

Energy Storage Performance and Investigation of Usage Potential a PV Combined-Alkaline Electrolysis Hydrogen Production System

Tugce DEMIRDELEN¹, Basak DOGRU MERT², Fırat EKINCI³, Abdurrahman YAVUZDEGER^{4*}, Burak ESENBOGA⁵, Hüseyin NAZLIGUL⁶, Mehmet TUMAY⁷

¹Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Electrical and Electronics Engineering, Adana

²Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Energy Systems Engineering, Adana

³Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Energy Systems Engineering, Adana

⁴Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Energy Systems Engineering, Adana

⁵Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Electrical and Electronics Engineering, Adana

⁶Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Energy Systems Engineering, Adana

⁷Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Electrical and Electronics Engineering, Adana

¹<https://orcid.org/0000-0002-1602-7262>

²<https://orcid.org/0000-0002-2270-9032>

³<https://orcid.org/0000-0002-4888-7881>

⁴<https://orcid.org/0000-0001-8058-4672>

⁵<https://orcid.org/0000-0002-7777-259X>

⁶<https://orcid.org/0000-0003-3037-8568>

⁷ <https://orcid.org/0000-0003-2938-8005>

*Corresponding author: ayavuzdeger@atu.edu.tr

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 23.11.2021

Accepted: 17.02.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Energy storage

Solar energy

Electrolysis

Hydrogen production

Renewable energy

Hydrogen fuel has the potential to reduce CO₂ emissions significantly. In this study, PV-alkaline electrolysis cell was combined and during day time it was harvested energy. Some of the deposited energy was used on-grid alkaline electrolysis cell and hydrogen was produced also was stored. In the electrolysis system, Ni-based coatings were operated on steel mesh with the help of the electrodeposition method. It was used re-cycled steel mesh substrates in order to decrease operational costs and also in order to encourage metal-cycling in our country. The relevancy of cathodes was investigated using bulk electrolysis. The characterization was achieved via scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive X-ray analysis (EDX). Results define both effects of "lab-made cathodes performance comparison" and "the trend of PV panel under different climate and weather conditions". This system reflects the real-time measurements for Adana, Sarıcam region of Turkey.

Birleşik PV-Alkali Elektroliz Hidrojen Üretim Sisteminin Enerji Depolama Performansı Ve Kullanım Potansiyelinin Araştırılması

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 23.11.2021

Kabul tarihi: 17.02.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Enerji depolama

Güneş enerjisi

Elektroliz

Hidrojen üretimi

Yenilenebilir enerji

Hidrojen yakıtı, CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir. Bu çalışmada PV-alkalin elektroliz hücresi birleştirilmiş ve gün boyunca enerji toplanmıştır. Depolanan enerjinin bir kısmı şebekede alkali elektroliz hücresinde kullanılmış ve hidrojen de depolanmıştır. Elektroliz sisteminde Ni esaslı kaplamalar, elektrodpozisyon yöntemi yardımıyla çelik hasır üzerinde çalıştırılmıştır. Ülkemizde işletme maliyetlerini düşürmek ve ayrıca metal çevrimini teşvik etmek amacıyla geri dönüşümlü çelik hasır substratları kullanılmıştır. Katotların uygunluğu, elektroliz yöntemi kullanılarak araştırıldı. Karakterizasyon, taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılımlı X-ışını analizi (EDX) ile sağlandı. Sonuçlar, hem "laboratuvar yapımı katot performans karşılaştırmasının" etkilerini hem de "farklı iklim ve hava koşulları altında PV panelinin eğilimini" tanımlar. Bu sistem, Türkiye'nin

To Cite: Demirdelen T., Doğru Mert B., Ekinci F., Yavuzdeğer A., Esenboğa B., Nazlıgul H., Tumay M. Energy Storage Performance and Investigation of Usage Potential a PV Combined-Alkaline Electrolysis Hydrogen Production System. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 472-481.

1.Introduction

The energy requirement resulting from the developments in technology has increased the attention to alternative energy sources. The experimental and numerical studies on the production and storage of hydrogen energy, called fuel for the future, have increased day by day. The many studies have been carried out on environmentally friendly energy generation systems where the energy required to produce hydrogen is obtained from renewable energy sources (Hofbauer et al., 2000; Turner et al., 2008; Balta et al., 2009; Khan et al., 2009; Sopian et al., 2009; Carton et al., 2010; Ghazvini et al., 2019; Kikuchi et al., 2019; Ishaq and Dincer, 2020; Temiz and Javani, 2020). Among these renewable energy sources, solar energy is among the most preferred for hydrogen production. The effect of partial shading from the electrical energy obtained from the 105-Watt solar panel to hydrogen production was investigated. Experimental data were collected at certain time intervals at Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University. In the study, four different electrodes were used. According to the results obtained Cu/NiMo has better hydrogen production efficiency than Cu/Ni, Cu/NiBi. (Mert et al., 2019). The improved efficiency of the PV-electrolysis system, which obtains the required voltage from the photovoltaic system for the operation of proton exchange membrane (PEM) electrolyzers, has been carried out. The production efficiency of the hydrogen produced for use in a fuel cell vehicle has been increased to 12% by making necessary optimizations (Gibson and Kelly, 2008). Alkaline water electrolysis is carried out with the energy source obtained from 30 W solar PV panel and the hydrogen production process is presented in detail without emitting CO₂. 50x50x2 mm Ni metal foam electrodes, 50x50x0,4 mm Zirphon membrane and 25% alkaline (KOH) solution electrolyte are used in this environmentally-friendly hydrogen production system. Also, the effect of distance between different electrodes and electrodes on voltage-electric current (UI) has been experimentally observed (Đukić and Firak, 2011). The experimental and numerical studies have been carried out on the successful integration of hydrogen production with the Photovoltaic (PV) Panel. Two different cases for storage of the produced hydrogen were examined. In the first case, the energy produced from the Photovoltaic Panel is directly connected to the electrolyzer. In the second case, the power converter is integrated into the system to provide energy management and increase efficiency. The experimental and numeric data of these two cases are presented comparatively (Iannuzzi and Pagano, 2009). Hydrogen storage with maximum efficiency from the system where the photovoltaic (PV) panel is directly connected to the Alkaline Electrolyser has been examined. Also, this system is simulated by using MATLAB and Multi-level Genetic Algorithm (GA) based optimization is used for maximum hydrogen production. The obtained results show that the optimal system for a 10 kW electrolyzer can produce Hydrogen of 0,0176 mol/s (Khalilnejad et al., 2016).

In the present work, the environmentally friendly energy system proposed is explained in detail sections which solar PV panel and characteristics, DC-DC step-down converter and hydrogen production by alkaline electrolysis.

2. Material and Method

The renewable energy-based electrolysis system is as shown in Figure 1. The system consists of solar PV panel, DC-DC step down converter, electrolysis process and measurements. The DC-DC step-down converter is directly connected to the 80 W solar PV panel. With the help of the DC-DC step down converter, the open-circuit voltage produced from the PV panel is decreased to the necessary voltage levels required for the electrolysis system. The power used to produce hydrogen and the solar radiation intensity reflected on the panel and the temperature values of the panel were measured momentarily. Thus, the hydrogen production rate is calculated. In this study, it was aimed to reveal the effectiveness of the location of the region for hydrogen production with the proposed renewable energy system.

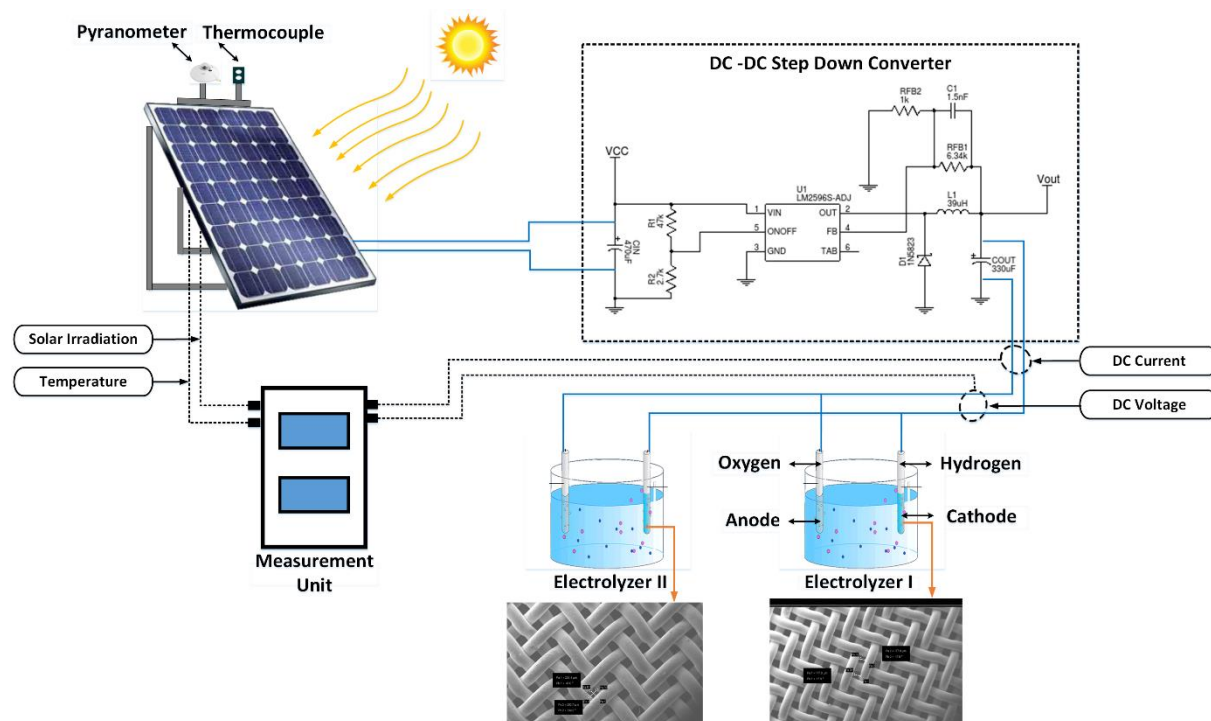


Figure 1. A solar PV combined-alkaline electrolysis hydrogen production system

2.1. Solar PV Panel and Characteristics

Semiconductor materials are also employed in today's electrical devices, such as solar cells, transistors, and rectifier diodes. Silicon, gallium arsenide, and cadmium telluride are the most appropriate semiconducting materials for manufacturing solar cells. The additive determines whether the semi-conductor is of the "n" or "p" type. Semiconductor joints are created by combining the

appropriate additives into the "p" or "n" type main material. Electrons in the semiconductor type "N" and holes in the semiconductor type "p" are the majority carriers. Both p-type and n-type semiconductors are electrically neutral before they come together. In the p-type, negative energy levels and hole numbers are equal, while positive energy levels and electron numbers are equal in the n-type. Electrons, which are the majority carrier of type n, produce current towards type p when a PN junction is constructed.

In this study, an 80-Watt solar PV panel was used for the electrolysis process. The characteristic features of the solar panel obtained by connecting 36 solar cells in series are given in Table 1.

Table 1. The electrical and mechanical features of the proposed solar PV panel

Solar PV Panel	Value	Solar PV Panel	Value
Rated Power	80 Wp	Power tolerance	%±2.4
Open circuit voltage (Voc)	22.68 V	MPPT operating voltage	31.7 V
Voltage value at MPPT	18.5 V	Protection class	IP65
Short circuit current (Isc)	4.75 A	Size	800x670x30 mm
Current value at MPPT	4.38 A	Series Fuse Rating	15 A
Cell efficiency	% 16.7	Service temperature	-40°C...+80°C
Efficiency of the PV cell	% 13.6	Weight	8.5 kg

Solar PV panels formed by connecting a solar cell with serial or parallel connection of these cells are composed of a current source electrically, serial/parallel resistors and parallel diodes. The relationship between the voltage of solar cell cells and the current it gives to the load gives the I-V and P-V characteristics of the cell. These two characteristics provide important clues about the conditions under which the power received from the panel should reach its highest value. The I-V and P-V characteristics of the proposed solar PV panel are given in Figure 2.

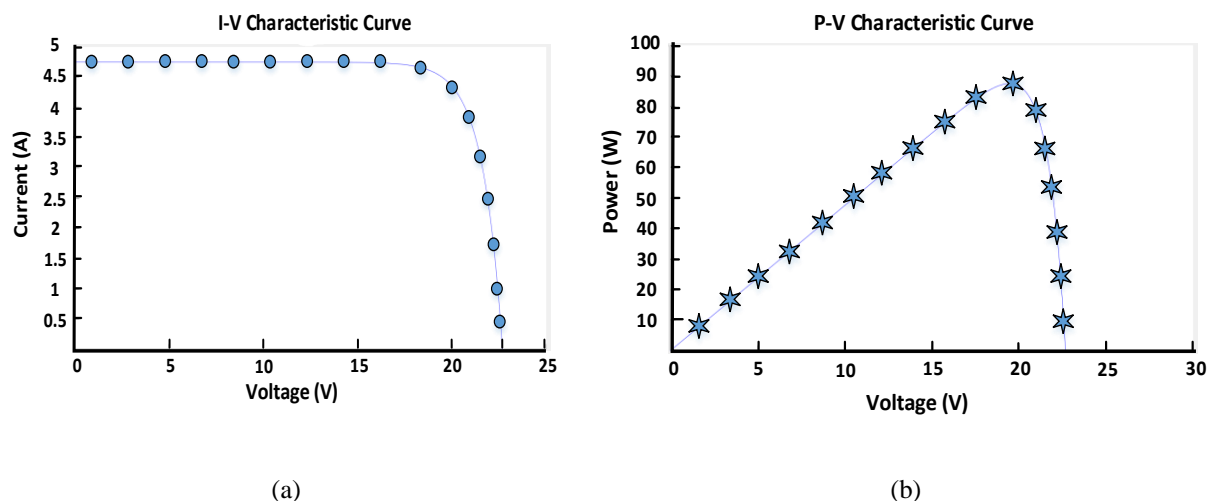


Figure 2. (a) P-V and (b) I-V Characteristics of the proposed solar PV Panel under loaded condition (1000 W/m²-25°C)

2.2. DC-DC Step-Down Converter

DC-DC step-down converters are systems that reduce the direct voltage at the converter input to a lower direct voltage level and transfer it to its output. The step-down converter circuit consists of a capacitor, a coil, a switching element and a diode. When the switching element is ON (i.e. in transmission), the diode will be OFF. The switching element is opened and closed according to the switching frequency ratio of Pulse Width Modulation (PWM). There is a voltage set so that the output voltage is lower than the input voltage.

In this study, the LM2596 series DC-DC step down converters are used to the conversion process of solar PV panel generated voltage. On the DC-DC step-down voltage converter, there is LM2596 integrated, which is a switched voltage regulator. Up to 3A current can be flowed through the regulator. Input voltage is between 4-35V. Depending on the voltage applied in this range, an output voltage of 1.25-30V can be obtained by using the trimpot on the card. In applications made with the card, the input voltage must always be higher than the output voltage. Because the LM2596 converter is a switched-mode power supply, its efficiency is significantly higher, especially when compared to popular three-terminal linear regulators with higher input voltages. The proposed converter features are shown in Table 2.

Table 2. Technical properties of the proposed DC-DC step-down converter

Definition	Characteristics	Definition	Characteristics
Supply voltage	4-35V	Generated voltage	1,23V-30V
Rectifier	Non-Synchronous Rectification	Service temperature	(-38°C to +84°C)
Module Feature	Non-isolated step-down module (buck)	Conversion efficiency	Up to 92.4%
Load regulation	±0,49%	On-Off Frequency	150KHz
Voltage regulation	±2,48%	Dimension	47*24*13 mm

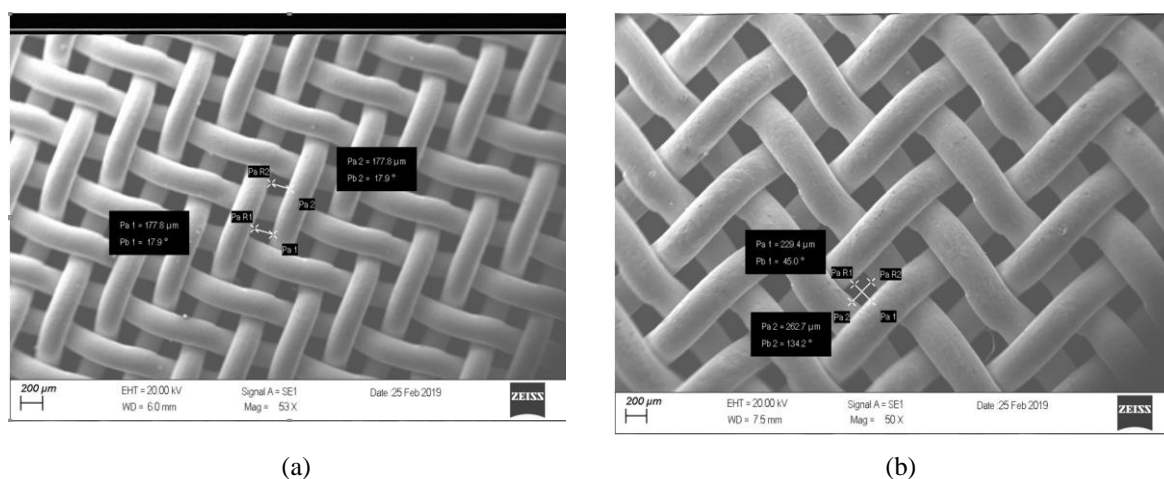
2.3. Hydrogen Production by Alkaline Electrolysis

The electrochemical tests are realized by using the 178 micron and 250-micron iron mesh electrodes as a cathode. These electrodes were symbolized as EI and EII, respectively. The electrode surface was 1x1 cm². In order to activate EI and EII surface, the 10 mA cm⁻² constant cathodic current was applied during 600 s in 1 M KOH before the electrolysis. Then electrolysis was obtained with a two-electrode configuration. The system was set up on Renewable Energy Investigation Lab. on the ATU roof. In this system, the graphite electrode with 0,5 cm² surface area was used as the anode, EI and EII electrodes were used as a cathode. The PV panel output provided as 0.3 W for the electrolysis system. The produced hydrogen gas was measured by using a graduated cylinder. 1M KOH electrolyte was added into the graduated cylinder. The electrochemical test solutions were obtained from analytical

grade KOH in distilled water. In order to obtain SEM analysis results, It was received support from the Leo 440 device. An energy dispersive X-ray (EDX) detector was coupled to the device.

3.Results and Discussion

Considering the conditions of our country (Turkey), we may claim that solar energy is a promising alternative (Benli, 2016; Omar and Altinisik, 2016; Ozcan and Ersoz, 2019). We have great potential to produce energy from photovoltaic panels in Turkey. According to 1996 data (Demirbas and Bakis, 2004), the electricity generated in Turkey, where about 11 thousand times the equivalent of sunlight received have been identified. Furthermore, (Keles and Bilgen, 2012) declared that in Turkey, we have a higher potential for renewable energy, which meets almost 37% of total energy production and 10% of total energy consumption. In fact, energy demands in Turkey are resolves by imports. The location of Turkey has many advantages; it is a natural bridge between the energy-rich Middle East and Central Asian regions. We can have more advantageous positions to support energy production via solar energy. The highest average temperatures which are varied between 28.1-32.8 °C, in summer for some cities where locate South Eastern Anatolia Region and Mediterranean Region. Also besides temperatures, the solar irradiation data proves these regions are suitable solar energy harvesting, especially via photovoltaic panels. Turkey has almost 2460 days of sunshine and 1311 kW h/m² average solar radiation/year. (Kaygusuz, 2011) called sun-belt cities for the Mediterranean Region and he declared that Adana has the best DNI resource in Turkey. Therefore, we decided to investigate the optimal usage of solar energy for Adana region. In this study, we set up the PV panels and we operated part of harvested energy for the input of alkaline electrolysis for hydrogen production. As seen from Figure 3 the re-cycled iron mesh electrodes were used as cathodes. They have different mesh sizes. And the elemental composition of these electrodes was given in Figure 4 as EDX results.



(a) (b)
Figure 3. The SEM images of EI (a) and EII (b) electrodes

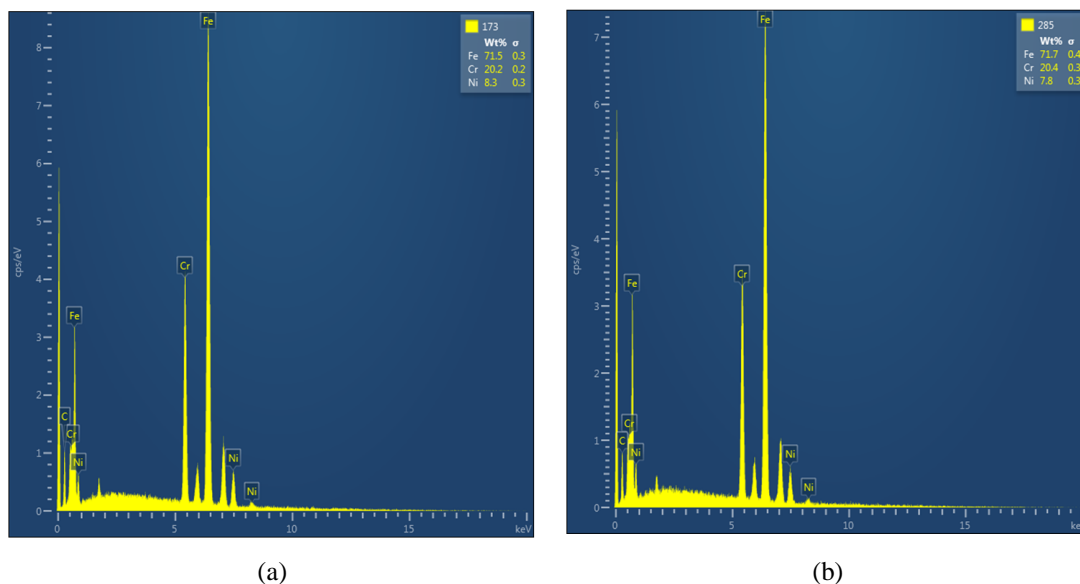


Figure 4. The EDX results of EI (a) and EII (b) electrodes

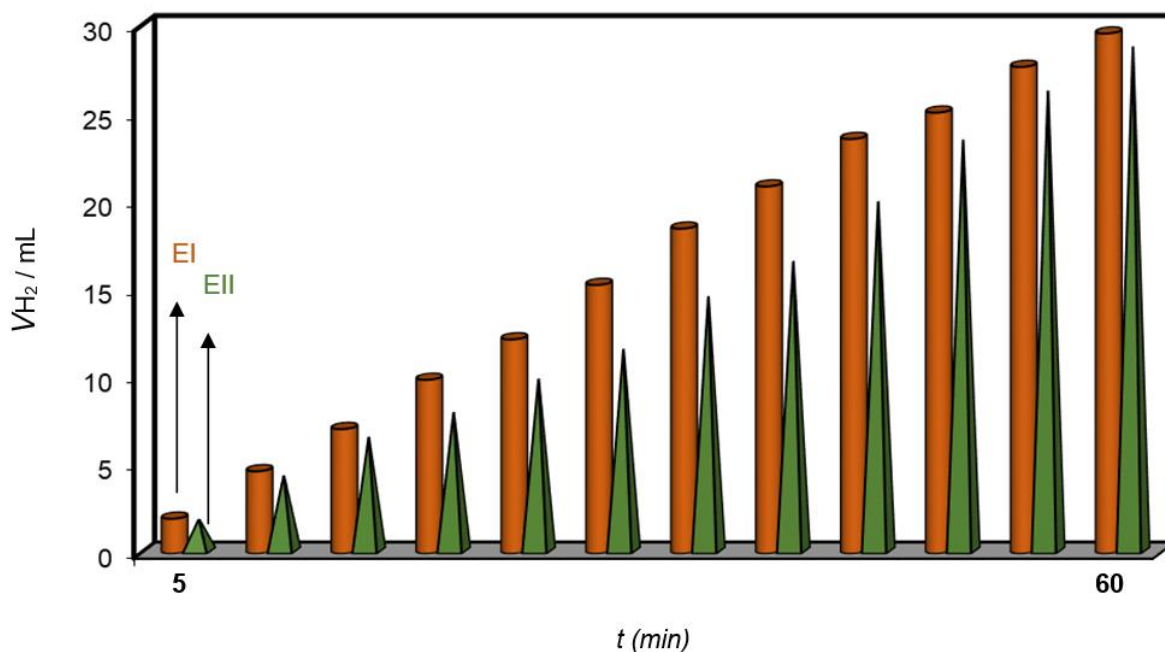


Figure 5. The produced hydrogen gas volumes by EI (a) and EII (b) electrodes

The EI has a higher Ni percentage than EII and we expected that it has a higher hydrogen evolution reaction (HER) activity. We set the alkaline electrolysis and we determined the hydrogen gas volumes in case 0.3 W input, the obtained data were presented in Figure 5. As seen in Figure 5, the HER activity of EI is higher than EII and produced hydrogen gas volumes are 29.6 mL and 28.7 mL after 1-hour electrolysis time, respectively. The HER activities of EI and EII is comparable with the efficiency of the electrodes used by (Demirdelen et al., 2020). Mert (2018) utilized chronoamperometry technique to generate a nickel-cobalt-bismuth (NiCoBi) layer on the copper surface. The electrochemical decomposition experiments were done in alkali water. The two electrode set up was

conducted to examine the coating's performance for hydrogen production. The amount of hydrogen obtained after 30 minutes when bare copper (Cu) was employed as the cathode and a 3 V constant potential was applied was 8.43 mL. In the same potential and time as nickel plated copper, this amount increased to 11.52 mL, 15.33 mL hydrogen was obtained with Nickel-Bismuth coated copper, and 18.61 mL hydrogen was obtained with Nickel-Cobalt coated copper. The maximum hydrogen volume of 20.51 mL was determined when Cu/NiCoBi cathode was utilized in the same system. As seen from Figure 5, the comparable results were obtained in this study with literature.

4. Conclusion

The world needs to evolve new routes seeking alternative roads to meet energy demands. Because limited fossil sources are not sufficient for the next generations and they also accompany carbon dioxide emission. In order to overcome problems, alternative energy sources have been extensively investigated but suitable recipes are variable and they depend on many factors i.e.; location of the region, climate - weather conditions, investment cost – strategies, etc. The temperatures and solar irradiation data prove that Sarıcam region is suitable for solar energy harvesting, especially via photovoltaic panels. It was revealed to reveal the effectiveness of the location of the region for hydrogen production with the proposed renewable energy system. Results define both effects of "lab-made cathodes performance comparison" and "the trend of PV panel under different climate and weather conditions". In addition, the EI and EII electrodes may prefer because of rough, large surface area and low cost furthermore these electrodes should be used with graphite anode for PV-alkaline electrolysis systems.

Acknowledgment

The authors would like to acknowledge the Scientific Project Unit of Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University (Project Number: 19103006) for full financial support.

Statement of Conflict of Interest

Authors have declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

References

- Balta MT., Dincer I., Hepbasli A. Thermodynamic assessment of geothermal energy use in hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy* 2009; 34: 2925-2939.
- Benli H. Potential application of solar water heaters for hot water production in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2016; 54: 99-109.

- Carton JG., Olabi AG. Wind/hydrogen hybrid systems: Opportunity for Ireland's wind resource to provide consistent sustainable energy supply. *Energy* 2010; 35: 4536–4544.
- Demirbas A., Bakis R. Energy from renewable sources in Turkey: Status and future direction. *Energy Sources* 2004; 26: 473–484.
- Demirdelen T., Ekinçi F., Doğru Mert B., Karasu İ., Tümay M. Green touch for hydrogen production via alkaline electrolysis: The semi-flexible PV panels mounted wind turbine design, production and performance analysis. *International Journal of Hydrogen Energy* 2020; 45(18): 10680-10695.
- Doğru Mert B., Ekinçi F., Demirdelen T. Effect of partial shading conditions on off-grid solar PV/Hydrogen production in high solar energy index regions. *International Journal of Hydrogen Energy* 2019; 44: 27713-27725.
- Đukić A., Firak M. Hydrogen production using alkaline electrolyzer and photovoltaic (PV) module. *International Journal of Hydrogen Energy* 2011; 36: 7799-7806.
- Ghazvini M., Sadeghzadeh M., Ahmadi MH., Moosavi S., Pourfayaz F. Geothermal energy use in hydrogen production: A review. *International Journal of Energy Research* 2019; 43: 7823-7851.
- Gibson TL., Kelly NA. Optimization of solar powered hydrogen production using photovoltaic electrolysis devices. *International Journal of Hydrogen Energy* 2008; 33: 5931-5940.
- Hofbauer H., Rauch R., Foscolo P., Matera D. Hydrogen rich gas from biomass steam gasification 2000.
- Iannuzzi D., Pagano M. Efficiency of hydrogen based storage systems for stand-alone PV applications: Numerical and experimental results. 2009 International Conference on Clean Electrical Power, IEEE; 2009, p. 555–61.
- Ishaq H., Dincer I. A comparative evaluation of OTEC, solar and wind energy based systems for clean hydrogen production. *Journal of Cleaner Production* 2020; 246: 118736.
- Kaygusuz K. Prospect of concentrating solar power in Turkey: The sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011; 15: 808-814.
- Keles S., Bilgen S. Renewable energy sources in Turkey for climate change mitigation and energy sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2012; 16: 5199–5206.
- Khalilnejad A., Sundararajan A., Sarwat AI. Performance evaluation of optimal photovoltaic-electrolyzer system with the purpose of maximum hydrogen storage. 2016 IEEE/IAS 52nd Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS), IEEE; 2016, p. 1–9.
- Khan MJ., Iqbal MT. Analysis of a small wind-hydrogen stand-alone hybrid energy system. *Applied Energy* 2009; 86: 2429–2942.
- Kikuchi Y., Ichikawa T., Sugiyama M., Koyama M. Battery-assisted low-cost hydrogen production from solar energy: Rational target setting for future technology systems. *International Journal of Hydrogen Energy* 2019; 44: 1451–1465.

- Mert ME., Doğru Mert B. The application of Cu/NiCoBi electrode as a cathode for hydrogen production and determination of catalytic effect during long term period. *Science and Eng. J of Firat Univ.* 2018; 30(2): 33-38.
- Omar MA., Altinisik K. Simulation of hydrogen production system with hybrid solar collector. *International Journal of Hydrogen Energy* 2016; 41: 12836–12841.
- Ozcan O., Ersoz F. Project and cost-based evaluation of solar energy performance in three different geographical regions of Turkey: Investment analysis application. *Engineering Science and Technology, an International Journal* 2019; 22: 1098–1106.
- Sopian K., Ibrahim MZ., Daud WRW., Othman MY., Yatim B., Amin N. Performance of a PV-wind hybrid system for hydrogen production. *Renewable Energy* 2009; 34: 1973–1978.
- Temiz M., Javani N. Design and analysis of a combined floating photovoltaic system for electricity and hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy* 2020; 45: 3457–3469.
- Turner J., Sverdrup G., Mann MK., Maness PC., Kroposki B, Ghirardi M, Evans RJ., Blake D. Renewable hydrogen production. *International Journal of Energy Research* 2008; 32: 379-407.

Motorlu Taşıtlarda Kullanılan Ek Isıtıcıların Egzoz Gazlarındaki Atık Isı Enerjisinin Geri Kazanılması

Emrah TAŞPINAR¹, Adnan ÖZTÜRK^{2*}

¹Taşpınar Isı -İklimlendirme Sistemleri, 35280, Konak, İzmir

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas

¹<https://orcid.org/0000-0002-2572-0552>

²<https://orcid.org/0000-0001-6371-0577>

*Sorumlu yazar: aozturk@cumhuriyet.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 25.12.2021

Kabul tarihi: 04.02.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Egzoz gazı ısı enerji kazanımı

Ek ısıtıcı

Eşanjör (Isı değiştiricisi) susturucu

Yakıt tasarrufu

ÖZ

Bu çalışmada, sulu tipte bir ek ısıtıcı kullanılan sistemde atık egzoz ısısının, susturucu yerine takılan bir eşanjör (ısı değiştirici) ile geri kazanılarak ek ısıtıcı yakıt sarfiyatının düşürülmesi hedeflenmiştir. Eşanjörlü sistemde motorun verimli çalışma sıcaklığına daha hızlı ulaşmasını sağlayarak, motordaki aşınmanın ve aynı zamanda çevreye verilen zararın azaltılması amaçlanmıştır. Farklı soğutucu akışkan sıcaklıklarında susturuculu ve eşanjörlü sistem için yakıt tüketimi, soğutucu akışkanı hedeflenen sıcaklığa ulaştırmak için geçen ısınma süresi, elektrik tüketimleri ve gürültü seviyeleri ölçülerek karşılaştırılmıştır. Bütün sıcaklık değerlerinde eşanjörlü sistemin susturuculu sistemden daha az yakıt tükettiği ve daha kısa zamanda hedef sıcaklığa ulaştığı tespit edilmiştir. Eşanjörlü sistemin susturuculu sisteme göre daha fazla elektrik enerjisi tükettiği, ancak tasarruf edilen yakıtla karşılaştırılmayacak düzeyde düşük bir kayıp olduğu belirlenmiştir. Ayrıca sistemde susturucu yerine eşanjör takıldığı için gürültü seviyelerindeki değişim ölçülmüş, eşanjörün susturucudan daha iyi ses yalıtımı sağladığı görülmüştür.

Recovery of Waste Heat Energy in Exhaust Gas of Additional Heaters Used in Motor Vehicles

Research Article

Article History:

Received: 25.12.2021

Accepted: 04.02.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Exhaust gas heat energy recovery

Additional heater

Heat exchanger

Silencer

Fuel saving

ABSTRACT

In this study, it is aimed to reduce the additional heater fuel consumption by recovering the waste exhaust heat with a heat exchanger installed instead of the silencer in the system using a water-type additional heater. In the heat exchanger system, it is intended to reduce the wear on the engine and also the damage to the environment by enabling the engine to reach the efficient operating temperature faster. For the systems with the silencer and the heat exchanger at different refrigerant temperatures, the fuel consumption, the heating time taken to bring the coolant to the targeted temperature, electricity consumption and noise levels were measured and compared. It has been determined that the heat exchanger system consumes less fuel than the system with silencer at all temperature values and reaches the target temperature in a shorter time. It has been determined that the heat exchanger system consumes more electrical energy than the system with silencer, but has a low loss that is incomparable with the fuel saved. In addition, since a heat exchanger is installed instead of a silencer in the system, the change in noise levels has been measured and it has been seen that the heat exchanger provides better sound insulation than the silencer.

To Cite: Taşpınar E., Öztürk A. Motorlu Taşıtlarda Kullanılan Ek Isıtıcıların Egzoz Gazlarındaki Atık Isı Enerjisinin Geri Kazanılması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 482-494.

1.Giriş

Günümüzde doğal enerji kaynaklarının azalması, çevre kirliliği ve küresel ısınmaya karşı gelişen enerji tasarrufu politikaları, enerjinin daha verimli kullanılması ve atık enerjinin geri kazanılması yönünde yapılan çalışmaları teşvik etmektedir. Bu nedenle enerji kaynaklarının doğru kullanımıyla, bu enerjiyle çalışan makinelerin verimli çalışması ve kullanılmayan enerjinin geri kazanımı önem arz etmektedir.

Farklı sıcaklıkta ve birbirinden katı bir cidarla ayrılan iki akışkan arasındaki ısı geçişi birçok mühendislik uygulamasında önem taşır. Bu tür bir ısı geçişini gerçekleştirmek için kullanılan düzenek olan eşanjör (ısı değiştirici), sanayide çeşitli iş kollarında, iklimlendirme tesislerinde, termik santrallerde, atık ısının geri kazanılmasında ve kimyasal işlemlerde uygulama alanı bulmaktadır (Incropera, 2015) ve atık ısı enerjisini egzoz gazlarından geri kazanım cihazları olarak da kullanılır. Jouhara ve ark. (2018) atık ısı geri kazanımını kullanarak enerji verimliliğini arttırmanın yolunun farklı yaklaşımlarla ve farklı teknolojilerin kullanımı ile elde edilebileceğini göstermişlerdir. Hatami ve ark. (2014) çalışmalarında, egzozdan ısı kazanımıyla ilgili yapılan çalışmaları incelemiş, motorların egzozundan atılan ısının geri kazanımında eşanjör kullanmanın yaygın bir yol olduğunu belirtmişlerdir.

Soğuk bir sıvının ön ısıtılması için yüksek sıcaklıktaki bir egzoz gazından atık ısının geri kazanımında plakalı ısı eşanjörleri kullanılabilir. Plakalı ısı eşanjörleri ile atık ısı geri kazanımı, çeşitli endüstrilerde hem ısı verimi artırmak hem de yakıt ihtiyacını azaltmak için ekonomik bir yöntemdir. Bu eşanjörlerde termal enerji, karışmayı önlemek için ince iletken duvarlarla ayrılmış iki veya daha fazla sıvı arasında aktarılır. Plakalı eşanjörlerin avantajları, kompaktlık, boyut esnekliği, yüksek termal verimlilik ve farklı akış düzenlemelerine olanak tanımaları nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Doğal gaz sıvılaştırma, içten yanmalı motorların soğutulması, ısıtma sistemleri, klima üniteleri ve atık ısı geri kazanımı gibi geniş bir uygulama yelpazesi için tasarlanmış olmalarından dolayı endüstride önemli bir role sahiptir. Bu nedenle termal sistemlerin akış düzeni ve ısı davranışı araştırmacılar tarafından hem sayısal hem de deneysel olarak geniş çapta araştırılmıştır (Abu-Khader, 2012; Song ve ark., 2012). Nia ve ark. (2021) egzozla atılan ısıyla, farklı uygulamalarda kullanılacak hava akışını ısıtmak için bir plakalı eşanjör kullanmışlardır. Sıcak gazın radyasyon iletimi parametresinin ve plakalı eşanjördeki eğim açısının ısı performans üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Arsenyeva ve ark. (2021) endüstriyel bir kurutma işleminden sonra ısının geri kazanımı için kullanılan plakalı ısı eşanjörlerinin tasarımında farklı matematiksel modeller önermişler ve kullandıkları sistemle egzoz gazından 640 kW ısı enerjisi tasarrufu sağlamışlardır.

Ek ısıtıcılar, içten yanmalı motorların verimli çalışabilmesi için soğutma suyu ve motor parçalarının belli bir sıcaklık değerine ulaştırılmasında kullanılmaktadırlar (Shepard, 1989; Yoshimoto ve ark. 1996; Soruşbay, 1999; Topgül ve Çınar, 2001; Özülcü, 2002; Pulkrabek, 2004; Kauranen ve ark. 2010). Soğuk iklim koşullarında motor ve parçaları düşük sıcaklıkta olduğundan emme ve sıkıştırma zamanında yakıtın oldukça az bir kısmı buharlaşacaktır. Bu durumda yakıt soğuk ve akışkanlığı düşük

olduğundan, daha az yakıt debisi ve daha büyük yakıt damlacıkları oluşur. Ek ısıtıcılar sistemde konfor ısıtması yapmasının yanı sıra motorun daha hızlı ısınmasını ve yakıtın daha iyi yanması sonucu motor performansının artırılması, aşınmanın ve çevre kirliliğinin azaltılmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada, sıvı ısıtmalı tipte bir ek ısıtıcının egzoz çıkışındaki susturucu çıkarılarak yerine bir eşanjör bağlanmıştır. Harici bir soğutucuda farklı sıcaklıklara soğutulan ve kapalı devre içerisinde dolaşımı sağlanan motor soğutma suyuna, ek ısıtıcı çıkışındaki egzoz gazı ile ön ısıtma işlemi uygulanmıştır. Böylece yapılan ön ısıtma işlemiyle istenilen soğutma suyu sıcaklığına daha kısa sürede ulaşıldığından ek ısıtıcının çalışma süresinin azaldığı görülmüştür. Ek ısıtıcı çalışma süresinin kısılmasıyla, ek ısıtıcının yakıt tüketimi de azalmıştır. Azalan yakıt tüketimi de çevre kirliliğinin azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Uygulamada daha hızlı ısınan motor soğutma suyu ile motorun verimli çalışma sıcaklığına daha kısa sürede ulaşması, aynı zamanda kabin içi hava sıcaklığının da hızlı bir şekilde artması sağlanmış olacaktır. Susturuculu ve eşanjörlü sistem, yakıt tüketimi, soğutucu akışkanı hedeflenen sıcaklığa ulaştırmak için geçen ısınma süresi, dolaşım sıvısı sıcaklığı, basınç kaybı, elektrik tüketimi ve gürültü düzeyi gibi parametreler açısından karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

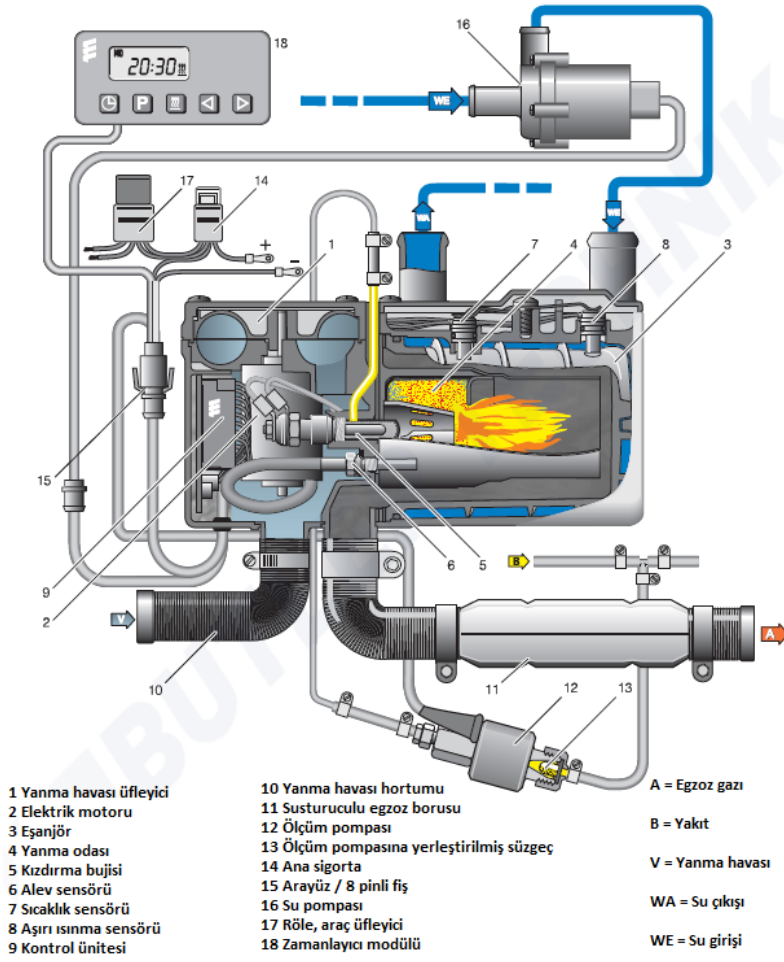
Ek ısıtıcılar, ısıtılan akışkana göre kuru tip ve sıvılı tipte olmak üzere farklı yapıda üretilmektedir. Bu çalışmadaki deneylerde kullanılan sulu tipte bir ek dizel ısıtıcı (Eberspacher D5WS) ve ek parçaları Şekil 1'de şematik olarak sunulmuştur. Ek ısıtıcının çalışma durumları üç aşamada açıklanabilir.

i) Ek ısıtıcı açılıp hazır hale geldiğinde dolaşım pompası çalışmakta bir ön yıkama ve ön kızdırma programı tamamlandıktan sonra yanma havası fanı, kızdırma bujisi ve ölçüm pompası açılmaktadır. Kazan içerisinde bir alev algılandığında ve yanma süreci karalı hale geldiğinde, bir zaman kontrolü sistemi kızdırma bujisini kapatmakta ve ısıtma durumuna geçilmektedir.

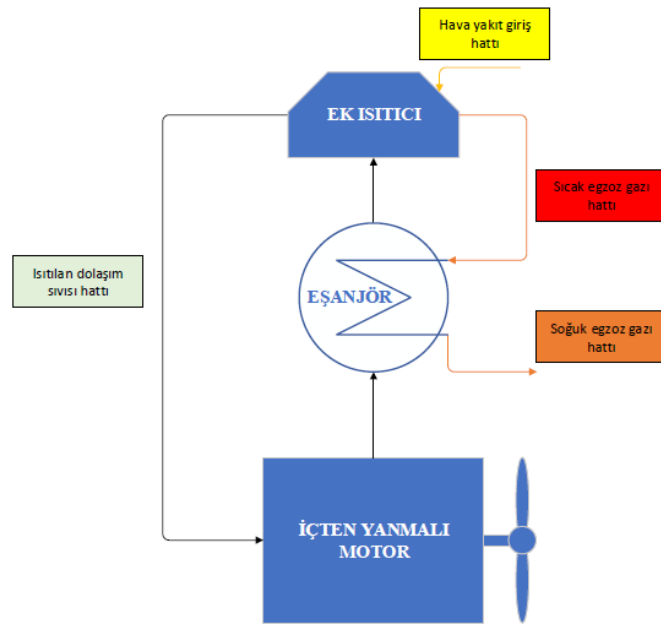
ii) Isıtma durumunda, ek ısıtıcı, "düşük" ve "yüksek" ayarları arasında geçiş yapabilmektedir. Motor soğutma sıvısının istenilen sıcaklık değerine yaklaşıldığında (85-90°C), ısıtıcı "kapalı" konuma geçmekte ve ardından brülörün soğutulması için yaklaşık 130 saniye daha çalışmaktadır. Soğutma sıvısı sıcaklığı düşüp yeniden devreye girinceye kadar çalışmaya devam etmektedir.

iii) Ek ısıtıcı kapatıldığında, yakıt pompası tarafından gönderilen yakıt kesilmektedir. Kapatma durumunda, kızdırma bujisi 20 saniye süreyle açılmakta, yanma havası fanı ve su pompası kısa bir süre çalıştıktan sonra ardından otomatik olarak kapanmaktadır (<https://www.eberspacher.com>).

Ek ısıtıcılardaki susturucular, ek ısıtıcı standart donanımında bulunan gürültünün azaltılması ve konfor şartlarını sağlaması için üretici tarafından parçalardır. Bu çalışmada egzoz çıkışındaki susturucu çıkarılıp yerine kompaktlık değeri yüksek olan sıvı-gaz geçişli yüksek ısıya dayanıklı kaynaklı tip plakalı bir eşanjör bağlanmıştır. Şekil 2'de sıvı ısıtan tipte bir ısıtıcıda sistem çıkışına eklenen eşanjörle, atık egzoz gazlarından elde edilen enerjisinin ön ısıtma işleminde kullanıldığı sistem şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Sulu tip ek ısıtıcı parçaları (<https://www.eberspacher.com>)



Şekil 2. Ek ısıtıcı tarafından ısıtılan sıvının çevrimi ve eşanjörün konumu

Eşanjörler, ısıl temas halinde bulunan iki veya daha fazla sayıda akışkanın, ısı enerjisinin birbirlerine geçişlerini sürekli olarak sağlayan cihazlardır ve akışkanlar arasındaki sıcaklık farkından dolayı ısı enerjisini birbirlerine aktararak sıcak bir akışkanı soğutma, ısıtma, yoğuşurma veya buharlaştırma işlevini yerine getirirler. Eşanjörün içinden geçen sıvı veya gaz halindeki maddeler arasında kütleli bir geçiş yoktur. Kullanım alanları oldukça geniş olup, ısıtma soğutma sistemleri, iklimlendirme santralleri, ısı geri kazanımı prosesleri gibi birçok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Uygulama alanı olarak günlük yaşamımızda, araç radyatörleri, klimalar, hava ısıtıcıları, kombiler ve su ısıtıcıları vs. gibi cihazlarda karşımıza çıkmaktadır.

Yapısal olarak borulu lehimli ve plakalı tipleri olan eşanjörler, günlük yaşamımızda oldukça yaygın kullanım alanına sahiptir. Sıcak su kaynakları olan kombiler, şofbenler, kat kaloriferleri gibi gündelik kullanımların yanı sıra endüstride araç radyatörleri, serpantinler, kondenserler gibi alanlarda kullanılmaktadır. Çalışma şartları, üretim tekniği, görünüşleri, kullanım yeri, büyüklüğü, akış şekli, vb. gibi özelliklerine göre farklı şekillerde sınıflandırılırlar. Kaynaklı plakalı eşanjörlerin avantajları ise; yapıları gereği hafif ve küçüktürler, bakım maliyetleri düşüktür, yüksek korozyon ve basınç dayanımına, yüksek termal verime ve yüksek çalışma sıcaklığına sahiptirler.

3. Deneysel Çalışma

Deneylerde kullanılan deney düzeneği ve şematik gösterimi Şekil 3 (a ve b)'de verilmiştir.

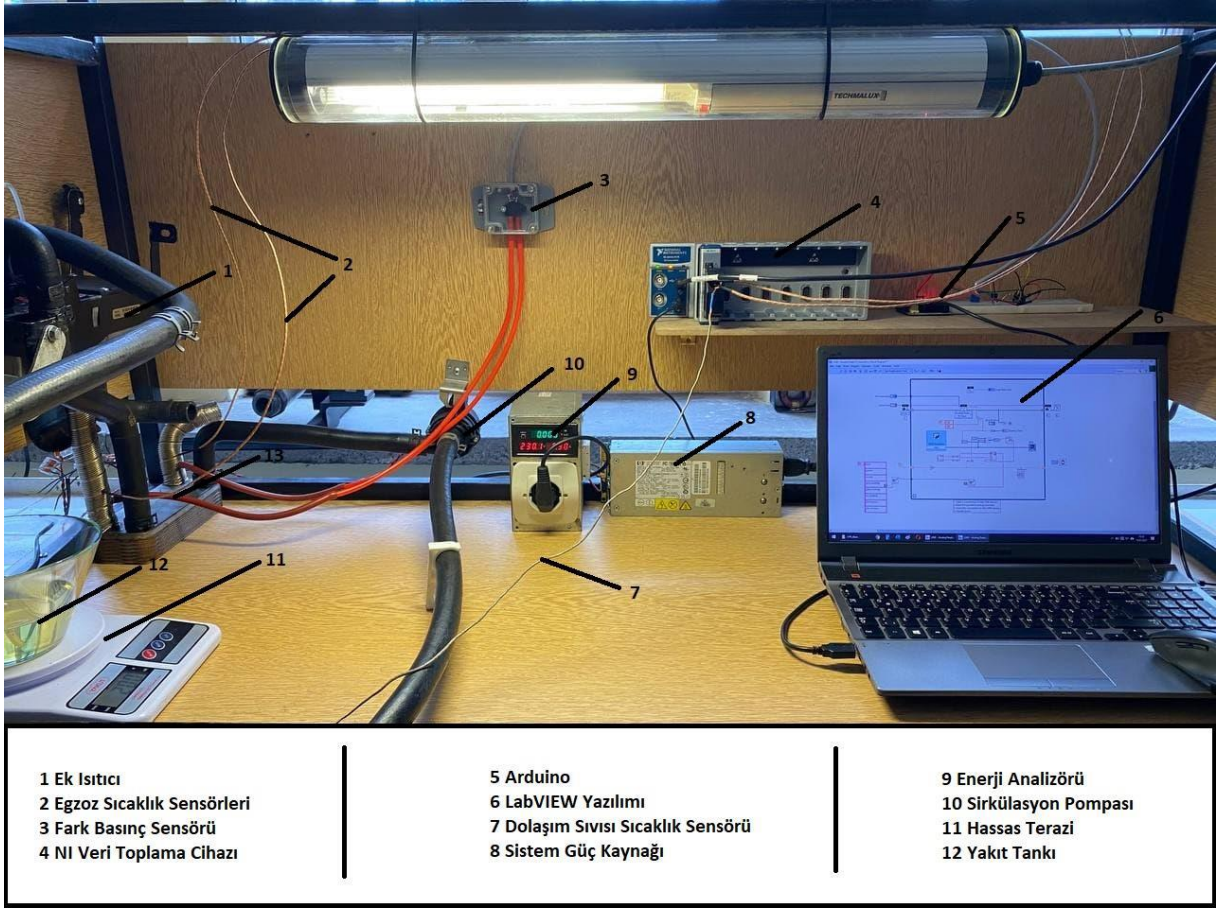
3.1. Kabuller ve koşullar

- Soğutucu akışkan hacmi olarak binek tipte bir aracın soğutma suyu kapasitesi olan 4 litre sıvı alınmıştır. Soğutma sıvısı olarak özgül ısısı yaklaşık olarak 2,5 kJ/kg olan Shell marka antifriz (etilen glikol) kullanılmıştır.
- Soğutucu kapasitesi soğutma sıvısının daha düşük sıcaklıklara çalışması için yeterli olmadığından deneylerde en düşük sıcaklık olarak 0°C ile başlanmıştır.
- Bütün deneylerde aynı özellikte yakıt kullanılmış ve her deney için 4°C ortam sıcaklığı sağlanmıştır. 1°C'den düşük sıcaklık farkları ihmal edilmiştir. Deney sürelerinin kısa olmasından dolayı yakıtın deney sırasında buharlaşmayla kütlelerinin değişmediği kabul edilmiştir.
- Deney sisteminin başlangıçta öncelikle test yapılacak denge sıcaklığına ulaşması sağlanmış ve daha sonra ek ısıtıcı çalıştırılarak deney verileri kaydedilmeye başlanmıştır. Her deney için başlatma ve veri kaydetme aşamasında oluşan zaman farkları göz önüne alınmamıştır.
- Sistemde buharlaşan dolaşım sıvısı her deney için başlangıçta kontrol edilerek, gerekli miktarda sıvı ilavesi yapılmıştır.
- Eşanjör yüzeyinden, bağlantı elemanlarından (hortumlar vb.), sıcaklığın ölçüldüğü giriş-çıkış manifoldlarından olan ısı kayıpları göz önüne alınmamıştır.

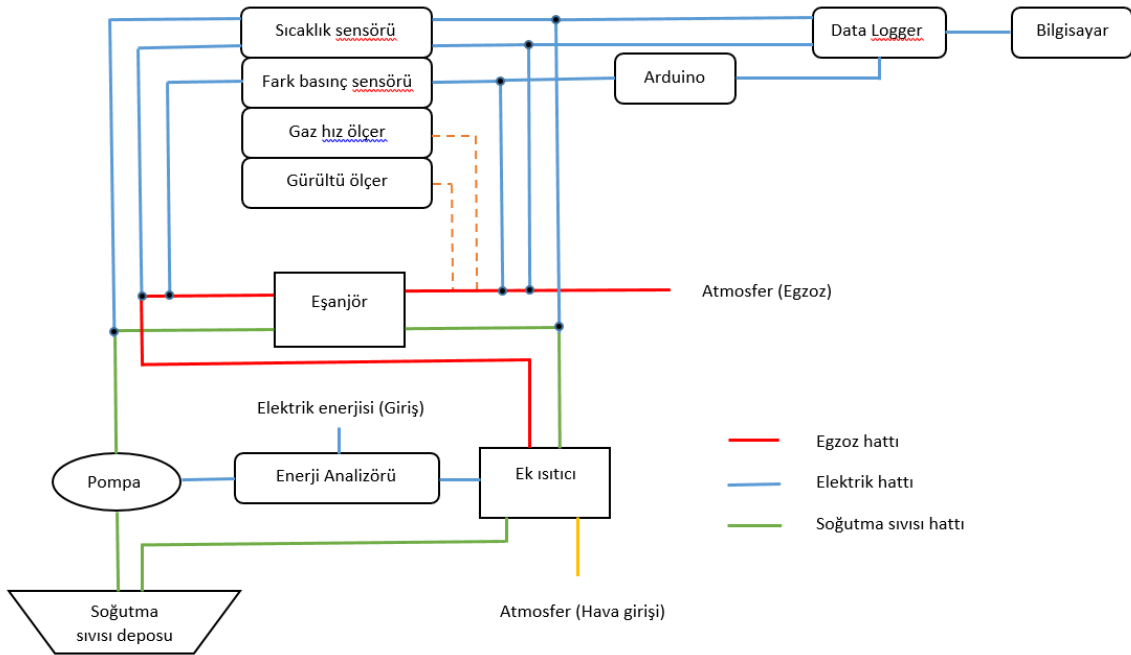
- Ek ısıtıcı çıkış ağzında sıcak egzoz gazlarının içindeki su buharının aniden soğuyarak yoğuşmasını engellemek için eşanjör sisteme zıt akışlı olarak bağlanmıştır. Bu şekilde yoğuşmanın eşanjörün içinde olması sağlanmıştır.
- Fark basınçları ölçülürken sistem hava kaçakları için yalıtılmıştır.
- Orijinal haldeki egzoz susturuculu ve eşanjörlü durumun ses yalıtma durumları ölçülürken aynı koşullar sağlanmıştır.

3.2. Deney aşamaları

- Eşanjörle yapılan deneylerde, ek ısıtıcı, ısı ve basınç sensörleri, enerji analizörü, data logger, yakıt deposu ve susturucu sökülerek yerine takılan ısı eşanjörü ve soğutucu sıvı kazanı test ünitesine bağlanmıştır. Susturucu ile yapılan deneylerde ise, bağlantılarda herhangi bir değişiklik yapılmamış, eşanjör yerine susturucu kullanılmıştır.
 - Dışarıdan sisteme bağlanan bir soğutucunun kazan kısmında soğutulan soğutma sıvısı, ek ısıtıcı çalıştırılmadan önce sistemde devridaim yaptırılarak sistemdeki sıvının deney yapılacak denge sıcaklığına ulaşması sağlanmıştır.
 - Sistem dengeye ulaştığında ek ısıtıcı çalıştırılmış, soğutma sıvısının kapalı bir devre içerisinde dolaşımı sağlanmıştır. Sistem çalışmaya başladığı andan itibaren hedef sıcaklığa ulaştıktan sonra, sistem kendiliğinden duruncaya kadar veriler bir data logger tarafından kaydedilmiştir.
 - Ek ısıtıcı tam yükte istenilen sıcaklık değerine ulaşıncaya kadar olan maksimum kapasite çalışma aralığında test edilmiştir. Çalışma sırasında hedeflenen sıcaklığa yaklaşılmaya başlandığında, yanma devam ederken ısıtıcı tam yük çalışma durumundan yavaşça uzaklaşmaya başlamış, egzoz gazı sıcaklığı düşmeye başlamış ve hedef sıcaklığa ulaşıldığında kendini kapatmıştır.
 - Deneyler başlangıçta belirlenmiş olan 0°C, 10°C ve 20°C'deki düşük sıcaklıklardan 90°C hedef sıcaklığa ulaşıncaya kadar gerçekleştirilmiştir. Isıtma süreci boyunca tüm veriler kaydedilmiş ve hedef sıcaklığa ulaşıldığında ek ısıtıcı kendiliğinden durmuştur.
 - Deney sırasında veri kaydı, ek ısıtıcı cihazın start sinyali ile başlatılmış, son yakıt ikmali ile sonlandırılmıştır.
 - Eşanjörlü ve susturuculu sistemler için çalışma esnasında maksimum kapasiteye ulaşıldığında gürültü ve egzoz çıkışında gaz hızı ölçümleri yapılmıştır.
 - Her deney için toplam elektrik sarfiyatı enerji analizörü ile kaydedilmiştir.
 - Veriler, iki saniyelik periyodlar halinde kaydedilerek tablolar oluşturulmuş, gerekli dönüşümler yapılarak elde edilen sonuçlar grafik halde sunulmuştur.
- Yukarıda eşanjörlü sistem için açıklanmış olan bütün işlemler, sistemin orijinal hali olan susturuculu sistem için aynı sıcaklıklarda tekrarlanmıştır.



Şekil 3a. Deney düzeneği



Şekil 3b. Deney düzeneği şematik gösterimi

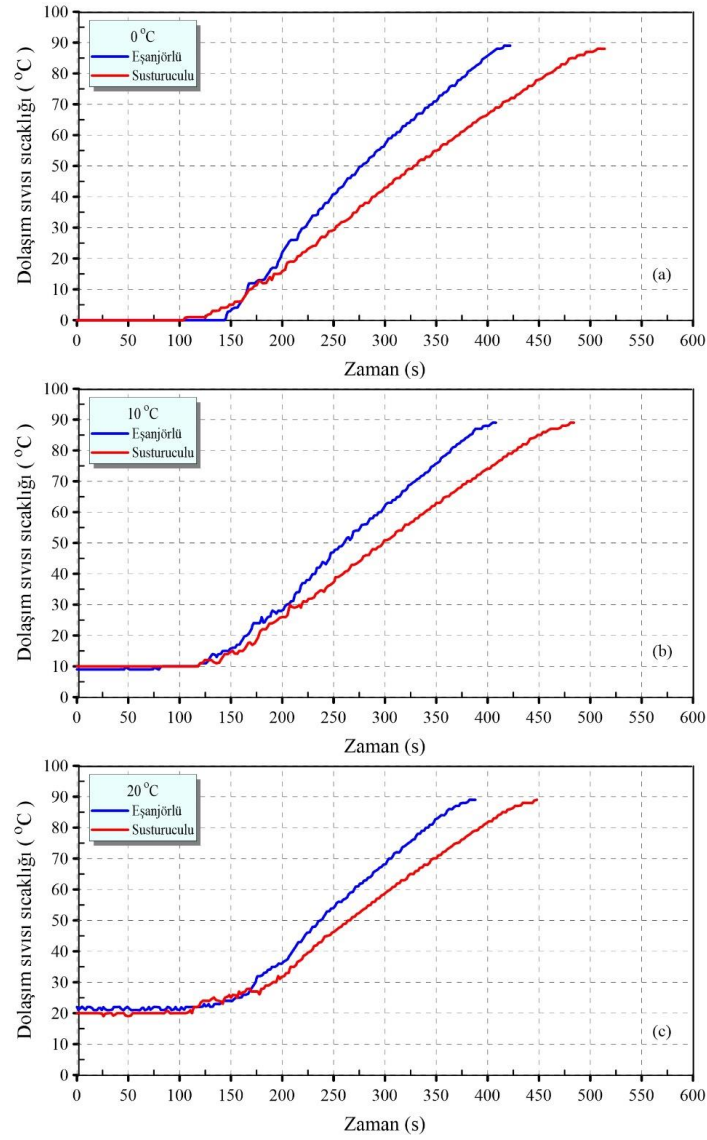
4. Bulgular ve Tartışma

Susturuculu ve eşanjörlü sistemde dolaşım sıvısı sıcaklığının zamana bağlı değişimi Şekil 4'de gösterilmiştir. 0°C deki değişim grafiği incelendiğinde 100. saniyeye kadar her iki durum için sıcaklıkta gözle görülür bir değişimin meydana gelmediği, susturuculu sistemde sıcaklık artışının 124., eşanjörlü sistemde ise 146. saniyeden itibaren önemli bir değişimin başladığı görülmektedir. Susturuculu sistemde artış daha düşük eğimle meydana gelirken, eşanjörlü sistem daha büyük eğimle hızlı bir artış göstermektedir. Bu hızlı artış sonucunda eşanjörlü sistem hedef sıcaklığa 424. saniyede ulaşırken, susturuculu sistem 516. saniyede ulaşabilmiştir. Bütün sıcaklıklar için hedef sıcaklığa ulaşılırken her iki durum eğrisi altında kalan alan farkı eşanjör tarafından suya olan ısı miktarının bir göstergesidir. Dolaşım sıvısı sıcaklığının başlangıçta 10°C'de olduğu durumda her iki sistem için 124. saniyeye kadar sıcaklıkların yaklaşık aynı kaldığı, bu noktadan sonra iki sistemin sıcaklığının artmaya başladığı görülmektedir. Eşanjörlü sistem daha hızlı bir artışla 410. saniyede, susturuculu sistem ise 486. saniyede hedef sıcaklık değerine ulaşmıştır. 20°C dolaşım sıvısı sıcaklıklarında kayda değer artışın 10°C sıcaklığa benzer şekilde 124. saniyeden itibaren başladığı 174. saniyeye kadar her iki sistem sıcaklığının hemen hemen aynı olduğu, bu noktadan sonra eşanjörlü sistem sıcaklığının daha hızlı bir artışla 390. saniyede, susturuculu sistemin ise 450. saniyede hedef sıcaklığa ulaştığı görülmüştür.

Susturuculu ve eşanjörlü sistem, bütün giriş sıcaklıkları için kendi arasında ayrı ayrı incelenirse belli bir sıcaklığa ulaştıktan sonra aynı eğimle artış gösterdikleri görülmektedir. Bilindiği gibi bütün maddelerin özgül ısıları sıcaklıkla değişkenlik gösterir. Ancak genellikle pratik uygulamalarda sabit bir ortalama bir özgül ısı ile hesaplamalar yapılmaktadır. Tablolarda genellikle sıvılar için genellikle sabit basınçta belli bir sabit sıcaklık için tek bir değer alınmaktadır. Etilen glikol esaslı bir sıvı olan antifriz için bu değer 20°C de özgül ısı 2,84 kJ/kgK olarak verilmektedir. Çok düşük sıcaklıklar için hassas hesaplamalar yapılacağı zaman özgül ısı değerindeki değişim göz önüne alınabilir. Faz değişimi olmayan düşük ya da yüksek sıcaklık değerlerindeki soğutucu akışkanla yapılacak deneylerde özgül ısının sabit kaldığı kabul edilirse sıvı için eğim yaklaşık aynı kalacağından benzer sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Soğutucu akışkanın farklı sıcaklık değerleri için sonuçlar incelendiğinde eşanjörlü sistemin, susturuculu sisteme göre daha kısa zamanda hedef sıcaklığa ulaştığı görülmektedir.

Şekil 5a'da soğutma sıvısı sıcaklığı ve hedef sıcaklık arasındaki farka bağlı olarak yakıt tüketimi gösterilmiştir. Dolaşım sıvısının başlangıçtaki sıcaklığı ne kadar düşük ise, hedef sıcaklığa varabilmek için yakıt tüketimi de o kadar fazla olacaktır. Grafiklerde sıcaklık farkının artmasına bağlı olarak yakıt tüketiminin de arttığı gözlemlenmektedir. Susturucu ve eşanjörlü sistemin eğrilerinin birbirine paralel değişimler gösterdiği, susturuculu sistemin yakıt tüketim değerlerinin eşanjörlü sistemin yakıt tüketiminden daha fazla olduğu görülmektedir. Susturuculu sistemin yakıt tüketim değerlerinin bütün sıcaklık değerleri için eşanjörlü sistemden 7 g daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Eşanjör kullanıldığında soğutucu akışkan giriş sıcaklığına göre, her sıcaklık değeri için ayrı ayrı yakıt tüketim

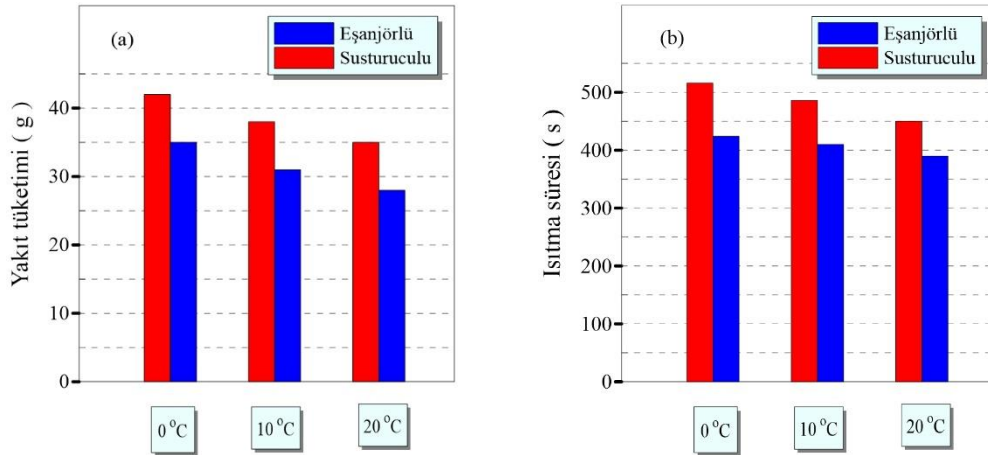
değerleri göz önüne alınarak hesaplandığında yakıt tüketiminde yaklaşık %16,6-20 tasarruf sağlanmıştır.

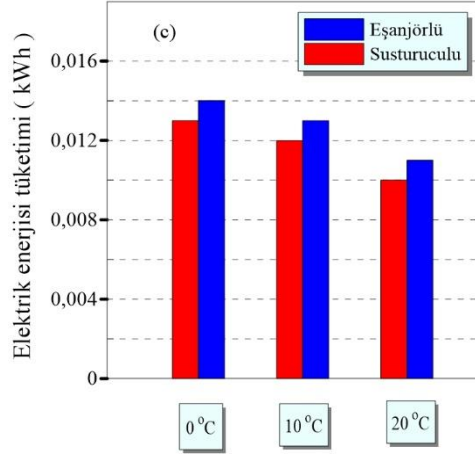


Şekil 4. Dolaşım sıvısı sıcaklığının zamana bağlı değişimi (a) 0°C, (b) 10°C, (c) 20°C

Ek ısıtıcıda farklı sıcaklıklardaki soğutma suyunun hedeflenen 90°C'ye ulaşması için geçen süreler Şekil 5b'de gösterilmiştir. Soğutma sıvısı sıcaklığının, motorun daha verimli çalışabilmesi, motor parçalarının daha az aşınması ve motor yakıt tüketiminin azalması için hızlı bir şekilde artırılması gerekir. Binek tipi araçlarda kullanılan içten yanmalı motorların soğutma sıvısı yaklaşık olarak 4 litredir. Bu nedenle binek tipi bir araç için çalışmanın yapıldığı kabul edilerek sistemde dolaştırılan soğutucu akışkan hacmi 4 litre olarak alınmıştır. Grafikler incelendiğinde düşük sıcaklıktaki sıvının ısıtma süresi doğal olarak daha fazla zaman almaktadır. Bununla beraber susturuculu sistem ile yapılan ısıtma işlemlerinde bütün sıcaklıklar için 53°C hedef sıcaklığa ulaşmanın daha fazla zaman aldığı görülmektedir.

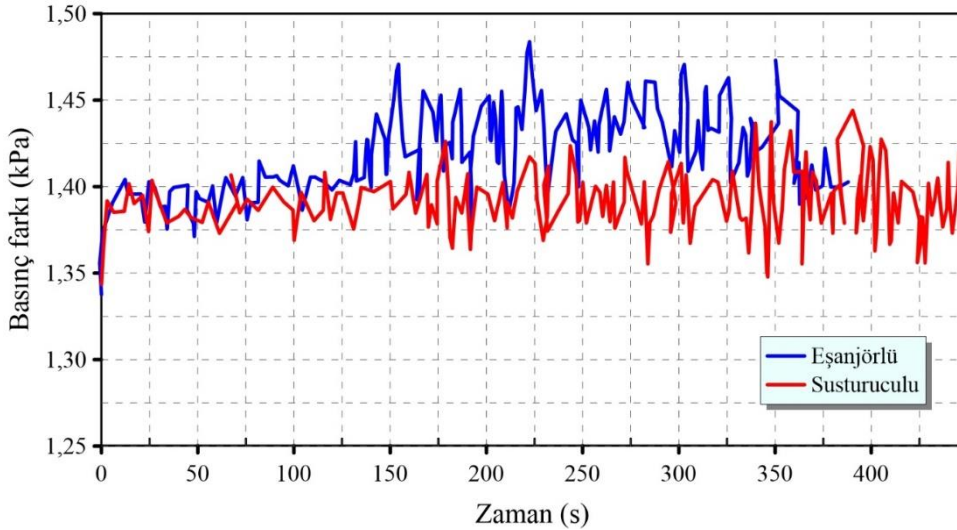
Bütün çalışma sıcaklıklarında susturuculu ve eşanjörlü sisteme ait elektrik enerjisi tüketim değerleri Şekil 5c'de verilmiştir. Her iki sistem için elde edilen veriler incelendiğinde bütün sıcaklık değerleri için, çalışma zamanı daha kısa olmasına rağmen, eşanjörlü sistemin susturuculu sisteme göre daha fazla elektrik tüketiminin olduğu görülmektedir. Eşanjörün sisteme ilavesiyle cihaz fanının ürettiği hava akımına karşı gösterilen dirençle ortaya çıkan egzoz gazındaki basınç farkının fan elektrik tüketimini ve eşanjörden geçirilen soğutma sıvısının basınç kaybının dolaşım pompasının elektrik tüketimini arttırdığı düşünülmektedir. Diğer elektrikli aksamın çalışması üzerinde eşanjörün herhangi bir etkisinin bulunmaması bu düşüncüyü doğrulamaktadır. Grafikler incelendiğinde enerji tüketimlerinin birbirine paralel bir yol izlediği ve artan sıcaklık farkıyla birlikte çalışma zamanının artması nedeniyle tüketimlerinin de arttığı tespit edilmiştir. Bütün sıcaklık değerlerinde, eşanjörlü sistemin, toplam elektrik enerjisi tüketiminin, susturuculu sisteme göre 3,6 kJ daha fazla olduğunu görülmektedir. Bu fazla elektrik enerjisi tüketimine rağmen, daha az yakıt tüketimi göz önüne alındığında, eşanjörlü sistemin daha verimli çalıştığı görülmektedir. Bütün sıcaklıklarda çalışma zamanı boyunca, ortalama 42500 kJ/kg alt ısı değerine sahip olan hafif dizel yakıttan 7 g tasarruf sağlanmıştır. Sıcaklık değerleri içerisinde en uzun çalışma 0°C'deki soğutucu akışkan sıcaklığı için 424 saniye olarak ölçülmüştür. Bu sıcaklıkta tasarruf edilen yakıttan kazanılan 297,5 kJ iken, fazladan harcanan elektrik enerjisinin değeri yaklaşık 3,6 kJ olmaktadır. Fazladan harcanan elektrik enerjisi tüketiminin, kazanılan enerji yanında oldukça küçük olduğu görülmektedir.





Şekil 5. Eşanjörlü ve susturuculu sistemlerde farklı sıcaklıklar için; (a) yakıt tüketiminin, b) ısınma süresinin, (c) elektrik enerjisi tüketiminin karşılaştırılması

Şekil 6’da susturuculu ve eşanjörlü sistem için basınç farkının zamana bağlı değişimi incelendiğinde, eşanjörlü sistemin, ek ısıtıcının orijinal parçası olan susturucuya göre daha fazla basınç düşümüne neden olduğu, ancak ek ısıtıcı sistemin çalışması açısından herhangi bir sakınca oluşturmadığı gözlemlenmiştir. Basınç farkı değişimleri karşılaştırıldığında meydana gelen basınç düşümü farkının maksimum 0,05 kPa değerinde olduğu, çalışma esnasında hava akışı ve yanma üzerinde olumsuz bir durum görülmemiştir. Grafik incelendiğinde susturuculu sistemde de zaman zaman aynı mertebelerde basınç değişimlerinin olduğu, bu nedenle meydana gelen basınç farkının ek ısıtıcının çalışması üzerinde bir etki yaratmayacağı düşünülmektedir.



