [22] Li, Q., Yang, H., Chen, Y., Sun, H., "Recent progress in the identification of selective butyrylcholinesterase inhibitors for Alzheimer's disease", *European Journal of Medicinal Chemistry*, Vol. 132, Pages 294-309, 2017.
- [23] Korkmaz, A., Duran, S., "High yielding electrophilic amination with lower order and higher order organocuprates: Application of acetone O-(4-Chlorophenylsulfonyl) oxime in the construction of the C-N bond at room temperature", *Synthetic Communications*, Vol. 51, Issue 14, Pages 2077-2087, 2021.

- [24] Korkmaz, A., "Copper-Catalyzed Electrophilic Amination of Diarylcadmium Reagents Utilizing Acetone O-(4-chlorophenylsulphonyl) oxime and Acetone O-(2-naphthylsulphonyl) oxime as Amination Agent", *Journal of the Institute of Science and Technology*, Vol. 11, Issue 3, Pages 2102-2111, 2021.
- [25] Korkmaz, A., "Room-temperature copper-catalyzed electrophilic amination of arylcadmium iodides with ketoximes" *Journal of the Iranian Chemical Society*, Vol. 18, Issue 11, Pages 3119-3125, 2021.
- [26] Gümüş, A., Okumuş, V., Gümüş, S., "Synthesis, biological evaluation of antioxidant-antibacterial activities and computational studies of novel anthracene- and pyrene-based Schiff base derivatives", *Turkish Journal of Chemistry*, Vol. 44, Issue 4, Pages 1200-1215, 2020.
- [27] Tarhan, T., Dündar, A., Okumuş, V., Çulha, M., "Synthesis and Characterization of Bionanomaterials and Evaluation of Their Antioxidant, Antibacterial and DNA Cleavage Activities", *Chemistry Select*, Vol. 6, Issue 17, Pages 4217-4223, 2021.
- [28] Gumus, A., Okumus, V. "Synthesis and biological evaluation of quinoline-triazole and quinolone-triazole conjugates", *Turkish Journal of Chemistry*, Vol. 42, Issue 5, Pages 1344-1357, 2018.
- [29] Ejidike, I.P., Ajibade, P.A., "Synthesis, characterization, and in vitro antioxidant and anticancer studies of ruthenium(III) complexes of symmetric and asymmetric tetradentate Schiff bases", *Journal of Coordination Chemistry*, Vol. 68, Issue 14, Pages 2552-2564, 2015.
- [30] United States Center of Disease Control and Prevention (CDC), Antibiotic resistance threat report, 2019.
- [31] Zurcher, K., Zwahlen, M., Ballif, M., Rieder, H.L., Egger, M., Fenner, L., "Influenza pandemics and tuberculosis mortality in 1889 and 1918: analysis of historical data from Switzerland", *PLoS ONE*, Vol. 11, Issue 10, e0162575, 2016.
- [32] Hoagland, H.C., Gastineau, D.A., "Haematological complications of cancer chemotherapy", *The chemotherapy source book*, Michael C Perry, 2nd edition: 559. 1992.
- [33] Kahl, R., Kappus, H., "Toxicology of the synthetic antioxidants BHA and BHT in comparison with the natural antioxidant vitamin E", *Z Lebensm Unters Forsch.*, Vol. 196, Issue 4, Pages 329-338, 1993.
- [34] Rang, H.P., Dale, M.M., Ritter, J.M., "Anticancer drugs, Text book of Pharmacology", Elsevier; 7 th edition: 673-87, 2012.
- [35] Kilic, A., Söylemez, R., Okumuş, V., "Design, spectroscopic properties and effects of novel catechol spiroborates derived from Schiff bases in the antioxidant, antibacterial and DNA binding activity", *Journal of Organometallic Chemistry*, 122228, 2021.



MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
HENDESE TEKNİK BİLİMLER VE MÜHENDİSLİK DERGİSİ
MUŞ ALPARSLAN UNIVERSITY
JOURNAL OF HENDESE TECHNICAL SCIENCES AND ENGINEERING

Muş Alparslan Üniversitesi Külliyesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 49250, Muş, Türkiye

<https://dergipark.org.tr/en/pub/hendese/board>

HENDESE Nisan 2024, 1 (1): 1-49

Cilt / Volume: 1

Sayı / Issue: 1

Yıl / Year: 2024

**Gıda Kaynaklı Zehirlenmelerin Sosyo-demografik Açından
İncelenmesi: Hakkâri, Konya ve Muş Örnekleri**

**Socio-Demographic Investigation of Foodborne Illnesses:
Hakkâri, Konya, And Muş Cases**

Canan Taşan¹, Gonca Buyrukoglu², Zeynal Topalcengiz^{3,4}

¹ Department of Food Safety, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Muş Alparslan University,
49250 Muş, TÜRKİYE

dytcanantasan@gmail.com - [ORCID](https://orcid.org/0000-0003-2625-5653) > [0000-0003-2625-5653](https://orcid.org/0000-0003-2625-5653)

² Department of Statistics, Faculty of Science, Çankırı Karatekin University, Çankırı 18200, TÜRKİYE

goncabuyrukoglu@karatekin.edu.tr - [ORCID](https://orcid.org/0000-0002-1202-8778) > [0000-0002-1202-8778](https://orcid.org/0000-0002-1202-8778)

³ Department of Food Science, Center for Food Safety, University of Arkansas System Division of
Agriculture, Fayetteville, AR, 72704, USA

⁴ Department of Food Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Muş Alparslan University,
49250 Muş, TÜRKİYE

zeynalt@uark.edu - z.topalcengiz@alparslan.edu.tr - [ORCID](https://orcid.org/0000-0002-2113-7319) > [0000-0002-2113-7319](https://orcid.org/0000-0002-2113-7319)

Makale Bilgisi / Article Information

Makale Türü / Article Types: Araştırma Makalesi/Research Article

Geliş Tarihi / Received: 2 Ocak/January 2024

Kabul Tarihi / Accepted: 20 Mart/March 2024

Yıl / Year: 2024 | **Cilt / Volume:** 1 | **Sayı / Issue:** 1 | **Sayfa / Pages:** 12-18

Atıf Formatı / Cite as: Taşan, C., Buyrukoglu, G., Topalcengiz, Z., "Gıda Kaynaklı Zehirlenmelerin Sosyo-demografik Açından İncelenmesi: Hakkâri, Konya ve Muş Örnekleri", Hendese, Cilt 1, Sayı 1, Sayfa 12-18, 2024.

Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Zeynal Topalcengiz

Gıda Kaynaklı Zehirlenmelerin Sosyo-demografik Açından İncelenmesi: Hakkâri, Konya ve Muş Örnekleri

Canan Taşan¹, Gonca Buyrukoğlu², Zeynal Topalcengiz^{*3,4}

¹ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, TÜRKİYE

² Mühendislik Fakültesi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Çankırı, TÜRKİYE

³ Department of Food Science, Center for Food Safety, University of Arkansas System Division of Agriculture, Fayetteville, AR, USA

⁴ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, TÜRKİYE

(Alınış / Received: 02.01.2024, Kabul / Accepted: 20.03.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 26.04.2024)

Anahtar Kelimeler

Gıda güvenliği,
Gıda zehirlenmesi,
Demografik yapı,
Halk sağlığı

ÖZ

Gıda kaynaklı hastalıklar önemli bir halk sağlığı sorunu olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, Hakkâri (n=337), Konya (n=860) ve Muş (n=629) illerinde görülen kayıtlı gıda zehirlenmesi vakalarının sosyo-demografik parametreler açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır. 2010-2019 yılları arasındaki veriler hasta kayıt sistemleri üzerinden geriye dönük tarama yoluyla elde edilmiştir. Sosyo-demografik faktörler (cinsiyet ve yaş) ile illerin yatış protokolüyle zehirlenme türü ilişkisi, cinsiyete göre zehirlenme türü ilişkisi, cinsiyete göre yatış protokolü ilişkisi ve illere göre zehirlenme yaşı ilişkisi karşılaştırılmıştır. Zehirlenme türü ile iller arasındaki ilişki anlamlı bulunmuştur (P<0,05). Konya, karşılaştırma yapılan iller arasında, en çok toplam gıda zehirlenmesinin görüldüğü il olmasına rağmen 100.000 nüfusa karşılık gelen vaka insidansına göre zehirlenme yoğunluğunun en fazla olduğu yer Muş ilidir. İllere göre zehirlenme ve yaş arasındaki ilişki anlamlı bulunmuştur (P<0,05). En çok gıda zehirlenmesi görülen yaş grubunun ise 10-19 yaş arası olduğunu görülmüştür.

Socio-Demographic Investigation of Foodborne Illnesses: Hakkâri, Konya, And Muş Cases

Keywords

Food safety,
Foodborne illnesses,
Demographics,
Public health

ABSTRACT

Food-borne illnesses are considered as an important public health problem. This study aims to evaluate the foodborne illnesses in Hakkâri (n=337) Konya (n=860) and Muş (n=629) provinces of Türkiye in terms of socio-demographic parameters. The dataset was obtained through retrospective scanning through patient registration systems for years between 2010 and 2019. The relationship between socio-demographic factors by gender and the age with foodborne illnesses were compared among provinces. The relationship between foodborne illnesses and the provinces was calculated statistically significant (P<0.05). Among the provinces surveyed, Konya had the largest total number of foodborne illnesses where the highest incidence rate per 100,000 people was seen in Muş. The relationship between the age and number of foodborne illnesses by provinces gave a significant response (P<0.05). The age group with the most foodborne illnesses was determined between the ages of 10-19.

Sorumlu Yazar / Corresponding Author: zeynalt@uark.edu;
z.topalcengiz@alparslan.edu.tr

Cilt / Volume: 1

Sayı / Issue: 1

Atf Formatı / Cite as: Taşan, C., Buyrukoğlu, G., Topalcengiz, Z., "Gıda Kaynaklı Zehirlenmelerin Sosyo-demografik Açından İncelenmesi: Hakkâri, Konya ve Muş Örnekleri", Hendese, Cilt 1, Sayı 1, Sayfa 12-18, 2024.

Doi: 10.5281/zenodo.11068920

1. GİRİŞ

İnsanların sağlıklı yaşamaları, fiziksel olarak gelişimlerini sürdürmeleri amacıyla güvenli gıda tüketmeleri, yeterli ve dengeli beslenmeleri gerekmektedir. Yaşamımızın temel gereksinimi olan gıdalar, çiftlikten çatala kadar geçen süreçte gıda güvenliği açısından yeterince önlem alınmaması sebebiyle zararlı hale gelip vücut sağlığımız için büyük bir tehlike oluşturabilmektedirler [1]. Tüketilen gıdaların; hastalık yapıcı (patojen) mikroorganizmalarla, kimyasal bileşenlerle bulaşması veya toksik içerik barındırması gıda zehirlenmelerine neden olmaktadır [2]. Tarladan sofraya kadar geçen süreçte ürünlerin gıda güvenliğinin etkin bir şekilde sağlanabilmesi için Tehlike Analizleri ve Kritik Kontrol Noktaları (HACCP), İyi Tarım Uygulamaları (GAP), İyi Üretim Uygulamaları (GMP), İyi Hijyen Uygulamaları (GHP) gibi gıda güvenlik ve kontrol sistemleri uygulanmaktadır.

Gıda zehirlenmesi sayıları demografik özellikler ve beslenme biçimi gibi nedenlerden dolayı bölgelere göre farklılık göstermektedir. Gıdaların tüketilmeyecek hale gelmesi için ham maddenin temini, taşınması, işlenmesi ve depolanması esnasında mikroorganizmaların popülasyonlarının artarak istenmeyen sayılara ulaşması kontrolsüz veya uygun olmayan koşulların oluştuğunun kanıtıdır. Bu işlem basamaklarında tüketime hazır gıdaya patojen mikroorganizma bulaşması ve popülasyonunun artması insanlarda çeşitli gıda kaynaklı enfeksiyonlara ve dolayısıyla gıda zehirlenmelerine neden olabilmektedir [3]. Gıda kaynaklı patojenlerin Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) yıllık 6,6 ile 12,7 milyon arasında gıda kaynaklı hastalığa sebep olduğu olduğu hesaplanmaktadır [4]. Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi (CDC) verilerine göre, büyük salgınların medyada daha yaygın görülmesi, ABD'de güvenli yiyeceklerin nasıl güvensiz hale geldiği, salgınların gerçek nedenleri ve gıdanın nasıl tedarik edildiği hakkında sorular ortaya çıkarmaktadır [5]. Virüsler, bakteriler, parazitler ve çeşitli kimyasallar da gıda kaynaklı hastalık salgınlarının nedenleridir. Amerikan Diyetisyen Derneği'nin 003 pozisyon belgesi, gıda kaynaklı hastalık salgınlarının kaynağı olarak sadece gıdaları değil, işelenmiş suyu da vurgulamaktadır [6]. CDC'ye bildirilen birçok salgının nedenleri bilinmemekle birlikte, önde gelen nedenleri viral ve bakteriyeldir [7].

Ekonomik Araştırma Servisi, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Tarım Bakanlığı'nın Amerika'da Etiyolojisi Bilinmeyen Ölüm Araştırması'na göre, bir gıda kaynaklı zehirlenme teşhisi için spesifik kriterleri olan, iki veya daha fazla rapor edilmiş vakayı gıda kaynaklı hastalık olarak tanımlamaktadır; ancak birçok akut gastroenterit vakası bildirilmemekte ve bu durum ABD ekonomisi üzerinde bir yük oluşturmaktadır [8]. Gıda kaynaklı hastalıkların giderilmesinin yıllık toplam maliyetinin milyarlarca dolara mal olduğu hesaplanmaktadır [9-11]. Kurumlarda ve toplu gıda hizmeti veren yerlerde tüketilen gıdaların güvenliği salgınlar için vaka sayısını arttıracak risk faktörüdür [12]. Bu durumun nedenleri ise: epidemiyolojik seleksiyon (salgınların dahil olduğu birçok insanın bireysel vakalara göre kaynağa kadar geri izlenmesi daha olasıdır), gıda hizmetlerinde kalite güvencesinin olmaması ve çalışanların gıda kaynaklı hastalık potansiyelini

önleyen kritik davranışları takip etmemesidir.

Gıda güvenliği insan sağlığında ve beslenmesinde büyük bir öneme sahiptir. Güvenli gıda erişilebilir olmalı ve evimizdeki mutfaktan, toplu beslenme sistemlerine kadar her alanda gerekli özen gösterilmelidir. Zehirlenmeye yol açabilecek üretim hatalarından kaçınılmalıdır. Dünyada ve ülkemizde gıda zehirlenmeleri sık sık karşılaşılan, gerekli tedavi uygulanmadığı durumda morbidite ve mortaliteyle sonuçlanan bir halk sağlığı sorunudur. Bu çalışmada 2010-2020 yılları arasında Hakkâri, Konya ve Muş illerinde yaşanan gıda zehirlenmelerinin sosyo-demografik olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL ve METOT

Bu araştırma Muş Alparslan Üniversitesi'nde yüksek lisans tezi kapsamında yürütülmüş olup, retrospektif bir çalışmadır. Çalışmanın etik kurul izni 13.10.2020 tarih ve E-10879717-050.01.04-11754 sayı ile Muş Alparslan Üniversitesi Etik Kurulu'ndan alınmıştır.

2.1. Materyal

01 Ocak 2010 - 31 Aralık 2019 tarihleri arasında Hakkâri, Konya ve Muş illerinde bulunan devlet hastanelerine gıda zehirlenmesi tanısıyla başvuran 0-60 yaş arası toplam 1826 Muş (n=629), Hakkâri (n=337), Konya (n=860) vakanın klinik ve sosyo-demografik bulguları hasta dosyaları ve hastane otomasyon sistemi üzerinden geriye dönük olarak değerlendirilmiştir. Veriler ICD-10 kodlarına göre taranmıştır [13] (Çizelge 1).

Çizelge 1. Gıda zehirlenmesi ICD 10 teşhis kodları.

ICD-10 Teşhis kodu	N
A05 Bakteriyel zehirlenme, diğer	75
A05.0 Gıda kökenli stafilokok zehirlenmesi	15
A05.8 Gıda zehirlenmeleri, diğer tanımlanmamış	1.525
A05.9 Bakteriyel gıda zehirlenmesi, tanımlanmamış	203
T62.8 Gıda olarak yenilen diğer tanılanmış zararlı maddelerin toksik etkisi	7
T69.9 Düşük ısının etkisi, tanımlanmamış	1

Hedef illere yönelik 2020 yılına ait nüfus sayıları TÜİK ocak ayı verileri referans alınmıştır. Bu verilerde il nüfusları, Hakkâri: 280.514, Konya: 2.250.020, Muş: 411.417 olarak belirtilmiştir [14].

2.2. Verilerin Değerlendirilmesi

Her 100.000 kişide görülen zehirlenme sayısı vaka yoğunluğunu vermektedir. Her üç il için vaka yoğunlukları şu şekilde hesaplanmıştır.

$$Vaka\ yoğunluğu = \frac{Zehirlenme\ sayısı \times 100.000}{il\ nüfusu}$$

Bu çalışmanın istatistiksel analizleri R programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir [15]. Çalışmada istatistiksel analize geçilmeden önce bazı hipotezlerin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiştir. Kategorik değişkenlerin dağılımlarının

birbirinden farklı olup olmadığını anlamak için ki kare (χ^2) testi kullanılmıştır. İki veya daha fazla kategorik yanıtların sayısını karşılaştırmak için ki kare istatistiğinden yararlanılmıştır. Ki kare (χ^2) testi gözlenen ve beklenen frekanslar arasında farkın belirlenmesi temeline dayanmaktadır ve nitel verilerin analizinde kullanılmaktadır. Ayrıca, ki kare (χ^2) testi iki ve daha fazla grup arasındaki farkın ve iki değişken arasında bağlantının olup olmadığını test incelemek, gruplar arasındaki homojenlik testinde, ve örneklem dağılımının teorik dağılımlarla karşılaştırılmasında kullanılmaktadır. Test dört gözlü ve çok gözlü düzenlerde uygulanabilmektedir.

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{Gözlenen değer} - \text{Beklenen değer})^2}{\text{Beklenen değer}}$$

Karşılaştırmalarda örneklem boyutu küçük olduğunda ise Fisher exact test kullanılmıştır. P değerinin 0.05 in altında olduğu durumlar istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

Ki kare çizelgesindeki gözlerin (hücrelerin) hepsinde beklenen gözlem sayısı 5 ve 5'i geçiyorsa burada Pearson ki-kare testi uygulanmaktadır. Ki-kare çizelgesinde 5'ten küçük beklenen değerlerin yer aldığı hücrelerin oranı %20'yi geçiyorsa Pearson ki-kare testinden elde edilen veri kullanılamamaktadır. 2 çarpı 2 gözlü ki kare çizelgesindeki gözlerin (hücrelerin) herhangi birinde beklenen gözlem sayısı 5'in altında ise burada Fisher's exact ki-kare testi uygulanmıştır.

3. BULGULAR

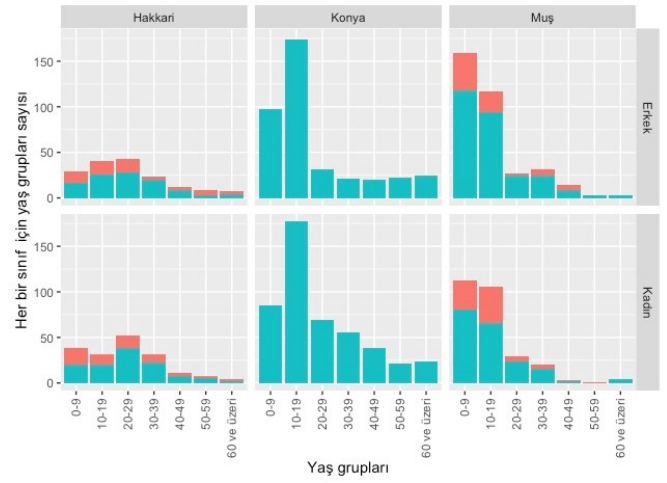
Araştırma Hakkâri (n=337), Konya (n=860) ve Muş (n=629) illerindeki devlet hastanelerine gıda zehirlenmesi tanısıyla başvuran Sağlık Bakanlığı kayıtlarına geçmiş toplam 1.826 kayıt incelenmiştir.

3.1. Vakaların Demografik Özellikleri

Vakaların %49,67'si (n=906) erkek iken %50,33'ü (n=917) kadındır. Çalışmada vakaların yaşlarına göre 7 ayrı grup oluşturularak, vakaların yaş grupları arasındaki dağılımları incelenmiştir. Buna göre katılımcıların %29'unun (n=527) "0-9 yaş aralığında" olduğu belirlenirken, %35'inin (n=645) "10-19 yaş aralığında", %14'ünün (n=251) "20-29 yaş aralığında" %10'unun (n=182) "30-39 yaş aralığında", %5'inin (n=98) "40-49 yaş aralığında", %3'ünün (n=63) "50-59 yaş aralığında" ve %4'ünün (n=66) "60 yaş ve üzeri" olduğu belirlenmiştir.

3.2. Vaka Demografik Dağılımları

Şekil 1, R programında ggplot2 paketi kullanılarak çizilmiştir [16]. Aynı zamanda her iki cinsiyette ve her üç ilde her yaş grubuna düşen kişilerin frekans sayısını görülmektedir. Turuncu renk bakteriyel gıda kaynaklı zehirlenmeleri, mavi renk ise bütün gıda kaynaklı zehirlenmelerini göstermektedir. İllere göre bakteriyel kaynaklı zehirlenme ve gıda kaynaklı zehirlenme dağılımları izlenmektedir.



Şekil 1. Yaş gruplarına göre vaka sayılarının bakteriyel (■) ve gıda kaynaklı (■) olarak dağılımı.

Muş ve Hakkâri illerinde vakalarda hem bakteriyel kaynaklı gıda zehirlenmesi hem de gıda kaynaklı zehirlenmesi görülürken, Konya ilindeki vakalarda erkek ve kadınlarda yalnızca gıda kaynaklı zehirlenme görülmüştür. 100.000 nüfusa karşılık gelen vaka sayısını gösteren insidansa göre zehirlenme yoğunluğunun en fazla olduğu il 153 kişiyle Muş ili, ikinci sırada 120 kişiyle Hakkâri ili, üçüncü sırada 33 kişiyle Konya ili izlenmiştir.

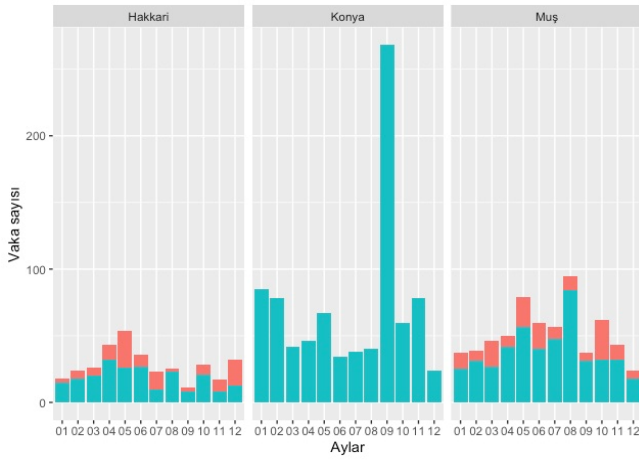
Gençler ve çocuklarda zehirlenme sayıları her iki cinsiyette ve her üç ilde daha fazla görülmüştür. Konya ilinin vaka sayısı grafiğinde 150'den fazla 10-19 yaş grubu çocuğun zehirlenmesi bu grubun hassas nüfus sınıfında olduğu gerçeğini somut bir şekilde ortaya çıkarmaktadır.

Muş ili vaka sayısı grafiği değerlendirildiğinde ise en çok zehirlenme sayısının 0-9 yaş grubu ile 10-19 yaş grubunda olduğu gözlenmektedir. Grafikte özellikle 10-19 yaş grubu zehirlenme sayısının 150 kişinin üzerine çıktığı, 100 kişiden fazlasının gıda kaynaklı olurken geriye kalan vaka sayılarının bakteri kontaminasyonu kaynaklı gıda zehirlenmesi olduğu görülmektedir.

3.3. Vaka Zaman Dağılımları

Şekil 2 her üç ilde aylara düşen kişilerin frekans sayısını göstermektedir. Ayrıca, illere ve aylara göre bakteriyel kaynaklı zehirlenme ve gıda kaynaklı zehirlenme dağılımları görülmektedir. Aylara göre zehirlenme vaka sayıları illere göre değerlendirildiğinde birbirine yakın dağılım göstermiştir. Ancak Konya ili vaka grafiği değerlendirildiğinde eylül ayında vaka sayılarında ciddi bir artış gözlenmiştir, yine il grafiğine göre en az vaka aralık ayında görülmüştür.

Muş ili vaka grafiği değerlendirildiğinde vaka sayılarının ağustos ayında artış gösterdiği görülmüştür. Bakteriyel kaynaklı gıda zehirlenmelerinin ise en çok ekim ayında yaşandığı görülmektedir.



Şekil 2. Aylara göre vaka sayılarının bakteriyel (■) ve gıda kaynaklı (■) olarak dağılımı.

3.4. Analiz Sonuçları

Zehirlenme türüyle yatış protokolü arasında bir ilişki olup olmadığı incelenmiş ve sonuçlar Hakkâri, Muş ve Konya illeri için Çizelge 2’de verilmiştir. Hakkâri ilinden alınan vaka verileri için yapılan Pearson Ki Kare test sonucuna göre $\chi^2=0,3198$, $P=0,5723$ bulunmuştur. Zehirlenme türüyle yatış protokolü arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır ($P>0,05$). Muş ilinden alınan vaka verileri için zehirlenme türüyle yatış protokolü arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır ($P=0,57>0,05$). Muş ili için gözlem değerlerinin iki tanesinin 5’ten küçük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla Muş ili için Fisher’s Exact testi uygulanmıştır. Her iki zehirlenme türü için de hastalık ağır seyrettiğinde hastaneye yatış verilebilir, ya da hafif atlatılacağı düşünülerek, poliklinikte tedavisi uygulanabilmektedir. Konya ili verilerinde yalnızca “gıda kaynaklı zehirlenme türü” mevcut olduğundan ki kare (χ^2) testi uygulanmamıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. İllerin zehirlenme türü ile yatış protokolü ilişkisi.

İl	Zehirlenme Türü	Poliklinik (%)	Yatış (%)	N	χ^2	P
Hakkâri	Bakteriyel	101 (%30)	15 (%4,5)	116	0,31	0,57
	Gıda kaynaklı	197 (%58,5)	24 (%7,1)	221		
Konya	Bakteriyel	0 (%0)	0 (%0)	0		
	Gıda kaynaklı	764 (%89)	96 (%11)	860		
Muş	Bakteriyel	162 (%25,8)	0 (%0)	162	5,00	0,25
	Gıda kaynaklı	463 (%73,6)	4 (%0,6)	467		
N		1.637	139	1.826		

Hakkâri ilinden alınan vaka verileri için Pearson Ki Kare analizi sonuçlarına göre zehirlenme türleriyle cinsiyet arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır ($P>0,05$). Analiz sonucunda ise $\chi^2=0,00$, $P=0,98$ bulunmuştur. Muş ilinden alınan vaka verileri için zehirlenme türleriyle cinsiyet arasındaki ilişki anlamlı bulunmamıştır ($P>0,05$). Muş ili için yapılan Pearson Ki Kare analizi sonuçlarına göre $\chi^2=5,00$ ve $P=0,25$ olarak elde edilmiştir. (Çizelge 3).

Çizelge 3. İllere göre cinsiyet ile zehirlenme türü ilişkisi.

İl	Zehirlenme Türü	Erkek (%)	Kadın (%)	N	χ^2	P
Hakkâri	Bakteriyel	56 (%17)	60 (%18)	116	0,00	0,98
	Gıda kaynaklı	107 (%32)	114 (%33)	221		
Konya	Bakteriyel	0	0	0		
	Gıda kaynaklı	390 (%45)	470 (%55)	860		
Muş	Bakteriyel	79 (%13)	83 (%13)	162	5,00	0,25
	Gıda kaynaklı	275 (%44)	192 (%30)	467		
N		1.637	139	1.826		

Zehirlenme türleriyle iller arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur ($P<0,05$). $\chi^2=304,71$, $P=2,2e^{-16}$ şeklindedir. Elde edilen sonuçlara göre en çok vaka görülen il n=860 zehirlenme vakasıyla Konya ili olarak belirlenmiştir.

Yapılan değerlendirme sonucu cinsiyetle yatış protokolü arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır ($P>0,05$). Pearson Ki kare analizi sonuçları $\chi^2=3,142$, $P=0,0763$ olarak hesaplanmıştır.

İllere göre zehirlenme yaşı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmuştur ($P<0,05$). Pearson’s ki kare test sonucuna göre $\chi^2=233,24$, $P=2,2e^{-16}$ bulunmuştur. En çok zehirlenme görülen yaş grubu ise 10-19 yaş grubu olmuştur. Bu da savunmasız grubun daha fazla risk altında olduğu gerçeğini ortaya koymaktadır (Çizelge 4).

Çizelge 4. İllere göre zehirlenme yaşı ilişkisi.

Yaş Grupları	Hakkâri	Konya	Muş	N	χ^2	P
0-9 yaş aralığı	67 (%20)	183 (%21)	271 (%43)	521	233,24	2,2.10 ⁻¹⁶
10-19 yaş aralığı	71 (%21)	351 (%41)	223 (%35)	645		
20-29 yaş aralığı	95 (%28)	100 (%12)	56 (%9)	251		
30-39 yaş aralığı	54 (%16)	77 (%9)	51 (%8)	182		
40-49 yaş aralığı	23 (%7)	58 (%7)	17 (%3)	98		
50-59 yaş aralığı	16 (%5)	43 (%5)	4 (%1)	63		
+60 yaş ve üzeri	11 (%3)	48 (%6)	7 (%1)	66		
N	337	860	629	1.826		

Aylara göre zehirlenme türü arasında istatistiksel ilişki anlamlı olup Pearson’s ki kare test sonucuna göre $\chi^2=100,52$, $P=2,2e^{-16}$ şeklinde bulunmuştur ($P<0,05$). Zehirlenme türleri aylara göre farklılık göstermektedir. En çok zehirlenme görülen ay ise n=316 zehirlenme vakasıyla eylül ayı olmuştur (Çizelge 5). Mevsimlere göre zehirlenme sayıları ise kış mevsiminde 361, ilkbaharda n=453, yaz mevsiminde n=408, sonbaharda ise n=604 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 5. Aylara göre zehirlenme türü ilişkisi.