Şekil 6. Susturucu ve eşanjörlü sistem için giriş-çıkış basınç farkı

5. Sonuç

Bu çalışmada soğuk hava koşullarında taşıt motorlarında motor soğutma suyuna ön ısıtma yaparak motorların daha verimli çalışmasını ve parçalarda aşınmayı azaltan, aynı zamanda kabin iç havasını ısıtan, ek ısıtıcıların egzozundan atmosfere atılan ısı enerjisini kullanarak ısıtma süresinin azaltılması

ve dolayısıyla ek ısıtıcı yakıt tüketiminin azaltılması hedeflenmiştir. Ek ısıtıcının standart donanımında bulunan susturucu sökülerek yerine soğutma sıvısının içinden geçirildiği eşanjör bağlanmıştır. Eşanjörlü ve susturuculu sistem için yakıt tüketimi, soğutucu akışkanı hedeflenen sıcaklığa ulaştırmak için geçen ısınma süresi, elektrik tüketimleri ve gürültü seviyeleri ölçülerek karşılaştırılmıştır. Bütün sıcaklık değerlerinde sonuç olarak;

- i) Eşanjörlü sistemin susturuculu sistemden 7 g daha az yakıt tükettiği tespit edilmiştir. Eşanjör kullanılarak bütün sıcaklıklarda yakıt tüketiminde yaklaşık %16,6-20 tasarruf sağlanmıştır.
- ii) Eşanjörlü sistem susturuculu sistemden daha kısa zamanda hedef sıcaklığa ulaşmış, zamandan yaklaşık %14-18 tasarruf sağlanmıştır.
- iii) Eşanjörlü sistemin 3,6 kJ daha fazla elektrik enerjisi tükettiği, ancak tasarruf edilen yakıtla karşılaştırılmayacak düzeyde düşük bir kayıp olduğu belirlenmiştir.
- iv) Deney süresince eşanjör giriş ve çıkışı arasında cihaz fanının ürettiği hava akımına karşı gösterilen direncin meydana getirdiği bir basınç düşümü olduğu, ancak bu farkın (çalışma boyunca maksimum 0,05 kPa) çalışmayı etkileyecek önemli bir basınç farkı olmadığı tespit edilmiştir.
- v) Ek ısıtıcının maksimum kapasiteyle çalıştığı anlarda, susturuculu ile yapılan deneylerde gürültü seviyesi, bütün sıcaklık değerleri için yaklaşık 90 dB civarında iken, eşanjörlü sistemde bu değer 87 dB civarında kaydedilmiştir. Sonuç olarak, eşanjörün susturucudan %3,5 daha iyi ses yalıtımı sağladığı görülmüştür.
- vi) Ek ısıtıcıdan egzoz gazlarından ısı enerjisinin geri kazanılması hem ısınma süresini kısaltmış hem de daha az yakıt tüketilmesini sağlamıştır. Bu durumda çevreyi kirleten daha az egzoz gazı ve gürültü üretilmiş olacaktır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Her bir yazar makaleye %50 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

Abu-Khader MM. Plate heat exchangers: recent advances. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012; 16(4): 1883–1891.

Arsenyeva O., Klemes JJ., Kapustenko P., Fedorenko O., Kusakov S., Kobylnik D. Plate heat exchanger design for the utilisation of waste heat from exhaust gases of drying process. Energy 2021; 233: 121186-121195.

<https://www.eberspacher.com> (Erişim Tarihi: 25.01.2021).

- Hatami M., Ganji D., Gorji-Bandpy M. A review of different heat exchangers designs for increasing the diesel exhaust waste heat recovery. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2014; 37: 168-181.
- Incropera FP. Isı ve kütle geçişinin temelleri. 7. Baskı. Palme Yayıncılık 2015.
- Jouhara H., Khordehghah N., Almahmoud S., Delpech B., Chauhan A., Tassou SA. Waste heat recovery technologies and applications. *Thermal Science and Engineering Progress* 2018; 6: 268-289.
- Kauranen P., Elonen T., Wikström L., Heikkinen J., Laurikko J. Temperature optimisation of a diesel engine using exhaust gas heat recovery and thermal energy storage. *Applied Thermal Engineering* 2010; 30: 631-638.
- Nia MF., Nassab SAG., Ansai AB. Numerical simulation of air heating by the recovered waste heat from the radiating exhaust gas flows in a plate heat exchanger. *International Journal of Thermal Sciences* 2021; 161: 106728-106740.
- Özülkü M. Aşırı doldurulmalı dizel bir motorda ara soğutmanın motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Yüksek Lisans Tezi 2002.
- Pulkrabek WW. Engineering fundamentals of the internal combustion engine: International Edition, 2nd Edition. University of Wisconsin– Platteville 2004
- Shepard L. Engine independent heaters in heavy duty applications. The European Experience, Truck and Bus Meeting and Exposition; Charlotte, North Carolina, USA, November 1989; 6-9.
- Song G., Joohyun LJ., Lee D. A method to reduce the flow depth of a plate heat exchanger without a loss of heat transfer performance. *Int. J. Heat Mass Tran.* 2012; 55: 2992–2998.
- Soruşbay C. İçten yanmalı motorlarda egzoz gazları emisyonu. İTÜ Makine Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı Ders Notları, İstanbul 1999.
- Topgül T., Çınar C. İçten yanmalı motorlarda soğutma suyu sıcaklığının motor performansına etkileri üzerine deneysel bir araştırma. *Selçuk-Teknik Online Dergisi* 2001; 2(1): 1-9.
- Yoshimoto Y., Thsukahara M., Kuramoto T. Improvement of BSFC by reducing diesel engine cooling losses with emulsified fuel. *SAE Technical Paper Series* 1996; 962022: 163-171.

İstanbul Havalimanı'nda Yağmur Suyu Hasadı

Melike YALILI KILIÇ^{1*}, Kawthar RUKIAH²

^{1,2}Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa

¹<https://orcid.org/0000-0001-7050-6742>

²<https://orcid.org/0000-0002-9976-7265>

*Sorumlu yazar: myalili@uludag.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 17.09.2021

Kabul tarihi: 05.01.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Çatı

İstanbul Havalimanı

Su tasarrufu

Yağmur suyu

Bu çalışmada, İstanbul Havalimanı'nın çatısından toplanacak yağmur sularının havalimanı çevresinde su ihtiyacının karşılanmasındaki kullanım potansiyeli incelenmiştir. Çatıdan toplanan yağmur sularıyla yeşil alan sulamasının haftanın belli günlerinde yapılması durumunda, toplam yeşil alan sulama suyu ihtiyacının ne kadarını karşılayacağı tespit edilmiştir. Toplanan yağmur sularının, yeşil alanların sulanması, yolcu başına su ihtiyacı ve havalimanındaki otel için gereken su ihtiyacını bir yılda 73 gün boyunca karşılayabileceği belirlenmiştir. Sonuç olarak, yağmur suyu toplama sisteminin maliyetinin 760,680 TL (88,554 \$) olduğu ve sistemin kendini 5,5 yılda amorti edeceği bulunmuştur.

Rainwater Harvested in Istanbul Airport

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 17.09.2021

Accepted: 05.01.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Roof

Istanbul Airport

Water saving

Rainwater

In this study, the usage potential of the rainwater to be collected from the roof of Istanbul Airport in meeting the water needs around the airport was examined. It has been determined how much of the total green area irrigation water need will be met if the green area irrigation is done on certain days of the week with the rain water collected from the roof. It has been determined that the collected rainwater can meet the water need for irrigation of green areas, the water requirement per passenger, and the hotel at the airport for 73 days a year. Consequently, it has been found that the cost of the rainwater collection system is 760.680 TL (\$ 88.554) and the system will pay for itself in 5.5 years.

To Cite: Kılıç MY., Rukiah K. İstanbul Havalimanı'nda Yağmur Suyu Hasadı. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 495-504.

1. Giriş

Su, insanların temel ihtiyaçlarının karşılanmasının yanı sıra, tarım, endüstri, turizm ve ulaşım alanlarında da oldukça önem arz eden doğal bir kaynaktır (Temizkan ve Tuna Kayılı, 2020). Dünyadaki toplam su miktarının yalnızca %2,5'i tatlı su olarak bulunmakta, geri kalan miktar tuzlu su olarak deniz ve okyanuslarda yer almaktadır. Tatlı suların %90'ının yeraltında ya da kutuplarda olması, insanların ulaşabileceği su miktarının ne kadar az olduğunu gözler önüne sermektedir (Yalılı Kılıç ve Abuş, 2018a).

Nüfusun giderek artması, kişi başına düşen su miktarının azalmasına neden olmaktadır. Türkiye'de kullanılabilir su miktarı 1500-1600 m³/yıl-kişi arasında değişirken, ülkemiz sanıldığı gibi su zengini

değil, su sıkıntısı çeken ülkeler arasındadır (Şahin ve Manioğlu, 2011). Son yıllarda dünyada bazı bölgelerde şiddetli kuraklıklara, diğer bölgelerde şiddetli yağışlar ve sellere neden olan iklim değişikliği ile birlikte, insanların su kaynaklarını bilinçsizce kullanması ve artan su talepleri endişe yaratmaktadır. Tüm bunlar alternatif su kaynaklarının bulunması ve suyun etkin kullanımına yönelik çözüm önerilerinin bir an evvel uygulamaya geçirilmesini zorunlu hale getirmektedir (Global Hunger Index, 2012).

Günümüzde yaşanan su sıkıntısını azaltmak için binaların çatılarından toplanacak olan yağmur suyu ile ihtiyaç duyulan kullanım suyunun miktarını bir nebze olsa da arttırmak mümkün olabilir. Yağmur sularının toplanıp, depolanması ile sulama, temizlik, yangın söndürme, havuz doldurma, araba yıkama, soğutma kuleleri, endüstriyel proses suyu ve hayvanlar için içme suyu gibi farklı alanlarda kullanılması söz konusudur. Böylelikle, hem ülke ekonomisine katkı sağlanmış olunur, hem de yağmur sularının boş yere akıp gitmesinin önüne geçilir.

Literatüre yağmur suyu hasadı olarak giren terim, yağmur sularının toplanması ve basit arıtma işlemlerinden geçirildikten sonra farklı amaçlarla kullanılmak üzere ihtiyaç duyulan suyun temin edilmesini ifade etmektedir (Kantaroglu, 2009). Yağmur suyu hasadı, aşırı yağışlarda sel riskini ve alıcı ortamlara taşınacak kirlilik yükünün azaltılması ile su kaynaklarının korunmasına katkı sağlamaktadır. Çatılardan yağmur suyu hasadı, ekonomik ve işletilebilirliğinin kolay olması nedeniyle avantajlı olmasına rağmen, yağışların belirsizliği, miktarının sınırlı olması ve kalitesinin bozulması gibi dezavantajlara da sahiptir. Ancak, su kaynaklarının daha etkin kullanımına olan katkısından dolayı yağmur suyu hasadı, sürdürülebilir çevreyi sağlamak için oldukça önemlidir (Yalılı Kılıç ve Abuş, 2018b).

Suların bilinçli kullanılması ve su tasarrufunun etkin olarak sağlanması için binalarda, alışveriş merkezlerinde, hastanelerde, okullarda ve havalimanlarında yağmur suyunun kullanılmasının yaygınlaştırılması önem taşımaktadır. Türkiye’de yeterince yaygın olmayan yağmur suyu hasadı yöntemi, aniden düşen ve uzun süren yoğun yağışların olumsuz etkilerini, içme suyu kaynaklarının kullanımını ve arıtma tesislerindeki kirli su yükünü azaltmak için ideal bir yöntemdir (Silkin, 2014).

Yağmur suyunun toplandıktan sonra çeşitli amaçlarla kullanıldığı bazı örnekler olmasına rağmen bunlar sınırlı sayıdadır. Örneğin, Siemens Gebze Organize Sanayi Bölgesi’nde çatıdan toplanan yağmur suları yangın söndürme ve kullanma suyu olarak değerlendirilmekte, bina çevresinde ise çim alanların sulanmasında kullanılmaktadır (Yaman, 2009). Sabiha Gökçen Havalimanı’ndaki Uçak Motor Bakım Merkezi’nde yağmur suyu toplama ve arıtma sistemi mevcuttur. Binadaki duş ve lavabolardan kaynaklanan atık sular toplanmakta ve arıtılarak geri kazanılan gri sular yağmur suyu ile birlikte bahçe sulama sistemine, su soğutma kulesi besleme sistemine ve tuvalet rezervuarlarına gönderilmektedir (Görgün, 2010). Unilever Ümraniye ofis bina çatısından yağmur suyu toplanarak, tuvaletlerde ve bahçe sulamada kullanılmaktadır. Unilever binasında Uluslararası EPA (Çevre Koruma Ajansı) standartlarına göre yaklaşık %41 oranında su tasarrufu yapılmaktadır (Unilever, 2021). Ankara’daki Eser Holding’e ait olan Eser Yeşil Bina’da kurulan yağmur suyu toplama sistemi ile bina

çevresine ve çatıya düşen yağmur suları depolama tankında toplanarak damla sulama metoduyla bahçedeki bitkilerin su ihtiyacı karşılanmaktadır (Eser Yeşil Bina, 2021). Bursagaz'ın çatısından yağmur sularının ve çevresinden drenaj sularının toplanıp, depolanması ve filtrelerden geçirilmesiyle, yeşil alanlar sulanmakta ve tuvaletlerde kullanılmaktadır (Bursagaz, 2021). Bu örneklerin sayısının artırılması ile su kaynaklarının korunumuna olan katkı ekonomik ve çevresel anlamda oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, İstanbul Havalimanı'nın çatısından toplanacak yağmur sularının havalimanının yeşil alanlarının sulanması, terminalin ve otelin su ihtiyacının karşılanmasındaki kullanım potansiyeli araştırılmış ve sistemin maliyeti ile amortisman süresi hesaplanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. İstanbul Havalimanı Genel Tanıtımı

Uluslararası hizmet veren İstanbul Havalimanı, 29 Ekim 2018'de açılmış olup, 76,5 km²'lik alanıyla dünyanın 7. büyük havalimanıdır. 2025 yılına kadar her yıl hedeflenen yolcu sayısı 95,1 milyon olup, tam kapasite ile çalıştığı zaman yıllık yolcu sayısının 160-220 milyon arasında olacağı ön görülmektedir. Havalimanında 40,000 araç kapasiteli park yeri bulunmakta ve havalimanı içerisinde 451 odalı bir otel hizmet vermektedir (İGA, 2018).

2.2. İstanbul Havalimanı'nın Çatı Alanı ve Özellikleri

Genellikle, bir çatı yağmur suyu hasadı sistemi uygulandığında en önemli unsur çatının tipi ve alanıdır. Yağmur suyu hasadı sisteminin özellikle çatı alanı yeterince büyük olan binalarda, havalimanlarında, askeri bölgelerde, stadyumlarda, alışveriş merkezleri gibi yerlerde uygulanması tercih edilmektedir. Ayrıca, yağmur suyu hasadının kalitesini bina çatısının yüzey türü, miktarını ise bina çatısının büyüklüğü etkilemektedir (Ling ve Benham, 2014).

İstanbul Havalimanı, ana terminal binası 1,3 milyon m² büyüklüğünde olup, yağmur hasadının planlandığı binanın çatı alanı 450,000 m²'dir (Şekil 1) (İGA, 2020). Terminal binasının çatısı, çelik kiriş ve makaslardan oluşmakta, yapıda içeriye doğal ışık alabilmek için 100'ü aşkın ışıklık bulunmaktadır. Çatıda kullanılan çelik malzemenin üzeri, trapez, taş yünü, alçıpan ve galvaniz cam gibi malzemelerle kaplanmaktadır (İHS, 2021).



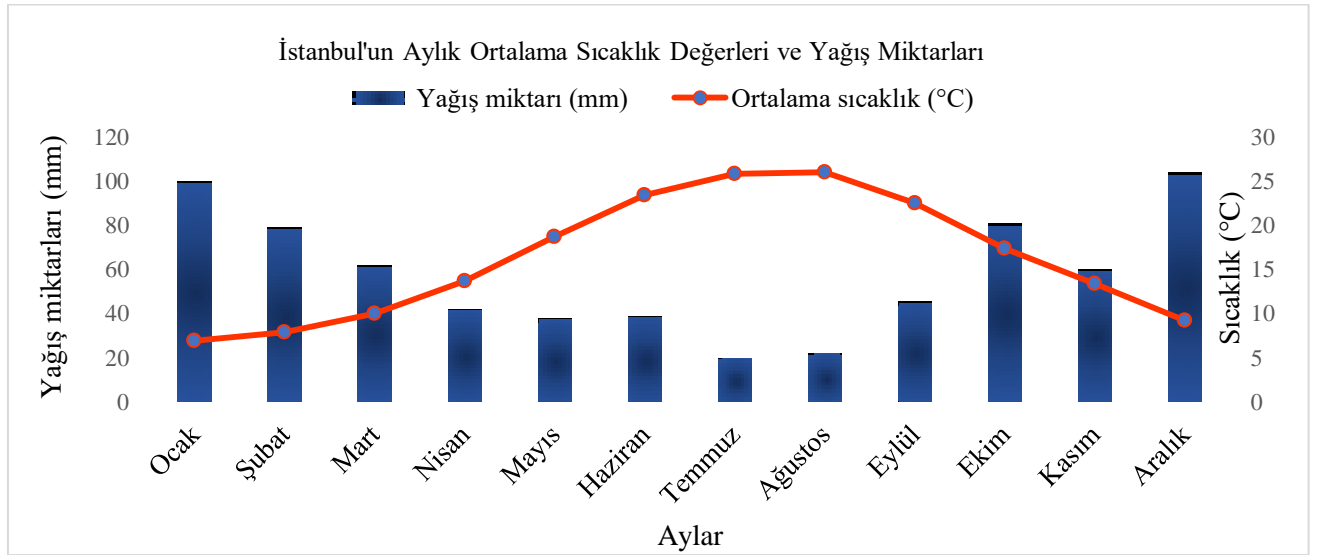
Şekil 1. İstanbul Havalimanı'nın çatısından bir görünüm

2.3. İstanbul Havalimanı'nda Yağmur Suyu Hasadı Gereksinimi

Her gün milyonlarca insanın ulaşım için kullandığı İstanbul Havalimanı'nda, yağmur suyu toplama sisteminin uygulanması yıllık olarak büyük oranlarda su tasarrufu sağlayacaktır. Çatı alanı yaklaşık 450,000 m² olan İstanbul Havalimanı'nın çatısından yağmur sularının toplanıp depolanması ve havalimanının içinde ve dışında kullanılması, hem su kaynaklarının korunması hem de ülke ekonomisi açısından önem teşkil etmektedir. Yağmur suları havalimanının çatısından borularla toplanarak filtrelendikten sonra büyük depoya alınıp, yeşil alanların sulanması, araçların yıkanması, tuvaletlerin ve diğer yerlerin temizlenmesinde kullanılabilir.

2.4. İstanbul İli Yağış Rejimi

İstanbul'da en fazla yağış Aralık ayında, en düşük yağış ise Temmuz ayında görülmekte olup, yıllık ortalama yağış miktarı 690,5 mm'dir (İMGGM, 2021). İstanbul'un en soğuk ayı ortalama sıcaklığı 6,9 °C ile Ocak ayı iken, en sıcak ayı ortalama sıcaklığı ise 25,8 °C ile Temmuz ayıdır. İstanbul'un yıllık ortalama sıcaklığı ise 16,2 °C'dir (Şekil 2).



Şekil 2. İstanbul'un 1929-2020 yılları arasında aylık ortalama sıcaklık değerleri ve yağış miktarları (İMGGM, 2021)

3. Bulgular

3.1. Yağmur Suyu Miktarının Hesaplanması

Çatıdan toplanacak yağmur suyu miktarının hesaplanması için, çatı ve filtre etkinlik katsayıları, bölgeye düşen yağış miktarı ve toplama alanının büyüklüğü gibi bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışma kapsamında kullanılacak kabuller Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çatıda toplanan yağmur suyu miktarın hesaplamasında kullanılan kabuller

	Kabuller	Kaynak
Çatı katsayısı	0,8	(Farreny ve ark., 2011).
Filtre etkinlik katsayısı	0,9	(Farreny ve ark., 2011).
Yağış miktarı	690,5 mm	(İMGM, 2021)
Toplama alanı	450,000 m ²	(İGA, 2020)

Buna göre çatıda toplanan yağmur suyu miktarı;

Çatı Yağmur Suyu Miktarı (m³) = Yağmur toplama alanı x yağış miktarı x çatı katsayısı x filtre etkinlik katsayısı

Çatı Yağmur Suyu Miktarı (m³) = 450,000 m² * 690,5 L/m² * 0,8 * 0,9 = 223,722,000 L = 223,722 m³/yıl

3.2. Yıllık Toplam Su İhtiyacı

Genellikle havalimanında yeşil alanların sulanmasında, temizlik işlemlerinde ve tuvalet rezervuarında büyük miktarlarda suya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, İstanbul Havalimanı'ndaki yeşil alanların sulanması için yıllık su kullanımı hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra, havalimanında yıllık yolcu başına su kullanımı ve bulunan otel için su ihtiyacı hesaplanmıştır.

3.2.1. İstanbul Havalimanı'ndaki Yeşil Alanların Sulanması İçin Gereken Su Miktarı Hesabı

İstanbul Havalimanı'nda yaklaşık 500,000 m² yeşil alan bulunmaktadır (İGA, 2020). Yeşil alanların sulanmasında 1 m² alana ihtiyaç duyulan miktar 5 L olarak kabul edilmiştir (Eren ve ark., 2016).

$500,000 \text{ m}^2 * 5 \text{ L/m}^2 = 2,500,000 \text{ L} = 2,500 \text{ m}^3/\text{gün}$

Sulamanın her gün yapılması durumunda; $2,500 \text{ m}^3/\text{gün} * 365 \text{ gün} = 912,500 \text{ m}^3/\text{yıl}$

Sulamanın haftada iki defa yapılması durumunda; $2,500 \text{ m}^3/\text{gün} * 365 / (7/2) \text{ gün} = 260,714.2 \text{ m}^3/\text{yıl}$

Sulamanın haftada bir defa yapılması durumunda; $2,500 \text{ m}^3 \text{ gün}^{-1} * 365/7 \text{ gün} = 130,357.1 \text{ m}^3/\text{yıl}$

Yeşil alanlar için gerekli olan su miktarı; sulamanın her gün, haftada iki defa ve haftada bir defa yapılmasında, çatı alanlarından toplanan su miktarı toplam yeşil alan sulama suyu ihtiyacının; sırasıyla %24,5'ini, %85,8'ini ve %171,6'sını karşılayacağı belirlenmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. İstanbul Havalimanı'ndaki yeşil alanların sulama suyu ihtiyacı

Çatı yağmur suyu miktarı (yıllık, m ³)	Yeşil alan su ihtiyacı (m ³)	Sulamanın her gün yapılması durumunda		Sulamanın haftada iki defa yapılması durumunda		Sulamanın haftada bir defa yapılması durumunda	
		Su ihtiyacı (m ³)	Karşılanan su ihtiyacı yüzdesi (%)	Su ihtiyacı (m ³)	Karşılanan su ihtiyacı yüzdesi (%)	Su ihtiyacı (m ³)	Karşılanan su ihtiyacı yüzdesi (%)
223,722	2,500	912,500	24,5	260,714.2	85,8	130,357.1	171,6

3.2.2. Yolcu Başına Su İhtiyacı Hesabı

Dünya genelinde 2020 yılında başlayan Covid-19 salgını yüzünden getirilen seyahat yasakları nedeniyle havalimanlarındaki yolcu sayılarında çok yüksek oranda bir düşüş yaşanmıştır. Bu nedenle çalışmada, 2019 yılının yolcu sayısına göre su ihtiyacı hesaplanmıştır.

İstanbul Havalimanı'nı 2019 yılı boyunca toplamda 52 milyon 578 bin yolcu kullanmıştır (Devlet Hava Meydanları İşletmesi, 2019). Yolcu başına su ihtiyacı hesaplamasında, havalimanı gibi evsel olmayan birimlerde su ihtiyacı kişi başına 10-20 L/gün olarak kabul edilmiştir (İller Bankası, 2013). Buna göre yolcu başına yıllık su ihtiyacı;

$$52,578,000 \text{ yolcu} * 15 \text{ L/gün} = 788,670,000 \text{ L/yıl} = 788,670 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

3.2.3. İstanbul Havalimanı'nda Bulunan Otelin Su İhtiyacı Hesabı

İstanbul Havalimanı'nda bulunan otel, 451 odası ile dünyadaki sayılı havalimanı otellerinden biri arasındadır. Bir otel için su ihtiyacı hesaplamasında birim debi yatak başına 250-600 L/gün olarak kabul edilmektedir (İller Bankası, 2013).

451 oda kapasitesine sahip olan otelin 650 yatak olduğu varsayıлып, yatak başına 400 L/gün su tüketimi olduğu kabul edilmiştir.

$$400 \text{ L/gün} * 650 \text{ yatak} = 260,000 \text{ L} = 260 \text{ m}^3/\text{gün}$$

Yıllık olarak su ihtiyacı;

$$260 \text{ m}^3/\text{gün} * 365 \text{ gün} = 94,900 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

Yıllık Toplam Su İhtiyacı

Yeşil alanların sulanması için haftada iki defa sulama yapılması kabul edilerek;

Yıllık toplam su ihtiyacı = yeşil alanların sulanması için gereken su ihtiyacı + yolcu başına su ihtiyacı + otel için gereken su ihtiyacı

$$\text{Yıllık toplam su ihtiyacı (m}^3\text{)} = 260,714.2 + 788,670 + 94,900 = 1,144,284 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

$$\text{Çatıdan toplanan yağmur suyu miktarı/kullanılan su miktarı} = 223,722 / 1,144,284 = 0,20 \text{ yıl} \approx 73 \text{ gün}$$

Depoda toplanan suyun 73 gün süreyle havalimanında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

3.3. Depo Hacmi

Deponun hacmi hesaplanırken, en fazla yağışın olduğu Aralık ayındaki yağış miktarı (103,7 mm) baz alınmıştır.

Depo hacmi = yağış miktarı * çatı alanı * 0,8 * 0,9

Yağmur suyu toplama sisteminin hacmi = $103,7 \text{ L/m}^2 * 450,000 \text{ m}^2 * 0,8 * 0,9 = 33,598,800 \text{ L} = 33,598.8 \text{ m}^3$

Yağmur suyu toplama sisteminin boyutlandırılmasında;

4 adet silindirik tank yapılacak olursa:

$33,598.8 \text{ m}^3 / 4 = 8,400 \text{ m}^3$

H= 15 m kabul edilirse,

$A = V / H = 8,400 \text{ m}^3 / 15 \text{ m} = 560 \text{ m}^2$

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$560 = \frac{\pi D^2}{4} \quad D = 27 \text{ m}$$

Yapılan hesaplamalara göre, İstanbul Havalimanı'nın çatısından toplanan yağmur sularının depolanacağı depo boyutları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Depo boyutları

Gereken yağmur suyu depo hacmi (m ³)	Depo sayısı (adet)	Deponun çapı (m)	Deponun yüksekliği (m)
8.400	4	27	15

3.4. Yağmur Suyu Toplama Sisteminin Maliyeti

Yağmur suyu toplama sistemi için ihtiyaç duyulan ekipmanlar, yağmur suyu filtresi, dalgıç pompa ve yağmur suyu deposudur. Kullanılacak ekipmanların özellikleri ve toplam maliyetleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. İstanbul Havalimanı'nda yağmur suyu toplama sistemi ekipmanının maliyeti

Ekipman	Birimleri	Özellikleri	Sayısı	Maliyet (TL)
Depo	Hacim: 8,500 m ³	Çelik galvanizli oluklu su deposu	4 adet	188,980 TL * 4 = 755 920 TL
Filtre	Basınç: 16 bar	Paslanmaz çelik/kendini temizleme	4 adet	500 TL * 4 = 2,000 TL
Dalgıç pompa	Güç: 900 W	Paslanmaz temiz su dalgıç pompa	4 adet	690 TL * 4 = 2,760 TL
Toplam maliyet				760,680 TL (88,554 \$)

3.5. Yıllık Tasarruf Edilen Tutar

Yıllık toplam 1,144,284 m³ su tüketimi olan İstanbul Havalimanı'nın 223,722 m³'lük su kullanımını yağmur suyundan karşılanabilecektir.

Tasarruf edilen yıllık su miktarı 223,722 m³ ve İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi'nin su satış fiyatı atık su bedeli dahil 4,81 TL/m³'tür (Abone Rehberi 2021);

Yıllık tasarruf edilen tutar = 223,722 m³ * 4,81 TL/m³ = 1,076,103 TL

Toplam tüketimin %19,5'i yağmur suyundan sağlanabilmekte ve yıllık olarak 1,076,103 TL kazanç sağlanmaktadır.

3.6. Amortisman Süreleri

Toplam sistem maliyeti / yıllık tasarruf edilen maliyet = 6,004,760 TL / 1,076,103 TL = 5,5 yıl

4. Tartışma ve Sonuçlar

Literatür araştırmaları sonucunda havalimanlarında yağmur suyu hasadı ve maliyet hesabı üzerine çalışmanın bulunmadığı, ancak farklı alanlarda çeşitli uygulamaların olduğu görülmüştür. Bursa Uludağ Üniversitesi'nde 1,837 m² çatı yüzey alanı olan Çevre Mühendisliği Bölüm Binası'nda yapılacak olan yağmur suyu hasadında, çatıdan toplanacak olan yağmur suyunun 131 gün süreyle yeşil alanların sulanmasında kullanılacağı bulunmuştur (Yalılı Kılıç ve Abuş, 2018a). Bursa ilinde 200 m² çatı yüzey alanına sahip bahçeli bir konutta yapılan yağmur suyu hasadında, konuttaki toplam su tüketiminin %47'sinin çatıdan toplanacak yağmur suyundan elde edileceği ve sistemin kendini 10,3 yılda amorti edeceği belirlenmiştir (Yalılı Kılıç ve Abuş, 2018b). İstanbul'da altı kişinin yaşadığı müstakil bir binanın su ihtiyacının çatıdan toplanacak yağmur suyundan temin edilmesinde, sistemin kurulum maliyetinin kişi başına 6-10 yılda ödenecek su faturası tutarına denk geleceği ifade edilmiştir (Can ve Yılmaz, 2019). Karabük Üniversitesi'nde 1,500 m² çatı alanına sahip Sosyal Yaşam Merkezi'ne kurulması düşünülen yağmur suyu depolama sisteminin maliyetinin 93,082 TL olduğu ve sistemin kendisini 7,9 yılda amorti edeceği belirlenmiştir (Temizkan ve Tuna Kayılı, 2020).

Bu çalışmada, yaklaşık 450,000 m²'lik çatı alanına sahip olan İstanbul Havalimanı'ndan yağmur sularının toplanıp, yeşil alanlarının sulanması ve terminal binasında farklı amaçlarla kullanılma potansiyeli araştırılmıştır.

İstanbul Havalimanı'nın çatısından toplanacak yağmur suyu miktarı, yeşil alanların her gün, haftada iki ve haftada bir defa sulanması durumunda, ihtiyacın sırasıyla %24,5'ini, %85,8'ini ve %171,6'sını karşılayacağı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, yolcu başına ve havalimanındaki otelin yıllık gereken su ihtiyaçları ile bu ihtiyaçların karşılanması için toplanabilecek yağmur suyunun kullanılması potansiyeli de hesaplanmıştır. Toplanacak yağmur suyunun 73 gün boyunca havalimanında çeşitli aktivitelerde kullanılabilmesi tespit edilmiştir. İstanbul Havalimanı'nın çatısından toplanan yağmur sularının depolanacağı tank boyutlarının hesaplanması neticesinde, yer üstünde yerleştirilecek her biri

8,400 m³ büyüklüğünde 4 adet çelik galvaniz malzemeden yapılmış yağmur su deposuna ihtiyaç olduğu belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalara göre, İstanbul Havalimanı'na kurulması düşünülen yağmur sularını toplama sisteminin maliyeti 760,680 TL (88,554 \$)'dir. Havalimanındaki toplam su tüketiminin %19,5'i toplanacak yağmur sularından sağlanacak ve sistem kendisini 5,5 yıl gibi bir sürede amorti edecektir.

Çalışmanın sonucunda, depolanan yağmur sularının havalimanının yeşil alanlarının sulanmasında değerlendirilmesinin, su kaynaklarının verimli ve etkin kullanımı ile su tasarrufu sağlanması açısından oldukça önemli olduğu düşünülmektedir. Ayrıca depolanan yağmur suyunun terminal binasındaki birçok alanda kullanılmasının hem ekonomik hem de çevresel anlamda faydalar sağlayacağını ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, yağmur suyu hem temiz oluşu hem de kullanmak için herhangi bir bedel ödenmeyecek olması nedeniyle oldukça makul bir çözümdür. Yağmur suyunun toplanarak binalarda kullanımının yaygınlaştırılması ile su tasarrufunun yapılması ve su kaynaklarının korunması sağlanacağından, çevre sağlığı uzun vadede korunmuş olacaktır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

Abone Rehberi. <https://www.iski.istanbul/web/tr-TR/musteri-hizmetleri/su-birim-fiyatları1>, Erişim Tarihi: 22 Mart 2021.

Bursagaz'a yeşil bina sertifikası. <https://www.bursagaz.com/leed-sertifikasi>, Erişim Tarihi: 15 Mayıs 2021.

Can A., Yılmaz Ü. Yağmur suyu potansiyeli ve kullanım suyu olarak değerlendirilmesi. 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi – 17-20 Nisan 2019, İzmir.

Devlet Hava Meydanları İşletmesi. <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Istatistikler.aspx>, 2019. Erişim Tarihi: 22 Mart 2021.

Eren B., Aygün A., Likos S., Damar Aİ. Yağmur suyu hasadı: Sakarya üniversitesi Esentepe kampüs örneği. International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES), 3-5 November 2016, Antalya.

Eser Yeşil Bina. <https://www.altensis.com/proje/eser-holding-merkez-ofisi-ilk-leed-platin-sertifikali-bina/> Erişim Tarihi: 20 Nisan 2021.

Farrency R., Gabarrell X., Rieradevall J. Cost-efficiency of rainwater harvesting strategies in dense Mediterranean neighbourhoods. Resources, Conservation and Recycling 2011; 55: 686-694.

- Global Hunger Index, 2012. <https://www.ifpri.org/publication/2012-global-hunger-index>, Erişim Tarihi: 25 Mart 2021.
- Görgün G. Binalarda yağmur suyu ve gri suyun kombine kullanılmasına ait iki örnek proje. Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi 2010; Eylül-Ekim: 37-45.
- İGA, 2018. <http://www.oscaristanbul.com/haber/istanbul-3-havalimani-195>, Erişim Tarihi: 17 Mart 2021.
- İGA, 2020. <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/istanbulhavalimani-terminali-dunyanin-en-buyuk-leed-altin-sertifikali-binasi-secildi/1854885>, Erişim Tarihi: 17 Mart 2021.
- İHS, 2021. <https://apec.com.tr/istanbul-yeni-havalimani-strukturu/> Erişim Tarihi: 17 Mart 2021.
- İMGM. İstanbul Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2021. <https://www.mgm.gov.tr> Erişim Tarihi :15 Mart 2021.
- İller Bankası, 2013. <https://www.ilbank.gov.tr/dosyalar> Erişim Tarihi: 22 Mart 2021.
- Kantaroğlu Ö. Yağmur suyu hasadı plan ve hesaplama prensipleri. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 6-9 Mayıs 2009, İzmir.
- Ling E., Benham B. Rainwater harvesting systems. Virginia Cooperative Extension, Virginia Tech, Virginia State University, 2014, Lecture Notes.
- Silkin H. İklim değişikliğine uyum özelinde bazı uygulamaların Türkiye açısından değerlendirilmesi. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Uzmanlık Tezi, 185 s, Ankara, Türkiye, 2014.
- Şahin N., Manioğlu G. Binalarda yağmur suyunun kullanılması. Tesisat Mühendisliği 2011; 125: 21-32.
- Temizkan S., Tuna Kayılı M. Yağmur suyu toplama sistemlerinde optimum depolama yönteminin belirlenmesi: Karabük Üniversitesi Sosyal Yaşam Merkezi örneği. El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2021; 8(14): 102-116.
- Unilever. <https://www.altensis.com/proje/unilever-turkiye-merkez-ofisi-turkiyenin-ilk-leed-sertifikali-projesi/> Erişim Tarihi: 22 Mayıs 2021.
- Yalılı Kılıç M., Abuş MN. Bahçeli bir konut örneğinde yağmur suyu hasadı. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi 2018a; 4(2): 209-215.
- Yalılı Kılıç M., Abuş MN. Yağmur suyu hasadı: Uludağ üniversitesi çevre mühendisliği bölümü binası örneği. Uluslararası Su ve Çevre Kongresi, 2018b; 22-24 Mart 2018, Bursa.
- Yaman C. Siemens Gebze tesisleri yeşil bina. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 6-9 Mayıs 2009, İzmir.

Evaluation of Poor Prognosis in rRT-PCR Positive Covid-19 Cases with Using Deep Transfer Learning Network

İsmail ŞALK¹, Özlem POLAT^{2*}, Mürşit HASBEK³

¹Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Medicine, Department of Radiology, Sivas

²Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Technology, Department of Mechatronics Engineering, Sivas

³Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Medicine, Department of Medical Microbiology, Sivas

¹<https://orcid.org/0000-0002-5156-6923>

²<https://orcid.org/0000-0002-9395-4465>

³<https://orcid.org/0000-0002-5217-8607>

*Corresponding author: ozlem.polat@cumhuriyet.edu.tr

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 17.11.2021

Accepted: 02.03.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Covid-19

Convolutional neural networks

Transfer learning

Classification

Inception-v3

The infection called Covid-19 caused by the new type of coronavirus (SARS-CoV-2) is an epidemic and deadly disease that spreads rapidly worldwide. Early detection of Covid-19 will enable the patient to receive appropriate treatment and increase the chance of survival. This study aims to investigate the detection of poor prognosis from chest CT images in Covid-19 patients who died and healed using deep learning. In this retrospective study which was carried out in collaboration with a specialist radiologist, a dataset was created by evaluating a total of 5997 CT images by the expert. Images belonging to two classes in the dataset were classified using the Inception-v3 deep learning model. In order to evaluate the classifier, ROC curves were drawn, AUC and accuracy values were used as performance metrics. Inception-v3 model was run 10 times, and a maximum classification performance of 97.55% and an average of 97.01% was achieved. The classification results prove that Inception-v3 can classify CT images with a high accuracy rate for evaluating the Covid-19 prognosis.

Derin Transfer Öğrenme Ağı Kullanılarak rRT-PCR Pozitif Covid-19 Olgularında Kötü Prognozun Değerlendirilmesi

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 17.11.2021

Kabul tarihi:02.03.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Covid-19

Konvolüsyonel sinir ağları

Transfer öğrenme

Sınıflama

Inception-v3

Yeni tip koronavirüsün (SARS-CoV-2) neden olduğu Covid-19 olarak isimlendirilen enfeksiyon, tüm dünyada hızla yayılan salgın ve ölümcül bir hastalıktır. Covid-19'un erken teşhisi, hastanın uygun tedavi almasını sağlayacak ve hayatta kalma şansını artıracaktır. Bu çalışmada derin öğrenme kullanılarak ölen ve iyileşen Covid-19 hastalarında göğüs BT görüntülerinden kötü prognoz tespitinin araştırılması amaçlanmıştır. Yapılan retrospektif çalışma bir uzman radyolog ile işbirliği gerçekleştirilmiş ve toplam 5997 CT görüntüsü uzman tarafından değerlendirilerek veriseti oluşturulmuştur. Verisetindeki iki sınıfa ait görüntüler Inception-v3 derin öğrenme modeli kullanılarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırıcıyı değerlendirmek için ROC eğrileri çizilmiştir, performans ölçütleri olarak AUC ve doğruluk değerleri kullanılmıştır. Inception-v3 modeli 10 kez çalıştırılmış ve maksimum %97,55 ve ortalama %97,01 sınıflandırma performansı elde edilmiştir. Sınıflandırma sonuçları, Inception-v3'ün CT görüntülerini Covid-19 prognozunu değerlendirilmesi için yüksek doğrulukla sınıflandırabildiğini kanıtlamaktadır.

To Cite: Şalk İ., Polat Ö., Hasbek M. Evaluation of Poor Prognosis in rRT-PCR Positive Covid-19 Cases with Using Deep Transfer Learning Network. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 505-521.

1. Introduction

Coronaviruses (CoV) usually cause mild or moderate respiratory tract infections. However, two new coronaviruses called SARS and MERS, which cause more severe clinical pictures, have emerged in recent years. After these two epidemics due to coronaviruses, in December 2019, an increase in the number of patients who presented with pneumonia in Wuhan, China, was noted, and it was understood that a newly emerging coronavirus caused these cases. This new coronavirus, which causes a worldwide pandemic, is named SARS-CoV2, and the disease caused by this virus is called Covid-19. The disease negatively affects many organs, especially the lungs, and gives symptoms such as high fever, cough, and shortness of breath.

Some laboratory features have been associated with worse outcomes. Blood absolute lymphocyte count $<800/\mu\text{L}$, serum CRP level $>40\text{ mg/L}$, ferritin level $>500\text{ mcg/L}$, and D-Dimer level $>1000\text{ ng/mL}$ were indicated as poor prognostic factors for Covid-19 disease (Del Valle et al., 2020; Liao et al., 2020; Shi et al., 2020; Wu et al., 2020; Zhou et al., 2020). These criteria were also used in this study to determine patients who were projected to have a severe course of the disease and those who were expected to have a mild course. In other words, it was used to predict whether the disease would be severe or mild.

Computed tomography (CT) is widely used to diagnose Covid-19 and supports the diagnosis. Pneumonia may develop significantly in patients with a severe course. So, rRT-PCR, blood tests, and chest CT are performed together to diagnose patients with suspected Covid-19 (Simpson et al., 2020). In SARS-CoV-2 rRT-PCR positive patients, chest CT; sensitivity is reported as 97% (Ai et al., 2020). The interpretation of lesions in CT may differ depending on the workload or experience of the radiologist. For example, visual evaluation of images may not allow fine details to be detected by humans. Automated measurement methods can obtain objective, detailed and reproducible measurements of the extent and severity of lesions. In addition, various automated measurement methods are developed based on the structure of the lung tissue. These methods have helped evaluate disease severity and prognosis (Park et al., 2016). Quantitative evaluation is obtained by evaluating the pathological and normal areas in the lung tissue with computer software.

Machine learning methods are systems that include different algorithms and allow classification, clustering, or prediction over CT images (Kirienko et al., 2020). In addition, there are studies suggesting that deep learning algorithms contribute to increasing the diagnostic efficiency of radiologists for Covid-19 pneumonia (Wu et al., 2020). Zhang et al. (2020) reported that deep learning could help determine the correct diagnosis and prognosis of Covid-19 pneumonia with computed tomography.

The diagnosis of Covid-19 disease is confirmed by RT-PCR test. However, since this test is costly and does not provide fast results, researchers have started to investigate computer-assisted diagnostic methods for detecting Covid-19. There are many studies in the literature for the detection of Covid-19. Most used thorax CT or chest X-ray images obtained from imaging techniques as data. Bargshady et

al. (2022) made a study to detect Covid-19 from chest X-ray images. They used a novel data augmentation method by applying a Generator Adversary Network (GAN) combined with a trained, semi-supervised CycleGAN. They detected Covid-19 with 94,2% accuracy with the modified Inception-v3 architecture. In another study (Manokaran et al., 2021), 9573 X-ray images labeled as normal, pneumonia, and Covid-19 were used, and a three-class problem was tried to be solved. In the study in which DenseNet201, one of the transfer learning models, was used as a method, 92,19% classification performance was achieved.

In the literature, studies using CT images to detect Covid-19 are more common than studies using X-ray images. Kart and Başçiftçi (2021) tested classical machine learning algorithms on a dataset consisting of 750 normal and 750 Covid-19 CT images. The best results were obtained from the Support Vector Machine (SVM) algorithm with 96,7% accuracy. In another study, Erdem and Aydın (2021) created a hybrid model by combining CNN and SVM. They trained and tested this model on a dataset consisting of 2482 CT images, and as a result, they managed to classify Covid-19 with 85,56% accuracy. Using DenseNet169, one of the proven transfer learning models, Ala and Polat (2021) reached a performance of 98,6% on a dataset consisting of a total of 2482 CT images, 1252 of which were with Covid-19 and 1230 without.

In recent studies on the detection of Covid-19, some studies use laboratory findings instead of CT or X-ray images and classify them with machine learning techniques. For example, Alakus and Turkoglu (2020) examined 18 laboratory findings from 600 patients to detect Covid-19 infection. They achieved 92,30% success with the hybrid deep learning model, in which they used CNN and Long Short-Term Memory (LSTM) together. Göreke et al. (2021) created a new set of features based on 18 laboratory findings that take into account ethnic and genetic differences to interpret blood data. Then, using this feature set, they designed a new hybrid classifier model based on deep learning that achieved 94,95% accuracy in classification performance. Covid-19 is detected from audio recordings of cough, breath, and speech in a different study. Pahar et al. (2022) evaluated the existence of Covid-19 using deep transfer learning and bottleneck features on a dataset, including cough, breath, and speech sounds. Among them, they determined that the most significant sound recording in recognition of Covid-19 belonged to cough.

In the future, it will be possible to diagnose poor prognosis in Covid-19 patients with software that analyzes images in computed tomography devices. This study aims to investigate the detection of poor prognosis with chest CT texture analysis in Covid-19 patients who died and healed using deep learning. The contributions of this paper can be summarized as follows: With this study, the worsening course of the disease and poor prognosis in patients with Covid-19 disease can be determined without wasting time. By detecting patients who will get worse beforehand, more careful monitoring and treatment of patients will affect the course of the disease. In addition, knowing that the disease will have a bad prognosis will constitute an advantage in predicting the hospital capacities and the burden on the health system. Even if some patients' clinical follow-up and laboratory findings are reasonable,

warnings about the poor prognosis can be received thanks to the advance warning of these software, which will be integrated to the tomography devices; and in this case, the mortality and morbidity of the disease could be reduced.

This study aimed to understand the success of estimating the distinction of dead patients by analyzing chest CT images of patients with rRT-PCR positive Covid-19 who died and healed with a deep learning algorithm. For this purpose, we applied the Inception-v3 transfer learning model on chest CT images to investigate the poor prognoses of Covid-19. As a result of the experiments, we have demonstrated the effectiveness of the proposed method in distinguishing between died and healed cases.

2. Materials and Methods

Dataset

Approval for this study was obtained from the Turkish Ministry of Health Scientific Research Platform (No:2020-2020-05-12T16_41_53) and Sivas Cumhuriyet University Non-Interventional Clinical Research Ethics Committee (Decision No:2020-05/11) for retrospective imaging and laboratory data analysis. In the study, thorax CT images and laboratory findings of the patients were used. A dataset was created with the images of the patients who applied to the pandemic clinic and were treated as inpatients who had positive RT-PCR tests and Covid-19 findings on CT. Thorax CT images were obtained from tomography examinations. This study was performed using the 16 section multidetector CT device (Alexion, Toshiba Medical Systems, Tokyo, Japan) and the standard thorax CT protocol. Chest CT examination was obtained in the supine position and was used with the parameters of kV: 80-120, mAs: 50-100, pitch: 1-1.5. After the CT scan, reconstruction was performed on the images at a thickness of 3 mm. The dataset contains 5997 CT images of a total of 140 patients who died (2889 images) and healed (3108 images). CT image samples of died and healed patients are shown in Figure 1.

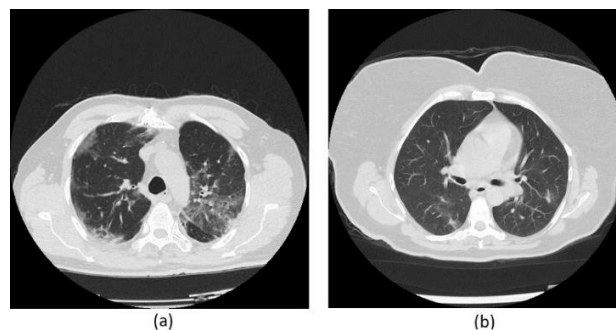


Figure 1. Original chest CT images of two different patients who died and healed with Covid-19 disease

a) Died b) Healed

The images were collected as 512×512 DICOM and then converted into JPEG with 224×224 dimensions for the deep learning model. In order to train and test the model, the dataset was divided into two at the rate of 70% and 30%; 70% was used for training, while the rest was used for the test.

This study consisted of 65 females (24 died and 41 healed) and 75 male Covid-19 positive patients (34 died and 41 healed). The mean age of the whole group was 63.1 ± 16.1 years. In died group, 47 patients (81%) were aged ≥ 65 , and 11 patients (19%) were aged < 65 . In the healed group 27 patients (32.9%) were aged ≥ 65 , and 55 patients (67.1%) were aged < 65 .

Laboratory Findings

Laboratory data were included lymphocyte count, serum CRP level, ferritin level, D-Dimer level. The patients who died and healed were grouped from the laboratory findings defined as poor prognostic factors (Zhou et al., 2020; Wu et al., 2020; Shi et al., 2020; Liao et al., 2020; Del Valle et al., 2020): Blood absolute lymphocyte count $< 800/\mu\text{mL}$ and $> 800/\mu\text{mL}$, serum CRP level $< 40\text{mg/L}$ and $> 40\text{mg/L}$, ferritin level $< 500\text{mcg/L}$ and $> 500\text{mcg/L}$, D-Dimer level $< 1000\text{ng/mL}$ and $> 1000\text{ng/mL}$. Of the 38 patients with blood absolute lymphocyte count $< 800/\mu\text{mL}$, 29 died, and 9 healed. The difference between the counts of died and healed patients in terms of the blood absolute lymphocyte count $< 800/\mu\text{mL}$ was found to be statistically significant ($X^2=26,16$, $p<0,005$). Of the 78 patients with serum CRP levels $> 40\text{mg/L}$, 53 patients died, and 25 patients healed. The difference between the counts of died and healed patients in terms of the serum CRP level $> 40\text{mg/L}$ was found to be statistically significant ($X^2=51,05$, $p<0,005$). Of the 41 patients with serum ferritin level $> 500\text{mcg/L}$, 31 died, and 10 healed. The difference between the level of died and healed patients in terms of the serum ferritin level $> 500\text{mcg/L}$ was found to be statistically significant ($X^2=27,92$, $p<0,005$). Of the 21 patients with serum D-Dimer level $> 1000\text{ng/mL}$, 17 patients died, and 4 healed. The difference between the counts of died and healed patients in terms of the serum D-Dimer level $> 1000\text{ng/mL}$ was found to be statistically significant ($X^2=15,90$, $p<0,005$). Laboratory findings are shown in Table 1.

Table 1. Laboratory findings of dead and healed RT-PCR positive Covid-19 patients

		Died	Healed	Statistical significance
Age	< 65 years	11	55	$X^2=31.55$
	≥ 65 years	47	27	$p=0.0001$
Gender	Female	24	41	$X^2=1.01$
	Male	34	41	$p>0.05$
Blood absolute lymphocyte count	$< 800/\mu\text{mL}$	29	9	$X^2=26.16$
	$\geq 800/\mu\text{mL}$	29	73	$p=0.0001$
Serum CRP level	$< 40\text{mg/L}$	5	57	$X^2=51.05$
	$\geq 40\text{mg/L}$	53	25	$p=0.0001$
Serum ferritin level	$< 500\text{mcg/L}$	27	72	$X^2=27.92$
	$\geq 500\text{mcg/L}$	31	10	$p=0.0001$
Serum D-Dimer level	$< 1000\text{ng/mL}$	41	78	$X^2=15.90$
	$\geq 1000\text{ng/mL}$	17	4	$p=0.0001$

Convolutional Neural Networks (CNN) based Inception-v3

Convolutional neural networks are a special type of neural networks used to process data with a grid-like topology. Time series data that can be considered as a 1-D grid that takes samples at various time intervals and image data that can be thought of as a 2-D pixel grid can be given as examples (Goodfellow et al., 2016). Convolutional networks (LeCun et al., 1989) use a mathematical operation called convolution. The convolution operation in 2-D space means that the reciprocal elements of two matrices are multiplied and then added together to obtain a value, and this process continues by shifting one of the matrices over the other. As a result of these operations, a new matrix called feature map emerges.

CNNs have different layer types and different parameters used in these layers. The first is the convolution layer, where the convolution operation takes place. Image and filter are given as input to this layer, and the feature map appears as output. The feature map is obtained by shifting the filter on the image, multiplying the reciprocal values, and summing these multiplication results. An example of a 2-D convolution process can be seen in Figure 2.

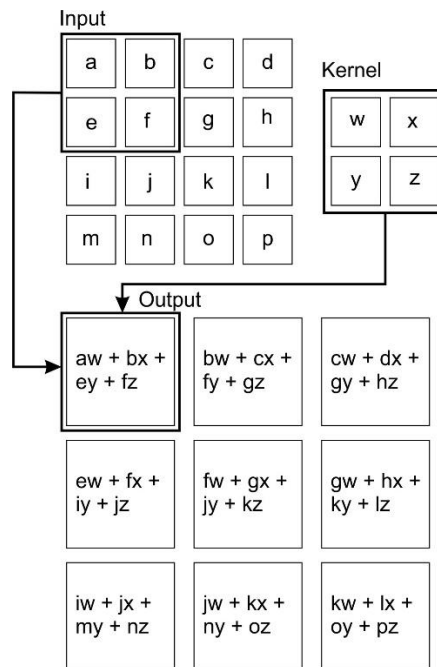


Figure 2. An example of 2-D convolution process

In Figure 2, the image size is 4×4 , the filter size is 2×2 , and the stride is 1. The stride is one of the parameters used in CNN layers and informs that the convolution process will shift the filter on the image in steps of one pixel or larger steps. In case the image size is $n \times n$, the filter size is $f \times f$, and the stride is s , the size of the output matrix is $[(n-f)/s+1] \times [(n-f)/s+1]$. Thus, the output of the convolution process shown in Figure 2 is 3×3 . After convolution, it is up to us to manage the input and output size difference. This process is provided by extra pixels to be added to the input matrix. Let the padding value be p , in this case the size of output matrix is $[(n+2p-f)/s+1] \times [(n+2p-f)/s+1]$.

A non-linearity layer, sometimes called the activation layer, in a CNN consists of an activation function that takes the feature map generated by the convolutional layer and gives the activation map as its output. The dimensions of the input and the output in this layer are identical, and this layer returns the same number of filters. There are various types of activation functions, the most common of which is ReLU (Nair and Hinton, 2010):

$$g(x) = \max(0, z)$$

The pooling layer is often used after the activation layer to reduce the network's number of parameters and dimensions. The reduction in size leads to loss of information, and for the network, these losses are beneficial for two reasons. First, the decrease in the number of parameters and dimensions reduces the computational load of the subsequent network layers, and the second is that the overfitting of the network is prevented. Pooling operation is done in two different ways: max pooling and average pooling. Max pooling selects the maximum value in the filter as the output value, while average pooling takes the average of the values in the filter. Examples of pooling operations are shown in Figure 3.

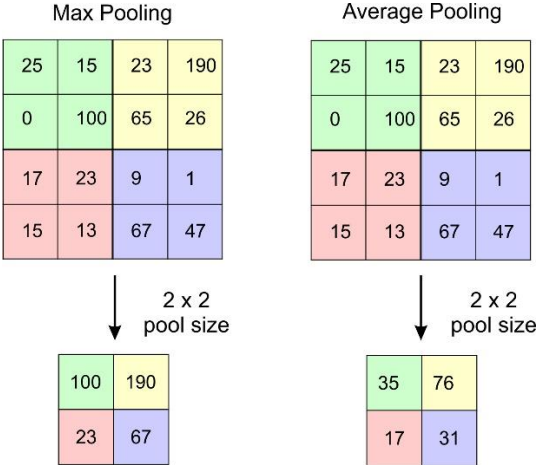


Figure 3. An example of max pooling and average pooling operations

The dropout layer is used to prevent overfitting problems in CNN by randomly removing some network nodes. Overfitting in classification problems is that the network can only classify the samples in training set with high accuracy. Dropout provides a better generalization ability for the network to classify new data.

The flattening layer converts the output from previous layers to one-dimensional data. That is, it converts the feature maps expressed in matrix form into vectors by adding each row one after the other.

The fully connected layer is the last layer and classifies the images. Fully connected layers are feed-forward neural networks that connect every neuron in one layer to every neuron in another layer. The final pooling or convolution layer output is given as input to the fully connected neural network (FCNN) layer after it has been flattened.

CNNs have the ability to automatically extract features from images with the filters they use. In this way, images can be classified accurately and efficiently without the need for more feature selection (Guo et al., 2016). Transfer learning is the use of the weights of a model that has been created before for classification and has a good performance for another classification problem. Transfer learning benefits from different aspects: (1) Learning is faster, and therefore, less time is spent on training. (2) High accuracy rates can be obtained with less data. (3) Better performances are obtained by adding the desired classifier to the end of the transfer learning model.

There are several transfer learning models in the literature. In this study, Inception-v3 model was preferred for the classification of images with Covid-19 of died and healed patients. The Inception architecture was first introduced by Szegedy et al. (2015a), and is also referred to as GoogLeNet in the literature. In order to improve the performance of the Inception architecture, different versions were developed as follows: Inception-v1 (Szegedy et al., 2015a), Inception-v2, Inception-v3 (Szegedy et al., 2015b), Inception-v4 and Inception-ResNet (Szegedy et al., 2016); each version is enhanced with changes made to the previous version.

The advantage of Inception over other models is that it enables the use of filters of different sizes. Thus, objects of different sizes in the images can be easily detected with filters of different sizes. For example, figure 4 shows the schematic of the naive Inception module. Accordingly, the convolution process is performed using filters of different sizes, 1×1 , 3×3 and 5×5 at the input, and maximum pooling is applied to reduce the size. The filter outputs are then combined and sent as input to the next Inception module.

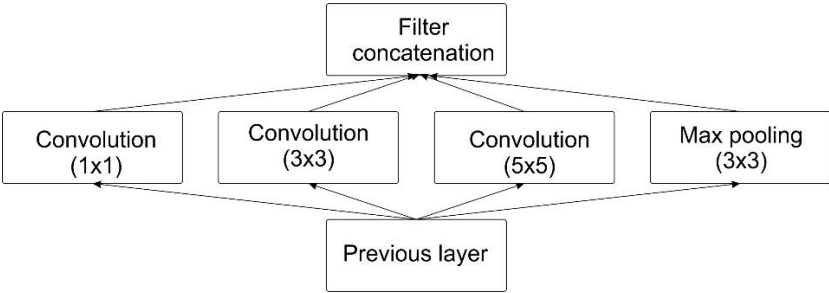


Figure 4. Schematic representation of naive Inception module (Szegedy et al., 2015a)

Figure 5 shows the model classifying CT images of died and healed Covid-19 cases. The Inception-v3 architecture used in this study differs from the literature in terms of two fully connected layers added to the end. For classification purposes, 2048 and 16 nodes were used in these layers, respectively. In the last layer, softmax, the number of nodes represents the number of classes in the problem we are focusing on and is 2.

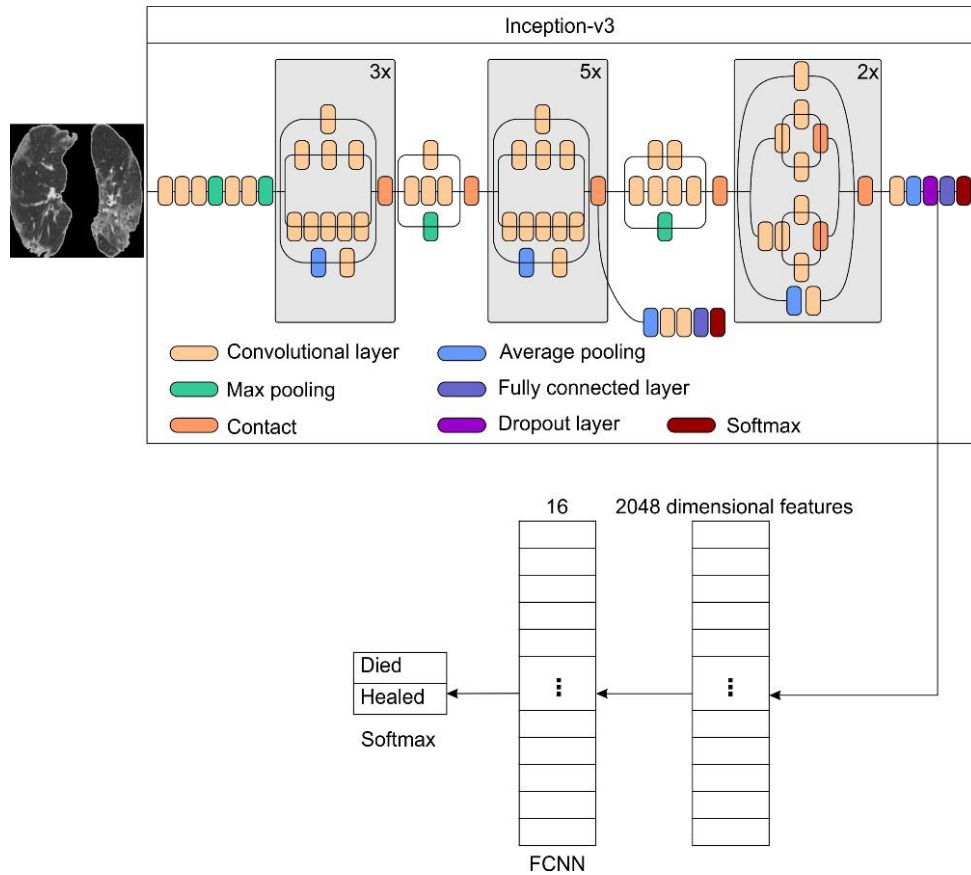


Figure 5. Schematic of the Inception-v3 model taken from Zhang et al. (2019) and modified for our study. The Inception-v3 model was trained on the ImageNet database, and the weights obtained were used to evaluate the poor prognosis of Covid-19.

Results and Discussion

In this study, Inception-v3, one of the transfer learning methods, is used to evaluate poor prognosis in rRT-PCR positive Covid-19 patients. Inception-v3, which uses CNNs, extracts features for images of died and healed classes. For classification purposes, a two-layer FCNN has been added to the output of the Inception-v3 model. In the first of these layers, 16 neurons are used. The second (last) layer is the softmax layer; the number of neurons in this layer equals the number of classes, that is, 2. Adadelta (Zeiler, 2012) is used as an optimizer with a learning rate of 1.0. ReLU is used as the activation function in fully connected layers. The method has been tested 10 times with 50 epochs and 16 batch sizes. Confusion matrices and results for each experiment are shown in Figure 6 and Table 2, respectively. According to Table 2, images with Covid-19 belonging to died and healed classes are classified with an average performance of 97,01% and a maximum of 97,55%. In addition, since all test results are over 96%, it can be said that the method is quite successful in evaluating poor prognosis in rRT-PCR positive Covid-19 patients.

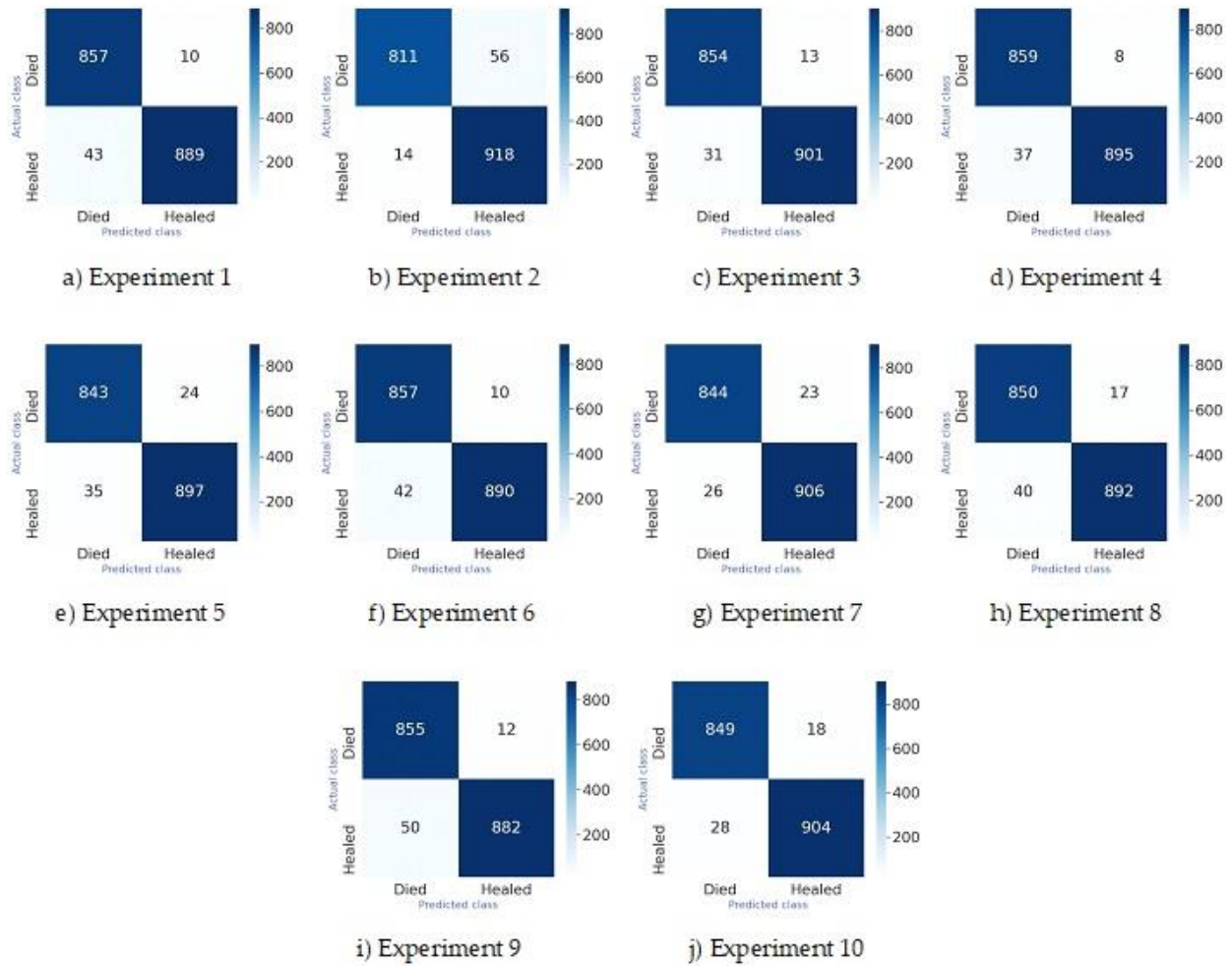


Figure 6. Confusion matrix related to 10 experiments

Table 2. Accuracy and AUC values of 10 experiments on classifying dead or healed class CT images.

Experiment number	Accuracy (%)	AUC
1	97.05	0.971
2	96.11	0.960
3	97.55	0.976
4	97.50	0.976
5	96.72	0.967
6	97.11	0.972
7	97.28	0.973
8	96.83	0.969
9	96.55	0.966
10	97.44	0.975

Here, accuracy and AUC were used as performance metrics. The notations in the accuracy equation are:

- The images belonging to the dead class and correctly classified as died, called True Positives (TP); the number of TP is shown in the upper left of the confusion matrix.

- The images belonging to the healed class and correctly classified as healed are called True Negatives (TN); the number of TN is shown in the lower right of the confusion matrix.
- The images belonging to the dead class and incorrectly classified as healed are called False Negatives (FN); the number of FN is shown in the upper right of the confusion matrix.
- The images belonging to the healed class and incorrectly classified as dead, called False Positives (FP). The number of FP is shown in the lower left of the confusion matrix.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FN + TN + FP} \times 100$$

ROC curve is a graph showing the performance of the classification model and is frequently used in machine learning applications. It uses two values called true positive rate (TPR) and false-positive rate (FPR) as parameters:

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN}$$

In the ROC graph, there is FPR on the x-axis and TPR on the y-axis. The ROC curve is a curve that starts at (0,0) and ends at (1,1). The area under the curve, in short, AUC, gives information about the classifier's performance and ranges between 0 and 1. The better the model's performance, the larger the area under the curve, that is, the higher the AUC value (Fawcett, 2006). The ROC curves obtained from the experiments are shown in Figure 7.

Looking at the ROC curves in Figure 7, it can be seen that the experiments for the best classification performance were Experiments 3 and 4 with an AUC of 0,976. However, considering the accuracy values, it is seen that the best classification performance is in Experiment 3.

The proposed model was trained and tested on Google Colab using Keras (Chollet, 2015) and Tensorflow (Martin et al., 2015) libraries.

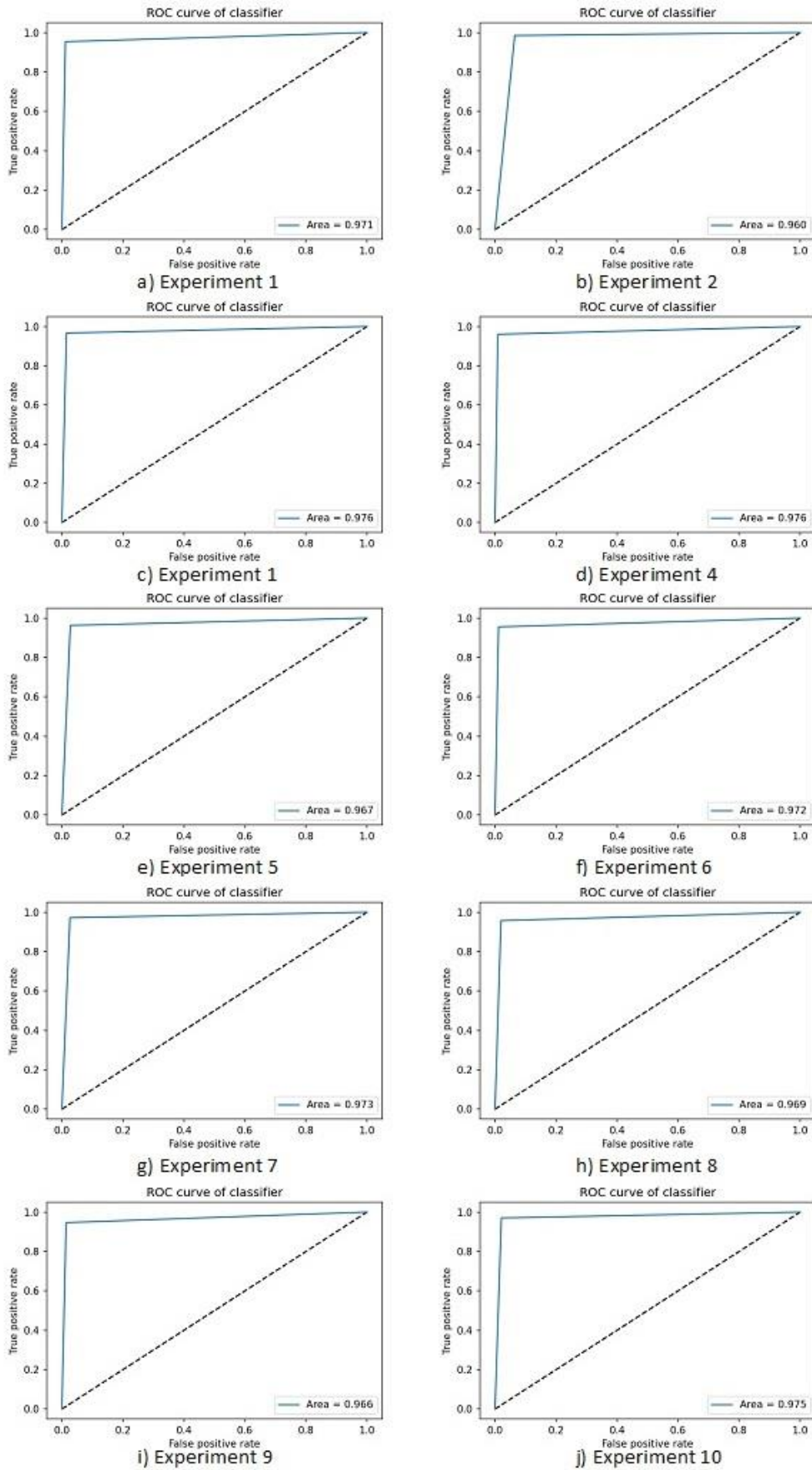


Figure 7. ROC curves for experiments showing classification performance of CT images belonging to died or healed class

Studies have been continuing rapidly since the emergence of Covid-19 and its threat to world health. Almost all of the existing studies in the literature are on detecting the presence of Covid-19. Studies primarily determine whether the data (CT image, X-ray image or laboratory findings) is Covid-19 or normal, making a binary classification. In this study, there is Covid-19 in all of the data, some of the cases have died, and some have recovered. Therefore, data in this study are classified as dead and recovered. This will help accurately determine the poor prognosis of a new case admitted to the hospital with suspected Covid-19. A comparison of recent studies on the detection of Covid-19 with the proposed study is shown in Table 3.

Table 3. Comparison with the recent studies in the literature

Method	Dataset	Classes	Accuracy (%)
CycleGAN+Inception (Bargshady et al., 2022)	9544 X-ray images	Normal Covid-19	94.20
DenseNet201 (Manokaran et al., 2021)	9573 X-ray images	Normal Pneumonia Covid-19	92.19
SVM (Kart and Başçiftçi, 2021)	1500 CT images	Normal Covid-19	96.70
CNN+SVM (Erdem and Aydın, 2021)	2482 CT images	Normal Covid-19	85.56
DenseNet169+FCNN (Ala and Polat, 2021)	2482 CT images	Normal Covid19	98.60
CNN+LSTM (Alakus and Türkoglu, 2020)	18 Laboratory findings from 600 patients	Normal Covid19	92.30
Hybrid deep learning model (Göreke et al., 2021)	18 Laboratory findings from 600 patient	Normal Covid-19	94.95
Inception-v3 (Proposed study)	5997 CT images (all with Covid-19)	Died Healed	97.55

Conclusion

Covid-19, which emerged in 2019, affected the whole world and caused the pandemic. This disease adversely affects daily life, public health, and the global economy. For this reason, it is essential to investigate the poor prognosis in rRT-PCR positive Covid-19 cases in order to increase the chance of patients' survival. Definitive diagnosis of Covid-19 is made by RT-PCR test; in addition, Covid-19 findings on CT images play an essential role in detecting the disease. However, diagnosis of the disease in this way is both time-consuming and expensive, so researchers have focused their work on the computer-assisted diagnosis. Almost all of the studies on Covid-19 in the literature are on the detection of Covid-19 from CT images, X-ray images, or, at least, from laboratory findings. In other words, recent studies mostly make a binary classification as Covid-19 or normal. In our study, all data (CT images) belong to Covid-19 cases. However, some of these cases have died due to Covid-19, and the rest have healed. Our study tried to determine whether the sample data belonged to the patient who died from Covid-19 or the patient who healed. So we classified the data in binary as dead or healed, not Covid-19 or normal. Our study is the first in the literature and is different from other studies.

This study focused on classifying CT images belonging to patients who died or healed from Covid-19. For this purpose, Inception-v3, one of the deep transfer learning models that have been preferred in recent years due to its superior performance, was used. In this retrospective study, collaboration was made with radiology and microbiology specialists. These experts evaluated the laboratory findings and CT images of the patients who applied to the pandemic clinic, and a dataset consisting of 5997 CT images was created. The proposed Inception-v3 model was trained and tested on this dataset. Test results showed that classes are separated with an average accuracy of 97,01% and a maximum of 97,55%. So, the proposed method can help radiologists evaluate the poor prognosis of the disease in cases with Covid-19. Consequently, patients whose conditions will worsen can be determined in advance, and the course of the disease can be changed with the measures to be taken. Thus, applied transfer learning is promising in medical sciences and can assist radiologists in making quick and accurate decisions.

The future plan for the development of the study is as follows: (1) Different deep learning models will be studied to achieve higher success. (2) The dataset will be expanded by adding images of new Covid-19 cases. (3) Studies will be conducted to evaluate the poor prognosis and detect Covid-19 from chest CT or X-ray images.

Conflict of Interest Statement

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

Authorship Contribution Statement

The authors declare that they have contributed equally to the article.

Kaynakça

Ai T., Yang Z., Hou H., Zhan C., Chen C., Wenzhi Lv., Qian T., Sun Z., Xia L. Correlation of chest CT and RT-PCR testing for coronavirus disease 2019 (Covid-19) in China: A report of 1014 cases. *Radiology* 2020; 296(2): E32-E40.

Ala A., Polat Ö. Detection of Covid-19 from computed tomography images with DenseNet based deep learning models. 2021 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) 2021; 1-4.

Alakus TB., Turkoglu I. Comparison of deep learning approaches to predict Covid-19 infection. *Chaos, Solitons & Fractals* 2020; 140: 110120.

Bargshady G., Zhou X., Barua PD., Gururajan R., Li Y., Acharya UR. Application of CycleGAN and transfer learning techniques for automated detection of Covid-19 using X-ray images. *Pattern Recognition Letters* 2022; 153: 67-74.

- Chollet F. Keras. 2015. Available at: <https://github.com/fchollet/keras>
- Del Valle DM., Kim-Schulze S., Huang HH., Beckmann ND., Nirenberg S., Wang B., Lavin Y., Swartz TH., Madduri D., Stock A., Marron TU., Xie H., Patel M., Tuballes K., Van Oekelen O., Rahman A., Kovatch P., Aberg JA., Schadt E., Jagannath S., Mazumdar M. et al. An inflammatory cytokine signature predicts Covid-19 severity and survival. *Nature Medicine* 2020; 26(10): 1636-1643.
- Erdem E., Aydin T. A CNN-based hybrid model to detect coronavirus disease. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2021; 27: 66-73.
- Fawcett T. An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters* 2006; 27(8): 861-874.
- Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep learning*. MIT Press. 2016.
- Göreke V., Sarı V., Kockanat S. A novel classifier architecture based on deep neural network for COVID-19 detection using laboratory findings. *Applied Soft Computing* 2021; 106: 107329.
- Guo Y., Liu Y., Oerlemans A., Lao S., Wu S., Lew MS. Deep learning for visual understanding: A review. *Neurocomputing* 2016; 187: 27-48.
- Kart Ö., Basciftci F. Makine öğrenmesi algoritmalarıyla akciğer tomografi görüntülerinden Covid-19 tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2021; 28: 630-637.
- Kirienko M., Ninatti G., Cozzi L., Voulaz E., Gennaro N., Barajon I., Ricci F., Carlo-Stella C., Zucali P., Sollini M., Balzarini L., Chiti A. Computed tomography (CT)-derived radiomic features differentiate prevascular mediastinum masses as thymic neoplasms versus lymphomas. *La Radiologia Medica* 2020; 125(10): 951-960.
- Le Cun Y., Boser B., Denker JS., Henderson D., Howard RE., Hubbard W., Jackel LD. Backpropagation applied to handwritten zip code recognition. *Neural Computation* 1989; 1(4): 541-551.
- Liao D., Zhou F., Luo L., Xu M., Wang H., Xia J., Gao Y., Cai L., Wang Z., Yin P., Wang Y., Tang L., Deng J., Mei H., Hu Y. Haematological characteristics and risk factors in the classification and prognosis evaluation of COVID-19: a retrospective cohort study. *Lancet Haematology* 2020; 7(9): e671-e678.
- Manokaran J., Zabihollahy F., Hamilton-Wright A., Ukwatta E. Detection of Covid-19 from chest x-ray images using transfer learning. *J Med Imaging (Bellingham)* 2021; 8(1): 017503.
- Martin A., Agarwal A., Barham P., Brevdo E., Chen Z., Citro C., Corrado GS., Davis A., Dean J., Devin M., Ghemawat S., Goodfellow I., Harp A., Irving G., Isard M., Jia Y., Jozefowicz R., Kaiser L., Kudlur M., Levenberg J., Mane D., Monga R., Moore S., Murray D., Olah C., Schuster M., Shlens J., Steiner B., Sutskever I., Talwar K., Tucker P. et al. TensorFlow: Large-scale machine learning on heterogeneous system (software available from: [tensorflow.org](https://www.tensorflow.org)), 2015.

- Nair V., Hinton GE. Rectified linear units improve restricted Boltzmann machines. In Proc.: 27th International Conference on Machine Learning (ICML'10), June 21-24, Haifa, Israel, 2010. 807–814.
- Park HJ., Lee SM., Song JW., Lee SM., Oh SY., Kim N., Seo JB. Texture-based automated quantitative assessment of regional patterns on initial CT in patients with idiopathic pulmonary fibrosis: Relationship to decline in forced vital capacity. *American Journal of Roentgenology* 2016; 207(5): 976-983.
- Shi S., Qin M., Shen B., Cai Y., Liu T., Yang F., Gong W., Liu X., Liang J., Zhao Q., Huang H., Yang B., Huang C. Association of cardiac injury with mortality in hospitalized patients with Covid-19 in Wuhan, China. *JAMA Cardiology* 2020; 5(7): 802-810.
- Simpson S., Kay FU., Abbara S., Bhalla S., Chung JH., Chung M., Henry TS., Kanne JP., Kligerman S., Ko JP., Litt H. Radiological society of North America expert consensus statement on reporting chest CT findings related to Covid-19: Endorsed by the society of thoracic radiology, the American college of radiology, and RSNA. *Journal of Thoracic Imaging* 2020; 35(4): 219-227.
- Szegedy C., Ioffe S., Vanhoucke V., Alemi A. Inception-v4, Inception-ResNet and the impact of residual connections on learning. arXiv 2016, arXiv:1602.07261.
- Szegedy C., Liu W., Jia Y., Sermanet P., Reed S., Anguelov D., Erhan D., Vanhoucke V., Rabinovich A. Going deeper with convolutions. In: *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* 2015a; 1-9.
- Szegedy C., Vanhoucke V., Ioffe S., Shlens J., Wojna Z. Rethinking the inception architecture for computer vision. arXiv, 2015b; arXiv:1512.00567.
- Wu C., Chen X., Cai Y., Xia J., Zhou X., Xu S., Huang H., Zhang L., Zhou X., Du C., Zhang Y., Song J., Wang S., Chao Y., Yang Z., Xu J., Zhou X., Chen D., Xiong W., Xu L., Zhou F., Jiang J., Bai C., Zheng J., Song Y. Risk factors associated with acute respiratory distress syndrome and death in patients with coronavirus disease 2019 pneumonia in Wuhan, China. *JAMA Internal Medicine* 2020; 180(7): 934-943.
- Wu X., Hui H., Niu M., Li L., Wang L., He B., Yang X., Li L., Li H., Tian J., Zha Y. Deep learning-based multi-view fusion model for screening 2019 novel coronavirus pneumonia: A multicentre study. *European Journal of Radiology* 2020; 128: 109041.
- Zeiler MD. Adadelta: An adaptive learning rate method. ArXiv 2012; arXiv:1212.5701.
- Zhang K., Liu X., Shen J., Li Z., Sang Y., Wu X., Zha Y., Liang W., Wang C., Wang K., Ye L., Gao M., Zhou Z., Li L., Wang J., Yang Z., Cai H., Xu J., Yang L., Cai W., Xu W., Wu S., Zhang W., Jiang S., Zheng L., Zhang X., Wang L., Lu L., Li J., Yin H., Wang W., Li O., Zhang C. et al. Clinically applicable AI system for accurate diagnosis, quantitative measurements, and prognosis of Covid-19 pneumonia using computed tomography. *Cell* 2020; 181(6): 1423-1433.

Zhang Y., Li M., Han S., Ren Q., Shi J. Intelligent identification for rock-mineral microscopic images using ensemble machine learning algorithms. *Sensors* 2019; 19(18): 3914.

Zhou F., Yu T., Du R., Fan G., Liu Y., Liu Z., Xiang J., Wang Y., Song B., Gu X., Guan L., Wei Y., Li H., Wu X., Xu J., Tu S., Zhang Y., Chen H., Cao B. Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with Covid-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. *Lancet* 2020; 395(10229): 1054-1062.

Taş Mastik Asfalt Karışımlarında Tekstil Atığı Kullanımının Araştırılması

Jülide ÖNER^{1*}, Ferhat ÖZDAŞ²

¹Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı, Uşak

²Uşak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı, Uşak

¹<https://orcid.org/0000-0003-3229-152X>

²<https://orcid.org/0000-0003-2407-6678>

*Sorumlu yazar: julide.oner@usak.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 30.11.2021

Kabul tarihi: 06.02.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Taş mastik asfalt

Selüloz elyaf

Tekstil atığı

Kum yama testi

ÖZ

Taş mastik asfaltın agregalar arası boşluk oranının fazla olması nedeniyle yüksek oranda bağlayıcı gerektirmesi, bitümün agregalardan süzülmesine neden olmaktadır. Süzülmeleri engellemek için kullanılan geleneksel elyafın (mineral, selüloz) pahalı olmasından dolayı kaplama maliyetleri artmaktadır. Bu çalışmada selüloz elyaf yerine tekstil fabrikalarında atık olarak nitelendirilen tekstil atığının kullanımı araştırılmıştır. Çalışma kapsamında farklı oranlarda tekstil atığı ve selüloz elyaf ilavesiyle hazırlanmış numuneler üzerinde Marshall deneyi, Schellenberg bitüm süzülme deneyi ve Kum Yama deneyi yapılmıştır. Test sonuçları bir arada değerlendirildiğinde, tekstil atığı selüloz elyafa kıyasla Marshall stabilitesine katkı sağlamış ve daha az süzülerek yüksek performans gösterdiği tespit edilmiştir. Kullanılan agrega gradasyonunun yüzey dokusunun derinlik koşulunu sağladığı Kum Yama deneyi ile belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçları, hem atıkların bertaraf edilmesi hem de kaplama maliyetinin azaltılması açısından geleneksel elyaf yerine tekstil atıklarının kullanılabilceğini göstermektedir.

Evaluation of Textile Waste Addition in Stone Mastic Asphalt

Research Article

Article History:

Received: 30.11.2021

Accepted: 06.02.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Stone mastic asphalt

Cellulose fiber

Textile waste

Sand patch test

ABSTRACT

Stone mastic asphalt requires a high amount of binder due to the high inter-aggregate void ratio, which causes the bitumen to drain from the aggregates. Pavement costs increase due to the expensiveness of conventional fiber (mineral, cellulose) used to prevent draining. In this study, the use of textile waste, which is considered as waste in textile factories, instead of cellulose fiber was investigated. Within the scope of the study, Marshall test, Schellenberg bitumen draining test and Sand Patch test were performed on the samples prepared with the addition of textile waste and cellulose fiber at different rates. When the test results are evaluated together, it has been determined that textile waste contributed to Marshall stability compared to cellulose fiber and showed higher performance with less draining. It was determined by the Sand Patch test that the used aggregate gradation provided the depth condition of the surface texture. The results of the study show that textile wastes can be used instead of traditional fiber in terms of both waste disposal and reduction of coating cost.

To Cite: Öner J., Özdaş F. Taş Mastik Asfalt Karışımlarında Tekstil Atığı Kullanımının Araştırılması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 522-533.

1. Giriş

Günümüzde, yolcu ve yük taşımacılığında ülkeler karayoluna bağımlı hale gelmiştir. Trafik hacminin artmasıyla yeni yol ağlarına ihtiyaç duyulmuştur. Büyük yatırım harcamaları gerektiren yol ağlarının tasarımı bu yüzden önemlidir. İyi bir kaplama tasarımında; yeterince uzun ömürlü, dayanıklı, kalıcı deformasyonlara karşı dirençli, ekonomik ve çevre dostu olmalıdır (Çalışıcı ve Döndü, 2019).

Esnek kaplama tasarımlarında; açık granülometreli, yoğun granülometreli, üniform granülometreli ve kesikli granülometreli karışımlar olmak üzere dört farklı asfalt betonu granülometresi kullanılmaktadır. Açık granülometreli asfalt karışımlarda, ince agrega oranı az ve hava boşluğu yüzdesi fazla olan poroz asfalttır. Yoğun granülometreli asfaltlarda agrega bileşenleri süreklilik sağlayarak minimum hava boşluğu yüzdesini veren ve en sık kullanılan asfalt tasarımıdır. Üniform granülometreli karışımlarda, parçacıkların çoğunu çok dar bir boyut aralığını içeren bir derecelendirmeyi ifade eder. Özünde, tüm parçacıklar aynı boyuttadır. Kesikli granülometreye sahip asfalt karışımında ise belirli elek aralığında agrega oranı fazla ve pürüzlü yüzeye sahip olan Taş Mastik Asfalt (TMA) kaplamalarıdır (Şanlıer, 2018).

Taş Mastik Asfalt (TMA) 1960'larda çivili lastiklerin neden olduğu deformasyonları engelleyerek geleneksel asfalt tasarımlarına (yoğun granülometreli asfaltlar) göre daha dayanıklı bir asfalt kaplaması elde etmek için ilk kez Almanya'da geliştirilmiştir (Şanlıer, 2018). Taşın taşa temasıyla daha büyük tipte agrega dağılımına sahip asfalt karışımı olması ve boşluk yapısını dolduran yüksek bağlayıcı içeriğiyle asfaltın dayanıklılığını arttırmaktadır (Köfteci, 2018). İlk ve nihai maliyetler birlikte düşünüldüğünde geleneksel asfalt tasarımlarına göre inşaat maliyeti %20-25 fazla olmasına rağmen TMA'nın uzun hizmet ömrü boyunca önemli avantajları vardır (Aslan, 2015; Razahi ve Chopra, 2020). Hizmet ömrünün uzaması, sürekli deformasyonlara ve aşınmaya karşı yüksek direnç göstermesi, neme karşı dayanıklılığı, daha yavaş yaşlanması, gürültü seviyesinin düşük olması Taş Mastik Asfalt kullanımının sağlayacağı başlıca avantajlardandır (Aslan, 2015; Salas ve Perez-Acebo, 2018; Razahi ve Chopra, 2020). Bu üstün özelliklerinden dolayı kavşaklarda, otobüs duraklarında, otoparklarda, eğimli arazilerde, köprülerde, limanlarda ve ağır trafik yüklerinin geçtiği güzergâhlarda tercih edilmektedir (Rajesh ve ark., 2017).

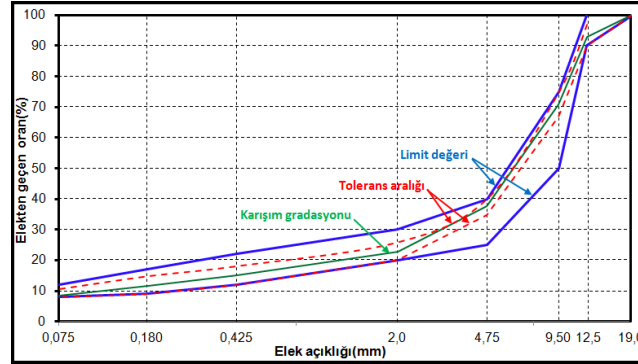
TMA kaplama tasarımının içeriğinde agrega ağırlığının %70-80'i iri agrega, %8-12 filler, %5-7 bağlayıcı ve yaklaşık %0,3-0,5 fiber kullanılmaktadır (Xavier, 2018; Udayabhanu, 2020). Yüksek bağlayıcı içeriği ve boşluklu yapısından dolayı asfaltın üretim, nakliye, serme esnasında bitüm agregalardan süzülmemektedir. Bitümün agregalardan süzülmesi ise istenmeyen bir durumdur (Kabadayı, 2019). Süzülmeyi engellemek için selüloz elyaf, mineral elyaf veya polimerler kullanılmaktadır. Genellikle selüloz veya mineral esaslı elyaf süzülmeyi azaltmak için tercih edilmektedir. TMA'da yaygın olarak kullanılan geleneksel elyaf pahalı olması nedeniyle kaplama maliyetlerini arttırmaktadırlar.

Bu çalışmanın amacı Taş Mastik Asfalt kaplamalarında bitümün süzülme problemini engellemek için kullanılan geleneksel elyafın yerine tekstil atıklarının kullanılabilirliğini araştırmaktır. Tekstil atıkları

ile kontrol numunesi olarak seçilen geleneksel elyaf hazırlanan asfalt numunelerine Marshall stabilite deneyi uygulanmıştır. Araştırma kapsamında, tasarımın dizayn parametreleri Marshall testine göre hesaplanarak numunelerin optimum bitüm oranları ve mekanik performansları test edilmiştir. Taş Mastik Asfalt numunelerine Schellenberg bitüm süzülme deneyi yapılarak drenaj özellikleri karşılaştırılmıştır. Son olarak numunelere Kum Yama deneyi uygulanarak doku derinlikleri tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında; Karayolu Teknik Şartnamesi'nin TMA bölümü kriterlerine uygun malzemeler seçilmiştir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013). Agregalar sağlam, dayanıklı, temiz daneleri içeren kırmataştan oluşmaktadır. No.4 (4,75mm) eleği üzerinde kalan kaba agrega bileşeninde bazalt kullanılmıştır. Bazaltı kırması zor ve ince agrega üretimi az olmasından dolayı ince agrega (No.4 elekten geçen) bileşeninde kalker kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan kalker tipi doğal agregalar Uşak Oktaş taş ocağından ve bazalt tipi doğal agregalar Uşak Gedikler taş ocağından temin edilmiştir. TMA karışım gradasyon eğrisi dizayn sınırları içinde Şekil 1'de gösterilirken gradasyonu oluşturan agregaların bileşeni ise Şekil 2'de sunulmaktadır.



Şekil 1. TMA Tip-1A aşınma tabakası karışım gradasyonu eğrisi



Şekil 2. Agregaların bileşenleri

Bu çalışmada bitüm olarak TS EN 12591 standardına uygun 50/70 penetrasyonlu modifiye edilmemiş saf bitüm kullanılmıştır. Modifiye edilmemiş bitüm kullanılmasının sebebi bitüm süzülme testlerinde polimerlerin etkisini ortadan kaldırarak elyafın etkisini daha iyi gözlemlemektir.

Bitümün drenaj problemini önlemek için selüloz veya mineral elyaf kullanılmaktadır. Bu çalışmada tekstil nihai atıkları geleneksel selüloz elyafın yerine kullanılarak deney sonuçları kıyaslanmıştır. Karayolu Teknik Şartnamesi'ne göre tekstil nihai atığının mekanik özellikleri Tablo 1'de gösterilmektedir. TMA karışımında kullanılan geleneksel selüloz elyafın görüntüsü Şekil 3'de, tekstil nihai atığının görüntüsü Şekil 4'de verilmiştir. Gevşek halde bulunan Şekil 4'deki tekstil nihai atıkları agrega karışımına eklenmeden önce homojen bir şekilde dağılması amacıyla elekten (1,70mm) geçirilmiştir.

Literatür araştırmalarında optimum selüloz elyaf içeriği genellikle karışım ağırlığının %0,3 oranında kullanılmaktadır (Arshad ve ark., 2016; Kiran ve Ravitheja, 2019; Çınar ve ark. 2020; Razahi ve Chopra, 2020). Karayolu Teknik Şartnamesi TMA aşınma tabakası için karışım ağırlığının %0,3-%1,0 oranında veya imalatçı firmanın önerdiği oranlarda elyaf karışıma ilave edilmektedir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013). Bu çalışmada öncelikle tekstil atığı ve selüloz elyaf %0,3 oranında TMA karışımında kullanıldıktan sonra tekstil atığı %0,1 ve selüloz elyaf %0,2 oranında kullanılarak bitümün süzülme durumları değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Tekstil nihai atığı özellikleri

Özellik	Şartname limitleri	Sonuçlar
Kül muhtevası	$\%18 \pm \%5$	14
PH	$7,5 \pm \%1$	6,9
Yağ absorpsiyonu	Elyaf ağırlığının 5 ± 1 katı	6,0
Nem absorpsiyonu	Ağırlıkça % 5	5



Şekil 3. Selüloz elyaf



Şekil 4. Tekstil atığı

Çalışmada, Marshall numunelerinin üretimi TMA dizayn kriterlerine göre yapılmıştır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013; TS EN 12697-34, 2012; TS EN 13108-5, 2016). Bitümlü bağlayıcı ve mineral agrega en az 165 °C' lik, en fazla 180 °C' lik karışım sıcaklığı elde edilecek bir sıcaklıkta karıştırılmaktadır. Tekstil atığı (%0,3-%0,1) ve selüloz elyaf (%0,3-%0,2), 1100 g agrega karışımına ayrı ayrı ilave edilmiştir. Agrega karışımına farklı oranlarda (%5,5-6,0-6,5-7,0) bitüm eklenerek TMA numuneleri üretilmiş numunelerin her iki yüzeyi 50 Marshall darbesiyle sıkıştırılmıştır.

Oda sıcaklığında Marshall briketinden çıkartılan TMA numunelerinin her birine havadaki ağırlığı, sudaki ağırlığı ve doymuş yüzey ağırlıkları ölçülerek hacim özgül ağırlıkları (D_p) tespit edilmiştir. Maksimum teorik özgül ağırlıkları (D_t), hava boşluk oranı (V_h), agregalar arası boşluk oranı (VMA) ve asfalt dolu boşluk (VFA) oranı teorik olarak hesaplanmış ve TMA numunelerin optimum bitüm oranı grafiklerden elde edilmiştir. Marshall stabilite testi yapılarak akma ve stabilite sonuçları değerlendirilmiştir.

Taş Mastik Asfalt karışımlarında bitümün süzülme miktarını ölçmek için Schellenberg deneyi yapılmaktadır. Selüloz elyafta yaygın olarak kullanılan Schellenberg bitüm süzülme deneyi TS EN 12697-18 standardına uygun hazırlanmıştır (TS EN 12697-18, 2018). $130 \pm 5^\circ\text{C}$ tolerans sıcaklığına getirilen TMA karışımlarından 1000 g alınarak önceden 110°C 'lik etüvde 15 dk ısıtılmış cam behere gevşek halde konulmuştur. 0,1 g hassasiyetle cam beher karışımı tartılarak üzeri kapatılmıştır.

TMA karışımları 175°C 'de etüvde 1 saat bekletilmiştir. Süre sonunda etüvden çıkartılan asfalt karışımı, beheri sarsmadan boşaltılarak 0,1 g hassas terazide ölçülmüştür. Beherin içinde kalan süzölmüş bitüm, karışım ağırlığına oranlanarak süzülme yüzdesi elde edilmiştir. Şartnameye göre Schellenberg bitüm süzülme yüzdesi maksimum %0,3'tür (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013).

Bu çalışmada öncelikle optimum bitüm oranlarında ve aynı stabilizör oranlarında (%0,3 tekstil atığı, %0,3 selüloz elyaf) karışımlarının süzülme miktarları elde edilmiştir. Daha sonra farklı bitüm oranlarında (%5,5-6,0-6,5-7,0) ve farklı stabilizör oranlarında (%0,1 tekstil atığı, %0,2 selüloz elyaf) içeriğine sahip TMA karışımlarının süzülme davranışları kıyaslanarak optimum bitüm oranına karşılık

gelen süzülme miktarları grafik üzerinden elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, analiz sonuçları bölümünde özetlenmiştir.

TMA karışımlarında, yüzey dokusunun pürüzlülüğü Kum Yama testi yapılarak doku derinliğinin ölçülmesiyle tespit edilmektedir. Bu araştırmada Kum Yama deneyi ASTM E 965 deney standardı referans alınarak test edilmiştir.

Kum yama testi için öncelikle her bir TMA briketinin ortalama çapı (bu çap aynı zamanda, dökülecek kumun ortalama çapını temsil etmektedir) elektronik kumpas yardımıyla ölçülerek kaydedilmiştir. 100 g ağırlığında bir miktar kum (özgül ağırlığı 1,50 g/cm³) alınmış ve tepsi içine yerleştirilen TMA briketinin üzerine dökülmüştür. Dökülen kum bir düzeç yardımıyla briketin yüzey boşluklarını dolduracak şekilde yaydırılmıştır.

Briketlerin yüzey boşluklarını dolduran kumun ağırlığı kayıt altına alınarak her bir numune için dökülen kumun hacmi hesaplanmış ve ortalama doku derinliği aşağıdaki denklem yardımıyla ayrı ayrı tespit edilmiştir. Burada; H: Ortalama doku derinliğini (mm), V: Kumun hacmini (mm³) ve D: Ortalama kumun çapını (mm) ifade etmektedir.

$$H= 40*V/ \pi*D^2$$

Briketlerin yüzey boşluklarını dolduran kumun ağırlığı kayıt altına alınarak her bir numune için dökülen kumun hacmi hesaplanmış ve ortalama doku derinliği yukarıda ki denklem yardımıyla ayrı ayrı tespit edilmiştir. Burada; H: Ortalama doku derinliğini (mm), V: Kumun hacmini (mm³) ve D: Ortalama kumun çapını (mm) ifade etmektedir.

Çalışma kapsamında kullanılan TMA Tip-1A aşınma tabakası için ortalama doku derinliği 1,0 mm'den fazla olmalıdır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013). Şekil 5'te Kum Yama deneyinin görüntülerine yer verilmiştir.



Şekil 5. Kum Yama deneyine ait görüntüler

Bu çalışmada; %0,3 selüloz elyaf, %0,3 tekstil atığı, %0,2 selüloz elyaf ve %0,1 tekstil atığıyla hazırlanmış TMA briketleri üzerinde Kum Yama deneyi yapılmış ve ortalama doku derinlikleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

TMA karışımlarında optimum bitüm içeriğini belirlemek amacıyla genellikle hava boşluk oranı (Vh) kullanılmaktadır. Her bir TMA karışımının hava boşluk oranı (Vh) grafikten %3,5 seçildiğinde optimum bitüm oranları ayrı ayrı elde edilerek %3,5 hava boşluğuna karşılık gelen agregalar arası boşluk oranı (VMA) şartname limitini sağlamıştır. Karayolu Teknik Şartnamesi TMA aşınma tabakası için hava boşluk oranı %2-4 (sıcak iklim bölgelerinde %3-4), Tip-1A agrega karışımlarının agregalar arası boşluk (VMA) oranı minimum %16, bitümlü bağlayıcı oranı ise minimum %5,8 olmaktadır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013). %0,3 selüloz elyaf, %0,3 tekstil atığı, %0,2 selüloz elyaf ve %0,1 tekstil atığı içeren TMA karışımları üzerinde Marshall deney gerçekleştirilmiş ve optimum bitüm oranında hazırlanan her bir TMA Marshall numunesinin; havadaki ağırlığı, sudaki ağırlığı, doymun yüzey ağırlıkları, hacim özgül ağırlıkları (Dp), Maksimum teorik özgül ağırlıkları (Dt) ,hava boşluk oranı (Vh), agregalar arası boşluk oranı (VMA), asfalt dolu boşluk oranı (VFA), akma ve stabilite sonuçları Tablo 2’de özetlenmektedir (Oner ve Ozdas, 2021).

%0,3 selüloz elyaf, %0,3 tekstil atığı, %0,2 selüloz elyaf ve %0,1 tekstil atığı içeren TMA karışımlarının optimum bitüm oranı sırasıyla %6,70; %6,50; %6,60; %6,40 olduğu grafiklerden tespit edilmiştir. Optimum bitüm oranında Marshall sonuçları değerlendirildiğinde; aynı cins TMA karışımlarında stabilizatör kullanım oranının artması optimum bitüm oranını artırırken hacim özgül ağırlıkları (Dp) azalma eğiliminde olmuştur. Tekstil atığıyla hazırlanan karışımların optimum bitüm oranı selüloz elyaf karışımlarından daha az olduğu grafiklerden tespit edilmiştir. TMA karışımlarının teorik özgül ağırlığı (Dt) bitüm miktarıyla ters orantılı değişirken agregalar arası boşluk (VMA) ve asfalt dolu boşluk (VFA) bitüm miktarıyla doğru orantılı değişmiştir.

Marshall stabilite testinden elde edilen akma miktarı stabilite sonuçlarına paralel bir değişim göstermiştir. En yüksek stabilite değerini %0,3 tekstil atığı içeriğine sahip TMA karışımı verirken en düşük stabiliteyi %0,2 selüloz elyaf karışımı vermiştir. Tekstil atığıyla hazırlanan TMA karışımları Marshall stabilitesine katkı sağlamıştır. Ayrıca bu araştırmada kullanılan TMA Tip-1A agrega gradasyonu karışımında bitümün agregalardan yüksek miktarda süzülme problemi olmasından dolayı elyaf katkısız (%0,0 elyaf) TMA numunesi hazırlanamadığı için Marshall testi yapılamamıştır.

Karayolu Teknik Şartnamesi dizayn kriterlerine göre Schellenberg bitüm süzülme deneyi TS EN 12697-18 standardına uygun yapılmaktadır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013; TS EN 12697-18, 2018). Standarda göre hazırlanan TMA karışımlarının süzülme miktarı maksimum %0,3 olmaktadır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013). %0,3 selüloz elyaf, %0,3 tekstil atığı, %0,2 selüloz elyaf ve %0,1 tekstil atığı içeren TMA karışımlarının optimum bitüm oranlarında süzülme miktarları Tablo 3’te özetlenmiştir.

Tablo 2. Marshall grafiklerinden elde edilen sonuçlar (Oner ve Ozdas, 2021)

Karışımlar Özellikler	Selüloz elyaf	Tekstil atığı	Selüloz elyaf	Tekstil atığı	Şartname limitleri	Deney Standardı
Stabilizör oranı (%)	0,3	0,3	0,2	0,1	0,3 – 1,0	-
Optimum bitüm oranı (%)	6,70	6,50	6,60	6,40	>5,80	TS EN 12697-1
Dp (g/cm ³)	2,271	2,277	2,274	2,281	-	-
Dt (g/cm ³)	2,352	2,358	2,355	2,361	-	-
Vh (%)	3,50	3,50	3,50	3,50	2 - 4	TS EN 12697-8
VMA (%)	16,84	16,48	16,66	16,24	>16,00	TS EN 12697-8
VFA (%)	79,0	78,2	78,5	77,9	-	-
Akma (mm)	4,42	4,48	4,28	4,31	-	-
Stabilite (kg)	814	838	798	812	-	-

Tablo 3. Schellenberg süzülme testi sonuçlarının özeti (Oner ve Ozdas, 2021)

Stabilizör oranı (%)	Optimum bitüm oranı (%)	Süzülme oranı (%)	Şartname limiti (%)	Deney standardı
0,3 selüloz elyaf	6,70	0,25	<0,30	TS EN 12697-18
0,3 tekstil atığı	6,50	0,03	<0,30	
0,2 selüloz elyaf	6,60	0,27	<0,30	
0,1 tekstil atığı	6,40	0,07	<0,30	

TMA tasarımlarında stabilizör kullanım oranının artırılması optimum bitüm oranını arttırdığından dolayı maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. TMA karışımları üzerine yapılan araştırmalarda optimum selüloz elyaf miktarı genel olarak %0,3 oranında kullanıldığı için bu çalışmada başlangıçtaki tekstil atığından ve referans numune olarak seçilen geleneksel selülozik elyaftan %0,3 oranında kullanılmıştır. %0,3 tekstil atığı ve %0,3 selüloz elyafın optimum bitüm oranında süzülme miktarları sırasıyla %0,03 ve %0,25 bulunmuştur. Bu durumda tekstil atığı karışımı süzülmelelere karşı emici gücünün gösterdiği yüksek dirençle az miktarda süzüldüğünden dolayı %0,1 oranında tekstil atığı alınırken selüloz elyaf karışımı %0,2 oranında alınıp tekrar Schellenberg süzülme testi yapılmıştır. %0,1 tekstil atığı ve %0,2 selüloz elyafın optimum bitüm oranına karşılık gelen süzülme miktarları sırasıyla %0,07 ve %0,27 bulunmuştur. Tablo 3'te görüldüğü üzere aynı cins karışımlar için stabilizör kullanım oranı azaltıldığında selüloz elyafın optimum bitüm oranı %6,70'ten %6,60'a düşerken tekstil atığının optimum bitüm oranı %6,60'tan %6,40'a düştüğünü Marshall deney sonuçları göstermiştir.

Bu TMA karışımları içinde geleneksel selüloz elyafın %0,2 oranında kullanılması ve tekstil atığından %0,1 oranında kullanılması karışımların optimum bitüm oranını azaltarak maliyetlerinin düşmesine katkı sağlayacağı için bu oranların optimum stabilizör miktarı olarak TMA karışımlarında kullanılması uygun görülebilmektedir.

Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, TMA tasarımlarında bitümün drenajını engellemek için kullanılan geleneksel selüloz elyaf yerine tekstil atıkları kullanıldığında hem asfalt kaplama maliyetlerinin düşmesine hem de çevre kirliliğinin azalmasına katkı sağlayacaktır (Oner ve Ozdas, 2021).

TMA Tip-1A aşınma tabakasını temsil eden; %0,3 selüloz elyaf, %0,3 tekstil atığı, %0,2 selüloz elyaf ve %0,1 tekstil atığı numuneleri ASTM E 965 deney standardı referans alınarak Kum Yama (Sand Patch) deneyi yapılmış ve ortalama doku derinliği sonuçları Tablo 4'te detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 4. Kum Yama deney sonuçları

Numune adı		%0,3	%0,3	%0,2	%0,1
		selüloz elyaf	tekstil atığı	selüloz elyaf	tekstil atığı
Kumun özgül ağırlığı (g/cm ³)	C	1,5	1,5	1,5	1,5
Numune çapı (cm)	D	10,14	10,18	10,16	10,21
Numune yüzey alanı (cm ²)	$S=\pi \times D^2/4$	80,75	81,39	81,07	81,87
Deneyden önce kum ağırlığı (g)	A	100	100	100	100
Deneyden sonra kum ağırlığı (g)	B	85,5	84,1	84,7	83,3
Numune yüzeyinde kalan kumun ağırlığı (g)	A-B	14,5	15,9	15,3	16,7
Numune yüzeyinde kalan kumun hacmi (cm ³)	$V=(A-B)/C$	9,67	10,6	10,2	11,13
Ortalama doku derinliği (mm)	$H=V/S \times 10$	1,20	1,30	1,26	1,36
ASTM E 965 deney standardı, doku derinliği limiti (mm)		1,00 < H	1,00 < H	1,00 < H	1,00 < H

Kum Yama deneyinin sonuçlarına bakıldığında: %0,3 selüloz elyafın 1,20 mm, %0,3 tekstil atığının 1,30 mm, % 0,2 selüloz elyafın 1.26 mm ve % 0,1 tekstil atığının 1,36 mm ortalama doku derinliği elde edilmiş ve her bir TMA numunesi minimum şartname limitini sağlamıştır. KTŞ' ye göre ortalama doku derinliği, TMA Tip-1A aşınma tabakası için minimum 1,0 mm'den fazla olması gerekmektedir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013).

Sonuç olarak; TMA tasarımlarının gradasyon yapısından dolayı sahip olması gereken yüzey dokusu pürüzlülük şartının, bu araştırma kapsamında kullanılan TMA Tip-1A aşınma tabakasını temsil eden (%0,3 selüloz elyaf, %0,3 tekstil atığı, %0,2 selüloz elyaf, %0,1 tekstil atığı) numunelerin her biri yüzey dokusu pürüzlülük şartını sağlayarak TMA tasarımlarında kullanılabileceğini Kum Yama (Sand Patch) deneyiyle göstermiştir.

Selüloz elyaf yerine tekstil atığının sağlayacağı ekonomik faydayı 1 km'lik bir TMA kaplaması için hesaplama yapacak olursak bu araştırmanın ekonomik anlamda kazanımı daha iyi anlaşılabilir. Örneğin; 10 m platform genişliği, 5 cm kaplama kalınlığı ve 1 km yol kesimi için toplamda 500 m³ TMA ve karışımın özgül ağırlığı 2,5 t/m³ alındığında 1250 ton TMA üretimi yapılmaktadır. TMA karışım ağırlığının %0,3 oranında elyaf kullanıldığında; 3750 kg elyaf tüketilmektedir. Selüloz elyaf piyasa kurları ve markasına göre fiyatları değişkenlik göstermekle birlikte ortalama 1 kg selüloz elyaf 3 €-4 € aralığında satın alındığında ortalama 13125 € ek katkı maliyeti çıkmaktadır. Sonuç olarak selüloz elyaf katkısı yerine atık olarak nitelendirilen tekstil atığı kullanımıyla, 1 km TMA üretiminde yaklaşık olarak 13125 € kadar daha az maliyetle yüksek bir fayda sağlanmaktadır.

4. Sonuç

TMA kaplamalarının agregalar arası boşluk oranının fazla olması nedeniyle yüksek oranda bağlayıcı gerektirmesi, bitümün agregalardan süzülmesine neden olmaktadır. Bu süzülmeleri engellemek için kullanılan geleneksel elyaf endüstriyel ürünler olmasından dolayı ekstra kaplama maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Bu yüzden son yıllarda yapılan bilimsel araştırmalar geleneksel elyafın yerine ikame olabilecek elyaf üzerine yapılmaktadır. Özellikle selüloz elyaf içeriğini barındıran atıklar üzerine yapılan çalışmalar dikkat çekmektedir.

TMA karışımında %0,3 selüloz elyaf içeriği ve %0,3 tekstil atığı içeriği ayrı ayrı kullanıldığında; %3,50 hava boşluğuna karşılık gelen optimum bitüm oranı selüloz elyafın %6,70 ve tekstil atığının %6,50 oranı Marshall deneyi grafiklerinden elde edilmiştir. Schellenberg bitüm süzülme deneyine göre, optimum bitüm oranında karışımlar hazırlandığında %0,3 selüloz elyaf karışımı %0,25 oranında, %0,3 tekstil atığı ise %0,03 oranında süzülmüştür. Tekstil atığının veya selüloz elyafın TMA karışımında kullanılması bitüm drenajını azaltmıştır. Aynı stabilizatör oranında (%0,3) dikkat çeken bir husus, tekstil atığının selüloz elyafa kıyasla drenajı önemli ölçüde azaltmış olmasıdır.

TMA karışımında %0,2 selüloz elyaf içeriği ve %0,1 tekstil atığı içeriği ayrı ayrı kullanıldığında; %3,50 hava boşluğuna karşılık gelen optimum bitüm oranı selüloz elyafın %6,60 ve tekstil atığının %6,40 Marshall deneyi grafiklerinden elde edilmiştir. Schellenberg bitüm süzülme deneyine göre optimum bitüm oranına karşılık gelen %0,2 selüloz elyaf karışımı %0,27 oranında, %0,1 tekstil atığı ise %0,07 oranında süzülmüştür. Karışımdaki tekstil atığı içeriği selüloz elyaf içeriğinden %50 daha az kullanılmasına rağmen tekstil atığı karışımı emici gücünden dolayı daha az süzülerek yüksek performans göstermiştir. Ayrıca TMA tasarımlarında stabilizatör kullanım oranının artması optimum bitüm oranını artırdığından maliyetlerin artmasına sebep olmaktadır. Farklı bitüm oranlarında ve farklı stabilizatör içeriklerinde drenaj davranışlarına bakıldığında optimum stabilizatör oranının, selüloz elyaf için %0,2 ve tekstil atığı için %0,1 oranında kullanılması uygun görülmektedir.

%0,3 selüloz elyaf, %0,3 tekstil atığı, %0,2 selüloz elyaf ve %0,1 tekstil atığı numunelerine Kum Yama (Sand Patch) deneyi yapılmış ve araştırma kapsamında kullanılan TMA Tip-1A aşınma tabakası

gradasyon yapısının yüzey dokusu pürüzlülük şartını sağlayarak TMA tasarımlarında kullanılabileceğini göstermiştir.

Marshall ve drenaj testlerinin sonuçları birlikte değerlendirildiğinde tekstil atıkları ile hazırlanan TMA karışımı, referans numune olarak seçilen geleneksel selüloz elyaf karışımına göre yüksek performans göstermiştir. Sonuç olarak, drenajı azaltmak için TMA kaplamalarda kullanılan pahalı selüloz elyaf yerine tekstil atığının kullanılmasının hem asfalt kaplamaların maliyetinin düşürülmesine hem de atıkların bertaraf edilmesiyle çevre kirliliğinin azaltılmasına katkı sağlayacağı anlaşılmıştır.

Bu araştırmanın amacı; Taş Mastik Asfalt kaplamalarında bitümün süzülme problemini engellemek için kullanılan geleneksel selüloz elyafın yerine tekstil atığı kullanımının araştırılmasıdır. Bu kapsamda; Marshall deneyi ile Schellenberger bitüm süzülme deneyi sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve ayrıca Kum Yama (Sand Patch) deneyi yapılarak gradasyon yapısının yüzey doku derinliği tespit edilmiştir. Tekstil atığı içeren TMA karışımları; bitümün süzülme problemini önemli ölçüde azaltarak TMA kaplamalarında elyafın yerine kullanılma potansiyeli olduğunu ortaya koymuştur. TMA tasarımı için, gelecekteki araştırmalarda TMA'nın özelliklerini tekstil atığıyla doğrulamak amacıyla İndirekt Çekme Mukavemeti deneyi ve Tekerlek İzinde Oturma deneyi yapılması önerilmektedir.

Teşekkür

Polat İplik Tekstil San. Tic. Ltd. Şti. ve Doğusan İnşaat Tic. A.Ş.'ye vermiş oldukları destek ve katkılardan dolayı teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

Arshad AK., Mansor S., Shafie E., Hashim W. Performance of stone mastic asphalt mix using selected fibres. *Jurnal Teknologi* 2016; 78: 99-103.

Aslan Ş. Endüstriyel ve doğal atıkların bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilirliğinin araştırılması. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, 2015.

Çalışıcı M., Döndü E. Magnezyum temelli metalik katkının asfalt bağlayıcının fiziksel özelliklerine etkileri. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2019; 2(1): 79-82.

Çınar E., DüNDAR B., Şahin E. Cam tozu katkılı lifli harçların fiziksel ve mekanik özellikleri. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2020; 3(1): 17-23.

Kadayı E. Üleksitin taş mastik asfalt karışımlarda filler olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, 2019.

- Karayolları Genel Müdürlüğü. Karayolu teknik şartnamesi. KGM Yayınları 2013; Ankara.
- Kiran Kumar NLN., Ravitheja A. Characteristics of stone matrix asphalt by using natural fibers as additives. *Materials Today: Proceedings* 2019; 19(2): 397-402.
- Köfteci S. Investigation on the usability of pumice as fibre in stone mastic asphalt. *Gravevinar* 2018; 70(8): 695-701.
- Oner J., Ozdas F. Investigation of textile waste usage in stone mastic asphalt (SMA) mixtures. *Gravevinar* 2021; 73(5): 469-481.
- Rajesh Y., Nadiu PS., Kumar PS. Experimental study – the use of bamboo fiber using SMA methodology in coarse aggregates. *International Journal for Modern Trends in Science and Technology* 2017; 3(10): 72-88.
- Razahi MM., Chopra A. A review of using sisal fiber and coir fiber as additives in stone matrix asphalt. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 2020; 7(2): 1692-1697.
- Salas MÁ., Pérez-Acebo H. Introduction of recycled polyurethane foam in mastic asphalt. *Gravevinar* 2018; 70(5): 403-412.
- Şanlıer İ. Kuzey Marmara otoyolu projesi kapsamında taş mastik asfalt (TMA) uygulamaları, performanslarının karşılaştırılması ve maliyet analizi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- Türk Standardı. TS EN 12697-18, Bitümlü karışımlar - Deney metotları - Sıcak karışımlı asfalt için - Bölüm 18: Bağlayıcının süzülmesi. Türk Standartlar Enstitüsü 2018; Ankara.
- Türk Standardı. TS EN 12697-34, Bitümlü karışımlar - Test yöntemleri - Bölüm 34: Marshall testi. Türk Standartlar Enstitüsü 2012; Ankara.
- Türk Standardı. TS EN 13108-5, Bitümlü karışımlar - Malzeme özellikleri - Bölüm 5: Taş mastik asfalt. Türk Standartlar Enstitüsü 2016; Ankara.
- Udayabhanu V., Jagannadharao P., Pavan Kumar NVLN. Study on the marshall properties with sunhemp and kenaf as stabilizer additives in stone mastic asphalt. *International Journal for Innovative Engineering and Management Research* 2020; 9(5): 29-34.
- Xavier RM., Martin B., Babu LA., Jose LE., Roy L. A review on fiber modified stone matrix asphalt. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 2018; 5(3): 3018-3020.

Erişim İzni Güvenlik Açığı Tespitinde Windows'un Kaynak Tabanlı İzin Mekanizmasının Tersine Bir Yaklaşım

Hakan TEMİZ^{1*}, Ahmet BÜYÜKEKE²

¹Kontrol ve Otomasyon Teknolojisi, Borçka Acarlar Meslek Yüksekokulu, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, 08000

²Yönetim Bilişim Sistemleri, İşletme Fakültesi, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Adana, 01250

¹<https://orcid.org/0000-0002-1351-7565>

²<https://orcid.org/0000-0002-6103-7646>

*Sorumlu yazar: htemiz@artvin.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 08.12.2021

Kabul tarihi:10.01.2022

Online Yayınlanma: 18.07. 2022

Anahtar Kelimeler:

Aktif dizin kullanıcıları

Windows sunucu

Erişim izinleri

Güvenlik açığı

Denetleme

Raporlama

ÖZ

Kurum çalışanları görev ve sorumluluklarına göre dosyalarda saklanan bilgilerle çalışırlar. Windows (İşletim sistemi), herhangi bir kullanıcı için herhangi bir iznin kaynak başına ayrı olarak ayarlanması gereken kaynak tabanlı erişim izinlerini kullanır. Bu yöntemde, kaynak ve kullanıcı sayısı arttıkça durum daha karmaşık bir hal alır ve izinlerin atanmasında gözden kaçmalara neden olur. Bu nedenle, herhangi bir çalışanın herhangi bir kaynak kümesi üzerinde hangi izinlere sahip olduğunu incelemek için özel bir mekanizma gereklidir. Bu gereksinim, Windows'un kaynaklara kullanıcı tarafından erişilebilen yaklaşımını tersine çevirerek aşılabilmektedir. Bu yaklaşım, herhangi bir klasörde aktif dizin kullanıcılarına verilen veya reddedilen her türlü iznin hızlı ve kolay bir şekilde incelenmesini ve raporlanmasını sağlayan bir program ile gerçekleştirilmiştir. Araştırmalarımıza göre, yukarıda belirtilen görevleri Windows'un yerleşik araçlarından farklı bir şekilde gerçekleştiren böyle bir araç ilk kez geliştirilmektedir. Önerilen yöntem, yöneticilerin bir güvenlik açığına neden olabilecek eksik veya gözden kaçan bir yetkilendirmenin olmadığından emin olmalarını sağlar. Bu yaklaşım, diğer kaynakları ve diğer yerel veya aktif dizin nesnelerini incelemek için kolaylıkla genişletilebilir.

An Inverse Approach to Windows' Resource-Based Permission Mechanism for Access Permission Vulnerability Detection

Research Article

Article History:

Received: 08.12.2021

Accepted: 10.01.2022

Published online: 18.07. 2022

Keywords:

Active directory users

Windows Server

Access permissions

Security vulnerability

Inspection

Reporting

ABSTRACT

In organizations, employees work with information stored in files according to their duties and responsibilities. Windows uses resource-based access permissions that any permission for any user has to be set separately per resource. This method gets complicated as the number of resources and users increases, and causes oversights in assigning permissions. Therefore, a special mechanism is required to scrutinize what permissions any employee has on any set of resources. This requirement is circumvented by reversing Windows' approach in terms of user-accessible resources. This approach is implemented by a program allowing quick and easy examination and reporting of any type of permissions granted or denied to active directory users on any number of folders. According to our surveys, this is the first time that such a tool accomplishing above mentioned tasks in a different way than Windows' built-in tools have been developed. The proposed method enables administrators to make sure there is no missing or overlooked setting that could cause a security vulnerability. This approach can easily be extended to scrutinize other resources, and for other local or active directory objects.

1. Introduction

It is obvious that, in an organization, users should not have access to any resources not matching their roles and privileges. They may either intentionally or unintentionally collect sensitive information of the company from files and folders, or even going further, corrupt, delete or alter them. Although accidents can and shall happen occasionally, they are often more striking in their effect when caused by administrators. So, administrators have to be more careful to grant or deny permissions to Active Directory (AD) users, groups or services on the resources.

The issues in accessing files or folders are frequently caused by underlying recent modifications, especially denied rights via groups or altered permissions on parent folders (NTFS, 2021). Thus, it is very important to conserve a structured folder hierarchy, especially in a large environment with many users and groups. As the number of users and sources (e.g., files, folders) increases, it gets harder and becomes more complex for administrators to keep access rights under control and to verify everything is okay. Monitoring also becomes more difficult accordingly. After a certain point, oversights and omissions begin in assigning access rights. This leads to unexpected and uncontrollable consequences in accessing resources by users.

The Graphical User Interface (GUI) is Windows' primary mechanism for assigning access permissions, though there are also few command-line tools (e.g., icacls) each serving a specific purpose and not easy to use. These tools are not user friendly as they contain not any GUI. In windows, GUI remains as the first option for administrators to grant, deny and check access permissions on the resources (e.g. folders). However, GUI only allows setting permissions on a particular securable object (SO) and its subfolders via inheritance, if it is a folder. Thus, each SO (e.g., a file, folder, registry key, service or printer) has to be processed individually through GUI.

So, scrutinizing what permissions are granted or denied to any user or group on a list of files or folders turns into a very difficult, cumbersome, and time-consuming job with this GUI. On the other hand, administrators often need to check whether any inappropriate permissions have been granted or denied to a user or group on a set of files or folders. The only way of doing such a task, for example, for multiple folders, is to inspect permission entries via this GUI for each. It is not possible to investigate the access permissions for a single or multiple users or groups on multiple folder or files with a single click. On top of it, the number of SOs can reach tens of thousands. Not any such means exists in GUI to process multiple resources in this manner. Lack of such means makes this job overwhelming, time-consuming and error-prone. Therefore, administrators are forced to fail to properly assign permissions. This article presents a novel approach that addresses the effective access permissions of active directory users in the form of user-based rather than resource-based as Windows addresses. A program is developed to implement this approach. It is tested on a network environment managed by Windows

Server 2012 operating system. It is shown that this approach allows to easily and quickly examine and report any number of permissions allowed or denied to any number of users on any number of folders. With this approach, administrators can seamlessly check if there is any missing or overlooked setting that could cause a security vulnerability by inspecting the active access status of AD users to multiple folders. In this way, administrators of the information technology (IT) department of companies do not waste their valuable time, and can focus on other duties. This approach can be applied for other active directories or local objects with a slight modification to the program.

2. Related Works

Administrators of IT departments of companies have many tasks to do in daily routines: network security, license management, antivirus, firewalls, backups, software installation and update, recovery, user support, monitoring, user accounts and permissions, file organization and management, shared folders and so on. Each is very important. Companies use Microsoft's AD to centrally manage and organize many of the above-mentioned tasks and company resources (Binduf et al., 2018). In a typical network, users work with or generate precious information contained in shared files and folders. Every local or AD user, (groups and services as well) should be able to access resources related to their role with appropriate rights and not access other irrelevant resources. Therefore, they must have the appropriate permissions (grants or denials) for these resources, but not more than necessary. This is really critical for mitigating information leakage, data loss (e.g., accidental deletion) and so on. That's why administrators put a lot of effort into assigning rights to users.

In Windows, the security tab in the properties dialog of SOs is the main checkpoint for setting permissions on the resources. Users or groups are authorized or denied certain access roles on a per-resource basis. This means that, for example, each folder has to be handled individually by administrators through this GUI, unless using command-line tools. On the other hand, it is really significant for administrators to make sure permissions are set appropriately on multiple folders: users can access resources they need to reach with proper rights and cannot access the ones they shouldn't. In fact, the effective access tab of the advanced security settings dialog box, shown in Figure 1, opened by clicking "Advanced" button in the security tab of the properties window is designed to scrutinize a user's (or group's) access permissions on a single SO. However, this tool only allows processing a single object at a time. The entire process has to be done iteratively, going through all these dialog boxes for each SO. Conversely, there is no simple and easy way to inspect what kind of access permissions certain users possess on multiple folders, due to the non-existence of such means.

To our best knowledge, there is no such tool that makes up for the deficiency of such a mechanism. Rather, some few command-line tools exist for manipulating access permissions. The first tool that comes to mind is Windows' command line tool, icacls, the successor to the WinNT tool cacls. It runs in command prompt, and is used for displaying or modifying access permissions of files or folders. However, working with it is not so easy since it doesn't have a GUI and requires to learn many of its

parameters. In addition, it's not possible to simply get the results in an easily reviewable format, and implement inspections for multiple users and folders. Though it cannot meet the objectives outlined in this article, we demonstrated its output format and deficiencies in the experiments detailed in section 5.

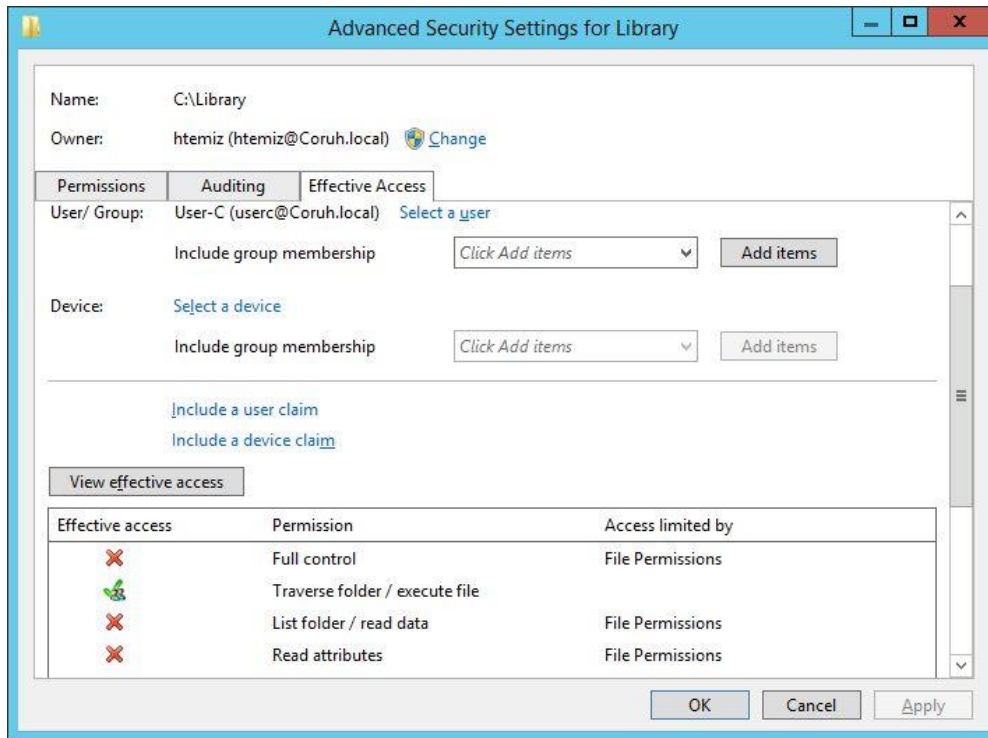


Figure 1. Advanced security settings window to examine the effective access permissions assigned to a user or group on a resource.

Sung and Yoon developed a command-line tool in Windows XP environment to secure a single file at a time by assigning desired permissions on it (Sung and Yoon, 2012). Therefore, it does not allow to inspect or check permissions on files or folders, and lacks a GUI. In addition it works only desktop operating system, thus, can only set permissions for local users – Active Directory (AD) users cannot be handled. Another command-line tool is the ACACLS (Cone, 2003). Besides it mimics the operation of WinNT tool cacls, ACACLS has several additional features to extend cacls' functionality. It aimed to edit existing security lists of files and folders, and to manipulate the inheritance flags of files and directories directly. The limitations of Windows's API hindered to fully achieving the second goal. Nevertheless, it is not designed for inspection or reporting the effective permissions. Rather, it allows to set permission with its scripting interface. In addition, it is developed to run only for the users on a local computer, and therefore, it cannot run in a domain environment. Conversely, there is no such tool devised to check effective access permission (EAPs) on SOs of Windows. This gap is filled with new software that implements the approach introduced in this article. It provides administrators an easy and simple way of checking the EAPs of users on multiple folders, with its GUI.

3. Windows File and Folder Security

The following subsections provide detailed information on the concepts and components of Windows regarding security including file system, access permission mechanisms.

3.1. Access Permission Mechanism

Windows uses two types of security for access control: role-based and Access Control Lists ACL-based. Role-based security is a form of user level security where a server focuses on a logical role of a user rather than focusing on his or her identity. This is simply and commonly implemented with groups that are either local or AD. As opposed to role-based security, ACL-based security focuses more on objects rather than on users. Each SO has its own access control policy represented by a list of permission entries stored in an ACL. It comes with more complexity than role-based system, as typically millions of objects, each with its own ACL, exist in an operating system. The management of this complexity is simplified by inheritance (Brown, 2004).

Access permissions can be assigned one of two ways: explicitly or by inheritance. Explicit permissions are assigned by default when the object is first created, or by user action, whereas inherited ones are given to an object since it is a child of a parent object. Objects inherit all access permissions designated to their containers. If no access is specifically granted or denied, users or groups are denied access (Microsoft, 2009). The precedence hierarchy for the permissions can be summarized as follows -higher precedence permissions are given at the top of the list (Mueller, 2008):

- Explicit Deny
- Explicit Allow
- Inherited Deny
- Inherited Allow

The restrictive permissions override lenient permissions. ACLs allow to set the permissions on files or folders for specific groups or users. ACLs enumerate who (users or groups) has what kind of access (or denials) to certain objects. There are two chief ACL groups: Discretionary Access Control List (DACL) and Security Access Control List (SACL). SACL handles Windows auditing features, whereas The DACL contains a list of access rights granted or denied to certain users or groups on SOs (Microsoft, 2021c).

ACLs convey Access Control Entries (ACEs) that delineate security rights for a user or group. Every typical ACE possesses a header, access mask and security identifier (SID). A SID is a unique value of variable length that is used to identify an individual or group (Microsoft, 2021d). The header defines the type, size, and flags. The access mask specifies the rights that users or groups have to the objects. Inheritance flags in an ACE control how the ACE is to be propagated to the child objects.

Each SO has a security descriptor (SD) that contains all security information related to accessing control for that object. This structure is used to set and query an object's security status. Whenever an

object is accessed, its SD is compared to the permissions of accessing user or group to verify that the requested access is allowed. An SD typically includes the following items (Microsoft, 2021b):

- SID of the owner
- SID of primary group
- A DACL
- A SACL
- Qualifiers for the preceding items

The decision to grant or deny access to an SO is made based on the access rights stored in the ACEs in its DACL. When a user's SID matches a specific ACE, ACE is checked to determine if the access type is Allow or Deny. (Microsoft, 2021a) In this process, ACEs are examined in order. As soon as the security system confirms that all requested access entities are granted or that any of them is denied, it yields success in the former case and a failure in the latter.

3.2. NTFS and Permission Types

The primary file system of Windows is the NTFS (New Technology File System). There is also a newer Resilient File System (ReFS) suggested for use in Storage Spaces, designed as cost-effective platform maximizing data integrity and availability of very large data sets, as of Windows Server 2012 version. NTFS offers a full set of features covering security descriptors, disk quotas, encryption, and rich metadata, and so on. It can be exploited with Cluster Shared Volumes (CSV) to ensure constantly available volumes which can be accessed concurrently from numerous nodes of a failover cluster (Microsoft, 2017). Windows Server 2012 supports volumes as large as 256 TB depending on the cluster size that can be up to 232-1. NTFS has very robust security features that can be even much higher levels with BitLocker Drive Encryption.

NTFS permissions are set to an SO through ACEs in its ACL (NTFS, 2021). They are logically grouped into six basic permissions, each of which is contained a definite set of advanced (special) permissions. These groups make it easier to set complimentary permissions to users or groups (Stanek, 2008). The entire set of permissions is given in Table 1.

Access rights can be changed in the security tab, as shown in Figure 2, in the properties dialog box opened by selecting the properties option from the pop-up menu appearing when right-clicking on a file or folder.

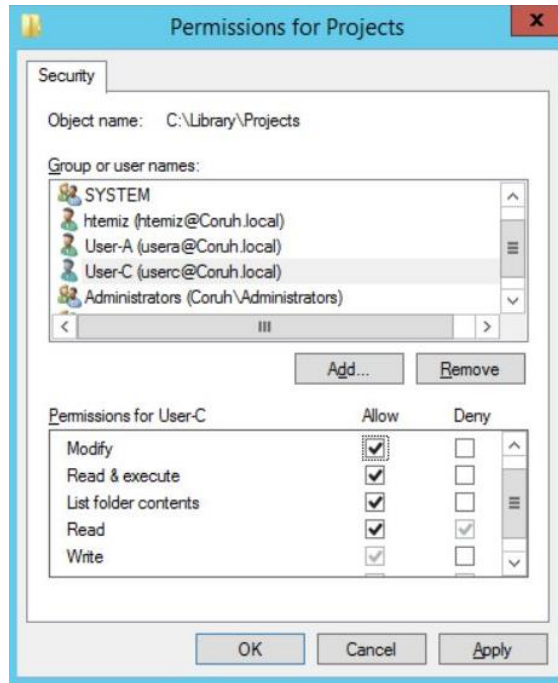


Figure 2. Security tab to configure permissions for a file or folder. This screen provides only superficial (not detailed) information of security permissions for a single resource only.

Table 1. Special permissions for folders

Permission	Full Control	Modify	Read & Execute	List Folder Contents	Read	Write
Traverse Folder / Execute File	✓	✓	✓	✓		
List Folder / Read Data	✓	✓	✓	✓	✓	
Read Attributes	✓	✓	✓	✓	✓	
Read Extended Attributes	✓	✓	✓	✓	✓	
Create Files / Write Data	✓	✓				✓
Create Folders / Append Data	✓	✓				✓
Write Attributes	✓	✓				✓
Write Extended Attributes	✓	✓				✓
Delete Subfolders and Files	✓					
Delete	✓	✓				
Read Permissions	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Change Permissions	✓					
Take Ownership						

4. Proposed Work

Windows focuses on SOs rather than users or groups due to the adoption of ACL-based roles in security permissions. Therefore, access permissions are set individually for each user (except inheritance) on each SO. That is, each time only a single SO can be processed unless there is a program or script dedicated to accomplishing this task. Unfortunately, Windows lacks such a tool that simplifying or facilitating the inspection of EAPs on multiple SOs.

Such a task can be accomplished only by developing a special program carefully designed to scrutinize the DACLs of SOs (folders in our case) and report the results in a GUI. Even if it is necessary, results

can be recorded in files in any desired format. However, the main purpose of this study is to enable administrators to inspect EAPs in an easy, fast and simple way. This goal is achieved by listing all results in a neat GUI that showing each access type and status (grant or deny) assigned to objects for each user. It is clear that the further functionalities can be included to the program as needed or desired.

Our approach is to recursively traverse the folders and check their ACLs for certain users and permissions being scrutinized. The user can select a single or multiple users from AD, and specify any combination of permission types. The program allows to choose a single folder or multiple folders located within a root folder. It is useful to be able to select multiple folders in a particular location in this way because the folders accessed by network users are usually gathered in a root folder. Certain users are then assigned certain access permissions on specific folders based on their role in the organization. The pseudocode of the algorithm is given below:

Algorithm to scrutinize effective access permissions

Inputs:

Users: list of active directory users selected from the program

Folders: path of folders in the root folder selected from the program

Permissions: list of access permissions to be inspected for each user on each folder

Output:

Table: a data table in tabular format with each row stores True or False for each permission for a user on a folder

For each user in Users

For each folder in Folders

 Insert a row into Table with related columns // (user, folder, and permissions)

For each permission in Permissions

For each ACE in folder's ACL

If ACE belongs to user **OR** a group of which user is member

If ACE contains the permission **AND** its type is "Allow"

 Set True in the permission column

Else

 Set False in the permission column

Else

 Set False in the permission column

Return Table

Entire process is very straight. But there are some difficulties in the implementation of this approach because the some feature lack in Windows API. Namely, an ACEs in ACL of a folder may belong either a user or group. If the SID of the ACE is identical to the SID of the user whose permissions are being inspected, we know that that ACE data belongs to that user. We then only check the ACE for the permissions we are inspecting. Otherwise, we need to find out whether the ACE belongs to a group via its SID, and if so, make sure the user is a member of that group to continue further inspections for permissions. Nevertheless, Windows API does not provide a simple mechanism to designate if a SID belongs to a group, or the user is in a role of a group. This issue was overcome with the development of a sub-module that detects membership status by repeatedly checking the members of AD groups.

4.1. Implementation

Thanks to Microsoft's .NET framework, many things get much easier than programming with native Windows' API written in low level C++ language. Though it is still required to refer to native libraries for specific tasks from time to time, the .NET elegantly wraps the main important fractions of the functionality of native APIs. As of version 2.0, the .NET framework introduced a new namespace that brings access control programming to the managed C++ API world. Compared to native programming with C++ language, it is simplified very neatly by introducing new methods and classes in the .NET framework.

The program is developed with Microsoft Visual Studio 2015 version using C# language. It is built to run on the .NET framework 4.5 version. However, it can also run on future versions of the .NET framework, provided it is recompiled for the targeted version. For this purpose, it may require a little tweaking to adapt it to the new versions. The program is tested on Windows Server 2012 version with AD on it within a small-scale network which is established with virtualization technology.

The .NET framework provides a wealth of namespaces dedicated to working on certain tasks or technology from desktop to web applications. Each namespace contains a number of classes, methods and other programming elements for a specific scope. This study required to work on AD services, security principles and folder security entries. The details of the main namespaces used for the program are given in Table 2 (Halsey and Bettany, 2015).

Table 2. Details of the main namespaces used in the program, which provide basic programming components to perform the tasks related to AD users and access permissions

Namespace	Remarks
System.Security.AccessControl	Contains a number of programming elements to manage access control and security-related auditing actions on SOs. The FileSystemSecurity class from this namespace is mainly used to fetch folders' security entries.
System.Directory Services. Account Management	Provides a uniform access and management of user, computer, and group security principals through the multiple principal stores such as AD domain services, AD lightweight directory services, and Machine security account manager.
System.DirectoryServices	Offers easy access to AD Domain Services from managed code. The namespace covers two different classes: DirectorySearcher and DirectoryEntry. A DirectoryEntry object is constructed to access our Domain and passed to DirectorySearcher class to obtain AD users.
System.Security.Principal	Defines the principal object representing the security context under which code is running. Each user are fetched from AD as a Principal object, then, their SIDs are searched in folder's ACEs.
System.IO	Allows to read and write to files and data streams, and elementary file and directory support. This namespace is used for typical file and folder operations and to get ACEs of folders with the GetAccessControl method of the Directory() class.

The other base namespaces and classes that are used as core components to develop an application, such as the System.Windows.Forms namespace that used to create the main window of the program, are not mentioned since they are well known. Only the technologies required for the implementation of this particular task are detailed.

The main windows of the program is presented in Figure . The program has two list boxes, one of which lists AD users and the other access types to inspect. Each item in the lists is shown with a checkbox that can be selected individually. Any combination of the items in these lists can be selected. By ticking the checkbox “Select All”, all items in a list can be selected or de-selected vice versa. The current folder path is shown next to “Path” text. Users can change the current location by the “Folder Browser” dialog opened when clicking “Change” button. The “Inspect” button kicks inspection process with given settings.

The results are given in a tabular format that each row shows a user's rights to a folder for given access permission types. Each column of access types displays Yes or No to indicate that the user is allowed or denied for the relevant access, respectively. The results can be sorted according to any column in ascending or descending order by just clicking the header of the relevant column. In this way, an administrator can easily examine if the permissions are set properly or not. He or she then be sure that everything is okay, or, takes necessary actions to remedy issues specific to access permissions in case of any overlooked or inappropriate security assignment to users.

Entire results can be stored in an Excel file by clicking the ‘Save’ button. With this feature, administrators can store access information for later use, further analyze the data using Excel’s advanced filtering features, or keep them as a snapshot of settings at a certain time.

We have confirmed through our experiments that our tool correctly identifies the access permissions. For this purpose, we compared the results obtained with the Windows GUI tool (effective access tab) with the results obtained from our tool. We observed that both tools produced exactly the same results.

5. Experiment

We established an experiment to demonstrate the impact of our approach. For the experiment we created 10 individual folders under the path C:\Library by assigning each of them a few different permission settings. We created 6 users in our AD environment: User-A, User-B, User-C, User-D, User-E and User-F.

We compared our approach with the icacls command-line tool and the GUI tool of Windows located in the Effective Access tab in the Advanced Security Settings dialog. We measured the completion time only for the Effective Access dialog and our program since it is not possible to accomplish the similar task with the icacls for a reasonable time. We benchmarked these three tools in various aspects in the last part of this section. The following sub-sections present the experiments accomplished with each tool.

5.1. Experiment with icacls

In this section, we show how and to what extent an administrator can exploit the icacls.exe tool to check access permissions. As discussed earlier, it is a command-line tool that lists results in some sort of structured text with indentations and uses a special abbreviation for each permission type. Below, we pasted in a snippet of the results when we issued “C:\icacls c:\library* /t” for the library folder located at the root of C: drive. The t parameter is issued to perform the query for subdirectories.

...

```
c:\library\Accounts Coruh\Sample Group:(I)(OI)(CI)(DENY)(R)
```

```
    Coruh\userc:(I)(OI)(CI)(DENY)(R)
```

```
    Everyone:(I)(OI)(CI)(RX)
```

```
    Coruh\guess:(I)(OI)(CI)(F)
```

```
    Coruh\Sample Group:(I)(OI)(CI)(W)
```

```
    Coruh\usera:(I)(OI)(CI)(F)
```

```
c:\library\Archive Coruh\Sample Group:(I)(OI)(CI)(DENY)(R)
```

```
    Coruh\userc:(I)(OI)(CI)(DENY)(R)
```

```
    Everyone:(I)(OI)(CI)(RX)
```

```
    Coruh\guess:(I)(OI)(CI)(F)
```

```
    Coruh\Sample Group:(I)(OI)(CI)(W)
```

```
    Coruh\userb:(I)(OI)(CI)(F)
```

...

The icacls tool displays or modifies the access permissions with DACLs assigned directly to users or groups on a resource (SO). Each individual permission entry is given with its abbreviation in parenthesis. E.g., (I) and (F) denote the permissions “inherited” and “full access”, respectively. In brief, these abbreviations denote the permission types given in

Table 1, and information about their inheritance status with the letter I. Since it is more technical, domain-specific, and out of the scope of this paper, we keep this information short and concise, and note that interested readers should refer to (Microsoft, 2021c) for further detailed explanations. Each permission entry explicitly assigned to a particular folder is given in the indented rows below the line where the folder path is written.

It's good practice to group users in the same department and/or in the same role into specific groups, and that's how it's usually done. In this way, the operation and management of IT resources are simplified. Access permissions are assigned to groups rather than users unless required. Especially when it is requested to grant/deny a certain access right to a certain user, the relevant regulation is made only for that user.

Given a particular user's access rights are not explicitly assigned for a resource, the only way to resolve the rights of that user is to examine the rights assigned to the groups that that person is a member of. For example, in the last line, it is seen that some permission (I, OI, CI, and F) are

explicitly given to “User-A”. But what about other users (even more, groups that are members of other groups)? Their access rights are ambiguous, even though there is some preliminary information known by every administrator, e.g., all users are members of the “everyone” group, since they cannot make sure the membership status of a particular user for groups given in DACLs. When an administrator tries to examine the permissions (either, grant or deny) for a particular user (and even in more detail), let us say the User-B, he or she has to check the membership status of User-B recursively for each group given in DACL entry to resolve the inherited rights or denies as described in section 3.1.

In summary, it is far beyond being hard to resolve the detailed information with iclacs per user. When it comes to performing such a task for multiple users and resources, no way! However, in fairness, we must state that the iclacs is a very useful tool for administrators to set permissions with scripts but not for tasks of which aimed at this paper.

5.2. Experiment with GUI Tool

Another way to check access rights of users on particular resources is the Windows GUI served in the Effective Access tab in the Advanced Security Settings dialog, as described in detail in the sections 2 and 3.2. This dialog graphically displays a detailed list for the rights and denies for a particular user on the resource that is right-clicked to open this dialog. The screen output of this tool for the inspection performed for User-B on the Projects folder is given in Figure 3. Detailed output of GUI (effective access tab) when inspection is performed for User-B on the Projects folder.