Aylar	Bakteriyel	Gıda	Toplam (%)	χ^2	P
Ocak	15	125	140 (%7.7)	100.52	2.2e ⁻¹⁶
Şubat	14	127	141 (%7.7)		
Mart	25	89	114 (%6.2)		
Nisan	19	120	139 (%7.6)		
Mayıs	50	150	200 (%11)		
Haziran	29	101	130 (%7.1)		
Temmuz	22	96	118 (%6.5)		
Ağustos	13	147	160 (%8.8)		
Eylül	9	307	316 (%17.3)		
Ekim	37	113	150 (%8.2)		
Kasım	20	118	138 (%7.6)		
Aralık	25	55	80 (%4.3)		
Toplam	278	1528	1826 (%100)		

4. TARTIŞMA

Bu araştırmada 2010-2019 yılları arasında Türkiye’de yer alan Hakkâri (n=337), Konya (n=860) ve Muş (n=629) illerindeki gıda zehirlenmeleri vakaları sosyo-demografik olarak incelenmiştir. Sosyo-demografik faktörler (cinsiyet ve yaş) ile illerin yatış protokolüyle zehirlenme türü ilişkisi, cinsiyete göre zehirlenme türü ilişkisi, cinsiyete göre yatış protokolü ilişkisi ve illere göre zehirlenme yaşı ilişkileri analiz edilmiştir. Zehirlenme türü yatış protokolü ilişkisinde, gıda kaynaklı zehirlenmelerde yatırılarak tedavinin en fazla yapıldığı il Konya ili (%11), ikinci sırada ise Hakkâri ili (%7,1), üçüncül sırada ise Muş ili (%0,6) saptanmıştır. Bakteriyel kaynaklı gıda zehirlenmeleri vakalarında ise yatırılarak tedavi edilen vakalar sadece Hakkâri (%4,5) ilinden alınan verilerde saptanmıştır. Yatırılarak tedavi edilme oranlarında farklılık görülmesi ise gıda zehirlenmelerinin kültüre, yaşanan yere, tüketilen besine ve toksik doza göre farklılık göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bakteriyel zehirlenme vakalarının en çok görüldüğü il Muş (%58), ikinci sırada ise Hakkâri (%42) ili olarak saptanmıştır. Gıda kaynaklı zehirlenme vakalarında ise Konya (%56) en fazla vakanın görüldüğü il olurken ikinci sırada Muş (%30), Hakkâri (%14) ilinin ise üçüncü sırada olduğu saptanmıştır. Bakteriyel kaynaklı zehirlenme sayısının Konya ili vakalarında bulunmaması vakaların hastane kayıt sistemlerine yanlış girilmesi, kayıtların eksik tutulması veya hasta anamnezinin ayrıntılı bir şekilde yapılmayışından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. En çok gıda kaynaklı vakanın Konya ilinde görülmesinin sebebi ise il nüfusunun daha çok oluşu ve en fazla verinin Konya ilinden (n=860) olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Hall ve Curry [17] çalışmasında gıda zehirlenmesi vakalarının %75’inin, Weir ve Ardagh [18] ise %70’inin 35 yaş altında olduğu belirmişlerdir. Literatüre uyumlu olan verilerimiz de ise gıda zehirlenme vakalarının %83’ünün 35 yaş altında olduğu analiz edilmiştir. Yaşa göre zehirlenme sayısı için yapılan değerlendirmede zehirlenme vakalarının en çok 10-19 yaş grubunda (%35), ikinci sıklıkla 0-9 yaş grubunda (%29) olduğu saptanmıştır (Çizelge 4). Ayrıca, 0-19 yaş grubu aralığındaki zehirlenme oranı verilerin %64’ünü oluşturmaktadır. Çocuk ve genç nüfustaki zehirlenme oranının

fazla olması bu gruba güvenilir gıdaya erişimin arttırılmasının önemini vurgulamaktadır. Muş ili vaka verilerinin toplam 0-19 yaş grubu zehirlenmesine oranı %43 bulunmuştur. Muş ili zehirlenme vaka sayılarının sebepleriyle ve neden olan mikroorganizmayla incelenip, zehirlenmeyi önleyecek çalışmalar yapılmasının bu oranı azaltacağı düşünülmektedir.

Adnan Menderes Üniversitesi acil servisine 2010-2013 yılları arasında başvuran 32.891 vakadan 156’sı zehirlenme vakası, bunlardan ise %13’ü gıda zehirlenmesi vakası olarak saptanmıştır [19]. Bu dört yıllık periyotta, en fazla zehirlenmenin görüldüğü yaş grubu aralığı 15-24 yaş arası olup, zehirlenmelerin çoğu oral yolla gerçekleşmiştir [19]. Bir başka zehirlenme vakası olarak, Muğla Marmaris ilçesinde 2013 yılında 116’sı acil servise olmak üzere poliklinik ve diğer hastanelere başvuran toplam 136 kişiden karın ağrısı, bulantı, kusma veya ishal şikayetlerinden biri veya birkaçının belirlendiği beş kişinin yatırılarak tedavi edildiği, birçoğunun ise birkaç saatlik gözlem sonrası taburcu edildiği belirtilmiştir [20]. Olası vaka tanımına göre 77 vakadan %66’sı erkek, %34’ü kadın olarak kaydedilmiştir. Güneş-Çelebi ve ark. [21] tarafından yapılan bir başka çalışmada Adıyaman’ın Kahta ilçesinde bulunan bir kız öğrenci yurdunda 24 Şubat 2015 yılında yaşanan 227 kişinin zehirlendiği bir gıda zehirlenmesi vakası araştırılmıştır. Öğretmen, öğrenci ve yurt personeline akşam yenilen yemek/yemekler sonucu salgının olduğu düşünülmüştür. Olası vaka; karın ağrısı, mide bulantısı, ishal şikayetlerinden herhangi biri olarak belirlenmiştir. Gıda numuneleri için koagülaz pozitif stafilokok, *Salmonella* spp. Sülfite indirgeyen anaerob bakteri, *Bacillus cereus* açısından incelenmiştir. Vakaların %97,8’i kadın, %2,2’si erkek olarak kaydedilmiştir. Gıda kaynaklı zehirlenme vakalarının %71,4 [22] ve %54,4’ünün [23] erkek olarak tespit edildiği Türkiye odaklı çalışmalar vardır. Bu çalışmada ise zehirlenme vakalarının %49,7 sinin erkek olduğu saptanmıştır (Çizelge 1). Bunun sebebinin ise Muş ve Hakkâri il nüfuslarında erkek nüfusun daha çok olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sağlık İstatistikleri Yıllığı 2019 verilerine bakıldığında; gıda zehirlenmesi vakalarının da içerisinde yer aldığı “Bazı Enfeksiyöz ve Paraziter Hastalıklar (ICD-10 Ana Tanı Kodu: A00-B99)’ın hastane yatışlarının dağılımının 2016 yılında %2,6, 2017 yılında, %2,4, 2018 yılında ise %2,3”, “Yaralanma, Zehirlenme ve Dış Nedenlerin Diğer Bazı Sonuçların (ICD-10 Ana Tanı Kodu: S00-T98)” hastane atışlarının dağılımının 2016 yılında %5, 2017 yılında %5,3, 2018 yılında ise %4,8 olduğu kaydedilmiştir [13]. Bu çalışmada ise yatış oranının %7,6 olduğu saptanmıştır.

Elde ettiğimiz verilerin değerlendirilmesi sonucunda her 100.000 nüfusa karşılık gelen zehirlenme yoğunluğu oranları: Hakkâri ilinden alınan verilere göre 120 kişi, Konya ili verilerine göre 33 kişi, Muş ili verilerine göre 153 kişi bulunmuştur. Verilerin güvenilir ve düzenli tutulduğu varsayıldığında 100.000 nüfusa karşılık gelen zehirlenme yoğunluğuna göre en fazla gıda zehirlenmesi yaşanan il Muş olmuştur.

Yatırılarak tedavi edilen kadın oranının (%9), yatırılarak tedavi edilen erkeklerin oranından (%7) daha fazla olduğu, ve bununla orantılı olarak ayakta tedavi edilen erkeklerin oranının

(%93), ayakta tedavi edilen kadınların oranından (%91) daha fazla olduğu saptanmıştır. Bu durumun nedeni ise kadın ve erkek metabolizmasının hastalıklara karşı gösterdiği tepkinin birbirinden farklı olması gibi gıda zehirlenmesi vakalarında da farklı cevap vermelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ülkemizde yapılan çalışmalarda zehirlenme vakalarında ilkbahar ve yaz aylarında belirgin artış yaşanmıştır [24,25]. Çalışmamızda literatürden farklı olarak mevsimsel analiz yapıldığında en fazla zehirlenme vakası sonbahar (n=604), ilkbaharda ise (n=453) vakayla bahar mevsimlerinde görülmüştür. Bu değerlendirmeye göre bahar mevsimlerinde daha çok zehirlenildiği tespit edilmiştir.

Günümüzde, gıda üretiminin büyük üretim merkezlerinde yapılması ve üretilen gıdaların farklı yollarla transfer edilerek satışa sunulması salgın yaygınlığını artırmaktadır [26]. Toplumun büyük kesimini etkileyen, ekonomik kayıplara sebep olan ve bireylerin yaşam kalitesi üzerinde olumsuz etkileri olan gıda kaynaklı hastalıklar önemli bir halk sağlığı sorunu olarak değerlendirilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından "gıda veya suyun tüketilmesiyle oluşabilen enfeksiyon veya toksik karakterli hastalık olarak" tanımlanan gıda kaynaklı hastalıklar her yıl çok sayıda kişiyi etkilemektedir. İkiyüzelli'den fazla bilinen gıda kaynaklı hastalık bulunmaktadır ve bunların sebebi olarak değişik tipte birçok mikroorganizma kaydedilmiştir [27]. Dünya Sağlık Örgütü'nün de üzerinde durduğu üzere her yıl birçok insanın sağlığını tehdit eden gıda kaynaklı hastalıkların önlenmesi, tedavinin doğru ve zamanında uygulanabilmesi için hasta kayıtlarının daha titiz bir şekilde tutularak, gerekli tetkikler sonucunda zehirlenmenin kaynağı, sebep olan mikroorganizma kayıtlara işlenmelidir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, Hakkâri, Muş ve Konya illerinde, 2010-2019 yılları arasında yaşanan gıda zehirlenmesi vakalarını sosyo-demografik açıdan değerlendirebilmek amacıyla 1.826 kişiyi kapsayan, hastanelerin hasta kayıt sistemlerinden elde edilen veriler toplanmıştır. Değerlendirilen vakaların 906 kişisi erkek, 917 kişi kadındır. Yaptığımız değerlendirme sonucunda 100.000'de görülen zehirlenme sayıları Hakkâri ilinden alınan vaka sayıları için: 120 kişi, Konya ili için: 33 kişi, Muş ili için ise 153 kişi olarak hesaplanmıştır. Bu üç ilden alınan verilere göre Muş ilinde bu oranın yüksek oluşunun nedenlerinin araştırılması zehirlenmelerin engellenebilmesi için gerekli olduğu düşünülmektedir.

Gıda kaynaklı hastalıkların azaltılması ve önlenmesi sadece ilgili denetleme kurumlarının çalışmalarıyla sağlanamamaktadır. Gıdaların kontaminasyonu hasat öncesi tarlada, hasat sonrası proses ve paketleme işlemlerinde, depolama sırasında, marketlerde ve son tüketim öncesi mutfaklarda gerçekleşebilir. Hasat öncesi farklı bölgesel koşullar, mevsimsel değişkenler ve tarımsal su kalitesi gibi faktörler ile hasat anı ve hasat sonrası hijyen ve sanitasyon, soğuk zincirin sürekliliği ve saklama koşullarında gıdalara kontaminasyon riskini ve patojenlerin ürün üzerinde sağkalımını etkilenmektedir. Tüketici bilinci ve alışkanlıkları ise tarladan çatala anlayışının son basamağı olarak gıda güvenliğinin önemli bir ayağıdır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar çalışmanın sonuçlanmasına ve yürütülmesinde idari ve gönüllü katkı sağlayan Sağlık Bakanlığı'na ve Muş Alparslan Üniversitesi'ne teşekkür etmektedir. Makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Erkmen, O., "Gıda kaynaklı tehlikeler ve güvenli gıda üretimi", Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi, Cilt 53, Sayfa 220-235, 2010.
- [2] Urazel, B., Çelikel, A., Karbeyaz, K., Akkaya, H., "Gıda zehirlenmesine bağlı rapor düzenlenen adli olguların değerlendirilmesi", Dicle Tıp Dergisi, Cilt 41, Sayı 1, Sayfa 113-117, 2014.
- [3] Durlu-Özkaya, F., Cömert, M., "Gıda zehirlenmelerinde etken faktörler", Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, Cilt 65, Sayı 3, Sayfa 149-159, 2008.
- [4] Scallan, E., Hoekstra, R.M., Angulo, F.J., Tauxe, R.V., Widdowson, M.A., Roy, S.L., Jones, J.L., Griffin, P.M., "Foodborne illness acquired in the United States--major pathogens", Emerging Infectious Diseases, Cilt 17, Sayı 1, Sayfa 7-15, 2011.
- [5] CDC (Centers for Disease Control and Prevention), "Challenges in Food Safety", <https://www.cdc.gov/foodsafety/challenges/index.html>, December 23, 2023.
- [6] Gerald, B.L., Perkin, J.E., "Position of the American Dietetic Association: Food and water safety", Journal of the American Dietetic Association, Cilt 103, Sayı 9, 1203-1218, 2003.
- [7] CDC (Centers for Disease Control and Prevention), "Diseases and Organisms in Healthcare Settings", <https://www.cdc.gov/hai/organisms/organisms.html>, December 23, 2023.
- [8] Frenzen, P.D., "Mortality due to gastroenteritis of unknown etiology in the United States", The Journal of Infectious Diseases, Cilt 187, Sayı 3, 441-452, 2003.
- [9] Dhaliwal, S., Hoffmann, S., White, A., Ahn, J.W., McQueen, R. B., Scallan Walter, E., "Cost of Hospitalizations for leading foodborne pathogens in the United States: Identification by international classification of disease coding and variation by pathogen", Foodborne Pathogens and Disease, Cilt 18, Sayı 11, Sayfa 812-821, 2021.
- [10] Hoffmann, S., Batz, M.B., Morris Jr, J.G., "Annual cost of illness and quality-adjusted life year losses in the United States due to 14 foodborne pathogens", Journal of Food Protection, Cilt 75, Sayı 7, Sayfa 1292-1302, 2012.
- [11] Scharff, R.L., "State estimates for the annual cost of foodborne illness", Journal of Food Protection, Cilt 78, Sayı 6, Sayfa 1064-1071, 2015.
- [12] Dewey-Mattia, D., Manikonda, K., Hall, A.J., Wise, M.E., Crowe, S.J., "Surveillance for Foodborne Disease Outbreaks - United States, 2009-2015", Morbidity and mortality weekly report. Surveillance summaries (Washington, D.C. : 2002), Cilt 67, Sayı 10, Sayfa 1-11, 2018.
- [13] Sağlık Bakanlığı, "T.C. Sağlık Bakanlığı Sağlık İstatistikleri Yılı 2019", <https://www.saglik.gov.tr/Eklenti/40564/0/saglik-istatistikleri-yilligi-2019pdf.pdf>, December 23, 2023.
- [14] TÜİK, "Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi", <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr>, December 23, 2023.
- [15] R Core Team, R., "R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria", <https://www.R-project.org/>, December 23, 2023.
- [16] Wickham, H., "ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis", Springer International Publishing, Cham, 2016.

- [17] Hall, A.K., Curry, C., “Changing epidemiology and management of deliberate self poisoning in Christchurch”, *The New Zealand Medical Journal*, Cilt 107, Sayı 987, Sayfa 396–399, 1994.
- [18] Weir, P., Ardagh, M., “The epidemiology of deliberate self poisoning presenting to Christchurch Hospital Emergency Department”, *The New Zealand Medical Journal*, Cilt 111, Sayı 1063, Sayfa 127–129, 1998.
- [19] Kurt, İ., Güner, E., Kurt, N., Gürel, A., “Adnan Menderes Üniversitesi'nde izlenen zehirlenme olguları”, *ADÜ Tıp Fakültesi Dergisi*, Cilt 5, Sayı 3, Sayfa 37-40, 2004.
- [20] Tutuş, C., Börekçi, D., Parcıklı, G., Temel, F., Sucaklı, M.B., “2013 yılında Muğla ili Marmaris ilçesinde görülen *Staphylococcus aureus* enterotoksin kaynaklı gıda zehirlenmesinin değerlendirilmesi”, *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, Cilt 73, Sayı 2, Sayfa 131-138, 2016.
- [21] Güneş-Çelebi, Z., Börekçi, D., Sezen, F., Temel, F., Dost, M., “Adıyaman İli Kâhta İlçesinde Bir Öğrenci Yurdunda Görülen Gıda Kaynaklı Salgın, Şubat 2015”, *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, Cilt 75, Sayı 2, Sayfa 175-182, 2018.
- [22] Bütün, C., Beyaztaş, F.Y., Engin, A., Büyükkayhan, D., Can, M., “Cumhuriyet üniversitesi tıp fakültesi adli tıp anabilim dalı'na başvuran besin zehirlenmesi olgularının değerlendirilmesi”, *Van Tıp Dergisi*, Cilt 16, Sayı 1, Sayfa 19-23, 2009.
- [23] Oğur, S., “Bitlis Devlet Hastanesi'nde 2010-2016 yılları arasında görülen gıda zehirlenmesi vakalarının incelenmesi”, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt 8, Sayı 3, Sayfa 932-946, 2019.
- [24] Bostancı İ., Küpelioğlu, M., Bedir, E., Cinbiş, M., Akşit, M.A., “Çocuk zehirlenme olgularının retrospektif değerlendirilmesi”, *Türkiye Klinikleri Pediatri Dergisi*, Cilt 8, Sayı 8, Sayfa 143-146, 1999.
- [25] Biçer, S., Sezer, S., Çetindağ, F., Kesikminare, M., Tombulca, N., Aydoğan, G., Aldemir, H., “Çocuk acil kliniği 2005 yılı akut zehirlenme olgularının değerlendirilmesi”, *Marmara Medical Journal*, Cilt 20, Sayı 1, Sayfa 12-20, 2015.
- [26] Aşkar, Ş., Mumcu, F., Ünal, N., Yıldırım, M., “Kırıkkale ve yöresindeki süt sığırı ve koyunlar ile bunların yetiştiricilerinde *brucella* antikoru varlığının araştırılması”, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, Cilt 24, Sayı 3, 113-116, 2013.
- [27] WHO (World Health Organisation), “Food safety”, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>, December 23, 2023.



MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
HENDESE TEKNİK BİLİMLER VE MÜHENDİSLİK DERGİSİ
MUŞ ALPARSLAN UNIVERSITY
JOURNAL OF HENDESE TECHNICAL SCIENCES AND ENGINEERING

Muş Alparslan Üniversitesi Külliyesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 49250, Muş, Türkiye

<https://dergipark.org.tr/en/pub/hendese/board>

HENDESE Nisan 2024, 1 (1): 1-49

Cilt / Volume: 1

Sayı / Issue: 1

Yıl / Year: 2024

**Güneş Enerjisi ile Aydınlanan Bir Yaşam: Siirt'te 15 Kw'lik Bağ
Evi Fotovoltaik Sistemi**

A Sunlit Life with Solar Energy: A 15 Kw Off-Grid House in Siirt
Equipped with A
Photovoltaic System

M. Süleyman Olgun¹, Ebuzer Cengiz², Rifat Evin³

¹ Mühendislik Fakültesi, Siirt Üniversitesi, Siirt, TÜRKİYE

msolgun11@gmail.com - [ORCID](https://orcid.org/0009-0000-8691-3174) > [0009-0000-8691-3174](https://orcid.org/0009-0000-8691-3174)

² Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Siirt Üniversitesi, Siirt, TÜRKİYE

ebuzer.cengiz@siirt.edu.tr - [ORCID](https://orcid.org/0000-0001-5292-3470) > [0000-0001-5292-3470](https://orcid.org/0000-0001-5292-3470)

³ T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Batman / Merkez - Mevlana Ortaokulu, Batman, TÜRKİYE

rifatevin@gmail.com - [ORCID](https://orcid.org/0009-0003-8873-0664) > [0009-0003-8873-0664](https://orcid.org/0009-0003-8873-0664)

Makale Bilgisi / Article Information

Makale Türü / Article Types: Araştırma Makalesi/Research Article

Geliş Tarihi / Received: 31 Ocak/January 2024

Kabul Tarihi / Accepted: 21 Mart/March 2024

Yıl / Year: 2024 | **Cilt / Volume:** 1 | **Sayı / Issue:** 1 | **Sayfa / Pages:** 19-27

Atıf Formatı / Cite as: Olgun, M.S, Cengiz, E., Evin, R., "Güneş Enerjisi ile Aydınlanan Bir

Yaşam: Siirt'te 15 Kw'lik Bağ Evi Fotovoltaik Sistemi",

Hendese, Cilt 1, Sayı 1, Sayfa 19-27, 2024.

Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ebuzer Cengiz

Güneş Enerjisi ile Aydınlanan Bir Yaşam: Siirt'te 15 Kw'lık Bağı Evi Fotovoltaik Sistemi

M. Süleyman Olgun¹, Ebuzer Cengiz^{*2}, Rifat Evin³

¹ Mühendislik Fakültesi, Siirt Üniversitesi, Siirt, TÜRKİYE

² Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Siirt Üniversitesi, Siirt, TÜRKİYE

³ T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Batman / Merkez - Mevlana Ortaokulu, Batman, TÜRKİYE

(Alınış / Received: 31.01.2024, Kabul / Accepted: 21.03.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 26.04.2024)

Anahtar Kelimeler

Güneş Enerjisi,
Türkiye'de Güneş Enerji
Potansiyeli,
Siirt'te Güneş Enerji
Potansiyeli

ÖZ

Bu makale, Siirt'te kurulu 15 kW'lık bir bağı evi fotovoltaik sistemi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Sistemdeki genel kayıpların %9 olduğu vurgulanmıştır, bu kayıpların kabloların dirençleri, invertörlerin verimsizlikleri ve diğer sistem bileşenlerinin performans kayıplarından kaynaklanabileceği ifade edilmektedir. Ayrıca, PV sistemlerinde yaygın olarak kullanılan Performance Ratio (PR) değerinin sistemin gerçek üretim performansının teorik olarak beklenen performansa oranını temsil ettiği belirtilmiştir. Bu değerlerin, sistemin performansını değerlendirme ve geliştirme sürecinde önemli bir araç olduğu vurgulanmıştır. Kollektör kaybının %81 olduğu ve toplam kayıpların görselleştirildiği diyagramda, güneş enerjisinin dönüştürülme sürecindeki yüksek kayıpların vurgulandığı ve bu kayıpların panel yüzeyine gelen güneş ışınlarının kısmen ısıya dönüşmesiyle meydana geldiği açıklanmıştır. Bu verilerin, güneş enerjisi sisteminin performansını değerlendirme ve iyileştirme sürecinde kritik bir rol oynadığı belirtilmiştir.

A Sunlit Life with Solar Energy: A 15 Kw Off-Grid House in Siirt Equipped with A Photovoltaic System

Keywords

Solar Energy,
Solar Energy potential in
Turkey,
Solar Energy potential in
Siirt

ABSTRACT

This article focuses on a 15-kW photovoltaic system installed in Siirt. It highlights that the overall losses in the system are 9%, attributed to losses in cables' resistances, inverters' inefficiencies, and other component performance losses. Additionally, it is mentioned that the Performance Ratio (PR) value commonly used in PV systems represents the ratio of the actual production performance to the theoretically expected performance of the system. These values are emphasized as crucial tools in evaluating and improving system performance. It is noted that collector losses account for 81% of the total losses, as illustrated in the diagram, indicating significant losses during the conversion of solar energy, partly due to the conversion of incoming solar radiation into heat on the panel surface. These data are highlighted as playing a critical role in evaluating and enhancing the performance of solar energy systems.

1. GİRİŞ

Günümüzde, enerji kaynaklarına olan talep sürekli bir artış göstermektedir ve bu durum, mevcut kaynakların sınırlılığı gerçeğiyle birleştiğinde enerji sektöründe önemli zorluklara neden olmaktadır [1-3]. Bu zorluklar karşısında, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi giderek artmaktadır. Bu bağlamda, güneş enerjisi, geleceğe yönelik umut verici bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Güneş enerjisi, güneşten gelen ışık ve ısı enerjisini kullanarak elektrik veya ısı enerjisi elde etmeyi sağlayan bir yöntemdir. Çevresel etkileri minimal düzeyde olması ve sınırsız bir kaynak olması, güneş enerjisinin enerji sektöründe devrim yaratma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Güneş enerjisinin temelini oluşturan fotovoltaik sistemler, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilen teknolojilerdir. Bu sistemler, güneş ışınlarını absorbe eden fotovoltaik hücreler aracılığıyla elektrik üretirler [4-8]. Bu özellikleri sayesinde, güneş enerjisi evlerden endüstriyel tesislere kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ayrıca, güneş enerjisi sadece elektrik üretimiyle sınırlı değildir; güneş termal sistemler, güneş enerjisini kullanarak ısı enerjisi üretmeyi sağlar. Bu sistemler, güneş ışığını absorbe ederek akışkanları veya termal yağları ısıtarak ısı enerjisi elde ederler [9]. Güneş enerjisinin sürdürülebilir bir geleceğin anahtarı olduğu düşünülmektedir. Fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltması, sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltması ve enerji maliyetlerini düşürmesi gibi avantajları, güneş enerjisinin çekiciliğini artırmaktadır. Ayrıca, güneş enerjisi kaynaklarının yenilenebilir olması, güneş enerjisinin sürekli bir enerji kaynağı olacağına garanti olarak öne çıkar. Ancak, güneş enerjisinin kullanımıyla ilgili bazı zorluklar bulunmaktadır. Güneş enerjisi, güneşin doğal döngüsüne bağlı olduğu için güneş ışığına ve hava koşullarına bağlıdır, bu da üretimi belirli zamanlarda etkileyebilir [10,11]. Ayrıca, güneş enerjisi sistemlerinin yüksek maliyeti ve altyapı gereksinimleri, güneş enerjisinin daha geniş çapta benimsenmesini engelleyebilir. Ancak, teknolojinin ilerlemesi ve maliyetlerin düşmesiyle birlikte, güneş enerjisinin daha yaygın ve erişilebilir hale gelmesi beklenmektedir. Ülkemiz, yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin olmasına rağmen, bu kaynaklardan yeterince faydalanamamaktadır. Güneş enerjisi, genellikle binalarda sıcak su elde etmek amacıyla kullanılmaktadır, ancak diğer kullanım alanlarının daha aktif olarak keşfedilmesi ve yatırımların bu yönde değerlendirilmesi, ülkemiz açısından daha verimli ve faydalı olabilir.

Bu çalışma, Siirt'te bulunan 15 kW'lık bir bağ evi fotovoltaik sisteminin tasarımı ve performansıyla ilgili detaylı bir analiz sunmaktadır. Araştırmanın literatüre katkı sağlayan bazı önemli noktaları şunlardır:

1. Güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğini artırmak için sıcaklıkla ilişkili performans düşüşlerini minimize etmeye yönelik çözümlere odaklanılmıştır. Bu, PV sistemlerinin sıcak hava koşullarında nasıl daha etkin çalışabileceğine dair değerli bilgiler sağlamaktadır.

2. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin etkin bir şekilde değerlendirilmesi konusunda önemli veriler sunulmuştur. Bu, ülkenin güneş enerjisi alanındaki büyüme potansiyelini ve gelecekteki enerji politikalarını şekillendirmede faydalı olabilir.

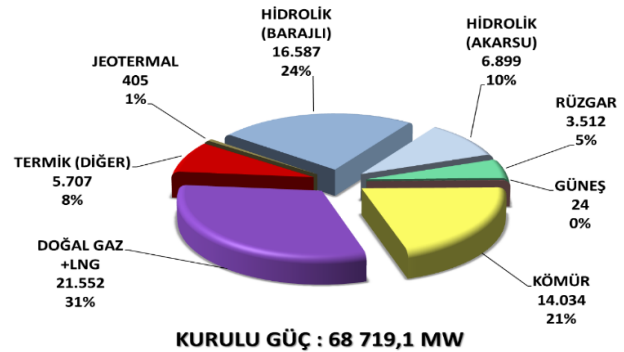
3. Fotovoltaik sistemlerde sıcaklığın performansı nasıl etkilediği ve özellikle yaz aylarında PV sistemlerinin performansında gözlemlenen düşüşler üzerinde durulmuştur. Bu, mevsimsel değişkenliklerin ve iklim koşullarının fotovoltaik sistemlerin performansına olan etkisini anlamak için önemli bir katkı sağlar.

4. Siirt'teki bağ evi fotovoltaik sisteminin sürdürülebilir enerji geleceğine katkı sağladığı vurgulanmıştır.

Bu noktalar, güneş enerjisi sistemlerinin daha verimli ve etkili bir şekilde tasarlanması ve uygulanması için değerli bilgiler sunmaktadır.

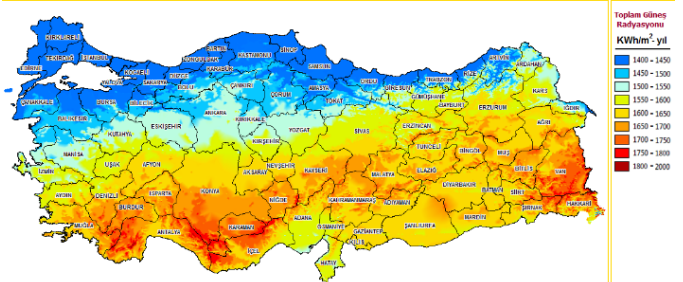
2. TÜRKİYE GENELİNDE VE SİİRT İLİNDE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

Türkiye, geniş ve çeşitli iklim yapısıyla güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça zengin bir ülkedir. Yıl boyunca genellikle güneşli günlerin sıklığı, ülkenin farklı bölgelerinde değişiklik göstermekle birlikte, genel olarak yüksek bir güneş ışınımına sahiptir [12,13]. Bu durum, Türkiye'nin güneş enerjisi üretimi için uygun bir ortam sağlamaktadır. Özellikle Güneydoğu Anadolu, Akdeniz ve Ege bölgeleri, yüksek güneş ışınımına ve düşük bulut örtüsüne sahip olmaları nedeniyle öne çıkan bölgelerdir. Ülkede hükümetin ve özel sektörün güneş enerjisi projelerine yönelik teşvikleri ve yatırımları da dikkate alındığında, Türkiye'nin güneş enerjisi sektöründe büyük bir potansiyele sahip olduğu ifade edilebilir. Bu potansiyelin etkin bir şekilde değerlendirilmesi, sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçiş ve enerji bağımsızlığının artırılması açısından önemli bir adım olabilir [14,15].



Şekil 1. Enerji kaynaklarının dağılımı [1]

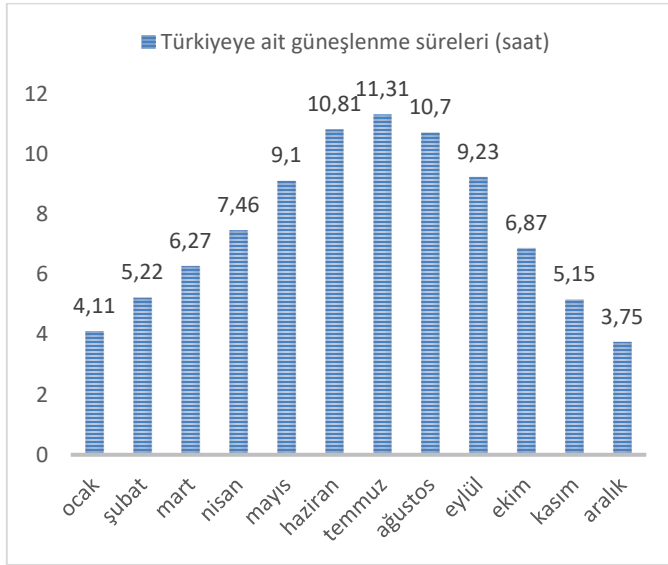
Şekil 1'de gösterildiği gibi, ülkemizde güneş enerjisi kullanımı oldukça düşüktür. Ülkemizin doğal imkanları göz önüne alındığında, bu oranın daha yüksek olması beklenirken, istenilen düzeyde yararlanma gerçekleşmemektedir. Görüldüğü üzere, kurulu güç içinde güneş enerjisinden yararlanma düşük seviyelerde kalmıştır.



Şekil 2. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası [2]

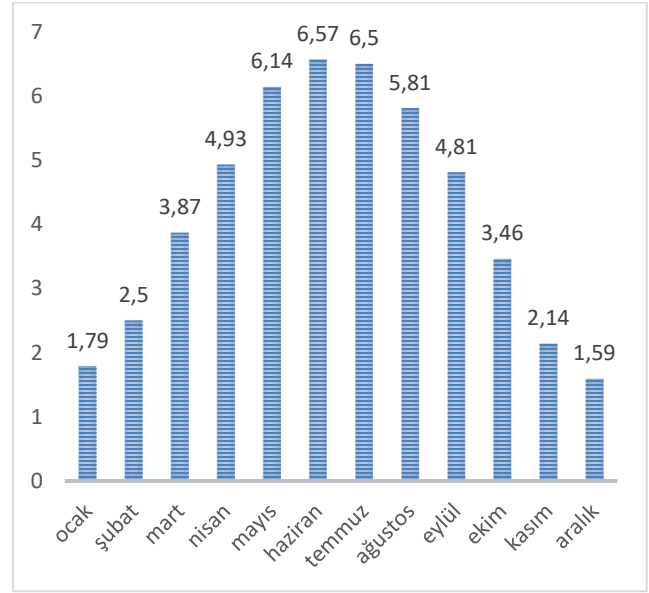
Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlas'ına (GEPA) göre hazırlanan verilere göre, Şekil 2'de ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat olarak belirlenmiş ve ortalama yıllık toplam ışıınım değeri ise 1.527,46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Güneş enerjisi yatırımı için uygun olan şehirler sarı ve kırmızı renklerle gösterilmektedir. Aslında, yukarı kesimler hariç ülkemizin hemen hemen her bölgesi güneş enerjisi yatırımı için uygun potansiyele sahiptir.

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelini belirleme çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre, tesis kurulabileceği belirlenen alanlardan üretililecek toplam elektrik enerjisi yaklaşık 395 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Türkiye'deki güneş enerjisinin değerlendirilmesi ve yatırıma açılması ülke ekonomisi açısından oldukça cazip görünmektedir. Bu çalışmalarda, 1670 kWh/m² ile 1800 kWh/m² arasındaki radyasyon değerleri kullanılmış olup, bu alanlar üzerine kullanılamaz alanlar olarak, ormanlık ve tarım alanları, eğimi 2 dereceden büyük alanlar, yerleşim yerleri, özel çevre koruma sahaları, ana ve tali yollar, göl ve barajlar, akarsular, yeraltı suları, askeri alanlar, hava ve deniz limanları, helikopter pistleri, özel tapulu alanlar, maden ruhsat sahaları ve diğer santral sahalarına ait alanlar çıkarılarak hesaplanmıştır.



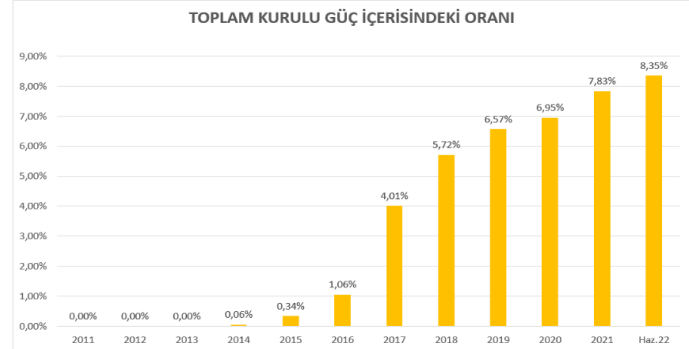
Şekil 3. Türkiye'ye Ait Güneşlenme Süreleri (saat) [2]

Şekil 3'te görüldüğü gibi, ülkemizde güneşlenme süresinin ortalaması kış aylarında yaklaşık 4 saat iken, bu oran yaz aylarında 10 saat dolaylarına kadar yükselmektedir. Bir yıllık ortalama alındığında ise bu değer 7,5 saat olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4. Türkiye Global Radyasyon Değerleri (kWh/m²-gün) [2]

Bu bağlamda şekil 4'te Türkiye'nin aylara göre radyasyon değeri verilmiştir. Tüm bu değerleri verdikten sonra ülkemizin güneş potansiyeli yüksek bir ülke olduğu görülmektedir.

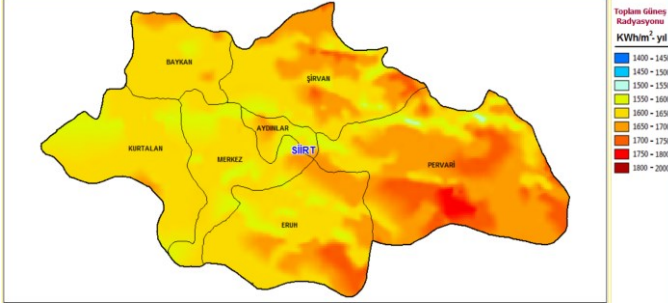


Şekil 5. Türkiye'de güneş enerjisinin toplam kurulu güç içindeki yeri [3]

Şekil 5'te güneş enerjisinin toplam kurulu güç içerisindeki yerinin yıllara göre değişimi verilmiştir. Bu değer düzenli olarak artmaktadır. Önümüzdeki yıllarda, güneşten daha fazla yararlanma amacıyla daha gelişmiş ve teknolojik yöntemlerin kullanılması planlanmaktadır. Bu sayede, güneş enerjisi potansiyeli ülkemizde hak ettiği yere ulaşacaktır.

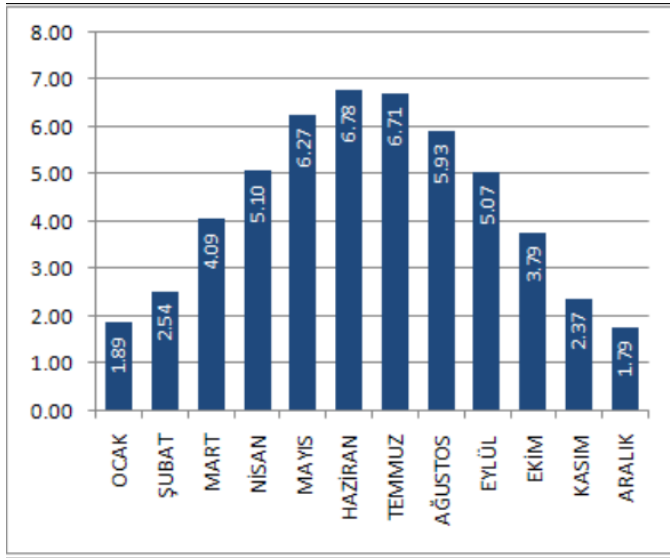
Siirt, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli açısından önemli bir bölge olarak öne çıkmaktadır. Şehrin coğrafi konumu ve iklim yapısı, güneş ışıınımını etkileyen faktörler bakımından oldukça avantajlıdır. Genellikle güneşli günlerin sayısının fazla olduğu ve bulut örtüsünün düşük olduğu bir iklimle karakterize olan Siirt, güneş enerjisi üretimi için uygun bir ortam sağlamaktadır. Ayrıca, Siirt'te güneş enerjisi potansiyelini artırmak adına yapılan yatırımlar ve projeler de göz önüne alındığında, bölgenin sürdürülebilir enerji üretimine katkı sağlamak amacıyla önemli bir rol oynayabileceği söylenebilir. Siirt'in güneş enerjisi potansiyeli hem yerel ekonomiye katkı sağlama hem de enerji ihtiyacının sürdürülebilir bir şekilde karşılanması açısından stratejik bir öneme sahiptir. Siirt ilinin yüzölçümü 5.718 km² olup, rakımı ise 887 metredir. Siirt ili,

41° 57' doğu boylamı ve 37° 55' kuzey enlemi üzerinde yer almaktadır.



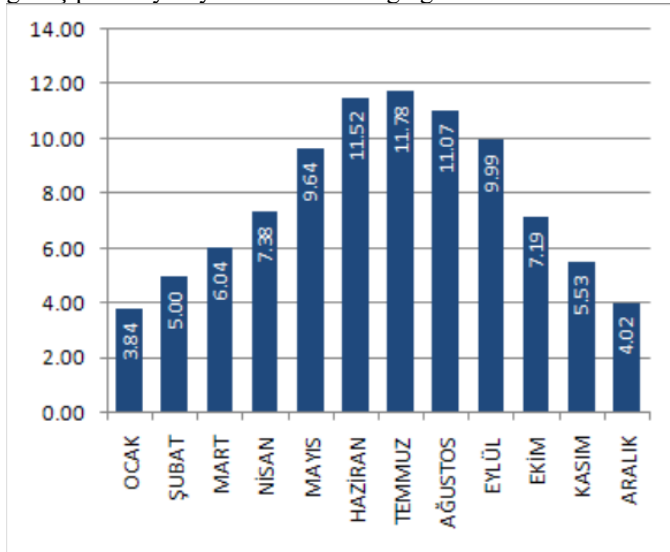
Şekil 6. Siirt'te güneş enerji potansiyeli [4]

Şekil 6'da görüldüğü üzere, Siirt ili için alanlar kırmızı ve sarı ile işaretlenmiştir. Bu da bize Siirt ilinin aslında yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 7. Siirt İli Global Radyasyon Değerleri (kWh/m2-gün) [4]

Bu bağlamda şekil 7'de Siirt ilinin aylara göre radyasyon değeri verilmiştir. Tüm bu değerleri verdikten sonra Siirt ilinin güneş potansiyeli yüksek bir il olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Siirt İline Ait Güneşlenme Süreleri (saat) [4]

Şekil 8'de görüldüğü gibi, Siirt ilinde güneşlenme süresinin ortalaması kış aylarında yaklaşık 4,5 saat iken, bu oran yaz aylarında 10,5 saat dolaylarına kadar yükselmektedir. Bir yıllık ortalama alındığında ise bu değer 7,7 saat olduğu gözlemlenmektedir.

3. PVSYSYT PROGRAMIYLA GERÇEKLEŞTİRİLEN ANALİZ İŞLEMLERİNDE KULLANILAN METOTLAR

PVsyst'in temel analiz işlemlerinde kullanılan metotlar şu şekildedir:

1. Güneş Işınımı Modelleme: PVsyst, güneşin pozisyonunu ve hareketini dikkate alarak bölgesel iklim verilerine dayalı olarak güneş ışınımını modellemek için sofistike matematiksel ve geometrik modeller kullanır. Bu modeller, güneş ışınlarının atmosferdeki dağılımını, yörüngesel hareketini ve panelin konumuna göre düşen güneş ışınımını hesaplar.

2. Fotovoltaik Modül ve İnvörtör Performansı: Program, kullanıcı tarafından belirtilen fotovoltaik modül ve invertörün teknik özelliklerini dikkate alarak sistemin elektrik üretimini modellemek için çeşitli matematiksel formüller ve algoritmalar kullanır. Bu, güneş ışınımından elektrik enerjisi üretimini, modül ve invertör verimliliklerini, güç kayıplarını ve sistem güç çıkışını hesaplar.

3. Kayıp Analizi: PVsyst, sistemdeki çeşitli kayıpları değerlendirmek için sofistike analizler yapar. Bunlar arasında kablo dirençleri, invertör verimlilikleri, gölgelenme kayıpları, modül sıcaklık katsayıları gibi faktörler bulunur. Bu analizler, sistemin toplam verimliliğini ve performansını belirlemeye yardımcı olur.

4. Performans Oranı Hesabı: Performans oranı, sistemin gerçek enerji üretiminin teorik olarak beklenen enerji üretimine oranını ifade eder. PVsyst, bu oranı hesaplamak için kullanıcı tarafından belirtilen verileri kullanır ve sistemin performansını değerlendirmeye olanak sağlar.

5. Ekonomik Değerlendirme: Program, fotovoltaik sistemlerin ekonomik değerlendirmesini yapmak için finansal modeller kullanır. Yatırım getirisi (ROI), geri ödeme süresi, net bugünkü değer (NPV) ve iç verim oranı (IRR) gibi finansal göstergeler, yatırımın maliyet etkinliğini değerlendirmek için hesaplanır.

Bu yöntemler, PVsyst'in güneş enerjisi sistemlerinin tasarımını, performansını ve ekonomik değerlendirmesini yapmak için kullanıldığı temel analiz süreçleridir.

4. PVSYSYT PROGRAMI

PVsyst, fotovoltaik (güneş enerjisi) sistemlerinin tasarımı, simülasyonu ve analizi için özel olarak geliştirilmiş bir yazılımdır. Bu yazılım, mühendisler ve uzmanlar tarafından güneş enerjisi projelerinin her aşamasında kullanılmaktadır. PVsyst'in temel amacı, fotovoltaik sistemlerin etkin bir şekilde planlanması, optimize edilmesi ve performanslarının değerlendirilmesidir. PVsyst, güneş enerjisi projelerinin tasarımında önemli bir rol oynar. Kullanıcılar, güneş panellerinin yerleşimi, eğimi, yönelimi ve sistem bileşenlerinin seçimi gibi detaylı parametreleri ayarlayabilirler. Ayrıca, yazılımın içerdiği meteorolojik veriler ve güneş ışınım modellemesi sayesinde, belirli bir bölgede fotovoltaik sistemin potansiyel performansı önceden tahmin edilebilir. PVsyst aynı zamanda fotovoltaik sistemlerin simülasyonunu gerçekleştirebilir. Bu simülasyonlar, güneş enerjisi sisteminin elektrik üretimi, güneşlenme süreleri, verimlilik ve enerji üretim maliyetleri gibi faktörleri değerlendirmeye olanak tanır.

Kullanıcılar, farklı bileşen kombinasyonlarını test edebilir ve sistemin en verimli konfigürasyonunu belirleyebilirler.

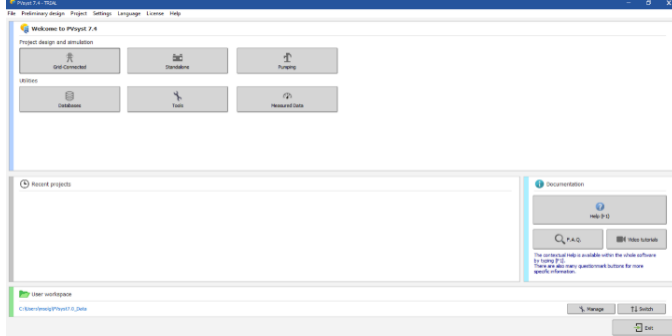
Son olarak, PVsyst ile yapılan analizler güneş enerjisi projelerinin performansının değerlendirilmesini sağlar. Gerçek zamanlı verilerle karşılaştırılarak sistemlerin gerçek dünya koşullarında nasıl çalışabileceği tahmin edilebilir. Bu sayede, projenin ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği değerlendirilebilir ve gerektiğinde iyileştirmeler yapılabilir. PVsyst, güneş enerjisi projelerinin başarılı bir şekilde hayata geçirilmesi ve işletilmesi için önemli bir araçtır.

PVsyst'in temel özellikleri şunları içerebilir:

- Coğrafi Konum Analizi:** Belirli bir coğrafi konum için güneş radyasyonu ve iklim verilerini analiz ederek güneş enerjisi potansiyelini belirleme.
- Modül ve İnverter Seçimi:** Farklı fotovoltaik modül ve invertör tipleri arasında seçim yapma ve bunları sistem tasarımına entegre etme yeteneği.
- Sistem Tasarımı:** Fotovoltaik sistem bileşenlerini yerleştirme, bağlantıları yapma ve sistem konfigürasyonunu belirleme.
- Sistem Simülasyonu:** Belirli bir konum ve sistem konfigürasyonu için enerji üretimini simüle etme ve performans analizi yapma.
- Finansal Analiz:** Projelerin ekonomik değerlendirmesini yapabilme, yatırım getirisi hesaplamaları ve enerji maliyeti analizi gibi finansal unsurları içermesi.
- Raporlama:** Kullanıcı dostu raporlar oluşturma ve enerji üretimi, performans oranları gibi çeşitli parametreleri görsel ve sayısal olarak analiz etme yeteneği.

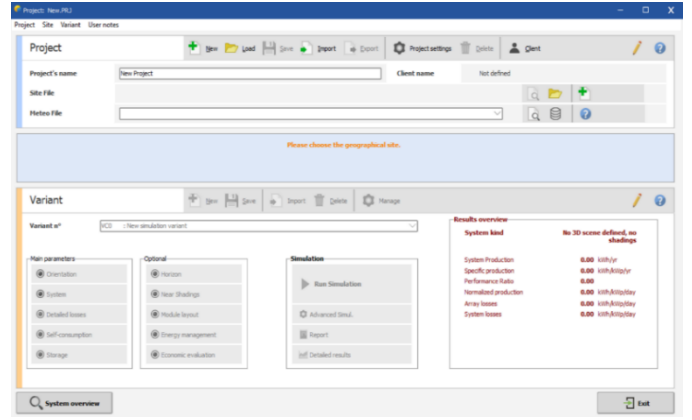
Bu tür yazılımlar, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı ve performans analizi süreçlerini kolaylaştırmak, maliyetleri düşürmek ve projelerin sürdürülebilirliğini artırmak için kullanılmaktadır. PVsyst, özellikle güneş enerjisi endüstrisinde çalışan mühendisler, enerji uzmanları ve proje geliştiricileri tarafından yaygın olarak tercih edilen bir araçtır.

4.1. PVsyst Programı ile Tasarım

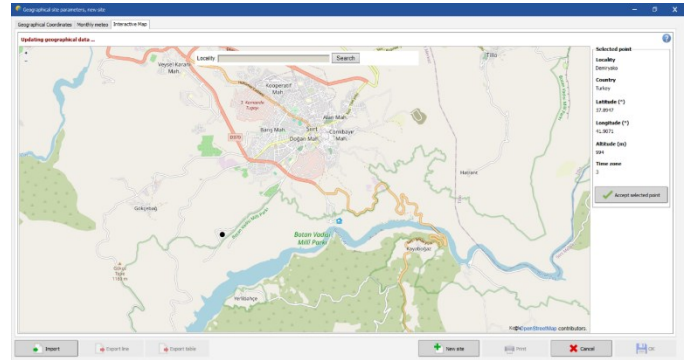


Şekil 9. PVsyst Program Arayüzü

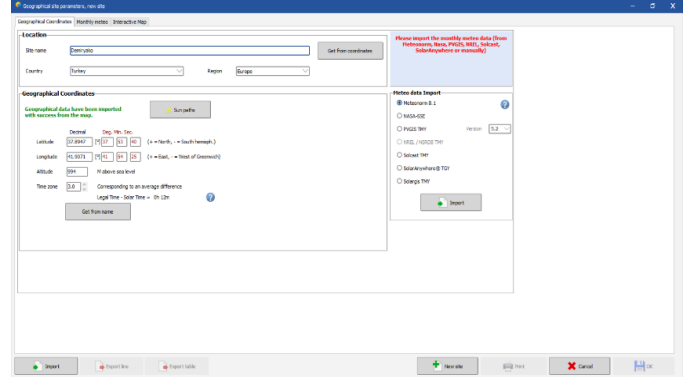
Yazılım yüklendikten sonra başlatılır. Ardından "Grid-Connected" bölümü seçilir. Bu bölüm açıldığında, koordinatların girilmesi için "dosya" seçeneğine tıklanır ve yeni bir lokasyonun belirlenmesi için koordinat veya nokta işaretleme yöntemleri kullanılır.



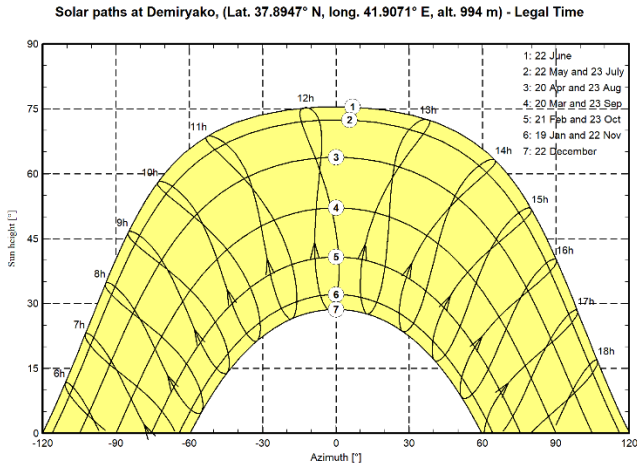
Şekil 10. PVsyst programı GridConnected arayüzü
Bu çalışmada, kullanılan koordinat (37.899137, 41.915824) Siirt Merkez'de bulunan Yerlibahçe bölgesini temsil etmektedir.



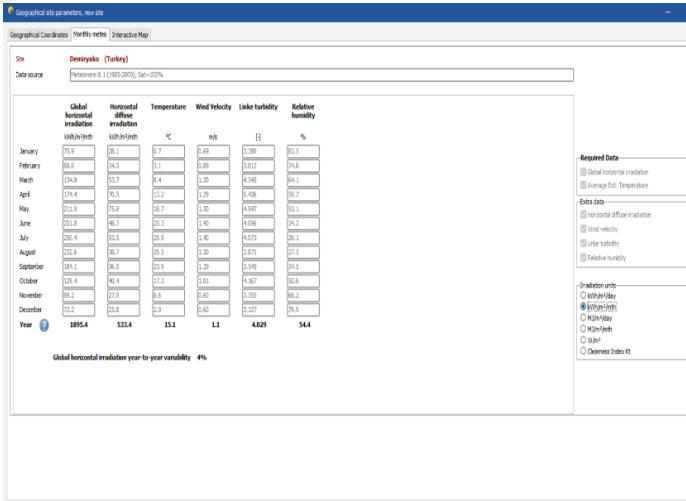
Şekil 11. PVsyst programı Koordinat Arayüzü
Seçilen lokasyon, siyah bir nokta ile gösterilir. Daha sonra nokta seçilir ve koordinatları yüklenir.



Şekil 12. PVsyst programı Geographical Site Parameters
Daha sonra Sunpath yapılıp Şekil 13'teki gibi görsel alınır.



Şekil 13. PVsyst programı SunPath (Güneş Yolları)



Şekil 14. PVsyst programı Siirt İli Aylık Meteoroloji

Şekil 14'te, girilen lokasyon için aylara göre rüzgâr hızı, sıcaklık, küresel yatay ışınlanma, yatayla dağınık ışınlanma, bağıl nem gibi parametrelerin görüntüsü sunulmaktadır. Bu parametrelerin günlük değerleri, programdan seçilerek ortalama alınabilir. Girilen lokasyon için yıllık ortalama sıcaklık 15,1 °C, rüzgâr hızı 1,1 m/s, yatay ışınlanma ise 1895,4 kWh/m²/ay olarak hesaplanmıştır. Şekil 6'da gösterildiği gibi, bu değerler 1800-2000 aralığında bulunmaktadır, ki bu da yeterli bir değerdir. Lokasyon kaydedildikten sonra tekrar yüklendiğinde, "kısmına basıp" saha parametreleri ve eğim açısı otomatik olarak tanımlanır.

Saha parametre ve eğim açısı seçimi, güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğini artırmak için oldukça önemlidir. Bu seçim süreci genellikle aşağıdaki adımları içerir:

a. Yer Seçimi ve Ölçümler:

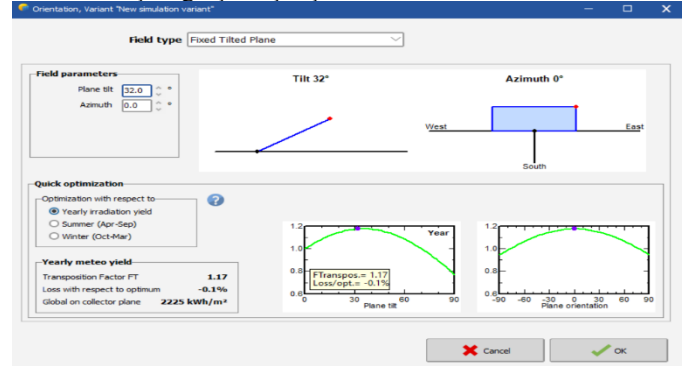
1. Güneş panellerinin yerleştirileceği alanın coğrafi konumu belirlenir.
2. Güneşin yıl boyunca hareketleri dikkate alınarak en fazla güneş ışığı alan nokta tespit edilir.
3. Bu noktada güneş ışınımının en verimli şekilde alınabilmesi için gölgeleme analizleri yapılır.
4. Eğim açısının belirlenmesi için alanın topografyası ve güneş ışınım açıları göz önünde bulundurulur.

b. Eğim Açısı Seçimi:

1. Güneş panellerinin maksimum verimlilikle çalışabilmesi için eğim açısı önemlidir.
2. Eğim açısı, güneş panellerinin yatay düzleme göre olan eğimini ifade eder ve genellikle derece cinsinden belirtilir.
2. Eğim açısı, güneş ışınımının dik açıyla gelmesini sağlayarak en yüksek verimi elde etmeyi amaçlar.
3. Eğim açısı, bulunduğunuz coğrafi konum ve mevsimlere göre değişebilir. Örneğin, kış aylarında güneş ışınımı daha dik geldiği için eğim açısı daha düşük olabilir.

c. Eğim Açısının Belirlenmesi:

Eğim açısı, genellikle güneşin en yüksek olduğu zamanda en fazla enerjiyi üretecek şekilde belirlenir. PVsyst gibi yazılımlar, coğrafi konum ve sistem parametrelerini dikkate alarak en uygun eğim açısını hesaplayabilir. Dolayısıyla eğim açısı 32 °C otomatik seçim gerçekleştirilmiştir.

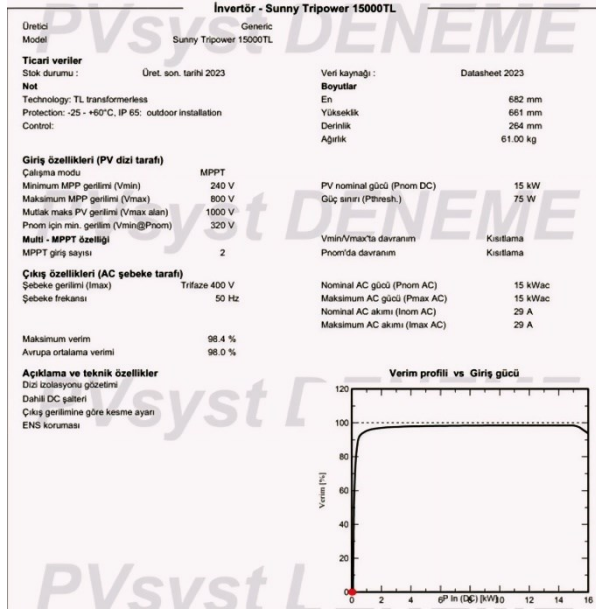


Şekil 15. PVsyst programı Saha Parametreleri

Programda hızlı optimizasyon seçenekleri bulunmaktadır, bu da yaz, kış veya yıllık optimizasyonları içerebilir. Daha sonra, "sistem" butonuna basılarak sistem parametreleri tanımlanır. Bu sistem, şebekeye bağlı olarak çalışacaktır. Projenin odak noktası, 15 kW kurulu güce sahip bir bağ evi projesidir. İlk olarak, inverter seçimi yapılacak ve Alman kökenli SMA Solar Technology firmasının dünya çapında tanınmış ve yüksek verimliliği ile bilinen 15 kW'lık inverteri tercih edilecektir.