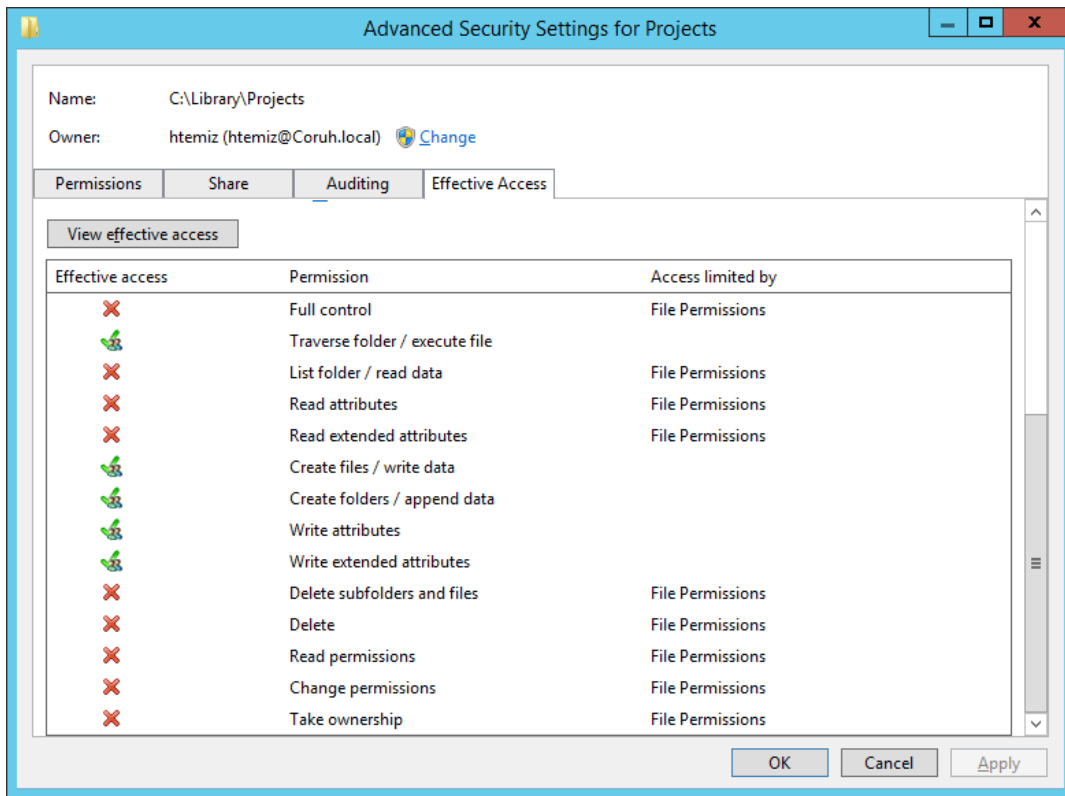


Figure 3. Detailed output of GUI (effective access tab) when inspection is performed for User-B on the Projects folder.

To be honest, this dialog box presents the user's access rights in a very neat and detailed way. But only for a single user at a time. One can choose only a single AD or local user each time to display effective rights of that user on the resource. So, it does not provide any means to perform an examination for multiple users and on multiple resources in one go, and export the displayed information in any format. Therefore, performing multiple inspections would turn out to be a very time-consuming, annoying and error-prone task. Given that hundreds of users and many resources exist in organizations, it is not possible to perform such tasks with this tool, as it will take days.

In order to get readers to imagine how long it would take, we asked three administrators to perform our experiment as described at the beginning of this section, and measure the elapsed time. We also asked them to fill the table in the form as yielded by our program given in Table 3. We then averaged their completion times. The average completion time for a single user and 10 folders was 14.47 minutes. If the number of folders remains the same and there were a hundred users, it would take 1447 minutes, in other words, more than 3 business days. However, the number of folders and even users are often many times higher than the numbers assumed in our experience.

The burden this task imposes on the IT department can easily be imagined given the dynamic work environment of IT due to changes in employee roles, entitlements, and even leave and hiring.

5.3. Experiment with Proposed Tool

We repeated the same experiment with our tool as well. But this time for more users. In this case, each folder located under the path “C:\library” are inspected for AD users User-A, User-B, User-C and User-D for all permission types. The output of our tool is demonstrated in Figure 4.

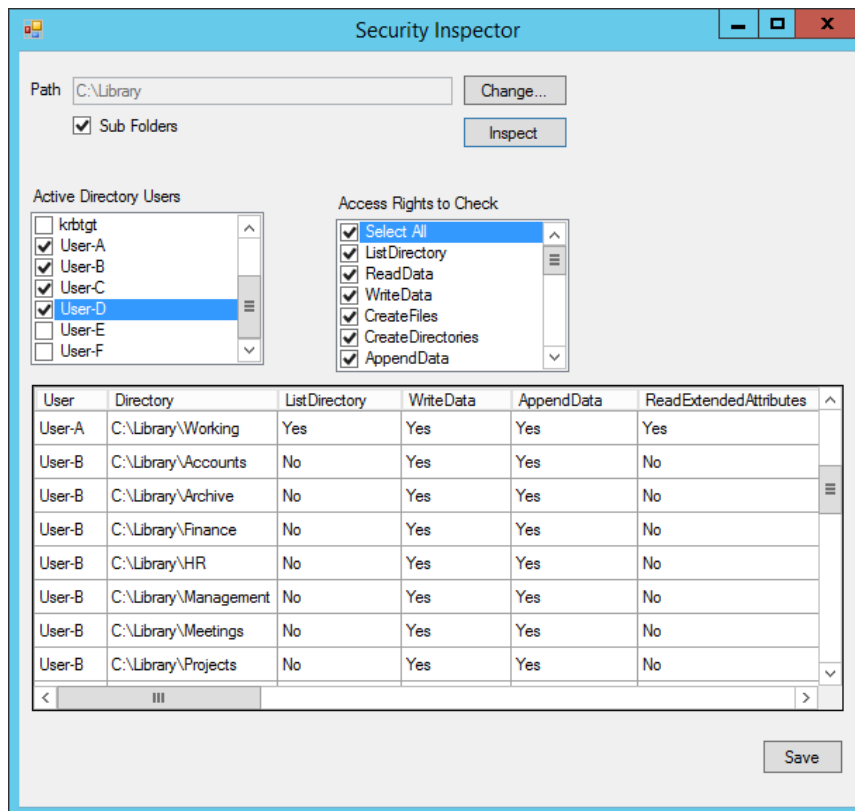


Figure 4. Main window of the program and its detailed output when inspection is performed for users User-A, User-B, User-C and User-D on the sub folders of the path C:\Library.

Our tool produces the outputs in a tabular format, which is not possible to obtain with prior discussed Windows’ tools. It is very easy with proposed to produce such a detailed report with just few clicks without manual typing, repeating the procedure for multiple users or resources, and so on. Besides diagnosing the results on the display, it is possible to export all reported data to an Excel file. We present in Table 3 a fragment of the report saved in an Excel file for User-B obtained in this experiment. In total, 19 distinct entry info gathered by the tool for each folder and user are presented in a separate columns. If a user has an access right for given permission type, it is denoted as ‘Yes’ in the relevant column, otherwise as ‘No’.

The completion time of our tool is averaged since in the previous experiment the completion time was calculated for one user and for this time four users. The average completion time for 1 user and 10 sub folders is approximately 13 seconds. This is very impressive compared to the completion times of Windows’ tools, and considering that there is no need for any manual or repetitive operation to complete the task.

Table 3. A fragment of the detailed output of our program written in an Excel file.

User	Directory	ListDirectory	WriteData	AppendData	ReadExtendedAttributes	WriteExtendedAttributes	Traverse	DeleteSubdirectoriesAndFiles	ReadAttributes	WriteAttributes	Write	Delete	ReadPermissions	Read	ReadAndExecute	Modify	ChangePermissions	TakeOwnership	Synchronize	FullControl
...																				
User-B	C:\Library\Accounts	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	No	No	No	Yes	No	No	No	Yes	No
User-B	C:\Library\Archive	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	No	No	No	Yes	No	No	No	Yes	No
User-B	C:\Library\Finance	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	No	No	No	Yes	No	No	No	Yes	No
User-B	C:\Library\HR	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	No	No	No	Yes	No	No	No	Yes	No
User-B	C:\Library\Management	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	No	No	No	Yes	No	No	No	Yes	No
User-B	C:\Library\Meetings	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	No	No	No	Yes	No	No	No	Yes	No
User-B	C:\Library\Projects	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	No	No	No	Yes	No	No	No	Yes	No
User-B	C:\Library\R&D	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	No	No	No	Yes	No	No	No	Yes	No
User-B	C:\Library\Surveys	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	No	No	No	Yes	No	No	No	Yes	No
User-B	C:\Library\Working	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes	No	No	No	Yes	No	No	No	Yes	No
...																				

As a last, we present in Table 4 the comparisons of the tools in terms of operation type, completion time, usability, elaboration, basis and reporting capabilities. Operation indicates if the entire process is accomplished automatically without any user intervention or manually in a repetitive manner. Elaboration means whether the tools give a detailed result or not.

Table 4. Comparison of our approach with Windows' command-line and GUI tools. Completion times are computed for a single user and 10 folders.

Method	Operation	Completion	Usability	Elaboration	Based on	Reporting
Proposed	Automatic	13 seconds	Very easy	Yes	User	Excel
Windows GUI	Manual	14.47 minutes	Not easy	Yes	Resource	No
icacls	Manual	N/A	Too far from easy	No	Resource	No

As can be seen from the table, the proposed program is superior to the Windows' built-in tools in every respect and provides all kinds of features that these tools cannot provide on their own. It enables access permission inspection to be done much more successfully than Windows can offer, in a short time and with detailed reporting.

6. Discussion and Conclusion

In their busy day-to-day work, administrators of IT departments of organizations have to deal with orchestrating users' access to various network resources. It is a very important requirement for them to ensure that the effective access permissions granted or denied to users are appropriate and that there are no vulnerabilities in network security. Windows offers a resource-based access mechanism that makes it possible to check users who have access to a resource on a resource basis (but individually, not collectively). However, being able to list all resources that a user can or cannot access with certain permission types is something needed by administrators to ensure network security. But Windows does not provide such a mechanism to easily and quickly examine the resources accessed on a user basis, together with their access types (grant or denial).

By considering the resource-based access permissions mechanism of Windows from the opposite perspective as user-based access, the proposed approach allowed administrators to examine whether there are any security vulnerabilities in the access permissions assigned to users on multiple resources. In the approach, access permission information is programmatically collected from the resources is transformed into a form of user-based access permission information. With this approach any overlooked, missing, or lenient settings in the assignment of access permissions can easily be found.

As far as we know, a tool that allows detailed inspection and reporting of access permissions in a different way than the existing tools provided by Windows has been developed for the first time. The program allows inspection access rights of any number of AD users on multiple folders in a fast, simple and detailed fashion. The inspections can be done for any combination of access permissions. The experimental studies have revealed that the program will provide a great convenience to administrators in verifying access permissions.

Although this approach has been implemented only for AD users' access permissions to folders, it can be applied to groups and other SOs (e.g. individual files). If necessary, the capabilities of the program can be improved with a few minor adjustments. For example, changing security settings from the GUI, or storing the inspection results in files and so on. Such features can be included in the program through relevant libraries and modules provided in Microsoft .NET framework. Such features can be easily incorporated into the program through the corresponding libraries and modules.

Conflict of Interest Statement

The authors of the article declare that there is no conflict of interest.

Author Contribution Statements

The authors declare that they have contributed equally to the article.

References

- Binduf A., Alamoudi HO., Balahmar H., Alshamrani S., Al-Omar H., Nagy N. Active directory and related aspects of security. In 2018 21st Saudi Computer Society National Computer Conference (NCC) 2018; 4474-4479.
- Brown K. The. NET Developer's Guide to Windows Security (Microsoft Net Development Series. Addison-Wesley Professional. 2004.
- Cone JM. ACACLS: A tool for examining and modifying file and directory security on NTFS volumes in a Windows NT environment. California State University, Long Beach, 2003.
- Halsey M., Bettany A. Restoring files and folder security settings. Windows File System Troubleshooting. Berkeley, CA: Apress 2015.
- Microsoft. File and Folder Permissions. Microsoft Documentation. Retrieved August 24, 2021, from [https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windows-2000-server/bb727008\(v=technet.10\)?redirectedfrom=MSDN](https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windows-2000-server/bb727008(v=technet.10)?redirectedfrom=MSDN), 2009, September 12.
- Microsoft. (2017, April 5). NTFS Overview. Microsoft Documentation. Retrieved August 11, 2021, from [https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windows-server-2012-r2-and-2012/dn466522\(v=ws.11\)](https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windows-server-2012-r2-and-2012/dn466522(v=ws.11))
- Microsoft. (2021a, July 1). DACLs and ACEs. Microsoft Documentation. Retrieved August 27, 2021, from <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/win32/secauthz/dacls-and-aces>
- Microsoft. (2021b, July 1). File Security and Access Rights. Microsoft Documentation. Retrieved August 26, 2021, from <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/win32/fileio/file-security-and-access-rights>
- Microsoft. (2021c, September 27). icacls. Microsoft Documentation. Retrieved January 8, 2022, from <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-server/administration/windows-commands/icacls>
- Microsoft. (2021d, February 04). Security Descriptor Structure. Retrieved August 28, 2021, from https://docs.microsoft.com/en-us/windows/win32/api/winnt/ns-winnt-security_descriptor.
- Mueller JP. Administering Windows server 2008 server core. John Wiley & Sons. 2008.
- NTFS. Troubleshooting access to files and shared folders. NTFS — New Technology File System. Retrieved August 21, 2021, from <https://www.ntfs.com/ntfs-permissions-troubleshooting.htm>
- Stanek W. Windows Server 2008 inside out. Pearson Education 2008.
- Sung K., Yoon H. Implementation of file security module using on windows. Journal of the Korea Society of Computer and Information 2005; 10(2): 105–112.

Donma/Çözülme ve Sıcaklığın BFRP Kompozitlerle Güçlendirilmiş Betonların Davranışlarına Etkisi

Zeynep YAMAN¹, İrfan Şehrullah ÖZTÜRK^{2*}, Mehmet EMİROĞLU³

¹Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Disiplinlerarası Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı, 81620, Düzce

^{2,3}Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 54050, Sakarya

¹<https://orcid.org/0000-0002-7043-1776>

²<https://orcid.org/0000-0002-2775-5433>

³<https://orcid.org/0000-0002-0214-4986>

*Sorumlu yazar: sehrullahozturk@sakarya.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 06.10.2021

Kabul tarihi: 29.12.2021

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Bazalt elyaf

Donma/çözülme

Yanal güçlendirme

Polimer esaslı kompozitler

Sıcaklık etkisi

Bu çalışma kapsamında C16 ve C25 beton dayanım sınıflarında üretilmiş olan 100x200 mm ebatlarındaki silindirik numuneler bazalt elyaf takviyeli polimerlerle yanal olarak güçlendirilmiş ve bu güçlendirilen numunelerin donma/çözülme ve sıcaklık etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Sıcaklık etkisinin inceleneceği silindirik beton numuneler 25 °C, 60 °C, 100 °C ve 150 °C sıcaklıklara 12 saat süresince maruz bırakılmış ve daha sonra basınç dayanımları, bağıl kütleleri, rezonans frekansları ve dinamik elastisite modülleri üzerindeki değişimler referans numuneler ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Donma/çözülme etkisinin inceleneceği silindirik beton numuneler ise 30, 60, 90 ve 120 çevrim donma/çözülme işlemine maruz bırakılmış ve numunelerin rezonans frekansları, dinamik elastisite modülleri, ultrases geçiş hızları ve basınç dayanımları üzerindeki değişimler referans numuneler ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sonuç olarak yanal güçlendirme uygulanmış her iki dayanım sınıfındaki numunelerin basınç dayanımlarında güçlendirme uygulanmamış numuneye oranla artış görülmüştür. Yanal güçlendirme uygulanmış numunelerin hem donma/çözülme çevrim sayısı arttıkça hem de maruz kaldıkları sıcaklık derecesi arttıkça performanslarında azalmalar gözlenmiştir. Bununla birlikte özellikle basınç dayanımı açısından kıyaslandığında, güçlendirme uygulanmış numunelerde 90 çevrim donma/çözülme veya 150 °C sıcaklık koşullarında dahi güçlendirilme uygulanmamış ve donma/çözülme ile sıcaklık etkisine maruz kalmamış numunelerin basınç dayanımı değerlerinden daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir.

Effect of Freezing/Thawing and Temperature on Behavior of Concretes Reinforced with BFRP Composites

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 06.10.2021

Accepted: 29.12.2021

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Basalt fiber

Freeze/thaw

Lateral reinforcement

Polymer-based composites

Effect of temperature

Within the scope of this study, 100x200 mm cylindrical samples produced in C16 and C25 concrete strength classes were laterally reinforced with Basalt Fiber Reinforced Polymers (BFRP), and their performance under the freeze/thaw cycles and the elevated temperature was investigated. The cylindrical concrete samples were exposed to 25 °C, 60 °C, 100 °C, and 150 °C for 12 hours. Then the changes in their compressive strength, relative masses, resonance frequencies, and dynamic modulus of elasticity values were compared with the reference samples. When the freezing/thawing effect is examined, specimens were subjected to 30, 60, 90, and 120 cycles of freezing/thawing, and the changes on the resonance frequencies, dynamic modulus of elasticity, ultrasound pulse velocity, and compressive strength values of the samples were compared with the reference samples. As a result,

the compressive strength of the concrete samples laterally reinforced was increased compared to the sample without BFRP reinforcement. It was observed that the samples' performance with lateral reinforcement decreased while increasing the freeze/thaw cycles and temperature. However, the compressive strength values of the GFRP reinforced concrete samples, even under 90 cycle freezing/thawing or 150°C temperature conditions, were higher than those not reinforced with GFRP and not exposed to freezing/thawing and temperature.

To Cite: Yaman Z., Öztürk İŞ., Emiroğlu M. Donma/Çözülme ve Sıcaklığın BFRP Kompozitlerle Güçlendirilmiş Betonların Davranışlarına Etkisi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(2): 551-569.

Giriş

Beton; agrega, çimento, su ve gerektiğinde mineral ve/veya kimyasal katkı maddelerinin belirli oranlarda bir araya getirilmesiyle elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olan ve çimentonun hidrasyonu ile zamanla sertleşerek mukavemet kazanan bir kompozit malzemedir (Baradan ve ark., 2012; Şimşek, 2016). Beton ile üretilen yapı ve yapı ürünlerinin mekanik ve çevresel etkilere karşı işlevlerini servis ömürleri boyunca deformasyona uğramadan yerine getirebilmesi durabilite olarak tanımlanmaktadır (Durmuş ve Kara, 2010; Baradan ve Aydın, 2013).

Servis ömürleri boyunca çevresel etkilere maruz kalan yapı ve yapı ürünlerinin bozulmalarına sebep olan faktörler fiziksel ve mekanik etkenler (aşırı yükleme, darbe, büzülme/şişme, sıcaklık, donma/çözülme vb.) ile kimyasal ve biyolojik etkenler (karbonatlaşma, asit etkileri, sülfat etkisi, alkali-agrega reaksiyonu, korozyon vb.) şeklinde sınıflandırılmaktadır (Baradan ve Aydın, 2013). Bu çevresel etkiler öncelikle yapı ve yapı ürünlerinin dış ortama açık olan kısımlarını etkileyerek; çatlama, kapak atma, dayanım/rijitlik kaybı gibi sorunlara sebep olmaktadır. Zamanla bu çevresel etkiler iç kısımlara doğru ilerleyerek yapı ve yapı ürünlerinin işlevlerini servis ömürlerini tamamlamadan kaybetmesine sebep olmaktadır (Baradan ve Aydın, 2013; Akın, 2019).

Betonun bozulmaya uğrayarak servis ömrünü tamamlamadan işlevini yitirmesine sebep olan temel faktörlerden bir tanesi donma/çözülme olayıdır (Güleryüz ve ark., 2020; Gönen ve Yazıcıoğlu, 2021). Suya doymun haldeki sertleşmiş betonun kılcal boşluklarındaki su, düşük sıcaklıklarda buz haline dönüşmekte ve hacmi yaklaşık olarak %8-9 oranında artmaktadır (Kaya ve ark., 2016; Güleryüz ve ark., 2020). Bu olayın sonucunda betonda çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Donma/çözülme olayına tekrarlı bir şekilde maruz kalan betonda çekme gerilmeleri gittikçe artmaktadır. Artan çekme gerilmelerinin betonun çekme direncini yenmesi sonucunda betonda çatlaklar oluşmaktadır. Çatlakların bir araya gelerek büyümesi sonucunda ise betonda parçalanmalar gözlenmektedir (Kaya ve ark., 2016; Güleryüz ve ark., 2020; Gönen ve Yazıcıoğlu, 2021).

Betonun yapısına zarar vererek servis ömrünü tamamlamadan işlevini yitirmesine sebep olan faktörlerden bir diğeri ise sıcaklık etkileridir. Betonda 105 °C üzerindeki sıcaklıklarda kapiler boşluklardaki ve kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jellerinin yapısındaki suyun buharlaşması sonucunda büzülme oluşmaktadır. Betonun iç yapısında oluşan çatlaklar sebebiyle çekme dayanımı azalmaktadır. Sıcaklık yaklaşık 300 – 400 °C'ye ulaştığında betonun içerisindeki alüminli ve demir oksitli bileşenler dehidratasyona uğramakta ve bunun sonucunda da basınç dayanımı düşmektedir. Ayrıca $Ca(OH)_2$

sıcaklığın etkisiyle kirece dönüşmekte ve yaklaşık olarak hacimce %30'luk bir büzülme meydana gelmektedir. 500 - 600 °C'de betonun ana bağlayıcı fazı olan C-S-H jellerinin büyük bir kısmı ayrılmaktadır. 800 °C'de ise betonu oluşturan bileşenlerin hemen hemen tamamı parçalanmaktadır. Bu sıcaklık derecesi betonun yaklaşık olarak %70 oranında dayanım kaybına ve önemli miktarda ağırlık kaybına yol açmaktadır (Dündar ve Çınar, 2020; Çınar ve ark., 2021).

Sıcaklık etkileri molekül yapılarında değişiklikler meydana getirmesi sebebiyle polimerleri de önemli ölçüde etkilemektedir. Sıcaklık değerleri polimerlerin camsı geçiş sıcaklık değerlerine ulaştığında polimerler yumuşamaya başlamaktadır. Polimerlerin camsı geçiş sıcaklığı değerlerinden sonra moleküler yapılarında meydana gelen değişiklikler sebebiyle elastisite modülleri önemli ölçüde azalmaktadır. Polimerlerin camsı geçiş sıcaklığı reçine tipine bağlı olmakla birlikte genellikle 65 °C ile 120 °C arasında değişmektedir. Özellikle FRP ile güçlendirilen yapı elemanlarında polimerin özellikleri yapı elemanı ile FRP arasında önemli bir etkidir. Çünkü sıcaklık etkileri camsı geçiş sıcaklığına yaklaştıkça polimerin mekanik özellikleri önemli derecede azalmakta ve bunun sonucunda da yapı elemanı ile FRP arasındaki aderans azalmaktadır. Geçmiş yıllarda 60 °C ile 124 °C arasında geçiş sıcaklığına sahip malzemeler üzerinde yapılan bir çalışmada sıcaklığın 200 °C'lere çıkması sonucunda aderans kuvvetinde %80 ila %90 arasında bir azalmanın yaşandığı sonucuna varılmıştır. Meydana gelen aderans kaybı sebebiyle yapı elemanından FRP'ye gerekli yük aktarımı gerçekleşmemekte ve güçlendirme işleminden beklenen iyileştirmeler sağlanamamaktadır. (Bulut, 2006)

Son yıllarda deprem, çevresel etkiler ve diğer çeşitli etkenler sebebiyle hasar gören veya görmesi muhtemel olan beton yapı elemanlarının onarım ve güçlendirmesinde FRP kompozitler yaygın olarak kullanılmaktadır. FRP kompozitlerin son derece hafif malzemeler olması (yapı ağırlığını arttırmaması), kolay ve hızlı bir şekilde uygulanması (zaman tasarrufu sağlaması) ve uygulanan malzemenin taşıma kapasitesini önemli ölçüde arttırması gibi avantajları onarım ve güçlendirme çalışmalarında tercih edilmesini sağlamaktadır (Sarıbyık, 2018; Maras, 2021). Onarım ve güçlendirme amacıyla kullanılan FRP'ler, yüksek fiziksel özelliklere sahip karbon, cam, aramid ve bazalt kumaşların epoksi reçinesi ile doyurulması sonucu plaka veya kumaş şeklinde farklı formlarda üretilmektedir (Akbalık, 2020). Yapılan çalışmalar sonucunda FRP kompozitler ile güçlendirilmiş beton yapı elemanlarının dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin önemli ölçüde arttığı görülmüştür (Sarıbyık, 2018; Ustabas ve ark., 2020; Maras, 2021).

Genel olarak günümüze kadar betonarme elemanların polimer takviyeli kompozitler ile güçlendirilmesi konusundaki çalışmalar incelendiğinde, güçlendirmenin betonarme elemanının mekanik performansına etkileri ile betonarme elemanda en iyi performans için polimer kompozitin hangi oranda ve hangi bölgede uygulanması gerektiği konularının detaylı çalışıldığı anlaşılmaktadır (İlki ve ark., 2008; Siddika ve ark., 2019; Khaloo ve ark., 2020; Siddika ve ark., 2020). Ancak çevresel koşullara maruz kalan bu elemanların durabilite özellikleri hakkında yeteri kadar çalışmanın bulunmadığı saptanmıştır. Bu çalışma kapsamında üretilmiş olan iki farklı beton sınıfındaki (C16 ve

C25) silindir numuneler bazalt lif takviyeli polimerler (BFRP) ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilmiş olan bu numunelerin önemli çevresel faktörlerden olan donma/çözülme ve sıcaklık etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Farklı donma/çözülme çevrimleri ve farklı sıcaklık etkileri ayrı ayrı uygulandıktan sonra numunelerin rezonans frekansları, bağlı kütleleri, dinamik elastisite modülleri, ultrases geçiş hızları ve basınç dayanımları üzerindeki değişimler deneysel olarak incelenmiştir.

Materyal ve Metot

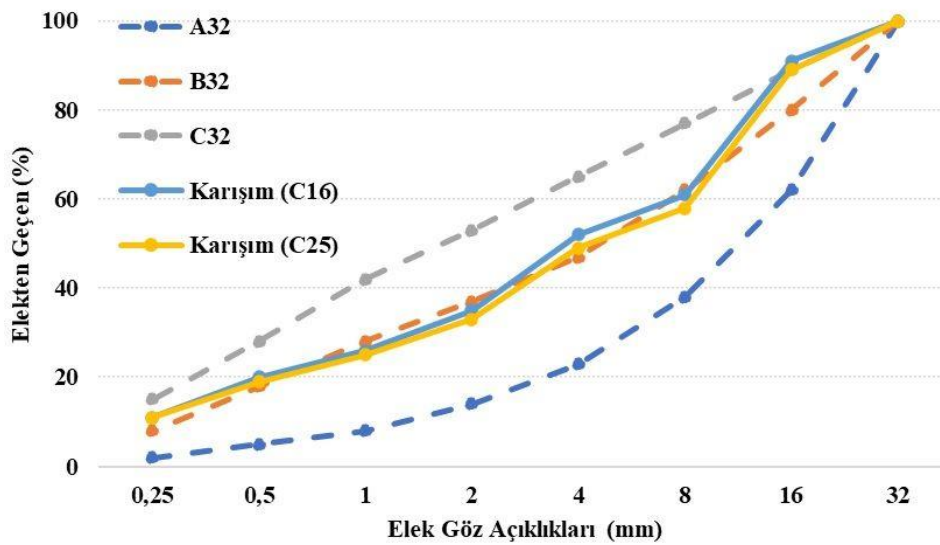
Materyal

BFRP ile güçlendirilmiş silindir numunelerin donma/çözülme ve sıcaklık etkisi altındaki davranışlarının incelendiği bu deneysel çalışmada, 30 adet C16 ve 30 adet C25 beton sınıfına sahip silindir numuneler üretilmiştir. Çalışmada kullanılan agregaların tane büyüklüğüne göre özgül ağırlıkları ve su emme oranları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Betonda kullanılan agregaya ait fiziksel özellikler

Agrega Tane Büyüklüğü (mm)	0-5	5-11	11-22
Özgül Ağırlık	2,70	2,71	2,68
Su Emme (%)	0,80	0,57	0,40

Şekil 1’de agregalar için önerilmiş olan sınır değerlere ait granülometri eğrileri ve deneyde kullanılan agregalar için karışımlarına ait granülometri eğrileri verilmiştir. Deneyde kullanılan karışıma ait granülometri eğrileri standartlarda önerilmiş olan sınır değerler arasında yer almaktadır.



Şekil 1. Karışımlarda kullanılan agregaların granülometri eğrileri

Ayrıca silindir numunelerin üretilmesinde CEM I 42,5 R sınıfı çimento, kimyasal katkı olarak akışkanlaştırıcı katkı, karma ve kür suyu olarak şebeke suyu kullanılmıştır. İki farklı beton sınıfı için üretilen silindir numunelere ait karışım oranları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Beton üretiminde kullanılan karışım oranları (1 m³)

Numune Kodu	C16/20	C25/30
Taş Kumu (kg - %)	1010 (%53)	923 (%50)
I Numara Mıdır (kg - %)	421 (%22)	408 (%22)
II Numara Mıdır (kg - %)	478 (%25)	519 (%28)
Çimento (kg)	280	350
Su (kg)	184,9	184,2
Akışkanlaştırıcı Katkı (kg - %)	3,08 (%1,1)	3,85 (%1,1)

C16 ve C25 beton sınıfında üretilen silindir numunelerin yanal olarak güçlendirilme işlemlerinde kullanılan BFRP kumaşın teknik özellikleri Tablo 3’te ve çalışmada kullanılan epoksi reçinesine (Sikadur 330) ait teknik özellikler ise Tablo 4’te verilmiştir

Tablo 3. BFRP Kumaşın Malzeme Özellikleri

Özellik	Değer
Yoğunluk (g/cm ³)	2,70
Desen	Tek Yönlü
Çekme Dayanımı	2200 MPa

Tablo 4. Epoksi Reçinesinin Malzeme Özellikleri

Sikadur 330	
Yoğunluk	1,3 kg/l (+23 °C’de)
Çekme Dayanımı	30 MPa (+23 °C’ de 7 günlük)
Elastisite Modülü	Eğilme: 3800 MPa Çekme: 4500 MPa
Karışım	A : B Bileşeni = 4 : 1 ağırlıkça
Termal Genleşme Katsayısı	$4,5 \times 10^{-5}$ 1/K (-10 °C ile +40 °C arasında)
Kopma Uzaması	%0,9 (+23 ⁰ C’de 7 Günlük)

Metot

Bu çalışmada 30 adet C16 ve 30 adet C25 beton dayanım sınıfında olacak şekilde çapı 100 mm, boyu 200 mm ölçülerinde toplam 60 adet silindir numune üretilmiştir. Üretilen numuneler kür havuzunda 28 gün boyunca standart su küründe bekletilmiştir. Kür işlemi sonrası numuneler etüvde kurutulmuş ve

basıncılı hava yardımı ile yüzeyleri temizlenmiştir. Çalışmada referans olması için her iki beton sınıfından üçer adet numune üzerinde güçlendirme uygulamadan basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Geriye kalan ve yüzeyleri temizlenmiş olan numunelere (27+27) ise bazalt kumaş ile yanal güçlendirme uygulanmıştır.

Güçlendirme aşamasında ilk olarak, Sikadur-330 2-Bileşenli Epoksi Esaslı Doyurma (laminasyon) Reçinesi A-bileşeninden 80 gr, B-bileşeninden 20 gr alınarak el mikseri vasıtasıyla düzgün kıvamlı ve homojen hale gelene kadar ilk olarak düşük devirde daha sonra ise yüksek devirde karıştırılmıştır. Daha sonra hazırlanan bu epoksi reçinesi fırça yardımıyla tek kat olacak şekilde silindir numunelerin yanal yüzeylerine ve bazalt kumaş malzemesinin beton numunelere temas edecek yüzeylerine lif doğrultusuna paralel yönde (reçinenin lif demetleri arasından dışarı çıkması sağlanarak) metrekareye 1,20 kilogram olacak şekilde uygulanmıştır. Yanal güçlendirme uygulamasında tek yönlü bazalt kumaş malzemesi 3 cm bindirme payıyla numunelerin yanal yüzeylerine sarılmış ve tel rulo yardımıyla üzerlerinden geçilmiştir. Numunelerin güçlendirme aşamalarına ait görseller Şekil 2’de verilmiştir.

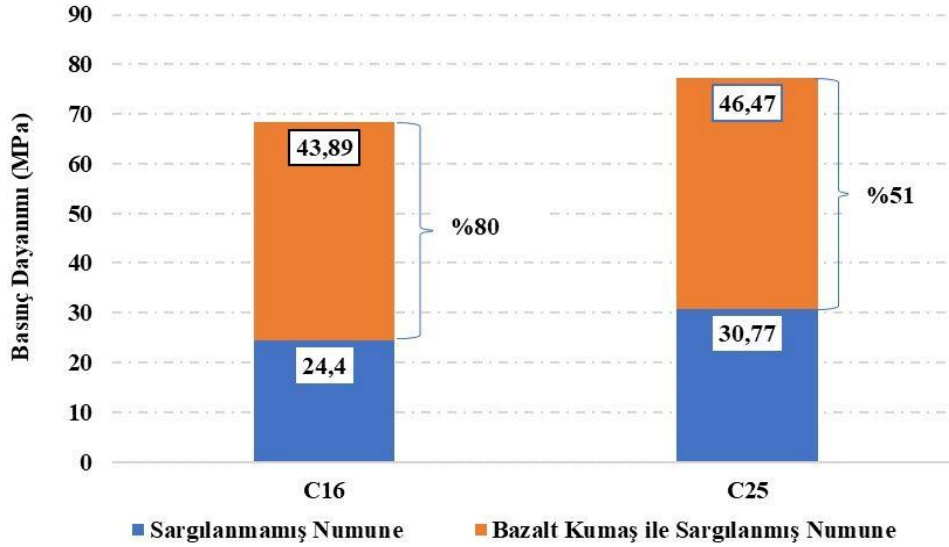


Şekil 2. Beton numunelerin BFRP ile yanal güçlendirilme aşamaları.

Yanal güçlendirme işlemi uygulanmış silindirik numuneler epoksi polimerinin yeterli dayanıma ulaşması amacıyla en az 7 gün süresince bekletilmiştir. Daha sonra bu silindirik numunelerin donma/çözülme ve sıcaklık etkisi altındaki davranışları incelenmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Güçlendirilme uygulanmamış ve bazalt kumaş ile yanal olarak güçlendirilme uygulanmış C16 ve C25 beton dayanım sınıflarında üretilen silindir numunelere ait basınç deneyi sonucunda elde edilen basınç dayanımı değerleri Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Numunelerin basınç dayanımı değerleri

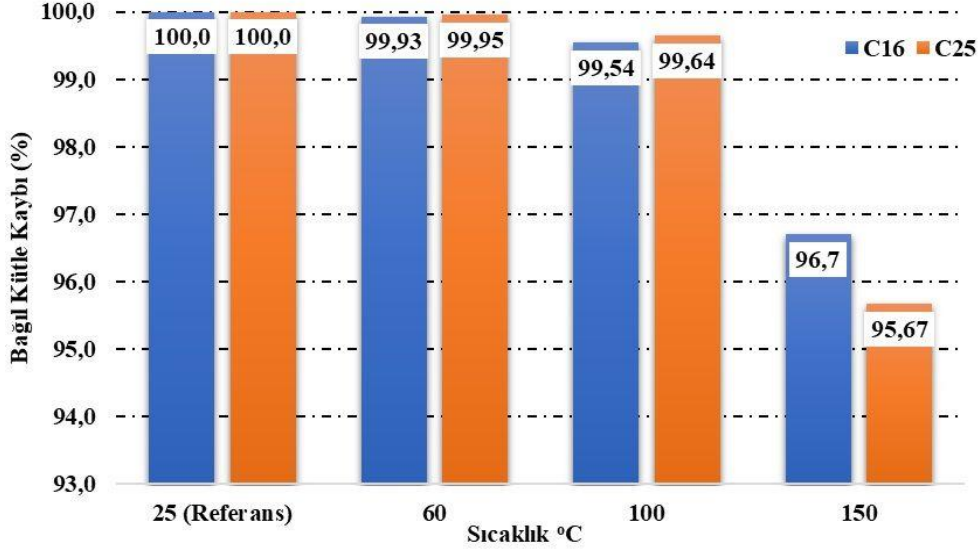
C16 beton sınıfında bazalt kumaş ile sargılanmış numunelerin basınç dayanımı sargılanmamış numunenin basınç dayanımına göre %80 oranında bir artış göstermiştir. C25 beton sınıfında basınç dayanımındaki artış oranı ise %51 oranındadır. Yanal güçlendirme uygulanmış numunelerde bazalt kumaş, betonun dağılmasını engelleyerek dayanımını arttırmıştır.

Yüksek Sıcaklığa Maruz Bırakılmış Numunelerin Deney Sonuçları

25°C, 60 °C, 100 °C ve 150 °C sıcaklıklara 12 saat süresince maruz bırakılan C16 ve C25 beton dayanım sınıfına sahip numunelerin basınç dayanımları, bağıl kütleleri, rezonans frekansları ve dinamik elastisite modülleri üzerindeki değişimlere ait deney sonuçları bu bölümde ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Burada 25 °C ifadesi, laboratuvar ortamında bekletilmiş ve güçlendirme uygulaması yapılmış referans numuneleri ifade etmektedir.

Yüksek Sıcaklığa Maruz Bırakılmış Numunelerin Bağıl Kütle Değerleri

Şekil 4'te C16 ve C25 beton dayanım sınıflarında üretilen ve yanal olarak güçlendirilmiş olan silindir numunelerin farklı sıcaklık derecelerine maruz bırakıldıktan sonra meydana gelen bağıl kütle kaybı değerleri verilmiştir.



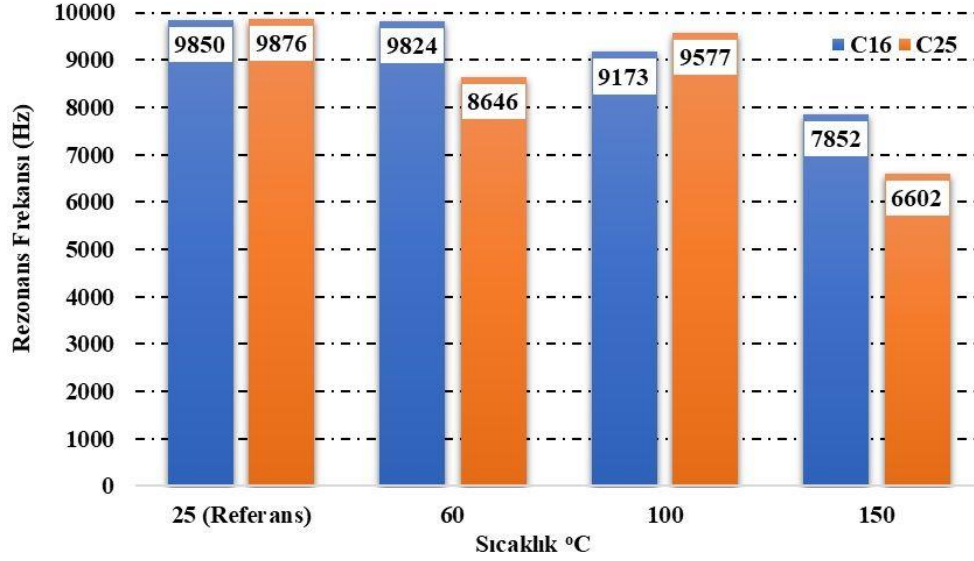
Şekil 4. Isıl işlem görmüş numunelerin bağıl kütle kaybı değerleri.

Şekil 4 incelendiğinde, 100 °C'ye kadar sıcaklıklara maruz betonların kütle kayıplarının referans numuneye (25 °C) göre çok düşük seviyelerde kaldığı gözlemlenmiştir. Bilindiği üzere betondaki asıl kütle kayıpları 105 °C üzerindeki sıcaklıklarda kapiler boşluklardaki ve kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jellerinin yapısındaki suyun buharlaşması sonucunda başlamaktadır. Mükemmel bir termal dirence sahip olan bazalt liflerinin mekanik mukavemetinin, cam liflerinin tamamen harap olduğu 700 °C sıcaklıkta bile yalnızca %50 azaldığı rapor edilmiştir (John ve Dharmar, 2021). Bazalt elyafın yüksek sıcaklığa dirençli bir malzeme olması sebebiyle 60 °C ve 100 °C sıcaklıklardaki kütle kayıplarının epoksi polimerden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, 60 °C ve 100 °C sıcaklıklarda epoksi polimerin kütle kayıplarının da düşük seviyelerde olduğu anlaşılmaktadır. 150 °C sıcaklığa maruz bırakılmış numuneler incelendiğinde ise kütle kaybı değerleri C16 ve C25 sınıfındaki betonlar için sırasıyla %3,30 ve %4,33 olarak ortaya çıkmıştır. Bunun sebebi olarak hem betonun kapiler boşluklardaki suyu kaybetmesi hem de epoksi polimerin bünyesinde meydana gelen kütle kayıpları sayılabilir. C16 ve C25 dayanım sınıflarına ait beton numunelerin maruz bırakıldıkları her bir sıcaklık değeri altındaki bağıl kütle değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bu sonuç, beton dayanım sınıfının bağıl kütle kaybına belirgin bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

Yüksek Sıcaklığa Maruz Bırakılmış Numunelerin Rezonans Frekansı Değerleri

Şekil 5'te C16 ve C25 beton dayanım sınıflarında üretilen ve yanal olarak güçlendirilmiş olan silindir numunelerin rezonans frekansı değerleri verilmiştir. C16'da referans numuneye (25 °C) göre rezonans frekansı değerleri 60 °C, 100 °C ve 150 °C'de sırasıyla %0,3; %6,9 ve %20,3 oranında azalmıştır. C25'te ise referans numuneye (25 °C) göre rezonans frekansı değerleri 60 °C, 100 °C ve 150 °C'de sırasıyla %12,5; %3 ve %33,2 oranında azalmıştır. Rezonans frekansı değerleri hem C16 hem de C25 beton dayanım sınıfında kütle kaybı değerleri ile uyumlu bir biçimde sıcaklık arttıkça azalmıştır. 150 °C sıcaklıkta hem kullanılan epoksi polimerin yapısının bozulması hem de betonun boşluk oranının

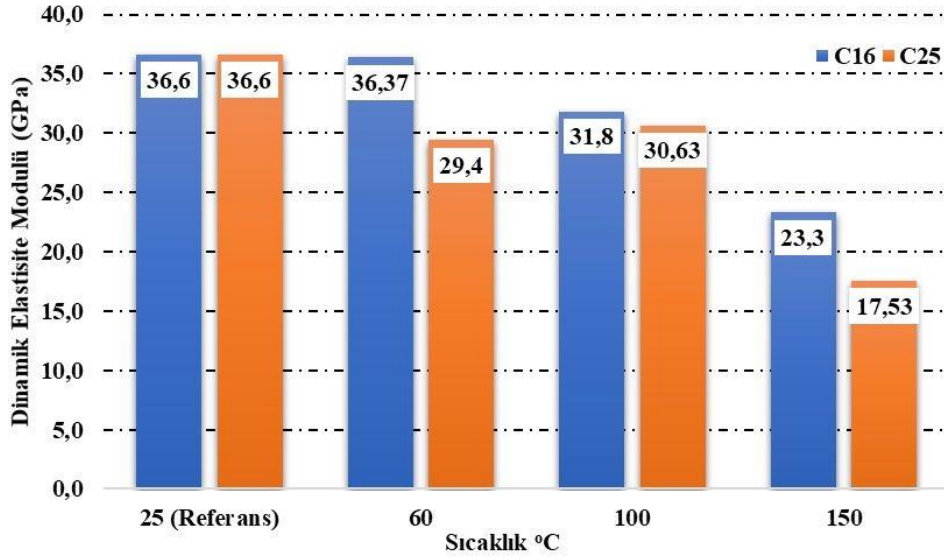
artması ile C16 ve C25 beton numunelerinin rezonans frekans değerleri azalmıştır. Benzer sonuçlar, betonun yüksek sıcaklıkta bozulmasının araştırıldığı ve dinamik elastisite modülü gibi tahribatsız yöntemlerin değerlendirilmede kullanıldığı çalışmada da raporlanmıştır (Dvořák ve ark., 2018).



Şekil 5. Numunelerin rezonans frekansı değerlerindeki değişimler.

Yüksek Sıcaklığa Maruz Bırakılmış Numunelerin Dinamik Elastisite Modülü Değerleri

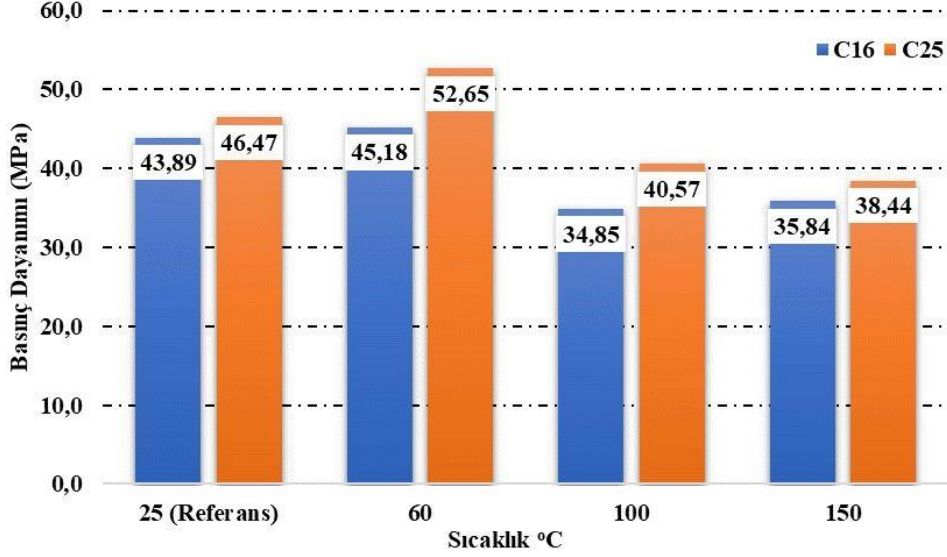
Şekil 6'da C16 ve C25 beton dayanım sınıflarında üretilen ve yanal olarak güçlendirilmiş olan silindir numunelerin dinamik elastisite modülü değerleri verilmiştir. C16'da referans numuneye (25 °C) göre dinamik elastisite modülü değerleri 60 °C, 100 °C ve 150 °C'de sırasıyla %0,7; %13,1 ve %36,3 oranında azalmıştır. C25'te ise referans numuneye (25 °C) göre dinamik elastisite modülü değerleri 60 °C, 100 °C ve 150 °C'de sırasıyla %19,7; %16,3 ve %52,1 oranında azalmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, sıcaklık işleminin ardından C25 sınıfı betonların dinamik elastisite modülündeki değişimlerin C16 sınıfındaki betonlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Düşük dayanımlı betonların daha yüksek boşluk oranına sahip olması sebebiyle sıcaklık etkisi sonrasındaki dinamik elastisite değerleri daha az etkilenmiştir. Bununla birlikte, her iki beton sınıfı için de sıcaklık değerlerinin artışı ile dinamik elastisite modülü değerlerinin azaldığı görülmüştür.



Şekil 6. Numunelerin dinamik elastisite modülü değerlerindeki değişimler.

Yüksek Sıcaklığa Maruz Bırakılmış Numunelerin Basınç Dayanım Değerleri

Şekil 7’de C16 ve C25 beton dayanım sınıflarında üretilen ve yanal olarak güçlendirilmiş olan silindirik numunelerin basınç dayanımı değerleri verilmiştir. C16’da referans numuneye (25 °C) göre basınç dayanımı değerleri 60 °C’de %2,8 oranında artmış, 100 °C ve 150 °C’de ise sırasıyla %20,6 ve %18,3 oranında azalmıştır. C25’te ise referans numuneye (25 °C) göre basınç dayanımı değerleri 60 °C’de %13,3 oranında artmış, 100 °C ve 150 °C’de ise sırasıyla %12,7 ve %17,3 oranında azalmıştır. Her iki dayanım sınıfı için 60 °C’de basınç dayanım değerleri referans numuneye göre artış göstermiştir. Bu durum, 60 °C sıcaklıkta epoksi polimerin çalışma sıcaklığının aşılmadığını ve güçlendirme etkisinin devam ettiğini göstermektedir. 100 °C ve 150 °C sıcaklıklarda ise her iki dayanım sınıfı için basınç dayanım değerleri referans numuneye göre azalış göstermiştir. Bu durum, 100 °C ve üzeri sıcaklıklarda epoksi polimerin yapısının bozulması ve güçlendirme etkisinin çalışmadığını göstermektedir. Bununla birlikte her iki dayanım sınıfı için güçlendirilme uygulanmamış numunelerin basınç dayanımı değerleri, güçlendirme uygulanmış ve aynı zamanda sıcaklık etkisine maruz kalmış olan numunelerin basınç dayanımı değerlerinden daha düşük sonuçlar göstermiştir. Sonuç olarak epoksi polimerin çalışma sıcaklıklarının üzerindeki sıcaklıklarda dahi basınç dayanımı üzerinde sargılama etkisi oluşmuştur.



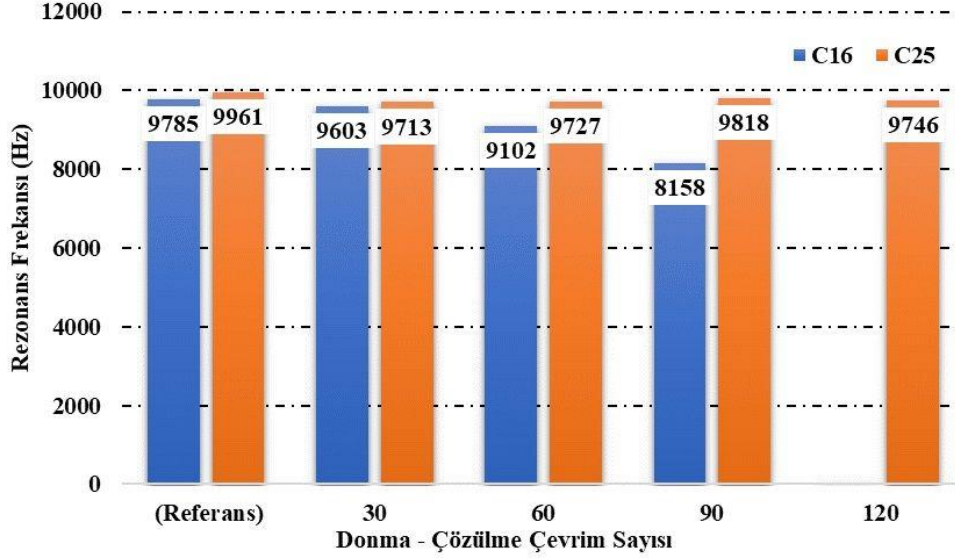
Şekil 7. Numunelerin basınç dayanımı değerlerindeki değişimler.

Donma- Çözülme Çevrimine Maruz Bırakılmış Numunelerin Deney Sonuçları

C16 ve C25 beton dayanım sınıflarında üretilen ve yanal olarak güçlendirilmiş olan silindir numuneler ASTM C666/C666M-15 standardına uygun olarak donma/çözülme çevrimlerine maruz bırakılmıştır. Bir donma/çözülme çevrimi 3 saat -20 °C havada donma ve 2 saat +20 °C suda çözülme çevriminden oluşmaktadır. 30, 60, 90 ve 120 donma/çözülme çevrimine maruz bırakılan C16 ve C25 beton dayanım sınıfına sahip numunelerin rezonans frekansları, dinamik elastisite modülleri, ultrases geçiş hızları ve basınç dayanımları üzerindeki değişimlere ait deney sonuçları bu bölümde ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Donma- Çözülme Çevrimine Maruz Bırakılmış Numunelerin Rezonans Frekansı Değerleri

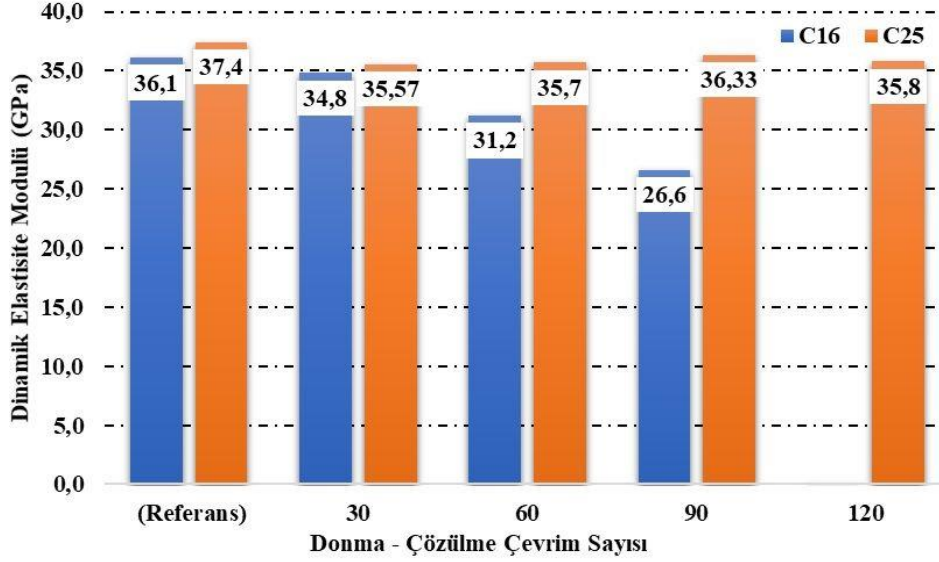
Şekil 8’de C16 ve C25 beton dayanım sınıflarında üretilen ve yanal olarak güçlendirilmiş olan silindir numunelerin rezonans frekansı değerleri verilmiştir. C16’da referans numuneye göre rezonans frekansı değerleri 30, 60 ve 90 donma/çözülme çevriminden sonra sırasıyla %1,9; %7,0 ve %16,6 oranında azalmıştır. 120 donma/çözülme çevriminden sonra ise numuneler bozulmaya başladığı için herhangi bir rezonans frekansı değeri tespit edilememiştir. C25’te ise referans numuneye göre rezonans frekansı değerleri 30, 60, 90 ve 120 donma/çözülme çevriminden sonra sırasıyla %2,5; %2,3; %1,4 ve %2,2 oranında azalmıştır. 30 ve 60 donma/çözülme çevrimine maruz bırakılmış numunelerin rezonans frekanslarındaki değişimlerin sınırlı kaldığı görülmüştür. Bununla birlikte hem C16 hem de C25 beton dayanım sınıfında donma/çözülme çevrim sayısı arttıkça rezonans frekansı değerleri azalmıştır.



Şekil 8. Numunelerin rezonans frekansı değerlerindeki değişimler

Donma- Çözülme Çevrimine Maruz Bırakılmış Numunelerin Dinamik Elastisite Modülü Değerleri

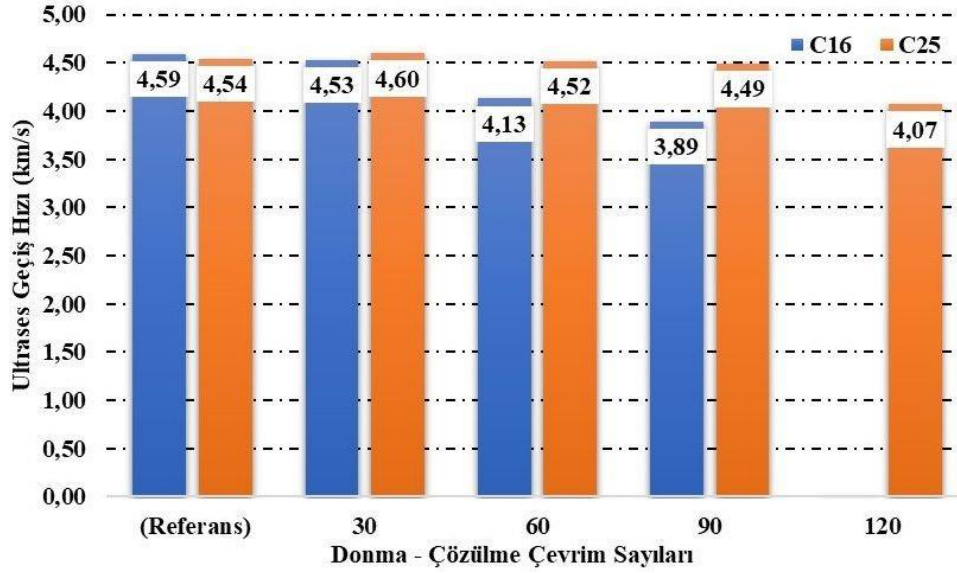
Şekil 9’da C16 ve C25 beton dayanım sınıflarında üretilen ve yanal olarak güçlendirilmiş olan silindir numunelerin dinamik elastisite modülü değerleri verilmiştir. C16’da referans numuneye göre dinamik elastisite modülü değerleri 30, 60 ve 90 donma/çözülme çevriminden sonra sırasıyla %3,6; %13,6 ve %26,3 oranında azalmıştır. 120 donma/çözülme çevriminden sonra ise numunelerdeki boşluk oranının artışından ve numuneler üzerinde çatlaklar oluşmasından kaynaklı herhangi bir dinamik elastisite modülü değeri tespit edilememiştir. C25’te ise referans numuneye göre dinamik elastisite modülü değerleri 30, 60, 90 ve 120 donma/çözülme çevriminden sonra sırasıyla %4,9; %4,5; %2,9 ve %4,3 oranında azalmıştır. Sonuçlara bakılarak donma/çözülme çevrimleri sonucunda C25 sınıfı betonların dinamik elastisite modülündeki değişimlerin C16 sınıfındaki betonlara göre daha düşük değerlerde gerçekleştiği görülmüştür. Yani yüksek dayanım sınıfındaki betonların donma/çözülme çevrimine karşı dirençleri daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 9. Numunelerin dinamik elastisite modülü değerlerindeki değişimler

Donma- Çözülme Çevrimine Maruz Bırakılmış Numunelerin Ultrases Geçiş Hızı Değerleri

Şekil 10'da C16 ve C25 beton dayanım sınıflarında üretilen ve yanal olarak güçlendirilmiş olan silindir numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri verilmiştir. Her iki beton sınıfındaki numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri donma/çözülme çevrim sayısı arttıkça genel olarak azalmaktadır. C16'da referans numuneye göre ultrases geçiş hızı değerleri 30, 60 ve 90 donma/çözülme çevriminden sonra sırasıyla %1,3; %10 ve %15,3 oranında azalmıştır. 120 donma/çözülme çevriminden sonra ise numunelerde ölçüm alınmayacak boyutta bir bozulma olması sebebiyle ölçüm alınamamıştır. C25'te ise referans numuneye göre ultrases geçiş hızı değerleri 30 donma/çözülme çevriminden sonra %1,3 oranında artış göstermiş iken 60, 90 ve 120 donma/çözülme çevriminden sonra ise sırasıyla %0,4; %1,1 ve %10,3 oranında azalmıştır. Porozite, esas olarak su kaybından kaynaklı mikroyapının önemli bir bileşenidir. 10 nm ile 10 µm aralığında bulunan ve serbest su kaybından dolayı oluşan porozitenin mukavemet ve dayanıklılık üzerinde önemli bir etkisi olduğu bilinmektedir (Zongjin, 2011). Genel olarak, dayanım ile porozite arasında doğrusal olmayan negatif bir korelasyon bulunmaktadır, bir diğer deyişle düşük poroziteye sahip betonların dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin yüksek olduğu bilinmektedir (Lamond ve Pielert, 2006; Chen ve ark., 2013).

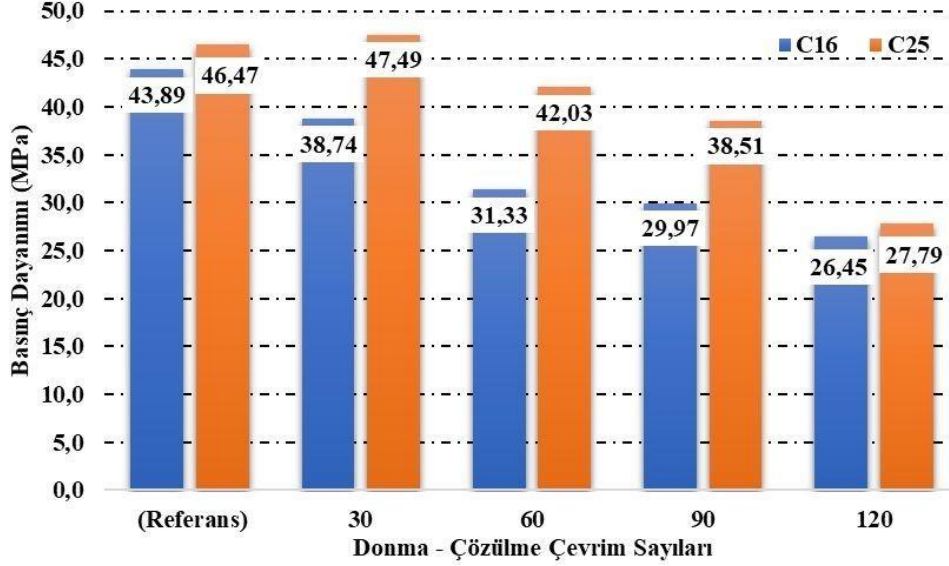


Şekil 10. Numunelerin ultrases geçiş hızındaki değerlerindeki değişimler.

Donma-Çözülme Çevrimine Maruz Bırakılmış Numunelerin Basınç Dayanımı Değerleri

Şekil 11’de C16 ve C25 beton dayanım sınıflarında üretilen ve yanal olarak güçlendirilmiş olan silindir numunelerin basınç dayanımı değerleri verilmiştir. Her iki beton sınıfındaki numunelerin basınç dayanımı değerleri donma/çözülme çevrim sayısı arttıkça genel olarak azalmaktadır. C16’da referans numuneye göre basınç dayanımı değerleri 30, 60, 90 ve 120 donma/çözülme çevriminden sonra sırasıyla %11,7; %28,6; %31,7 ve %39,7 oranında azalmıştır. 120 donma/çözülme çevriminin ardından bazalt kumaş ile yanal güçlendirme uygulanmış numunelerin basınç dayanımları (26,45 MPa) güçlendirme uygulanmamış numunelerin basınç dayanımına (24,4 MPa) benzer sonuçlar göstermiştir.

C25’te ise referans numuneye göre basınç dayanımı değerleri 30 donma/çözülme çevriminden sonra %2,2 oranında artış göstermiş iken 60, 90 ve 120 donma/çözülme çevriminden sonra ise sırasıyla %9,6; %17,1 ve %40,2 oranında azalmıştır. 30 donma/çözülme sonrası basınç dayanımında bir artış görülmüştür. Bu durum 30 donma/çözülme çevriminin C25 sınıfı betonların bozulması için yetersiz kaldığını göstermektedir. Bu artışa çözülme sürecinin suda çözülme olarak uygulanmasının da sebep olduğu söylenebilir. Donma/çözülme çevrimleri (60, 90 ve 120 donma/çözülme çevrimi) C25 sınıfı yanal güçlendirme uygulanmış betonların basınç dayanımı değerlerini olumsuz olarak etkilemektedir. 120 donma/çözülme çevriminin ardından bazalt kumaş ile yanal güçlendirme uygulanmış numunelerin basınç dayanımları (27,79 MPa) güçlendirme uygulanmamış numunelerin basınç dayanımına (30,77 MPa) göre %9,7 oranında azalmıştır. Sonuç olarak her iki beton sınıfı için donma/çözülme etkisinden kaynaklanan performans kaybının hem kullanılan epoksi reçinesinin hem de betonun bozulmasından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 11. Numunelerin basınç dayanımı değerlerindeki değişimler.

Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, üretilmiş olan iki farklı beton sınıfındaki silindir numunelerin bazalt lif takviyeli polimerler (BFRP) ile güçlendirilmesi sonrasında önemli çevresel faktörlerden olan donma/çözülme ve sıcaklık etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Sıcaklık etkisinin inceleneceği silindir beton numuneler 25°C, 60 °C, 100 °C ve 150 °C sıcaklıklara 12 saat süresince maruz bırakılmış ve daha sonra basınç dayanımları, bağıl kütleleri, rezonans frekansları ve dinamik elastisite modülleri üzerindeki değişimler deneysel olarak incelenmiştir. Donma/çözülme etkisinin inceleneceği silindir beton numuneler ise 30, 60, 90 ve 120 donma/çözülme çevrimine maruz bırakılmış ve daha sonra numunelerin rezonans frekansları, dinamik elastisite modülleri, ultrases geçiş hızları ve basınç dayanımları üzerindeki değişimler deneysel olarak incelenmiştir. Tüm bu gerçekleştirilen deneyler yardımıyla aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Yanal olarak bazalt kumaş ile güçlendirilmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri güçlendirilmemiş numunelerin basınç dayanımı değerlerine göre C16 dayanım sınıfında %80 oranında C25 dayanım sınıfında ise %51 oranında artış göstermiştir. Dolayısıyla yanal olarak güçlendirme uygulanmış numunelerin basınç dayanımları artış göstermektedir.
- Bazalt kumaş ile güçlendirme uygulanmış her iki dayanım sınıfındaki numunelerin bağıl kütle kayıpları sıcaklık artışıyla beraber artış göstermiş ve en yüksek kütle kayıpları da 150 °C sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerde elde edilmiştir. C16 ve C25 sınıfındaki betonlar için 150 °C sıcaklıktaki kütle kayıpları sırasıyla %3,30 ve %4,33 oranındadır. Bununla birlikte her iki dayanım sınıfının maruz bırakıldıkları her bir sıcaklık değeri altındaki bağıl kütle değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bu sonuç, beton dayanım sınıfının bağıl kütle kaybına belirgin bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

- Yanal olarak güçlendirilmiş olan silindir numunelerin referans numuneye göre rezonans frekansı değerleri sıcaklık artışıyla beraber C16 dayanım sınıfında %0,3 ila %20,3 arasında, C25 dayanım sınıfında ise %3 ila %33,2 arasında azalmıştır. Her iki dayanım sınıfında en düşük rezonans frekans değeri 150 °C sıcaklıkta elde edilmiştir. Bu sıcaklıkta hem kullanılan epoksi polimerin yapısının bozulması hem de betonun boşluk oranının artması buna sebep olmaktadır.
- Her iki beton sınıfı için de sıcaklık değerlerinin artışı ile dinamik elastisite modülü değerlerinin azaldığı görülmüştür. Referans numuneye göre azalma miktarları C16 dayanım sınıfında %0,7 ila %36,3 arasında, C25 dayanım sınıfında ise %19,7 ila %52,1 arasındadır. C25 sınıfı betonların dinamik elastisite modülündeki değişimlerin C16 sınıfındaki betonlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Yani düşük dayanımlı betonların daha yüksek boşluk oranına sahip olması sebebiyle sıcaklık etkisi sonrasındaki dinamik elastisite değerleri daha az etkilenmektedir.
- 60 °C sıcaklıklarda basınç dayanımı referans numuneye göre C16 dayanım sınıfında %2,8 oranında, C25 dayanım sınıfında ise %13,3 oranında artış göstermiştir. 100 °C ve 150 °C sıcaklıklarda ise her iki dayanım sınıfı için basınç dayanım değerleri referans numuneye göre %12,7 ila %20,6 oranında azalış göstermiştir. Bununla birlikte, her iki dayanım sınıfı için güçlendirilme uygulanmamış numunelerin basınç dayanımı değerleri, güçlendirme uygulanmış ve aynı zamanda sıcaklık etkisine maruz kalmış olan numunelerin basınç dayanımı değerlerinden daha düşük sonuçlar göstermiştir.
- Rezonans frekansı değerleri hem C16 hem de C25 beton dayanım sınıfında donma/çözülme çevrim sayısı arttıkça azalmıştır. Referans numuneye göre azalma miktarları C16 dayanım sınıfında %1,9 ila %16,6 arasında, C25 dayanım sınıfında ise %1,4 ila %2,5 arasındadır. Donma/çözülme çevrimine maruz kalan numunelerin dayanım sınıfı arttıkça rezonans frekansları artış göstermektedir.
- Dinamik elastisite modülü değerleri hem C16 hem de C25 beton dayanım sınıfında donma/çözülme çevrim sayısı arttıkça azalmıştır. Referans numuneye göre azalma miktarları C16 dayanım sınıfında %3,6 ila %23,6 arasında, C25 dayanım sınıfında ise %2,9 ila %4,9 arasındadır. C25 sınıfı betonların dinamik elastisite modülündeki değişimlerin C16 sınıfındaki betonlara göre daha düşük kaldığı görülmüştür. Yani yüksek dayanım sınıfındaki betonların donma/çözülme çevrimine karşı dirençleri daha yüksek çıkmıştır.
- Her iki beton sınıfındaki numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri donma/çözülme çevrim sayısı arttıkça genel olarak azalmaktadır. Referans numuneye göre azalma miktarları C16 dayanım sınıfında %1,3 ila %15,3 arasındadır. C25 dayanım sınıfında ise referans numuneye göre 30 donma/çözülme çevriminden sonra %1,3 oranında artış görülmüş iken 60, 90 ve 120 donma/çözülme çevriminden sonra sırasıyla %0,4; %1,1 ve %4,5 oranında azalma

görülmüştür. Dayanım sınıfı arttıkça donma/çözülme çevrimlerine karşı gösterilen direnç artmaktadır.

- Her iki beton sınıfındaki numunelerin basınç dayanımı değerleri ultrases geçiş hızlarına paralel olarak donma/çözülme çevrim sayısı arttıkça genel olarak azalmaktadır. Referans numuneye göre azalma miktarları C16 dayanım sınıfında %11,7 ile %39,7 arasındadır. C25 dayanım sınıfında ise referans numuneye göre 30 donma/çözülme çevriminden sonra %2,2 oranında artış görülmüş iken 60, 90 ve 120 donma/çözülme çevriminden sonra sırasıyla %9,6; %17,1 ve %40,2 oranında azalma görülmüştür. En düşük basınç dayanımı değerleri her iki basınç dayanımı sınıfında da 120 donma/çözülme çevrimi sonucunda elde edilmiştir.

Sonuç olarak yanal güçlendirme uygulanmış her iki dayanım sınıfındaki numunelerin basınç dayanımlarında güçlendirme uygulanmamış numuneye oranla artış görülmüştür. Yanal güçlendirme uygulanmış numunelerin hem donma/çözülme çevrim sayısı arttıkça hem de maruz kaldıkları sıcaklık derecesi arttıkça performanslarında azalmalar gözlenmiştir. Bununla birlikte özellikle basınç dayanımı açısından kıyaslandığında, güçlendirme uygulanmış numunelerde 90 çevrim donma/çözülme veya 150 °C sıcaklık koşullarında dahi güçlendirilme uygulanmamış (donma/çözülme ile sıcaklık etkisine maruz kalmamış) numunelerin basınç dayanımı değerlerinden daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum hem donma/çözülme hem de sıcaklık etkisi karşısında bazalt lif takviyeli kompozitin sargılama etkisinin devam ettiğini göstermektedir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, ıslanma-kuruma gibi çevresel koşulların elyaf takviyeli polimer güçlendirme elemanlarının sargılama performansları üzerine etkilerinin çalışılması önerilmektedir. Ayrıca donma/çözülme, yüksek sıcaklık veya ıslanma kuruma etkileri çalışılırken güçlendirme elemanlarının yüzeylerinin koruyucu sıvalarla kaplanarak çalışmanın devam ettirilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Maddi desteklerinden dolayı Fibrobeton Yapı Elemanları San. ve İnşaat A.Ş' ye, Yapısoy Beton Hafr. İnş. Taah. San. ve Tic. Ltd. Şti.'ye, Beton Zemin ve Yapı Malz. Lab. Hiz. Ltd. Şti.'ye, SİKA Yapı Kimyasalları A.Ş' ye ve Spinteks Tekstil İnş. San. ve Tic. A.Ş.'ye teşekkürlerimizi sunarız.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Araştırmanın konusu üçüncü yazar tarafından belirlenmiştir. Birinci ve üçüncü yazar deneysel tasarımı planlayıp çalışmalarını birlikte yürütmüştür. Tüm yazarlar, makale yazımı ve görselleştirilmesine eşit oranda katkıda bulunmuştur.

Kaynaklar

- Akbalık HH. Bazalt FRP şerit ile beton arasındaki arayüzey bağlantısını etkileyen parametrelerin deneysel olarak araştırılması ve iyileştirilmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, Türkiye, 2020.
- Akın A. Nano silika kür uygulamasının çimento bağlayıcılı kompozitlerin donma-çözülme direnci üzerine etkisinin araştırılması. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2019; 8(2): 1032-1040.
- ASTM C666/C666M-15. Standart Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing. 2015.
- Baradan B., Yazıcı H., Aydın S. Beton. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları; 2012.
- Baradan, B., Aydın S. Betonun durabilitesi (Dayanıklılık, Kalıcılık). Hazır Beton Dergisi 2013; 54-68.
- Bulut E. FRP sargılı dikdörtgen kesitli betonarme kolonların yük taşıma kapasitelerinin farklı davranış modellerine göre irdelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 2006.
- Chen X., Wu S., Zhou J. Influence of porosity on compressive and tensile strength of cement mortar. Construction and Building Materials 2013; 40: 869-874.
- Çınar E., Dündar B., Uygunoğlu T. Geri dönüştürülmüş beton agregası kullanılarak üretilen harçlarda sıcaklık etkisinin araştırılması. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 2021; 9(1): 108-115.
- Durmuş G., Kara İB. Yüksek sıcaklığın ve farklı soğutma koşulunun kalker agregalı betonlar üzerindeki etkilerinin araştırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi 2010; 25(4): 741-748.
- Dündar B., Çınar E. Farklı mineral katkı harçların mekanik ve fiziksel özelliklerine yüksek sıcaklığın etkisi. Türk Doğa ve Fen Dergisi 2020; 9(2): 42-49.
- Dvořák R., Chobola Z., Kusák I. Acoustic non-destructive testing of high temperature degraded concrete with comparison of acoustic impedance. MATEC Web Conf. 2018; 219: 03003
- Gönen T., Yazıcıoğlu S. Pomza agregalı kendiliğinden yerleşen hafif betonların donma çözülme direncine mineral katkıların etkisi. El-Cezeri Journal of Science and Engineering 2021; 8(1): 94-101.
- Güleryüz E., Özen S., Mardani-Aghabaglou A. Mineral katkı kullanımının hava sürükleyici katkı çimentolu harçların taze ve sertleşmiş hal özelliklerine etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2020; 26(6): 1053-1061.
- İlki A., Peker O., Karamuk E., Demir C., Kumbasar N. FRP retrofit of low and medium strength circular and rectangular reinforced concrete columns. Journal of Materials in Civil Engineering 2008; 20(2): 169-188

- John VJ., Dharmar B. Influence of basalt fibers in the mechanical behavior of concrete -A review. *Structural Concrete* 2021; 22(1): 491-502
- Kaya T., Yazıcıoğlu S., Çerçevik AE. Kaplamalı beton basınç dayanımına donma-çözülme etkisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 2016; 4(2): 59-65.
- Khaloo A., Tabatabaeian M., Khaloo H. The axial and lateral behaviour of low strength concrete confined by GFRP wraps: An experimental investigation. *Structures* 2020; 27: 747-766.
- Lamond JF., Pielert JH. Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials. Philadelphia: ASTM STP169D-EB; 2006.
- Maras MM. Betonarme yapıların güçlendirilmesinde kullanılan FRP kompozitin yapısal performansa etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2021; 23: 108-119.
- Sarıbıyık A. Effect of using FRP composites as hybrid in the strengthening of concretes. *Sakarya University Journal of Science* 2018; 22(2): 383-391.
- Siddika A., Mamun MAA., Alyousef R., Amran YHM. Strengthening of reinforced concrete beams by using fiber-reinforced polymer composites: A review. *Journal of Building Engineering* 2019; 25: 100798.
- Siddika A., Mamun MAA., Ferdous W., Alyousef R. Performances, challenges and opportunities in strengthening reinforced concrete structures by using FRPs – A state-of-the-art review. *Engineering Failure Analysis* 2020; 111: 104480
- Şimşek O. Beton ve beton teknolojisi. 5. Baskı. Ankara: Seçkin Yayıncılık; 2016.
- Ustabas İ., Gürbüz A., Kurt Z., Deşik F. Betonda CFRP sargı uygulamasının deneysel ve analitik olarak karşılaştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 2020; 8(3): 921-930.
- Zongjin L. *Advanced Concrete Technology*. New Jersey: John Wiley&Sons, Inc; 2011.