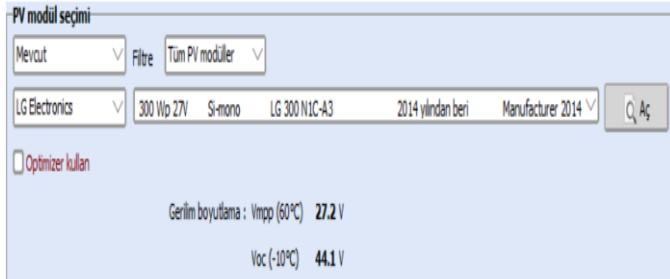
Şekil 16. PVsyst programı İnverter Seçimi



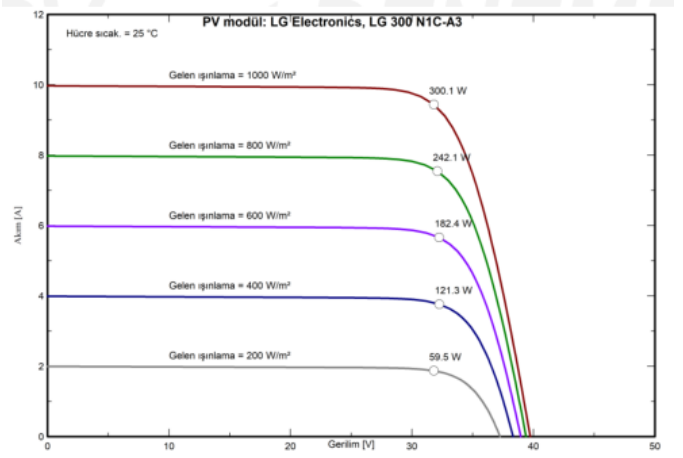
Şekil 17. PVsyst programı İnvertör Verim Eğrisi ve Değerleri

Inverterin verimlilik eğrisini, Şekil 17'te 25°C sıcaklıkta $\cos \phi = 1$ değerlerinde çıkarıyoruz. Burada, sıcaklığı değiştirerek ve boyutları ayarlayarak verimliliği gözlemleyebiliriz. Sıcaklığı arttırdıkça, verimin düştüğünü ve \cos değerinin azaltılmasıyla reaktif gücün arttığını görebiliriz, bu da verimin düşeceğini gösterir. Ayrıca, inverterin boyutlarını da değiştirebiliriz. Nominal sıcaklığı 50°C olarak seçiyoruz, bu sıcaklık değerinden sonra invertör ısınacak ve verimi düşecektir. Kurulu gücü 15 kW olan bağ evi projemiz için 300 Wp'lik panel modülü seçeceğiz ve 30 adet, 2 zincir, 15 seri set olacak şekilde kurulum yapacağız.

LG'nin güneş panelleri genellikle yüksek enerji dönüşüm verimliliğine sahiptir, bu da daha yüksek verimlilik ve daha fazla enerji üretimi anlamına gelir. LG modülleri genellikle dayanıklı malzemelerden üretilir ve uzun ömürlüdür. Ayrıca, LG güneş panelleri teknolojik inovasyona yatırım yapar ve ürünlerini sürekli olarak geliştirir. Bu, daha yeni ve etkili teknolojilerin kullanılmasını sağlar. LG genellikle ürünlerine uzun vadeli garanti sağlar, bu da tüketicilere ürünlerine güven duymalarını sağlar. Bu gibi özelliklerden dolayı, Şekil 18'da gösterilen LG Electronics modülünü kullanacağız.

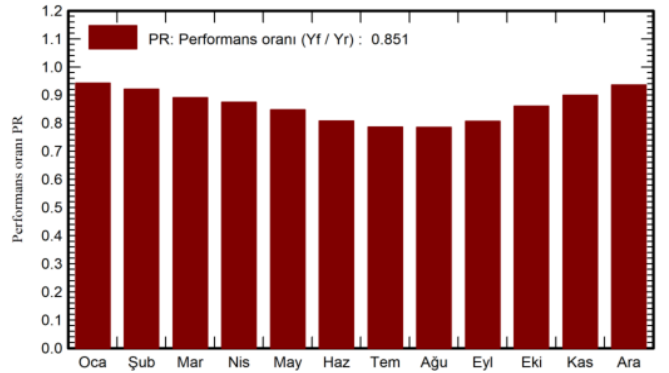


Şekil 18. PVsyst programı Modül Seçimi



Şekil 19. PV modül karakteristik eğrisi

Uygun Voc ve Isc değerleri ürün kataloglarından (datasheet) alındıktan sonra, uygun koşullar sağlanarak simülasyona başlanmıştır.

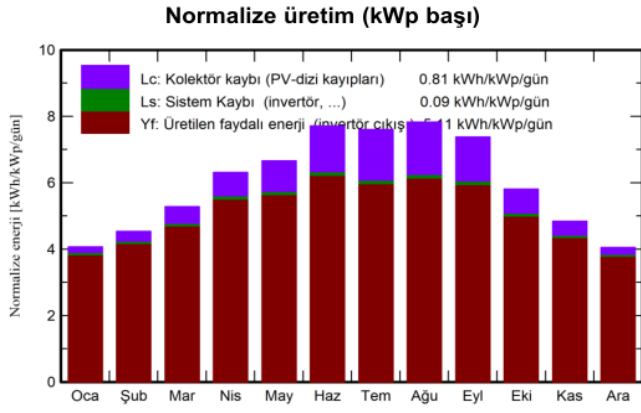


Şekil 20. Simülasyon performans oranı değişimi

Yf (Üretilen Faydalı Enerji): PV sistemi tarafından üretilen gerçek enerji miktarını ifade eder. Bu değer, sistemin gerçek işlevselliğini ve performansını yansıtır.

Yr (Beklenen veya Referans Enerji): PV sisteminin belirli bir dönem veya koşullar altında teorik olarak üretmesi beklenen enerji miktarını ifade eder. Bu değer, güneş ışığına, panel konumuna ve diğer çevresel faktörlere dayalı olarak hesaplanır. Performans Oranı, gerçek enerji üretiminin (Yf) beklenen enerji üretimine (Yr) oranını verir ve genellikle yüzde olarak ifade edilir. Yüksek bir PR değeri, PV sisteminin beklenenden daha verimli çalıştığını gösterirken, düşük bir PR değeri beklenenden daha az verimli olduğunu işaret eder.

Simülasyon sonuçlarına göre güneş paneli performans oranı (PR) 0,851 olarak belirlenmiştir. Performans oranı, güneş panelinin gerçek dünya koşullarında ne kadar verimli çalıştığını gösteren bir ölçüttür. Bu değer, panelin nominal gücüne (katalog değeri) ve simülasyon sonucundaki ortalama güç üretimine dayanarak hesaplanır. Performans oranı 1'e ne kadar yakınsa, panel o kadar verimli olarak çalışmaktadır. 0,851 değeri, güneş panelinin beklentilere göre iyi bir performans sergilediğini, ancak potansiyelinin tam olarak gerçekleştirilmediğini göstermektedir. Bu sonuçlar, güneş panelinin gerçek dünya koşullarında ne kadar etkin olduğunu değerlendirme ve iyileştirme fırsatları sağlar.



Şekil 21. Normalize Üretim

Şekil 19'da verilen ifadelerin anlamları şu şekildedir:

Ls: Sistem kaybı, güneş enerjisi sistemi içinde oluşan genel kayıpları temsil eder. Bu kayıplar, kablo kayıpları, invertör kayıpları gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanabilir.

Lc: Kollektör kaybı, güneş enerjisini dönüştürme sürecinde gerçekleşen kayıpları ifade eder. Bu kayıplar, güneş ışınlarının panel yüzeyine ulaşmasıyla başlayıp elektrik enerjisine dönüşüm sürecinde meydana gelen ısı kayıplarını içerir.

Yf: Üretilen faydalı enerji miktarını ifade eder. Bu değer, güneş panelinin nominal kapasitesi ve gerçek dünya koşullarında üretilen elektrik enerjisi miktarına dayanarak hesaplanır.

Kollektör kaybının %81 olarak belirlenmesi, güneş enerjisini dönüştürme sürecinde meydana gelen kayıpların yüksek olduğunu gösterir. Bu kayıplar, panel yüzeyine gelen güneş ışınlarının kısmen ısıya dönüşmesi ve bu ısı enerjisinin verimli elektrik enerjisine dönüşümünü engelleyebilir.

Sistem kaybının %9 olduğu bulgusu, güneş enerjisi sistemi içindeki genel kayıpların daha düşük olduğunu gösterir. Bu kayıplar, kabloların dirençlerinden, invertörlerin verimsizliklerinden ve diğer sistem bileşenlerinin performans kayıplarından kaynaklanabilir.

Bu veriler, güneş enerjisi sisteminin performansını değerlendirme ve iyileştirme sürecinde kullanılabilir. Özellikle kollektör kaybının azaltılması ve sistem kayıplarının minimize edilmesi, sistemin toplam verimliliğini artırabilir ve daha fazla faydalı enerji üretimine katkı sağlayabilir.

Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	oran
Ocak	75.9	28.09	0.67	126.2	123.4	1090	1071	0.942
Şubat	88.6	34.46	3.05	126.9	124.3	1071	1052	0.921
Mart	134.8	53.68	8.44	163.6	159.8	1336	1312	0.891
Nisan	174.4	70.52	13.17	189.3	184.6	1516	1489	0.874
Mayıs	211.9	75.76	18.75	206.4	200.6	1604	1575	0.848
Haziran	251.8	48.67	25.29	231.3	224.7	1711	1681	0.808
Temmuz	250.4	53.45	29.88	235.8	229.2	1699	1669	0.786
Ağustos	232.6	38.70	29.48	242.8	236.6	1745	1715	0.785
Eylül	184.1	36.00	23.88	221.4	216.3	1635	1608	0.807
Ekim	129.4	40.35	17.26	180.1	176.4	1419	1395	0.860
Kasım	89.2	27.93	8.63	145.2	142.2	1196	1176	0.900
Aralık	72.2	25.77	2.89	125.4	122.8	1076	1056	0.936
Yıl	1895.4	533.37	15.19	2194.6	2140.7	17098	16799	0.851

Açıklama

GlobHor	Global yatay ışınlama	EArray	Dizinin çıkışında etkin enerji
DiffHor	Yatay difüz ışınlama	E_Grid	Şebekeye enjekte edilen enerji
T_Amb	Çevre sıcaklığı	PR	Performans oranı
GlobInc	Kollektöre yansıyan global		
GlobEff	IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global		

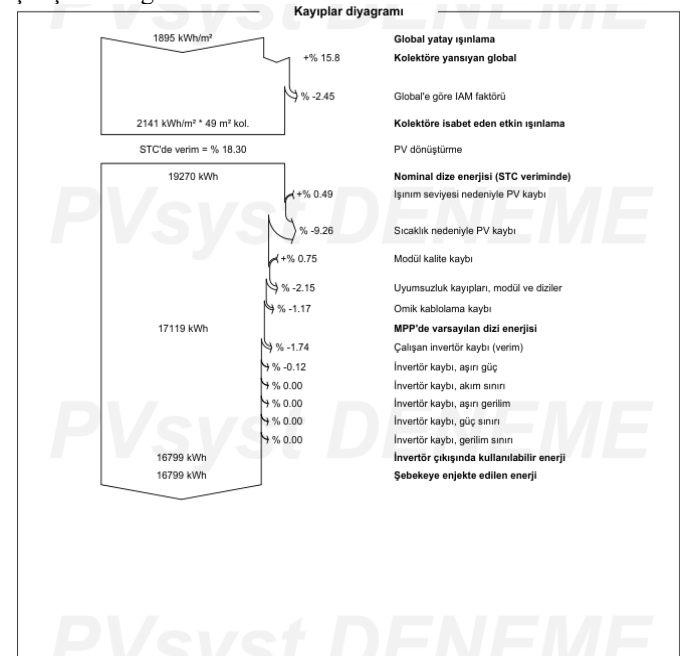
Şekil 22. Genel Sonuçlar

$$PR = \frac{\text{TOPLAM GÜÇ ÇIKIŞI}}{\text{TEORİK MAKSİMUM GÜÇ ÇIKIŞI}} \quad (1)$$

PV sistemlerinde "PR" (Performance Ratio), sistemin verimliliğini belirlemek için kullanılan bir ölçümdür. PR, sistemin gerçek üretim performansının, teorik olarak beklenen performansa oranını ifade eder. Genellikle yüzde (%) cinsinden ifade edilir.

Formül 1'de belirtilen ortalama performans oranının 0,851 olduğu görülmektedir. Ancak, bu değer yaz aylarında 0,785 gibi daha düşük değerlere indiği gözlemlenmektedir. Bu durum, sıcaklık arttıkça PV sisteminin veriminde bir düşüş olduğunu işaret etmektedir. Sıcaklık, fotovoltaik (PV) sistemlerin performansını etkileyen önemli bir faktördür. Yüksek sıcaklık, PV panellerinin elektrik üretim verimliliğini azaltabilir. Çünkü yüksek sıcaklıklar, panellerin elektrik üretme kapasitesini düşürebilir ve verimliliğini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu durum, PV panellerin üzerindeki yarıiletken malzemelerin ısıya duyarlılığından kaynaklanmaktadır. Yarıiletken malzemelerin sıcaklık arttıkça elektron hareketliliği azalır ve bu da elektrik üretiminde verimliliği düşürür. Yaz aylarında, genellikle güneşin en yoğun olduğu dönemlerde sıcaklık da yüksektir. Bu nedenle, yaz aylarında PV sistemlerinin performansında bir düşüş gözlemlenmesi beklenir. Düşen performans, PV sistemlerinin elektrik üretim verimliliğindeki azalmanın bir yansımasıdır.

Bu durum, PV sistemlerinin tasarımı ve işletilmesi süreçlerinde dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Sistemlerin verimliliğini artırmak için, sıcaklıkla ilişkili performans düşüşlerini minimize etmeye yönelik önlemler alınabilir. Bunlar arasında panellerin daha serin kalmasını sağlayacak soğutma sistemleri kullanımı, panellerin gölgeleme ve yalıtımı gibi teknik çözümler yer alabilir. Bu şekilde, PV sistemlerinin yaz aylarında bile maksimum verimlilikle çalışması sağlanabilir.



Şekil 23. Toplam Kayıplar Diyagramı

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Güneş enerji çözümü, sadece Siirt'teki bir bağ evinin günlük enerji ihtiyacını karşılamakla kalmayıp, aynı zamanda sürdürülebilir bir enerji geleceğine yönelik önemli bir adımı temsil etmektedir. LG300N1C-A3 model güneş panelleri, modern güneş enerjisi teknolojisinin en üst düzey avantajlarını taşıyarak projeye güç katmaktadır. LG'nin bu güneş paneli modeli, yüksek dönüşüm verimliliği sayesinde güneş ışığını maksimum seviyede elektrik enerjisine çevirme kapasitesine sahiptir. Ayrıca, uzun ömür beklentisi, projenin sürdürülebilirlik açısından uzun vadeli bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Bu paneller, Siirt'in güneş dolu günlerinden en iyi şekilde faydalanarak, bağ evinin enerji bağımsızlığını destekleyecek. Sunny Tripower 15000TL invertörü ise sistemdeki enerji akışını optimize ederek güneş enerjisinin en verimli şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Yüksek performansı ve güvenilirliği ile bu invertör, panellerden gelen enerjiyi maksimum verimle şebekeye entegre eder. Bu sayede, bağ evi enerji ihtiyacını karşılarken aynı zamanda fazla enerjiyi şebekeye geri göndererek ekonomik bir avantaj sağlar. Bu yenilikçi enerji çözümü, çevresel sürdürülebilirlik konusunda da etkili bir adımdır. Güneş enerjisi, karbon ayak izini azaltarak çevreye daha az zarar verir. Aynı zamanda, ekonomik fayda sağlayarak enerji maliyetlerini düşürür ve uzun vadede finansal getiri sunar. Bu bağlamda, projenin ekonomik sürdürülebilirliği, güneş enerjisinin benimsenmesindeki önemli bir unsuru temsil etmektedir.

Çalışmanın odaklandığı belirli bir fotovoltaik sistemin ölçek ve konum sınırları bulunmaktadır. Veri toplama sürecindeki kısıtlamalar veya ölçüm hataları, sonuçların genelleştirilebilirliğini etkilemektedir. Teknolojik gelişmelerin hızı ve maliyetleri, güneş enerjisi sistemlerinin yaygınlaşmasını sınırlamaktadır.

Gelecekte yapılacak farklı çalışmalar için farklı iklim koşullarında güneş enerjisi sistemlerinin performansının karşılaştırmalı olarak incelenmesi önemlidir. Güneş enerjisi depolama teknolojilerinin daha etkin ve ekonomik kullanımı üzerine odaklanan çalışmaların yapılması gereklidir. Ayrıca, yenilikçi tasarım yaklaşımları ve akıllı kontrol sistemlerinin güneş enerjisi sistemlerindeki rolünün daha detaylı araştırılması gerekmektedir.

Bu sınırlar ve gelecekte yapılacak çalışmalar, güneş enerjisi alanındaki araştırmaların daha ileriye taşınmasına ve sektördeki gelişmelere katkı sağlamaya yönelik önemli adımlar olabilir. Sonuç olarak, Siirt'te planlanan 15 kW'lık bağ evi fotovoltaik sistemi, LG'nin yüksek performanslı güneş panelleri ve Sunny Tripower 15000TL invertörü gibi teknolojik bileşenlerle donatılarak, sürdürülebilir bir enerji geleceğine katkı sağlamaktadır. Güneşin kucakladığı bu yenilikçi enerji çözümü, çevresel sürdürülebilirlik, ekonomik fayda ve enerji bağımsızlığı gibi avantajları bir araya getirerek, Siirt'teki bağ evlerinin enerji ihtiyacını çevre dostu bir şekilde karşılamaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Akcan, E., Kuncan, M., Minaz, M. R. "PVsyst yazılımı ile 30 kw şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin modellenmesi ve simülasyonu", Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Sayı18, Sayfa 248-261, 2020.

- [2] Aksangör, N.N., "Ankara şartlarında bir fotovoltaik sistemin PVsyst programı yardımı ile performans analizi", Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2019.
- [3] Aviatic, "RÜZGAR GÜCÜ: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) yayınlandı", <https://ruzgargucu.blogspot.com/2011/08/turkiye-gunes-enerjisi-potansiyeli.html>, March 19, 2024.
- [4] CW-Enerji, "Güneşten Elektrik", <https://www.cw-enerji.com/tr/index.html>, March 19, 2024.
- [5] Tunçer, B., "Şebeke bağlantılı fotovoltaik güç sistemlerinin analizi, benzetimi ve boyutlandırılması". Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2022.
- [6] GAMAK, "Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretimi", <https://www.gamak.com/gunes-enerjisi-ile-elektrik-uretimi-nasil-yapilir>, March 19, 2024.
- [7] Green Solar Network, "Portal Türkiye", <https://www.greensolarnetwork.org/>, March 19, 2024.
- [8] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "Güneş-Enerji İşleri Genel Müdürlüğü", <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>, March 19, 2024.
- [9] Lg USA, "High Efficiency Mono X™ NeON Module Cells: 6 x 10 Module efficiency 18.3% Connector Type: MC4 connector IP67", <https://www.lg.com/us/business/solar-panels/lg-LG300N1C-A3>, March 19, 2024.
- [10] T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi, "Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Tesisleri Hakkında Yönetmelik", <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=15058&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>, March 19, 2024.
- [11] Öztürk, H.H., "Güneş enerjisinden fotovoltaik yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler", Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri, 1-14, İzmir, 2017.
- [12] Hanol, Ö., "Güneydoğu Anadolu Bölgesi geleneksel evlerinde açık ve yarı açık mekanların iklimle ilgili olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Gaziantep, 2018.
- [13] TMMOB Makina Mühendisleri Odası, "Binaların Pasif Güneş Enerjili Sistemler Yardımıyla Isıtılması", <https://1.mmo.org.tr/tesisat-muhendisligi-22/makale/binalarin-pasif-gunes-enerjili-sistemler-yardimiyla-isitilmesi>, March 16, 2024.
- [14] Eyyüp C., "Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları", <https://makale.eceylan.com/turkiyede-yenilenebilir-enerji-kaynaklari/>, March 19, 2024.
- [15] Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, "Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası", <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/56.aspx>, March 22, 2024.



MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
HENDESE TEKNİK BİLİMLER VE MÜHENDİSLİK DERGİSİ
MUŞ ALPARSLAN UNIVERSITY
JOURNAL OF HENDESE TECHNICAL SCIENCES AND ENGINEERING

Muş Alparslan Üniversitesi Külliyesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 49250, Muş, Türkiye

<https://dergipark.org.tr/en/pub/hendese/board>

HENDESE Nisan 2024, 1 (1): 1-49

Cilt / Volume: 1

Sayı / Issue: 1

Yıl / Year: 2024

Harmonik Plan Görünümüne Sahip Dairesel Savakların Nümerik Modellenmesi

Numerical Modeling of Circular Weirs with Harmonic Plan View

Ali Yıldız¹, Ali İhsan Martı², Mustafa Gögüş³

¹ Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, TÜRKİYE

msolgun11@gmail.com - [orcid > 0000-0002-6909-6114](https://orcid.org/0000-0002-6909-6114)

² Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, TÜRKİYE

ebuzer.cengiz@siirt.edu.tr - [orcid > 0000-0003-3440-6052](https://orcid.org/0000-0003-3440-6052)

³ Mühendislik Fakültesi, Çankaya Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

rifatevin@gmail.com - [orcid > 0000-0002-7723-5954](https://orcid.org/0000-0002-7723-5954)

Makale Bilgisi / Article Information

Makale Türü / Article Types: Araştırma Makalesi/Research Article

Geliş Tarihi / Received: 08 Mart/March 2024

Kabul Tarihi / Accepted: 23 Nisan/April 2024

Yıl / Year: 2024 | **Cilt / Volume:** 1 | **Sayı / Issue:** 1 | **Sayfa / Pages:** 28-35

Atıf Formatı / Cite as: Yıldız, A., Martı, A. İ., Gögüş, M., "Harmonik Plan Görünümüne

Sahip Dairesel Savakların Nümerik Modellenmesi", *Hendese*,

Cilt 1, Sayı 1, Sayfa 28-35, 2024.

Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ali Yıldız

Harmonik Plan Görünümüne Sahip Dairesel Savakların Nümerik Modellenmesi

Ali Yıldız^{*1}, Ali İhsan Martı², Mustafa Göğüş³

^{*1} Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, TÜRKİYE

² Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, TÜRKİYE

³ Mühendislik Fakültesi, Çankaya Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

(Alınış / Received: 08.03.2024, Kabul / Accepted: 23.04.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 26.04.2024)

Anahtar Kelimeler
Dairesel Savaklar,
Labirent Savaklar,
Nümerik Modelleme

ÖZ

Kullanımda olan barajların ve rezervuarların güvenli kabul edilebilmeleri için revize edilmeleri gerekmektedir. Mevcut rezervuarlar için taşkın kontrolü güvenlik standartları açısından çok önemliken, aynı zamanda maksimum su seviyelerinin sınırlı olduğu bir ortamda rezervuar kapasitesini artırmanın en etkili yolu, barajın üstüne labirent savaklar inşa etmektir. Labirent savaklarda, iki nap akımının çarpışması nap girişimine neden olur ve bu da savak performansını azaltır. Bu çalışmada, labirent savakların verimliliğini arttırmak amacıyla nap girişiminin oluşmasını engellemek, akım kapasitesini arttırmak ve akımın savak duvarlarına daha dik açı ile gelmesini sağlayan yarım daire savakların harmonik planda yerleştirilmesiyle elde edilen labirent savakların nümerik modellenmesi yapılmıştır. Harmonik olarak yerleştirilen dairesel savakların nümerik modellenmesinde üç farklı savak yüksekliği (P=0.2, 0.3 ve 0.4 m) ve N=2,3 ve 4 olmak üzere üç farklı döngü sayısı kullanılmıştır. Deneyle ve nümerik modelden elde edilen debi ve savak yükleri karşılaştırılmış ve nümerik modeller deneyle ile %97 oranında tutarlı sonuçlar vermişlerdir.

Numerical Modeling of Circular Weirs with Harmonic Plan View

Keywords
Circular Weirs,
Labyrinth Weirs,
Numerical Modeling

ABSTRACT

Dams and reservoirs in use need to be revised to be considered safe. If the flood control is very important for existing reservoirs in terms of safety standards, the most effective way to increase reservoir capacity in a situation where maximum water levels are limited is to build labyrinth weirs on top of the dam. In labyrinth weirs, the collision of two nappe flows causes nappe interference, which reduces weir discharge performance. In this study, numerical modeling of labyrinth weirs obtained by placing semicircular weirs in a harmonic plan, which prevents the formation of nappe interference, increases the flow capacity and ensures that the flow reaches the weir walls at a steeper angle, was made in order to increase the efficiency of the labyrinth weirs. In the numerical modeling of harmonically placed circular weirs, three different weir heights (P = 0.2, 0.3 and 0.4 m) and three different cycle numbers, N = 2, 3 and 4, were used. The discharge values and total heads obtained from the experiments and the numerical model were compared and numerical models give %97 consistent results with experiments.

Sorumlu Yazar / Corresponding Author: ayildiz@ktun.edu.tr

Cilt / Volume: 1

Sayı / Issue: 1

Atıf Formatı / Cite as: Yıldız, A., Martı, A. İ., Göğüş, M., "Harmonik Plan Görünümüne Sahip Dairesel Savakların Nümerik Modellenmesi", Hendese, Cilt 1, Sayı 1, Sayfa 28-35, 2024.

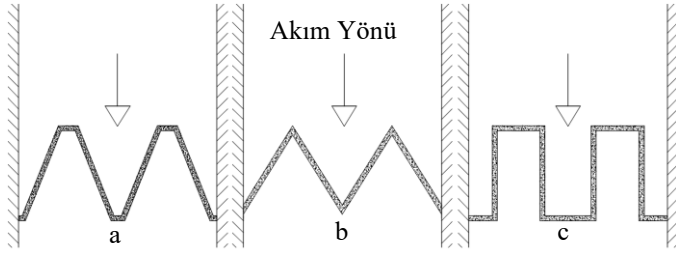
Doi: 10.5281/zenodo.11068955

1. GİRİŞ

Barajlar, nehirler üzerinde rezervuar oluşturmak, nehrin akımını önlemek, geciktirmek veya yönlendirmek amacıyla ve enerji, içme suyu, sulama ve ulaşım gibi farklı alanlardaki su ihtiyacının karşılanmasına yönelik inşa edilen bariyer yapılarıdır. Gövde, dip savak, dolusavak, rezervuar, su alma yapısı, çökeltim havuzu ve enerji kırıcı yapıları bir barajın temel bileşenleridir [1]. Barajların kurulacağı akarsuların belirli sürelerle bağlı olarak elde edilen akım verileri, tasarım aşamasında kullanılan en temel parametrelerden biridir. Gelişen hidroloji ve meteoroloji bilimiyle birlikte, daha uzun süreli hidrolojik kayıtların elde edilmesi, kullanılmakta olan baraj ve rezervuarların güvenliği açısından yenilenmelerinin gerekliliğini ortaya koymuştur. Ayrıca baraj haznelinde birikin sedimentlerde, haznelerin depolama kapasitesini azaltmaktadır. Eğer kanal veya rezervuar üzerine yerleştirilen savakların net kret uzunluğu yeterli değilse, doğrusal savaklar taşkın sırasında gelen fazla suyu güvenli bir şekilde akıtmak için yetersiz kalabilir [2]. Mevcut dolusavaklar, taşkın debisini rezervuardan mansaba, zamanında ve güvenli bir şekilde aktaramazsa, baraj gövdesi taşkın esnasında zarar görebilir ve bu yıkılmalara yol açabilir [3]. Dolusavakların barajın işletilme amaçları ve stabilizasyonu açısından önemli işlevleri vardır ve baraj maliyetinin önemli bir bölümünü oluştururlar. Dolusavaklar, aşırı yağışlar sonrasında rezervuara gelen taşkın suyunu kontrollü ve güvenli bir şekilde mansap tarafına aktaran yapılarıdır [4]. Dolusavakların türü ve konumu güvenilir bir şekilde planlanmalı, tasarlanmalı, inşa edilmeli ve işletilmelidir. Barajlardaki hasarların %22'si dolusavak kapasitelerinin yetersiz olması veya yıkılması nedeniyle meydana gelmektedir [5]. Baraj yıkılmalarının ve taşkınların önlenmesi, baraj yapısının daha güvenli olması için baraj yapısının üzerinde bazı revizyonların yapılması gerekmektedir. Ayrıca artmakta olan su talebini karşılamak amacıyla, rezervuarda daha fazla su depolamak, hidroelektrik santraller için elektrik üreten türbinlere ilave su yükü sağlamak ve barajlardaki taşkın kontrol kapasitesinin artırılması amacıyla birçok barajın savak yüksekliğinin artırılması gerekmektedir. Taşkın debisinin mansap tarafına güvenli bir şekilde aktarılması için savağın net kret uzunluğunun aynı genişlikte artırılması gerekmektedir. Mevcut rezervuarlar için taşkın kontrolünün hayati önem taşıdığı ve depolayabileceği maksimum su seviyesinin dizayn edilenden az olduğu durumlarda, rezervuar kapasitesini arttırmanın en etkili yollarından biri, baraj gövdesi üzerine labirent savaklarının yapılmasıdır. Akım labirent savakların üzerinden geçtiği için, labirent savaklar üstten alışı savak kategorisinde değerlendirilmektedir. Mevcut baraj gövdeleri üzerine labirent savaklar yapılarak rezervuarların kret yüksekliği ve depolama hacmi artırılmaktadır. Labirent savaklar, doğrusal savaklar ile karşılaştırıldığında aynı kanal genişliği ile daha uzun bir tepe uzunluğu (L_{net}) sağlar. Labirent savaklar belirli bir toplam düşü için deşarj kapasitesini arttırır, dolayısıyla mevcut barajların revizyonu için iyi bir alternatifirler [6]. Labirent savaklar geometrilerinden dolayı debi-deşarj kapasitesini attırdığı için, baraj gövdesinde doğrusal savaklara göre daha az yer gerektirir. Labirent savaklar aynı zamanda iyi enerji dağıtıcılar ve havalandırma yapılarıdır.

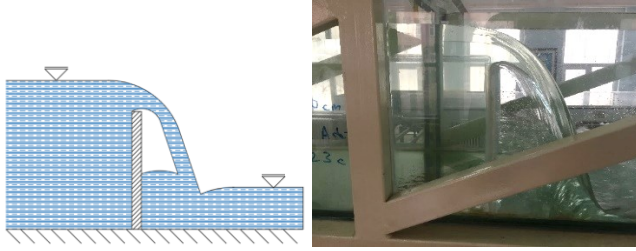
Labirent dolusavak, düz plan görünümünde katlanmış doğrusal bir savaktır. Gentilini [7] ilk defa plan görünümünde katlanmış üçgen labirent savak fikrini geliştirmiştir. Labirent savaklarla ilgili ilk kapsamlı çalışma Taylor [8] tarafından yapılmıştır. Taylor [8] ve Lux [9], labirent savaklar için bir döngünün uzunluğunun (w), savak yüksekliğine (P) oranı w/P 'nin, 2'den büyük olması gerektiğini belirtmişlerdir. Hay ve Taylor [10], labirent savakların tasarımında ve debinin hesaplanmasında kullanılacak parametrelerin belirlenmesi amacıyla 24 farklı şekil ve geometrideki labirent savak üzerinde testler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmalara göre, döngü sayısı (N) arttıkça savak katsayısının (C_d) azaldığını göstermektedir. Lux'a [9] göre aynı kanal genişliğinde (W) döngü sayısındaki (N) artış, savak katsayısını (C_d) azaltmaktadır. Tullis ve ark. [11], labirent savakların, geometrilerinden dolayı sahip olduğu avantajların ortadan kalkmaması için, savak üzerinden geçebilecek maksimum savak yükü için, H_T/P oranının 0,9'dan küçük ve w/P oranının 3,0 ile 4,0 arasında olması durumunda elde edileceğini belirtmiştir. Labirent döngü sayısının (N) artması, labirentlerin çok küçük düz savaklara dönüşmesi anlamına gelmektedir. Yıldız ve ark. [12], 3 farklı savak yüksekliğinde ($P=0.2, 0.3$ ve 0.4 m) ve 4 farklı döngü sayısında ($N=2, 3$ ve 4) üçgen savaklar üzerinde deneyler yapmışlardır. Yıldız ve ark. [13] yine üç farklı savak yüksekliği ve dört farklı döngü sayısındaki dairesel savaklar üzerinde deneyler yapmışlardır ve döngü sayısı (N) arttıkça savak katsayısının (C_d)'nin azaldığını belirtmişlerdir. Bilhan ve Emiroğlu [14], 3 farklı savak yüksekliğinde ($P=10, P=15$ ve $P=20$ cm) trapez ve dairesel labirent savaklar ile deneysel çalışmalar yapmışlardır ve elde edilen sonuçları savak katsayısı (C_d) bakımından kıyaslamışlardır. Ayrıca Bilhan ve ark. [15] başka bir çalışmalarında nap girişimini önlemek için kret duvarlarının tepesine akım yönünde kırıcılar yerleştirmişlerdir ve elde edilen sonuçlara göre yerleştirilen nap kırıcılar deşarj katsayısını %2 oranında azaltmıştır. Bilhan ve ark. [16] daha önce dairesel savaklar ile yaptıkları laboratuvar çalışmalardan topladıkları verileri Flow-3d ile modelleyerek karşılaştırmışlardır. Sayısal modellerin doğruluğu test edilmiş ve sayısal model ile deneysel veriler %96 tutarlı bulunmuştur. Haghiabi ve ark. [17] üçgen ve trapez şekilli labirent savaklar üzerindeki enerji kırınımını deneysel olarak araştırmışlardır ve labirent savaklar üzerinden geçen akımın rölatif savak yükü, H_T/P oranı 0.1 ile 1 olduğu aralıkta labirent savaklar ortalama olarak %85 ile %70 arasında enerji kırınımı gerçekleştirmişlerdir. Zare ve ark. [18], $60^\circ, 70^\circ, 80^\circ$ ve 90° duvar eğimlerine ve çap (w) ölçülerine sahip dairesel savaklar üzerinde deneysel çalışmalar yapmışlardır. En yüksek savak katsayısı (C_d) değeri, 60° duvar eğimine sahip dairesel labirent savakta elde edilmiştir ve dairesel savak çapının (w), savak katsayısı (C_d) üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır. Khalili ve Honar [19], 3 farklı savak yüksekliğinde (P) ve çap değerine sahip dairesel savakları yan savak olarak açık kanal sistemine yerleştirmişler ve Froude Sayısına (F_r) bağlı olarak savak katsayılarını (C_d) belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre yarım daire şeklindeki yan savaklar, doğrusal savaklara göre daha iyi debi-deşarj performansı göstermiş ve yüksek savak katsayısı (C_d) değerleri vermişlerdir. Labirent savaklar birçok geometrik konfigürasyona sahip olabilirler; en çok kullanılan konfigürasyonlar trapez (a), üçgen (b) ve dikdörtgen (c) konfigürasyonlardır. Bu 3 geometri

arasında üçgen ve trapez labirent savaklar en verimli deşarj performansını sağlamaktadır (Şekil 1).



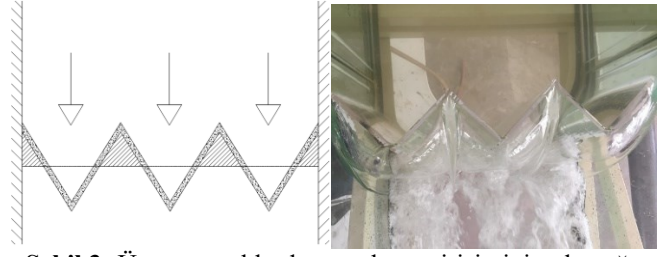
Şekil 1: Farklı plan görünümündeki labirent savaklar (a) trapez (b) üçgen (c) dikdörtgen

Labirent savak üzerinden geçen akım, mansap yüzeyinin havalandırılmasına bağlı olarak doğrusal savaklarda oluşan profile benzer olarak bir nap akımı üretir (Şekil 2). Akımın keskin kenarlı doğrusal bir savak üzerinden geçmesiyle oluşan akım profiline nap akımı denilmektedir. Nap akımında, akım savağın üzerinden dökülürken, su ile savağın mansap yüzeyi arasında hava mevcuttur.



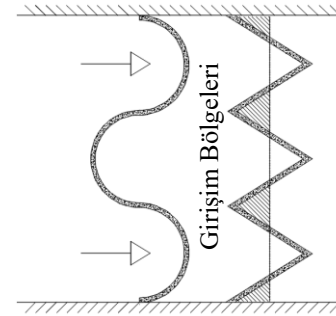
Şekil 2: Bir doğrusal savak üzerinde oluşan nap akımı

Labirent savaklarda toplam savak yükü (H_T) arttığında savağın debi-deşarj performansı düşer ve tepeden bakıldığında aynı uzunlukta doğrusal savak gibi davranmaya başlamaktadır. Bunun iki önemli sebebi vardır; yukarı ve aşağı yöndeki akımların etkileşiminden kaynaklanan nap akımlarının girişimidir. Labirent savaklarda iki nap akımının çarpışması, nap akımlarının girişimine neden olur ve nap akımlarının çakışmasının (girişiminin) oluşacağı alan, labirent savağın yan duvar açısı, net kret uzunluğu ve döngü sayısı gibi geometrik özelliklerine bağlı olarak değişmektedir [20]. Nap girişimlerinin meydana geldiği trapez, üçgen ve dikdörtgen plan görünümüne sahip labirent savaklarda, mansaptaki alanın dar olması nedeniyle akımın havalanması zordur ve debi (Q) deşarj kapasitesini azaltır. Labirent savaklarda komşu duvarlardan gelen akımların birbirleriyle çakışmasının yanında, aynı zamanda tepe tarafından gelen akımlarda da yan duvarlardan gelen akımlar çakışır (Şekil 3). Nap girişiminin olduğu toplam alan havalandırma durumuna bağlı olarak değişir ve girişim bölgesinin alanı toplam savak yüküne (H_T) bağlı olarak doğrusal olarak artmaz [6]. Ek olarak, nap girişimi labirent savakların debi (Q) kapasitesinin hesaplanmasında kullanılan etkin savak uzunluğunu (L_{net}) azaltmaktadır.



Şekil 3: Üçgen savaklarda nap akımı girişiminin olduğu bölgeler

Yıldız ve ark. [21] tarafından, nap akımlarının girişimi sonucunda, trapez ve üçgen labirent savaklarda debi-deşarj verimini azaltan alanları ortadan kaldırmak ve akışın savak duvarlarına daha dik açı ile ilerlemesini sağlamak amacıyla, yarım daire şeklindeki savaklar harmonik plan görünümünde tasarlanıp test edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4: Harmonik plan görünümündeki dairesel ve üçgen labirent savakların karşılaştırılması

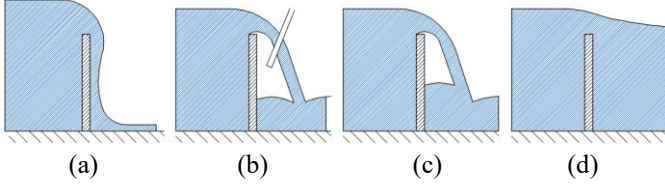
Yıldız ve ark. [21] tarafından harmonik plan görünümündeki dairesel savaklarda akım üçgen kesişme noktasına maruz kalmadığı için, üçgen plan görünümündeki labirent savaklar ile karşılaştırıldığında, aynı debi (Q) değeri daha düşük savak yüklerinde (H_T) oluşmaktadır. Dairesel labirent savaklardan elde edilen deneysel sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırılarak dairesel savakların performansı ve avantajları değerlendirilmiştir. Dairesel savaklar üzerinde yapılan laboratuvar çalışmalarda üç farklı savak yüksekliği ($P=0.2, 0.3$ ve 0.4 m) ve üç farklı labirent döngü sayısı ($N=2, 3$ ve 4) kullanılmış olup toplam 9 deney yapılmıştır. Bu çalışmada, bu deney setlerinin nümerik modelleri oluşturularak toplamda 9 adet konfigürasyonun modeli oluşturulmuştur.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Labirent Savaklar

Labirent savaklarda debi-toplam savak yükü ilişkisinin doğrusal savaklarla aynı olduğu varsayılırsa debi miktarı teorik olarak hesaplanandan daha az olmaktadır. Bunun nedeni savağın memba tarafındaki akım derinliğinin yaklaşma kanalındaki akım derinliğinden daha az olmasıdır. Labirent savaklarda net kret uzunluğu (L_{net}) arttığında, debideki (Q) artış oranı doğrusal savaklardaki ile aynı değildir. Yan duvar açısı azaldığında daha fazla nap girişimi artar ve yüksek savak yüklerinde debi-deşarj performansı düşer. Debi-deşarj performansı arttırmak için yan duvar açısı artırıldığında labirent savakların uzunluk avantajı ortadan kalkar. Debi çok yüksek

seviyelere ulaştığında savağın debi-deşarj verimi net kret uzunluğundan ziyade savağın geometrisinden (kesitinden) etkilenir. Bazı durumlarda duvarların alt kısımları yapay olarak havalandırılabilir. Falvey [22] labirent savaklar üzerindeki akımın havalandırılmasını 4 farklı durumda tanımlamıştır. Bu durumlar, Şekil 5'te gösterildiği gibi havalandırılmamış (bağlantılı) akım (a), kısmen havalandırılmış bacalı akım (b), kendinden havalandırılmalı ve nap akım durumu (c) ve batık (boğulma) akımdır (d).



Şekil 5: Doğrusal savak üzerinden geçen farklı akım durumları (a) Yapışık (havalanmamış), (b) Yarı havalanmış, (c) Nap (havalanmış), (d) Batmış

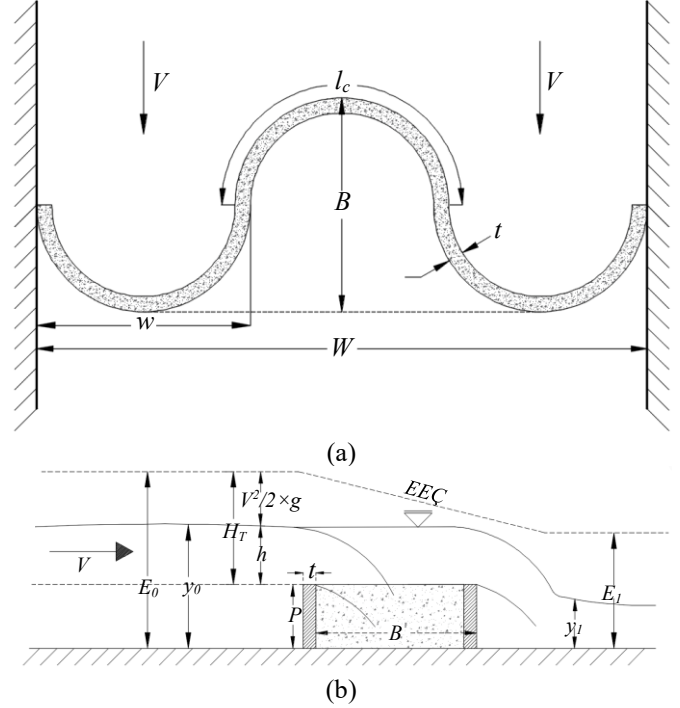
Labirent savakların üzerinden geçen akım 3 boyutlu olup, savakların üzerinden geçerken akım kritik akım durumundadır ve matematiksel ifadeler akımı tam olarak tanımlayamamaktadır. Labirent savakların geometrisi dikkate alındığında akımda ani daralma ve genişlemeler meydana gelir [3]. Labirent savaklar ile ilgili matematiksel denklemler türetilirken, enerji, momentum ve süreklilik denklemlerinin yanı sıra türbülanslı akış çizgileri, yüzey gerilimi, nap akımları altındaki negatif basıncın etkisi ve savak şekli gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Akım ani bir daralmayla karşılaştığında su yüzeyinde ani bir düşüş veya ani bir genişlemeyle karşılaştığında ise su yüzeyinde bir yükselme olur. Bu iki koşulun birleşimi yaklaşma kanalındaki akımın su yüzeyi kotunda bir yükselmeye sebep olur. Bu nedenle araştırmacılar, labirent savaklar üzerindeki akımı hesaplamak için deneysel verilerden elde edilen ampirik formülleri kullanmışlardır.

Harmonik plan görünümünde yerleştirilen dairesel savakların tasarımında dikkate alınan ana parametreler; dolusavak (kanal) genişliği (W), savak yüksekliği (P), bir döngünün uzunluğu (l_c), labirent döngü sayısı (N), düz görünümde bir döngünün uzunluğu veya iki döngü arasındaki mesafe veya çap (w), labirent savağın akım yönündeki uzunluğu (B), yaklaşma hızı (V), toplam düşü (H_T) ve daha az etkili olan değişken; duvar kalınlığı (t), Şekil 6'da gösterilmektedir.

Labirent savaklardaki akımı etkileyen parametrelerin, doğrusal savaklardaki akımı etkileyen parametrelerle aynı olduğu varsayılmaktadır. Bu varsayım üzerinden Tullis ve ark. [11] keskin kenarlı savak formülünü labirent savaklara uyarlayarak Denklem (1) elde etmişlerdir. Bu denklemde [23] H_T 'nin toplam yük olduğu ve $H_T=h+V^2/2 \times g$ olduğu varsayılmaktadır.

$$Q = \frac{2}{3} \times C_d \times L_{net} \times \sqrt{2 \times g} \times H_T^{1.5} \quad (1)$$

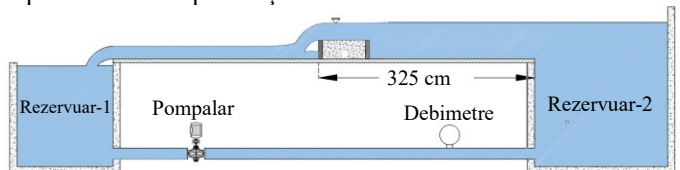
Burada, (Q) debi, C_d savak katsayısı, L_{net} net kret uzunluğu, g yerçekimi ve H_T (piyezometrik yük (h) + hız yükü ($V^2/2g$)) savak üzerindeki toplam yüküdür.



Şekil 6: Dairesel savak üzerinden geçen akımı etkileyen parametreler (a) Üstten (b) Yandan

2.2. Labirent Savakların Deneysel Modellenmesi

Harmonik plan görünümünde yerleştirilen dairesel labirent savakların deneysel olarak hidrolik özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan açık kanal düzeneği, 0.6 metre genişliğinde, 0.5 metre yüksekliğinde ve 6.5 metre uzunluğundadır. Deneyleri gerçekleştirilecek olan dairesel labirent savaklar, konum olarak açık kanalın başlangıcından 325 cm uzağa yerleştirilmişlerdir. (Şekil 7). Bu lokasyonun seçilmesindeki amaç rezervuar-2'den gelen sudaki dalgalanmaları en aza indirmektir. Deneylerin yürütüldüğü açık kanal sisteminin yüzeyi 12 mm kalınlığında camdan imal edilmiştir ve pürüzsüz bir yüzeye sahiptir. Açık kanal sisteminde akım iki adet rezervuar yardımıyla sağlanmaktadır. Pompalar rezervuar-1'den suyu aldıktan sonra rezervuar-2'ye gönderirler. Rezervuar-2'ye gelen su daha sonra kanala geçerek akımı oluşturmaktadır. Açık kanal sisteminden ve savaklar üzerinden geçen debi değeri (Q), pompalardan sonra boruların arasına yerleştirilen 0,01 L/s hassasiyetli ultrasonik debimetre ile ölçülmektedir. Açık kanala yerleştirilen labirent savaklar üzerinden geçen toplam yük (H_T) değerleri, piyezometrik yük (h) ve hız yükü ($V^2/2 \times g$) toplamından hesaplanmıştır.



Şekil 7: Açık kanal sisteminin genel görünüşü

Döngü sayısı (N) ve savak yüksekliği (P), dairesel kesitli labirent savaklar üzerinden geçen akımı etkileyen en önemli iki parametredir. Bu iki temel parametre dikkate alınarak farklı deney konfigürasyonları oluşturulmuştur. Döngü sayısı (N) ve savak yüksekliğinin (P), savağın performansı üzerindeki etkileri, debi (Q) ve toplam savak yükü (H_T) ölçülerek araştırılmıştır. Sabit savak yüksekliğine (P), farklı döngü sayılarına (N) sahip savakların kullanılmasının amacı, döngü sayısının deşarj performansına etkisini incelemektir. Aynı döngü sayısında (N) farklı savak yüksekliklerine (P) sahip savakların incelenmesinin amacı, savak yüksekliğinin (P) akım üzerindeki etkisini incelemektir. Farklı konfigürasyondaki savaklarda savak üzerinden, aynı debi (Q) daha düşük bir savak yükünde (H_T) geçerse, bu durum savağın daha verimli olduğunu göstermektedir. Laboratuvarında dairesel savaklar üzerinde gerçekleştirilen testlerde P=0.2, 0.3 ve 0.4 m olmak üzere üç farklı savak yüksekliği (P) kullanılmıştır. Harmonik plan görünümündeki savakların deneysel tasarımında kullanılacak yarım daire sayısı N=2, 3 ve 4 olarak belirlenmiştir. Deneyleri gerçekleştirilen harmonik plan görünümündeki dairesel savakların 3 boyutlu görüntüleri Şekil 8’de gösterilmiştir. Dörtten fazla sayıdaki döngü sayıları kullanılmamasının sebebi, labirent savağın içerdiği döngü sayısı arttıkça, sağladığı kret uzunluğu avantajının ortadan kalkması ve labirent savağın doğrusal bir savak gibi davranmasıdır. Dairesel savaklar için kullanılan döngü sayısı (N) arttıkça veya azaldıkça, toplam net kret uzunluğu (L_{net}) değişmezken, bir labirent döngüsünün net kret uzunluğu (l_c) döngü sayısına bağlı olarak artmaktadır veya azalmaktadır. Labirent savağın toplam kret uzunluğu $N \times l_c$ ile hesaplanmaktadır ve tüm konfigürasyondaki savaklar için toplam net kret uzunluğunu $L_{net} = 94,24$ cm olmaktadır.



Şekil 8. Deneyleri ve nümerik modelleri oluşturulan harmonik dizilimdeki dairesel labirent savaklar

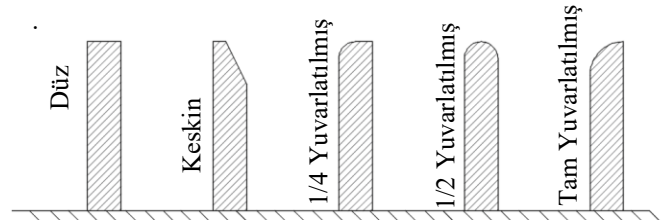
Bu çalışmada gerçekleştirilen 9 adet dairesel kesitli labirent savak deneyleri Çizelge 1’de gösterilmektedir. Plan görünümündeki döngü sayısı, savak yükseklikleri (P), bir labirent döngüsünün net kret uzunluğu (L_c) ve bir labirent döngüsünün uzunluğu (w) **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**’de verilmiştir.

Üzerlerinde deneyler yürütülen dairesel labirentler savaklar düz kret şekline sahiptir (Şekil 9). Savakların tepelerinde yuvarlaklık bulunmadığından kretin kalınlığı savağın et kalınlığına eşittir. Savaklar 0.6 cm kalınlığında akrilik levhalardan elde edilmişlerdir. Dairesel savaklar üzerinde yapılan deneylerde nap akımının oluşması amaçlanmıştır ve deneysel veriler nap akımının oluştuğu şartlarda toplanmıştır. Nap akımı altında havalandırmanın bitmesi ve akımın havalandırılmamış (kohezif) akım durumuna geçmesinden

sonra veri elde edilememiştir

Çizelge 1. Dairesel savaklar ile yapılan deneyler

No	Plan Görünümü	Savak Yüksekliği (P)	Döngü Sayısı (N)	Bir döngünün net kret uzunluğu (l_c)	Bir döngünün plan gör. Uzunluğu (w)
1 4 7		0.2 m 0.3 m 0.4 m	2	47.12 cm	0.3 m
2 5 8		0.2 m 0.3 m 0.4 m	3	31.41 cm	0.2 m
3 6 9		0.2 m 0.3 m 0.4 m	4	23.56 cm	0.15 m



Şekil 9: Farklı kret tepe şekilleri

2.3. Dairesel Savakların Nümerik Modellenmesi

Harmonik plan görünümündeki dairesel savaklar ile yapılan deneylerin, nümerik modelleri sonlu hacim metodu tabanlı (VOF) ANSYS'in Fluent modülü kullanılarak oluşturulmuştur. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) teknikleri aynı model üzerinde birden fazla analiz yapılabilmesi, verilerin daha kolay toplanıp paylaşılabilmesi ve deneysel çalışmalara göre ekonomik olması sebebiyle son zamanlarda hidrolik yapıların tasarımında sıklıkla kullanılmaktadır. Sıvı-katı, sıvı-gaz, sıvı-katı-gaz ve gaz-katı etkileşimlerini içeren, birden fazla farklı fazları içeren akışkan problemleri Fluent tarafından çözülebilmektedir. Bu akışkan problemlerinin çözümü için, Eulerian, Volume of Fluid (VOF) ve Discrete Phase Method (DPM) kullanılmaktadır. Enerji, momentum ve kütle korunumu yasalarından elde edilen denklemler akış hareketinin bulunduğu problemin çözümü için kullanılır.

Kütle korunumu denklemi veya süreklilik denklemi Denklem 2 olarak yazılabilir:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (2)$$

2D aksel simetrik geometriler için süreklilik denklemi Denklem 3 ile verilmektedir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x) + \frac{\partial}{\partial r}(\rho v_r) + \frac{\rho v_r}{r} = S_m \quad (3)$$

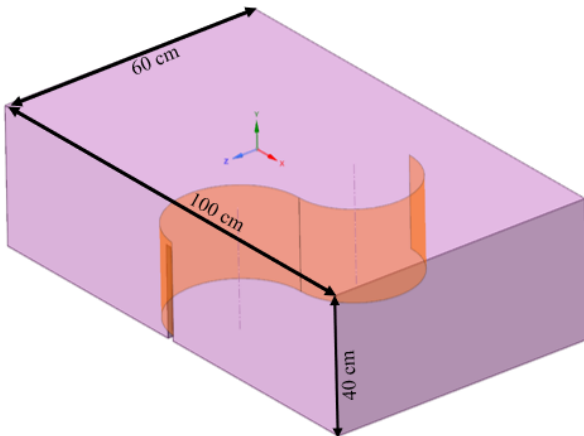
Ataletsel (hızlanmayan) bir referans çerçevesinde momentumun korunumu Denklem 4 ile açıklanmaktadır.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla * (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla P + \nabla * (\vec{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (4)$$

Burada x aksel koordinat, r radyal koordinat, v_x aksel hızdır, v_r radyal hızdır, ρ sıvının yoğunluğu, P statik basınç, g yerçekimi, \vec{F} kuvvettir ve $\vec{\tau}$ stres tensörüdür.

Geometri

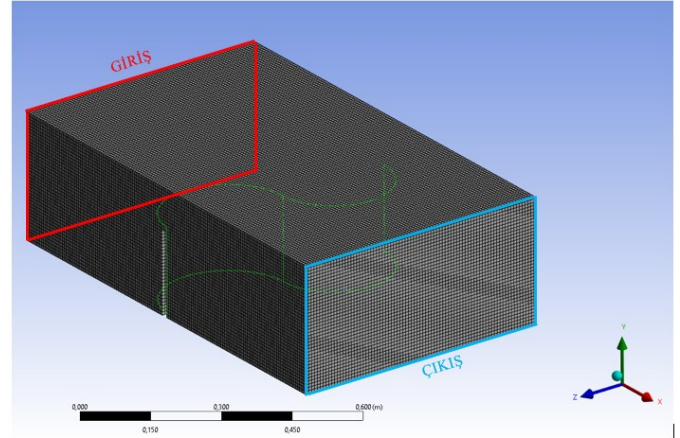
Dairesel savakların nümerik modelleri, fiziksel deneyler ile aynı büyüklükte ve 3 boyutlu olarak oluşturulmuştur. Fluent'te akışkan problemlerinin analizi, katı hacmi geometrisi yerine, akış hacmi geometrisinin içerisinde gerçekleştirilmektedir. Akım hacmi, su ve havanın bulunabileceği suyun ve havanın temas ettiği katı yüzeyleri oluşturan hacim dışarısında kalan bölgedir. Bu nedenle akış hacminin büyüklüğü tüm hidrolik olayları kapsayacak şekilde problemin boyutuna göre belirlenmelidir. Analizde kullanılacak akış hacimleri AutoCAD'de oluşturularak sat (Standart ACIS Text) formatında programa aktarılmıştır. Analizde kullanılan akış hacmi 40 cm yüksekliğinde, 60 cm genişliğinde ve 100 cm uzunluğundadır (Şekil 10). Akım hacminin genişliği kanal genişliğine eşit alınmıştır. Akım hacminin yüksekliği ve uzunluğu, suyun dairesel savaklar üzerinden akışını ve dökülmesinin analiz bölgesi içinde kalacağı şekilde seçilmiştir.



Şekil 10: Nümerik analizlerde kullanılan akış hacmi

Mesh

Akışkan problemini çözmek için, 3 boyutlu akış hacmi daha küçük hürelere ayrılır. Bu hürelere mesh olarak adlandırılır. Akış hacminin içerdiği hücre (mesh) sayısı arttıkça çözümün doğruluğu artmaktadır. Sayısal modelin akım hacminin geometrisi dikdörtgen prizma olduğundan meshlerin şekli de küp olarak seçilmiş ve Kartezyen mesh sistemi kullanılmıştır (Şekil 11). Kullanılan küp şeklindeki meshlerin, bir kenar boyutu 0,008 m=8 mm olup toplamda 483000 adet mesh ile analiz gerçekleştirilmiştir.,



Şekil 11: Hücrelerin oluşturulması için kullanılan Kartezyen mesh sistemi

Setup

Akım hacminin "giriş" yüzeyi "mass flow inlet" yani debi girişi, akım hacminin "çıkış" kısmı ise "pressure outlet" yani serbest basınç çıkışı olarak tanımlanmıştır. Renormalization Group (RNG) k-omega modeli, türbülans modeli olarak kullanılmıştır. Dairesel savaklar üzerinde yapılan deneylerde serbest yüzeyli su akışı ve üzerinde açık hava basıncı bulunmaktadır. Bu nedenle akım hacminde hem hava hem de su bulunabilecek şekilde analiz 2 fazlı olarak tasarlanmıştır. İki fazlı akımın sağlanması için VOF (Volume of Fluid) yöntemi olarak "Multiphase" modeli seçilmiştir. Çözümü daha detaylı hale getirmek için "explicit" çözüm yerine "implicit" çözüm kullanılmıştır. Analiz süresini düşürmek için dairesel savakların memba tarafında bir başlangıç su hacmi tanımlanır. Bu sayede savakların arkasındaki rezervuarın su ile doldurulması için harcanan analiz süresi kısaltılmıştır. Hesaplama kullanılan "time step size" savak yüksekliğine (P) ve debiye (Q) bağlı olarak, 0.0015-0.006 sn arasında değişmektedir.

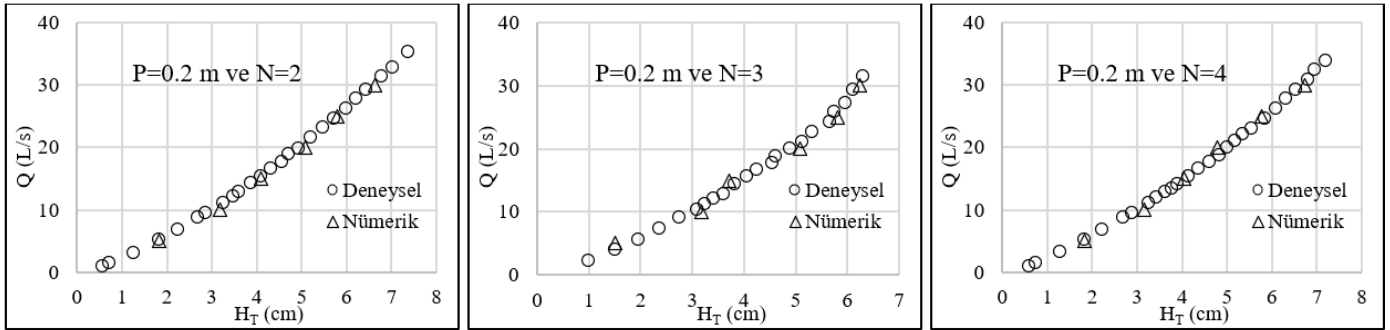
3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Açık kanal sistemine harmonik olarak yerleştirilen dairesel labirent savakların hidrolik performansını belirlemek amacıyla, 3 farklı savak yüksekliği (P=0.2, 0.3 ve 0.4 m) ve 3 farklı döngü sayısı (N=2, 3 ve 4) için toplamda 9 deney gerçekleştirilmiştir. Harmonik plan görünümündeki dairesel savaklar ile yapılan deneyler, Şekil 5'te gösterilmiştir. Yapılan deneylerde, su savakların üzerinden geçerken oluşan akışta, kendinden havalanmış nap akımının oluşmasına dikkat edilmiştir. Debi (Q) ve karşılık gelen toplam savak yükü (H_T) değerleri kendinden havalanmış nap akımı için toplanmıştır. Nap akımının oluşmadığı ve akımın yapışık ve batmış akım olduğu durumlarda veri alınmamıştır. Deneylerde kullanılan dairesel savakların döngü sayısından (N) bağımsız olarak, tüm konfigürasyonlar için toplam kret uzunluğu $L_{net}=94,24$ cm'dir.