Comparison of the Effect of Geotextile and Palm Tree Pruning Waste on CBR Value of Sand Soil

Yakup ÖNAL¹, Mitat ÖZTÜRK^{2*}, Gökhan ALTAY³, Cafer KAYADELEN⁴

^{1,2,3,4}Civil Engineering Department, Osmaniye Korkut Ata University, Osmaniye, Turkey

¹<https://orcid.org/0000-0003-4975-9897>

²<https://orcid.org/0000-0003-4685-7088>

³<https://orcid.org/0000-0002-1174-545X>

⁴<https://orcid.org/0000-0003-2955-013X>

*Corresponding author: mitatozturk@osmaniye.edu.tr

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 22.09.2021

Accepted: 05.01.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Geosynthetics

Geotextile

Palm tree pruning waste (PTPW)

CBR

Soil improvement

In recent years, geosynthetics have been widely used as soil improvement agent. Geotextiles, one of the types of geosynthetics, are mostly used for enhancing the bearing capacity of soils in addition to their functions such as separation, filtration, and drainage. In the current study, the usability of palm tree pruning waste (PTPW), which is inconvenient to store and dispose of as an alternative to geotextile, was investigated by conducting a series of CBR tests. Experiments were carried out on geotextile-reinforced and PTPW-reinforced sand in CBR mould at different burial depths. In addition, an unreinforced test was conducted for comparison purposes. In the light of the test results, an apparent improvement was observed in CBR values compared with unreinforced case. CBR values obtained from geotextile and PTPW-reinforced tests were found to be close to each other. Therefore, it is understood that PTPW is able to be used as an alternative to geotextile by getting rid of waste material. Additionally, its easy applicability makes it more attractive to use PTPW in soil improvement.

Geotekstil ve Palmiye Ağacı Budama Atıklarının Kum Zeminde CBR Değerine Olan Etkisinin Karşılaştırılması

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 22.09.2021

Kabul tarihi: 05.01.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Geosentetikler

Geotekstil

Palmiye ağacı budama atığı (PTPW)

CBR

Zemin iyileştirmesi

Son yıllarda, geosentetikler zemin iyileştirme elamanı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Geosentetik türlerinden biri olan geotekstiller, ayırma, filtreleme ve drenaj gibi fonksiyonlarının yanı sıra daha çok zeminlerin taşıma kapasitesini artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, depolanması ve bertarafı zor olan palmiye ağacı budama atıklarının (PTPW) geotekstile alternatif olarak kullanılabilirliği bir dizi CBR testi yapılarak araştırılmıştır. Deneyler, farklı gömülme derinliklerinde CBR kalıbında geotekstil donatılı ve PTPW donatılı kum üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca karşılaştırma amacıyla donatısız bir deney yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, CBR değerlerinde donatısız duruma göre belirgin bir iyileşme gözlemlenmiştir. Geotekstil ve PTPW ile donatılandırılarak yapılan bu deneylerden elde edilen CBR değerleri birbirine yakın bulunmuştur. Bu nedenle atık malzemeden kurtularak PTPW'nin geotekstile alternatif olarak kullanılabilirliği anlaşılmaktadır. Ayrıca kolay uygulanabilirliği, zemin iyileştirmesinde PTPW'nin kullanımını daha cazip kılmaktadır.

To Cite: Önal Y., Öztürk M., Altay G., Kayadelen C. Comparison of the Effect of Geotextile and Palm Tree Pruning Waste on CBR Value of Sand Soil. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 570-579.

1. Introduction

Considering the highway subgrade, it should bear stresses due to the repeated traffic loads. Otherwise, it is unavoidable that road pavements can encounter distresses like rutting. To avoid this distress, base and/or subbase layer thickness of the pavement system should be increased because stresses induced by dynamic traffic loads are distributed over a larger area. Another way of avoiding this phenomenon is that weak subgrade can be replaced with high-quality soil, which is an expensive and impractical solution for this problem. Therefore, stabilization of the weak subgrade can be thought to be the more convenient way. There are several methods in the literature for enhancing the bearing capacity of subgrade. Geosynthetics, additives (i.e., fly ash, cement, lime, and bitumen), and fibers can be given as examples for these methods.

Geotextiles are one of the commonly used geosynthetics for improving the bearing capacity of the subgrade by redistributing the dynamic traffic loads over a larger area. There are many studies about the geotextile as a stabilization agent in the literature (Giroud et al., 1981; Haeri et al., 2000; Noorzad and Mirmoradi, 2010; Kazi et al., 2015; Ouri and Mahmoudi, 2018). However, apart from the commercially manufactured soil improvement materials, waste materials have been becoming more popular in recent years because of the fact that waste materials contaminate the world and harm living beings and nature. With the use of waste materials, it is ensured that both waste materials are disposed of, and the bearing capacity of weak soil is improved.

Several studies have been conducted to reinforce pavement systems with geotextile, geocell, and geogrid. Most of these studies include laboratory tests (Aiban et al., 2006; Nair and Latha, 2016; Lal et al., 2016; Önal, 2021), and field tests (Hufenus et al., 2006; Chen et al., 2017; Imjai et al., 2019). Nevertheless, the current study has concentrated on the usability of palm tree pruning waste (PTPW) as a natural geotextile in the subgrade. With this regard, a series of CBR tests were conducted to understand the improvement in the load-deformation behavior of sand subgrade because CBR is both a relatively simple laboratory test to practice and a directly effective parameter in pavement design. Accordingly, there are several studies related to improving the load-deformation behavior of soil in the literature by conducting CBR test (Choudhary et al., 2010; Singh and Bagra, 2013; Sarbaz et al., 2014). Singh and Bagra (2013) carried out a series of CBR tests to understand the effect of usage of jute fiber on the bearing capacity of the subgrade. They used the jute fiber at four different contents (0.25 %, 0.50 %, 0.75 %, and 1.00 %), two different diameters (1 mm and 2 mm), and three different lengths (30 mm, 60 mm, and 90 mm). As a result of CBR tests, they found that as the content, diameter, and length of the jute fiber increase, the CBR value of the soil increases considerably as compared to the unreinforced case. They also concluded that the maximum increase in the CBR value corresponding to 200.49% achieved by 1.00% content of jute fiber having a diameter of 2 mm and length of 90 mm. Negi and Singh (2019) conducted CBR tests to determine the effect of reinforcement of woven and non-woven geotextiles on the bearing capacity of two different subgrades (clay and sand). They emphasized that woven geotextile performed better than non-woven geotextile in the

experiments. They stated that maximum CBR value (27 %) attained for sandy soil when woven geotextile located at half of the height of CBR mould. Also, the maximum CBR value was obtained when woven geotextile was placed at H/6 and H/2 from the surface as two-layer for clayey subgrade. In the current study, five CBR tests were carried out to compare the performance of the PTPW as geotextile with commercially manufactured geotextile. In order to investigate the effect of the burial depth of reinforcement on the bearing capacity, experiments were performed at two different burial depths. The results of the CBR tests have also been compared with the unreinforced case.

2. Materials and Method

2.1. Sand Subgrade

The soil used in the tests as subgrade was sand. The properties and particle distribution curve of sand were given in Table 1 and Figure 1, respectively. The sand used in the CBR tests was poorly graded sand according to Unified Soil Classification System (USCS).

Table 1. Properties of sand soil

Properties	Value
D ₁₀ (mm)	0.36
D ₃₀ (mm)	0.55
D ₆₀ (mm)	0.76
Coefficient of uniformity, C _u	2.11
Coefficient of curvature, C _c	1.11
Specific gravity	2.74
Maximum dry density (kN/m ³)	16.57
Minimum dry density (kN/m ³)	14.12
Minimum void ratio, e _{min}	0.62
Maximum void ratio, e _{max}	0.94

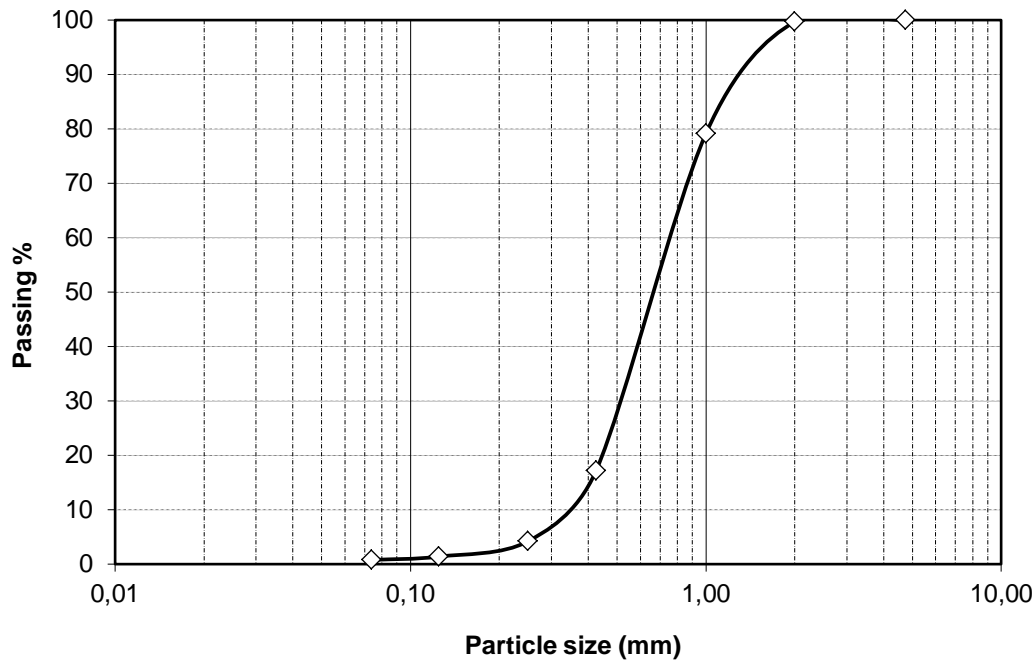


Figure 1. Particle size distribution curve of subgrade

2.2. Palm Tree Pruning Waste (PTPW)

Mexican fan palm (*Washingtonia robusta*), one of the palm tree species, is widely used as the ornamental tree at the central refuge and roadsides or woodland in Osmaniye Province of Turkey. Because of being a fast-growing palm species, approximately 35.70 kg/tree waste is generated through pruning activity every year (Garcia-Ortuno et al., 2011). In this study, PTPW was obtained from the pruning activity in the Osmaniye Korkut Ata University and photograph of the intact version is shown in Figure 2.



Figure 2. Palm Tree Pruning Waste (PTPW)

2.3. Geotextile

Geotextile used in the experimental study is made of polypropylene. The tensile strength of the geotextile 13 kN/m and 15 kN/m in the direction of machine and cross-machine, respectively. Furthermore, more detailed engineering properties obtained from the manufacturer are presented in Table 2.

Table 2. Properties of geotextile

Properties	Units	Value
Material Composition	-	Polypropylene (PP), white
Material Density	g/cm ²	250
Tensile Strength, md/cmd*	kN/m	13 / 15
Elongation at Break	%	50
Static Puncture Strength	N	2500
Dynamic Puncture Strength	mm	20
Liquid Permeability	m/s	0.06
Apparent Opening	mm	0.12
UV Resistance	%	70

*md = machine direction, cmd = cross-machine direction

2.4. Experimental Program

The geotextile and PTPW were prepared in a circular form whose dimensions are equal to the inner diameter of the CBR mould. The prepared samples used in the CBR tests are shown in Figure 3. CBR tests were conducted according to ASTM D4429-09a.

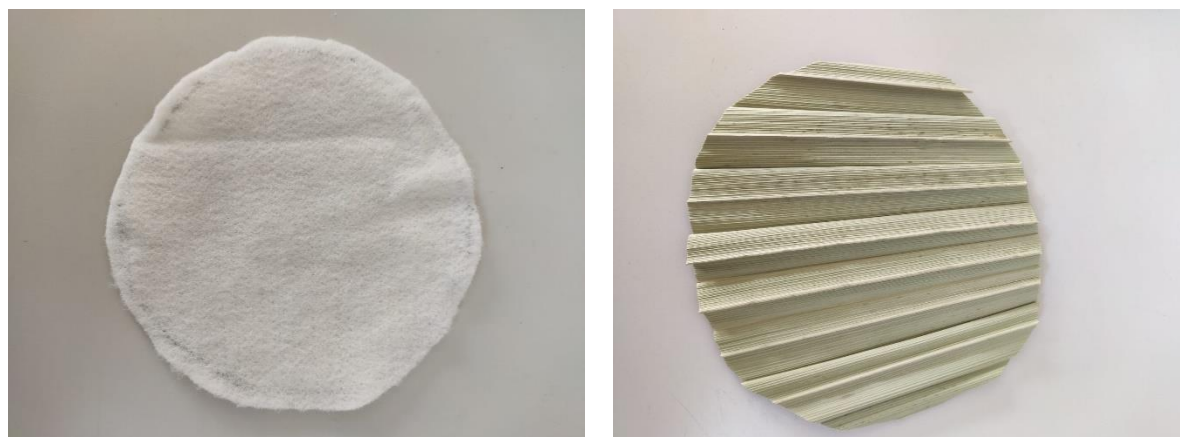


Figure 3. Geotextile and PTPW samples

In all the tests, the relative density of the sand subgrade was ensured to be constant (i.e., 80%). Firstly, after the unreinforced subgrade was prepared at 80% relative density by using a vibratory circular plate compactor with a diameter of 150 mm, CBR test was carried out. Then, two CBR tests were conducted as PTPW and geotextile-reinforced. PTPW and geotextile were located at a burial depth of one-eighth of the height of CBR mould in these tests. To investigate the effect of burial depth on the bearing capacity, two tests in which PTPW and geotextile were located at a burial depth of one-quarter of the height of the CBR mould were carried out as PTPW and geotextile-reinforced.

3. Results and Discussions

Figure 4 presents the experimental results obtained from geotextile and PTPW-reinforced subgrade at a burial depth of one-quarter of the height of CBR mould.

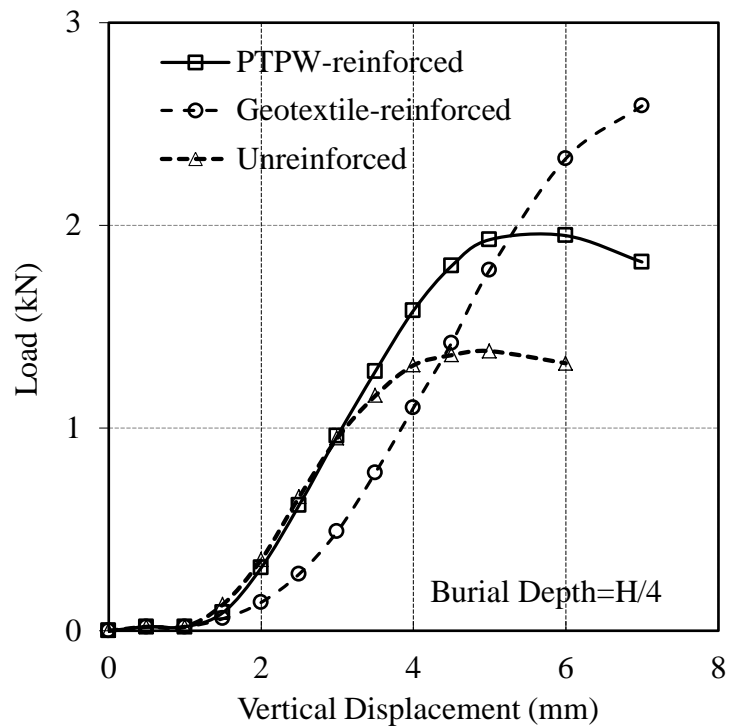


Figure 4. CBR test conducted at H/4 burial depth

As shown in Figure 4, both PTPW and geotextile-reinforced subgrade showed higher strength than unreinforced case at 5 mm deformation. Besides, PTPW reinforcement exhibited better performance than geotextile reinforcement. At 2.5 mm deformation, PTPW-reinforced subgrade carried 121% more load than geotextile reinforcement while it carried 6% less load than unreinforced case. Interestingly, geotextile-reinforced subgrade carried 58% less load compared to unreinforced case. However, as the deformations increase, improvement in the bearing capacity due to reinforcement became more pronounced. Therefore, PTPW and geotextile-reinforced subgrade carried 40% and 29% more load than unreinforced subgrade at 5 mm deformation, respectively. Furthermore, PTPW-reinforced subgrade reached 8% higher load than geotextile-reinforced case at 5 mm deformation.

Figure 5 presents the experimental results obtained from geotextile and PTPW-reinforced subgrade at a burial depth of one-eighth of the height of CBR mould.

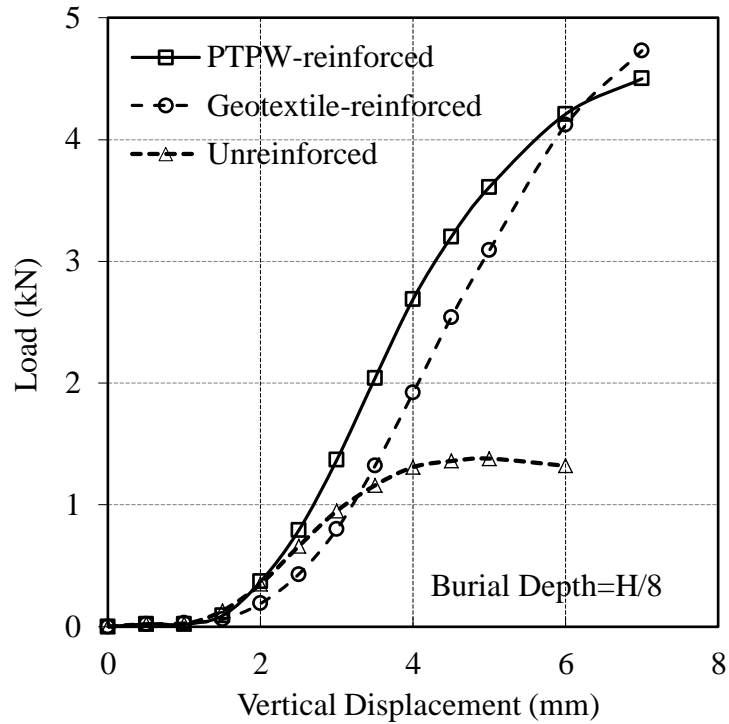


Figure 5. CBR test conducted at H/8 burial depth

As shown in Figure 5, both PTPW-reinforced and geotextile-reinforced subgrade showed higher strength than unreinforced case at 5 mm deformation. Besides, PTPW reinforcement exhibited better performance than geotextile reinforcement. At 2.5 mm deformation, PTPW-reinforced subgrade carried 84% more load than geotextile-reinforced, and it carried 20% more load than unreinforced case. Surprisingly, geotextile-reinforced subgrade carried 35% less load compared to unreinforced case. However, as the deformations increase, improvement in the bearing capacity due to reinforcement became more pronounced. Therefore, PTPW and geotextile-reinforced subgrade carried 162% and 124% more load than unreinforced subgrade at 5 mm deformation, respectively. Also, PTPW-reinforced subgrade reached 17% higher load than geotextile-reinforced case at 5 mm deformation.

Furthermore, performance improvement due to reinforcement in the bearing capacity can also be expressed via the bearing capacity improvement factor (I_f) suggested by Dash et. al., 2001. Bearing capacity improvement factor is defined as the ratio of the load carried with reinforcement at a specific deformation value to load carried by the unreinforced case at the same deformation; thus, the higher value of I_f means better improvement in the bearing capacity. Bearing capacity improvement factor of the all the reinforced cases presented in Table 3.

Table 3. Bearing capacity improvement factor

Reinforcement Type	Burial Depth (u)	Bearing capacity improvement factor (I_f)										
		1.00	1.00	0.69	0.89	0.94	1.01	1.10	1.21	1.32	1.40	1.48
PTPW	H/4	1.00	1.00	0.69	0.89	0.94	1.01	1.10	1.21	1.32	1.40	1.48
Geotextile	H/4	1.00	1.00	0.46	0.40	0.42	0.52	0.67	0.84	1.04	1.29	1.77
PTPW	H/8	1.00	1.00	0.69	1.06	1.20	1.44	1.76	2.05	2.35	2.62	3.19
Geotextile	H/8	1.00	1.50	0.46	0.54	0.65	0.84	1.14	1.47	1.87	2.24	3.12
Deformation (mm)		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0

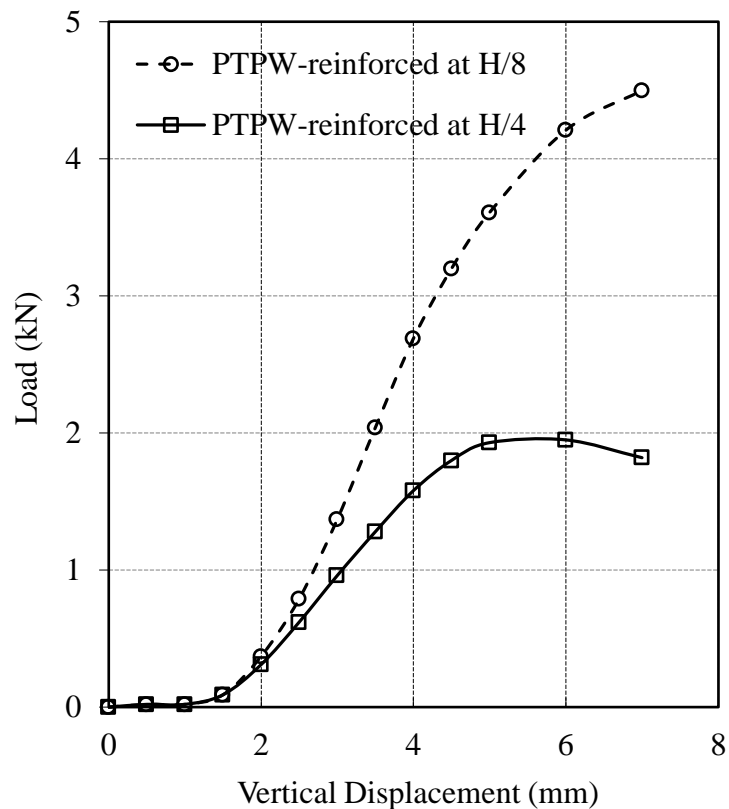


Figure 6. CBR test conducted at H/4 and H/8 burial depth for PTPW-reinforced subgrade

Figure 6 shows the effect of the burial depth on the bearing capacity of PTPW-reinforced subgrade. It is obvious from the Figure 6 that as the burial depth decreases, the bearing capacity of the subgrade increases considerably. It can be deduced from the Figure 6 that when burial depth decreased from H/4 to H/8, the load carried by PTPW-reinforced subgrade increased at the rate of 27% at 2.5 mm deformation and increased at the rate of 87% at 5 mm deformation.

4. Conclusions

In the current study, the effect of the palm tree pruning waste (PTPW) on the bearing capacity and the usability of it as a geotextile were investigated. With this purpose, a series of CBR tests were carried out by locating PTPW and geotextile at different burial depths in sand subgrade with a relative density

of 80%. PTPW-reinforced test results at 2.5 mm and 5 mm deformation exhibited higher CBR values than geotextile-reinforced cases. Furthermore, the CBR value of the geotextile reinforced subgrade was less than unreinforced case at 2.5 mm deformation. It was understood from the CBR test results that PTPW was improved more the bearing capacity of the subgrade than geotextile reinforced case. As a result, it is considered to be that use of PTPW can be environment friendly alternative to commercially manufactured geotextile.

Acknowledgment(s)

We would like to thank Geoplas company for their support in supply of geotextile.

Statement of Conflict of Interest

Authors have declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

References

- Aiban SA., Al-ahmadi HM., Asi IM., Siddique ZU., Al-amoudi OSB. Effect of geotextile and cement on the performance of sabkha subgrade. *Building and Environment* 2006; 41(6): 807-820.
- ASTM D4429-09a. Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Soils in Place (Withdrawn 2018), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009.
- Chen Q., Hanandeh S., Abu-Farsakh M., Mohammad L. Performance evaluation of full-scale geosynthetic reinforced flexible pavement. *Geosynthetics International* 2018; 25(1): 26-36.
- Choudhary AK., Jha JN., Gill KS. A study on CBR behavior of waste plastic strip reinforced soil. *Emirates Journal for Engineering Research* 2010; 15(1): 51-57.
- Dash SK., Krishnaswamy NR., Rajagopal K. Bearing capacity of strip footings supported on geocell-reinforced sand. *Geotextiles and Geomembranes* 2001; 19(4): 235–256.
- Garcia-Ortuno T., Ferrandez Garcia MT., Andreu Rodriguez J., Ferrandez Garcia CE., Ferrandez-Villena M. Evaluating the properties of palm particle boards (*Washingtonia robusta* H. Wendl), in: *In Proceedings of the 6th Iberian Congress of Agroengineering* 2011; 126–130.
- Giroud Jean-Pierre., Noiray L. Geotextile-reinforced unpaved road design. *Journal of the Geotechnical Engineering Division* 1981; 1233-1254.
- Hufenus R., Rueegger R., Banjac R., Mayor P., Springman SM., Bro R. Full-scale field tests on geosynthetic reinforced unpaved roads on soft subgrade. *Geotextiles and Geomembranes* 2006; 24: 21–37.
- Imjai T., Pilakoutas K., Guadagnini M. Performance of geosynthetic-reinforced flexible pavements in full-scale field trials. *Geotextiles and Geomembranes* 2019; 47(2): 217–229.

- Kazi M., Shukla SK., Habibi D. An improved method to increase the load-bearing capacity of strip footing resting on geotextile-reinforced sand bed. *Indian Geotechnical Journal* 2015; 45(1): 98–109.
- Lal D., Sankar N., Chandrakaran S. Effect of reinforcement form on the behaviour of coir geotextile reinforced sand beds. *Soils and Foundations* 2017; 57(2): 227-236.
- Nair AM., Latha GM. Repeated load tests on geosynthetic reinforced unpaved road sections. *Geomechanics and Geoengineering* 2016; 11(2): 95–103.
- Negi MS., Singh SK. Experimental and numerical studies on geotextile reinforced subgrade soil. *International Journal of Geotechnical Engineering* 2019; 15(9): 1106-1117.
- Noorzad R., Mirmoradi SH. Laboratory evaluation of the behavior of a geotextile reinforced clay. *Geotextiles and Geomembranes* 2010; 386-392.
- Ouria A., Mahmoudi A. Laboratory and numerical modeling of strip footing on geotextile-reinforced sand with cementtreated Interface. *Geotextile and Geomembrans* 2018; 46(1): 29-39.
- Önal Y. Geosentetiklerle güçlendirilmiş karayolu temel tabakasının davranışının tekrarlı yükler altında incelenmesi. Thesis (MSc). Osmaniye Korkut Ata University, Osmaniye, Turkey, 2021.
- Sarbaz H., Ghiassian H. Heshmati AA. CBR strength of reinforced soil with natural fibres and considering environmental conditions. *International Journal of Pavement Engineering* 2014; 15(7): 577-583.
- Singh HP., Bagra M. Improvement in CBR value of soil reinforced with jute fiber. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 2013; 2(8): 3447-3452.

Adana İçin Hissedilen Sıcaklığın Aylık ve Saatlik Değişiminin İncelenmesi

Şaban ÜNAL^{1*}, Mehmet BİLGİLİ²

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 8000, Osmaniye

²Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 01950, Ceyhan-Adana

¹<https://orcid.org/0000-0002-4276-2412>

²<https://orcid.org/0000-0002-5339-6120>

*Sorumlu yazar: saban.unal@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 29.10.2021

Kabul tarihi: 13.02.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Hissedilen sıcaklık

Meteorolojik veriler

Adana

ÖZ

Hissedilen sıcaklık daha çok yaz aylarında gündeme gelen bir kavramdır. Termometre ile ölçülen hava sıcaklığından farklı olarak, insan vücudunun hissettiği ya da algıladığı sıcaklık olarak tanımlanabilir. Ölçülebilen meteorolojik verilerle birlikte insanların cinsiyet, giysi, metabolizma ve psikolojik durumları gibi parametreler de hissedilen sıcaklık kavramına dahil edilmiştir. Bu nedenle hissedilen sıcaklık kişiden kişiye farklılık gösterebilir. Hissedilen sıcaklık subjektif bir kavram olmakla birlikte birçok bilimsel çalışmaya konu olmuştur. Fiziksel olarak ölçülemeyen parametreler, kişiler üzerinde yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile hissedilen sıcaklık kavramına dahil edilmişlerdir. Bu çalışmada ise, meteoroloji istasyonlarında ölçümü gerçekleştirilen parametrelere dayalı olan hissedilen sıcaklık hesaplama yöntemlerinden biri kullanılmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan sıcaklık, bağıl nem, atmosferik basınç ve rüzgâr hızı verileri kullanılarak, Adana için hissedilen sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, Adana'da dış ortam iklim koşullarının yılın %63,2'sinde normal sıcaklık aralığında, buna karşılık %18,7 oranında sıcak ve %18,1 oranında da çok sıcak olduğu söylenebilir.

Investigation of Monthly and Hourly Variation of the Real Feel Temperature for Adana

Research Article

Article History:

Received: 29.10.2021

Accepted: 13.02.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Real feel temperature

Meteorological data

Adana

ABSTRACT

The real feel temperature is a concept that comes to the fore in the summer season. It can be defined as the temperature that the human body feels or perceives, different from the air temperature measured with a thermometer. Along with the measurable meteorological data, parameters such as people's gender, clothing, metabolism and psychological conditions are also included in the concept of real feel temperature. Therefore, the real feel temperature may differ from person to person. Although the real feel temperature is a subjective concept, it has been the subject of many scientific studies. Parameters that cannot be measured physically are included in the concept of real feel temperature by evaluating the results obtained from experimental studies on individuals. One of the real feel temperature calculation methods based on the parameters measured at meteorology stations was used in this study. By using the temperature, relative humidity, atmospheric pressure and wind speed data obtained from the Turkish State Meteorological Service, the real feel temperature values for Adana city were calculated. According to the results obtained, it can be said that the outdoor climate conditions in Adana are in the normal temperature range in 63.2% of the year, on the other hand, it is hot at a rate of 18.7% and very hot at a rate of 18.1%.

To Cite: Ünal Ş., Bilgili M. Adana İçin Hissedilen Sıcaklığın Aylık ve Saatlik Değişiminin İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 580-599.

1. Giriş

Hissedilen sıcaklık, termometre ile ölçülen hava sıcaklığından farklı olarak, insan vücudunun hissettiği ya da algıladığı sıcaklıktır (Garzón-Villalba ve ark., 2019). Bu sıcaklık, havanın kuru termometre sıcaklığı, bağıl nemi, rüzgâr hızı, ışınım gibi meteorolojik faktörlerin yanı sıra, insanların giysi, vücut yapısı ve kişisel durumlarından da etkilendiği için sübjektif bir kavramdır (Yodpibul ve ark., 2021). Dolayısı ile sıcaklığı algılama ve hissetme kişiden kişiye değişiklik gösterebilir (MGM, 2021). Hissedilen sıcaklık literatürde, “heat index”, “heat stress”, “thermal stress”, “humiture”, “apparent temperature”, “real feel temperature” “felt air temperature”, veya “feels like” gibi farklı terimlerle tanımlanabilmektedir.

Kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgâr hızı hissedilen sıcaklık değerinin belirlenmesinde diğer parametrelere göre çok daha önemlidirler. Sıcak havalarda, hava sıcaklığını daha da sıcak hissetmemize neden olan faktörler, yapılan etkinliklerin seviyesi, giysilerin ısı direnci, ortalama yaygın sıcaklık, hava hızı ve havadaki nemin su buharı basıncıdır. Özellikle kış aylarında hava sıcaklığının sıfırın altına düştüğü durumlarda kuvvetli rüzgâr ile birlikte hissedilen sıcaklık, ölçülen sıcaklıktan daha düşük olmaktadır. Bu durum hava sıcaklığının olduğundan daha soğuk hissedilmesine yol açmaktadır. Herkesin sıcaklığı farklı hissediyor olması bu kavramın bilimsel olarak ele alınmasına ve çeşitli alanlarda kullanılmasına engel değildir. Bu bilgi özellikle insan sağlığı açısından önemlidir. Yüksek değerlerdeki hissedilen sıcaklıkların, insanların fiziksel aktiviteye katılımının önündeki engellerden biri olduğu birçok çalışma ile ortaya konmuştur (Wang ve ark., 2020; Farahani ve ark., 2021; Kotharkar ve ark., 2021). Hissedilen sıcaklık, insan fizyoloji ve psikolojisi ile de ilgili olduğundan, kişiye ve kişinin o anki psikolojik durumuna göre farklılık gösterebilir. Dolayısı ile yapılan çalışmalarda, hissedilen sıcaklık ile ilgili kıstaslar uç değerlere göre değil ortalama değerlere göre belirlenmiştir (MGM, 2021).

Hissedilen sıcaklık kavramının temeli Steadman’ın 1979’da yapmış olduğu çalışmaya dayanmaktadır (Fan ve ark., 2020). Buna göre hissedilen sıcaklık, insanın kütlesi ve boyu, giyimi, fiziksel aktivite miktarı, bireysel ısı toleransı, güneş ışığı ve ultraviyole radyasyona maruz kalma ve rüzgâr hızı gibi birçok parametreyi içermektedir (Steadman, 1979a, 1979b). Isı indeksi veya hissedilen sıcaklık ilk olarak 1978’de George Winterling tarafından ‘humiture’ tanımlaması yapılarak geliştirildi ve bir yıl sonra ABD Ulusal Hava Servisi tarafından kabul edildi. George Winterling tarafından yapılan çalışmanın verileri, Robert G. Steadman tarafından yürütülen çalışmalardan alınmıştır (Zune ve ark., 2020).

Osczevski ve Bluestein tarafından yapılan çalışmada hissedilen sıcaklık, havanın kuru termometre sıcaklığı ve rüzgâr hızına bağlı ampirik bir eşitlik ile hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar tablo halinde sunulmuştur. Önerilen ampirik eşitlikten elde edilen sonuçlar kış mevsimindeki hissedilen sıcaklık değerleri için kullanılabilir (Osczevski ve Bluestein, 2005). Hissedilen sıcaklık değerinin hesaplanması için sunulan modellerde genel olarak, en küçük kareler yöntemi kullanılarak elde edilen, iki parametreye bağlı polinom şeklinde denklemler kullanılmaktadır. Söz konusu denklemlerde çok

sayıda katsayı ortaya çıkmaktadır. Bunun yerine daha basit ampirik bir model (Schoen, 2005) tarafından önerilmiştir. Bu modelin belirli sıcaklık aralıklarında çok daha uygun sonuçlar verdiği, sadece üç adet katsayıya bağlı olduğundan kullanımının da çok daha kolay olduğu vurgulanmıştır.

Hissedilen sıcaklık parametresini dikkate alarak soğutma yükünü belirlemek için yapılan çalışmada, özellikle sıcaklığın 27 °C'den yüksek olduğu durumlarda bunun etkin bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Chu ve ark., 2011). Jaswal ve ark. tarafından yapılan çalışmada, Hindistan'da hissedilen sıcaklığa bağlı sağlık problemlerindeki artış incelenmiştir. İklim değişikliği sonucu artan sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin hissedilen sıcaklıkta da artışa neden olduğu vurgulanmıştır. Bunun sonucu olarak Hindistan'ın alt bölgelerinde, sıcaklık ve nemin yüksek olduğu yaz aylarında sağlık problemlerinde artış olduğu sonucuna varılmıştır (Jaswal ve ark., 2017).

Hissedilen sıcaklık veya termal stres indekslerinin çoğu Kuzey Amerika veya Avrupa ülkelerinde geliştirilmiştir. Bu indekslerin gelişmekte olan ülkeler gibi farklı iklimlere sahip ülkelerde kullanılması durumunda bazı kısıtlarla karşılaşılabilir. Bu nedenle Golbabaie ve ark. tarafından yapılan çalışmada, İran ve buna benzer iklim koşullarına sahip diğer bölgelerde de kullanılacak yeni bir termal stres indeksi önerilmiştir. Önerilen modelde, termal stres kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, hava hızı, su buharı kısmi basıncı ve entalpi parametrelerine bağlı olarak hesaplanabilmektedir (Golbabaie ve ark., 2019).

Değişen iklim koşullarında, konutlardaki aşırı ısınmanın sonucu olarak, gerekli konfor beklentilerini karşılamak için bina termal performansının iyileştirilmesine yönelik olarak yapılan bir çalışmada, ölçülen kuru termometre sıcaklığı yanında hissedilen sıcaklığa göre de bir modelleme yapılmıştır (Zune ve ark., 2020). Ghalhari ve ark. tarafından yapılan çalışmada ise, kurak ve ılık bir iklimde, termal stres indekslerinin aylık değişimi incelenmiştir. Çalışmada üç ayrı termal stres indeksi kullanılmış ve bunlardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Termal stres indekslerinin hesaplanmasında, meteoroloji istasyonlarında saatlik olarak ölçülen hava sıcaklığı ve bağıl nem olmak üzere iki önemli parametre kullanılmıştır. Çalışmanın yapıldığı bölgede, dış ortamda çalışanların ilkbahar ve yaz aylarında, özellikle Temmuz ayında, yüksek ve çok yüksek termal strese maruz kaldıkları ve bunun da ısıya bağlı hastalıklara yol açabileceği belirtilmektedir (Ghalhari ve ark., 2020). Akşit ve Duman tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, Gökpınar baraj gölü yapımı öncesi ve sonrası meteorolojik veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve gölün hissedilen sıcaklığa olan etkisi analiz edilmiştir. Hesaplamalarda barajın faaliyete geçtiği tarihten önceki (1980-2002) ve sonraki (2002-2017) yıllara ait iki ayrı veri seti kullanılmıştır. Hissedilen sıcaklık kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nem parametrelerine bağlı olarak hesaplanmıştır (Akşit ve Duman, 2020). Elde edilen verilere göre, hissedilen sıcaklıktaki artışın Gökpınar baraj gölünden kaynaklanmadığı, küresel ısınmanın bir sonucu olduğu sonucuna varılmıştır.

Hissedilen sıcaklık değeri, yaygın olarak kuru termometre sıcaklığı ve bağıl neme göre belirlenmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından da hissedilen sıcaklık değerleri Tablo 1'de görüldüğü gibi kuru termometre ve bağıl nem parametrelerine bağlı olarak verilmiştir (MGM, 2021).

Bu tabloda sıcaklığın 25 °C'nin altında olduğu durumlarda hissedilen sıcaklık değeri hesaplanamamaktadır.

Tablo 1. Meteoroloji Genel Müdürlüğü hissedilen sıcaklık tablosu

Bağıl Nem	Kuru Termometre Sıcaklığı																									
	25 °C	26 °C	27 °C	28 °C	29 °C	30 °C	31 °C	32 °C	33 °C	34 °C	35 °C	36 °C	37 °C	38 °C	39 °C	40 °C	41 °C	42 °C	43 °C	44 °C	45 °C	46 °C	47 °C	48 °C	49 °C	50 °C
5%	25 °C	25 °C	26 °C	26 °C	27 °C	28 °C	29 °C	30 °C	31 °C	31 °C	32 °C	33 °C	34 °C	35 °C	35 °C	36 °C	37 °C	38 °C	39 °C	40 °C	41 °C	41 °C	42 °C	43 °C	44 °C	45 °C
10%	25 °C	25 °C	26 °C	26 °C	27 °C	28 °C	29 °C	30 °C	31 °C	31 °C	32 °C	33 °C	34 °C	35 °C	36 °C	37 °C	38 °C	39 °C	40 °C	42 °C	43 °C	43 °C	45 °C	46 °C	47 °C	48 °C
15%	25 °C	25 °C	26 °C	26 °C	27 °C	28 °C	29 °C	30 °C	31 °C	32 °C	33 °C	34 °C	35 °C	36 °C	37 °C	38 °C	39 °C	41 °C	42 °C	44 °C	45 °C	46 °C	48 °C	49 °C	51 °C	53 °C
20%	25 °C	26 °C	26 °C	27 °C	27 °C	28 °C	29 °C	30 °C	31 °C	32 °C	33 °C	34 °C	36 °C	37 °C	38 °C	39 °C	41 °C	43 °C	44 °C	46 °C	48 °C	49 °C	51 °C	53 °C	55 °C	58 °C
25%	25 °C	26 °C	26 °C	27 °C	28 °C	28 °C	29 °C	31 °C	32 °C	32 °C	34 °C	35 °C	37 °C	38 °C	39 °C	41 °C	43 °C	45 °C	47 °C	49 °C	52 °C	53 °C	55 °C	58 °C	61 °C	66 °C
30%	26 °C	26 °C	27 °C	27 °C	28 °C	29 °C	30 °C	31 °C	32 °C	33 °C	35 °C	36 °C	38 °C	40 °C	41 °C	43 °C	45 °C	48 °C	50 °C	52 °C	56 °C	57 °C	60 °C	63 °C	66 °C	69 °C
35%	26 °C	26 °C	27 °C	27 °C	28 °C	29 °C	30 °C	32 °C	33 °C	34 °C	36 °C	38 °C	40 °C	42 °C	43 °C	46 °C	48 °C	51 °C	54 °C	57 °C	62 °C	62 °C	65 °C	68 °C	72 °C	76 °C
40%	26 °C	26 °C	27 °C	28 °C	28 °C	30 °C	31 °C	33 °C	34 °C	35 °C	37 °C	39 °C	42 °C	44 °C	46 °C	48 °C	51 °C	54 °C	58 °C	61 °C	63 °C	67 °C	70 °C	75 °C	79 °C	83 °C
45%	26 °C	26 °C	27 °C	28 °C	29 °C	30 °C	32 °C	34 °C	36 °C	37 °C	39 °C	41 °C	44 °C	47 °C	48 °C	51 °C	55 °C	58 °C	62 °C	66 °C	70 °C	72 °C	76 °C	81 °C	86 °C	91 °C
50%	26 °C	27 °C	28 °C	29 °C	30 °C	31 °C	33 °C	35 °C	37 °C	38 °C	41 °C	43 °C	46 °C	50 °C	51 °C	55 °C	59 °C	62 °C	67 °C	71 °C	76 °C	78 °C	83 °C	88 °C	94 °C	99 °C
55%	26 °C	27 °C	28 °C	29 °C	30 °C	32 °C	35 °C	38 °C	41 °C	45 °C	46 °C	50 °C	53 °C	55 °C	59 °C	63 °C	67 °C	72 °C	77 °C	82 °C	85 °C	90 °C	96 °C			
60%	26 °C	27 °C	28 °C	30 °C	31 °C	33 °C	35 °C	38 °C	40 °C	42 °C	45 °C	48 °C	52 °C	56 °C	58 °C	63 °C	67 °C	72 °C	77 °C	83 °C	88 °C	91 °C	98 °C			
65%	27 °C	27 °C	29 °C	30 °C	32 °C	34 °C	36 °C	39 °C	42 °C	44 °C	48 °C	51 °C	56 °C	60 °C	62 °C	67 °C	72 °C	78 °C	83 °C	89 °C	96 °C	99 °C				
70%	27 °C	27 °C	28 °C	29 °C	30 °C	32 °C	35 °C	38 °C	41 °C	45 °C	46 °C	50 °C	55 °C	59 °C	64 °C	67 °C	72 °C	78 °C	83 °C	90 °C	96 °C					
75%	27 °C	28 °C	30 °C	32 °C	33 °C	36 °C	40 °C	43 °C	47 °C	49 °C	53 °C	58 °C	63 °C	68 °C	71 °C	77 °C	83 °C	90 °C	97 °C							
80%	27 °C	28 °C	30 °C	32 °C	34 °C	38 °C	41 °C	45 °C	49 °C	52 °C	57 °C	62 °C	67 °C	73 °C	76 °C	83 °C	89 °C	96 °C								
85%	27 °C	28 °C	31 °C	32 °C	34 °C	36 °C	39 °C	43 °C	47 °C	52 °C	55 °C	60 °C	66 °C	72 °C	78 °C	81 °C	88 °C	96 °C								
90%	27 °C	28 °C	31 °C	33 °C	37 °C	41 °C	45 °C	50 °C	55 °C	58 °C	64 °C	70 °C	76 °C	83 °C	87 °C	95 °C										
95%	27 °C	29 °C	32 °C	34 °C	38 °C	42 °C	47 °C	53 °C	58 °C	61 °C	68 °C	74 °C	81 °C	89 °C	93 °C											

-1~26 °C Soğuk-Serin
27~32 °C Sıcak
33~41 °C Çok sıcak
42~54 °C Tehlikeli sıcak
>55 °C Tehlikeli sıcak

Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) tarafından yayınlanan hissedilen sıcaklık değerleri Tablo 2'de verilmiş olup, burada da hissedilen sıcaklık değeri yine kuru termometre sıcaklığı ve bağıl neme göre belirlenmektedir (Zune ve ark., 2020).

Tablo 2. NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) hissedilen sıcaklık tablosu

Bağıl Nem	Kuru Termometre Sıcaklığı															
	80 °F	82 °F	84 °F	86 °F	88 °F	90 °F	92 °F	94 °F	96 °F	98 °F	100 °F	102 °F	104 °F	106 °F	108 °F	110 °F
40%	80 °F	81 °F	83 °F	85 °F	88 °F	91 °F	94 °F	97 °F	101 °F	105 °F	109 °F	114 °F	119 °F	124 °F	130 °F	136 °F
45%	80 °F	82 °F	84 °F	87 °F	89 °F	93 °F	96 °F	100 °F	104 °F	109 °F	114 °F	119 °F	124 °F	130 °F	137 °F	
50%	81 °F	83 °F	85 °F	88 °F	91 °F	95 °F	99 °F	103 °F	108 °F	113 °F	118 °F	124 °F	131 °F	137 °F		
55%	81 °F	84 °F	86 °F	89 °F	93 °F	97 °F	101 °F	106 °F	112 °F	117 °F	124 °F	130 °F	137 °F			
60%	82 °F	84 °F	88 °F	91 °F	95 °F	100 °F	105 °F	110 °F	116 °F	123 °F	129 °F	137 °F				
65%	82 °F	85 °F	89 °F	93 °F	98 °F	103 °F	108 °F	114 °F	121 °F	128 °F	136 °F					
70%	83 °F	86 °F	90 °F	95 °F	100 °F	105 °F	112 °F	119 °F	126 °F	134 °F						
75%	84 °F	88 °F	92 °F	97 °F	103 °F	109 °F	116 °F	124 °F	132 °F							
80%	84 °F	89 °F	94 °F	100 °F	106 °F	113 °F	121 °F	129 °F								
85%	85 °F	90 °F	96 °F	102 °F	110 °F	117 °F	126 °F	135 °F								
90%	86 °F	91 °F	98 °F	105 °F	113 °F	122 °F	131 °F									
95%	86 °F	93 °F	100 °F	108 °F	117 °F	127 °F										
100%	87 °F	95 °F	103 °F	112 °F	121 °F	132 °F										

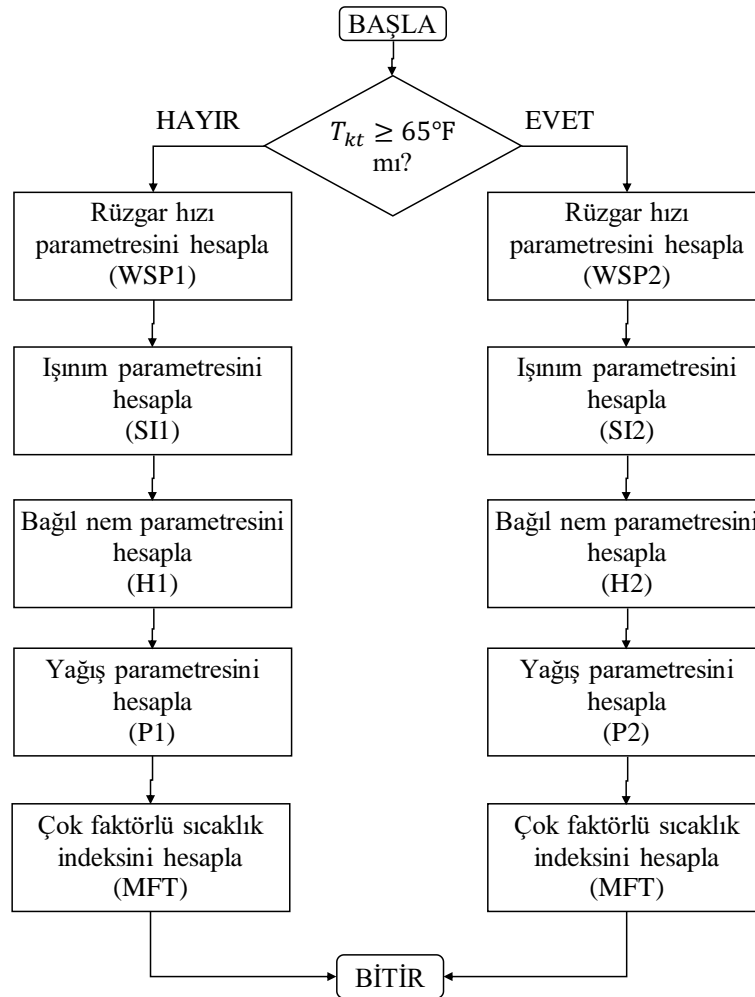
26-32 °C Dikkat
32-41 °C Aşırı dikkat
41-54 °C Tehlikeli
>54 °C Aşırı tehlikeli

Tablo 1 ve Tablo 2'de verilen hissedilen sıcaklık değerleri arasında küçük farklılıklar olabilmektedir. Tablolarda sunulan değerler ampirik eşitliklerden elde edilmekte, dolayısı ile farklı çalışmalarda farklı sonuçlar elde edilebilmektedir.

Hissedilen sıcaklık ile ilgili olarak bugüne kadar sınırlı sayıda hesaplama yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin çoğu sıcaklığın belirli bir değerden yüksek olduğu, bağıl nemin etkisinin daha fazla görüldüğü yani genel olarak yaz mevsiminde geçerlidir. Bu çalışmada hissedilen sıcaklık değeri, özel bir kuruluşun (AccuWeather) patentli bir ürünü olan hesaplama yöntemine göre belirlenmiştir. AccuWeather şirketinin hesaplama yöntemi ile yaz ve kış mevsimleri de dahil olmak üzere, yılın tüm zamanında hissedilen sıcaklık değeri hesaplanabilmektedir. Çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan veriler kullanılarak, Adana merkez için hissedilen sıcaklık değerinin aylık ve saatlik değişimi incelenmiştir.

2. Matematiksel Model

AccuWeather tarafından geliştirilen hissedilen sıcaklık hesaplamasının yönteminin detayları US007251579B2 numaralı “Çok Faktörlü Sıcaklık İndeksini Hesaplamak İçin Yöntem, Sistem ve Yazılım” başlıklı patent dokümanında açıklanmıştır (Myers ve ark., 2007). Çalışmada hissedilen sıcaklık, MFT (“Multi Factor Temperature”, “Çok Parametrelili Sıcaklık”) olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada hissedilen sıcaklık değeri T_{his} şeklinde ifade edilmiştir.



Şekil 1. Çok parametrelili hissedilen sıcaklık hesaplama yöntemi

AccuWeather şirketinin hissedilen sıcaklık hesaplama yöntemi Şekil 1’de görüldüğü gibidir. Buna göre hissedilen sıcaklık hesabında kuru termometre sıcaklığı yanında, havanın bağıl nemi, rüzgâr hızı, ışınlım, atmosferik basınç, havanın bulutluluk oranı, yağış durumu gibi birçok parametre dikkate alınmaktadır. Gerektiğinde ise sadece sıcaklık ve bağıl neme göre de hissedilen sıcaklığın hesaplanabileceği vurgulanmaktadır. AccuWeather tarafından sunulan yöntemle göre, kuru termometre sıcaklığının 65°F’tan (18,3°C) küçük olması durumunda, çok parametrelili hissedilen sıcaklık değeri Eş. (1)’den hesaplanır (Myers ve ark., 2007).

$$T_{his} = T_{kt} - WSP_1 + SI_1 + H_1 - P_1 \quad (1)$$

Rüzgâr hızı parametresi WSP_1 Eş. (2) kullanılarak hesaplanır (Myers ve ark., 2007).

$$WSP_1 = \sqrt{W} \left[\left(\sqrt{P_{atm}/10} \right) / 10 \right] \quad (2)$$

Burada W rüzgâr hızını (mil/h), P_{atm} ise atmosferik basıncı (mbar) ifade etmektedir. Eş. (1)’deki SI_1 , hJ/m^2 cinsinden ölçülen ışınlım değerini ifade etmektedir. Hissedilen sıcaklık hesabındaki bir diğer parametre ise H_1 olup, Eş. (3)’te görüldüğü gibi havanın çığ noktası sıcaklığı ve rüzgâr hızı değerlerine göre belirlenmektedir (Myers ve ark., 2007).

$$H_1 = (D_A - 55 - \sqrt{W})^2 / 30 \quad (3)$$

Burada D_A , çığ noktası sıcaklığı (D , °F) ve rüzgâr hızına (W , mil/h) bağlı olarak hesaplanan bir parametredir. D_A parametresi aşağıda Eş. (4)’te belirtildiği gibi hesaplanır (Myers ve ark., 2007).

$$\begin{aligned} D_A &= D, \text{ eğer } D \geq 55 + \sqrt{W} \text{ ise} \\ D_A &= 55 + \sqrt{W}, \text{ eğer } D < 55 + \sqrt{W} \text{ ise} \end{aligned} \quad (4)$$

Son olarak, Eş. (1)’e göre hesaplanan hissedilen sıcaklık değeri için gerekli olan P_1 , yağış durumu parametresi ise, aşağıda verilen Tablo 3’teki duruma göre belirlenir.

Tablo 3. Yağış durumu parametresi (Myers ve ark., 2007)

Yağış Durumu	P_1		
	Şiddetli	Orta	Hafif
Yağmurlu	5	4	3
Sağanak yağmurlu	4	4	2
Karlı	4	3	2
Dolu	4	3	2
Sağanak karlı	4	3	1
Hafif yağmurlu	4	2	1
Sisli	2	2	2

Kuru termometre sıcaklığının 65°F (18,3°C) değerine eşit veya büyük olması durumunda ise, çok parametrelili hissedilen sıcaklık değeri Eş. (5)'ten hesaplanır (Myers ve ark., 2007).

$$T_{his} = 80 - WSP_2 + SI_2 + H_2 - P_2 \quad (5)$$

Rüzgâr hızı parametresi WSP_2 , Eş. (6) kullanılarak hesaplanır (Myers ve ark., 2007).

$$WSP_2 = (80 - T_{kt})(0,566 + 0,25\sqrt{W_A} - 0,166W_A) \left(\sqrt{P_{atm}/10}/10 \right) \quad (6)$$

Burada rüzgâr hızına bağlı olan W_A parametresi Eş. (7)'de belirtildiği gibi hesaplanır. Rüzgâr hızı W yine (mil/h) cinsinden, atmosferik basınç değeri P_{atm} de (mbar) cinsindedir (Myers ve ark., 2007).

$$W_A = W/2 + 2; \text{ eğer } W < 4 \text{ ise}$$

$$W_A = 56; \text{ eğer } W > 56 \text{ ise} \quad (7)$$

$$W_A = W; \text{ eğer } 4 \leq W \leq 56 \text{ ise}$$

Eş. (5)'teki ışınlım parametresi SI_2 değeri de, daha önceki SI_1 parametresi gibi yine hJ/m^2 cinsin yerine konmalıdır. Hava sıcaklığının 65°F'ta eşit veya daha yüksek olması durumunda, Eş. (5)'teki H_2 bağıl nem parametresi de, daha önce açıklanan H_1 parametresi gibi Eş. (3) ve Eş. (4) kullanılarak hesaplanır. P_2 , yağış durumu parametresi de yine Tablo 3'te belirtilen yağış durumları dikkate alınarak belirlenir.

Bu çalışmada havanın kuru termometre sıcaklığı, bağıl nemi, rüzgâr hızı ve atmosferik basınç parametreleri dikkate alınarak hissedilen sıcaklık değeri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda ışınlım ve havanın yağış durumu ile ilgili parametreler dikkate alınmamıştır. Eş. (1) ve Eş. (5)'ten hesaplanan hissedilen sıcaklık değeri (°F) cinsinden olup, elde edilen sonuçlar (°C) birimine dönüştürülerek verilmiştir.

Bağıl nem parametreleri H_1 ve H_2 'nin hesaplanmasında kullanılan çığ noktası sıcaklığı, havanın içindeki su buharı kısmi basıncının, aynı sıcaklıktaki su buharı doyma basıncına eşit olduğu, yani bağıl nemin %100 olduğu noktadaki sıcaklık olarak tanımlanır. Havanın çığ noktası sıcaklığını hesaplamak için öncelikle, havanın içindeki su buharının çığ noktasındaki doyma basıncının belirlenmesi gerekir. Bunun için aşağıdaki Eş. (8) kullanılabilir.

$$P_{\text{çn}} = \frac{w \cdot P_{atm}}{0,622 + w} \quad (8)$$

Eş. (8)'deki ω değeri, havanın özgül nem miktarını göstermektedir. Havanın özgül nem miktarı Eş. (9)'dan hesaplanabilir.

$$\omega = 0,622 \frac{\varphi \cdot P_d}{P_{atm} - \varphi \cdot P_d} \quad (9)$$

Burada φ havanın ölçülen bağıl nem değerini, P_d ise su buharının T_{kt} sıcaklığındaki doyma basıncını göstermektedir. P_{atm} yerel atmosferik basıncı ifade etmektedir. Havanın sıcaklığı bilindiğinde, bu sıcaklıktaki su buharının doyma basıncı Eş. (10)'da görülen ampirik denklem yardımı ile hesaplanabilir (Yılmaz ve Ünal, 1994).

$$P_d^* = P_1^* + P_2^* - \frac{1}{P_3^* + P_4^*} \quad (10)$$

Eş. (10)'daki P_d^* , P_1^* , P_2^* , P_3^* ve P_4^* boyutsuz büyüklükler olup, aşağıda verilen Eş. (11~15) kullanılarak hesaplanır.

$$P_d^* = P_d / P_{kr} \quad (11)$$

$$P_1^* = 533,83 \cdot e^{5,897 / (0,07086 - T_d^*)} \quad (12)$$

$$P_2^* = 107 \cdot 10^6 \cdot e^{-21,18 / T_d^*} \quad (13)$$

$$P_3^* = 10^{19} \cdot e^{-11,8 / T_d^*} \quad (14)$$

$$P_4^* = 3 \cdot 10^{-4} \cdot e^{8,56 / T_d^*} \quad (15)$$

Yukarıdaki eşitliklerde görülen boyutsuz sıcaklık Eş. (16)'da görüldüğü gibi tanımlanmıştır.

$$T_d^* = \frac{T_{kt} + 273}{T_{kr} + 273} \quad (16)$$

Su buharı için kritik sıcaklık $T_{kr} = 374,15$ °C ve kritik basınç $P_{kr} = 22,12$ MPa olarak alınabilir. Eş. (9)'dan havanın özgül nem oranı belirlendikten sonra, çığ noktası sıcaklığını belirlemek için gerekli olan, havanın içindeki su buharının çığ noktasında kısmi basıncının belirlenmesi gerekir. Bunun için Eş. (9)'da bağıl nem değeri %100 olarak alındığında, çığ noktasındaki doyma basıncı için Eş. (17) elde edilir.

$$P_{d\zeta n} = \frac{\omega \cdot P_{atm}}{0,622 + \omega} \quad (17)$$

Elde edilen çığ noktası doyma basıncı, Eş. (10)'un doyma sıcaklığına göre düzenlenmesi elde edilen aşağıdaki Eş. (18)'de yerine konması durumunda, çığ noktası sıcaklığı iteratif olarak hesaplanabilir (Yılmaz ve Ünal, 1994).

$$T_{\zeta n}^* = 0,07086 - \frac{5,897}{\ln \left[\left(P_{d\zeta n}^* - P_{2\zeta n}^* + \frac{1}{P_{3\zeta n}^* + P_{4\zeta n}^*} \right) / 533,83 \right]} \quad (18)$$

Buna göre, çığ noktası sıcaklığı için aşağıdaki Eş. (19) kullanılabilir.

$$T_{\zeta n}^* = \frac{D + 273}{T_{kr} + 273} \quad (19)$$

Bu çalışma Adana ili için yapılmıştır. Adana, tipik Akdeniz iklimine sahip bir ilimizdir. Kışları ılık ve yağışlı, yazları ise sıcak ve kuraktır. Bu çalışmada kullanılan 2015-2019 yılları arasındaki, toplam 5 yıllık saatlik veriler (kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı, atmosferik basınç) Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınmış olup, verilerin alındığı istasyona ait temel bilgiler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Meteorolojik verilerin alındığı istasyon bilgileri

İstasyon Kodu	İstasyon Adı	İl	İlçe	Enlem	Boylam	Rakım
17351	Adana Bölge	Adana	Yüreğir	37,0041	35,3443	23

3. Bulgular ve Tartışma

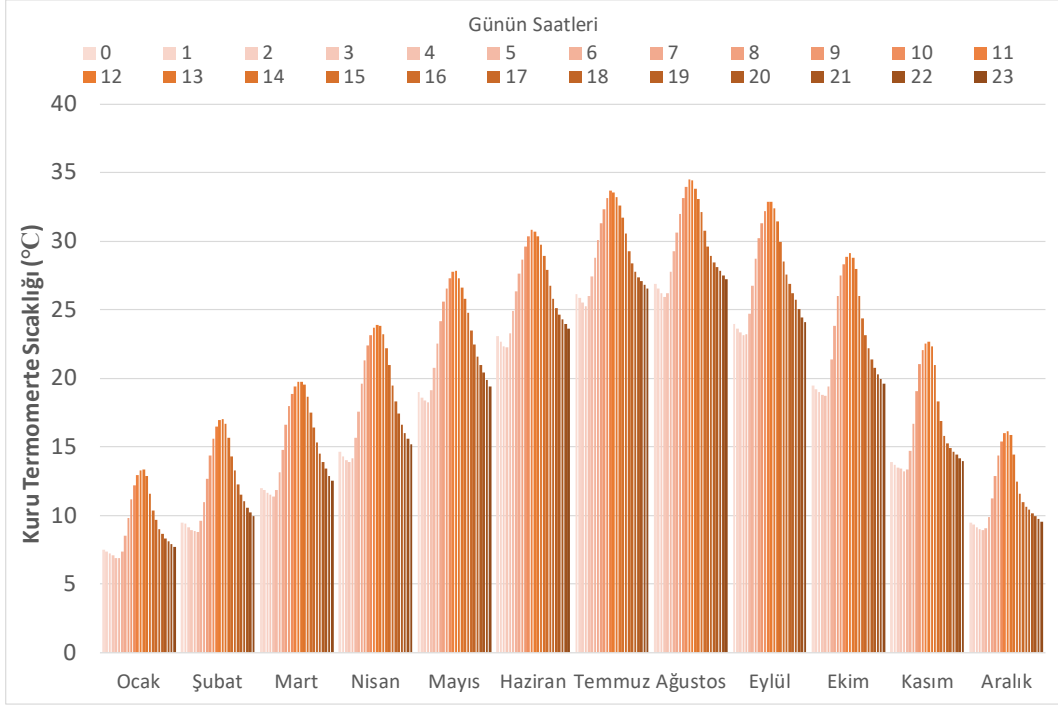
Ölçülen kuru termometre sıcaklığı, insanların kendilerini ne derece konforlu hissettiklerini belirleyen parametrelerden sadece bir tanesidir. Sıcaklık aynı zamanda, hava koşullarını bildirmek için kullanılan en popüler hava durumu göstergesidir, ancak bir kişinin gerçekten kendini ne kadar rahat hissettiğinin yeterli bir göstergesi değildir. Ölçülen sıcaklık yanında diğer hava koşulları da insanların hissettiği konfor seviyesini önemli ölçüde etkiler. Mevcut hissedilen sıcaklık indeksleri, sadece sıcaklığa veya sıcaklığın yanında bağıl neme dayalı indekslerdir. Bunlar normal giyimli bir kişinin kendini ne kadar sıcak veya soğuk hissettiğini doğru bir şekilde ölçmekte yetersiz kalmaktadır. Bir kişinin gerçekten hissettiği konfor seviyesi, örneğin rüzgâr, nem, güneş yoğunluğu, bulutluluk, yağış, atmosferik basınç ve yükseklik gibi diğer birçok hava koşulunun bir bileşimidir (Myers ve ark., 2004).

Bu çalışmada, AccuWeather tarafından geliştirilen hissedilen sıcaklık hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Yöntem “Çok Faktörlü Sıcaklık” olarak anılmaktadır. AccuWeather tarafından sunulan

hesaplama yöntemi kullanılarak, Adana için hissedilen sıcaklık değerlerinin hesaplanmasında, Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan, 2015-2019 yıllarına ait veriler kullanılmıştır. Kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, atmosferik basınç ve rüzgâr hızı için saatlik bazda alınan değerler incelenmiş, cihaz arızası veya elektrik kesintisi gibi çeşitli nedenlerle, bazı saatlerde veri olmadığı görülmüştür. Eksik olan bu veriler, bir önceki ve bir sonraki verinin ortalaması olacak şekilde tamamlanmıştır. Bunun dışında daha uzun süreli veri eksiklikleri de diğer yıllardaki aynı zamana denk gelen veriler kullanılarak ortalama bir değer alınmıştır. Hesaplamalarda 29 Şubat gününe ait veriler dikkate alınmamış, bu veriler veri setinden çıkarılmıştır. Buna göre kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, atmosferik basınç ve rüzgâr hızı parametrelerinin her biri için 43.800 adet veri kullanılmıştır. Toplam 5 yıllık verinin ortalaması alınmış ve bu şekilde her bir parametre için 8.760 adet veri elde edilmiştir. Daha sonra bunların da aylık bazda ortalaması alınmış, bu şekilde Adana için kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, atmosferik basınç ve rüzgâr hızı değerlerinin aylara göre saatlik değişimi veren veri setleri oluşturulmuştur.

Tablo 5. Adana için kuru termometre sıcaklık değerleri, T_{kt} (°C)

Saat	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
0	7,5	9,5	12,0	14,6	19,0	23,1	26,2	26,9	23,9	19,5	13,9	9,5
1	7,4	9,4	11,9	14,3	18,6	22,7	25,9	26,5	23,7	19,2	13,7	9,4
2	7,2	9,1	11,7	14,1	18,4	22,4	25,6	26,2	23,4	19,0	13,5	9,2
3	7,1	9,0	11,5	13,9	18,3	22,3	25,3	25,9	23,2	18,8	13,4	9,0
4	6,9	8,9	11,4	14,1	19,2	23,3	26,0	26,2	23,2	18,7	13,2	9,0
5	6,9	8,8	11,9	15,7	20,7	24,9	27,4	27,8	24,7	19,4	13,4	9,1
6	7,4	9,6	13,2	17,6	22,5	26,3	28,8	29,3	26,8	21,4	14,8	9,9
7	8,6	11,0	14,8	19,6	24,2	27,6	30,1	30,7	28,7	23,9	16,7	11,2
8	9,8	12,7	16,7	21,3	25,6	28,7	31,3	32,0	30,2	26,0	19,1	12,9
9	11,2	14,4	18,0	22,4	26,5	29,6	32,3	33,2	31,3	27,5	21,0	14,4
10	12,2	15,6	18,9	23,2	27,3	30,4	33,2	34,0	32,2	28,3	22,1	15,4
11	12,9	16,5	19,4	23,7	27,8	30,9	33,7	34,5	32,8	28,8	22,5	16,0
12	13,3	17,0	19,7	23,9	27,8	30,7	33,5	34,4	32,9	29,1	22,7	16,1
13	13,4	17,0	19,8	23,8	27,3	30,3	33,2	33,9	32,4	28,8	22,3	15,9
14	12,9	16,7	19,5	23,2	26,6	29,8	32,6	33,1	31,4	28,0	21,0	14,4
15	11,6	15,7	18,7	22,2	25,8	29,0	31,7	32,1	30,0	26,0	18,3	12,5
16	10,4	14,3	17,5	21,0	24,8	27,9	30,5	30,8	28,6	24,4	16,9	11,6
17	9,7	13,3	16,4	19,5	23,5	26,7	29,3	29,6	27,6	23,2	15,8	11,0
18	9,0	12,2	15,3	18,4	22,5	25,8	28,4	28,9	26,9	22,2	15,3	10,7
19	8,6	11,5	14,5	17,4	21,6	25,2	27,8	28,5	26,2	21,4	14,9	10,4
20	8,4	11,0	13,9	16,7	21,0	24,7	27,4	28,1	25,7	20,8	14,7	10,2
21	8,1	10,6	13,4	16,0	20,4	24,3	27,1	27,8	25,0	20,3	14,4	10,0
22	7,9	10,2	12,9	15,6	19,9	24,0	26,8	27,5	24,5	20,0	14,2	9,7
23	7,7	10,0	12,5	15,2	19,4	23,6	26,5	27,2	24,1	19,6	14,0	9,5
Min.	6,9	8,8	11,4	13,9	18,3	22,3	25,3	25,9	23,2	18,7	13,2	9,0
Mak.	13,4	17,0	19,8	23,9	27,8	30,9	33,7	34,5	32,9	29,1	22,7	16,1
Ort.	9,4	12,2	15,2	18,6	22,9	26,4	29,2	29,8	27,5	23,1	16,7	11,5



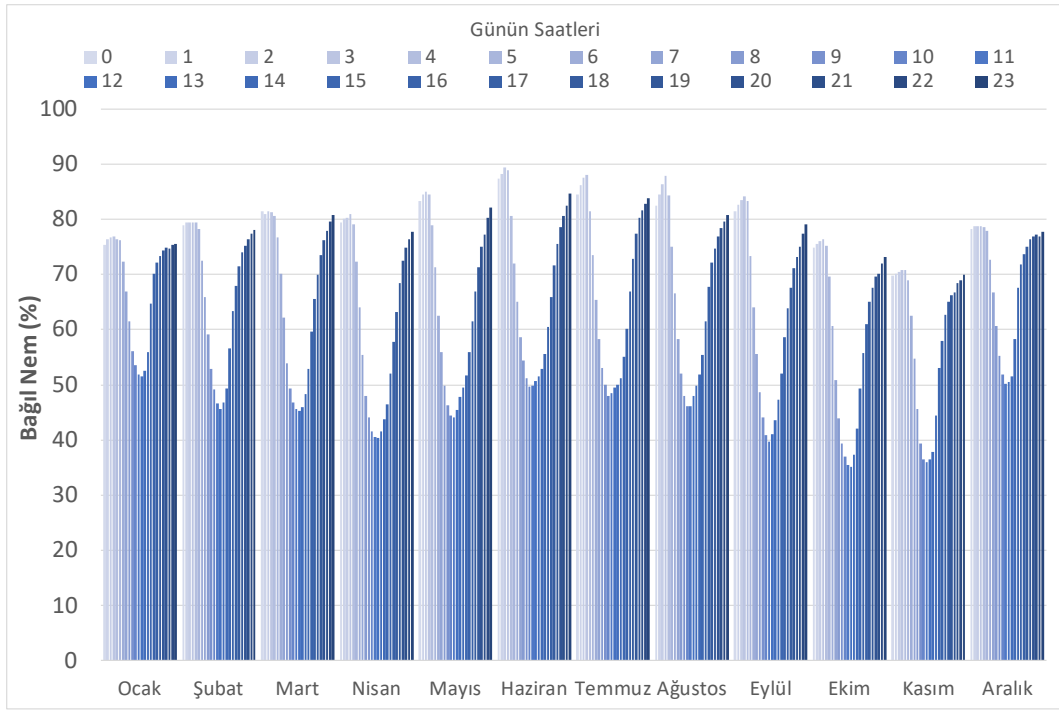
Şekil 2. Kuru termometre sıcaklığının aylık değişimi

Tablo 5'te Adana için, 2015-2019 yılları arasına ait 5 yıllık verilerin ortalamasını gösteren kuru termometre sıcaklık değerleri verilmiştir. Şekil 2'de de bu değerlerin aylara göre saatlik değişimi görülmektedir. Buna göre, kuru termometre sıcaklığı en düşük Ocak ayında, saat 05:00'te 6,9°C olarak hesaplanmıştır. Belirtilen dönemin ortalamasına göre, en yüksek sıcaklık ise Ağustos ayında, saat 11:00'de 34,5°C olarak belirlenmiştir. Yıl genelinde en düşük sıcaklıklar gece yarısından sonra 03:00~05:00 saatleri arasında, en yüksek sıcaklıklar ise gün ortasında 11:00~13:00 saatleri arasında görülmektedir. Adana'nın yıllık ortalama kuru termometre sıcaklığının ise 20,2°C olduğu belirlenmiştir.

Tablo 6'da Adana için, 2015-2019 yılları arasına ait 5 yıllık verilerin ortalamasını gösteren bağıl nem değerleri verilmiştir. Şekil 3'te de bu değerlerin aylara göre saatlik değişimi görülmektedir. Buna göre, bağıl nem en düşük Ekim ayında, saat 12:00'de %35,1 olarak belirlenmiştir. Belirtilen dönemin ortalamasına göre, en yüksek bağıl nem değeri ise Haziran ayında, saat 02:00'te %89,3 olmuştur. Yıl genelinde en düşük bağıl nem değerleri gündüz saatlerinde 10:00~12:00 arasında, en yüksek bağıl nem değerlerinin ise gece yarısından sonra 02:00~04:00 saatleri arasında olduğu görülmektedir. Adana'da ölçülen bağıl nemin yıllık ortalama değerinin ise %65,1 olduğu belirlenmiştir.