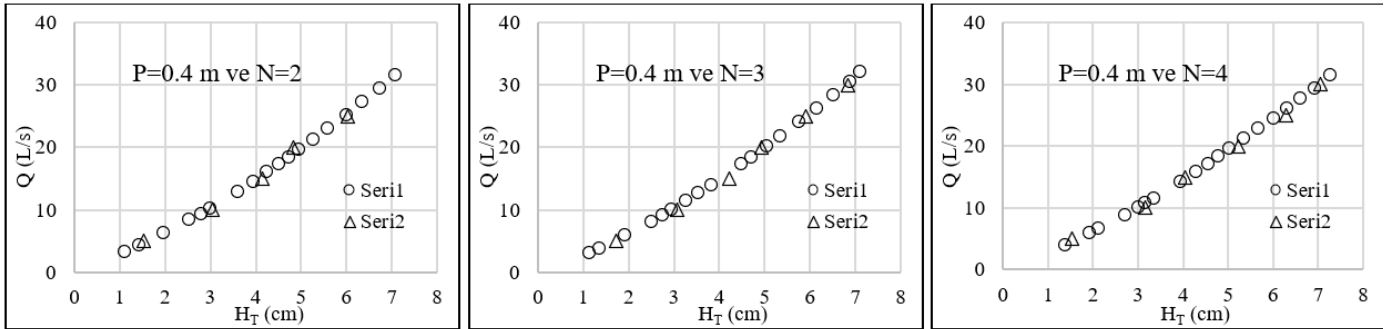
Dairesel savaklar için yapılan her bir deney düzeneği için 9 adet nümerik model oluşturulmuştur. Her bir konfigürasyondaki nümerik modeller $Q=5-10-15-20-25-30$ L/s olmak üzere altı debi değeri ile nümerik model analizleri yapılmıştır. Bu debi değerleri ile nümerik modeller üzerinde toplamda 56 adet analiz gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma grafiksel olarak yapılacağından analizlerde kullanılacak debi değerleri, deneylerdeki ile aynı seçilmesi gerekmektedir. Fluent de yürütülen analizler, “giriş” ve “çıkış” sınırlarındaki debi değerleri eşitlenip sistem kararlı hale gelinceye kadar sürdürülmüştür. Toplam analiz süresi debi (Q) ve savak yükü (H_T) değerlerine bağlı olarak her nümerik model için 6-9 saat arasında değişmektedir. Nümerik modellerden ve laboratuvar

yükündeki artış miktarı azalmaktadır ve debi (Q)-savak yükü (H_T) arasındaki eğri ilişkisi parabolik olmaktadır. Nümerik modellerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, aynı debi (Q)-savak yükü (H_T) ilişkisi gözlenmektedir. Bütün savak yükleri ve döngü sayıları göz önünde bulundurulduğunda, nümerik modeller ile deneysel verilerin %97 oranında tutarlı sonuç verdiği görülmüştür. Nümerik modelin doğruluğu, kullanılan meshlerin boyutları ile yakından ilişkilidir. Bu çalışmada 8 mm büyüklüğünde, kare şeklinde meshler kullanılmıştır. Daha küçük mesh boyutu %3 lük hata payının düşürülmesi mümkündür.

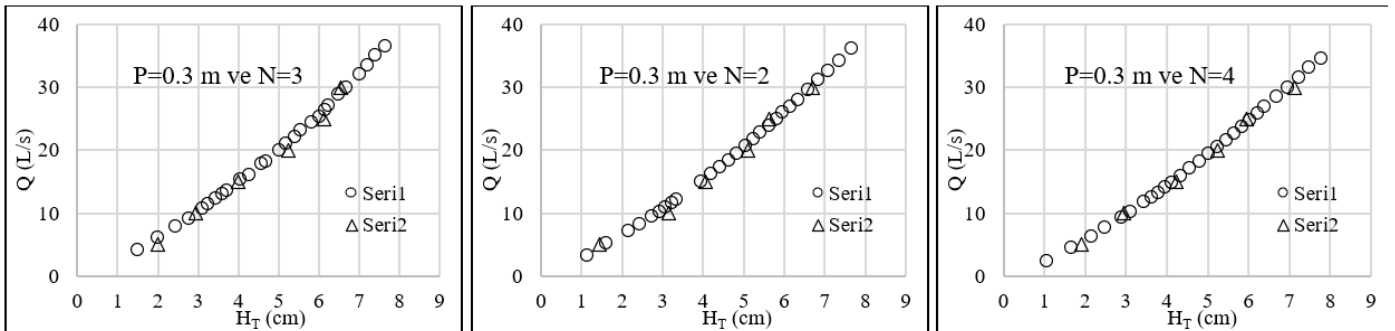
Deneylerden ve sayısal modellerden elde edilen üç boyutlu görüntüler, görsel olarak incelenmiştir. Görsel analizde, su



Şekil 12. P=20 cm için farklı döngü sayılarındaki dairesel savakların deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması



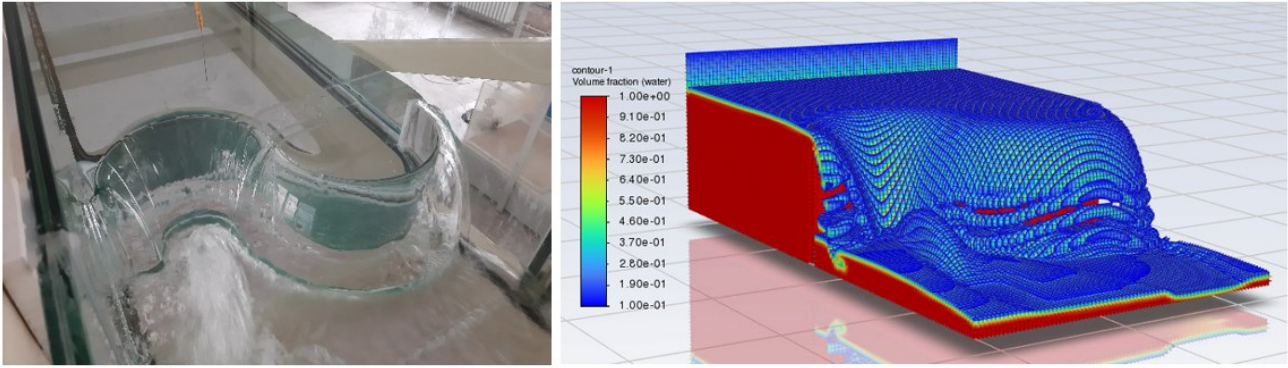
Şekil 13. P=40 cm için farklı döngü sayılarındaki dairesel savakların deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 14. P=30 cm için farklı döngü sayılarındaki dairesel savakların deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması

çalışmalarından elde edilen veriler toplam debi (Q) ve savak yükü (H_T) açısından grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Aynı savak yüksekliği (P) ve döngü sayısı (N) için deneylerden ve sayısal modellerden elde edilen sonuçlar toplam savak yükü (H_T) ve debi (Q) değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 12, Şekil 13 ve Şekil 14). Deneysel veriler incelendiğinde debi (Q) arttıkça, savak yükü lineer olarak artmamaktadır. Debi arttıkça savak

yüzeyi profilleri incelenmiş ve suyun savakların özelliklerine bağlı olarak nasıl döküldüğü ve ardından savakların mansap kısmında oluşan türbülanslar karşılaştırılmıştır. Sayısal modelden üretilen üç boyutlu görüntülerle deneyler arasında yapılan karşılaştırmada, akımın oluşturduğu su yüzeyi profillerinin oldukça benzer oldukları görülmektedir.



Şekil 15: Dairesel savak deneylerinden ve nümerik modellerinden elde edilen 3 boyutlu görüntülerin karşılaştırılması.

Su, savakların üzerinden serbest bir şekilde akarken, mansap tarafında akım kendinden havalanmış nap akımı durumundadır (Şekil 15). Her iki modelde de suyun davranışı, savakların arkasında bir rezervuar görevi görmekte ve savakların üzerinden nap girişimi oluşturmadan dökülmektedir. Nümerik modelde, savakların memba tarafında hazne olarak davranan bölgede bir dalgalanma veya şiddetli türbülans gözlemlenmemiştir. Bu durum, uygulanan sınır tabaka koşullarının başarılı bir şekilde işlediğini göstermektedir. Sayısal modelden elde edilen üç boyutlu simülasyonlar ile deney görüntülerinin karşılaştırılması Şekil 15'te gösterilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Ali YILDIZ'ın "Dairesel labirent savakların hidrolik özellikleri, deneysel tasarımı ve nümerik modellenmesi" isimli doktora tez çalışmasından üretilmiştir. Yardımlarından dolayı Danışmanım Ali İhsan MARTI ve Yardımcı Danışmanım Mustafa GÖĞÜŞ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- [1] U.S. Bureau of Reclamation, "Design of small dams", Washington, D.C., 1977.
- [2] Tingey, S.E., "Discharge Coefficients of Oblique Weirs", Yüksek Lisans Tezi, Utah State University, 2011.
- [3] Amanian, N., "Performance and Design of Labyrinth Spillway", Yüksek Lisans Tezi, Utah State University, 1987.
- [4] Reese, A.J., Maynard, S.T., "Design of Spillway Crests", Journal of Hydraulic Engineering, Cilt 1987, Sayı 113, Sayfa 476-90, 1987.
- [5] ICOLD. Dam failures statistical analysis. ICOLD - Central Office; 1995.
- [6] Wormleaton, P.R., Tsang, C.C., "Aeration Performance of Rectangular Planform Labyrinth Weirs", Journal of Environmental Engineering, Cilt 126, Sayı 5, Sayfa 456, 2000.
- [7] Gentilini, B., "Stramazzi con cresta a pianta obli-qua e zigzag", Memorie e Studi Del Regio Politecnico Di Milano, Cilt 48, Sayfa 1-12, 1940.
- [8] Taylor, G., "The performance of labyrinth weirs", Doktora Tezi, University of Nottingham, 1968.
- [9] Lux, F., "Design and application of labyrinth weirs", Design of Hydraulic Structures, 205-2017, Albertson & Kia (eds), Colorado, 1989.
- [10] Hay, N., Taylor, G., "Performance and Design of Labyrinth Weirs", Journal of the Hydraulics Division, Cilt 96, Sayfa 2337-57, 1970.
- [11] Tullis, J.P., Amanian, N., Waldron, D., "Design of Labyrinth Spillways", Journal of Hydraulic Engineering, Cilt 121, Sayı 3, Sayfa 247, 1995.
- [12] Yıldız, A., Marti, A.I., Gogus, M., "Determination of hydraulic characteristics of flow over a triangular sectioned weir by using experimental and numerical modeling", Journal of Computational Applied Mechanics, Cilt 52, Sayı 2, Sayfa 215-232, 2021.
- [13] Yıldız, A., Marti, A.İ., Gögüş, M., "Farklı savak yüksekliğine ve konfigürasyona sahip dairesel labirent savakların deneysel modellenmesi", Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 13, Sayı 2, Sayfa 373-385, 2023.
- [14] Bilhan, O., Emiroğlu, M.E., "Experimental Studies on Determination of Discharge Capacity of Circular Labyrinth Weirs Located on A Straight Channel", International Journal of Electronics, Mechanical and Mechatronics Engineering, Cilt 6, Sayı 3, Sayfa 1227-39, 2016.
- [15] Bilhan, O., Emiroglu, M.E., Miller, C.J., "Experimental Investigation of Discharge Capacity of Labyrinth Weirs with and without Nappe Breakers", World Journal of Mechanics, Cilt 6, Sayı 7, Sayfa 207-221 2016.
- [16] Bilhan, O., Aydin, M.C., Emiroglu, M.E., Miller, C.J., "Experimental and CFD Analysis of Circular Labyrinth Weirs", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Cilt 144, Sayı 6, 2018.
- [17] Hagiabi, A.H., Ghaleh, Nou, M.R., Parsaie, A., "The energy dissipation of flow over the labyrinth weirs", Alexandria Engineering Journal, Cilt 61, Sayı 5, Sayfa 3729-3733, 2022.
- [18] Zare, H., Vaghefi, M., Mahmoudi, A., Behrooz, A.M., "Experimental Exploration of Flow Hydraulics and Discharge Coefficient for an Inclined Circular Labyrinth Weir", Water Resources Management, Cilt 37, Sayfa 4521-4536 2023.
- [19] Khalili, M., Honar, T., "Discharge coefficient of semi-circular labyrinth side weir in subcritical flow", Water SA, Cilt 43, Sayı 3, Sayfa 433-441, 2017.
- [20] Crookston, B.M., "Labyrinth Weirs", Doktora Tezi, Utah State University, Utah, 2010.
- [21] Yıldız, A., Marti, A.İ., Gögüş, M., "The hydraulic investigation of harmonic plan weirs", Flow Measurement and Instrumentation, Cilt 95, Sayı 102512, 2024. <https://doi.org/10.1016/J.FLOWMEASINST.2023.102512>.
- [22] Falvey, H.T., "Hydraulic Design of Labyrinth Weirs" 1-160, ASCE, Reston, 2002.
- [23] Crookston, B.M., Tullis, B.P., "Hydraulic Design and Analysis of Labyrinth Weirs. I: Discharge Relationships", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Cilt 139, Sayı 139, Sayfa 363-370, 2012.



MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
HENDESE TEKNİK BİLİMLER VE MÜHENDİSLİK DERGİSİ
MUŞ ALPARSLAN UNIVERSITY
JOURNAL OF HENDESE TECHNICAL SCIENCES AND ENGINEERING

Muş Alparslan Üniversitesi Külliyesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 49250, Muş, Türkiye

<https://dergipark.org.tr/en/pub/hendese/board>

HENDESE Nisan 2024, 1 (1): 1-49

Cilt / Volume: 1

Sayı / Issue: 1

Yıl / Year: 2024

**Investigation of Production Parameters, Mechanical Properties
and Microstructures of
5005 Aluminum Alloys Produced by St/Cu Shell Pair in TRC**

Furkan Berkay Tamer¹, Serdar Aslan², Onur Birbaşar³

¹ Faculty of Engineering, Karadeniz Technical University, Trabzon, TÜRKİYE

furkan.tamer@ktu.edu.tr - [orcid > 0009-0000-6908-1265](https://orcid.org/0009-0000-6908-1265)

² Faculty of Engineering, Sakarya University, Sakarya, TÜRKİYE

saslan@sakarya.edu.tr - [orcid > 0000-0001-5061-6338](https://orcid.org/0000-0001-5061-6338)

³ ASAŞ Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş., Sakarya, TÜRKİYE

onurbirbasar@gmail.com - [orcid > 0009-0007-5245-8653](https://orcid.org/0009-0007-5245-8653)

Article Information

Article Types: Research Article

Received: 02 April 2024

Accepted: 25 April 2024

Year: 2024 | **Volume:** 1 | **Issue:** 1 | **Pages:** 36-45

Cite as: Tamer, B.F., Aslan, S., Birbasar, O., "Investigation of Production Parameters, Mechanical Properties and Microstructures of 5005 Aluminum Alloys Produced by St/Cu Shell Pair in TRC", *Hendese*, Vol. 1, Issue 1, Pages 36-45, 2024.

Corresponding Author: Furkan Berkay Tamer

Investigation of Production Parameters, Mechanical Properties and Microstructures of 5005 Aluminum Alloys Produced by St/Cu Shell Pair in TRC

Furkan Berkay Tamer^{*1}, Serdar Aslan², Onur Birbaşar³

^{*1} Faculty of Engineering, Karadeniz Technical University, Trabzon, TÜRKİYE

² Faculty of Engineering, Sakarya University, Sakarya, TÜRKİYE

³ ASAŞ Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş., Sakarya, TÜRKİYE

(Received: 02.04.2024, Accepted: 25.04.2024, Published Online: 26.04.2024)

Keywords

Twin Roll Casting,
TRC,
Copper shell,
Recrystallization,
Aluminum

ABSTRACT

This study was carried out on the rollers where solidification occurs in the twin-roll casting method being one of the flat product manufacturing methods. The rollers where solidification occurs consist of two components, the core and the shell. These are cooled by water circulation. In industry, alloy forged steel is commonly used as the shell material. It is known that the copper has a higher thermal conductivity coefficient than that of steel. That's why, copper shell material can be used industrially instead of steel due to its advantages such as rapid solidification and increasing productivity. In this study, instead of alloy steel/steel shell, steel/copper shell pair was used and the effects of this shell pair on the production parameters, microstructural and mechanical properties of 5005 aluminum alloy were examined. Consequently, 40-60% of productivity has been achieved. Thanks to the Cu shell, partial dynamic recrystallization occurred in as-cast samples. The matrix is supersaturated, intermetallics and centerline segregation are reduced. Electrical conductivity tests and BF images results prove the supersaturated matrix. There was also a slight decrease in the annealing temperatures required for recrystallization. Additionally, there was an approximately 30% increase in microhardness. Tensile and Erichsen results also confirm the strength increases.

1. INTRODUCTION

Aluminum's usage areas and consumption rate increase day by day as it has many unique properties. Specific strength, lightness, very good thermal and electrical conductivity and corrosion resistance make it very competitive [1] [2].

Aluminum flat products have been the choice of use in many different sectors for many years. Aluminum flat products are widely used in areas such as packaging, automotive, heating-cooling, architectural structures etc. One of the main reasons why it is preferred is that it can be easily shaped with a press. They are used as heat shields in the automotive industry, as food containers in the food industry, and as candle containers in decorative products.

Aluminum sheets can be produced by the twin roll casting method (Twin, roll casting, TRC). Twin roll casting method (TRC) is based on the principle of solidification by absorbing heat from the interface formed by feeding the liquid metal between two water-cooled rolls through a ceramic tip. Then, it takes its final shape with or without annealing by cold rolling and slitting/cutting to length processes [3].

In the twin roll casting method, 2 main rolls and 2 roll shells mounted on them in a shrink fit are used. While the core part of the rollers is responsible for creating the structural integrity and stability of the system with its design features, the main function of the roller shell is to absorb the heat from the liquid metal entering between the roller gap and transfer it to the cooling medium circulating at the interface between the core and the shell. During thermal heat transfer, microcracks occur on the roller surfaces. The plate is subjected to turning and grinding processes in order to eliminate these cracks that affect the surface quality. When the roller diameter decreases to a critical value, it is replaced with a new shell and made usable again [4].

In the flat product manufacturing industry, alloy steel shells are widely used as roll shell material traditionally. To achieve the longest lifespan and the best conductivity, mechanical and thermal properties must be perfectly balanced. Here, there are two options to consider. Either a large rise in productivity statistics with optimum lifespan is desired, or traditional productivity figures with a significantly longer shell life are adhered. Due to its great thermal conductivity, copper is the primary option. But using pure copper will severely shorten its life because of its poor mechanical qualities. Therefore, alloying elements like cobalt and beryllium enhanced its

2.2. Method

In this study, one of the widespread usage area in flat rolled products commercial grade 5005 aluminum alloy sheets cast by the twin-roll casting method were produced in the 5-7 mm thickness range. Process 1, 2, 3 and 4 represent the routes of the samples casted with the St/St shell pair and process 5, 6, 7 and 8 casted with the St/Cu shell pair. After casting, it was cold rolled with a Delta brand laboratory scale rolling machine with a cold deformation rate of 82% from a casting thickness of 5-7 mm. After that, intermediate annealing was applied to the samples at different temperatures: 330, 350, 370 and 390. These routes are indicated in the flow chart given in Figure 2.

strength and service life [5].

Using an alloy copper shell is an alternative to the steel shell. The purpose of this study is to improve the production parameters by reducing centerline segregation, obtaining equiaxed and fine grain size as a result of rapid solidification, improving mechanical properties, and enabling the production of aluminum plate with the steel/copper shell pair combination [6].

This investigation looked at the electrical conductivity values, hardness profile through thickness, grain size, intermetallic particle size/distribution, and microstructural components for both surfaces subjected to various solidification pathways. Using a steel/steel shell pair, the outcomes were compared to those of conventional manufacture of 5005 aluminum alloy.

2. MATERIAL AND METHOD

In this study, the compositions of melting furnaces were set up considering EN 573-2 standards. This standard covers a code designation system applicable to aluminum and aluminum alloys as specified in the relevant standards. These are European Norm standards determined for the chemical composition and shape of formable products. As shell materials, beryllium alloy copper shells and alloy steel shells were used in Novelis PAE Jumbo 3CM® Continuous Caster Machines.

2.1. Material

As the main materials, two commercial grade 5005 aluminum alloy sheets with a thickness of 5-7 mm were used. One 5005 aluminum alloy plate was produced with an alloy steel/steel roller pair, and the other 5005 plate was produced with a beryllium alloy copper/alloy steel shell roller pair. As-cast samples produced with steel/steel and steel/copper shell are given in Figure 1.



Figure 1. As-cast samples produced via steel/steel and steel/copper shell pair

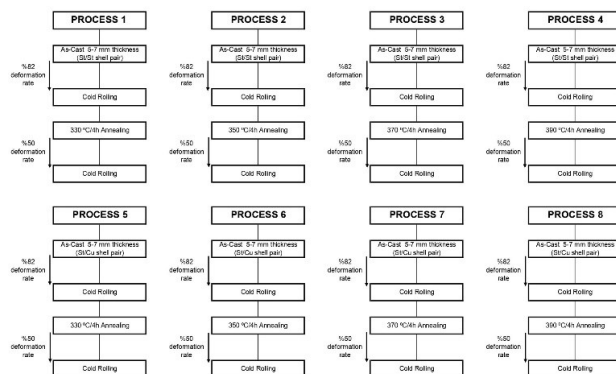


Figure 2. Route flow charts of the processes

In the first stage, it was cold rolled with a Delta brand laboratory scale rolling machine with a cold deformation rate of 82% from a casting thickness of 5-7 mm.

Then, 4 different samples were taken and an intermediate annealing process was applied for 4 hours at 4 different temperatures as 330, 350, 370 and 390 °C in processes 1, 2, 3, and 4 respectively. The intermediate annealing process was carried out in Nabertherm brand laboratory annealing furnaces. The samples, to which 4 different intermediate annealing recipes were applied, were reduced to their final thickness by cold rolling with a 50% cold deformation rate.

2.3. Analysis

The samples produced considering to EN 573-2 standard were subjected to elemental analysis using Thermo Scientific ARL 3460 optical emission spectrometer device. The result ranges of the spectrometer are given in Table 1.

Table 1. The result ranges of the spectrometer of samples considering to EN 573-2

Element	% weight
Si	0.85-0.95
Fe	0.27-0.35
Cu	0.002-0.010
Mn	0.015-0.020
Mg	0.55-0.75
Cr	0.001-0.005
Ni	-
Zn	0.002-0.010
Ti	0.02-0.03
Ga	-
V	0.01-0.03
Others	-
Al	98.95

The samples obtained as a result of the determined routes were prepared for metallographic examination under the with the ZEISS Scope.A1 optical microscope. The samples, cut to appropriate sizes and embedded in epoxy resin, were first grinding 500, 1200 and 2500 grit respectively and then subjected to final polishing with 3 µm SiC suspension. Electrolytic etching was done with tetrafluoroboric acid using the Struers Tegramin-30 device. Electrolytic etching was performed with HF on images taken in BF (bright field) mode. Microstructure images were obtained under polarized light and BF. Struers brand device was used for sample sanding and etching processes. Metallographic examinations were made with the ZEISS Scope.A1 optical microscope. In addition to the optical microscope, SEM (Scanning Electron Microscope) images were examined at 500X, 1000X and 2000X magnifications and EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) field analyzes were performed with the ZEISS EVO MA 15 scanning electron microscope for detailed microstructural and elemental examinations of the samples.

In order to analyze the mechanical properties of the samples used in the processes, two-way tensile tests, 0° and 90°, were applied on the Zwick/Roell 50kN testing device considering to DIN EN ISO 6892-1 standards. In tensile tests, yield strength, tensile strength and % elongation values were obtained. In addition, the values were examined by applying Erichsen tests on the same device considering to ISO 20482 standards. Microhardness measurements were taken from the cross-

section of the samples in Vickers using the Future-tech Vickers microhardness measuring device. Measurements were recorded with parameters for 10 seconds under 10 gf load.

Electrical conductivity values of the samples taken during the processes were also obtained using the Fischer brand conductivity measuring device. Conductivity values were measured by setting the frequency to 480 kHz and allowing penetration to a depth of approximately 150 µm from the surface.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Microstructural Analysis

In the study, microstructure images were obtained parallel or perpendicular to the casting or rolling direction. They are called as taking images in perpendicular (longitudinal-L) and parallel (transverse-T). It is shown in Figure 3.

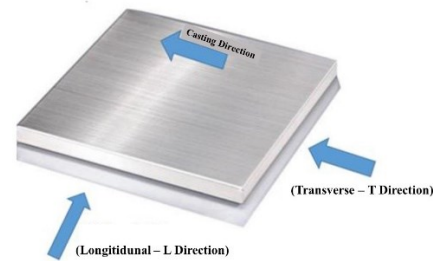


Figure 3. Sample preparation directions according to casting or rolling direction in microstructure imaging

3.1.1. Microstructures of As-Cast Samples

The microstructure images of the as-cast thickness samples are presented in Figure 4, 5, 6 and 7. In these as-cast microstructure images, Figure 4, 5 and 6 are polarized microstructure images. Additionally BF (bright field) images on the optical microscope were obtained for examining centerline segregation and amount of intermetallics. They were presented in Figure 7. Grain elongations specific to the twin-roll casting structure are present in both materials made with steel and steel shell and those cast with steel and copper shell. Polarized microstructure images in Figures 4 and 5 make grain elongations quite evident. The reason for these grain elongations is that rolling is a necessary step in the process, and the aluminum solidifies between the two rollers. Once more, upon closer inspection of these pictures, it is evident that the upper and lower portions in contact with the rollers have a finer-grained microstructure than that in the middle area due to their rapid solidification. It is evident that the microstructure is equiaxed and comparatively coarser grained toward the center. The grain structure on the surface in touch with the copper shell at the bottom of Figure 4(b) and 5(b) have been found to exhibit a coarser-grained and more equiaxed microstructure than the grain that on the surface in contact with the steel shell at the top. This structural difference resulted from partial dynamic recrystallization caused by the deformation effect and quicker solidification of the copper shell owing to its superior heat conductivity as compared to the alloy steel shell. This phenomenon, which is a result of precipitation of dispersoids from a highly supersaturated matrix, is known as the Zener Drag phenomenon [7]. Under an optical microscope, the structural variations of the materials cast with both shells on the

surfaces in contact with the rollers were examined under polarization, and the results are shown in Figure 6.

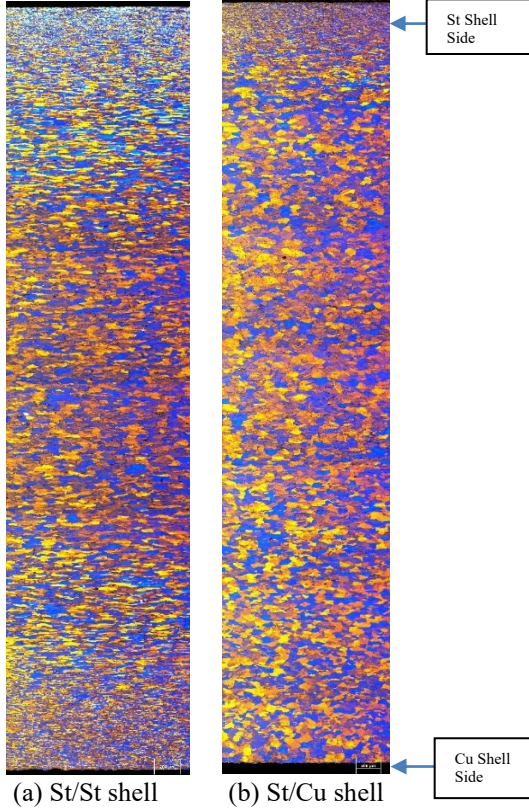


Figure 4. Polarized microstructure images of as-cast samples from T direction

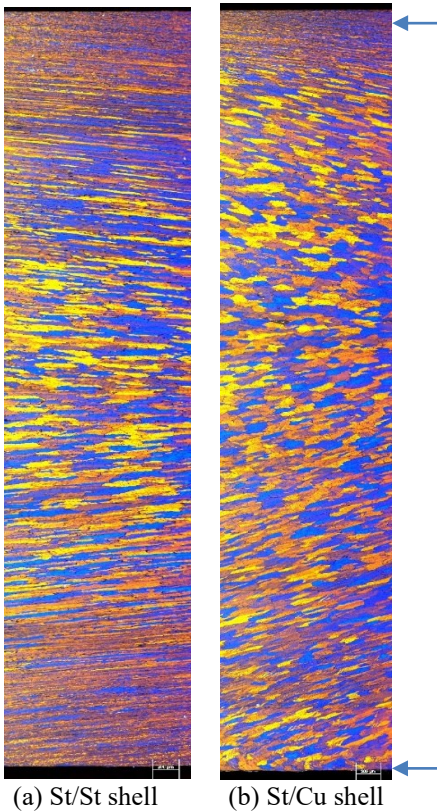


Figure 5. Polarized microstructure images of as-cast samples from L direction

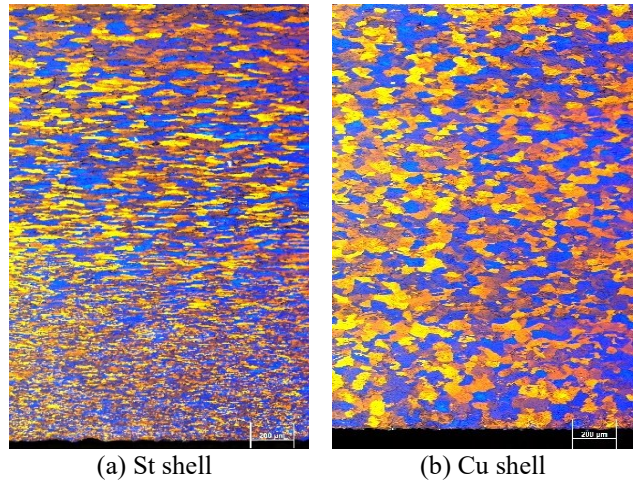


Figure 6. Polarized images of the surfaces of as-cast 5005 aluminum sheets in contact with different shells taken under an optical microscope

One of the main issues with the twin-roll casting process, centerline segregation, has considerably lessened when examining the BF images of the as-cast thickness samples obtained in the L direction in Figure 7. Furthermore, in the sample produced with steel/steel shell, the centerline segregation was in the center; however, in the sample produced with steel/copper shell, it was moved by 0.503 mm from the center to the steel shell side. By preventing intermetallics from precipitating and achieving a greater solidification rate in copper shell casting, a more supersaturated matrix is formed. Intermetallic precipitations or centerline segregation, were therefore moved towards the steel shell surface as a result of inhibiting the production of intermetallics on the copper side. In addition, when looking at the image in Figure 7(c), it is clearly seen that the intermetallics are abundant on the steel shell surface and in very small amounts on the copper shell surface.