Tablo 6. Adana için bağıl nem değerleri, φ (%)

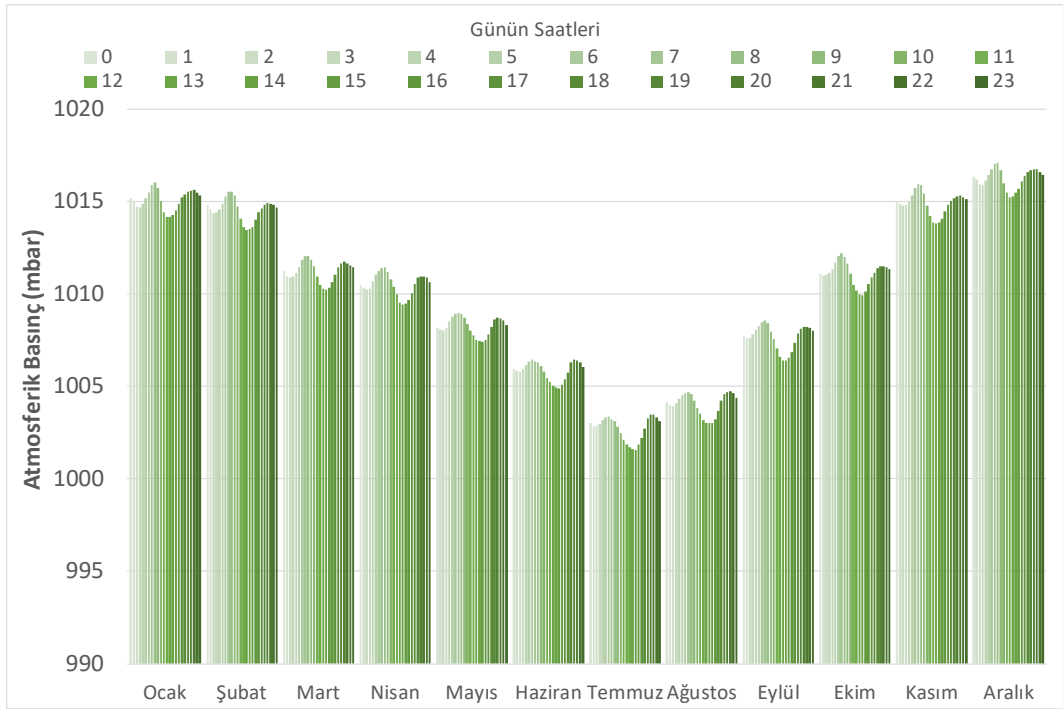
Saat	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
0	75,3	78,8	81,4	79,4	83,4	87,4	84,6	82,4	81,4	74,9	69,9	78,3
1	76,3	79,4	80,9	80,0	84,5	88,3	86,2	84,4	82,6	75,5	70,1	78,7
2	76,8	79,4	81,5	80,3	85,0	89,3	87,5	86,4	83,4	76,0	70,5	78,8
3	76,9	79,4	81,2	80,9	84,5	89,0	88,1	87,8	84,1	76,4	70,8	78,8
4	76,4	79,3	80,7	79,1	79,0	80,6	81,5	84,3	83,3	75,2	70,8	78,6
5	76,2	78,3	76,7	72,3	71,3	72,1	73,6	75,0	73,4	69,6	68,9	77,9
6	72,4	72,5	70,1	64,1	62,5	65,1	65,3	66,6	64,1	60,6	62,6	72,7
7	66,9	65,9	62,1	55,4	55,9	58,6	58,3	58,3	55,6	50,9	54,7	66,8
8	61,5	59,2	53,9	48,1	49,9	54,4	53,1	52,1	48,6	43,9	45,6	60,6
9	56,1	52,9	49,4	44,1	46,2	51,2	49,9	48,0	44,1	39,4	39,3	55,3
10	53,6	49,2	46,7	41,6	44,5	49,7	47,9	46,0	40,9	37,0	36,5	51,8
11	51,8	46,6	45,6	40,6	44,2	49,8	48,5	46,1	39,6	35,4	36,0	50,2
12	51,6	45,7	45,3	40,4	45,5	50,8	49,5	48,0	41,1	35,1	36,5	50,6
13	52,6	46,8	46,0	41,6	47,7	51,6	50,1	49,9	43,5	37,3	37,8	51,6
14	56,0	49,3	48,4	43,7	49,5	52,8	51,1	51,8	47,3	42,1	44,4	58,4
15	64,6	56,6	52,9	46,5	51,7	55,7	55,0	55,4	52,1	49,3	53,1	67,6
16	70,1	63,3	59,7	52,0	55,9	60,5	60,1	61,5	58,7	55,8	58,0	71,8
17	72,1	68,0	65,5	57,9	61,6	65,9	66,9	67,7	63,9	61,0	62,8	73,6
18	73,3	71,5	70,0	63,2	66,9	71,6	72,9	72,1	67,6	65,0	65,1	75,1
19	74,3	74,0	73,6	68,5	71,3	75,6	77,3	74,7	71,1	67,5	66,3	76,4
20	74,8	75,1	76,2	72,5	75,0	78,5	80,2	76,8	73,1	69,6	66,8	76,9
21	74,8	76,4	78,0	74,9	77,3	80,6	81,7	78,5	75,0	70,1	68,5	77,2
22	75,3	77,4	79,6	76,5	80,3	82,5	82,9	79,6	77,4	72,0	69,0	76,9
23	75,5	78,1	80,7	77,7	82,2	84,7	83,8	80,8	79,2	73,2	69,9	77,8
Min.	51,6	45,7	45,3	40,4	44,2	49,7	47,9	46,0	39,6	35,1	36,0	50,2
Mak.	76,9	79,4	81,5	80,9	85,0	89,3	88,1	87,8	84,1	76,4	70,8	78,8
Ort.	68,1	66,8	66,1	61,7	64,8	68,6	68,2	67,3	63,8	58,9	58,1	69,3



Şekil 3. Bağıl nemin aylık değişimi

Tablo 7. Adana için atmosferik basınç değerleri, P_{atm} (mbar)

Saat	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
0	1015,2	1014,8	1011,3	1010,5	1008,2	1005,9	1003,0	1004,1	1007,7	1011,1	1015,0	1016,3
1	1015,0	1014,5	1011,0	1010,3	1008,1	1005,8	1002,8	1004,0	1007,6	1011,0	1014,9	1016,2
2	1014,7	1014,4	1010,9	1010,2	1008,0	1005,8	1002,8	1003,9	1007,6	1011,0	1014,8	1015,9
3	1014,7	1014,4	1011,0	1010,3	1008,2	1006,0	1003,0	1004,1	1007,8	1011,2	1014,8	1015,9
4	1014,9	1014,6	1011,1	1010,7	1008,5	1006,1	1003,1	1004,3	1008,1	1011,3	1015,0	1016,1
5	1015,2	1014,9	1011,5	1011,0	1008,8	1006,4	1003,3	1004,5	1008,3	1011,7	1015,3	1016,4
6	1015,5	1015,3	1011,8	1011,3	1008,9	1006,5	1003,4	1004,6	1008,5	1012,1	1015,7	1016,7
7	1015,9	1015,5	1012,1	1011,4	1009,0	1006,4	1003,2	1004,7	1008,6	1012,2	1015,9	1017,0
8	1016,0	1015,5	1012,0	1011,4	1008,9	1006,3	1003,1	1004,6	1008,4	1012,0	1015,9	1017,1
9	1015,7	1015,3	1011,9	1011,2	1008,7	1006,1	1002,8	1004,2	1008,0	1011,7	1015,4	1016,7
10	1015,0	1014,7	1011,5	1010,8	1008,4	1005,8	1002,5	1003,8	1007,5	1011,1	1014,8	1016,0
11	1014,4	1014,1	1011,0	1010,4	1008,0	1005,4	1002,1	1003,5	1007,0	1010,5	1014,2	1015,5
12	1014,2	1013,6	1010,5	1010,0	1007,7	1005,2	1001,9	1003,2	1006,6	1010,2	1013,9	1015,2
13	1014,2	1013,5	1010,3	1009,5	1007,5	1005,1	1001,7	1003,0	1006,4	1010,0	1013,8	1015,3
14	1014,3	1013,5	1010,2	1009,4	1007,4	1005,0	1001,6	1003,0	1006,4	1010,0	1013,9	1015,5
15	1014,5	1013,6	1010,3	1009,5	1007,4	1004,9	1001,6	1003,0	1006,6	1010,1	1014,1	1015,7
16	1014,9	1014,0	1010,7	1009,7	1007,5	1005,1	1001,9	1003,2	1006,8	1010,5	1014,5	1016,1
17	1015,2	1014,4	1011,1	1010,0	1007,8	1005,4	1002,2	1003,7	1007,3	1010,9	1014,8	1016,4
18	1015,4	1014,6	1011,4	1010,5	1008,2	1005,8	1002,7	1004,2	1007,9	1011,1	1015,0	1016,6
19	1015,5	1014,8	1011,6	1010,9	1008,6	1006,3	1003,3	1004,6	1008,1	1011,4	1015,2	1016,7
20	1015,6	1014,9	1011,7	1011,0	1008,7	1006,4	1003,5	1004,7	1008,2	1011,5	1015,3	1016,7
21	1015,6	1014,9	1011,7	1010,9	1008,7	1006,4	1003,5	1004,7	1008,2	1011,5	1015,3	1016,7
22	1015,5	1014,8	1011,6	1010,9	1008,6	1006,3	1003,3	1004,6	1008,2	1011,4	1015,2	1016,6
23	1015,3	1014,7	1011,5	1010,6	1008,3	1006,0	1003,1	1004,4	1008,0	1011,4	1015,1	1016,4
Min.	1014,2	1013,5	1010,2	1009,4	1007,4	1004,9	1001,6	1003,0	1006,4	1010,0	1013,8	1015,2
Mak.	1016,0	1015,5	1012,1	1011,4	1009,0	1006,5	1003,5	1004,7	1008,6	1012,2	1015,9	1017,1
Ort.	1015,1	1014,6	1011,2	1010,5	1008,3	1005,8	1002,7	1004,0	1007,7	1011,1	1014,9	1016,2



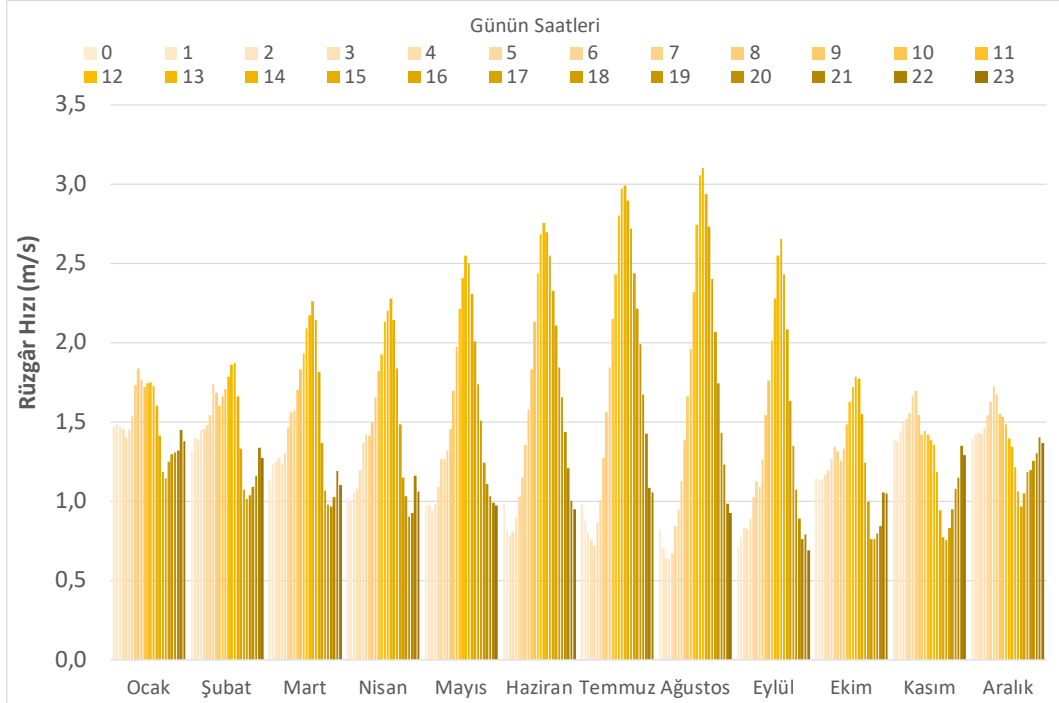
Şekil 4. Atmosferik basınçın aylık değişimi

Tablo 7’de Adana için, 2015-2019 yılları arasına ait 5 yıllık verilerin ortalamasını gösteren yerel atmosferik basınç değerleri verilmiştir. Şekil 4’te de bu değerlerin aylara göre saatlik değişimi görülmektedir. Buna göre, atmosferik basınç en düşük Temmuz ayında, saat 15:00’te 1001,6 mbar olarak hesaplanmıştır. Belirtilen dönemin ortalamasına göre, en yüksek atmosferik basınç ise Aralık ayında, saat 08:00’de 1017,1 mbar olarak belirlenmiştir. Yıl genelinde en düşük atmosferik basınç değerleri 11:00~15:00 saatleri arasında görülmüştür. En yüksek atmosferik basınç değerleri ise günün erken saatlerinde 06:00~08:00 saatleri arasında kaydedilirken, bu değer Temmuz ve Ağustos aylarında

saat 14:00~15:00 saatlerinde görülmüştür. Adana'nın yıllık ortalama atmosferik basınç değerinin ise 1010,2 mbar olduğu belirlenmiştir.

Tablo 8. Adana için rüzgâr hızı değerleri, W (m/s)

Saat	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
0	1,47	1,32	1,13	1,02	0,97	0,98	0,98	0,82	0,71	1,14	1,38	1,39
1	1,49	1,40	1,23	1,00	0,98	0,81	0,87	0,71	0,77	1,13	1,38	1,42
2	1,47	1,39	1,25	1,06	0,94	0,79	0,80	0,64	0,83	1,14	1,44	1,43
3	1,45	1,45	1,27	1,08	0,98	0,81	0,75	0,64	0,82	1,17	1,49	1,42
4	1,40	1,45	1,23	1,19	1,09	0,89	0,72	0,67	0,89	1,19	1,52	1,46
5	1,45	1,48	1,30	1,37	1,26	1,03	0,86	0,84	1,02	1,27	1,55	1,55
6	1,54	1,54	1,47	1,42	1,27	1,15	1,01	0,95	1,13	1,34	1,67	1,62
7	1,73	1,74	1,56	1,41	1,32	1,36	1,27	1,13	1,09	1,32	1,70	1,73
8	1,84	1,68	1,57	1,49	1,45	1,58	1,56	1,38	1,26	1,25	1,54	1,67
9	1,77	1,60	1,70	1,65	1,70	1,83	1,84	1,66	1,54	1,33	1,42	1,55
10	1,72	1,66	1,83	1,82	1,97	2,13	2,15	1,96	1,76	1,49	1,44	1,53
11	1,74	1,71	1,93	1,92	2,21	2,43	2,43	2,32	2,01	1,62	1,42	1,48
12	1,75	1,79	2,09	2,13	2,41	2,68	2,80	2,74	2,28	1,72	1,39	1,39
13	1,73	1,86	2,17	2,20	2,55	2,76	2,97	3,05	2,55	1,78	1,35	1,34
14	1,60	1,87	2,26	2,28	2,50	2,70	2,99	3,10	2,66	1,77	1,18	1,22
15	1,41	1,66	2,14	2,14	2,31	2,55	2,90	2,93	2,43	1,55	0,94	1,06
16	1,19	1,33	1,82	1,84	2,01	2,33	2,72	2,73	2,08	1,24	0,77	0,96
17	1,14	1,07	1,36	1,49	1,74	2,11	2,44	2,40	1,63	1,00	0,75	1,05
18	1,25	1,02	1,06	1,15	1,51	1,85	2,22	2,07	1,35	0,76	0,83	1,19
19	1,30	1,04	0,97	1,03	1,24	1,66	1,99	1,74	1,07	0,76	0,95	1,20
20	1,30	1,09	0,97	0,90	1,10	1,44	1,67	1,43	0,89	0,80	1,08	1,25
21	1,32	1,16	1,03	0,92	1,03	1,20	1,42	1,23	0,76	0,84	1,15	1,30
22	1,45	1,34	1,19	1,16	0,99	1,00	1,08	0,98	0,79	1,06	1,35	1,40
23	1,38	1,27	1,10	1,06	0,97	0,95	1,05	0,93	0,69	1,05	1,29	1,37
Min.	1,14	1,02	0,97	0,90	0,94	0,79	0,72	0,64	0,69	0,76	0,75	0,96
Mak.	1,84	1,87	2,26	2,28	2,55	2,76	2,99	3,10	2,66	1,78	1,70	1,73
Ort.	1,50	1,45	1,49	1,45	1,52	1,63	1,73	1,63	1,38	1,24	1,29	1,37



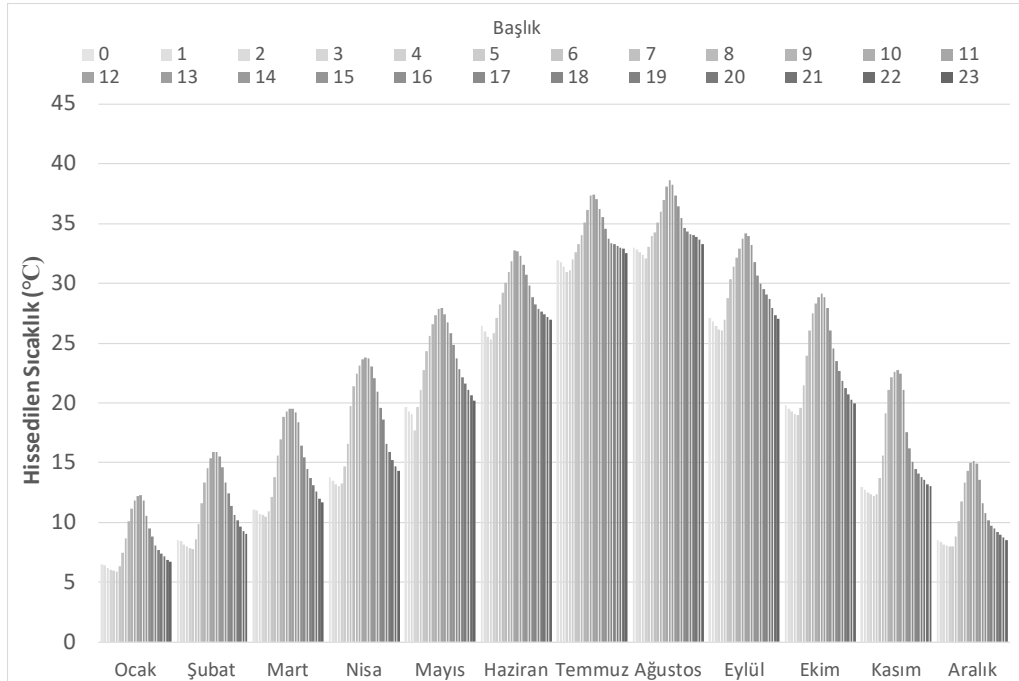
Şekil 5. Rüzgâr hızının aylık değişimi

Tablo 8'de Adana için, 2015-2019 yılları arasına ait 5 yıllık verilerin ortalamasını gösteren rüzgâr hızı değerleri verilmiştir. Şekil 5'te de bu değerlerin aylara göre saatlik değişimi görülmektedir. Buna göre, rüzgâr hızının en düşük ve en yüksek olduğu saatler Ağustos ayında 03:00 ve 14:00 olarak belirlenmiştir. Adana'nın yıllık ortalama rüzgâr hızının ise 1,47 m/s olduğu söylenebilir. Genel olarak rüzgâr hızının en yüksek değerlere öğleden sonraki zamanlarda ulaştığı görülmektedir. Rüzgâr hızının

kış aylarında daha düşük değerlerde ve daha dengeli bir davranış sergilediği, buna karşın yaz aylarında rüzgâr hızında ani yükseliş ve düşüşlerin olduğu grafiklerden anlaşılmaktadır.

Tablo 9. Adana için hissedilen sıcaklık değerleri, T_{his} (°C)

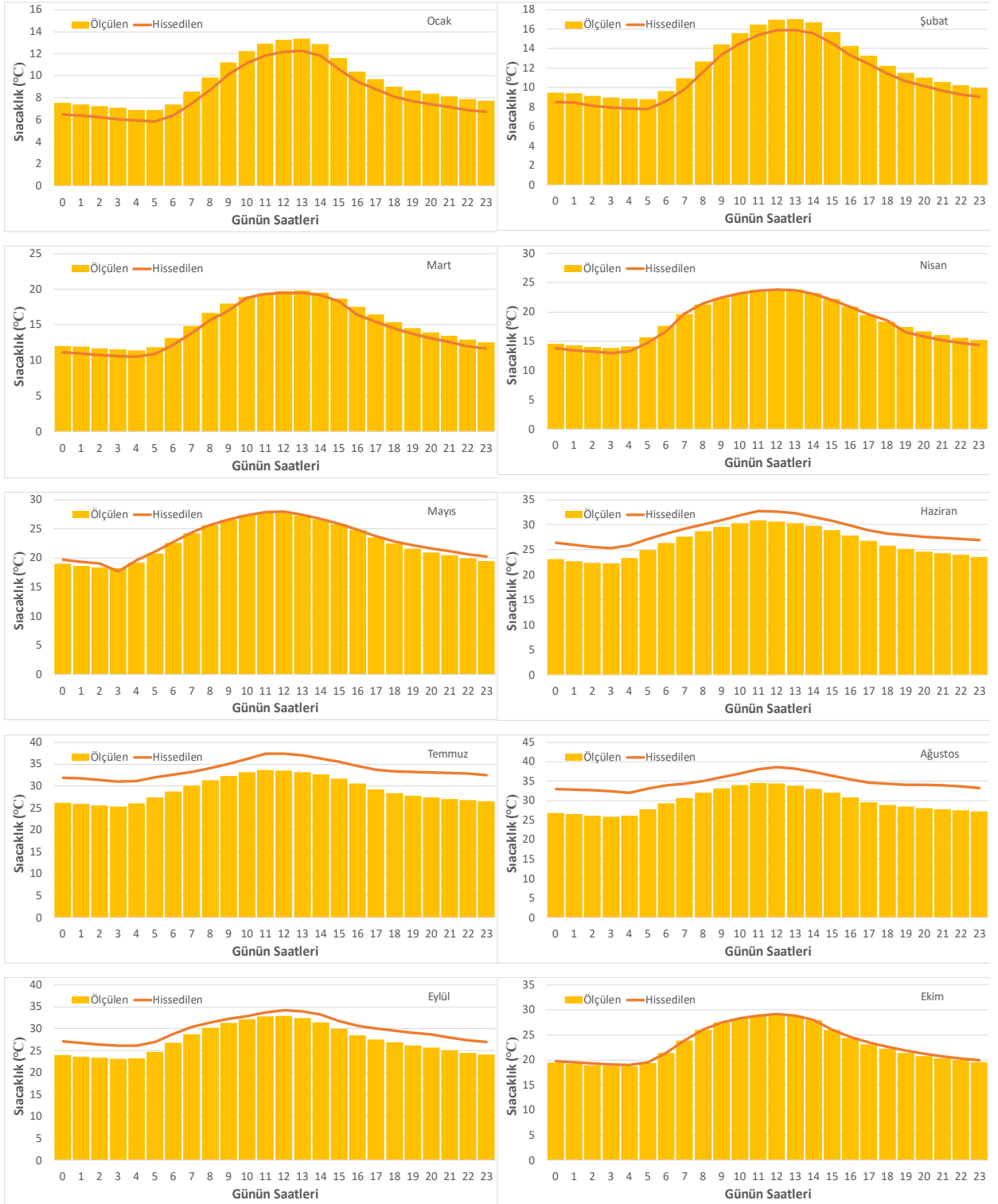
Saat	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
0	6,5	8,5	11,1	13,8	19,7	26,4	31,9	33,0	27,1	19,8	12,9	8,5
1	6,4	8,4	11,0	13,5	19,3	26,0	31,8	32,8	26,8	19,5	12,7	8,4
2	6,2	8,1	10,7	13,2	19,0	25,5	31,4	32,6	26,4	19,3	12,5	8,2
3	6,1	8,0	10,6	13,0	17,7	25,3	31,0	32,4	26,1	19,1	12,4	8,0
4	5,9	7,8	10,5	13,2	19,6	25,8	31,1	32,1	26,1	19,0	12,2	8,0
5	5,9	7,8	10,9	14,7	21,1	27,1	32,0	33,1	27,0	19,6	12,3	8,0
6	6,4	8,6	12,2	16,6	22,8	28,2	32,6	33,9	28,8	21,5	13,7	8,8
7	7,5	9,8	13,8	19,7	24,3	29,2	33,3	34,3	30,4	23,9	15,6	10,1
8	8,7	11,6	15,6	21,4	25,6	30,1	34,1	35,1	31,4	26,1	19,1	11,8
9	10,1	13,3	16,9	22,4	26,5	30,9	35,1	36,0	32,2	27,5	21,1	13,3
10	11,1	14,5	18,8	23,1	27,4	31,8	36,1	37,0	32,9	28,3	22,1	14,3
11	11,8	15,4	19,3	23,7	27,9	32,8	37,4	38,1	33,7	28,8	22,6	15,0
12	12,2	15,9	19,5	23,8	28,0	32,6	37,4	38,7	34,2	29,1	22,7	15,1
13	12,3	15,9	19,5	23,7	27,4	32,3	37,0	38,3	34,0	28,8	22,4	14,9
14	11,8	15,5	19,2	23,0	26,7	31,5	36,2	37,3	33,2	28,0	21,1	13,5
15	10,6	14,6	18,4	22,1	25,8	30,7	35,5	36,5	31,8	26,1	17,5	11,6
16	9,5	13,3	16,4	20,9	24,9	29,8	34,6	35,4	30,6	24,5	16,2	10,8
17	8,8	12,4	15,4	19,6	23,7	28,8	33,7	34,7	30,0	23,5	15,1	10,1
18	8,1	11,4	14,5	18,6	22,8	28,2	33,4	34,3	29,6	22,7	14,5	9,8
19	7,7	10,6	13,7	16,6	22,1	27,9	33,3	34,1	29,1	21,8	14,1	9,5
20	7,4	10,2	13,1	15,9	21,6	27,6	33,2	34,0	28,7	21,2	13,8	9,2
21	7,2	9,7	12,6	15,2	21,1	27,4	33,0	33,9	27,9	20,7	13,5	9,0
22	6,9	9,3	12,0	14,7	20,6	27,2	32,9	33,6	27,3	20,3	13,2	8,7
23	6,7	9,0	11,7	14,3	20,2	26,9	32,5	33,3	27,0	20,0	13,0	8,5
Min.	5,9	7,8	10,5	13,0	17,7	25,3	31,0	32,1	26,1	19,0	12,2	8,0
Mak.	12,3	15,9	19,5	23,8	28,0	32,8	37,4	38,7	34,2	29,1	22,7	15,1
Ort.	8,4	11,2	14,5	18,2	23,2	28,8	33,8	34,8	29,7	23,3	16,1	10,6

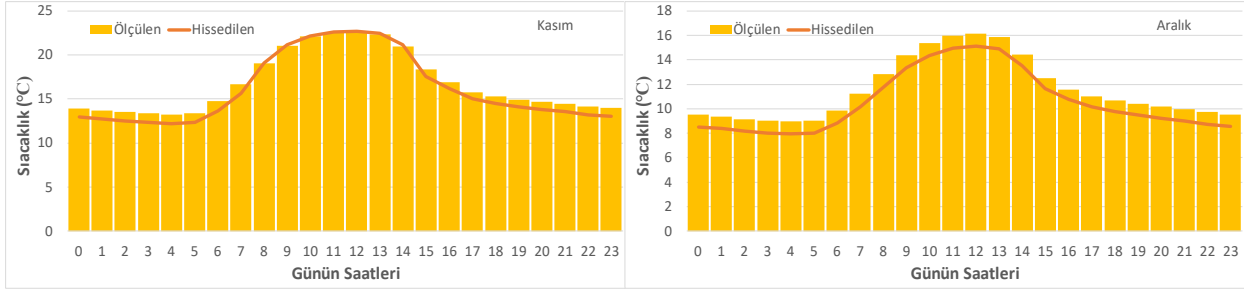


Şekil 6. Hissedilen sıcaklığın aylık değişimi

Tablo 9’da Adana için, 2015-2019 yılları arasında ait 5 yıllık verilerin ortalamasına göre hesaplanan hissedilen sıcaklık değerleri verilmiştir. Şekil 6’da da bu değerlerin aylara göre saatlik değişimi görülmektedir. Buna göre, hissedilen sıcaklık en düşük Ocak ayında, saat 05:00’te 5,9°C olarak hesaplanmıştır. Belirtilen dönemin ortalamasına göre, en yüksek hissedilen sıcaklık değeri ise Ağustos ayında, saat 12:00’de 38,7°C olarak belirlenmiştir. Yıl genelinde en düşük hissedilen sıcaklık değerleri gece yarısından sonra 03:00~05:00 saatleri arasında, en yüksek değerler ise gün ortasında 11:00~13:00

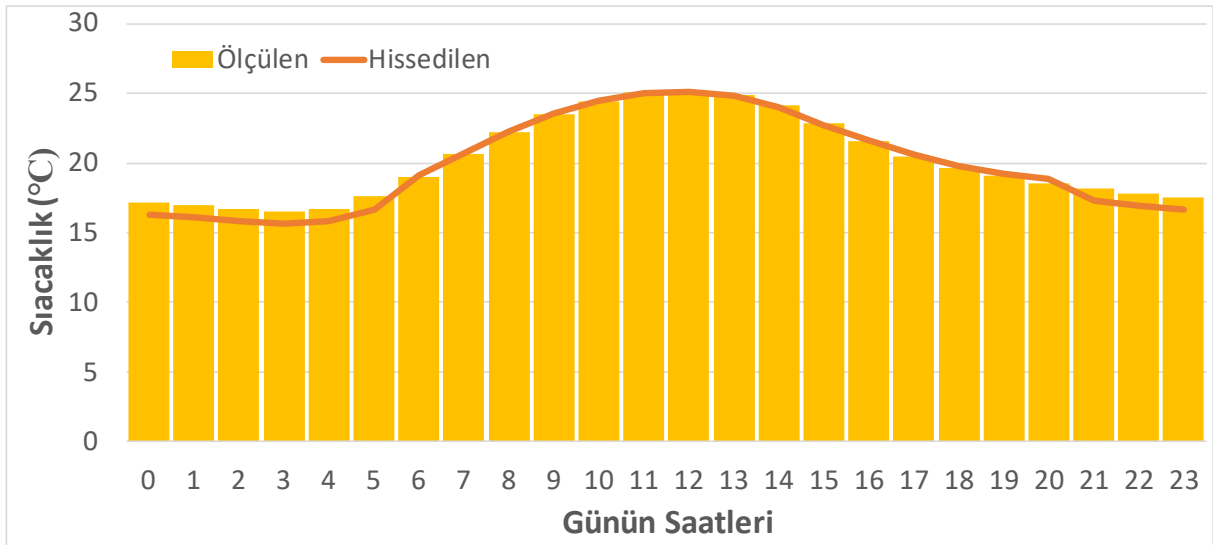
saatleri arasında görülmektedir. Adana'nın yıllık ortalama hissedilen sıcaklık değerin ise 21°C olduğu belirlenmiştir.





Şekil 7. Ölçülen ve hissedilen sıcaklıkların aylara göre saatlik değişimi

Şekil 7’de Adana için ölçülen ve hissedilen sıcaklık değerlerinin her bir ay için saatlik değişimi görülmektedir. Hissedilen sıcaklık Ocak, Şubat, Mart ve Nisan aylarının yanı sıra Kasım ve Aralık aylarında da ölçülen sıcaklıktan daha düşüktür. Hissedilen sıcaklık Ocak ayında ortalama 1°C daha düşük olup, ölçülen sıcaklığa göre en büyük fark 1,1°C ile saat 08:00’de oluşmaktadır. Şubat ayında da ölçülen ve hissedilen sıcaklık farkı en fazla 1,1°C olarak hesaplanmıştır. Mart ayında ise ortalama fark 0,8°C olarak belirlenmiş olup, tüm saatlerde ölçülen ve hissedilen sıcaklıklar arasındaki farklar azalmıştır. Nisan ayında ise en büyük fark sabah saat 06:00’da görülmüş olup, bu değer 1°C’dir. Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarının neredeyse tamamında hissedilen sıcaklık ölçülen sıcaklıktan daha yüksek olmaktadır. Mayıs ve Ekim aylarındaki sıcaklık farklarının 1°C’nin altında olduğu görülmektedir. Ölçülen ve hissedilen sıcaklıklar arasındaki en büyük fark Ağustos ayında gerçekleşmektedir. Ağustos ayında en büyük farkın 6,5°C ile saat 03:00’te olduğu belirlenmiştir. Ölçülen ve hissedilen sıcaklıklar arasındaki ortalama farkın ise Ağustos ayında 4,9°C olduğu görülmüştür.



Şekil 8. Ölçülen ve hissedilen sıcaklıkların yıllık ortalamaya göre saatlik değişimi

Adana için, yıllık ortalamaya göre ölçülen ve hissedilen sıcaklık değerlerinin saatlik değişimi ise Şekil 8’de görüldüğü gibidir. Yıllık ortalama değerlere göre gece saatleri dışında, gündüz vakitlerinde

ölçülen ve hissedilen sıcaklık değerleri neredeyse aynıdır. Bunun da Adana'nın ılıman bir iklime sahip olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından sunulan hissedilen sıcaklık belirleme tablosuna göre (Tablo 1), yıllık ortalama değerler dikkate alındığında, Adana için hissedilen sıcaklık değerleri ancak saat 11, 12 ve 13 için belirlenebilmektedir. Zira, bu tabloda en düşük sıcaklık 25 °C olarak verilmiştir. Daha düşük sıcaklıklar için hissedilen sıcaklığı belirleme imkânı yoktur. Benzer şekilde, Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) tarafından yayınlanan hissedilen sıcaklık belirleme tablosuna göre (Tablo 2), Adana'nın yıllık ortalama değerleri için hissedilen sıcaklığı belirleme imkânı yoktur, çünkü bu tabloda da en düşük sıcaklık 27 °C ve en düşük bağıl nem %40 olarak verilmiştir. Her iki tablo da yılın belirli zamanları için ve genel olarak yaz mevsimi için geçerlidir. Dolayısı ile AccuWeather tarafından sunulan hissedilen sıcaklık hesaplama yöntemi yılın tüm zamanlarında kullanılabilir olması nedeniyle oldukça kullanışlıdır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Adana için Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, atmosferik basınç ve rüzgâr hızı değerleri kullanılarak, hissedilen sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Hissedilen sıcaklık değerinin hesaplanmasında AccuWeather tarafından sunulan yöntem kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- 1) Işınım ve yağış durumunun dikkate alınmadığı hesaplamalarda, Adana için ölçülen ve hissedilen sıcaklıklar arasında çok büyük farkların olmadığı görülmüştür. En büyük fark yaz aylarında gerçekleşmekte olup bunun da nedeni bağıl nem ve rüzgâr hızındaki artıştan kaynaklanmaktadır.
- 2) Adana için hesaplanan hissedilen sıcaklık değerleri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü skalasına göre gruplandırıldığında, yılın %63,2'sinin normal sıcaklık aralığında olduğu, buna karşılık %18,7 oranında sıcak ve %18,1 oranında da çok sıcak hissedildiği belirlenmiştir.
- 3) Ortalama değerlere göre, Adana için tehlikeli ve çok tehlikeli sıcaklık aralığında hissedilen sıcaklık değeri bulunmamaktadır.
- 4) Bazı yıllarda çok yüksek sıcaklık değerlerine ulaşıldığı bir gerçektir. Burada verilen değerlerin 5 yıllık ortalamaya göre elde edilen sonuçlar olduğu da dikkate alınmalıdır.
- 5) Adana ili için hissedilen sıcaklık en düşük 5,9°C olarak Ocak ayında hesaplanmışken, en yüksek hissedilen sıcaklık değeri ise 38,7°C olarak Ağustos ayında belirlenmiştir.
- 6) Çalışılan beş yıllık veriler neticesinde Adana'nın yıllık ortalama hissedilen sıcaklık değerinin 21°C olduğu belirlenmiştir.
- 7) Adana ili için hissedilen sıcaklık değerleri, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart ve Nisan aylarında ölçülen sıcaklıktan daha düşük olarak belirlenmişken, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarının neredeyse tamamında ölçülen sıcaklıktan daha yüksek olarak elde edilmiştir.

Teşekkür

Makale yazarları meteorolojik verileri sağladığı için Meteoroloji Genel Müdürlüğüne teşekkür ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Akşit S., Duman C. Gökpınar Baraj Gölü'nün hissedilen sıcaklık değerleri üzerindeki etkisi. *Türk Coğrafya Dergisi* 2020; 74, 7–15. <https://doi.org/10.17211/tcd.579523>
- Chu WC., Chen YP., Xu ZW., Lee WJ. Multiregion short-term load forecasting in consideration of HI and load/weather diversity. *IEEE Transactions on Industry Applications* 2011; 47(1): 232–237. <https://doi.org/10.1109/TIA.2010.2090440>
- Fan C., Liu F., Zhao X., Ma Y., Yang F., Chang Z., Xiao X. An alternative comprehensive index to quantify the interactive effect of temperature and relative humidity on hand, foot and mouth disease: A two-stage time series study including 143 cities in mainland China. *Science of the Total Environment* 2020; 740, 140106.
- Farahani AV., Jokisalo J., Korhonen N., Jylhä K., Ruosteenoja K., Kosonen R. Overheating risk and energy demand of nordic old and new apartment buildings during average and extreme weather conditions under a changing climate. *Applied Sciences* 2021; 11(9): 3972.
- Garzón-Villalba XP., Ashley CD., Bernard TE. Benchmarking heat index as an occupational exposure limit for heat stress. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2019; 16, 557-563.
- Ghalhari GF., Dehghan SF., Shakeri F., Ghanadzadeh MJ., Asghari M. Assessing the monthly changes of heat stress indices in outdoor environment during a 15-year period: Case of study in a dry and warm climate. *Urban Climate* 2020; 31, 100538. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100538>
- Golbabaei F., Heidari H., Shamsipour A., Forushani AR., Gaeini A. A new outdoor environmental heat index (OEHI) as a simple and applicable heat stress index for evaluation of outdoor workers. *Urban Climate* 2019; 29(May): 100479. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100479>
- Jaswal AK., Padmakumari B., Kumar N., Kore PA. Increasing trend in temperature and moisture induced heat index and its effect on human health in climate change scenario over the Indian sub-continent. *Journal of Climate Change* 2017; 3(1): 11–25. <https://doi.org/10.3233/jcc-170002>.
- Kotharkar R., Ghosh A., Kotharkar V. Estimating summertime heat stress in a tropical Indian city using Local Climate Zone (LCZ) framework. *Urban Climate* 2021; 36, 100784.
- MGM. <https://www.mgm.gov.tr/genel/sss.aspx?s=hissedilensicaklik>, 2021.

- Myers JN., Steinberg MA., Sobel J., Abrams E., Myers E. United States Patent No.US007251579B2: Method, system, and software for calculating a multifactor temperature index. 2007; 2(12).
- Myers JN., Steinberg M., Sobel J., Abrams E., Myers E. United States Patent No: USOO6768945B2, Method, system, and software for calculating a multifactor temperature index. 2004; 2(12).
- Osczevski BYR., Bluestein M. Equivalent temperature. Van Nostrand's Scientific Encyclopedia, May 2005; 1453–1458. <https://doi.org/10.1002/0471743984.vse3032>
- Schoen C. A new empirical model of the temperature-humidity index. *Journal of Applied Meteorology* 2005; 44(9): 1413–1420. <https://doi.org/10.1175/JAM2285.1>
- Steadman RG. The Assessment of Sultriness. Part I: A Temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. *Journal of Applied Meteorology* 1979a; 18(7): 861–873.
- Steadman RG. The assessment of sultriness. Part II: Effects of wind, extra radiation and barometric pressure on apparent temperature. *Journal of Applied Meteorology* 1979b; 18(7): 874–885.
- Wang S., Richardson MB., Wu CYH., Zaitchik BF., Gohlke JM. Effect of an additional 30 minutes spent outdoors during summer on daily steps and individually experienced heat index. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020; 17(20): 7558.
- Yılmaz T., Ünal Ş. General equations for thermodynamic properties of water and water vapor [Su ve su buharinin termodinamik ozellikleri icin genel esitlikler]. *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences* 1994; 18(2): 113–117.
- Yodpibul P., Panityakul T., Kongchouy N. A novel approach for high-performance heat index forecasting for the hottest region in Thailand. *Journal of Mathematical and Computational Science* 2021; 11(4): 4841-4862.
- Zune M., Rodrigues L., Gillott M. The vulnerability of homes to overheating in Myanmar today and in the future: A heat index analysis of measured and simulated data. *Energy and Buildings* 2020; 223, 110201. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110201>.

Biyoteknolojik Uygulamalar İçin Limon Suyundan Karbon Noktalarının Mikrodalga Tabanlı Sentezi

Erkan MOZIOĞLU^{1*}

¹Department of Medical Biotechnology, Institute of Health Sciences, Acibadem Mehmet Ali Aydınlar University, İstanbul, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-3027-5166>

*Sorumlu yazar: erkan.mozioglu@acibadem.edu.tr; erkanmozioglu@yahoo.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 16.11.2021

Kabul tarihi: 04.03.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Karbon noktalarının sentezi (karbon dot sentezi)

Mikrodalga yöntemi

Bovine Serum Albumin (BSA)

sönümleme/saptama

Antimikrobiyal aktivite.

ÖZ

Bu çalışmada, doğal bir sitrik asit ve azot/kükürt kaynağı olan limon suyundan karbon noktalarının (CD'ler) sentezi için basit bir mikrodalga yöntemi kullanılmıştır. Bilim yazınında, limon suyundan CD sentezi için hidrotermal temelli yöntemler kullanılmıştır. Daha basit ve hızlı olması açısından bu çalışmada mikrodalga yöntemi kullanılarak karbon noktalarının sentezi araştırılmıştır. Hidrotermal bazı diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında, bu yöntemle elde edilen CD'lerin kuantum verimi oldukça düşük bulunmuştur (%0.74). Bununla birlikte, sentezlenen CD'lerin, biyoteknolojide kullanılan sığır serum albüminin (BSA) floresans ışınmasını söndürdüğü gösterilmiştir. Ayrıca, *S. epidermidis*, *C. albicans*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *E. coli*, *E. faecalis*, *K. pneumonia*, *A. baumannii* gibi klinik olarak önemli hastalık etkenleri üzerinde mikrop-kıran (antimikrobiyal) etkilere sahip olduğu bulunmuştur.

Microwave-Based Synthesis of Carbon Dots From Lemon Juice For Biotechnological Applications

Research Article

Article History:

Received: 16.11.2021

Accepted: 04.03.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Carbon dots (CDs)

Micro-wave method,

Bovine Serum Albumin (BSA) q

Quenching/detection

Antimicrobial activity

ABSTRACT

In this study, a simple microwave method was used for the synthesis of carbon dots (CDs) from lemon juice as a natural source of citric acid and nitrogen/sulfur. In the synthesis of CDs from lemon juice, hydrothermal-based methods were used in the literature. In terms of being simpler and faster, the synthesis of carbon dots from the microwave method was investigated in this study. Compared to the hydrothermal-based methods, the quantum yield of CDs obtained by this method was found to be quite low (0.74%). However, the synthesized CDs showed quenching features over bovine serum albumin (BSA) proteins, which can be used in biotechnology. Moreover, it has been found to have antimicrobial effects on clinically important pathogens such as *S. epidermidis*, *C. albicans*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *E. coli*, *E. faecalis*, *K. pneumonia*, and *A. baumannii*.

To Cite: Mozioglu E. Microwave-Based Synthesis of Carbon Dots From Lemon Juice For Biotechnological Applications. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 600-611.

1. Introduction

Carbon dots (CDs) have been used in many different applications such as biosensors, drug delivery, antimicrobial/antiviral/cancer therapies in medical biotechnology, since they are synthesized environmentally friendly and cheaply as well as they have very unique optical properties (Pramanik et al., 2018; Huo et al., 2020; Leong et al., 2020). Natural CDs are new alternatives and they can be

obtained from natural sources such as fruits, flowers, eggs, fruit juice, carrot roots etc. (Pramanik et al., 2018; Huo et al., 2020; Nair et al., 2020). For today, natural CDs have low fluorescence intensities, however studies to improve their fluorescence features have been going on (Huo et al., 2020). For these purposes, studies have been focused on synthesis methods such as the use of different solvents or compounds, surface modifications, heteroatom addition etc. (Huo et al., 2020).

Natural products are used as sulfur and nitrogen-rich sources which are very important for the synthesis of CDs (Monte-Filho et al., 2019). Because of the carbonization temperature, the use of citric acid is also proper for producing of CDs (Tadesse et al., 2018). As a natural source of citric acid, lemon juice has been already used for the synthesis of fluorescent water soluble CDs by using a hydrothermal method at 280°C for 12h or 200°C for 3h (Tadesse et al., 2018; Hoan et al., 2019). Besides hydrothermal methods, microwave, pyrolysis, ultrasonic, laser ablation, and chemical oxidation methods have been used for the synthesis of CDs from other natural sources (Nair et al., 2020).

Proteins like serum albumin are very important to transport biologically active compounds in the blood (Wang et al., 2009). The bovine serum albumin (BSA) is used for drug targeting studies because human serum albumin and BSA are homologous proteins (Nair et al., 2020). In biotechnology, interactions of BSA and some fluorogenic compounds such as acridine orange are used for their quenching features over these proteins (Nair et al., 2020).

In this study, it was aimed to synthesize natural carbon dots from lemon juice by using a simple microwave method. Besides their optical properties, quenching features over BSA were studied. Also, their antibacterial and antifungal effects on clinically important pathogens such as *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228, *Candida albicans* ATCC 10231, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603, *Acinetobacter baumannii* BAA717 were studied. According to our knowledge, these findings about BSA quenching effects and antimicrobial activities of lemon-based CDs are the first for the literature.

2. Material and Method

Lemon for synthesis of the fluorescent CDs were purchased from a local market in İstanbul, Türkiye. Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) measurements were performed by Perkin Elmer FT-IR Spectrometer. Fluorescence and absorbance spectra was obtained by Varioscan Spectrophotometer (ThermoFisher, USA). Transmission Electron Microscopy (TEM) images were recorded by TALOS L120 C.

2.1. Synthesis of CDs

Carbon dots (CDs) were synthesized by a one-step microwave-heating process (Stefenakis et al., 2014). 10 mL of pulp-free lemon juice were transferred into a 50 mL of erlenmeyer flask and was

heated in a domestic microwave oven (800 W) for 5 minutes since this time was enough to obtain brownish black solid materials as suggested in the literature (Stefenakis et al., 2014). Then, the product was dispersed in 2 mL of double distilled water and centrifuged for 2 min at 17,000xg. Then, the supernatant was transferred into a clean tube and it was filled to a final volume of 10 mL with double distilled water; it was filtered by using syringe filters having pore size, 0.2 μm to remove aggregates. To calculate the amount of CDs, 500 μL of the liquid was evaporated by Thermo SpeedVac Vacuum Concentrator and the dried product was weighted. It was found that the concentration of CDs in the liquid was 52 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$.

2.2. Characterization

Absorbance spectra from 200 nm to 800 nm and the photon-induced light emission for different excitation wavelengths from 200 nm to 260 nm were obtained by Varioscan Spectrophotometer (ThermoFisher, USA). Fluorescence measurements were conducted in black colored 96-well plates (Ratiolab, Germany) by using Varioskan Flash (Thermo Scientific, USA); the excitation/emission wavelengths were 240/390 nm. To obtain fluorescence spectra of CDs in different pHs, potassium buffer solutions (pH 1-12) were used. FT-IR spectra were collected by Perkin Elmer FT-IR Spectrometer, USA. For the TEM measurement, the sample was dropped on a carbon-coated grid and TEM images were recorded by TALOS L120 C.

2.3. Bovine Serum Albumin (BSA) Quenching Assay:

Different concentrations of CDs were suspended in the water including 0.5% BSA and their fluorescence spectra at 240 nm excitation wavelength were obtained by using Varioskan Flash (ThermoFisher, USA).

2.4. Antimicrobial Activities of CDs

Minimal inhibitor concentrations (MIC) of concentrated lemon juices were published as 50, 25, and 12,5 $\mu\text{g}/\text{mL}$ for *E. coli*, *S. aureus*, and *P. aeruginosa*, respectively (Oikeh et al., 2016). CDs obtained from lemon-juice in this study were tested against *S. aureus* ATCC 25923, *E. faecalis* ATCC 29212, *P. aeruginosa* ATCC 27853, *E. coli* ATCC 25922, *C. albicans* ATCC 10231, *S. epidermidis* ATCC 12228, *A. baumannii* BAA717, *K. pneumonia* ATCC 700603 for the determination of MIC and minimal bactericidal concentrations (MBC) (Okullu et al., 2020). For this purpose, fresh cultures of microorganisms were prepared on LB agar media from the stock culture at -80°C . Then, suspensions of 0.5 McFarland of microorganisms were prepared in LB broth media. In sterile 96-well plates, serial dilutions of CDs in 100 μL of LB broth were done as 2600, 1300, 650, 325, and 163 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$; then 5 μL of microorganisms (0.5 McFarland) were added into the wells. As the negative control, some wells did not include any CDs. 96-well plates were incubated at 37°C overnight. Turbidity was used to

determine MIC values. Then, 20 μL of media from wells not including any turbidity were taken and dropped on LB agar media to determine MBC.

3. Results

3.1. Characterization of CDs

CDs were synthesized by heating in a microwave for 5 minutes. Due to the nature of lemon, it contains citric acid and therefore their three carboxylic groups might be used as a source to form the core of CDs, while carbohydrates in it might act as chiral scaffolds for CDs (Stefenakis et al., 2014; Bourlinos et al., 2008; Hill ve Galan, 2017). According to Energy Dispersive X-Ray (EDX) analysis in Figure 1, CDs were including 31% C, 51% O, 9% K, 3% Ca, 3% P, and 2% Mg (Figure 1).

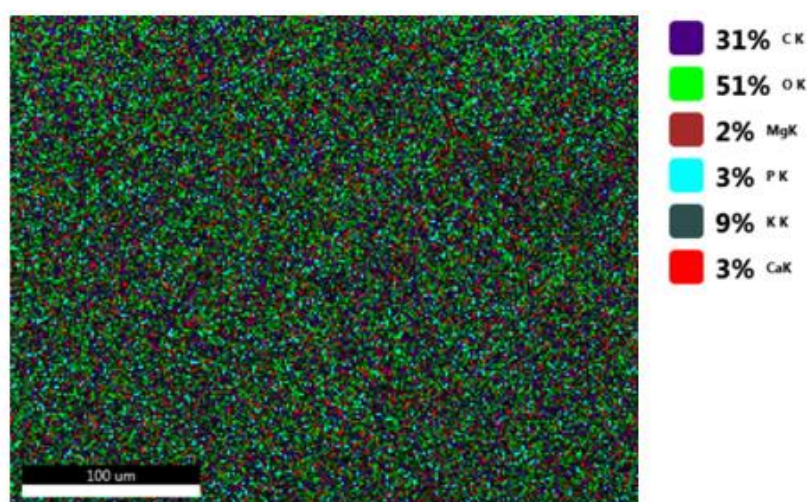


Figure 1. EDX analysis

TEM analysis was performed for CDs and results were given as Figure 2. According to TEM images, CDs were carbon nanoparticles exist in clusters in range 20 nm to 700 nm (Figure 2A and 2B). When looked at these clusters closer, CDs in average 2 nm were seen (Figure 2C and 2D).

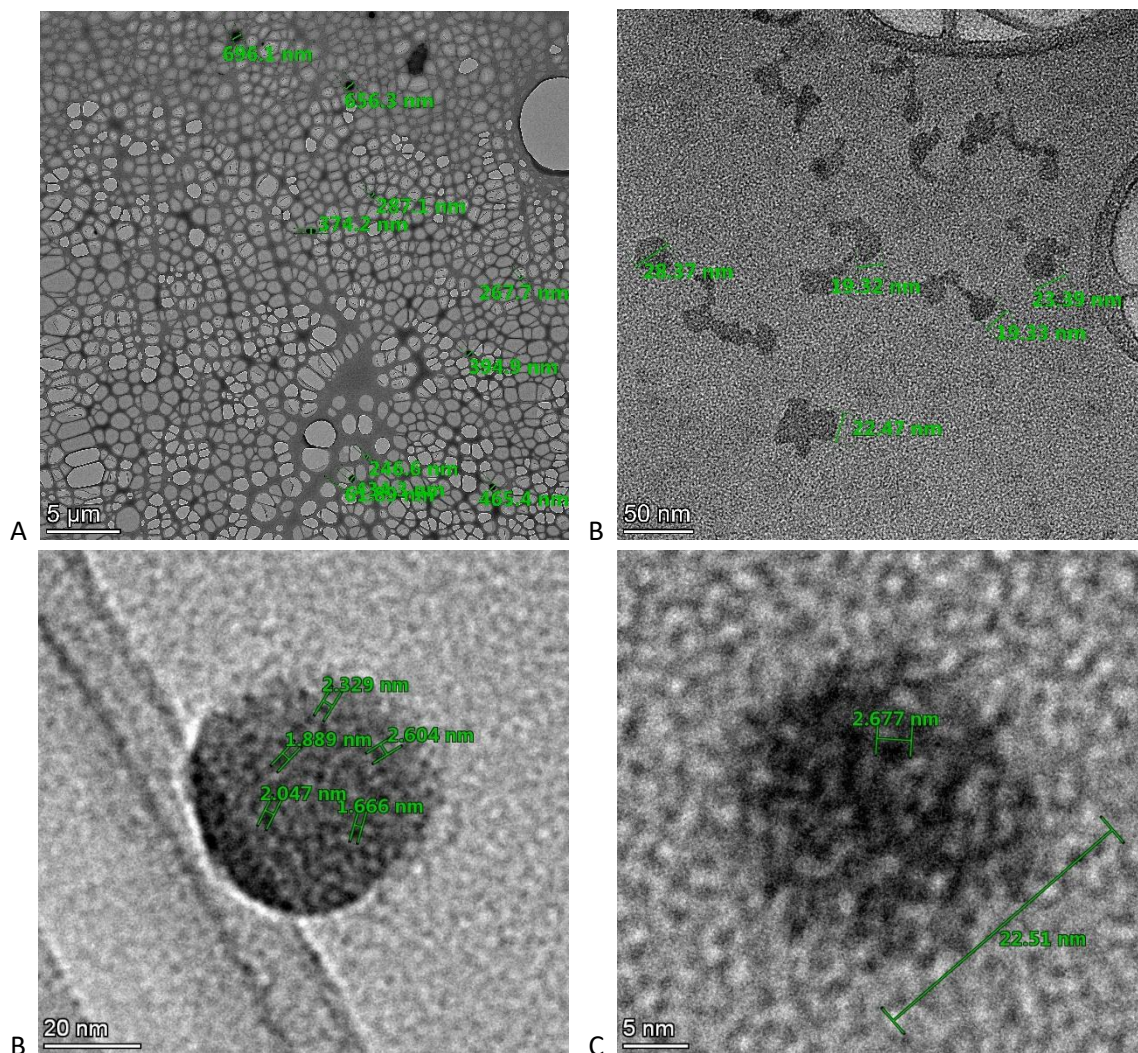


Figure 2. TEM image of CDs at 50 nm (A), 20 nm (B), and 5 nm (C) magnification.

In the FTIR analysis as Figure 3, peaks at 3300, 1634, and 1226 cm^{-1} were obtained, which were attributed to stretching vibrations of $\equiv\text{C-H}$; C=C alkene, and C-O-C respectively (Hoan et al., 2019; Infrared Spectroscopy Table, 2021).

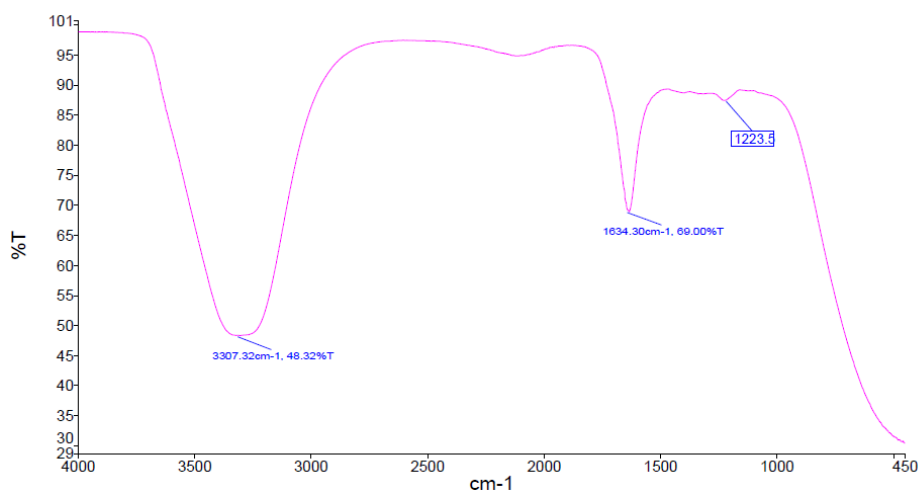


Figure 3. FTIR

The absorbance spectra of CDs in distilled water were scanned from 250 nm to 800 nm (Figure 4A). When measured dilutions of CNDs at 280 nm, absorbance values were obtained in a linear range as expected (Figure 4B).

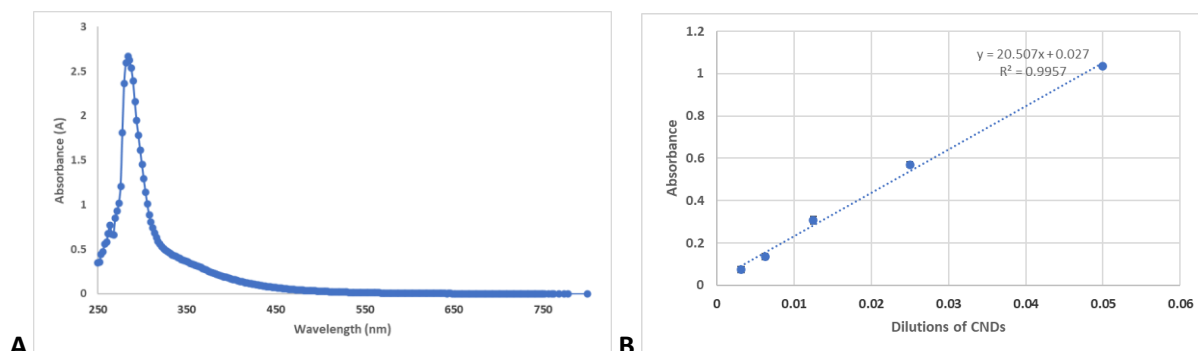


Figure 4. Absorbance spectrum of CDs (A) and absorbance values in different concentrations of CDs (B) at 280 nm.

CDs were excited at different wavelengths in range between 200-260 nm and their emission spectra were scanned as Figure 5. According to this data, the highest emission was at 390 nm when excited at 240 nm.

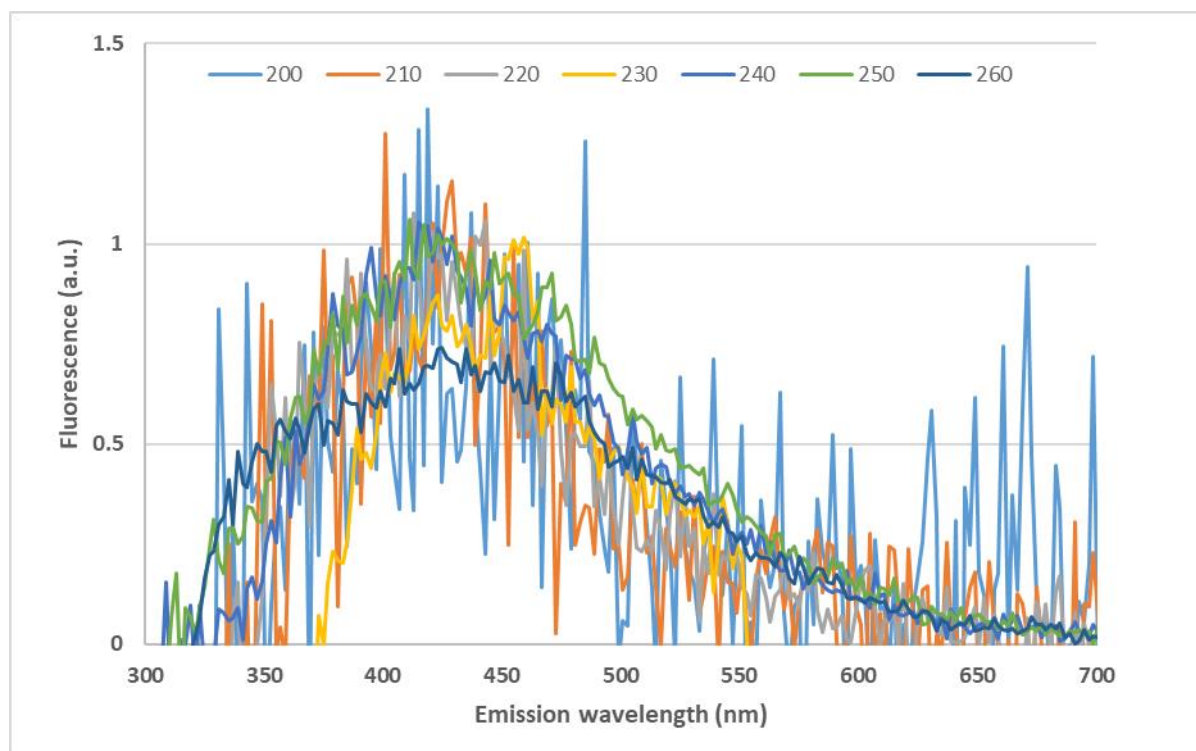


Figure 5. Fluorescence spectra of CDs exciting at different wavelengths

Different concentrations of CDs in range between 52 to 0.13 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ were excited at 240 nm, their spectra were obtained as Figure 6. Over 13 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$, CDs were quenched by themselves. Fluorescence intensities were proportional in between 13-0.13 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ concentrations of CDs as expected.

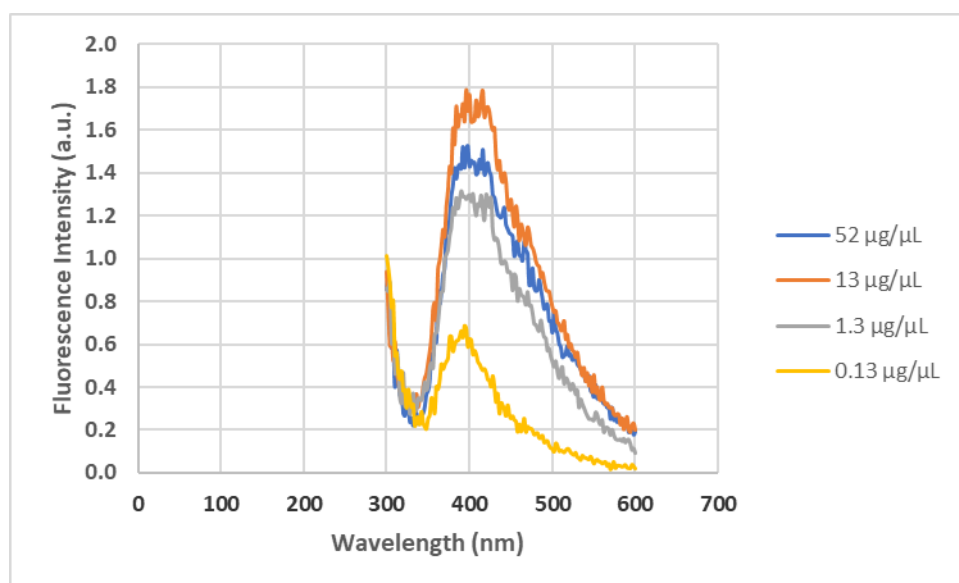


Figure 6. Fluorescence spectra of CDs in different concentrations.

Quantum yield was calculated by InstaNano Calculator (InstaNano, 2021; Chen, 1967). The calculator is used this equation: $QY\text{-sample} = (QY\text{-std} \times PL\text{-sample} \times Abs\text{-std} \times RefractiveIndex\text{-sample}^2) / (PL\text{-std} \times Abs\text{-sample} \times RefractiveIndex\text{-std}^2)$. As the standard sample, fluorescein was used. Quantum yield was calculated as 0.74%.

When suspended in buffer solutions in different pHs, their intensities were the same and emission wavelength was not shifted (Figure 7).

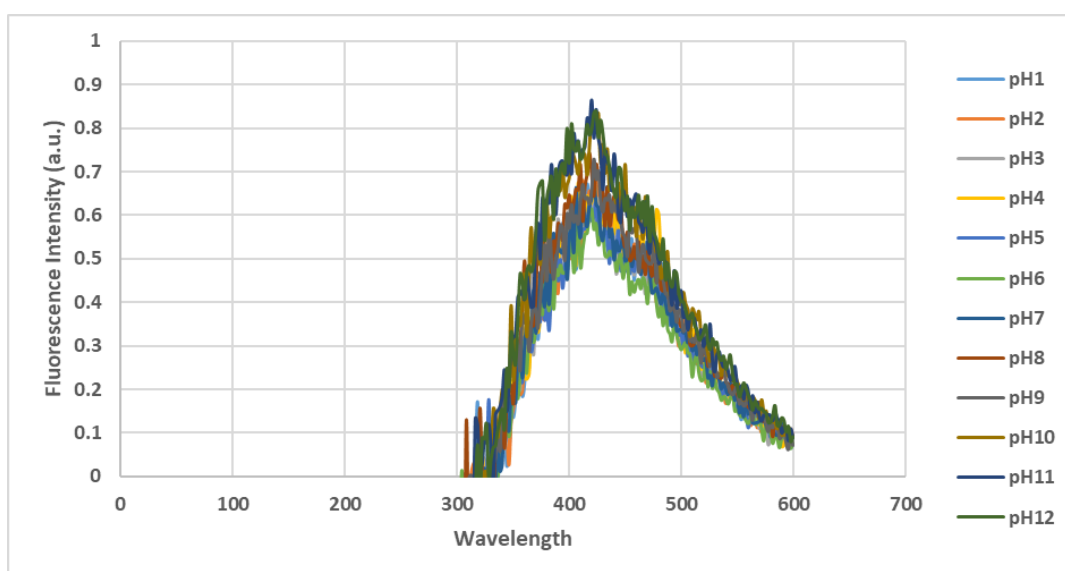


Figure 7. Fluorescence spectra of CDs in different pHs.

Bovine Serum Albumin (BSA) Quenching Assay:

When mixed 0.5% of BSA and different concentrations of CDs in a range between 10.4-0 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ fluorescence was quenched with proportional of CD concentrations when excited at 280 nm (Figure 8).

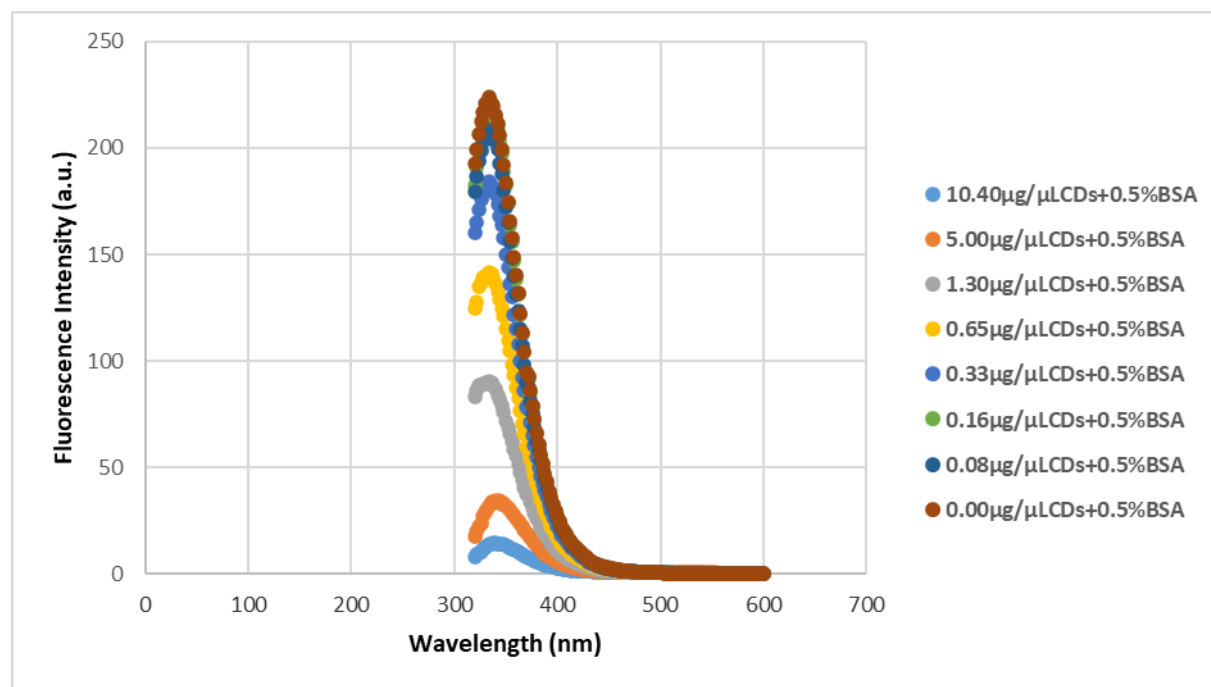


Figure 8. Fluorescence spectra of CDs and BSA.

Antimicrobial Activities:

MBC and MIC values were given in Table 1. MBC values of *S. epidermidis* ATCC 12228 and *C. albicans* ATCC 10231 were 2600 $\mu\text{g}/\text{mL}$, whereas other microorganisms tested in this study were bigger than 2600 $\mu\text{g}/\text{mL}$. The lowest MIC values as 650 $\mu\text{g}/\text{mL}$ were obtained against *S. aureus* ATCC 25923 and *S. epidermidis* ATCC 12228, whereas 1300 $\mu\text{g}/\text{mL}$ for *P. aeruginosa* ATCC 27853 and 2600 $\mu\text{g}/\text{mL}$ for *C. albicans* ATCC 10231, *E. coli* ATCC 25922, *E. faecalis* ATCC 29212, *K. pneumonia* ATCC 700603, *A. baumannii* BAA717.

Table 1. MBC and MIC values of CDs.

Bacteria	MIC ($\mu\text{g}/\text{mL}$)	MBC ($\mu\text{g}/\text{mL}$)
<i>S. aureus</i> ATCC 25923	650	>2600
<i>S. epidermidis</i> ATCC 12228	650	2600
<i>C. albicans</i> ATCC 10231	2600	2600
<i>E. coli</i> ATCC 25922	2600	>2600
<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853	1300	>2600
<i>E. faecalis</i> ATCC 29212	2600	>2600
<i>K. pneumonia</i> ATCC 700603	2600	>2600
<i>A. baumannii</i> BAA717	2600	>2600

4. Discussion

Carbon dots have been used in biotechnology because of their photon-induced light emission and fluorescence features. Synthesizing CDs from natural sources such as eggs, fruits, flowers etc. have been getting important because of biological compatibilities. There are many different methods to synthesize natural CDs and the simplest one is the microwave-based method. Although the synthesis CDs from only lemon juice were published, there are no studies with the microwave method. Any publications about uses of the synthesized CDs from the lemon as a quencher for BSA proteins and their antibacterial/antifungal activities were not available, according to our knowledge. Therefore, in this study, the simple microwave method was used to synthesize lemon-based CDs. They had fluorescence intensity at 390 nm when excited at 240 nm and also there are no shifts at the emission wavelength when they are dissolved in buffer solutions in the different pHs. The quantum yields were quite low as 0.74% when compared with the literature such as 24.89 and 10.2% from citrus lemon juice with hydrothermal heating methods (Tadesse et al., 2018; Hoan et al., 2019). Other methods such as heating in an autoclave for a long time might give a chance to form additional bonds to gain them more fluorescence capabilities when compared to short reaction time with microwave-based method. Monte-Filho et al. (2019) used a mixture of onion and lemon juice for the synthesis of CDs via a microwave-based method and the quantum yield of the CDs was 23.6% (Monte-Filho et al., 2019). When compared to this microwave-based method, it is clear that the addition of another component like onion juice to the lemon juice helped to obtain a better quantum yield (Monte-Filho et al., 2019). TEM images indicated that CDs were in average 2 nm as expected. In FTIR, peaks at 3300, 1634, and 1226 cm^{-1} were obtained attributed to stretching vibrations of $\equiv\text{C-H}$; C=C alkene, and C-O-C as compatible with data in the literature (Tadesse et al., 2018; Hoan et al., 2019). BSA is a fluorogenic protein because of its tryptophan amino acids and its quenching with some fluorogenic compounds like acridine orange have been used for drug targeting (Wang et al., 2009). However, acridine orange is a very toxic compound because it is bound to ssDNA, dsDNA, and RNA molecules. Instead of this kind of toxic compound, it might be better to use natural CDs as alternatives. To show quenching effects of synthesized CDs from lemon in this study, BSA and different concentrations of CDs (0-10.4 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$) were mixed and fluorescence intensities were measured. Results showed that CDs acted as quenchers proportional as their concentrations and it is the first data from lemon-based CDs in the literature.

It has been showed that CDs have antimicrobial activities in different ranges (Dong et al., 2017; Ring et al., 2020; Devkota et al., 2021; Saravanan et al., 2021). When synthesized CDs from 2,2'-(ethylenedioxy)bis(ethylamine) (EDA), their MIC values were found as 64 $\mu\text{g}/\text{mL}$ on *E. coli* and *B. subtilis* (Dong et al., 2017). Amine-coated CDS synthesized from glucosamine HCl and 4,7,10-trioxa-1,13-tridecanediamine inhibited *Pseudomonas* spp. at 500 $\mu\text{g}/\text{ml}$ and other microorganisms such as *Agrobacterium*, *Salmonella*, *Pectobacterium*, and *E. coli* at 5000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (Devkota et al., 2021). CDs obtained from natural leaves were effected on *E. coli* and *S. aureus* with MIC values in the

range between 150 to 5000 $\mu\text{g/mL}$, whereas MIC values of CDs synthesized from Oyster mushroom was 45 $\mu\text{g/mL}$ (Saravanan et al., 2021). MIC values of curcumin-based CDs were 7.8, 15.6, and 62.5 $\mu\text{g/mL}$ for *K. pneumonia*, *S. aureus*, and *P. aeruginosa* respectively (Ring et al., 2020). Oikeh and colleagues (2016) announced that different citrus juice concentrates also showed antimicrobial activities. According to their results, MIC values of concentrated lemon juices were 50, 25, and 12.5 $\mu\text{g/mL}$ for *E. coli*, *S. aureus*, and *P. aeruginosa*, respectively (Oikeh et al., 2016). It was also effected on fungi such as *C. albicans*, *A. niger*, *Penicillium* spp and MIC values were 25, 50, and 100 $\mu\text{g/mL}$ for them respectively (Oikeh et al., 2016). According to our knowledge, no any results is showing antimicrobial activities of lemon-based CDs. As our results are first for the literature, we can only compare them with CDs synthesized from other natural sources with MIC values in the range of 7.8 to 5000 $\mu\text{g/mL}$ (Dong et al., 2017; Ring et al., 2020; Devkota et al., 2021; Saravanan et al., 2021). MIC values of the CDs on microorganisms studied here are in the range between 650 to 2300 $\mu\text{g/mL}$. The first study using the microwave-based method to synthesize only lemon-based CDs showed that there is a need to improve the fluorogenic features of these CDs. However, they can be certainly used as quenchers for BSA proteins in biotechnological applications. Since they showed antimicrobial activities on microorganisms tested here, further studies would help our understanding whether they can be used as antimicrobial therapy alternatives in the future.

Acknowledge

I would like to thank Acibadem Mehmet Ali Aydinlar University for research infrastructure and opportunities.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

Contribution Statement

The author declares that he has contributed 100% to the article.

References

- Bourlinos AB., Stassinopoulos A., Anglos D., Zboril R., Georgakilas V., Giannelis EP. Chem. Photoluminescent carbogenic dots. Mater. 2008; 20: 14: 4539-4541. <https://doi.org/10.1021/cm800506r>.
- Chen RF. Fluorescence quantum yields of tryptophan and tyrosine. Analytical Letters 1967; 1: 35-42. <https://doi.org/10.1080/00032716708051097>.
- Devkota A., Pandey A., Yadegari Z., Dumenyo K., Taheri A. Amine-coated carbon dots (NH₂-FCDs) as novel antimicrobial agent for Gram-negative bacteria. Front. Nanotechnol. 2021; 3: 768487. doi: 10.3389/fnano.2021.768487.

- Dong X., Awak MA., Tomlinson N., Tang Y., Sun YP., Yang L. Antibacterial effects of carbon dots in combination with other antimicrobial reagents. PLoS ONE 2017; 12(9): e0185324. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185324>.
- Hill S., Galan MC. Fluorescent carbon dots from mono- and polysaccharides: synthesis, properties and applications. Beilstein J. Org. Chem. 2017; 13: 675–693, doi:10.3762/bjoc.13.67.
- Hoan BT., Tam PD., Pham VH. Green synthesis of highly luminescent carbon quantum dots from lemon juice. Hindawi Journal of Nanotechnology 2019; 2852816:9. <https://doi.org/10.1155/2019/2852816>.
- Huo X., He Y., Ma S., Jia Y., Yu J., Li Y., Cheng Q. Green synthesis of carbon dots from grapefruit and its fluorescence enhancement. Hindawi Journal of Nanomaterials 2020; 8601307. <https://doi.org/10.1155/2020/8601307>.
- Infrared Spectroscopy Table. <https://www.chem.ucla.edu/~bacher/General/30BL/IR/ir.html>. Accessed November 11th, 2021.
- InstaNANO-Quantum yield calculator from photoluminescence (PL) and UV-Vis Absorption. <https://instanano.com/characterization/calculator/pl/quantum-yield/> (accessed October 30th, 2021).
- Monte-Filho SS., Andrade SIE., Lima MB., Araujo MCU. Synthesis of highly fluorescent carbon dots from lemon and onion juices for determination of riboflavin in multivitamin/mineral supplements. Journal of Pharmaceutical Analysis 2019; 9(3): 209-216. <https://doi.org/10.1016/j.jpha.2019.02.003>.
- Nair A., Haponiuk JT., Thomas S., Gopi S. Natural carbon-based quantum dots and their applications in drug delivery: A review. Biomedicine & Pharmacotherapy 2020; 132: 110834. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110834>.
- Oikeh EI., Omoregie ES., Oviasogie FE., Oriakhi K. Phytochemical, antimicrobial, and antioxidant activities of different citrus juice concentrates. Food Science & Nutrition 2016; 4(1): 103–109. doi: 10.1002/fsn3.268.
- Okullu SÖ., Mansur N., Mozioglu E., Kolgazi M. In vitro anti-*helicobacter pylori* effects of hydroxycinnamic acid derivatives and their urease inhibition studies on *H. pylori* urease enzyme. ACU Sağlık Bil Derg 2020; 11(4): 646-651. <https://doi.org/10.31067/0.2019.202>.
- Pramanik S., Chatterjee S., Kumar GS., Devi PS. Egg-shell derived carbon dots for base pair selective DNA binding and recognition. Phys. Chem. Chem. Phys. 2018; 20: 20476-20488.
- Ring LC., Yenn TW., Wen-Nee T., Tumin ND., Yusof FA., Yacob LS., Rosli MIH., Taher A. Synthesis of curcumin quantum dots and their antimicrobial activity on necrotizing fasciitis causing bacteria. Materials Today: Proceedings 2020; 31: 31-35. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.082>.

- Saravanan A., Maruthapandi M., Das P., Luong JHT., Gedanken A. Green synthesis of multifunctional carbon dots with antibacterial activities. *Nanomaterials*. 2021; 11: 369. <https://doi.org/10.3390/nano11020369>.
- Stefanakis D., Philippidis A., Sygello L., Filippidis G., Ghanotakis D., Anglos D. Synthesis of fluorescent carbon dots by a microwave heating process: structural characterization and cell imaging applications. *J Nanopart Res* 2014; 16: 2646. <https://doi.org/10.1007/s11051-014-2646-1>.
- Tadesse A., Rama Devi D., Hagos M., Battu G., Basavaiah K. Facile green synthesis of fluorescent carbon quantum dots from citrus lemon juice for live cell imaging. *Asian Journal of Nanoscience and Materials* 2018; 1(1): 36-46.
- Wang J., Zhang YY., Guo Y., Zhang L., Xu R., Xing ZQ., Wang SX., Zhang XD. Interaction of bovine serum albumin with acridine orange (C.I. Basic Orange 14) and its sonodynamic damage under ultrasonic irradiation. *Dyes and Pigments* 2009; 80: 271-278.

Yüksek Sıcaklığa Ulaşan Elektronik Elemanların Etkin Bir Şekilde Soğutulması

Muhammed Serdar ÖZTÜRK¹, Tolga DEMİRCAN^{2*}

^{1,2}Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 71450, Yahşihan, Kırıkkale

¹<https://orcid.org/0000-0001-5177-1372>

²<https://orcid.org/0000-0003-4805-6428>

*Sorumlu yazar: tolgademircan@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 30.07.2021

Kabul tarihi: 17.01.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Kanal içi akış

Çarpan jet

Hibrit akış

Elektronik soğutma

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği

HAD

ÖZ

Bu çalışmada, yüksek sıcaklığa ulaşan elektronik elemanların etkin bir şekilde soğutulması incelenmiştir. Elektronik elemanları etkin bir şekilde soğutulabilmek için kanal içi akış, jet akış ve hibrit akış yöntemleri kullanılmış ve bu yöntemlerin ısı transferi üzerinde yarattığı etkilere odaklanılmıştır. Bu kapsamda, sabit giriş hızı ve üç farklı H/D oranı (jet ile çarpma yüzeyi arasındaki mesafenin jet çapına oranı) için, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yardımı ile simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerin sonucunda, H/D oranının artması ile genel olarak ısı transferinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak jet akışının diğer akış yöntemlerine kıyasla H/D oranının değişiminden daha çok etkilendiği görülmüştür. Elektronik elemanın yüzeylerinde gerçekleşen ısı transferine bakıldığında ise, jet akışın elektronik elemanın üst yüzeyinde gerçekleşen ısı transferini diğer akış yöntemlerine kıyasla daha çok arttırdığı görülmüştür. Ancak bu yöntemin, elektronik elemanın sol ve sağ yüzeylerinde ise en düşük ısı transferini sağlayan akış yöntemi olduğu belirlenmiştir. Kanal içi akış ile yapılan soğutmanın, elektronik elemanın sol ve sağ yüzeylerini soğutmada, jet akışa kıyasla başarılı olsa da elektronik elemanın üst yüzeyini yeterince soğutamadığı gözlemlenmiştir. Bu iki akışın birlikte kullanılması ile oluşan hibrit akış ile yapılan soğutma ise, genel olarak en düşük ortalama sıcaklık değerlerini veren akış yöntemi olmuştur. Çalışılan parametre aralığında optimum soğutmanın, H/D=2 oranında hibrit akış yönteminin kullanılması ile yapılabildiği belirlenmiştir.

Effective Cooling of Electronic Components Reaching to High Temperature

Research Article

Article History:

Received: 30.07.2021

Accepted: 17.01.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Channel flow

Jet flow

Hybrid flow

Electronic cooling

Computational fluid dynamic

CFD

ABSTRACT

In this study, the effective cooling of electronic components reaching a high temperature is investigated. Channel flow, jet flow and hybrid flow methods are used to effectively cool the electronic components. The main focus of this study is the effects of these methods on heat transfer. Accordingly, simulations are applied with the help of Computational Fluid Dynamics (CFD) for a constant inlet velocity and three different H/D ratios (the ratio of the distance between the jet and impinging surface to the jet diameter). As a result of the obtained data, it is observed that the heat transfer decreased with increasing the H/D ratio in general. However, it is seen that jet flow is influenced by the H/D ratio more than the other flow methods. When the heat transfer on the electronic component surfaces is considered, it is seen that the heat transfer on the upper surfaces of the electronic component is higher for jet flow compared to other flow methods. However, this method is identified as the lowest heat transfer method for the other surfaces of the electronic component. Cooling with channel flow has been successful in cooling the side surfaces of the electronic element. However, it has been observed that this method cannot sufficiently cool the upper surface of the electronic element. A hybrid flow created by combining these two flows is the flow

method with the lowest temperature values in general. In the working parameter range, it has been determined that optimum cooling can be achieved by using the hybrid flow method at the ratio of $H/D=2$.

To Cite: Öztürk MS., Demircan T. Yüksek Sıcaklığa Ulaşan Elektronik Elemanların Etkin Bir Şekilde Soğutulması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 612-631.

1. Giriş

Elektronik teknolojisinin ilerlemesiyle birlikte elektronik elemanlara duyulan ihtiyaç da doğal olarak artmaktadır. Birçok endüstriyel uygulamada kullanılan elektronik elemanların harcadığı ısı yük de her geçen yıl artmaya devam etmektedir. Yüksek ısı yüküne sahip elektronik elemanların yarattığı ısı dağılımı sorunu sebebiyle, sistemlerin güvenli bir şekilde çalışabilmeleri için güvenli çalışma sıcaklıklarına indirgenmeleri gerekmektedir. Aksi halde sistemin performansının düşmesine ya da arıza yapmasına neden olabilmekte ve gelecekteki sistemlerin çalışmasında bir engel olarak görülmektedir. Bu nedenlerden ötürü elektronik elemanların etkin bir şekilde soğutulması büyük bir önem arz etmektedir.

Yüksek ısı yüküne sahip elektronik elemanların soğutulabilmesi için birçok soğutma yöntemi kullanılabilir. Bu soğutma yöntemlerinden biri olan kanal içi akış (çapraz akış) ile soğutma yöntemi, bir fan yardımı ile soğuk akışkanın bir kanal vasıtasıyla bir dizi elektronik elemandan oluşan bir sisteme göndererek elektronik elemanların soğutulması prensibine dayanır. Bu yöntem ile genel bir soğutma yapmak mümkündür. Ancak, sistemler birçok farklı tip elektronik elemanlardan oluştuğu için sistemdeki elektronik elemanların ulaştığı sıcaklık değerleri birbirlerinden oldukça farklı olabilmektedir. Sadece çapraz akış ile soğutma, bu yüksek sıcaklıktaki elektronik elemanların hepsini birden güvenli çalışma sıcaklıklarına indirmeye yetemeye bilmektedir. Diğer bir soğutma yöntemi ise, soğutulması istenilen lokal bölgelerin çarpan jet kullanılarak soğutulmasıdır. Çarpan jetler, dairesel veya dikdörtgen kesitli bir lüleden püskürtülen soğuk akışkanın bir yüzeye çarpması sonucu oluşur. Çarpma bölgesinde sınır tabaka kalınlığını azalttığı için ısı taşınım katsayısında bir artış görülür ve bunun sonucunda ise ısı transferinde kayda değer bir miktarda artış sağlamaktadır. Çarpan jetler, yüksek sıcaklık değerlerine ulaşmış elektronik elemanlarını soğutmada başarılı olmasına rağmen sistemdeki tüm elektronik elemanların soğutulmasında yetersiz kalabilmektedir.

Elektronik elemanlardan oluşan bir sistem farklı tip elektronik elemanlardan oluşabilmektedir. Her eleman farklı ısı üretimine sahip olabileceği için birbirlerine kıyasla daha yüksek sıcaklık değerlerine ulaşabilmektedir. Dolayısıyla sadece çapraz akış ile soğutma ya da çarpan jet ile soğutma, sistemdeki bütün elektronik elemanların soğutulmasında yetersiz kalabilmektedir. Bu iki soğutma yönteminin birlikte kullanılması sonucunda ise hibrit akış yöntemi meydana gelmektedir. Bu yöntemde ise, çapraz akış ile sistemdeki elektronik elemanlar genel olarak soğutulurken, fazla ısınan elektronik elemanlar ise çarpan jet ile lokal olarak soğutulurken diğer iki yöntemle kıyasla daha verimli bir soğutma sağlanabilmektedir.

Literatürde, sadece çapraz akış ile soğutmanın incelendiği veya sadece çarpan jet ile soğutmanın incelendiği birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada incelenen geometrinin daha çok çarpan jet

akışını hatırlatmasından dolayı, literatür araştırmasında çarpan jet akışı üzerine yoğunlaşmıştır. Literatürde çarpan jetler ile ilgili çok sayıda deneysel ve sayısal çalışma yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalarda genel olarak çarpan jetlerin akışkan seçimi, akış alanın geometrisi, seçilen türbülans modeli, Reynolds sayısı, lüle ile çarpma yüzeyi arasındaki mesafe ve elektronik elemanın ısı akısı gibi parametrelerin ısı transferi üzerindeki etkilerine yoğunlaşıldığı görülmüştür. Bu çalışmalardan bir kısmına aşağıda değinilmiştir.

Jing ve ark. (2018) üç farklı hedef şekli (düz, içbükey, V-şekli) ve çeşitli yüzey düzenlemeleri (seyrek çukur/çukıntı, yoğun çukur/çukıntı ve üçgen kaburga çukur/çukıntı) için çarpan jetin soğutma performansını incelemiştir. Nusselt sayısının seyrek ve yoğun düzenlemelerden pek etkilenmediğini gözlemlemiştir. Az sürtünmeli düz olmayan kanallarda çukur/çukıntı düzenlemesi ile ısı transfer performansının artırılabilirliğini belirtmişlerdir. Bilen (1994) dairesel bir lüleden gönderilen hava jetinin düz bir levha üzerine dik ve eğik açılar ile çarpıtılması sonucu oluşan ısı transferini, farklı Reynolds sayıları ve H/D oranları için deneysel olarak incelemiştir. Reynolds sayısı 10000-40000, H/D oranı 6-14 ve jet eğim açısının 45°-90° değerlerinde çalışmalar gerçekleştirmiştir. Yaptığı çalışmaların sonucunda ısı transferinin H/D oranı ile ters orantılı olduğunu görmüştür. Jet eğim açısı 45° iken durgunluk noktasındaki ısı transferinin, H/D=7, 10, 14 değerleri için 90°'lik jet eğim açısına kıyasla sırasıyla %6, %18 ve %22 oranında azalmış olduğunu gözlemlemiştir. Zhang ve ark. (2018) farklı dalga formlarına sahip jetleri ısıtılmış bir plakaya çarptırarak soğutma etkinliklerini sayısal olarak incelemiştir. Elde ettikleri bulguları sabit hava jetleriyle karşılaştırmışlardır. 5000 W/m²'lik ısıtmalı bir plakaya, sinüs eğrisi biçiminde, dikdörtgen biçimde ve üçgen biçimde çarpan jetler uygulamışlardır. Çalışmalarında Reynolds sayısı 1553-7766, Jet frekansı 10-400, St sayısı 0,012-2,4 ve H/W oranı 2-8 arasındaki değerleri ele almışlardır. Frekansın düşük bir değerden kademeli olarak artırılmasının ısı transferini arttırdığını, ancak kritik bir değerin üzerine çıktığında ısı transferinin azalmasına neden olduğunu gözlemlemiştir. Yaptıkları çalışmaların sonucunda sentetik jetlerin frekansa, Reynolds sayısına ve H/W oranına büyük ölçüde bağlı olduğunu ve uygun şekilde ayarlanması durumunda daha yüksek ısı transferi sağlanabileceğini belirtmişlerdir.

Kabakuş (2012) dikdörtgen ve altıgen kanatçıklı ısı alıcılarında çarpan jet kullanımında, ısı ve akış karakteristiklerini deneysel olarak incelemiştir. Ayrıca, kanatçıklı yüzeyleri kanatçıksız yüzeylerle kıyaslayabilmek için, h/d oranını 3-5 arasında değiştirerek düzlem plakalar ile deneyler yapmıştır. Yaptığı çalışmaların sonucunda, kanatçık boyunun artması ile ısı transferinin olumsuz yönde etkilendiği belirtmiştir. Taghinia ve ark. (2016) kavisli bir yüzeye çarpan hava jetinin akış ve ısı transferi özelliklerini incelemiştir. Bu kapsamda, çarpma yüzeyine 5000 W/m²'lik sabit bir ısı akısı uygulamışlardır. h/B oranı 4-10, Reynolds sayısı 2960-4740 değerleri için çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. h/B oranı arttıkça sonuçların deneysel verilere yaklaştığını gözlemlemiştir. Ravanji ve Zargarabadi (2020) sabit ısı akısına sahip içbükey bir yüzeye uygulanan çarpan dairesel hava jetin akış ve ısı transferi karakteristiklerini sayısal ve deneysel olarak ele almışlardır. Jet Reynolds sayısının ve bağıl eğrilik oranının (C_r) etkilerini incelemiştir. Bağıl eğrilik oranı 0,067-

0,13 ve jet Reynolds sayısının 23000-55000 arasındaki değerleri için çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmaların sonucunda, eliptik pim kanatçıkların iç bükey yüzeylerdeki ısı transferini arttırabileceğini gözlemlemişlerdir. Sabit eğriliğe ($C_r=0,13$) pim kanatçıklarının, kanatçiksız iç bükey yüzeylere kıyasla ortalama Nusselt sayısının değerini arttırdığını gözlemlemişlerdir. Kılıç ve Ali (2019) yapmış oldukları çalışmada ısıtılmış bir yüzeye üç adet çarpan jet uygulandığı durumda gerçekleşen ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Akışkan olarak CuO-su, Al_2O_3 -su, Cu-su, TiO-su nanoakışkanlarını ve saf suyu kullanmışlardır. Sonuç olarak, CuO-su nanoakışkanının ortalama Nusselt sayısının, diğer incelenen akışkanlara göre daha yüksek çıktığını belirtmişlerdir.

Çalışkan (2012) altı farklı jet geometrisi ve iki farklı kanat dizilimi kullanarak, jetlerin ısı transferi özelliklerini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Reynolds sayısı 2000-10000, H/d oranı 2-12 ve e/D oranı 0,6-1,2 arasındaki değerler için çalışmalar gerçekleştirmiştir. Yaptığı çalışmaların sonucunda en boy oranı iki olan dikdörtgen kesitli jetin diğer jetlere kıyasla daha iyi ısı transferi sağladığını belirtmiştir. H/d oranı arttıkça ısı transferinin azaldığını gözlemlemiştir. En yüksek ısı transferine e/D=1,2 ve H/d=2 iken ulaştığını belirtmiştir. Kanatçıklı yüzeylerin düz plaka ile karşılaştırılması sonucunda, V biçimi kanatçıkların düz plakaya kıyasla %4-26,6 oranında bir artış sağladığını gözlemlemiştir. Hatamia ve ark. (2018) çarpan jetlerin soğutma sürecini iyileştirmede, jet geometrisinin, H/D oranının, Reynolds sayısının ve boyutsuz strok uzunluğunun etkisini sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Reynolds sayısını 1000-2100, H/D oranı 3-6 ve strok uzunluğunu (L_0/D) 3-19 arasında değiştirerek çalışmalar yapmışlardır. Optimum strok uzunluğunu 3,5 olarak belirlemişlerdir. Reynolds sayısı arttıkça Nusselt sayısının arttığını belirtmişlerdir. Sınırsız jetteki ısı transferi oranının, sınırlı jete göre yaklaşık olarak %30 daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. Çalışır ve ark. (2017) üçgen ve kare kanatçıklara sahip yüzeylere çarptırılan dizi şeklindeki çarpan jetlerin akış karakteristiklerini incelemişlerdir. Bu kapsamla Reynolds sayısını, H/d oranını ve kanatçık geometrisini değiştirerek sayısal analizler yapmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, üçgen kanatçıklara sahip yüzeylerde duvar jet bölgesinde akışkan hızının daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Telışık (2007) yaptığı çalışmada birbirlerine paralel duran iki yatay levhadan üstte bulunan levhanın tam ortasındaki bir yarıktan hava püskürtüldüğünü varsaymıştır. Bu havanın altta bulunan sabit sıcaklıktaki levhaya çarpması sonucu oluşan akış ve ısı transferini sayısal olarak incelemiştir. H/W oranının 0,5-5 ve Reynolds sayısının 250-650 arasındaki değerleri için çalışmalar gerçekleştirmiştir. Yaptığı çalışmaların sonucunda, bütün Reynolds sayılarında ısı transferinin H/W oranı ile ters orantılı olduğunu gözlemlemiştir. En yüksek ısı transferini H/W=0,5 ve Re=650 olduğu durumda elde ettiğini belirtmiştir.

Türker (2006) bir disk yüzeyine çarpan jet akışını sayısal olarak incelemiştir. Bu kapsamda, jet uygulanmamış akış, hareketsiz bir diske jet uygulanmış bir akış ve dönen bir diske jet uygulanmış bir akış olmak üzere üç farklı durumu ele almışlardır. Standart k- ϵ , RNG k- ϵ , Reynolds Stress Modeli ve SST k- ω türbülans modellerini literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırmıştır. SST k- ω türbülans modelini tercih etmiştir. Sonuç olarak, çözüme tesir eden en büyük unsurların duvar fonksiyonları ve

çözüm için tercih edilen türbülans modeli olduğunu belirtmiştir. Lak (2016) yapmış olduğu çalışmada, dairesel eğik bir jetin sabit ısı akısına sahip düz bir yüzeye çarpması sonucu oluşan, ısı ve akış karakteristiklerini sayısal olarak incelemiştir. Reynolds sayısı 1500-30000, H/D oranı 2-8 ve jet açısı 45°-90° aralığındaki değerler için çalışmalar gerçekleştirmiştir. Reynolds sayısının artması ile ısı transferinin arttığını tespit etmiştir. Fakat H/D oranı arttıkça ısı transferinin olumsuz yönde etkilendiğini gözlemiştir. Jet açısının artması ile ısı transferinde artış sağladığını belirtmiştir. En yüksek ısı transferinin Reynolds sayısı 30000, H/D=2 ve $\alpha=90^\circ$ 'de iken elde edildiğini gözlemiştir. Markal ve Aydın (2018) çarpan hava jetlerinin hidrodinamik ve termal özelliklerini deneysel olarak incelemiştir. H/D oranının 0,5-2,5 ve Q^* (boyutsuz akış hızı) oranının 0,25-0,75 arasındaki değerleri için çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, eş eksenli jet kullanımı ile tek dairesel jet kullanımı kıyaslandığında, ısı transferinde ciddi farklar sağlandığını görmüşlerdir. Durma noktası Nusselt sayısının değerinin, H/D oranının ve akış hızı oranının artması ile sırasıyla yaklaşık %10,2'ye ve %8,4'e kadar azaldığını gözlemiştir. Ortalama yerel Nusselt sayısının değerinin ise, H/D oranı arttıkça %10,5'e kadar azaldığını, akış hızı oranının artması ile ise %20'ye kadar arttığını belirtmişlerdir.

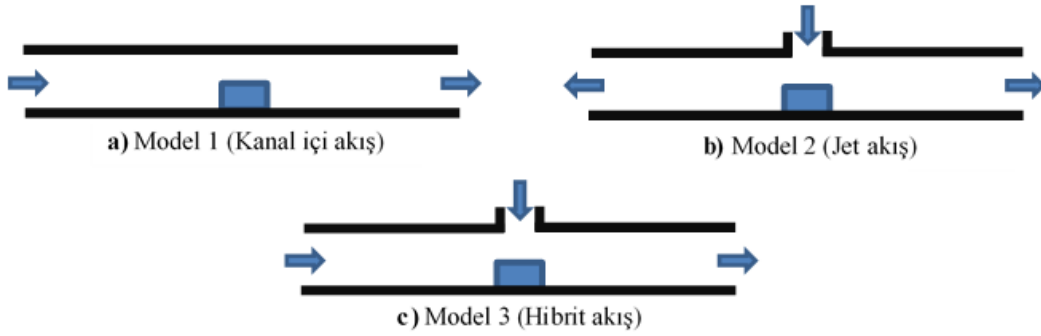
Tang ve ark. (2017) bir koni ısı alıcısına çarpan jetlerin akış ve ısı transferi özelliklerini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. A (koni açısı) açısının 0°-70°, d_1/d (koni taban çapının jet çapına oranı) oranının 1-3, H/d oranının 3-7, ısı akısı yoğunluğunun (q) 60-100 W/cm² ve Reynolds sayısının 16000-32000 arasındaki değerleri için çalışmalar yürütmüşlerdir. Yaptıkları çalışmaların sonucunda koni açısının artması ile ısı transferinde artış gözlemiştir. Fakat açı 50°'yi geçtikten sonra ısı transferinde azalma meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Reynolds sayısı arttıkça, $d_1/d=1$ ve $d_1/d=2$ için hesaplanan ortalama Nusselt sayılarının birbirlerine yaklaşmaya başladığını belirlemişlerdir. H/d oranının artması ile ısı transferinin arttığını, fakat bu oran H/d=5 değerini geçtikten sonra ısı transferinin azaldığını gözlemiştir. Mallor ve ark. (2018) bir rüzgâr tünelineki duvara monte edilmiş bir küpün üzerine düz delikler açmışlar ve gerçekleşen ısı transferini deneysel olarak incelemiştir. Deneylerinde Reynolds sayısını (4600) ve deliklerin çaplarını (2,5 mm) sabit almışlardır. Küpün üzerindeki delikleri 9 farklı lokasyona tabi tutmuşlar ve elde ettikleri sonuçları, katı küpler ile kıyaslamışlardır. Yaptıkları çalışmaların sonucunda deliklerin çıkış yüksekliğinin giriş yüksekliğinden daha küçük olduğu durumlarda, yerel Nusselt sayısının katı küplere kıyasla %20 oranında daha yüksek olduğunu gözlemiştir. Kılıç ve ark. (2017) elektronik elemanların çarpan jet ile soğutulmasında girdap oluşturucuların akış ve ısı transferi üzerindeki etkilerini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Çalışmalarının sonucunda, girdap oluşturucunun konumu jet girişine yaklaştığında gerçekleşen ısı transferinin arttığını belirtmişlerdir. Girdap oluşturucunun konumunun, uzunluğunun ve açısal pozisyonunun ısı transferi üzerinde önemli etkilerinin olduğunu gözlemiştir. Zhu ve ark. (2018) küçük jet plaka mesafelerinde, yüksek sıcaklıktaki düz bir plaka üzerine dikey olarak yerleştirilmiş bir dizi hava jetin, geçici ısı transferi özelliklerini ve soğutma hızlarını sayısal olarak incelemiştir. H/D oranı 0,2-1, S/D oranı 5-10 ve Reynolds sayısı 7499-3000

arasındaki değerler için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, ters akışlı jetlerin ısı transfer oranını önemli ölçüde arttırdığını gözlemlemiştir.

Literatür araştırmalarından da anlaşıldığı üzere çapraz akış ve çarpan jetlerle ilgili birçok sayıda çalışma yapıldığı görülmüştür. Ancak jet akışı ile çapraz akışın birlikte hibrit bir şekilde kullanıldığı çalışmaların yetersiz olduğu kanaatine varılmıştır. Bu çalışmada literatürde bulunan diğer araştırmalardan farklı olarak, sabit giriş hızı ve üç farklı H/D oranı için elektronik elemandan gerçekleşen ısı transferi ve akış yapısı üzerindeki etkiler, bu üç akış yöntemi için birlikte incelenmiş ve bu akış yöntemleri karşılaştırılmıştır.

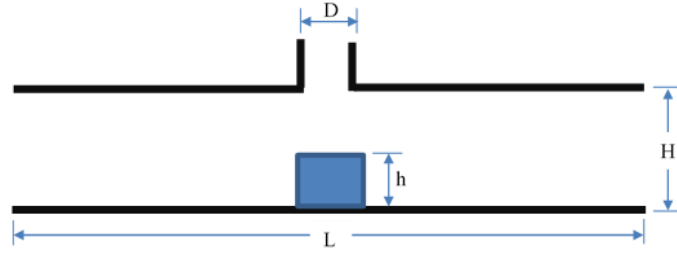
2. Problemin Tanıtımı ve Matematiksel Formülasyon

Bu çalışmada, dikdörtgen kesitli bir kanalın taban yüzeyine yerleştirilmiş olan sabit ısı akısına sahip bir elektronik elemanın soğutulması ele alınmıştır. Bu amaçla, kanal girişinden üniform olarak sabit U_k hızı ile gönderilen hava ile eş zamanlı olarak elektronik elemanın hemen üstünde bulunan dairesel kesitli bir lüleden V_j hızı ile gönderilen havanın oluşturduğu bir akış düşünülmüştür. Bu iki akışın elektronik elemana çarpması sonucu, elektronik eleman etrafında karmaşık bir akış yapısı oluşturması ve ısı transferini gerçekleştirmesi planlanmıştır. Bu çalışmada incelenen problemin geometrisinin şematik gösterimi Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1. Modellerin şematik gösterimi a) Kanal içi akış, b) Jet akış, c) Hibrit akış

Bu çalışmada incelenen problemin geometrik ölçülerini belirleyebilmek için literatürde bulunan benzer çalışmalar incelenmiş ve Saleha ve ark. (2015) tarafından yapılan bir çalışmadan yararlanılmıştır. Bu kapsamda, model geometriler oluşturulurken, jet akışın püskürtüldüğü lülenin çapı $D=15$ mm olacak şekilde sabit olarak ayarlanmış ve diğer bütün büyüklükler bu lüle çapı kullanılarak hesaplanmıştır. Kanalin uzunluğu $L=66D$ olarak belirlenmiştir. Yüksekliği ise incelenen farklı durumlar için, H/D değeri 2, 3 ve 4 olacak şekilde 3 farklı büyüklükte alınmıştır. Kanalin genişliği ise $W=4D$ büyüklüğündedir. Elektronik eleman küp şeklindedir ve bir kenarının uzunluğu $h=4D/3$ olarak belirlenmiştir. Ana geometrinin şematik görünümü ve ilgili büyüklüklerin yeri Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2. Ana geometrinin şematik gösterimi

Bu çalışmada ele alınan akışın, zamandan bağımsız, sıkıştırılamaz, üç boyutlu ve türbülanslı olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca, doğal taşınım etkileri ihmal edilmiştir. Türbülans modeli olarak k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Literatürde bulunan benzer çalışmalara uygun olarak belirlenen problemin temel diferansiyel denklemlerinin genel hali aşağıda verilmiştir (Zuckerman ve Lior, 2006; Mergen, 2014; Saleha ve ark., 2015; Örs, 2017):

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

Momentum denklemi:

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}_i \bar{u}_j) = - \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right] \quad (2)$$

Enerji denklemi:

$$\rho C_p \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{u}_i \bar{T}) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[k \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} - \rho C_p \overline{T' u'_i} \right] \quad (3)$$

Türbülanslı kinetik enerji denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \rho \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \rho \varepsilon \quad (4)$$

Türbülanslı kinetik enerji yutulma denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (5)$$

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (6)$$

Bu çalışmadan elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan yerel Nusselt sayısı ve ortalama Nusselt sayısı değerleri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla belirlenmiştir (Demircan, 2019). Bu kapsamda Nusselt sayısının genel formülü Eşitlik (7)'de, ısı akısı Eşitlik (8)'de ve yerel ısı taşınım katsayısı ise Eşitlik (9)'da verilmektedir.

$$Nu = \frac{h D_h}{k} \quad (7)$$

$$q'' = h(T_y - T_g) = -k \left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_{n=0} \quad (8)$$

$$h = \frac{q''}{(T_y - T_g)} = - \frac{k}{(T_y - T_g)} \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{n=0} \quad (9)$$

Eğer Eşitlik (9), Eşitlik (7)'de yerine yazılırsa yerel Nusselt sayısını veren eşitlik elde edilebilir.

$$Nu_x = - \frac{D_h}{(T_y - T_g)} \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{n=0} \quad (10)$$

Eğer Eşitlik (10)'un blok yüzey alanı boyunca integrali alınırsa, ortalama Nusselt sayısını veren eşitlik elde edilir.

$$\overline{Nu_A} = \frac{1}{A} \int_A Nu_x dA \quad (11)$$

Bu denklemlerde h , k , D_h , T_y ve T_g sembolleri sırasıyla, ısı taşınım katsayısı, ısı iletim katsayısını, hidrolik çapı, yüzey sıcaklığını ve giriş sıcaklığını temsil etmektedir.

Problemin diferansiyel denklemlerinin sayısal olarak çözülebilmesi için sınır şartları belirlenmiştir. Bu kapsamda, jet girişi ve kanal girişinde hava hızları için sırasıyla sabit $V_k=2,9474\text{m/s}$ ve $U_k=2,9474\text{m/s}$ değerleri kullanılmıştır. Akışkanın giriş sıcaklığı ise sabit $T_g=20^\circ\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Kanal çıkışlarında ise, akışkanın atmosfer basıncı ve $T_a=20^\circ\text{C}$ atmosfer sıcaklığına sahip bir dış ortama gönderildiği kabul edilmiştir. Tüm kanal duvarlarının dış yüzeylerinin yalıtıldığı ve bu yüzeylerde kaymasızlık sınır şartının sağlandığı düşünülmüştür. Elektronik elemanları temsil eden küpün tüm yüzeylerinden ise sabit $q''= 3000 \text{ W/m}^2$ değerinde ısı akısı gerçekleştiği kabul edilmiştir. Bütün analizlerde, havanın 20°C deki fiziksel özellikleri alınmıştır. Bu kapsamda, havanın yoğunluğu $\rho_h=1,204 \text{ kg/m}^3$, viskozitesi $\mu=1,825 \times 10^{-5} \text{ Pa.s}$ ve ısı iletim katsayısı $k_h=0,02514 \text{ W/m.K}$ olarak belirlenmiştir (Çengel ve Ghajar, 2015). Bu çalışmada kullanılan sınır şartları Tablo 1'de verilmektedir.

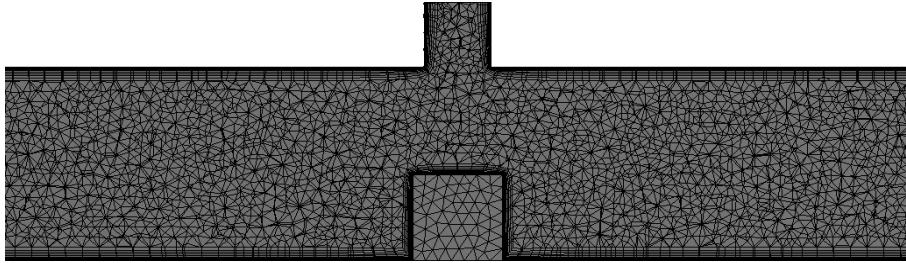
Tablo 1. Sınır şartları

Sınır Şartları		Model 1	Model 2	Model 3
Giriş	T_g ($^\circ\text{C}$)	20	20	20
	V_k (m/s)	2,9474	0	2,9474
	U_k (m/s)	0	2,9474	2,9474
Çıkış	T_φ ($^\circ\text{C}$)	20	20	20
	P_φ	P_{atm}	P_{atm}	P_{atm}
Duvar Yüzeyleri	-	Yalıtım	Yalıtım	Yalıtım
Isı akısı	q'' (W/m^2)	3000	3000	3000

3. Sayısal Çözüm

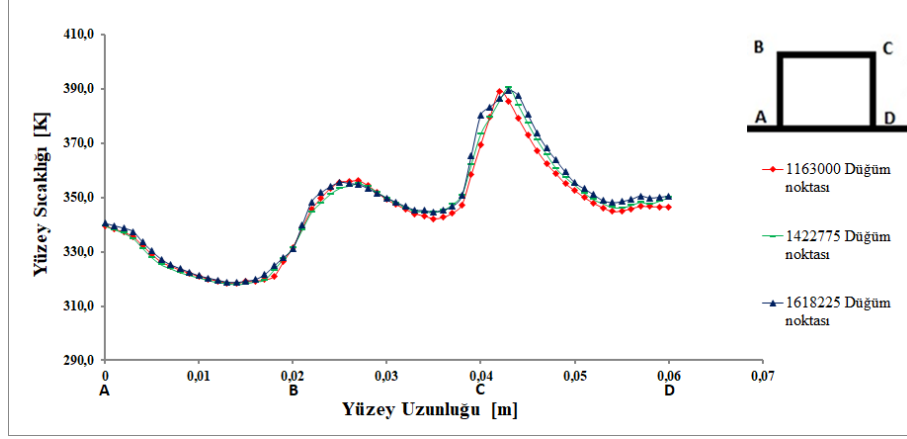
Bu çalışma kapsamında oluşturulan model geometriler belirlenen sınır şartları yardımıyla hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) kullanılarak sayısal olarak çözülmüştür. Bu kapsamda, yapılan analizler için Fluent paket yazılımı kullanılmıştır. Sayısal çözüm aşamasında SIMPLE algoritması tercih edilmiştir. Süreklilik, enerji ve momentum denklemleri için “Second Order Upwind” yöntemi, türbülans denklemleri için ise “First Order Upwind” yöntemi kullanılmıştır. Türbülans modeli olarak ise Realizable k- ϵ türbülans modeli seçilmiştir. Yakınsama kriterinin değeri, enerji denkleminin çözümünde 10^{-6} , diğer diferansiyel denklemlerin çözümünde ise 10^{-3} olarak alınmıştır. Ayrıca çözüm alanına giren ve çıkan akışkanın kütleleri kontrol edilerek, bunların arasındaki farkın 10^{-7} civarında olması sağlanmıştır.

Model 2 ve Model 3 geometrilerinde H/D oranı 3 için oluşturulan ağ yapısı örnek olarak Şekil 3’de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere, ısıl ve hız sınır tabakalarının etkin olduğu kanal duvarlarına ve elektronik elemanın yüzeylerine yakın bölgelerde daha sık, diğer bölgelerde ise daha gevşek bir ağ yapısı oluşturulmuştur.



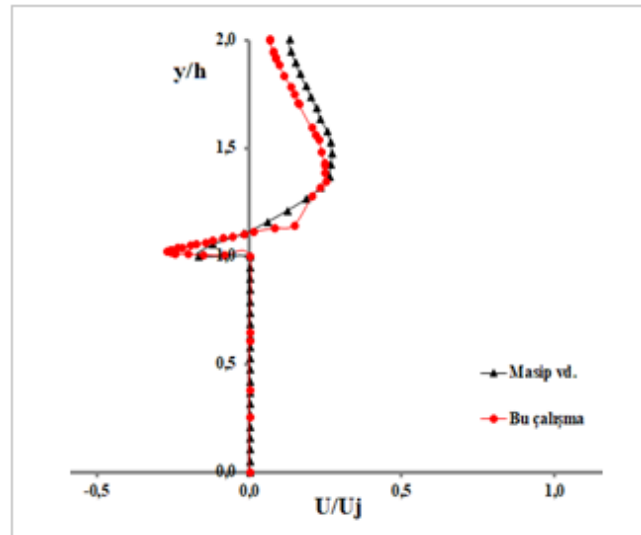
Şekil 3. Problemin ağ yapısı

Analizlerden elde edilen sonuçların ağ yapısından etkilenmesini minimuma indirmek için, farklı sayıda düğüm noktasına sahip farklı ağ yapıları için simülasyonlar tekrarlanmıştır. Örnek olması açısından Model 2 geometrisi ve H/D oranı 4 için yapılan simülasyonların sonucu Şekil 4’te birlikte verilmektedir. Şekil incelendiğinde artan düğüm sayısı ile, elektronik elemanın yüzey sıcaklıklarının pek etkilenmediği gözlemlenmiştir. Bu kapsamda Model 2 ve H/D=4 olan geometri için 1163000 düğüm noktasına sahip olan ağ yapısı optimum ağ yapısı olarak belirlenmiştir. Benzer yaklaşım, diğer tüm model geometrileri ve H/D oranları için de yapılarak, her durum için optimum bir ağ yapısı belirlenmiştir. Ayrıca $y^+=1$ değerini sağlayacak şekilde hesaplamalar yapılarak, ilk düğüm noktası ile yüzey arasındaki mesafe 0,075 mm olarak kabul edilmiş ve ağ yapısı oluşturulmuştur. Tüm model geometrileri için oluşturulan ağ yapılarında ortalama ortogonal kalite 0,97 ve ortalama eleman kalitesi ise 0,90 civarı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan tüm simülasyonlarda, belirlenmiş olan optimum ağ yapıları kullanılmıştır.



Şekil 4. Model 2 ve $H/D=4$ olduğu durumda, farklı düğüm noktaları için elektronik elemanın yüzeyindeki sıcaklık dağılımı

Bu çalışmada kullanılan sayısal yöntemin ve analizlerden elde edilen sonuçların güvenilirliğini belirlemek amacıyla, literatürde bulunan Masip ve ark. (2012)'nin yapmış oldukları deneysel çalışma kullanılmıştır. Bu çalışmada, Masip ve arkadaşları dikdörtgen bir kanalın yüzeyine yerleştirilen elektronik bir elemanın, kanal içi cebri hava akışı ve çarpan jet akışı ile soğutulmasını deneysel olarak incelemiştir. Kanal Reynolds sayısının 3 farklı değeri (3410, 5752 ve 8880) ve jet Reynolds sayısının kanal Reynolds sayısına oranının 3 farklı değeri (0,5, 1 ve 1,5) için deneyler yapmışlardır. Bu kapsamda Masip ve arkadaşlarının kullanmış olduğu geometri ve çalışma parametreleri aynen kullanılarak, jet çapı 12 mm, kanalın uzunluğu 2000 mm, genişliği 300 mm ve yüksekliği 30 mm olarak belirlenmiştir. Bu analizlerden, kanal Reynolds sayısının 3410 ve jet Reynolds sayısının 3410 olduğu durum için, her iki çalışmadan elde edilen sonuçlar Şekil 5'de birlikte verilmektedir. Şekil incelendiğinde her iki çalışmadan elde edilen sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu veriler ışığında, bu çalışma kapsamında kullanılan sayısal yöntemin ve elde edilen sonuçların güvenilir seviyede olduğu söylenilebilir.



Şekil 5. Masip ve arkadaşlarının (2012) ve bu çalışmanın sonuçlarının karşılaştırılması

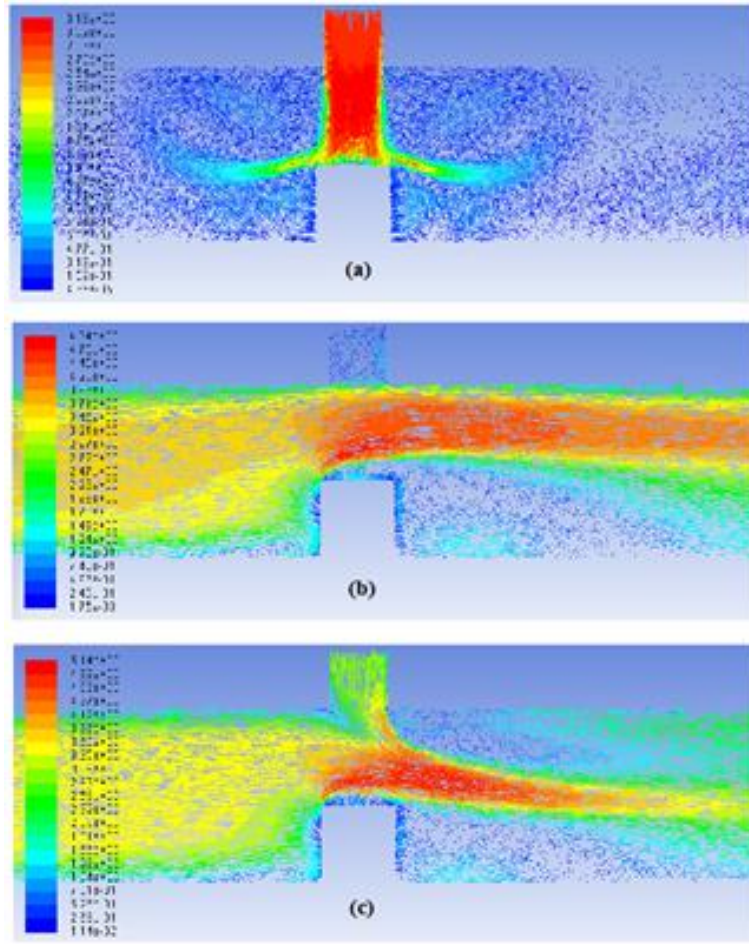
4. Bulgular ve Tartışmalar

Bu çalışmada, sabit ısı akısına sahip elektronik bir elemanın 3 farklı akış yöntemi ile soğutulması sayısal olarak incelenmiş ve bu akış yöntemlerinin, H/D oranı ile değişiminin akış ve ısı transferi üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Sabit giriş hızı ve H/D (jet ile çarpma yüzeyi arasındaki mesafesinin jet çapına oranı) oranının 2, 3 ve 4 değerleri için analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler için kullanılan çalışma parametreleri Tablo 2’de görülmektedir. Bu analizlerden elde edilen sonuçlar yardımıyla çizilen grafiklerden bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Tablo 2. Çalışma parametreleri

	V_k (m/s)	U_k (m/s)	H/D
Model 1	2,9474	0	2, 3 ve 4
Model 2	0	2,9474	2, 3 ve 4
Model 3	2,9474	2,9474	2, 3 ve 4

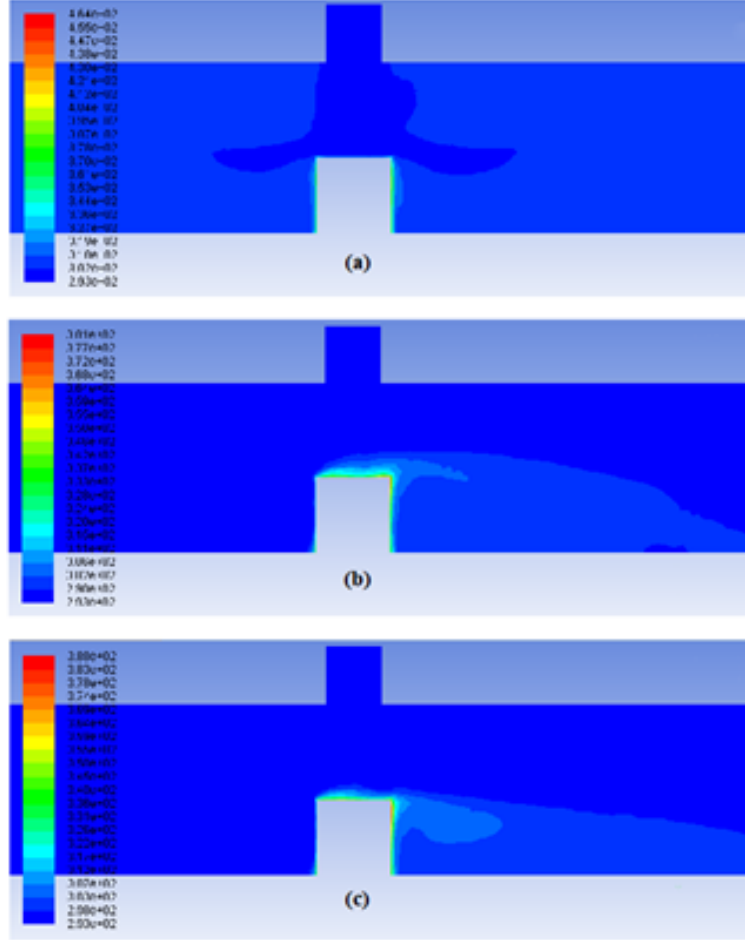
Sabit giriş hızları için elektronik elemanın etrafındaki hız vektör dağılımları, jet akış, kanal içi akış ve bu iki akışın kombine olarak uygulandığı hibrit akış için Şekil 6’da gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde, sadece jet akışın olduğu duruma bakıldığında jetten püskürtülen havanın direkt olarak elektronik elemanın üst yüzeyine çarptığı ve elektronik elemanın üst yüzeyindeki hız vektörlerinin diğer iki akışa kıyasla daha sık bir yapı oluşturduğu gözlemlenmiştir. Jet akışın elektronik elemanın üst yüzeyine direkt olarak çarpması sonucunda, elektronik elemanın sol ve sağ yüzeylerinde döngüsel akış bölgeleri meydana gelmiş ve bu durumun yüzeylerdeki hız vektörlerinin bir miktar azalmasına neden olduğu görülmüştür. Sadece kanal akışın olduğu duruma bakıldığında ise, hız vektörlerinin ağırlıklı olarak elektronik elemanın sol yüzeyinde yoğunlaştığı görülmüştür. Ancak elektronik elemanın üst yüzeyindeki yoğunlaşmanın jet akışı kadar etkili olmadığı belirlenmiştir. Son olarak bu iki akışın kombine olarak kullanıldığı hibrit akış incelendiğinde ise, jet akış ve çapraz akışın elektronik elemanın üst tarafında kalan bir bölgede çarpışmaları sonucunda, jet akışın çapraz akışı bastırmaya çalıştığı ve elektronik elemanın üst yüzeyindeki vektörlerinin sıklaşmasına neden olduğu görülmektedir. Birbirine karışan jet ve kanal akışlar kanal çıkışına doğru yönelirken, elektronik elemanın sağ kısmında döngüsel akış bölgeleri oluşturmaktadır. Bu döngüsel akış bölgelerinin, elektronik elemanın sağ yüzeyindeki hız vektörlerinin diğer iki akışa kıyasla artmasına neden olduğu ve bu durumun elektronik elemanın yüzeylerinden gerçekleşen ısı transferinin artmasına sebep olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6. Hız vektör dağılımları a) Jet akış, b) Kanal içi akış ve c) Hibrit akış

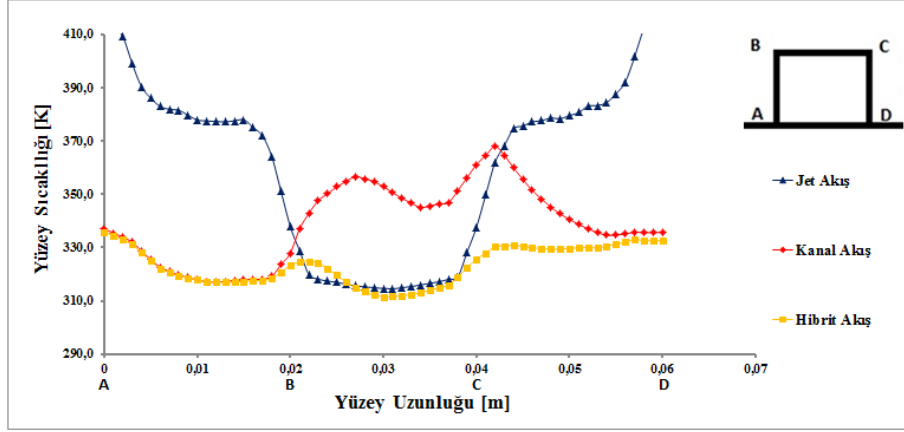
Sabit giriş hızları için elektronik elemanın etrafındaki sıcaklık dağılımları, jet akış, akış, kanal içi akış ve bu iki akışın kombine olarak uygulandığı hibrit akış için Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde, sadece jet akışın olduğu duruma bakıldığında jetten püskürtülen akış direkt olarak elektronik elemanın üst yüzeyine çarptığı için, elektronik elemanın üst yüzeyindeki ısı sınır tabakanın incelmesi görülmektedir. Bu durum elektronik elemanın üst yüzeyindeki sıcaklığın azalmasını sağlamıştır. Ancak elektronik elemanın sol ve sağ yüzeylerine bakıldığında ise, bu yüzeylerde oluşan dögüsel akış bölgelerinin ısı sınır tabakaya yeterince etki edemediği gözlenmiştir. Bundan dolayı, sadece jet akış ile soğutma yapıldığında elektronik elemanın yan yüzeylerindeki sıcaklığın indirgenmesinde pek başarılı olunamadığı belirlenmiştir. Sadece kanal içi akışın olduğu duruma bakıldığında ise, elektronik elemanın üst yüzeyindeki ısı sınır tabakanın jet akışa kıyasla yeterince bozulmadığı görülmüş ve bu durumun bu yüzeydeki sıcaklığın artmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Elektronik elemanın diğer yüzeylerinde ise ısı sınır tabakanın jet akışına göre kayda değer miktarda incelmesi fark edilmiş ve bu yüzeylerde daha düşük sıcaklık değerlerinin gözlemlendiği belirlenmiştir. Son olarak, bu iki akışın kombine olarak kullanıldığı hibrit akış tipi incelendiğinde, kanal girişinden giren akışkanın elektronik elemanın sol yüzeyine çarpması sonucu bu bölgede ısı sınır tabakanın bozulduğu ve bu yüzeydeki sıcaklığın azaldığı görülmüştür. Ayrıca üst lüleden

gönderilen akışkanın ise elektronik elemanın üst bölgesinden geçen kanal akışı baskılamaya çalışarak elektronik elemanın üst yüzeyinde ki sıcaklığının azalmasını sağladığı tespit edilmiştir. Birbirine karışan kanal ve jet akışların kanal çıkışına doğru ilerlerken döngüsel akış bölgeleri oluşturması sonucu, elektronik elemanın sağ yüzeyindeki ısıl sınır tabakanın da bir miktar bozulduğu ve sağ yüzeyde de sıcaklığın azaldığı görülmüştür.

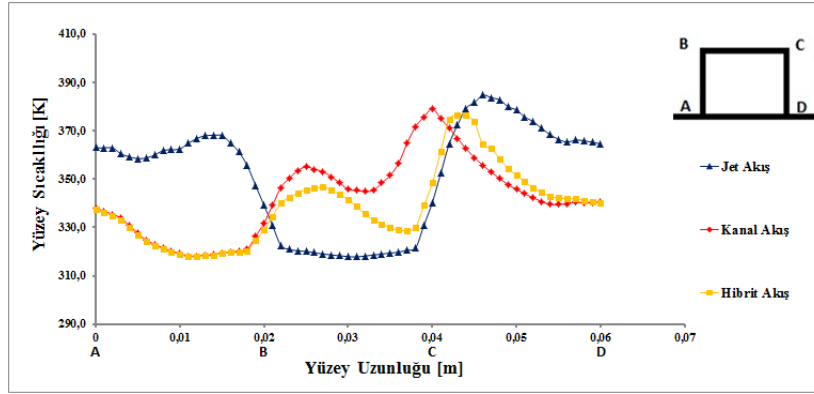


Şekil 7. Sıcaklık dağılımları a) Jet akış, b) Kanal akış ve c) Hibrit akış

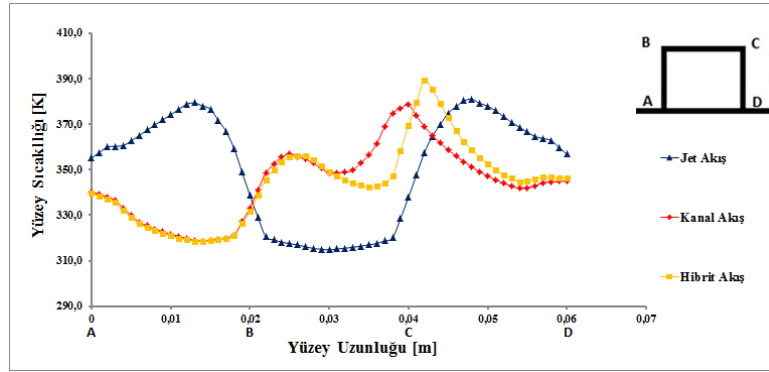
Sabit giriş hızlarında, jet akış, kanal içi akış ve bu iki akışın birlikte uygulandığı hibrit akış yapısı için elektronik elemanın yüzeylerindeki sıcaklığın yüzey uzunluğu ile değişimi Şekil 8’de verilmiştir. Bu değişim şeklin şıklarında farklı H/D oranları için ele alınmıştır. Şekiller incelendiğinde, sadece jet akışın kullanıldığı durumunun bütün H/D oranlarında, elektronik elemanın üst yüzeyindeki sıcaklığın düşürülmesinde en etkili akış yöntemi olduğu görülmüştür. Elektronik elemanın diğer yüzeylerinde ise, jet akışın bu yüzeylere yeterince etki edemediği görülmektedir. Dolayısıyla yan yüzeylerde yüksek sıcaklık değerlerinin okunmasına neden olmuştur. Sadece jet akışın kullanılması durumu, diğer yöntemlere göre elektronik elemanın üst yüzeyindeki ısı transferini arttırsa da, elektronik elemanın bütünü düşünüldüğünde gerçekleşen ısı transferinin azalmasına neden olduğu gözlemlenmiştir.



a)



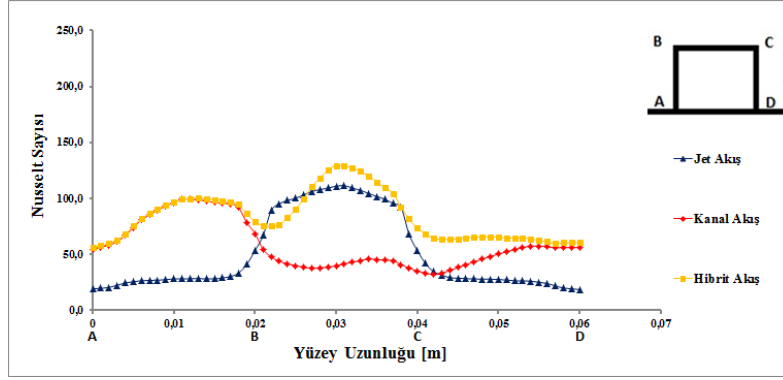
b)



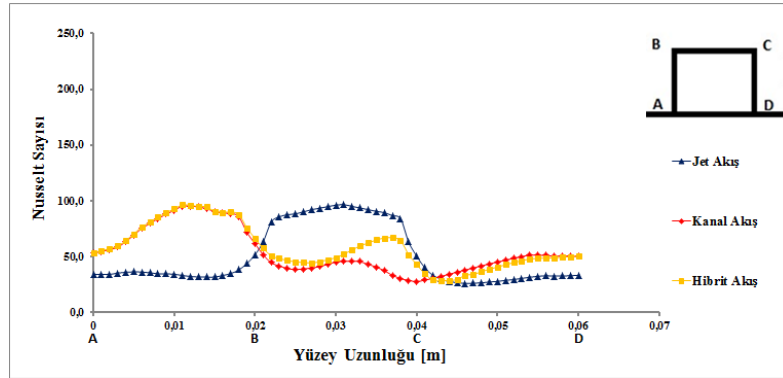
c)

Şekil 8. Elektronik elemanın yüzeylerindeki sıcaklığın yüzey uzunluğu ile değişimi a) $H/D=2$, b) $H/D=3$, c) $H/D=4$

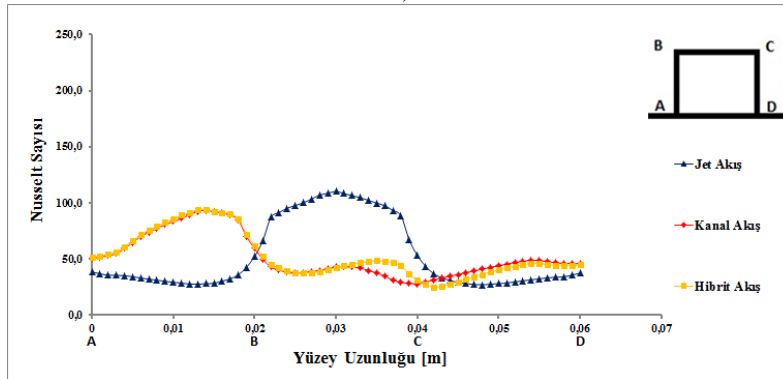
Sadece kanal içi akış kullanıldığında ise, elektronik elemanın sol ve sağ yüzeylerindeki sıcaklık değerlerinin sadece jet akış kullanıldığı duruma kıyasla kayda değer bir miktarda düştüğü görülmüştür. Ancak, kanal içi akışın, elektronik elemanın yan yüzeylerindeki sıcaklığın düşmesinde etkili bir yöntem olmasına rağmen üst yüzeyindeki sıcaklığı yeterli miktarda düşüremediği görülmüştür. Hibrit akışın kullanıldığı durumda ise elektronik elemanın üst yüzeyindeki sıcaklığı sadece jet akışın kullanıldığı durumdaki gibi düşüremese de diğer soğutma yöntemlerine oranla elektronik elemanın tüm yüzeylerinde kayda değer bir sıcaklık düşüşü sağlandığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada, ele alınan parametre aralığında, en yüksek ısı transferinin $H/D=2$ oranında hibrit akış yönteminin kullanıldığı durumda gerçekleştiği gözlemlenmiştir.



a)



b)



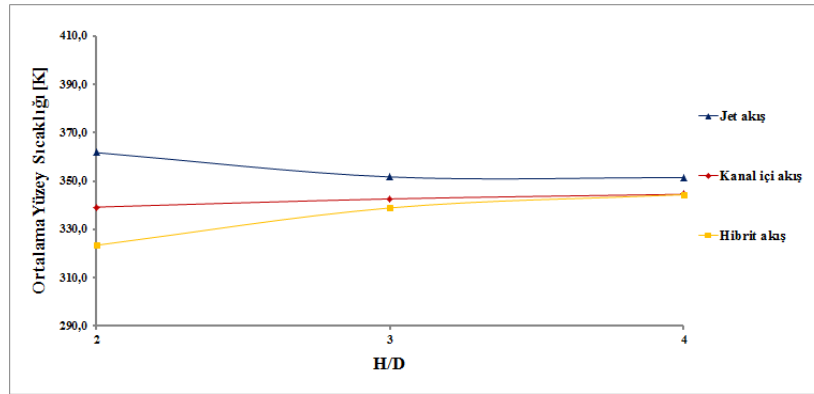
c)

Şekil 9. Elektronik elemanın yüzeylerindeki Nusselt sayısının yüzey uzunluğu ile değişimi a) $H/D=2$, b) $H/D=3$, c) $H/D=4$

Jet akış, kanal içi akış ve hibrit akış için, elektronik elemanın yüzeylerindeki Nusselt sayısının, yüzey boyunca değişimi farklı H/D oranları için Şekil 9’da birlikte ele alınmıştır. Şekiller incelendiğinde, maksimum Nusselt sayısının genel olarak elektronik elemanın üst yüzeyinde sadece jet akış ve hibrit akış kullanılması durumunda gerçekleştiği görülmüştür. Sadece jet akış kullanıldığında elektronik elemanın üst yüzeyindeki Nusselt sayısında artış sağlansa da, elektronik elemanın diğer yan yüzeylerinde Nusselt sayısında ciddi bir azalma görülmüştür. Dolayısıyla, sadece jet akış ile yapılan bir soğutma, sadece elektronik elemanın üst yüzeyinde ki ısı transferini attırmak için etkili bir yöntem olarak görülmüştür. Sadece kanal akış kullanıldığında, elektronik elemanın yan yüzeyleri için hesaplanan Nusselt sayısında, sadece jet akışın kullanıldığı duruma kıyasla artış sağlanmıştır. Ancak

elektronik elemanın üst yüzeyinde yeterli miktarda ısı transferi gerçekleşemediği için, bu yüzeyde hesaplanan Nusselt sayısında bir miktar azalma gerçekleşmiştir. Son olarak hibrit akış incelendiğinde ise, bu soğutma yönteminin diğer iki yöntemin olumlu özelliklerini almasından dolayı, genel olarak bütün H/D oranlarında en yüksek ortalama Nusselt sayısı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla Hibrit akış ile yapılan soğutmanın, elektronik elemandan gerçekleşen ısı transferinde en yüksek değerleri sağlayan bir yöntem olduğu söylenebilir.

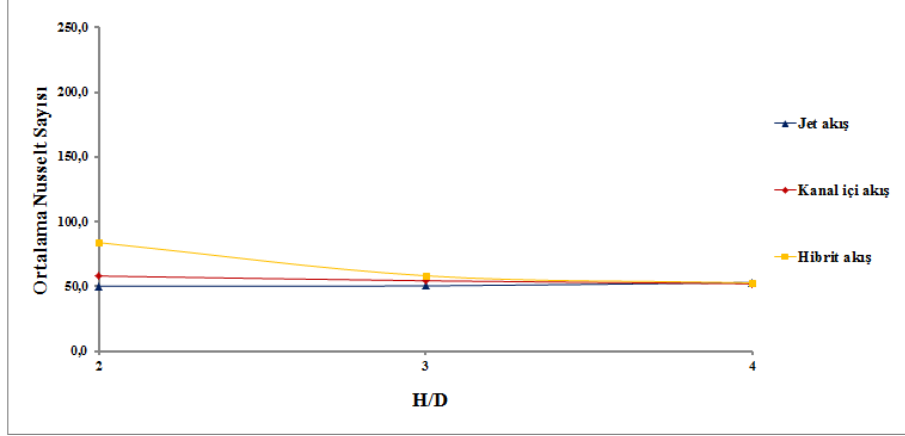
Şekil 10'da ortalama yüzey sıcaklığının H/D oranı ile değişimi farklı akış yöntemleri için birlikte verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, jet akış yapısı hariç diğer yöntemlerde H/D oranının azalması ile genel olarak ortalama yüzey sıcaklığının azalmaya başladığı görülmektedir. Bunun sebebi, kanal yüksekliğinin azalması sonucu, akım çizgilerinin elektronik elemana doğru sıkışması ve o bölgede sınır tabakayı bozması olarak söylenebilir. Ancak, H/D oranı 2 olduğunda sadece jet akışı olduğu duruma bakıldığında, ortalama yüzey sıcaklığının diğer H/D oranlarında belirlenen değerden fazla olduğu görülmüştür. Bu durumun temel sebebinin, sadece jet akış yönteminin kullanımının elektronik elemanın üst yüzeyinde etkili bir soğutma gerçekleştirilmesine rağmen elektronik elemanın diğer yüzeylerini yeterince soğutamaması, dolayısıyla elektronik elemanın tamamının ortalama yüzey sıcaklığının artması olarak söylenebilir. Akış yöntemlerinin etkisi incelendiğinde ise, hibrit akış yönteminin bütün H/D oranlarında en düşük ortalama yüzey sıcaklığını vermesi sebebiyle en etkili soğutma yöntemi olduğu görülmektedir.



Şekil 10. Elektronik elemanın yüzeylerindeki ortalama yüzey sıcaklığının H/D oranı ile değişimi

Şekil 11'de ise, ortalama Nusselt sayısının H/D oranıyla değişimi farklı akış yöntemleri için birlikte görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere, H/D oranı artmaya başlaması ile bütün akış yöntemlerimde ortalama Nusselt sayısının azalmaya başladığı ve birbirlerine çok yakın değerler verdiği gözlemlenmiştir. H/D oranının azalması ile bu benzerlik bozulmaya başlamış ve H/D oranı 2 olduğunda akış yöntemlerinin etkisi net bir şekilde görülmeye başlamıştır. H/D oranı 2 iken, ortalama Nusselt sayısının en düşük değeri Jet akış yöntemi en yüksek değeri ise hibrit akış yöntemi kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Bu H/D oranı için ortalama Nusselt sayısının değeri, jet akış yöntemine göre kanal içi akış yönteminin kullanılması durumunda yaklaşık %20, hibrit akış yönteminin kullanılması

durumunda ise yaklaşık %67 seviyesinde bir artış göstermiştir. Ancak H/D oranı 4 olduğu durumda tüm akış yöntemleri için elde edilen ortalama Nusselt sayıları birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Dolayısıyla, çalışılan parametre aralığında, düşük H/D oranlarında hibrit akış yönteminin genel olarak en yüksek ortalama Nusselt sayılarını vermesinden dolayı en etkili soğutma yöntemi olduğu söylenebilir.



Şekil 11. Elektronik elemanın yüzeylerindeki ortalama Nusselt sayının H/D oranı ile değişimi

5. Sonuç

Bu çalışmada, yüksek sıcaklığa ulaşan elektronik elemanların etkin bir şekilde soğutulması incelenmiştir. Elektronik elemanları etkin bir şekilde soğutulabilmek için kanal içi akış, jet akış ve hibrit akış yöntemleri kullanılmıştır. Bu kapsamda, bu yöntemler birbirleri ile kıyaslanarak, akış yapısı ve ısı transferi üzerinde gerçekleştirdiği etkilere yoğunlaşmıştır. Bu amaçla, sabit giriş hızı ve üç farklı H/D oranı (jet ile çarpma yüzeyi arasındaki mesafenin jet çapına oranı) için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yardımı ile sayısal simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerin sonucunda, H/D oranının azalması ile genel olarak ortalama Nusselt sayısının, dolayısıyla yüzeylerden gerçekleşen ısı transferinin arttığı gözlemlenmiştir. Ancak, jet akışın Nusselt sayısının, diğer akış yöntemlerine göre H/D oranından pek etkilenmediği görülmüştür. Elektronik elemanın yüzeylerinde gerçekleşen ısı transferine bakıldığında ise, jet akış elektronik elemanın üst yüzeyini soğutmada en etkili akış yöntemi olarak belirlenmiştir. Ancak, bu yöntemin elektronik elemanın üst yüzeyini diğer akış yöntemlerine kıyasla daha etkili soğutmasına rağmen, diğer yüzeylerinde bu etkiyi gösteremediği tespit edilmiştir. Kanal içi akış ile yapılan soğutmanın ise, elektronik elemanın sol ve sağ yüzeylerini soğutmada jet akışa kıyasla başarılı olsa da elektronik elemanın üst yüzeyini yeterince soğutamadığı gözlemlenmiştir. Bu iki akışın birleşik olarak kullanılması ile oluşan hibrit akış yöntemi ile yapılan soğutmanın, genel olarak en yüksek ortalama Nusselt sayısını veren akış yöntemi olduğu görülmüştür. Çalışılan parametre aralığında optimum soğutmanın, H/D=2 oranında hibrit akış yönteminin kullanılması ile yapılabildiği gözlemlenmiştir. Bu H/D oranında ortalama Nusselt sayısının değeri, jet akış yöntemi yerine kanal içi akış yönteminin kullanılması durumunda yaklaşık %20, hibrit akış

yöntemi kullanılması durumunda ise yaklaşık %67 artış göstermiştir. Dolayısıyla, düşük H/D oranlarında hibrit akış ile yapılan soğutmanın elektronik elemanın soğutulmasında diğer akış yöntemlerine kıyasla daha etkili olduğu söylenebilir. Gelecekte bu konu ile ilgilenen araştırmacılar, hibrit bir akışta kanal geometrisi, kanatçık eklentisi, Reynolds sayısı, akışkan tipi (nanoakışkan vb.), jet püskürtme açısı, ısı akısı, lüle sayısı vb. parametrelerin akış yapısı ve ısı transferine olan etkileri üzerine çalışmalar gerçekleştirilebilir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Bilen K. Isıtılan düzlem bir plakaya dik ve eğik hava jeti çarpmasında ısı transfer karakteristiklerinin deneysel incelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Trabzon, Türkiye, 1994.
- Çalışkan S. Farklı jet ve çarpma plakası özelliklerinde çarpmalı akışkan jetlerinin ısı transferi ve akışının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara, Türkiye, 2012.
- Çalışır T., Başkaya Ş., Çalışkan S., Kılıç M. Çarpan akışkan jetleri kullanarak kanatçıklı yüzeyler üzerindeki akış alanının sayısal olarak incelenmesi. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 2017; 32(1): 119-130.
- Çengel YA., Ghajar AJ. Heat and mass transfer: fundamentals & applications. Fifth edition. McGraw-Hill Education. The United States of America; 2015.
- Demircan T. Numerical analysis of cooling an electronic circuit component with cross flow and jet combination. Journal of Mechanics 2019; 35(3): 395-404.
- Hatami M., Tehrani FB., Abouata A., Ahmar AM. Investigation of geometry and dimensionless parameters effects on the flow field and heat transfer of impingement synthetic jets. International Journal of Thermal Sciences 2018; 127: 41-52.
- Jing Q., Zhang D., Xie Y. Numerical investigations of impingement cooling performance on flat and non-flat targets with dimple/protrusion and triangular rib. International Journal of Heat and Mass Transfer 2018; 126: 169-190.
- Kabakuş A. Kanal akışında optimize edilmiş ısı alıcılarda çarpan jetle ısı ve akış karakteristiklerinin belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, Türkiye, 2012.