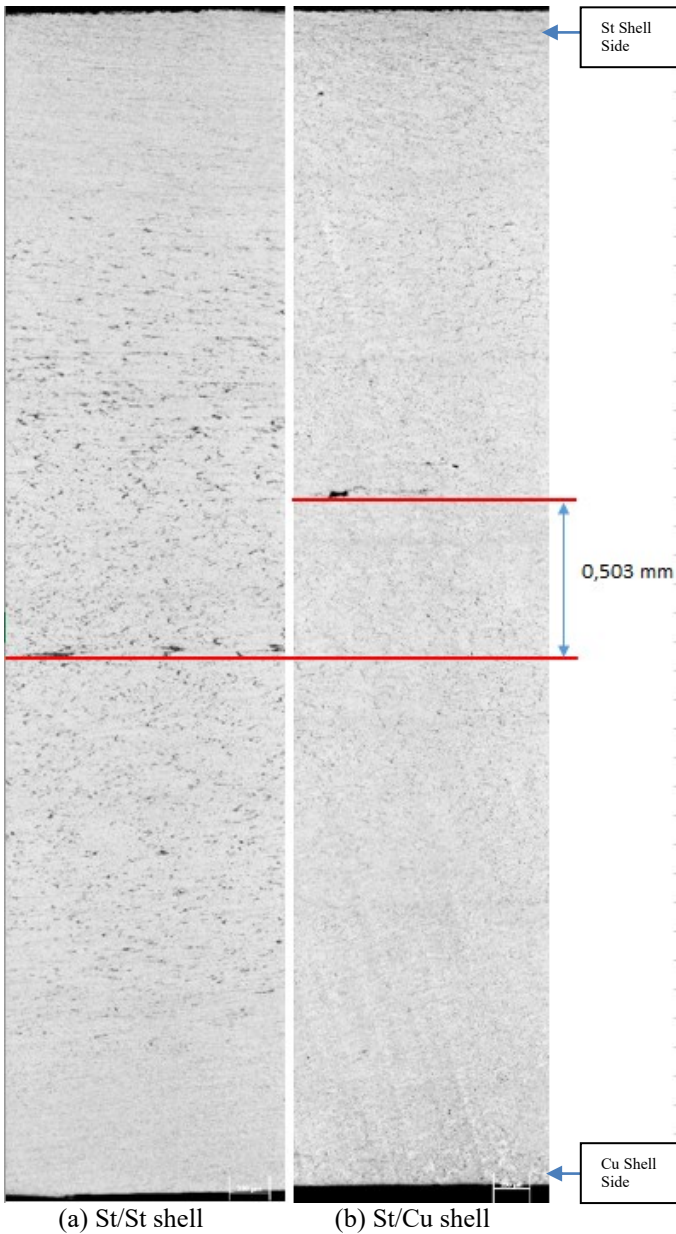


Figure 7. BF images of as-cast samples from L direction and motion distance of centerline segregation to St shell side
 To investigate centerline segregation in greater depth, SEM images and EDS area scan analyses were obtained. Figure 8 displays SEM images obtained at 500X, 1000X, and 2000X magnification.

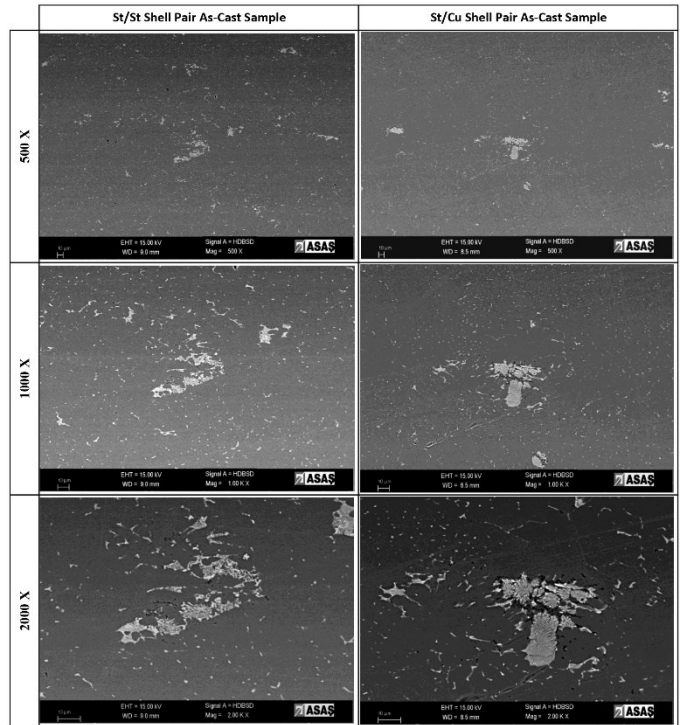


Figure 8. SEM images of as-cast samples magnified by 500X, 1000X, and 2000X

In the sample shown in Figure 9, produced with steel/steel shell pair, area scans were performed from the intermetallic and matrix and their graphs are given in Figure 10 and 11 and their results are given in Table 2.

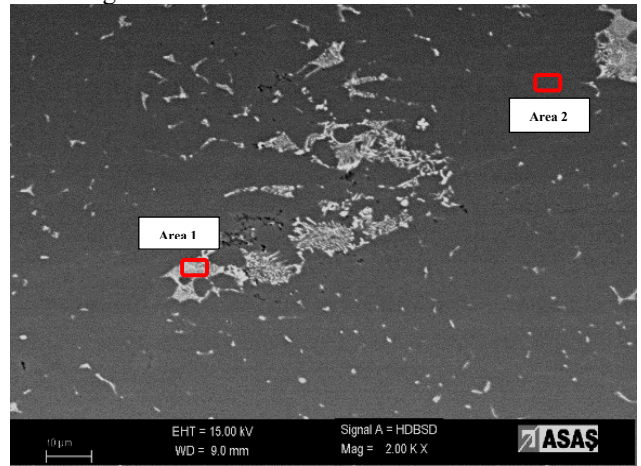


Figure 9. SEM image of centerline segregation obtained from as-cast sample produced with St/St shell.

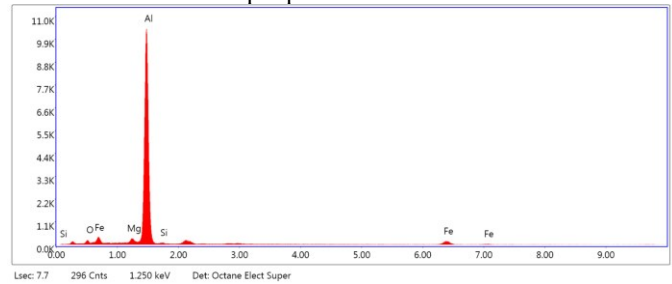


Figure 10. EDS graphs of field scan 1 (St/St shell)

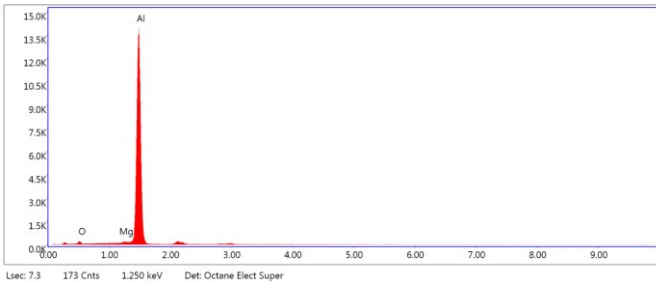


Figure 11. EDS graphs of field scan 2 (St/St shell)

Table 2. Elemental analysis of EDS area scanning 1&2 and their %weight ratios (St/St shell)

Element	Area 1	Area 2
O	1.75	1.76
Mg	2.20	1.24
Al	83.11	97.00
Si	1.14	-
Fe	11.81	-

For other sample produced with St/Cu shell pair, shown in Figure 12, area scans were performed from the intermetallic and matrix and their graphs are given in Figure 13 and 14 and their results are given in Table 3.

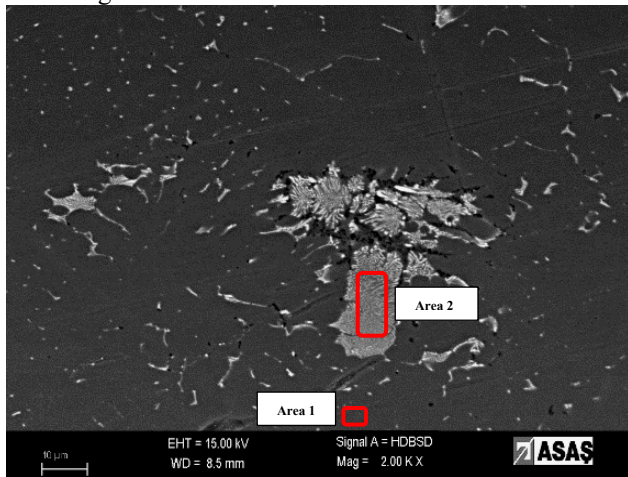


Figure 12. SEM image of centerline segregation obtained from as-cast sample produced with St/Cu shell.

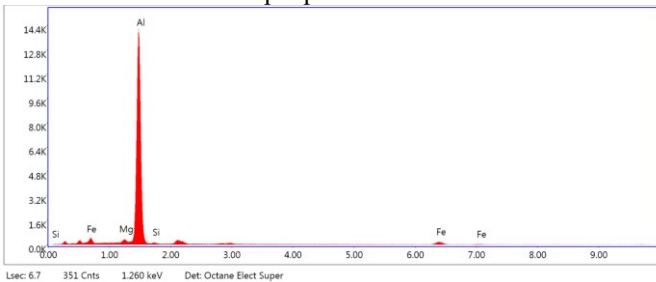


Figure 13. EDS graphs of field scan 1 (St/Cu shell)

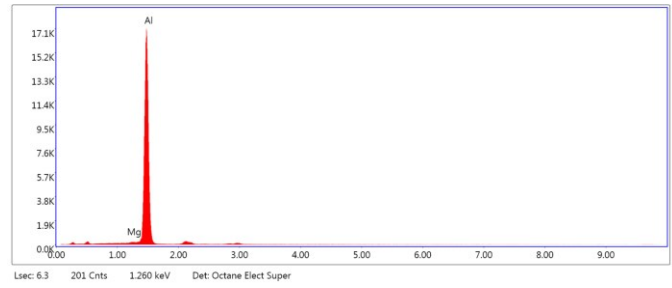


Figure 14. EDS graphs of field scan 2 (St/Cu shell)

Table 3. Elemental analysis of EDS area scanning 1&2 and their %weight ratios (St/Cu shell)

Element	Area 1	Area 2
O	-	-
Mg	1.76	1.07
Al	87.25	98.93
Si	1.19	-
Fe	9.80	-

In the SEM-EDS area scans performed from the as-cast samples in both the steel/steel and steel/copper shell pairs, area scans number 1 were performed from the intermetallics, while area scans number 2 were performed from the matrix. The content of predominantly Al and some Mg in the matrix material is characteristic of the 5005 aluminum alloy. Fe, Si and O, which appear in area scan 1, represent the composition percentages of intermetallics contained as centerline segregation in the material.

In the sample produced with the steel/steel shell pair, it was determined that while the iron content was 11.81%, at the steel/copper shell pair side, it decreased to 9.80% and the magnesium content decreased from 2.20 to 1.76. Again, while oxygen was present in both the matrix and the intermetallic in the steel/steel shell pair, the presence of oxygen was not found at the steel/copper shell pair side. It was determined that the silicon ratio remained the same in both samples.

3.1.2. Microstructures of Annealing Samples

The casting samples were reduced to an intermediate annealing thickness with being rolled at an 82% cold deformation rate. It was decided to anneal at four distinct intermediate temperatures: 330°C, 350°C, 370°C, 390°C and four hours annealed for each sample. Then, their polarized microstructure images were given in Figure 15.

The cold deformation rate is inversely proportional to the annealing temperature and time. The quantity of energy absorbed in the structure as a result of the rolling effect is crucial in the recrystallization annealing process. Low temperature will be adequate for the grains to recrystallize during annealing if a high percentage cold deformation rate is applied since there will be a large amount of energy retained in the structure [8].

Despite the high deformation rate, intermediate anneals at 330°C and 350°C for 4 hours each were insufficient for recrystallization due to heterogeneous grain structure between the surface and central regions, despite the presence of equiaxed grains in the central region. Intermediate annealing at 370°C for 4 hours results in recrystallization of grains at the surface and improved structural homogeneity and equiaxiality. Intermediate annealing at 390°C for 4 hours resulted in grain growth as tiny grains that recrystallized because of the high

temperature dissolved into the framework and diffused into bigger grains. This scenario is described by the Ostwald ripening process [9] [10].

All intermediate annealing temperatures resulted in grain size differences on the upper and lower surfaces contacting the rollers. Grain development on the outermost surfaces during intermediate annealing is a common occurrence using the TRC technique, regardless of alloy [10]. In Figure 15, the microstructure of the sample generated with Steel/Steel shell, which was intermediate annealed at 370°C for 4 hours, is identical to that of the sample produced with the steel/copper shell pair, which was intermediate annealed at 350°C for 4 hours. It has been hypothesized that since the grains actively recrystallize during casting due to the copper shell effect, the recovery and recrystallization phases are completed at lower temperatures during annealing.

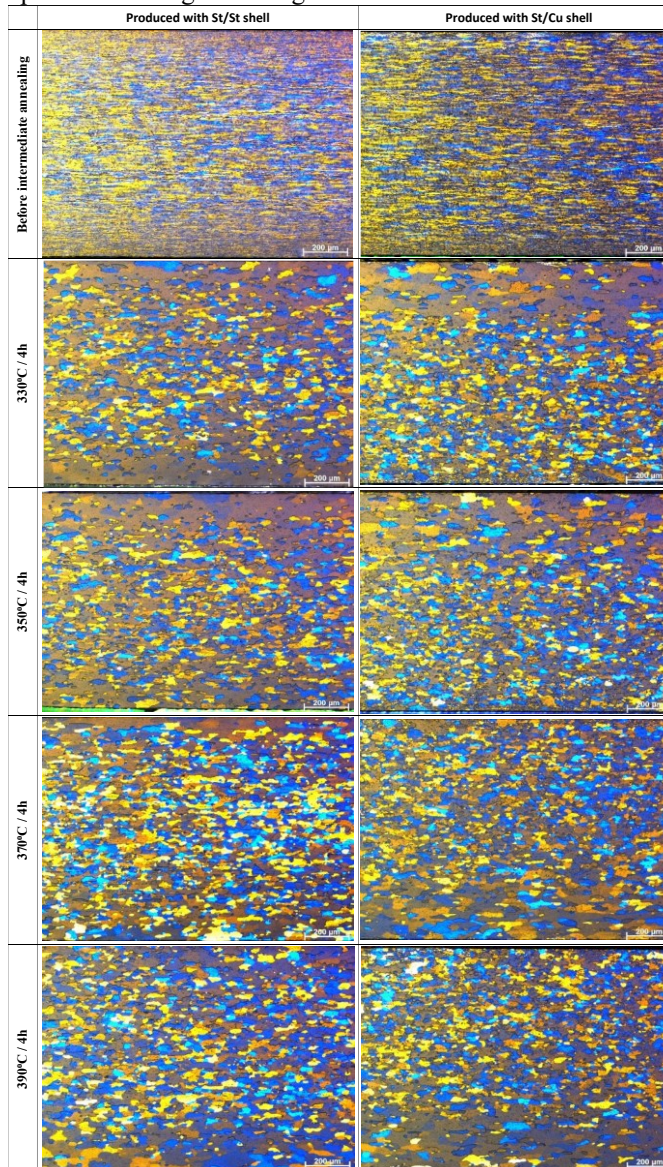


Figure 15. Polarized microstructure images of samples that different annealing temperatures produced with St/St and St/Cu shell pairs

3.2. Mechanical Properties Analysis

3.2.1. Tensile Strength Testing

Tensile tests were performed in each stage to evaluate mechanical properties. The test results are shown in Table 4.

Some changes occur in both the physical and mechanical properties of the cold-treated material. As a result of plastic deformation applied to the material, strength, hardness and electrical resistance increase. However, ductility decreases. In this case, the material becomes unable to continue plastic deformation. The reason for this is that the dislocation density, which is around 10^{10-12} m/mm³ when the shape starts, reaches 10^{16} m/mm³ after plastic deformation. Since each dislocation is a crystal defect, it produces lattice stresses within its environment, thus contributing significantly to the stored energy. Increasing lattice stresses are associated with an increase in the strain energy in the metal [11]. Annealing is applied in order to continue plastic deformation. During annealing, three events occur in the material microstructure, defined as recovery, recrystallization and grain growth, respectively. After annealing, hardness decreases, ductility increases and the material becomes re-formable. This situation is shown graphically in Figure 16 below [12].

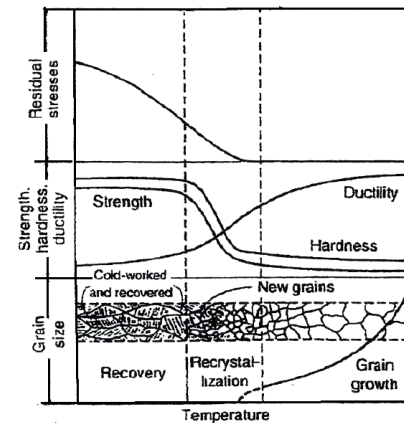


Figure 16. Effect of annealing temperature on hardness, strength and ductility [12]

In this study, tensile strength results of the samples cold rolled were showed that increased firstly compared as-cast sample. After the annealing, tensile results were decreased as it mentioned previous paragraph. In the tensile results of the cold-rolled pre-annealing samples, both as-cast thickness and 82% cold deformation rate, the yield and tensile strength values of the plates cast with copper/steel shell were higher than those of the plates cast with steel/steel shell. Rollers cooled with water exhibit better strength values due to the copper shell's higher thermal conductivity and thinner, equiaxed microstructure.

When the tensile tests performed on the samples taken after annealing of the sheets annealed at different temperatures were examined, no significant difference was seen in the strength values.

Table 4. Tensile strength test results for each phase

ROUTES	Direction of Sample ^a	Yield %0,2 MPa		Tensile MPa		Elongation (%)	
		St/St Shell	St/Cu Shell	St/St Shell	St/Cu Shell	St/St Shell	St/Cu Shell
As-Cast Sample	0°	103	127	133	148	13,5	6,4
	90°	107	129	135	156	10,9	11,6
The samples before annealing	0°	222	250	228	256	3,2	2,6
	90°	228	250	238	264	3,3	3,5
330°C / 4h annealed sample	0°	49	54	107	109	24,8	22,7
	90°	50	53	107	108	28,5	22,3
350°C / 4h annealed sample	0°	49	53	106	109	23	25,1
	90°	53	51	108	107	26,8	24,3
370°C / 4h annealed sample	0°	56	55	108	110	24,3	25,3
	90°	53	52	108	108	30,6	26,3
390°C / 4h annealed sample	0°	50	53	108	109	26,3	21,5
	90°	53	52	109	109	28	27,5
330°C / 4h annealed and after that % 50 cold rolled final thickness sample	0°	165	167	166	169	0,7	0,8
	90°	173	172	177	178	0,4	0,6
350°C / 4h annealed and after that % 50 cold rolled final thickness sample	0°	165	167	165	169	0,3	0,6
	90°	176	175	181	180	0,6	0,6
370°C / 4h annealed and after that % 50 cold rolled final thickness sample	0°	166	169	167	171	0,6	1,9
	90°	177	178	178	182	0,3	0,5
390°C / 4h annealed and after that % 50 cold rolled final thickness sample	0°	164	171	165	173	0,4	0,9
	90°	176	181	178	184	0,3	0,4

The tensile test results of plates lowered to the final thickness revealed a significant loss in strength values for samples manufactured with St/St shell pair at annealing temperatures above 350°C. After annealing St/Cu shell pair plates, the final thickness sample tensile test results increased in direct proportion to annealing temperature. On the St/St side, despite tensile strength values was increased in direct proportion to annealing temperature at 330, 350 and 370°C, there was a little bit decreasing tensile strength value at 390°C. It is observed that the sample generated with St/Cu shell pair, which contains more grain boundaries due to the thinner and equiaxed microstructure resulting from the casting structure, has higher formability capabilities because it recrystallizes more uniformly after annealing.

3.2.2. Erichsen Cupping Testing

The Erichsen cupping test is extensively used in the industry to determine the maximum deep shrinkage qualities of plates in terms of distance. The samples were prepared and loaded onto the Zwick/Roell device using the Erichsen cupping equipment. It is calculated as the depth proportional to the force produced when the samples burst during the test. It is stated in millimeters. The Erichsen test results for each step (1-8) are shown in Table 5 and their graphics in Figure 17 below.

When the Erichsen test results were examined, very close values were obtained. When sorted, it is seen as Process 2 < Process 1 = Process 4 < Process 3 = Process 8 < Process 5 = Process 7 < Process 6.

Table 5. Erichsen cupping test results (mm)

Route	Erichsen Result (mm)	
	St/St	St/Cu
330°C / 4h annealed final thickness sample	6.6	7
350°C / 4h annealed final thickness sample	6.4	7.2
370°C / 4h annealed final thickness sample	6.9	7
390°C / 4h annealed final thickness sample	6.6	6.9

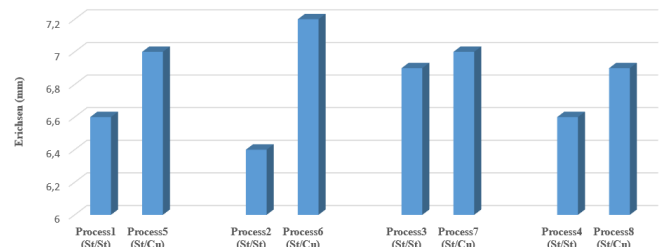


Figure 17. Comparative Erichsen cupping test results of St/St and St/Cu shells

According to the results, a dramatic decrease was observed in all samples annealed at 390°C and 4 hours compared to the other samples. This situation occurred as a result of grain growth as the annealing temperature was higher than that in other processes.

It was observed that Process 2 sample had the lowest Erichsen value. This is due to the fact that it is cast with the St/St shell pair and has a coarser grained microstructure compared to the St/Cu shell pair and cannot recrystallize sufficiently during annealing.

As a result of the processes applied to the samples produced with the St/St shell pair, the highest Erichsen value was taken from the Process 3 sample with 6.9 mm, which was annealed at 370°C and for 4 hours. It can be seen that the samples produced with the St/Cu shell pair were taken from the Process 6 sample, which was annealed at 350°C and 4 hours and obtained a result of 7.2 mm. The reason for this situation is that in the samples cast with steel/copper shell, copper has a higher heat conduction coefficient, partial dynamic recrystallization during casting and faster solidification, as well as dispersion hardening that occurs due to the saturation of the matrix with alloying elements.

3.2.3. Micro-hardness Testing

Microhardness tests were performed along the Vickers cross-sections (L direction) of the materials produced with St/St and St/Cu shell pairs. Test results are shown in Table 6 and Figure 18.

Table 6. Microhardness values according to shell types and surfaces

Shell Type		Hardness (HV)
St/St	St side (upper surface)	57.9
	St side (bottom surface)	56.2
St/Cu	St side (upper surface)	66.7
	Cu side (bottom surface)	71.0

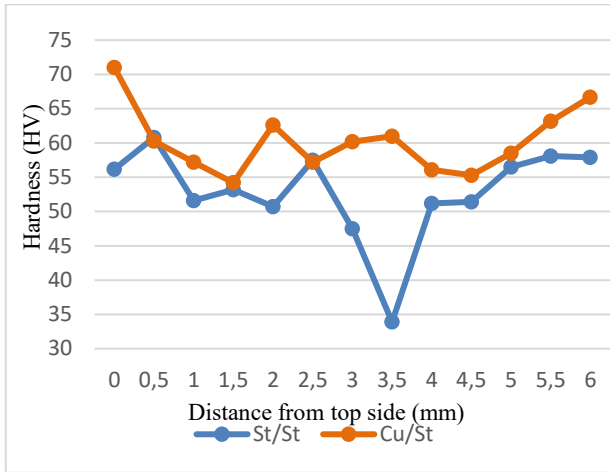


Figure 18. Microhardness measurement results from upper surface to bottom surface according to shell pair types

When the Vickers hardness tests performed were examined, while the hardness on the surface in contact with the copper shell was 71 HV, values of 57.9 - 66.7 HV were obtained on the surfaces in contact with the steel shell.

It is possible to obtain a supersaturated matrix with rapid solidification. Especially in the TRC method, centerline segregation, which is an important problem, is reduced by ensuring rapid solidification and a supersaturated matrix is obtained. A supersaturated matrix means that the major alloying elements are homogeneously dissolved in the matrix. With increasing matrix saturation, the lattice distortion caused by different atoms becomes more obvious. The density between secondary dendrite arms increases and prevents the movement and sliding of dislocations. For this reason, an increase in hardness occurs [13] [14].

A dramatic increase in hardness value has been achieved on the copper shell side compared to that in the steel shell. In addition, the samples produced with the St/Cu shell pair yielded higher hardness measurement results compared to the sample cast with the St/St shell pair.

3.3. Electrical Conductivity Analysis

Electrical conductivity tests were carried out for all samples. The results and graphs in MS/m units are given in Table 7 and Figure 19. In Table 7, "% Change" values are calculated as a percentage by dividing the difference between the first value and the last value by the first value. Also, this calculation describes in Equation 1.

$$\% \text{ Change} = \frac{[MS/m_{(St/St)}] - [MS/m_{(St/Cu)}]}{[MS/m_{(St/St)}} \times 100 \quad (1)$$

Table 7. Electrical conductivity results in MS/m at 480 kHz frequency

Route	Electrical Conductivity (MS/m)		
	St/St	St/Cu	% Change
As-cast	30.5	29.9	2%
Pre-annealing	29.5	29.2	1%
330°C / 4h after annealing	31.5	31.8	-1%
350°C / 4h after annealing	31.5	31.7	-0.6%

370°C / 4h after annealing	31.4	31.5	-0.3%
390°C / 4h after annealing	31.2	31.3	-0.3%
Final thickness (330°C/4h)	31.2	31.4	-0.6%
Final thickness (350°C/4h)	31.1	31.3	-0.6%
Final thickness (370°C/4h)	30.9	31.2	-1.0%
Final thickness (390°C/4h)	30.8	31	-0.6%

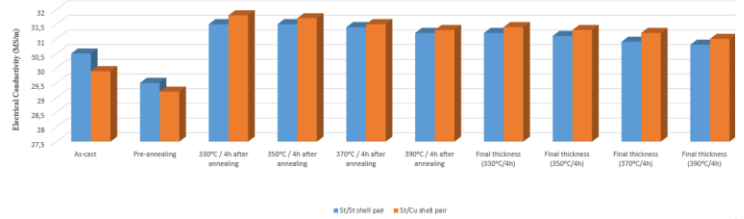


Figure 19. Comparative electrical conductivity test results of St/St and St/Cu shells

It is known that as matrix supersaturation increases, its electrical conductivity decreases inversely [15]. Considering Table 7, the minimum electrical conductivity value was obtained in the as-cast sample produced via the St/Cu shell pair. This low electrical conductivity result obtained on the copper shell side verified that the matrix is supersaturated. Additionally, when the electrical conductivity values of the as-cast and annealed samples are examined, it is seen that the samples produced with the St/Cu shell pair are annealed (31.5-31.8 MS/m) and as-cast (29.9 MS/m). This situation proves that the sample produced via St/Cu shell pair promises a higher potential for precipitation. According to the results obtained in all routes of the samples, produced with St/St and St/Cu shell, there were as-cast samples with the most significant change with a difference of 2%. It coincides with the result that the amount of the supersaturation in the as-cast sample using copper shell is high and the electrical conductivity value is minimum. No remarkable difference could be detected in other samples.

4. CONCLUSIONS

The results of this study were examined in terms of production parameters, microstructural, mechanical and electrical conductivity.

In production parameters, line speed and productivity increase by approximately % 40-60 when the St/Cu shell pair is used. With the line speed, the Cu shell used in the lower roller completes one full rotation around itself in a shorter time. Copper rollers, which have a high heat conduction rate, have a lower thermal cycle life compared to steel shells due to the rapid formation of microcracks. Roller pressures were applied lower because it has lower properties than steel in terms of mechanical strength.

When the microstructure results are examined, the Cu shell, which enables high heat transfer, provides supersaturation in the matrix by providing partial dynamic recrystallization along with some rolling force. And it has been proven that this method prevents both centerline segregation and intermetallic formation in general.

When the results of electrical conductivity tests were examined, remarkable results were obtained in both as-cast and annealed samples. The minimum electrical conductivity result in the as-cast state with a value of 29.7 MS/m confirmed the

existence of a supersaturated matrix. The difference in maximum conductivity existing between the annealed sample and the as-cast sample showed that it promises a higher chance for precipitation. Additionally, it has been shown that it also reduces the annealing temperature slightly, thanks to partial dynamic recrystallization during casting.

Mechanical properties coincide with microstructural investigations. There was approximately 30% increase in the hardness value on the surface in contact with the Cu shell. Tensile and Erichsen results clearly show that the strength increases in production with Cu shell.

ACKNOWLEDGEMENTS

The Authors would like to thank Mr. Samet SEVİNÇ and Mr. Ahmet BİCAT, team members of ASAŞ Aluminum R&D Laboratory, for their valuable help in sample preparation for metallographic investigations and taking images and reports in SEM.

REFERENCES

- [1] Kammer, C., "Aluminum and Aluminum Alloys", 161-197., Berlin, 2018.
- [2] Gülver, M., Meydanoglu, O., Işıksaçan, C., "Softening Behavior of Direct Chill and Twin-Roll Cast AA 3105 Alloy", In *Light Metals*, Springer International Publishing, Pages 1143-1147, 2019.
- [3] Engler, O., Schäfer, C., Brinkman, H.J., Brecht, J., Beiter, P., Nijhof, K., "Flexible rolling of aluminum alloy sheet—Process optimization and control of materials properties", *J Mater Process Technol*, Vol. 229, Pages 139-148, 2016.
- [4] Dündar, M., Beyhan, B., Birbaşar, O., Altuner, H.M., Işıksaçan, C., "Surface Crack Characterization of Twin Roll Caster Shells and Its Influence on As-Cast Strip Surface Quality", *Light Metals*, Vol. 2013, Pages 491-495, 2016.
- [5] Spathis, D., Clemente, A., Tsiros, J., Arvanitis, A., Wobker, H.G., "The use of copper shells by Twin Roll Strip Casters", *TMS Light Metals*, Mar. 2010.
- [6] Denizli, F., Birbaşar, O., Dündar, K., Özçetin, Y., Ulus, A., İnel, C., "Characterization of 8006 Aluminum Alloy Casted by TRC Technology with Steel–Steel and Copper–Copper Roll Pairs", In *TMS Annual Meeting & Exhibition*, Pages 1050-1053, 2023.
- [7] *Recrystallization and Related Annealing Phenomena*. Elsevier, 2004.
- [8] Birol, Y., "Recrystallization of a supersaturated Al–Mn alloy", *Scr Mater*, Vol. 59, Issue 6, Pages 611-614, 2008.
- [9] Lifshitz, I.M., Slyozov, V.V., "The kinetics of precipitation from supersaturated solid solutions", *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, Vol. 19, Issue 1-2, Pages 35-50, 1961.
- [10] Ratke, L., Voorhees, P.W., "Growth and Coarsening", Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2002.
- [11] Raougui, A., Yildiz, K., "Investigation of recrystallization kinetics of AA5005 sheets after rolling by thermal analysis", Master of Science Thesis, Sakarya University, Sakarya, 2021.
- [12] Iqra Zubair Awan, I.Z.A., "Recovery, Recrystallization, and Grain-Growth", *Journal of the chemical society of pakistan*, Vol 41, Issue 1, Pages 1-1, 2019.
- [13] Jo, Y.H., et al., "Effects of casting speed on microstructural and tensile properties of Al–Mg–Si alloy fabricated by horizontal and vertical twin-roll casting", *Journal of Materials Research and Technology*, Vol. 26, Pages 8010-8024, 2023.
- [14] Zhang, J., Yuan, H., Zhang, T., Fu, J., Xu, G., Li, Y., "A novel approach to improve the macro-segregation defect and mechanical properties of Al–Mg–Mn aluminum alloys during twin-roll continuous casting", *Journal of Materials Research and Technology*, Vol. 22, Pages 3170-3179, 2023.
- [15] Mohammadi, A., Enikeev, N.A., Murashkin, M.Yu., Arita, M., Edalati, K., "Developing age-hardenable Al-Zr alloy by ultra-severe plastic deformation: Significance of supersaturation, segregation and precipitation on hardening and electrical conductivity", *Acta Mater*, Vol. 203, Pages 116503, 2021.



MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
HENDESE TEKNİK BİLİMLER VE MÜHENDİSLİK DERGİSİ
MUŞ ALPARSLAN UNIVERSITY
JOURNAL OF HENDESE TECHNICAL SCIENCES AND ENGINEERING

Muş Alparslan Üniversitesi Külliyesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 49250, Muş, Türkiye

<https://dergipark.org.tr/en/pub/hendese/board>

HENDESE Nisan 2024, 1 (1): 1-49

Cilt / Volume: 1

Sayı / Issue: 1

Yıl / Year: 2024

**MEMS Tabanlı Piezoelektrik Enerji Hasadı Sisteminin Tasarımı
ve Analizi**

Design and Analysis of MEMS Based Piezoelectric Energy
Harvesting System

Ümit Söylemez¹

¹ Muş Rekabet Kurumu Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Muş, TÜRKİYE

u.sylmz@gmail.com - [orcid > 0009-0000-1788-4066](https://orcid.org/0009-0000-1788-4066)

Makale Bilgisi / Article Information

Makale Türü / Article Types: Araştırma Makalesi/Research Article

Geliş Tarihi / Received: 1 Şubat/February 2024

Kabul Tarihi / Accepted: 4 Mart/March 2024

Yıl / Year: 2024 | **Cilt / Volume:** 1 | **Sayı / Issue:** 1 | **Sayfa / Pages:** 46-49

Atıf Formatı / Cite as: Söylemez, Ü., "MEMS Tabanlı Piezoelektrik Enerji Hasadı Sisteminin Tasarımı ve Analizi", Hendese, Cilt 1, Sayı 1, Sayfa 46-49, 2024.

Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ümit Söylemez

MEMS Tabanlı Piezoelektrik Enerji Hasadı Sisteminin Tasarımı ve Analizi

Ümit Söylemez*¹ ,

*¹ Muş Rekabet Kurumu Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Muş, TÜRKİYE

(Alınış / Received: 01.02.2024, Kabul / Accepted: 04.03.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 26.04.2024)

Anahtar Kelimeler

MEMS,
Piezoelektrik,
Sensör,
Enerji hasadı

ÖZ

Bu çalışmanın temel amacı, Mikro-Elektro-Mekanik Sistemler (MEMS) tabanlı düşük güçlü elektronik sensörlerin ve kablosuz sistemlerin enerji ihtiyacını karşılamak üzere geliştirilen enerji hasadı tekniklerine odaklanmaktadır. Özellikle, minyatür jeneratörlerin tasarımı ve performansını artırmaya yönelik bir perspektif sunulmuştur. Çalışma, ivme değişimlerinden elektrik enerjisi üretme kapasitesine sahip basit bir sismik enerji hasadının Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) ile detaylı bir şekilde incelenmesini amaçlamaktadır. Model, piezoelektrik özelliklere sahip bir MEMS sensörünü içermekte ve bu sensör, titreşimlere maruz kaldığında meydana gelen yerel ivme değişimlerini kullanarak elektrik enerjisi üretme yeteneğini değerlendirmektedir. Analiz edilen enerji hasadı sistemi, titreşen makineye bir uçta kelepçelenmiş bir piezoelektrik malzeme ve diğer uçta monta edilmiş bir denge kütle içermektedir. Bu tasarım, mekanik sisteme dayanmakta olup, model ile özelleştirilmiş bir şekilde sonlu elemanlar tekniği kullanılarak analizleri yapılmıştır. Analiz, sistemin geometrisi, malzeme özellikleri ve titreşim frekansları gibi faktörleri dikkate alarak enerji hasadı performansını optimize etmiştir. Bu çalışmada, tasarlanan sismik enerji toplayıcısının belirli titreşim koşullarında etkili bir şekilde elektrik enerjisi üretebildiğini göstermektedir. Bu analiz, MEMS tabanlı piezoelektrik enerji hasadı teknolojisinin geliştirilmesi açısından önemli bir adım olarak değerlendirilebilir. Çalışma, düşük enerjili sensörlerin ve kablosuz iletişim sistemlerinin enerji ihtiyaçlarını karşılamak için yenilikçi ve etkili bir enerji kaynağı sağlama potansiyelini vurgulamaktadır.

Design and Analysis of MEMS Based Piezoelectric Energy Harvesting System

Keywords

MEMS,
Piezoelectric,
Sensors,
Energy harvesting

ABSTRACT

The main objective of this study is to focus on energy harvesting techniques developed to meet the energy demand of Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS)-based low-power electronic sensors and wireless systems. Particularly, a perspective is presented towards enhancing the design and performance of miniature generators. The study aims to comprehensively examine a simple seismic energy harvesting, capable of generating electrical energy from acceleration changes, through Finite Element Analysis (FEA). The model incorporates a MEMS sensor with piezoelectric properties, evaluating its ability to produce electrical energy by utilizing local acceleration changes induced by vibrations. The analyzed energy harvesting system comprises a piezoelectric material clamped to one end of the vibrating structure and a balancing mass mounted at the other end. This design relies on mechanical motion and has been analyzed using a customized finite element technique. The analysis optimizes energy harvesting performance by considering factors such as system geometry, material properties, and vibration frequencies. This study demonstrates that the designed seismic energy harvester can effectively generate electrical energy under specific vibration conditions. This analysis can be considered a significant step towards the development of MEMS-based piezoelectric energy harvesting technology. The study underscores the potential to provide an innovative and efficient energy source to meet the energy demands of low-power sensors and wireless communication systems.

1. GİRİŞ

“Piezo” kelimesi Yunanca kökenli olup, sıkıştırmak veya basınç uygulamak anlamına gelir. Piezoelektrik özelliği, bir malzemenin mekanik basınç altında alanını değiştirebilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Polarizasyon yoğunluğu, uygulanan basınca ve malzemenin büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Piezoelektrik malzemeler, terslenebilir bir yapıya sahip olduklarından dolayı ses oluşturma, algılama, voltaj oluşturma gibi birçok uygulama alanında kullanılabilir [1].

İnsanoğlu, ihtiyaçlarını karşılamak adına sürekli olarak yeni malzemelerin peşine düşmüştür. Metal, seramik, sentetik, plastik, kompozit, elektronik ve hatta beyin ve sinir sistemi gibi dinamik akıllı malzemeler ile birlikte, nano teknolojik malzemeler ve yapay zekâ temelli malzemeler zaman içinde bulunmuştur. Bu çeşitlenme, mühendislik bilimini sürekli olarak evrimleştirmiştir. Akıllı malzemeler, çevrelerindeki değişiklikleri algılayabilen, sinyal üretebilen ve bu sinyallere aktüatörler aracılığıyla tepki verebilen sistemlerdir. Bu özellikleri, canlı organizmaların çevreleriyle etkileşime girebilme ve uygun tepkiler üretebilme kabiliyetine benzer bir özelliği ortaya koyar [2].

Piezoelektrik malzemelerin mekanik enerjiiyi elektrik enerjisine dönüştürme kavramı da tarihi bir geçmişe sahiptir, ancak pratikte bu tür elektrik üreteçleri genellikle mili vat düzeyinde veya daha düşük, yani oldukça düşük güç seviyeleriyle sınırlıdır. Bu sınırlama, piezoelektrik seramiklerin özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu seramikler, büyük gerilimlere dayanıklılık gösterir, ancak deformasyonları son derece sınırlıdır, bu da büyük miktarlarda malzemenin kullanılmasını zorlaştırır. Ek olarak, bu malzemelerin etkili bir şekilde kullanılabilmesi için gereken yüksek mekanik frekanslar da kritik bir faktördür. Genellikle çevresel mekanik titreşimler 0.1 Hz ile 1 kHz arasında değişirken, piezoelektrik malzemeler genellikle yüksek frekansta, yüzlerce kilohertz kadar çalışabilir. Bu durum, piezoelektrik enerji dönüşümünün yaygın uygulamalarda sınırlı kalmasının temel nedenlerinden biridir [3].

Piezoelektrik malzemelerin çeşitli sektörlerdeki kullanımının hızlı artması, bu malzemelerin daha geniş bir perspektifle incelenmesi ve araştırılmasına olan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Piezoelektrik özelliklere sahip malzemeler, mekanik stres veya basınç altında elektriksel enerji üretebilen özel bir özellik sergilerler. Bu özellikleri, sensör teknolojisi, tıp, enerji üretimi, akustik uygulamalar ve mikroelektronik gibi birçok alanda çeşitli uygulamalara olanak tanımaktadır [4-6].

Özellikle, piezoelektrik malzemelerin mikroelektronik cihazlar, sağlık sektörü cihazları ve akustik sensörler gibi teknolojik alanlarda kullanımı, bu malzemelerin potansiyelini daha da genişletmiştir. Bu nedenle, piezoelektrik malzemelerin performansını ve özelliklerini daha iyi anlamak, tasarım ve üretim süreçlerini geliştirmek için daha kapsamlı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, bu malzemelerin çeşitli koşullarda nasıl tepki verdiği, dayanıklılığı ve etkinliği gibi faktörlerin daha detaylı bir şekilde değerlendirilmesi, gelecekteki uygulamalarda daha güvenilir ve optimize edilmiş çözümler geliştirmeye yönelik önemli bir adımdır. Bu bağlamda, piezoelektrik malzemelerin geniş kapsamlı araştırmalarla daha iyi anlaşılması, gelecekteki teknolojik ve bilimsel ilerlemeleri destekleme adına hayati bir rol oynamaktadır [7,8].

Düşük enerji tüketimine sahip elektronik cihazlar ve kablosuz sistemlerin geliştirilmesi, enerji toplama alanında büyük bir çığır açmıştır. Minyatür jeneratörlerin geliştirilmesine olan yoğun ilgi, özellikle bu cihazların sensörleri ve kablosuz iletişim sistemlerini güçlendirmek üzere kullanılmasına odaklanmış durumda. Ekonomik ve kendi başına çalışabilen kablosuz sensörlerin hızla yayılması mümkün hale gelmiş bulunmaktadır. Bu sensörler, genellikle uzun bir süre boyunca aralıklı ölçümler yapar ve bu ölçümleri diğer sensörlere ileterek, nihayetinde tüm sensörlerden gelen verileri kaydeden bir ana istasyona kablosuz bir bağlantı üzerinden iletilir. Yani, ortaya çıkan bir kablosuz sensör ağı, verimli bir bilgi akışını mümkün kılmaktadır [9,10].

Son yıllarda, titreşim enerjisini toplamak ve hasat etmek amacıyla piezoelektrik malzemelerin kullanımı üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Çok katmanlı konsol piezoelektrik güç üretim cihazlarının güç üretim kapasitesi, sonlu elemanlar modeli analizi kullanılarak incelendi. Cihazın güç üretim performansı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla harici uyarım frekansı ve genliği üzerinde yapılan analizler detaylı bir şekilde ele alındı. Bu analizler, piezoelektrik enerji dönüşümünün optimize edilmesi için önemli bilgiler sunabilir [11]. Piezoelektrik malzemelerin düşük frekanslı titreşim ortamlarında etkin bir şekilde kullanılabileceğini gösterildi [12]. Titreşim koşulları altında piezoelektrik malzemelerin kuvvet-elektrik eşdeğer modelini detaylı bir şekilde analiz ederek, bu malzemelerin düzensiz titreşim ortamlarında başarılı bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koyup, elde edilen bulgularla, piezoelektrik malzemelerin enerji toplama potansiyeli açısından geniş bir uygulama yelpazesi sunabildiği, özellikle de değişken titreşim ortamlarına yönelik çözümlerde önemli bir rol oynayabildiği kanıtlandı [13]. Rüzgâr enerjisiyle çalışan ince film piezoelektrik enerji toplayıcılarının araştırılması hem paralel hem de ağısı damarlanma yanı sıra damarsız damarlanma için de yapıldı ve elde edilen bulgular rapor edildi. Yapılan araştırma, piezoelektrik enerji toplayıcılarının çeşitli damarlama yöntemleriyle güçlendirilebileceğini ve farklı ortamlardaki enerji toplama potansiyelini artırabileceğini yapılan çalışmalar bizlere gösterdi [14].

Literatür araştırmalardan da anlaşılacağı üzere piezoelektrik enerji toplama konusu üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Piezoelektrik enerji toplayıcının çıkış gücünü optimize etmek ve daha etkili bir şekilde çalışmasını sağlamak için çeşitli stratejiler ve geliştirmeler uygulanmıştır [15].

Birçok araştırmacı, piezoelektrik enerji hasatlayıcı modellerini simüle etmek amacıyla Sonlu Elemanlar Analiz Programı' kullanarak çıkış gücünü artırmak için uyarım frekansı, ivme, piezoelektrik katmanların kalınlığı, boşluklar gibi çeşitli parametreleri detaylı bir şekilde inceledi. Bu simülasyonlar, piezoelektrik enerji toplama teknolojisinin geliştirilmesi için önemli bilgiler sağlamıştır [16].

Bu özgün enerji hasadı modeli, tasarımında piezoelektrik bimorph'un titreşen makineye bağlandığı bir yapıyı ve diğer ucu üzerinde bir kütle bulunan bir düzenlemeyi içermektedir. Bu karmaşık düzenleme, piezoelektrik malzemelerin titreşim kaynaklı enerji hasat etme kabiliyetini değerlendirmek amacıyla detaylı bir analize tabi tutulmuştur. Yapılan bu analiz, sistemdeki mekanik etkileşimleri, enerji transferini ve piezoelektrik bileşenlerin performansını daha kapsamlı bir

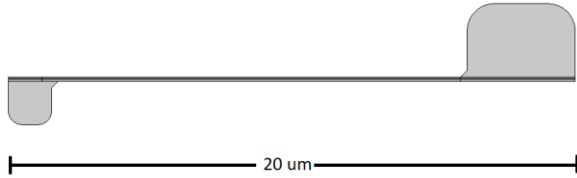
şekilde anlamak için tasarlanmıştır. Bu çalışmanın, enerji hasadı teknolojilerindeki gelişmelere yeni bir bakış açısı sunacağı düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE METOD

Sonlu Elemanlar Analiz (SEA) yapılabilmesi için uygun materyal metot seçimi ve geometrik tasarımlarının yapılması gerekmektedir. Sensörün geometrik yapısı, malzeme kalitesi ve sensörün kullanılacağı ortamın özellikleri, tasarım sürecinde kritik parametreler olarak ele alınmıştır. Sensörün boyutları, şekli ve yapısal özellikleri, enerji hasadı verimliliğini etkileyen kritik unsurlardır. Tasarım sürecinde kullanılacak geometrik parametreler özenle belirlenmiştir. Piezoelektrik malzemelerin seçimi, sensörün performansını belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Sensörün mekanik dayanıklılığı, hızlı tepki süreleri ve piezoelektrik etkinliği açısından uygun malzeme seçimi büyük önem taşımaktadır.

2.1. Geometrik Tasarım

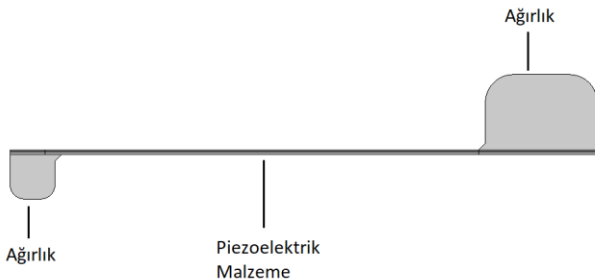
Sonlu Elemanlar Analiz Programı kullanarak sensörün fiziksel yapısı modellenmiş olup ve sensör performansını optimize etmek üzere çeşitli simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Sistemin optimum geometrik tasarımının elde edilebilmesi için birçok analiz gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre Şekil 1' deki tasarım elde edilmiştir. Sistemin geometrik tasarımı MEMS yapılarına uygun bir şekilde yapılmış olup, bu örnek tasarım 20 mikron uzunluğuna sahiptir.



Şekil 1. Sistemin geometrik yapısı

2.2. Malzeme Optimizasyonu

Sensör tasarımı yapıldıktan sonra ilk adım, uygun malzeme seçimidir. Sonlu Elemanlar Analiz Programı uygulaması kullanılarak sensörün fiziksel geometrisi modellendikten sonra sensörün çalışma prensipleri de göz önünde bulundurularak malzeme çalışma için uygun malzeme ataması yapılmıştır. Şekil 2' de sistemde malzeme ataması yapılan parçalar gösterilmiştir. Şekil 2' de gösterilen Ağırlık yapılarında Alüminyum malzeme, Piezoelektrik malzeme olarak kullanılan çubukta ise Lityum Niyobat kullanılmıştır. Çizelge 1 ve 2' de sistemde kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri verilmiştir.



Şekil 2. Sistemin malzeme yapısı gösterimi [11-13].

Çizelge 1. Alüminyum fiziksel özellikleri [11].

Alüminyum	Değer	Birim
Yoğunluk	2700	kg/m ³
Youngs Modülü	70*10 ⁹	Pa
Poisson Oranı	0.35	1
Elektrik iletkenliği	35.5*10 ⁶	S/m
Termal iletkenlik	237	W/(m*K)

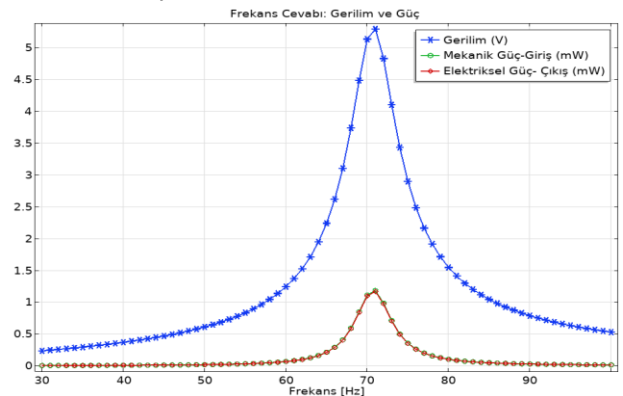
Çizelge 2. Lityum Niyobat fiziksel özellikleri [11-13]

Lityum Niyobat	Değer	Birim
Yoğunluk	4700	kg/m ³
Bağıl Geçirgenlik	43.6	1
Dielektrik Sabiti	1450	1
Poisson Oranı	0.31	1
Piezoelektrik Gerinimi	13.1	C/m ²

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

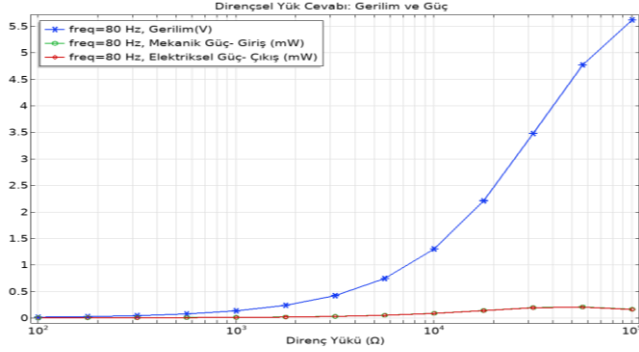
Elde edilen bulgulara dayanarak, piezoelektrik enerji hasadı sistemlerinin MEMS yapıları için etkili bir şekilde çalışabildiği belirtilmektedir. Özellikle, çalışmanın sonuçları, malzeme seçiminin enerji verimliliği üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde ele almaktadır. Bu, literatüre, belirli malzemelerin enerji hasadı verimliliği üzerindeki etkisini değerlendiren sayısal verilerle katkı sağlar. Ayrıca, özgün tasarıma sahip piezoelektrik enerji hasadı sisteminin avantajları ve dezavantajları ele alınmıştır. Bu, mevcut literatürde sıkça görülen genel değerlendirmelerin ötesine geçerek, spesifik bir tasarımın performansını ve potansiyel kısıtlamalarını açıklayan nicel verilere dayalı bir analiz sunar. Şekil 3'te, piezoelektrik enerji toplama cihazlarının MEMS yapılarında etkili bir şekilde çalışabildiği gösterilmiştir. Çalışmada, sisteme 30 Hz ile 100 Hz frekansları arasında çeşitli frekanslar verilmiştir. Bu frekans değerlerine göre elde edilen gerilim değerleri de Şekil 3'te grafikleştirilmiştir. Bu grafik, mikro yapılar için enerji hasadı sisteminin verimli bir şekilde işlev görebildiğini sayısal olarak kanıtlar.

Çalışmadaki veriler incelendiğinde, sistemden elde edilen elektriksel gücün yaklaşık olarak 1.2 mW olduğu gözlemlenmiştir. Bu sayısal değer, literatüre, belirli bir tasarımın pratik uygulanabilirliği ve performansı hakkında kesin bir fikir verir ve benzer çalışmalara karşı bir referans noktası sağlar. Bu, piezoelektrik enerji hasadı sistemlerinin MEMS yapıları için potansiyel uygulamalarını daha net bir şekilde anlamamızı sağlayıp ilgili alanda gelecekteki çalışmalar için bir temel oluşturmaktadır.



Şekil 3. Piezoelektrik enerji toplama sisteminin Frekans Cevabı

Şekil 4’ te sistemin Direnç Yükü cevabı verilmiştir. Sisteme belirli aralıklarla verilen Direnç Yüküne karşılık olarak elde edilen maksimum gerilim değeri yaklaşık olarak 5.6 V olarak elde edilmiştir. Sistemden elde edilen gerilim ve güç değerleri ortalama olarak 80 Hz frekans değerinde elde edilmiştir.



Şekil 4. Piezoelektrik enerji toplama sisteminin Direnç Yükü Cevabı

4. SONUÇLAR

Bu araştırma, günümüzün hızla gelişen teknoloji sahnesinde önemli bir yere sahip olan piezoelektrik enerji toplayıcılarına odaklanmaktadır. Özellikle, yüksek teknoloji ürünü bir sensöre entegre edilen ve Sonlu Elemanlar Analiz Programı kullanılarak tasarlanan piezoelektrik enerji toplayıcılarının performansı üzerine yapılan detaylı bir çalışmayı içermektedir. Bu çalışma, piezoelektrik enerji toplayıcılarının malzeme seçimi, tasarımı ve analizi gibi kritik unsurlarını kapsamaktadır ve MEMS tabanlı yapıların piezoelektrik enerji hasadı teknolojisindeki potansiyelini açığa çıkarmaktadır. Ayrıca, bu araştırma yalnızca teknik detaylarla sınırlı kalmamakta, aynı zamanda piezoelektrik enerji toplayıcılarının enerji verimliliği ve çevresel etkilere olan etkilerini de detaylı bir şekilde ele almaktadır. Mikro sistemlerde piezoelektrik enerji hasadı konseptinin geniş bir perspektifini sunarak, bu teknolojinin taşınabilir cihazlar ve düşük enerji tüketimine sahip mikro sistemler için önemli bir çözüm olabileceğini vurgulamaktadır. Böylece, sadece teknolojik açıdan değil, aynı zamanda çevresel ve enerji verimliliği açısından da büyük potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, bu araştırma, MEMS teknolojisindeki piezoelektrik enerji hasadının potansiyelini kapsamlı bir şekilde derinlemesine değerlendirerek, gelecekteki araştırmacılara ilham kaynağı olabilecek nitelikte bir çalışma sunmaktadır. Piezoelektrik enerji toplayıcıları, günümüzün enerji ihtiyaçlarını karşılamada önemli bir rol oynayabilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçişte kilit bir faktör olabilir. Bu nedenle, bu alandaki araştırmaların önemi ve etkisi giderek artmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Gök, M. O., Karadöl, İ., “Piezoelektrik Uygulamalı Ayakkabi Tasarımı”, International Journal Of Social And Humanities Sciences Research (Jshsr), Cilt 5, Sayı 22, Sayfa 888-893, 2018
- [2] Akgün, M., “Piezoelektrik özellikli, polimer nano kompozit malzeme geliştirilmesi ve titreşim sensörü olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi”, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Bursa, 2018.

- [3] Lefeuvre, E., Audigier, D., Richard, C., Guyomar, D., “Buck-boost converter for sensorless power optimization of piezoelectric energy harvester”, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 22, Issue 5, Sayfa 2018-2025, 2007.
- [4] Ulkir, O., Ertugrul, I., Akkus, N., Ozer, S., “Production of the piezoelectric cantilever using MEMS-based layered manufacturing technology”, Optik, 170472, 2023.
- [5] Ertugrul, I., Ulkir, O., Ersoy, S., Ragulskis, M., “Additive Manufactured Strain Sensor Using Stereolithography Method with Photopolymer Material”, Polymers, Vol. 15, Issue 4, Pages 991-998, 2023.
- [6] Angelou, A., Norman, C., Miran, N., Albers, S., Moradi-Dastjerdi, R., Behdinin, K., “An eco-friendly, biocompatible, and reliable piezoelectric nanocomposite actuator for the new generation of microelectronic devices”, The European Physical Journal Plus, Vol. 136, Issue 6, Pages 1-17, 2021.
- [7] Sekhar, M. C., Veena, E., Kumar, N. S., Naidu, K. C. B., Mallikarjuna, A., Basha, D. B., “A review on piezoelectric materials and their applications”, Crystal Research and Technology, Vol. 58, Issue 2, Pages 2200130, 2023.
- [8] Ertugrul, I., Ersoy, S., Ragulskis, M., “Computational model for the nonlinear dynamic response of MEMS-based micromirror”, In Vibroengineering procedia: 58th international conference on vibroengineering, Ventspils, Latvia, August 25-26, 2022.
- [9] Kumar, A., Prasad, M., Janyani, V., Yadav, R. P., “Development of diaphragm and microtunnel structures for MEMS piezoelectric sensors”, IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 33, Issue 4, Pages 606-613, 2020.
- [10] Ertugrul, I., Akkus, N., Yuca, H., “Fabrication Of Mems-Based Electrothermal Microactuators With Additive Manufacturing Technologies”, Materials & Technologies/Materiali in Tehnologije, Vol. 53, Issue 5, Pages 665-670, 2019.
- [11] Junjie, G., Zhilin, R., Kangchao, L., Yixiang, B.J., “Study on the generating performance of a novel piezoelectric generator with multilayer cantilevers”, Journal of Mechanical Engineering, Vol. 50, Issue 5, Pages 135-140, 2014.
- [12] Rastegar, J., Pereira, C., Nguyen, H.L., “Piezoelectric-based power sources for harvesting energy from platforms with low-frequency vibration, Smart Structures and Materials”, Industrial and Commercial Applications of Smart Structures Technologies, SPIE, 617101, 2006.
- [13] Wang, Q., “Research of Vibration Energy Harvesting Based on Piezoelectric Material”, Doctoral dissertation, Jiangsu University Zhenjiang, China, 2008.
- [14] Varadha, E., Kumar, S.R., Jain, X.A., “Wind-Driven Leaf-Like Thin-Film Piezoelectric Harvester for Low Wind Applications”, Journal of Vibration Engineering & Technologies, Vol. 9, Pages 1005-10221, 2021.
- [15] Song, J., Zhao, G., Li, B., Wang, J., “Design optimization of PVDF-based piezoelectric energy harvesters”, Heliyon, Vol. 3, Issue 9, 2017.
- [16] Jasim, A., Yesner, G., Wang, H., Safari, A., Maher, A., Basily, B., “Laboratory testing and numerical simulation of piezoelectric energy harvester for roadway applications”, Applied Energy, Vol. 224, Pages 438-447, 2018.