- Kılıç M., Çalışır T., Başkaya Ş., Experimental and numerical investigation of vortex promoter effects on heat transfer from heated electronic components in a rectangular channel with an impinging jet. *Heat Transfer Research* 2017; 48(5): 435-463.
- Kılıç M., Muhammad AH. Numerical investigation of combined effect of nanofluids and multiple impinging jets on heat transfer. *Thermal Science* 2019; 23(5): 3165-3173.
- Lak A. Çarpan eğik akışkan jet kullanarak düz plaka üzerindeki akış ve ısı transferinin sayısal olarak incelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye, 2016.
- Mallor F., Vila CS., Ianiro A., Discetti S. Wall-mounted perforated cubes in a boundary layer: Local heat transfer enhancement and control. *Int. Journal of Heat and Mass Transfer* 2018; 117: 498-507.
- Markal B., Aydın O. Experimental investigation of coaxial impinging air jets. *Applied Thermal Engineering* 2018; 141: 1120-1130.
- Masip Y., Rivas A., Larraona GS., Anton R., Ramos JC., Moshfegh B. Experimental study of the turbulent flow around a single wall-mounted cube exposed to a cross-flow and an impinging jet. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 2012; 38: 50-71.
- Mergen S. Kanal içi akış ve çarpan jet ile birlikte elektronik eleman soğutulmasının sayısal olarak incelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye, 2014.
- Örs E. Kanal içi akış ve çarpan jet kullanımı ile elektronik elemanların soğutulmasının sayısal olarak incelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye, 2017.
- Ravanji A., Zargarabadi MR. Effects of elliptical pin-fins on heat transfer characteristics of a single impinging jet on a concave surface. *Int. Journal of Heat and Mass Transfer* 2020; 152: 119532.
- Saleha N., Fadela N., Abbes A. Improving cooling effectiveness by use chamfers on the top of electronic components. *Microelectronics Reliability* 2015; 55: 1067-1076.
- Taghinia J., Rahman MM., Siikonen T. CFD study of turbulent jet impingement on curved surface. *Chinese Journal of Chemical Engineering* 2016; 24: 588-596.
- Tang Z., Liu Q., Li H., Min X. Numerical simulation of heat transfer characteristics of jet impingement with a novel single cone heat sink. *Applied Thermal Engineering* 2017; 127: 906-914.
- Telişik ÇB. Lüle hedef yüzey arası uzaklığın çarpan jet akış ve ısı transferi karakteristiklerine etkisinin sayısal olarak incelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye, 2007.
- Türker E. Dönen bir disk yüzeyine çarpan jet akımının sayısal incelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 2006.

- Zhang Y., Li P., Xie Y. Numerical investigation of heat transfer characteristics of impinging synthetic jets with different waveforms. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2018; 125: 1017-1027.
- Zhu K., Yu P., Yuan N., Ding J. Transient heat transfer characteristics of array-jet impingement on high-temperature flat plate at low jet-to-plate distances. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2018; 127: 413-425.
- Zuckerman N., Lior N. Jet impingement heat transfer: Physics, correlations, and numerical modeling. *Advances in Heat Transfer* 2006; 39: 565-631.

Vermikülit (Yıldızeli/Sivas) İlavesinin Vitriyfe Seramik Malzemelerin Özelliklerine Etkisinin Araştırılması

Tahsin BOYRAZ¹, Umut ÖNEN^{2*}, Şaban TAPİK³

^{1,3}Sivas Cumhuriyet University, Metallurgical and Materials Engineering, Sivas, Turkey

²Mersin University, Metallurgical and Materials Engineering, Mersin, Turkey

¹<https://orcid.org/0000-0003-2506-6092>

²<https://orcid.org/0000-0003-2506-6092>

³<https://orcid.org/0000-0001-8739-2147>

*Corresponding author: umutonen@mersin.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 29.12.2021

Kabul tarihi: 05.05.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Vitriyfe

Vermikülit

Seramik Malzeme

Karakterizasyon

Sihhi gereç ürünleri bir banyo veya tuvalet içine yerleştirilmiş klozetler, lavabolar, ayaklıklar, pisuarlar ve küvetler gibi eşyaları tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Çok parlak, leke tutmaz yüzeyleri hem banyo hem de mutfaklarda kullanım için idealdir. Hidromika grubundan olan bir mineral vermikülit, 300 °C'nin üzerinde ısıtıldığında genişletilmiş vermikülit oluşur. Genleştirilmiş vermikülit, benzersiz özellikleri, düşük kütle yoğunluğu, düşük termal iletkenliği, nispeten yüksek erime noktası, kimyasal kararlılığı, dayanıklılığı ve çevre güvenliği nedeniyle ısı yalıtım malzemeleri için dolgu maddesi olarak kullanılabilir. Bu çalışmada, Yıldızeli/Sivas bölgesinden elde edilen vermikülitin sihi gereç ürünlerinin bünye özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan malzemeler kalsine vermikülit, kuvars, kil, kaolen ve feldspattır. Hazırlanan sihi gereç bünyeleri ağırlıkça %0, 10 ve 20, 1050 °C'de 1 saat kalsine edilmiş vermikülit ilave edilerek bünye kompozisyonları oluşturulmuştur. Numuneler kuru pres ile şekillendirildikten sonra sinterlenmiştir. Sinterlenen numunelere fiziksel ve mekanik testler uygulanmıştır. Vermikülit katkılı numunelerin özellikleri başarıyla geliştirilmiş ve optimum parametreler açıkça gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre vermikülit katkısı sonucu su emme ve porozite değerleri azalmış, bulk yoğunluk ve pişme küçülmesi değerleri artmıştır. Vermikülit katkısı sonucu mekanik olarak sertlikte ve 3 nokta eğme mukavemetinde de iyileşme gözlenmiştir.

Investigation of the Effect of Vermiculite (Yıldızeli/Sivas) Addition on the Properties of Sanitaryware Ceramic

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 29.12.2021

Accepted: 05.05.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Sanitaryware

Vermiculite

Ceramic

Characterization

Sanitary ware products are a term used to describe items such as toilets, sinks, pedestals, urinals, and tubs built into a bathroom or toilet. Its highly glossy, stain-resistant surfaces are ideal for use in both bathrooms and kitchens. Expanded vermiculite is formed when a mineral from the hydromica group, vermiculite, is heated above 300 °C. Expanded vermiculite can be used as a filler for thermal insulation materials due to its unique properties, low bulk density, low thermal conductivity, relatively high melting point, chemical stability, durability, and environmental safety. In this study, the effect of vermiculite obtained from Yıldızeli/Sivas region on the structural properties of sanitary ware products was investigated. The materials used in this study are calcined vermiculite, quartz, clay, kaolin and feldspar. Body compositions were formed by adding 0, 10 and 20 weight percent vermiculite, calcined at 1050 °C for 1 hour, to the prepared sanitary ware bodies. The samples were sintered after being shaped with a dry press. Physical and mechanical tests

were applied to the sintered samples. The properties of the vermiculite added samples have been successfully developed and the optimum parameters have been clearly demonstrated. According to the results obtained, water absorption and porosity values decreased, bulk density and firing shrinkage values increased as a result of the addition of vermiculite. As a result of the addition of vermiculite, an improvement was observed in mechanical hardness and 3-point bending strength.

To Cite: Boyraz T., Onen U., Tapik Ş. Investigation of The Effect of Vermiculite (Yıldızeli/Sivas) Addition on The Properties of Sanitaryware Ceramic. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(2): 632-642.

1. Introduction

Sanitaryware is used in bathroom or restroom as example toilet, washbasin, pedestal, bidet, urinal. Sanitary ware mostly consists of clay, kaolin, feldspar and quartz but also minor amounts of other raw materials. The high-gloss, stainproof surface is perfect for bathroom and kitchen applications. The cast slip is formed of the aforementioned basic ingredients and cast to produce a green body into plaster molds. It is demonstrated that ceramic sanitarywares are financially savvy and valuable for the since a long time ago run. Sanitarywares can withstand in excess of 400 kg load and astounding protection from synthetic assaults. Sanitaryware things can be handily cleaned on account of its lustrous surface properties. Artistic materials are generally utilized in an extraordinary assortment of modern applications going from the creation of sterile products to superior exhibitions mechanical components. Due to their high mechanical performance, chemical/thermal stability and post-glass impermeability, both the manufacturing and finished products have been employed with success. Various pore forming materials used in sanitary body have been widely utilized for thermostat decomposition and volatilizing (for example wood-sawdust, polystyrene, organic wastes, coal dust, powder-calk and sludge) and thermal pore materials (for instance pumice, diatomite and perlite). Vermiculite is a substance which may be utilized in this way as a pore former (Sasipriya et al., 2013; López and Rodríguez, 2015; Knies et al., 2016; İssi et al., 2017; Tarhan and Aydin, 2017; Kurama and Sari, 2019; Martini et al., 2021).

The name "vermiculite" is gotten from the Latin – *vermicularis* (twisted) due to the twisted, draw out and wound fragments made when the valuable stones are startlingly introduced to high temperatures. Vermiculite is a mica-like mineral with a shimmering drop which is one person from the phyllosilicate bundle. Vermiculite develops when warmed up to 650–950 °C. Exactly when vermiculite warmed, it develops, like "popcorn", by around 8–30 times its special size and converts into a free, lightweight part that detached through air entrainment. Vermiculite is a usual collection of hydrated silicates Al-Fe/Mg (mica-like) with a light-brown/dark/gold shading structure. Vermiculites are, moreover, a very flexible mineral with excellent characteristics like low size, odourlessness, inactivity, ease of care, low warm coefficient, high acoustic and warm protection, limits for assimilation, non-burning material and a resistant nature. It's rock like material that is mined, crushed and warmed to more than 300 °C at a distance of 210 mm to remove or extend in size. Vermiculite is required in its exfoliated state in the majority of applications. Vermiculite is a very promising material to use as a filler in the production of heat insulating refractory material with low density and thermal conductivity and a high melting

temperature. Substances consist largely of SiO_2 (37-42 wt.%), MgO (14-12 wt.%) and FeO (1-3 wt.%) and FeO (5-13 wt.%), Fe_2O_3 (5-17 wt.%), H_2O (8-18 wt.%), respectively. Due to the findings of the investigations, it appears possible to utilize vermiculite as a construction material. Due to its outstanding thermal, fire and sound insulation qualities, it may also be utilized as an aggregate in lightweight concrete and plaster. According to Ngayakamo and Park (2009), Kalalani vermiculite may be used to make high-strength porcelain insulators as a raw material (Spirina and Flerova, 1975; Suvorov and Skurikhin, 2002; Rashad, 2016; Önen et al., 2017; Ngayakamo and Park, 2019; Tapik et al., 2019).

The present paper is focused on sanitaryware, and vermiculite added sanitaryware samples. Then, the effect of vermiculite additive on the properties (shrinkage, water absorption, bulk density, porosity, 3-point bending strength, hardness, macro images, phase analyses and microstructure) of sanitaryware was investigated. This is the first study to examine the addition of vermiculite to the sanitary ware recipe. The results regarding the possibility of vermiculite as a raw material or additive for sanitary ware have been presented to the literature.

2. Materials and Methods

Calcined vermiculite, quartz, clay, kaolin, and feldspar ceramic raw materials were used in this investigation. An acceptable recipe for sanitarywares used in the ceramic sector was created based on the results of the chemical analysis. In an electric furnace, raw vermiculite acquired from Organic Mining in the Yıldzeli/Sivas region was calcined in 1 hour at 1050 °C. Sanitaryware compositions were made in the ternary equilibrium diagram kaolin-feldspar-quartz (Ece Banyo and Refsan) according to the required recipe from the raw material. Table 1 shows the results of XRF (Thermo ARL) analyses of raw materials. All mixtures were combined wet in alumina ball mills at 60 rpm rotation speed for 24 hours at the ratios listed in Table 2. To create the body compositions, calcined vermiculite was added to Sanitaryware bodies in percentages of 0, 10, and 20 by weight. S20V1100 (S: Sanitaryware; xx% vermiculite addition; T: firing temperature) was the code for the samples. The homogenized mixtures were dried and shaped into 10x30x70 mm dimensions under 100 MPa pressure by uniaxial dry pressing. 5 samples were prepared for each experimental test. The prepared pressed samples were then fired for 1 hour at 1050 °C, 1100 °C, and 1150 °C. The sanitaryware bodies were then tested for microstructure (SEM), phase analysis (XRD), thermal test (DTA/TG), mechanical (hardness, 3-point bending), and physical properties (percent shrinkage, water absorption, porosity, and density).

Table 1. The chemical composition of the raw, calcined vermiculite and sanitaryware powders.

%w	Raw vermiculite	Calcined vermiculite	Feldspar	Kaolin	Clay	Quartz
SiO ₂	36.90	40.61	68.60	46.50	51.26	97.67
Al ₂ O ₃	17.70	19.48	17.72	28.91	19.87	0.92
TiO ₂	2.18	2.40	0.25	0.15	1.13	0.00
Fe ₂ O ₃	11.20	12.31	0.18	1.58	6.26	0.22
CaO	3.54	3.90	1.48	0.62	0.39	1.02
MgO	16.40	18.05	0.80	0.52	0.61	0.00
Na ₂ O	0.15	0.17	10.60	0.22	0.15	0.00
K ₂ O	2.64	2.91	0.16	1.17	2.60	0.00
MnO	0.15	0.17	0.02	0.03	0.00	0.00
LOI	9.14	0.00	0.19	20.30	17.73	0.17

Table 2. Codes and ratios of prepared sanitaryware- vermiculite mixtures.

	Vermiculite % w.	Clay % w.	Kaolin % w.	Feldspar % w.	Quartz % w.
S00V	---	20	25	35	20
S10V	10	18	22.5	31.5	18
S20V	20	16	20	28	16

A digital calliper was used to measure and determine the percent shrinkage of sintered samples. The Archimedes concept was also used to calculate density, porosity, and water absorption tests (ASTMC373-88). The samples were tested for 3-point bending strength on a mechanical tester with a load sensitivity of 1 N and a power of 5 kN. For each test item, five measurements were taken, and the average result was used to determine the test piece's strength. To assess the processes occurring in the body, DTA / TG analysis of samples up to 1100 °C temperature was performed using a 10 °C / min heating rate. The samples' colour analysis was done with the naked eye in visible light. The changes in colours have been detected as increasing/decreasing darkening and colour differences as additive ratios and firing temperatures increase. Following the 400, 800, 1200, and 2000 grid sanding processes, the samples were polished on a velvet base with a 1 m diamond solution. On an Alfred Amsler & Co brand Vickers tester, diagonal field marks were made on polished samples using a square pyramidal diamond tip with a vertex angle of 136° under a pressure of 1 kg and 2 kg. Five measurements were conducted to calculate the hardness values, and the results were averaged (Çitak and Boyraz, 2014; Önen and Boyraz, 2014; Sacli et al., 2015; Boyraz and Akkus, 2021). The materials were analysed using a Panalytical X'Pert Powder X-ray diffraction (XRD) Analyser in the 40 to 70 2-theta range. The Pananalytical X'Pert High Score application was used to determine the phase analysis of XRD patterns. Mira3XMU FE-SEM was used to examine the samples using scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive spectroscopy (EDX) (Tescan, Czech Republic). The information gathered was presented in graphs and tables along with comments.

3. Results and Discussion

DTA/TG graph of the sanitaryware sample shown in Figure 1, it is seen that free water has moved away in the temperature range of 25-200 °C. The loss measured in this temperature range is about 0.2% by weight. Hygroscopic water flows away from the body in the range of 200-400 °C and the loss was measured as 0.2% by weight. The loss seen in the TG curve in the 400-600 °C range is due to the loss of crystal water by the clay and kaolin in the sample, respectively, and the weight loss was measured at 4.6% in this range. The reason for the endothermic peak seen in the DTA curve in the range of 500-600 °C is due to the fact that the water in the kaolinite structure moves away from the structure and turns into meta kaolinite form (Djangang et al., 2007). There was 6% weight loss in the sample in total. The second peak observed at 980 °C belongs to the structure formed by mullite crystallization (Romero et al., 2006). After 1000 °C, there is no weight loss and no DTA peak in the system.

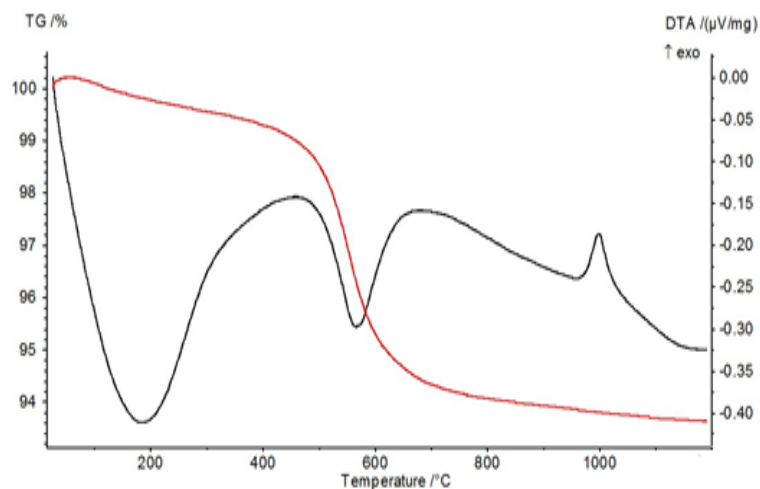


Figure 1. DTA-TG curve of the non-additive sanitaryware body used in experimental studies.

Table 3 shows the findings of physical measures (water absorption, bulk density, porosity and shrinkage). The results showed that as the sintering temperature was raised, the bulk density, shrinkage, and bending strength values increased. As the sintering temperature was raised, the porosity and water absorption values dropped.

According to Table 3, the addition of vermiculite decreased the water absorption and porosity values of the vitrified body. It also increased firing shrinkage and bulk density values. It is thought that this situation arises from the glassy structures formed by the melting of alkali oxides such as potassium oxide and sodium oxide in the chemical composition of vermiculite. It is seen in the results that the sintering is better than the unadded body as a result of the melting of alkali oxides at low temperatures (Tapik et al., 2019). The increase in sample values continued with the increase of sintering temperature. It has been observed that the transformation of the mullite phase at high temperatures also increases the strength values of the body (Romero et al., 2006). At the same time, as a result of

the addition of vermiculite, magnesium silicate-based ringwoodite phase was also crystallized in the added samples.

Table 3. Physical and mechanical test results of sanitaryware and vermiculite added sanitaryware samples.

Sample codes	Water Absorption %	Bulk density gr/cm ³	Porosity %	Shrinkage %	Bending Strength MPa	Hardness Hv
S0V1050	14.91	1.91	30.70	0.42	4.79	213.00
S0V1100	14.31	2.06	27.26	2.10	9.35	250.00
S0V1150	3.94	2.20	8.90	6.52	24.70	420.00
S10V1050	13.46	1.96	26.34	1.40	13.15	257.00
S10V1100	8.09	2.14	17.27	3.70	29.51	285.00
S10V1150	0.42	2.26	0.27	6.95	36.58	445.00
S20V1050	13.33	1.99	26.30	1.57	14.98	269.00
S20V1100	7.19	2.17	15.61	4.80	35.56	325.00
S20V1150	0.31	2.45	0.69	7.25	46.20	460.00

When the colour analysis results of the samples are examined in Figure 2, the brownish colour increased from light to dark with increasing vermiculite. Similarly, the colour became darker with the increase of sintering temperature. It is thought that this situation is caused by the amount of iron oxide in the chemical composition of vermiculite.



Figure 2. Macro images of non-additive and vermiculite additive sanitaryware samples.

Figure 3 shows the XRD pattern of the sanitaryware starting powders utilized in the investigation. Quartz, albite, annite, kaolinite, mullite, phlogopite and ringwoodite phases can be seen in the XRD results. Figure 3 illustrates the XRD pattern of starting powders with the code S00V and chemical compositions listed in Table 1 and 2. The pattern revealed (96-900-9667) quartz, (96-900-1632) albite, (96-101-1046) kaolinite and (96-900-2314) annite phases. The oxide components of the observed phases match the clay, kaolin, feldspar and quartz raw materials contained in the sample recipe when

compared to the XRF data. The peaks of (96-900-1622) Mullite, (96-900-1632) Albite and (96-900-9667). Quartz phases can be found in the XRD patterns of S0V1050 and S0V1150 samples. Primary mullite crystals started to form in the sample coded S00V1050. When the sample coded S00V1150 was examined, it was determined that the mullite crystals increased with the increase in the intensity and visible peaks of the mullite peaks. XRD patterns of vermiculite added samples are given in Figure 3. In the sample coded S20V1050 (96-900-1622) Mullite, (96-900-1632) Albite, (96-900-9667) Quartz (96-901-0171) Phlogopite and (96-901-5248) ringwoodite phases were detected. In the sample coded S20V1150, 4 phases other than Phlogopite are seen. When the S20V1050 and S20V1150 samples are compared, the same phases are seen in both samples, and the peak intensities of mullite and ringwoodite increased with the temperature increase to 1150 °C. Again, there is a decrease in albite peaks in the sample coded S20V1150, which is due to the formation of a liquid phase by albite. The presence of ringwoodite peaks is due to the addition of vermiculite mineral. Considering the prescriptions of the S-coded samples, the glassy phase is more common due to the excess amount of feldspar. It is thought that the crystallization of the ringwoodite (magnesium silicate) phase in the structure is caused by the alkalis and iron oxide passing into the glassy structure and crystallized as magnesium silicate. Phlogopite and ringwoodite phases were crystallized in vitrified structure as a result of vermiculite addition. This is due to the presence of MgO in the chemical content of vermiculite.

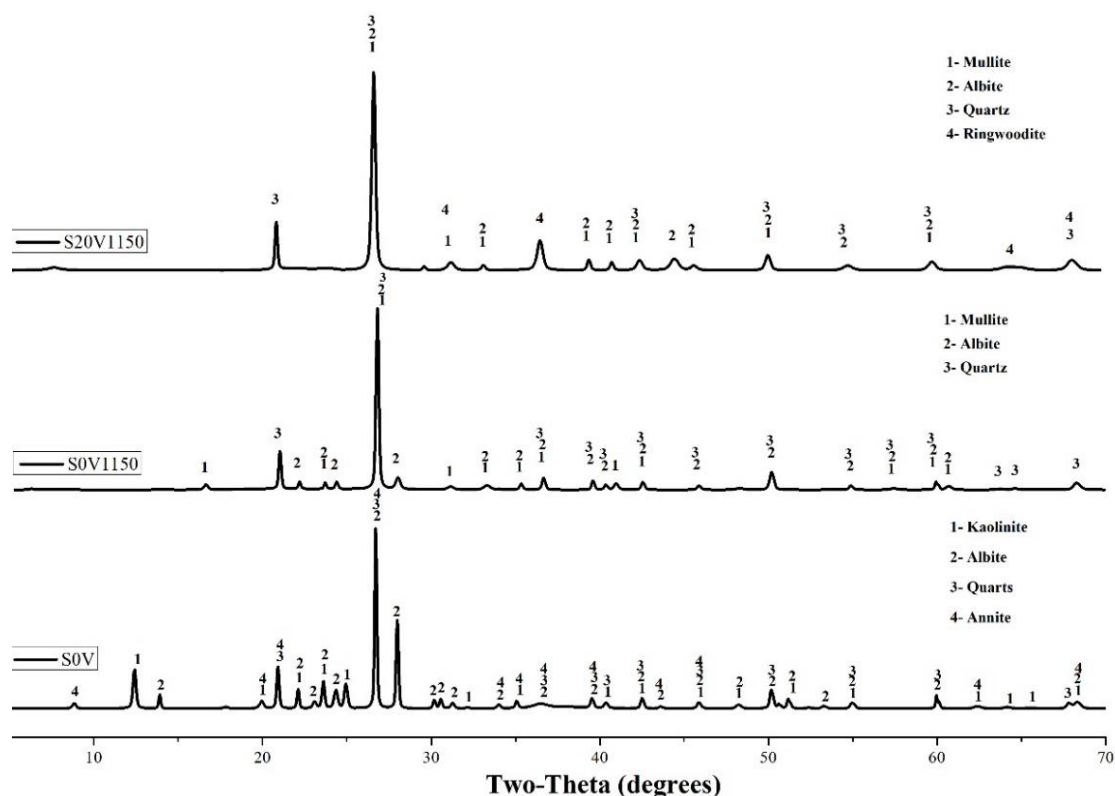


Figure 3. XRD patterns of non-sintered sample, S00V1150 and S20V1150 samples.

Electron microscope images of sanitary ware samples are given in Figure 4. Looking at the SEM photographs, it was observed that increasing firing temperature and increasing vermiculite additives increased the glassing in the structure and reduced the visible micro porosities. This situation was associated with the high amount of feldspar in the prescriptions of sanitary ware samples. Physical test results are also compatible with this situation. In Figure 4, the results of the EDS analysis performed on the sample coded S20V1150 are given. Elemental analyses were made over the A general map area, B and C points. For a general EDS analysis, area A was chosen. Points B and C were chosen based on the tonal difference in the colour, which is thought to be due to the density difference. When the results obtained from the general area are examined, it is seen that the sample is compatible with the recipe. B and C point analyses also match with the XRD pattern results of the S20V1150 coded sample.

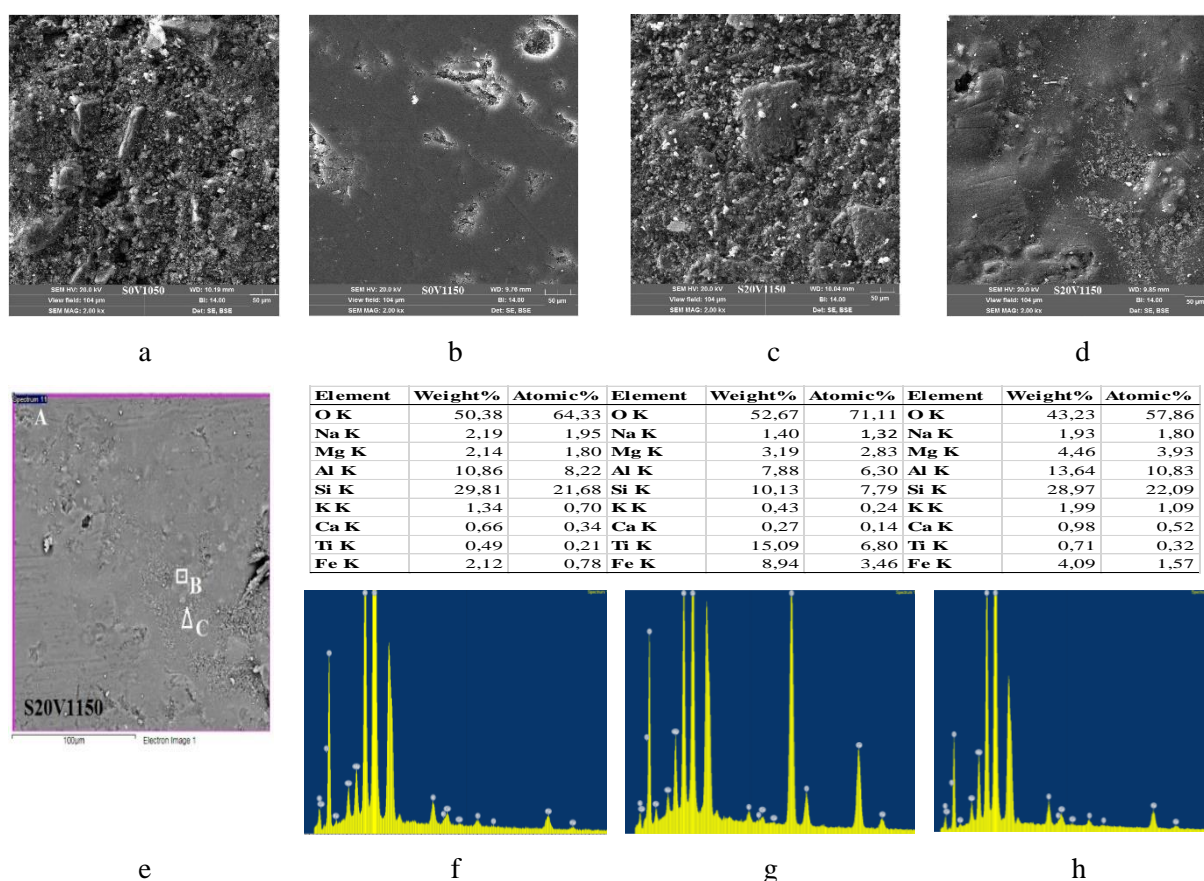


Figure 4. SEM images of sintered samples at 1050 °C and 1150 °C. a) S0V1050 b) S0V1150 c) S20V1050 d) S20V1150. EDX analyses %20 vermiculite additive sanitaryware samples sintered 1150°C. e) image of EDS area and f) area of A EDS g) B point EDS and h) C point EDS.

4. Conclusion

The use of vermiculite in the production of sanitaryware was explored in this study. DTA/TG graph of the sanitaryware sample; removal of free water at 25-200 °C, hygroscopic water at 200-400 °C, crystal water at 400-600 °C, conversion to meta kaolinite form at 500-600 °C and the formation Mullite phase at 980-1000 °C. The results of physical measurements; to become increased in bulk density, shrinkage and bending strength values with increasing sintering temperature but porosity and water absorption values decreased. The physical results also show the same effect in vermiculite additive specimens. As the amount of vermiculite and sintering temperature increased in vitrified samples, the hardness of the samples increased. The brownish colour of sintered samples increased from light to dark with rising vermiculite and sintering temperatures. Quartz, albite, annite, kaolinite, mullite, phlogopite and ringwoodite phases were determined in the XRD patterns of raw and sintered at 1150 °C. With the addition of vermiculite, magnesium silicate-based ringwoodite phase crystallized in the vitrified body. At the same time, it can be said that alkali oxides such as potassium oxide and sodium oxide in the chemical composition of vermiculite form a glassy phase as a result of vermiculite additive, and that a slope that deviates from linearity in the XRD patterns in the range of 20-30 theta. It is seen in the physical test results that the formed glassy phase reduces the porosity, decreases the water absorption values, and increases the bulk density. Looking at the SEM photographs, it was observed that increasing firing temperature and increasing vermiculite additives increased the glassy phase in the structure and reduced the visible micro porosities. This situation was associated with the high amount of feldspar in the prescriptions of sanitary ware samples. Physical test results are also compatible with this situation. The results of EDX Elemental analyses and XRD patterns are compatible with the recipe of sanitarywares. The C point EDS analysis is in agreement with the chemical content of the mullite phase obtained in the XRD results.

Acknowledgments

We would like to thank Sivas Cumhuriyet University, Metallurgical and Materials Engineering Ceramic laboratory for their support in the conduct of this study.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

CRedit authorship contribution statement

Şaban Tapik: Conceptualization, Methodology, Software. **Umut Önen:** Data curation, Writing – original draft. **Tahsin Boyraz:** Writing – review & editing.

References

- Boyras T., Akkus A. Investigation of wear properties of mullite and aluminium titanate added porcelain ceramics. *Journal of Ceramic Processing Research* 2021; 22(2): 226-231.
- Çitak E., Boyraz T. Microstructural characterization and thermal properties of aluminium titanate/YSZ Ceramics. *Acta Physica Polonica A* 2014; 125(2): 465-468.
- Djangang C., Elimbi A., Melo U., Nkoumbou C., Lecomte G. Characteristics and ceramic properties of clays from Mayoum deposit (West Cameroon). *Industrial ceramics* 2007; 27(2): 79-88.
- İssi A., Coşkun ND., Tiryaki V., Uz V. Casting and sintering of a sanitaryware body containing fine fire clay (FFC). *Journal of the Australian Ceramic Society* 2017; 53(1): 157-162.
- Knies F., Schrantz K., Aneziris C., Gauckler L., Graule T. Superhydrophilic ceramic glazes for sanitaryware. *Journal of Ceramic Science and Technology* 2016; 7(01): 53-64.
- Kurama S., Sari H. Investigation of sintering behavior of sanitaryware ceramics by controlling glassy phase. *Journal of the Australian Ceramic Society* 2019; 55(3): 623-632.
- López SYR., Rodríguez J. Microstructural characterization of sanitaryware by infrared and Raman spectroscopy, the role of vitreous matrix on properties. *Journal of Ceramic Processing Research* 2015; 16(1): 162-168.
- Martini E., Pavese A., Tabacchi D., Fortuna D., Fortuna A. Effects of sintering temperature on microstructure and properties of sanitaryware ceramic produced with waste material. *Cerâmica* 2021; 67: 39-47.
- Ngayakamo B., Park SE. Evaluation of kalalani vermiculite for production of high strength porcelain insulators. *Science of Sintering* 2019; 51(2): 223-232.
- Önen U., Boyraz T. Microstructural characterization and thermal properties of aluminium titanate/spinel ceramic matrix composites. *Acta Phys. Pol. A* 2014; 125(2): 488-490.
- Önen U., Ercenk E., Yılmaz Ş. Development of machinable glass-ceramics produced from vermiculite. *Acta Phys. Pol. A* 2017; 131: 168-170.
- Rashad AM. Vermiculite as a construction material—A short guide for Civil Engineer. *Construction and Building Materials* 2016; 125: 53-62.
- Romero M., Martín-Márquez J., Rincón JM. Kinetic of mullite formation from a porcelain stoneware body for tiles production. *Journal of the European Ceramic Society* 2006; 26(9): 1647-1652.
- Sacli M., Önen U., Boyraz T. Microstructural characterization and thermal properties of aluminium titanate/porcelain ceramic matrix composites. *Acta Physica Polonica A* 2015; 127(4): 1133-1135.
- Sasipriya K., Suriyaprabha R., Prabu P., Rajendran V. Sanitaryware WC. One piece ceramic two function toilet. *Materials Research* 2013; 16(4): 824-830.
- Spirina V., Flerova M. Expanded vermiculite as heat insulation material. *Refractories* 1975; 16(3): 201-203.

- Suvorov S., Skurikhin V. High-temperature heat-insulating materials based on vermiculite. *Refractories and Industrial Ceramics* 2002; 43(11): 383-389.
- Suvorov S., Skurikhin V. Vermiculite—a promising material for high-temperature heat insulators. *Refractories and industrial ceramics* 2003; 44(3): 186-193.
- Tapik Ş., Önen U., Boyraz T. Investigation of the effect of vermiculite (yıldızeli/sivas) addition on the properties of ceramic porcelain. *AKU Journal of Science and Engineering* 2019; 19: 513-520.
- Tarhan B., Tarhan M., Aydın T. Reusing sanitaryware waste products in glazed porcelain tile production. *Ceramics International* 2017; 43(3): 3107-3112.

Determination of Some Agricultural and Technological Characteristics of Camelina [*Camelina sativa* (L.) Crantz] in Kütahya Ecological Conditions

Orhan KURT¹, Merve GÖRE^{2*}, Ebru BİLİR³

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 55139, Samsun

²Ege Üniversitesi, Ödemiş Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, 35750, İzmir

¹<https://orcid.org/0000-0002-5662-9372>

²<https://orcid.org/0000-0001-9350-5910>

³<https://orcid.org/0000-0003-2128-4332>

*Corresponding author: merve.gore@ege.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 01.11.2021

Accepted: 17.01.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Camelina

Camelina sativa

Agricultural characters

Technological characters

ABSTRACT

This research was carried out to determine some agricultural and technological characteristics of camelina genotypes in Kütahya ecological conditions. The field experiment was established in the summer season of 2013 in three replications according to the Random Blocks Design. In this research 9 genotypes of foreign origin (PI304269, CR 476/65, CR 1674/90, Ames 26665, Ames 26667, Ames 26673, Ames 26676, Ames 26680 and Ames 28372) and one local population were used as plant material. As a result of the research, the plant height was 69.33 to 90.63 cm, the number of capsules per plant was 168.33 to 427.67, the number of seeds in the capsule was 8.65 to 12.37, the thousand seeds weight was 0.08 to 0.13 g, the grain yield per plant was 0.86 to 2.02 g determined. In addition, it was determined that the oil content in the seed varied between 26.66% and 35.95%. As a result, it was determined that Ames-26667, Ames-26680 and Ames-26676 genotypes are more advantageous than other genotypes. However, in order to reach a definite conclusion, the research should be carried out for at least one more year.

Ketencik [*Camelina sativa* (L.) Crantz]'in Kütahya Ekolojik Koşullarındaki Bazı Tarımsal ve Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 01.11.2021

Kabul tarihi: 17.01.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Camelina

Camelina sativa

Tarımsal karakterler

Teknolojik karakterler

Bu araştırma, Kütahya ekolojik koşullarında ketencik genotiplerinin bazı tarımsal ve teknolojik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Tarla denemesi 2013 yaz sezonunda Tesadüf Blokları Deneme Desenine göre üç tekerrürlü olarak kurulmuştur. Bu çalışmada bitki materyali olarak 9 yabancı kökenli genotip (PI304269, CR 476/65, CR 1674/90, Ames 26665, Ames 26667, Ames 26673, Ames 26676, Ames 26680 ve Ames 28372) ve bir yerli populasyon kullanılmıştır. Araştırma sonucunda bitki boyu 69.33-90.63 cm, bitki başına düşen kapsül sayısı 168.33-427.67, kapsül içindeki tohum sayısı 8.65-12.37, bin tane ağırlığı 0.08-0.13 g, bitki başına tane verimi 0.86-2.02 g olarak değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca tohumdaki yağ içeriğinin %26.66-35.95 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak Ames-26667, Ames-26680 ve Ames-26676 genotiplerinin diğer genotiplere göre daha avantajlı olduğu belirlenmiştir. Ancak kesin bir sonuca varmak için araştırmanın en az bir yıl daha devam etmesi gerekmektedir.

To Cite: Kurt O., Göre M., Bilir E. Determination of Some Agricultural and Technological Characteristics of Camelina [*Camelina sativa* (L.) Crantz] in Kütahya Ecological Conditions. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 643-652.

1. Introduction

Vegetable oils which have an important place in the nutrition of humanity, are also used in the energy sector. Due to the decrease in fossil fuels which have a large share in the energy sector, and their negative effects on the environment, interest in biofuels has gradually increased in recent years. The importance of oilseed plants that form the raw material of biodiesel which is one of the biofuels is increasing day by day due to these reasons (Öğüt et al., 2014). The vegetable source for the production of biodiesel is generally utilized from oilseed plants such as rapeseed, sunflower, soybean and palm (Göre and Kurt, 2017). However, the need for vegetable oil sources with low sensitivity to burning has also increased due to with the increase in biodiesel consumption. Camellia is one of the plants that can be used for this purpose.

Camelina is the only economically important species among the 7 widely known Camelina species included in the Brassicaceae family (Davis, 1965; Göre, 2015). Camelina which has many advantages in addition to being grown in marginal areas, is shown as an excellent source for biodiesel production due to its advantage in providing cheap raw materials (Putnam et al., 1993). The importance of camelina has increased in recent years due to the fact that the idea of supplying Omega-3 sources from vegetable sources together with the difficulties in meeting the nutritional and energy needs of the increasing world population. Camelina seeds have 35-45% oil and 18-20% protein content (Toncea et al., 2013). Camelina oil is also considered as an edible oil due to its low saturated fatty acid content and high content of polyunsaturated fatty acids and is classified as a drying oil due to its iodine number (144) (Robinson, 1987).

Agricultural research on camelina plant has been carried out by various researchers in both Europe and North America and it has been determined that it is an ideal plant for a sustainable agriculture system (Gugel and Falk, 2006; Zannetti et al., 2017). Compared to other oil crops, camelina has the ability to give higher yields in much more inadequate soil and climatic conditions (Kumari et al., 2012). In addition, the intensity of agronomic and breeding studies on camelina has increased due to reasons such as the short vegetation period, the fact that it can be grown in winter and summer and has certain phytochemical substances with natural resistance that the plant has produced against many diseases and pests (Urbaniak et al., 2008).

Since oilseed production is not sufficient in Turkey, oilseeds are imported from abroad and used in crude oil production in addition to domestic production. At the same time, raw oil is imported directly from abroad and used domestically (Onat et al., 2017). There is a need to integrate the potential of alternative oil crops into the agricultural system in order to increase oilseed production and for the oil industry to operate at full capacity in Turkey. Therefore, this research was carried out in order to determine some agricultural and technological characteristics of the camelina plant in Kütahya ecological conditions in terms of integrating it into our agricultural system.

2. Material and Method

2.1. Plant Material and General Information about Experimental Area

In this research 9 genotypes of foreign origin and one local population were used as plant material (Table 1).

Table 1. Data on IP numbers and origins of plant materials in the experiment

Number	IP Number	Origin
1	Local	Turkey
2	PI 304269	Sweden
3	PI 633192-CR 476/65	Germany
4	PI 633194	Germany
5	PI 650142	Denmark
6	PI650144	Denmark
7	PI 650150	Denmark
8	PI 650153	Russia
9	PI 650157	Russia
10	PI650168	USA

The latitude and longitude of the research area is 39.223 ° N-29.560 ° E and its altitude from the sea is 1004 meters. The soil in the research area has a good potassium content, moderate phosphorus content, good organic matter content, slightly calcareous (11.50%) in terms of lime content and slightly salty (0.025%) in terms of total salt content. The soil pH is between 7.5-7.7, and the soil is slightly alkaline. The soil structure has a loamy structure with clay.

Table 2. Some climate data of the experiment area (2013 and last 55 years)

Months	Temperature (°C)		Rainfall (mm)		Relative Humidity (%)	
	Growing Seasons	Long Years	Growing Seasons	Long Years	Growing Seasons	Long Years
June	19.4	18.4	47.8	33.6	55.0	56.9
July	20.9	20.9	22.0	19.8	51.4	54.7
August	21.9	20.6	4.8	14.8	48.7	50.6
September	16.6	16.5	1.7	22.0	50.4	52.6

It is seen that the average amount of humidity in the research season is less than the average of long years. The average monthly temperature is higher than the average temperature of long years.

Although the monthly total rainfall is higher than the average of long years in June and July, it is far below the average of many years in August and September, and it is almost negligible (Table 2).

2.2. Method

Before sowing, the research area was plowed with a tractor and the seed bed was prepared by pulling a rake after plowing. The research was established on 05.06.2013 in the Randomized Blocks Experiment design with 3 repetitions. There are 5 rows of 4 m in length with 20 cm between rows and 2-3 cm above rows in the parcels. 1,0-meter space has been given between parcels and between blocks. Irrigation was done 3 times in the field capacity due to the high average temperature value and low rainfall values during the research period. It was struggled with weeds manually and mechanically as a maintenance process. 8 kg da⁻¹ nitrogen, 4 kg da⁻¹ potassium and 3 kg da⁻¹ sulfur were applied in pure form. No chemical pesticides were used before and after sowing. The harvest was done manually between 10.09.2013 and 25.09.2013 when genotypes reached physiological maturity.

2.3. Statistical Analysis

Data on plant height, number of capsules per plant, seed number in capsule, seed yield and thousand seed weight were taken from 10 plant samples. Crude oil analysis for determination of technological properties was performed according to Soxhlet Extraction method.

SPSS Statistical Data Package Program was used in the statistical analysis of the data obtained from the research. Duncan multiple comparison test was used for grouping means.

3. Results and Discussion

It was determined that the difference between camelina genotypes in terms of plant height was significant ($p < 0.01$). Plant height in the evaluated camelina genotypes ranged from 69.33 cm to 90.63 cm, with an average plant height of 81.46 cm (Figure 1a). As a result of the multiple comparison test, it was determined that the tallest plant height was in the CR-1674/90 genotype (Table 3). Plant height in camelina plant was reported as 72.00 cm by Vollmann et al. (1996), 75.14 cm by Karahoca and Kırıcı (2005), 72.10 cm by Koncius and Karcauskiene (2010), 72,00-82,00 cm by Kumari et al. (2012) and 69.00-97.38 cm by Çoban and Önder (2014). The results found in this study are similar to the results of the researchers above. However, the data obtained on the plant height in this research are longer than the values given as 53.50 cm (Kara, 1994) and 47.25-51.50 cm (Sadhuram et al., 2010) in camelina plant and it is shorter than the value reported as 106.68 cm (Mason, 2011).

Table 3. Variance analysis table for some agronomic and technological characters of camelina genotypes

Genotypes	Plant Height (cm)	Number of Capsule	Seed of Number in Capsule	Thousand Seed Weight (g)	Seed yield (g ⁻¹ plant)	Oil Content (%)
Local	88.87 ^a	169.67	8.65 ^a	1.2 ^{ab}	0.86 ^d	32.76 ^a
PI - 304269	82.57 ^{ab}	360.33	10.81 ^b	1.2 ^{ab}	1.77 ^{abc}	35.01 ^a
CR - 476/65	82.20 ^{ab}	178.67	12.37 ^a	1.2 ^{ab}	1.04 ^{cd}	34.01 ^a
CR - 1674/90	90.63 ^a	168.33	11.13 ^a	0.9 ^{cd}	1.35 ^{a-d}	34.78 ^a
Ames - 26665	80.07 ^{ab}	215.00	9.43 ^a	1.0 ^{bc}	1.13 ^{bcd}	35.32 ^a
Ames - 26667	87.53 ^a	427.67	10.41 ^a	1.2 ^{ab}	2.02 ^a	34.99 ^a
Ames - 26673	84.17 ^{ab}	209.00	12.32 ^a	0.8 ^d	1.07 ^{bcd}	35.02 ^a
Ames - 26676	74.70 ^{bc}	342.00	10.49 ^a	1.3 ^a	1.71 ^{abc}	35.95 ^a
Ames - 26680	74.53 ^{bc}	289.33	9.48 ^a	1.1 ^{abc}	1.91 ^{ab}	33.64 ^a
Ames - 28372	69.33 ^c	286.67	9.74 ^a	1.3 ^a	1.46 ^{a-d}	26.66 ^b
Means	81.46	264.67	10.48	1.10	1.43	33.81
F Value	4.65	1.94	2.22	3.85	2.91	4.22
CV (%)	6.80	1.23	13.56	12.20	12.11	6.67

It was determined that the difference between camelina genotypes in terms of the number of capsules per plant was not significant. The number of capsules per plant in the evaluated camelina genotypes ranged from 168.33 to 427.67 and the average number of capsules per plant was 264.67 (Fig. 1b). Although the highest number of capsules per plant was obtained from Ames-26667 genotype with 427.67, the minimum number of capsules per plant was obtained from CR-1674/90 genotype with 168.33 (Table 3). The number of capsules per plant reported as 185 (Agegnehu and Honermeier, 1997) and 254.63 (İnan and Kırpık, 2016) in previous research and they are similar to the results of this research. However, according to the data reported that 49.66-119.00 (Çoban and Önder, 2014) and 40.15-94.75 Koç (2014) obtained the number of capsules per plant, more capsules per plant were obtained in this research.

It was determined that the difference between camelina genotypes in terms of the number of seeds in the capsule was not significant. The number of seeds per capsule in the evaluated camelina genotypes ranged from 8.65 to 12.37 and the average number of seeds per capsule was 10.48 (Fig. 1c). Although

the highest number of seeds in the capsule was obtained from the CR-476/65 genotype with 12.37, the minimum number of capsules in the plant was obtained from the Local genotype with 8.65 (Table 3). The data obtained as a result of this research regarding the number of grains per capsule confirms the previous results which 7.87-11.00 (Karahoca and Kırıcı, 2005), 10.0-13.3 (Çoban and Önder, 2014), 10.28-13.43 (Koç, 2014) and 7.46-9.78 (Göre and Kurt, 2017).

It was determined that the difference between camelina genotypes in terms of thousand seed weight was significant ($p < 0.01$). In the evaluated camelina genotypes, the thousand seeds weight varied between 0.8 g and 1.3 g, and the average thousand seeds weight was 1.1 g (Fig. 1d). As a result of the multiple comparison test, it was determined that two genotypes (Ames-26676 and Ames-28372) gave the best result (Table 3). Thousand seed weight in camelina plant reported as 1.34 g (Vollman et al., 1996), 1.00 g (Akk and Ilumae, 2005), 1.32 g (Karahoca and Kırıcı, 2005), 0.90-1.60 g (Gugel and Falk, 2006), 0.88- 1.24 g (Koncius and Kacauskiene, 2010), 0.86-1.36 grams (Çoban and Önder, 2014), 1,18-1,48 g (Arslan et al, 2014), 1,33 g (İnan and Kırpık, 2016), 0.82-1.06 g (Yıldırım and Önder, 2016) and 0.98-1.36 g (Göre and Kurt, 2017). These reported results are similar to the findings obtained in this research. However, it is more than the results reported as 0.42-0.46 g (Katar and Katar, 2017), 0.79-0.89 g (Koç, 2014) and 0.67-0.87 g (Akbulut, 2014).

It was determined that the difference between the Camelina genotypes in terms of seed yield was significant ($p < 0.05$). In the evaluated camelina genotypes, the grain yield per plant varied between 0.86 g and 2.02 g, and the average seed yield was 1.43 g (Figure 1e). The highest seed yield per plant was obtained from Ames-26667 genotype with 2.02 g. It was determined that the Ames-26667 genotype was in the best group as a result of the multiple comparison (Table 3). It has been reported that the ripening period should not coincide with high temperatures in order to obtain high yield in camelina and also it has been reported that the seed yield in the plant varies between 0.860-1.400 g (Sadhuram et al., 2010).

It was determined that the difference between camelina genotypes in terms of oil content was significant ($p < 0.01$). The oil content in the evaluated camelina genotypes varied between 26.66% and 35.95%, and the average oil content was 33.81% (Fig. 1f). It was determined that the Ames-26676 genotype was in the best group as a result of the multiple comparison test (Table 3). The oil content of camelina plant was reported as 25-30% (İncekara, 1964) and 28-37% (Atakişi, 1991) as a result of previous studies and it was confirmed by the data obtained in this research. However, the data reporting the oil content of camelina as 39-43% (Vollman et al., 1996), 37-43% (Agegnehu and Honermeier, 1997) and 42-45% (Zubr, 1997) are higher than the data obtained from this research.

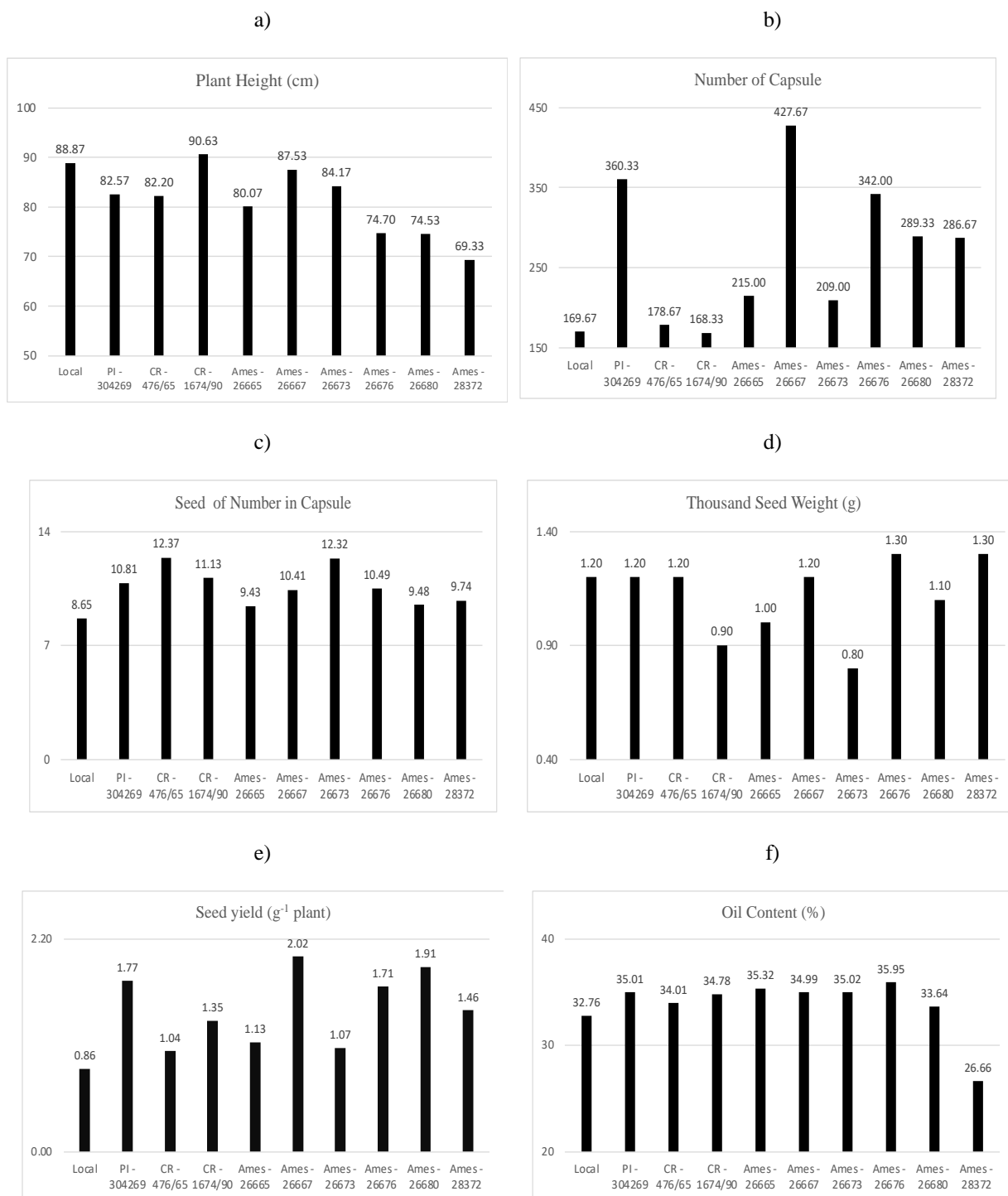


Figure 1. Change of agronomical and technological characters of camelina genotypes, a. Plant height, b. Number of capsules, c. Seed of number of capsules, d. Thousand seed weight, e. Seed yield, f. Oil content.

4. Conclusion

As a result, considering the agricultural and technological characteristics of camelina grown in Kütahya ecological conditions, it was determined that Ames-26667, Ames-26680 and Ames-26676 genotypes are more advantageous than other genotypes. However, in order to reach a definite

conclusion, the research should be carried out for at least one more year. In addition, it has been decided that these three camelina genotypes can be used primarily in researches to determine the growing technique to be carried out in Kütahya ecological conditions.

Statement of Conflict of Interest

The authors of the manuscript declare that there is no conflict of interest between them.

Author's Contributions

O.K designed the research. E.B carried out field experiments. M.G analysed the data. O.K and M.G wrote the manuscript.

References

- Agegnehu M., Honermeier B. Effects of seeding rates and nitrogen fertilization on seed yield, seed quality and yield components of False Flax (*Camelina sativa* Crtz.). Die Bodenkultur 1997; 48(1): 15-21.
- Akbulut YB. Determination of yield and yield components of some variety and populations on false flax (*Camelina sativa* L.) in Ankara conditions. Ankara University Graduate School of Natural and Applied Sciences Ankara, Master Thesis 2014.
- Akk E., Ilumae E. Possibilities of growing camelina sativa in ecological cultivation. Plant Breeding and Seed Production Symposium, 31 May–3 June 2005, Talsi, Lithuania.
- Arslan Y., Subası I., Katar D., Kodas R., Keyvanoglu H. Effect of different levels of nitrogen and phosphorus on the yield and yield component of false flax (*Camelina sativa* L.) Crantz). Anadolu Journal of Agricultural Science 2014; 29(3): 231-239.
- Çoban F., Önder M. Effects of sowing densities on the important agronomic characteristics of camelina [*Camelina sativa* (L.) Crantz] plant. Selçuk Journal of Agronomy Sciences 2014; 1(2): 50-55.
- Davis PH. Flora of Turkey and The East Aegean Islands. University of Edinburg, University Edinburgh, England, 1965.
- Göre M. Research to establish effects of explant sources and plant growth regulators on camelina [*Camelina sativa* (L.) Crantz] tiller and plant induction. Ondokuz Mayıs University Graduate School of Natural and Applied Sciences Master Thesis, 121, Samsun, Turkey, 2015.
- Göre M., Kurt O. Determination of yield and some agronomic characters of some camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) genotypes grown in Samsun ecological conditions. Journal of Agriculture Faculty of Ege University 2017; 55(2): 179-186.
- Gugel RK., Falk KC. Agronomic and seed quality evaluation of camelina sativa in Western Canada. Canadian Journal of Plant Science 2006; 86: 1047-1058.

- İnan K., Kırpık M. Determination of agronomic properties and oil content of camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) at the Adıyaman conditions. Adıyaman University Journal of Science 2016; 6(1): 85-95.
- Kara K. The effects of different row spacing on yield and yield components of camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz). Turkish Journal of Agricultural and Forestry 1994; 18: 59-64.
- Karahoca A., Kırıcı S. Effect of nitrogen and phosphate fertilizer on seed yield and oil content of false flax (*Camelina sativa* L.) in Çukurova conditions. Çukurova Journal of Agricultural and Food Sciences 2005; 20(2): 47-55.
- Katar D., Katar N. Effect of sowing rates in different row spacings on the yield and yield components of false flax (*Camelina sativa* (L.) Crantz). Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpasa University 2017; 34(1): 76-85.
- Koç N. Determination of yield and some agronomical characteristics on false flax [*Camelina sativa* (L.) Crantz] which sown in different times. Selçuk University Graduate School of Natural and Applied Sciences Konya, Master Thesis 2014.
- Koncius D, Karcauskiene D. The effect of nitrogen fertilizers, sowing time and seed rate on the productivity of *Camelina sativa*. Agriculture, 2010; 97(4): 37-46.
- Kumari A., Mohsin M., Arya MC., Joshi PK., Ahmed Z. Effect of spacing on *Camelina Sativa*: A new biofull crop in India. The BioScan an International Quarterly Journal of Life Sciences 2012; 7(4): 575-577.
- Mason H. Statewide camelina variety evaluation. <http://ag.montana.edu/nwarc/research/VarietyEvaluation/CanolaandCamelina/11camelinavarieyeval.pdf> (Date of Access: 10.03.2018), 2011.
- Onat B., Arıoğlu H., Güllüoğlu L., Kurt C., Bakal H. Oil seeds and crude oil production in the world and in Turkey. KSU J Nat Sci, 2017; 20(Special Issue): 149-153.
- Öğüt H, Oğuz H, Bacak S., Aydın F., Uygun S., Arslan Y., Subaşı İ. Pelemir biyodizelinin teknik özelliklerinin incelenmesi. Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı, 28-29 Mayıs 2014, Samsun.
- Putnam DH., Budin JT., Field LA., Brene WM. Camelina: a promising low-input oilseed. In: Janick J. and Simon J. (ed.) New crops, Wiley, New York 1993.
- Robinson RG. Camelina: a useful research crop and a potential oilseed crop. University of Minnesota, Minneapolis, St. Paul, Minn. Minn. Agric. Exp. Stn. Bull, 1987.
- Sadhuram Y., Maneesha K., Ramana TV. Camelina sativa: A new crop with potential introduced in India. Current Science 2010; 99(9): 1194-1196.
- Toncea I., Necseriu D., Prisecaru T., Balint LN., Ghilvacs MI., Popa M. The seeds and oil composition of Camelina first romanian cultivar of camelina. Romanian Biotechnological Letters 2013; 18(5): 8594-8602.

- Urbaniak SD., Caldwell CD., Zhejzakov VD., Lada R., Luan L. The effect of cultivar and applied nitrogen on the performance of *Camelina sativa* L. in the Maritime Provinces of Canada. Canadian Journal of Plant Sciences 2008; 88: 111-119.
- Vollman J., Damboeck A., Eckl A., Schrems H., Ruckebauer P. Improvement of *Camelina sativa*, and under exploited oil seed. In: Janick, J. (ed.) Progress in new crops 1996.
- Yıldırım H., Önder M. The effects of different fertilizer doses on some yield and quality components of camelina plant [*Camelina sativa* (L.) Crantz]. Selçuk Journal of Agronomy Sciences 2016; 3(1): 117-122.
- Zanetti F., Eynck CH., Christou M., Krzyżaniak M., Righini D., Alexopoulou E., Stolarski MJ., Loo EN., Puttick D., Monti A. Agronomic performance and seed quality attributes of camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) in multi-environment trials across Europe and Canada. Industrial Crop and Product 2017; 107: 602-608.
- Zubr J. Oil-seed crop: *Camelina sativa*. Industrial Crops and Products 1997; 6: 113-119.

Seçilmiş Hazır Giyim Fason Üreticilerinin Sosyal Uygunluk Yönünden Değerlendirilmesi

Elif TUĞÇE GÖZTAŞI¹, Zümrüt BAHADIR ÜNAL², Eda ACAR^{3*}

¹ Spot Tekstil Sanayi ve Ticaret A.Ş., 35100, İzmir

^{2,3}Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, 35100, Şehir

¹<https://orcid.org/0000-0002-9031-3793>

²<https://orcid.org/0000-0001-5028-3844>

³<https://orcid.org/0000-0002-4468-5297>

*Sorumlu yazar: eda.acar@ege.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 08.10.2021

Kabul tarihi:25.01.2022

Online Yayınlanma: 18.07. 2022

Anahtar Kelimeler:

Sürdürülebilirlik

Konfeksiyon

Sosyal uygunluk

AHP

ÖZ

Üreticilerin sürdürülebilir üretimi sağlaması, üretici ve tüketicilerde bu bilinci oluşturabilmek oldukça önemlidir. Müşteri-tedarikçi arasındaki bilgi paylaşımı ve ürünün hangi koşullarda üretildiğinin takip edilip değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada hazır giyim üzerine üretim yapan bir firmanın çalıştığı fason işletmeler seçilerek bu işletmelerin sosyal uygunluk kriterlerine uygunluk durumu değerlendirilmiştir. Fason işletmelerin sosyal uygunluk verileri ve ilgili alt verilerini sağlamaya yönelik performanslarının değerlendirilmesinde Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi ve uzman görüşleri bir arada kullanılarak kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır. Yasal gereklilikler ve iş sağlığı ve güvenliği en önemli sosyal gereksinim verileri olarak bulunmuştur. Elde edilen verilerin belirlenen periyotlarda fason üretim birimleriyle paylaşılarak fasonların kendi içlerinde ve birbirleri arasında iyileşme sağlayabilmek adına rekabet etmeleri sağlanmalıdır. Çalışma sonunda ürünlere sadece moda ve giyinme odaklı bakmamak gerektiği, üretim süreçlerinin uygulununun ne kadar önemli olduğu gerçeği vurgulanmıştır. Çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Evaluation of Selected Apparel Subcontractors in Terms of Social Compliance

Research Article

Article History:

Received: 08.10.2021

Accepted: 25.01.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Sustainability

Apparel

Social compliance

AHP

ABSTRACT

It is very important for producers to ensure sustainable production and to create this awareness in producers and consumers. It is very important to share information between the customer and the supplier and to monitor and evaluate the conditions under which the product was produced. In this study, the subcontractors of a company that produces ready-made clothing were selected and the conformity of these enterprises to the social compliance criteria was evaluated. A comprehensive evaluation was made by using the Analytic Hierarchy Process AHP method and expert opinions together in evaluating the performance of subcontractors to provide social compliance data and related sub-data. Legal requirements and occupational health and safety requirements were found to be the most important social compliance data. In order to achieve improvement, the data obtained should be shared with the contract manufacturing units at specified periods, so that the subcontractors compete among themselves and among each other. At the end of the study, it was emphasized that the products should not be focused only on fashion and dressing, and the importance of the applicability of the production processes. It is thought that the study will contribute to the literature.

To Cite: Göztaş ET., Ünal ZB., Acar E. Seçilmiş Hazır Giyim Fason Üreticilerinin Sosyal Uygunluk Yönünden Değerlendirilmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 653-667.

1. Giriş

Tekstil ve Konfeksiyon üretimi, 1980'li yıllarda üretime hızlı bir giriş yapmış ve günümüze kadar gelişmesini artan bir ivmeyle sürdürmüş olup Türkiye'nin en önemli sektörlerinden biri konumundadır. Yetişmiş yönetici ve elemanları eşliğinde üretim kalitesi ve katma değer oranı oldukça yüksektir. Ancak her alanda olduğu gibi bu alanda da üretimin sürdürülebilir olması, insan ve çevreye zarar veren unsurların dikkate alınması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle şirketler, kar amacı gütmeyen yanı sıra toplumsal çıkarları da gözetmek durumundadır. Çevresel sorumluluklar, çalışanlara sağlanması gereken uygun koşullar, üretim ve hizmet sektörü için prestij olmaktan ziyade zorunluluk haline gelmiştir. Aksini uygulayan şirketlerin günümüz koşullarında rekabet şanslarını kaybedecekleri bir gerçektir (UİB, 2017). Şirketler, çalıştıkları müşteri ya da hizmet verdikleri nihai tüketici taleplerine göre uygunluk kriterlerini belirlemektedir. Bu uygunluk kriterleri, müşteri gerekliliklerine göre çevresel uygunluk ve sosyal uygunluk gibi başlıklar altında toplanmaktadır.

Hazır giyim ürünleri için kumaş üretimi, baskı, nakış, yıkama, dikim gibi birçok üretim aşaması, farklı üreticilerle gerçekleştirilmektedir. Bu ürünler, nihai tüketiciye ulaşmaya kadar üretimde hangi süreçlerden geçtiği, nerede kimler tarafından üretildiği, bu birimlerdeki çalışan sayıları, çalışma ortamları, çevre/sosyal denetim kurallarına uygunluk seviyeleri gibi parametreler ortaya çıkmaktadır. Emek yoğun bir sektör olması nedeniyle çalışanların uygun ortamlarda çalıştırılması, maaş ödemelerinin uygun yapılması, çalışanların eşit koşullarda çalıştırılması, iş sağlığı ve güvenliği önlemlerinin doğru uygulanması gibi birçok kriter bulunmaktadır. Hazır giyim üretimi yapan firmalar çalıştıkları fason atölyeleri kıyaslarken hız, kalite, konum gibi birçok kriteri göz önünde bulundurmaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde fason işletme seçimi ve değerlendirilmesine genel olarak geleneksel çerçevede yaklaşıldığı görülmüştür. Yeşil üretim, uygun çalışma koşullarının sağlanması gibi güncel konu ve koşulların detaylı olarak değerlendirildiği çalışmalar yeterli bulunmamıştır. Tedarikçi seçiminde kullanılan kriterler belirlenmiştir (Wu ve Barnes, 2011). Tedarikçi seçimi için kalite standartlarının karşılanabilmesi, ürünün zamanında teslim edilebilmesi ve performans geçmişinin en önemli üç faktör olduğu belirtilmiştir (Cheraghi ve ark., 2004). Yapılan bir uygulamada, tedarikçi seçiminde önem düzeylerine göre ana kriter maliyet olarak ortaya çıkmıştır (Güleş ve ark., 2014). Hazır giyim alanında çalışan firmanın kumaş tedariki için tedarikçi seçimi çok kriterli karar verme teknikleri kullanarak değerlendirilmiştir (Öztürk, 2019). İplik tedarikçisi seçimi için yapılan çalışma sonucunda en önemli kriterin kalite olduğu sonucu elde edilmiştir (Öztürk vd., 2011). Hazır giyim sektöründe fason işletme seçimi için AHP ve VIKOR tekniği ile değerlendirme yapılmış alternatifler sıralanmıştır (Tayyar ve ark., 2013). Tedarikçi seçim işlemi için en yaygın olarak kullanılan çok kriterli karar verme metodlarının veri zarflama analizi, matematiksel programlama ve AHP olduğu belirtilmiştir (Agarwal ve ark., 2011).

Bu çalışmada İzmir'de bulunan ve hazır giyim üretimi yapan bir tekstil firmasının çalıştığı fason işletmelerin sosyal uygunluk yönünden değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Fason işletmelerin sosyal uygunluk verilerinin değerlendirilmesi amacıyla kriterlerin önem dereceleri belirlenmiştir. Sosyal

uygunluk kriterleri, ana gereksinimler ve alt gereksinimler olarak iki başlıkta toplanarak ana gereksinimler AHP metoduna göre değerlendirilmiştir. Alt gereksinimler ise uzman görüşlerine göre sınıflandırılmıştır. Fason atölyelerinin aylık sosyal uygunluk denetim raporları incelenmiş ve sosyal uygunluk kriterlerinin şeffaf paylaşımı için gerekli değerlendirmeler yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Çalışma, İzmir’de bulunan hazır giyim üzerine üretim yapan bir tekstil firmasında gerçekleştirilmiştir. Firmanın Sosyal Uygunluk ve Kurumsal Performans Geliştirme departmanlarından alınan veriler ve bu departmanlardaki kişilerle yapılan görüşmeler sonucunda sosyal uygunluk değerlendirme formları incelenmiştir. Formlardaki gereksinimler, önem derecelerine göre sınıflandırılmış ve ağırlık puanları değerlendirilmiştir. Her bir üretim birimi için sosyal uygunluk formunda yer alan gereksinimi sağlayıp sağlamaması kontrol edilmiş ve üretim birimleri, sağladığı gereksinimlere göre puan almıştır. Böylece her üretim birimi için hesaplanan toplam puanlarla üretim birimleri arasında aylık olarak kıyaslama yapılmıştır. Aşağıda uygulamaya ait akış süreci verilmiştir.

- Veri akışı ve müşteri değerlendirmeleri için müşteri grubunun ve fason atölyelerin belirlenmesi
- Ana değerlendirme konuları ve alt gereksinimlerin belirlenmesi
 1. Ana değerlendirme konularının AHP yöntemi kullanılarak ağırlık puanlarının elde edilmesi
 2. Alt gereksinimlerin değerlendirilerek ağırlık puanlarının incelenmesi
- Elde edilen ağırlık puanlarının gerçekleşenle değerlendirilerek hesap ve toplam hesap puanlarının belirlenmesi
- Seçilen fason birimlerinin aylara göre sosyal uygunluk performanslarının incelenmesi ve değerlendirme yöntemlerinin önerilmesi

Çalışmada materyal olarak kesim, dikim, ütü ve paket süreçlerinin gerçekleştirildiği fason dikim atölyeleri incelenmiştir. Çalışmanın yapıldığı firmanın müşterileri Grup-1 ve Grup-2 olmak üzere iki gruba ayrılmakta olup örme giysi üzerine siparişleri bulunmaktadır. Grup-2 müşterileri, birden çok markadan oluşurken, Grup-1 tek müşteriden oluşmaktadır. Her müşterinin ayrı ayrı gereksinimlerinin incelenmesi karışıklığa yol açacağı için çalışmada Grup-1 müşterisi için kullanılan fason dikim atölyeleri incelenerek en çok üretim yapılan fason dikim atölyelerinden üç tanesi seçilmiştir. Fason dikim atölyesine ait sosyal uygunlukla ilgili veriler sosyal uygunluk değerlendirme formlarıyla incelenmektedir. Formda sosyal uygunluk verileri ana değerlendirme konularına ayrılıp, ana değerlendirme konuları, kendi içerisinde alt gereksinimler olarak sınıflandırılmaktadır. Müşteri gereklilikleri, yasal gereklilikler dikkate alınarak Sosyal Uygunluk departmanındaki kişilerin uzman görüşleriyle ana ve alt gereksinimler belirlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Ana gereksinimler

No	Ana Gereksinimler
G1	Onay Kabul Listesi
G2	Prosedürler Politikalar ve Eğitimleri
G3	Özlük
G4	Yasal Gereklilikler
G5	Müşteri Gereklilikleri
G6	İş Sağlığı ve Güvenliği

Ana gereksinimlerin altında konuyu doğrudan etkileyen birtakım alt gereksinimler bulunmaktadır. Örneğin onay kabul listesi ana gereksinimi altında fason bünyesinde bulundurulması gereken izin belgeleri, fasonun sosyal güvenlik kurumu ve vergi borçlarıyla ilgili veriler yer almaktadır. Onay kabul listesi altında 8, prosedürler, politikalar ve eğitimleri altında 22, özlük altında 12, yasal gereklilikler altında 22, müşteri gereklilikleri altında 13, iş sağlığı ve güvenliği altında ise 55 alt gereksinim bulunmaktadır (Ek 1).

2.2. Yöntem

Çalışmada yöntem olarak 1968 yılında ortaya çıkan ve 1977'de Thomas Saaty'nin geliştirdiği AHP kullanılmıştır (Yaralıoğlu, 2001). AHP kalitatif ve kantitatif veriler için karar verilmesi gereken durumlarda bu verileri etkileyen faktörleri değerlendirerek önem düzeylerine göre dağılım elde edilmesini sağlayan bir yöntemdir (Güleş ve ark., 2014).

Yöntemin uygulamasında izlenmesi gerekli belli adımları bulunmaktadır (Golden ve ark., 1989). Öncelikle probleme yönelik temel ölçütler ve varsa alt ölçütler belirlendikten sonra ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur (Karimi ve ark., 2011).

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} = 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} = 1/a_{1n} & a_{n2} = 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

(1)

AHP sisteminde ikili karşılaştırmalar yapılırken göreceli önem düzeyi tablosu kullanılmaktadır (Tablo 2). Tablo 2'ye göre kıyaslama için A ve B olmak üzere iki nicel veri bulunuyorsa, bu iki veriden A verisi B'ye göre olabilecek en fazla önem düzeyine sahipse aşırı düzeyde önem anlamına gelen 9 değerini alır. Eğer bu iki veri eşit önem düzeyine sahipse 1 değerini alır

Tablo 2. AHP Önem Düzeyleri (Yazdani ve ark., 2019)

Göreceli Düzeyi	Önem	Tanım	Açıklama
1		Eşit önem düzeyi	İki kriter amaca eşit derecede katkıda bulunmaktadır
3		Orta derece önem düzeyi	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine göre biraz daha fazla tercih ettirmektedir
5		Kuvvetli önem düzeyi	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine göre çok daha fazla tercih ettirmektedir
7		Çok kuvvetli önem düzeyi	Bir kriter güçlü bir şekilde tercih edilmekte ve baskınlığı pratikte gözlemlenmektedir
9		Aşırı düzeyde önem	Bir kriterin tercihine ilişkin kanıtlar çok büyük teyide sahiptir
2,4,6,8		Ara değerler	Göreceli önem düzeyleri arasında uzlaşma gerektiğinde bu değerler kullanılır.

Elde edilen ikili karşılaştırma matrisindeki her eleman Eşitlik 2’de verildiği şekilde kendi sütunundaki toplama bölünerek normalizasyon işlemi yapılır. Normalize edilmiş matrisin her bir satır toplamı, matrisin boyutuna bölünerek ortalaması alınır (Eşitlik 3). Bu değer ilgili ölçüt için hesaplanan önem ağırlığını göstermekte olup öncelik vektörünü oluşturmaktadır. Bu şekilde, ölçütlerin birbirlerine göre yüzde önem dağılımları elde edilir.

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2) \quad w_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n a'_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, n$$

(3)

AHP ile yapılan çalışmalar karar vericilerin kıyasına dayalıdır ve sayısal olmayan verilerin kıyasını sayısallaştırarak bilimselleştirme esasını temel alırlar. Bundan dolayı karar vericilerin kararlarının tutarlılığının kontrol edilmesi ve varsa tutarsızlık durumunun karar vericilere bildirilmesi gerekmektedir. Tutarlılık oranı (CR) ise tutarlılık indeksinin (CI) rassallık indeks değerine (RI) bölünmesi ile bulunur (Eşitlik 5). Tutarlılık indeksi katsayısı ise Eşitlik 4’teki gibi hesaplanır (Acar ve Güner, 2016).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4) \quad CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

Formüldeki RI değeri ikili matrisler için ortalama tutarlılık değerini göstermektedir. Tablo 3’te 1-15 faktör arasında yer alan ikili karşılaştırmalar için RI değeri gösterilmektedir.

Tablo 3. Rassal indeks değerleri (Saaty, 2000; İmren ve ark., 2017)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

3. Uygulama

Ana gereksinimlerin kendi içerisinde önem düzeylerinin belirlenmesinde AHP metodundan yararlanılmıştır. Saaty’nin ikili karşılaştırmalar ölçeğindeki önem düzeylerine göre oluşturulan ikili

karşılaştırma matrisi Tablo 4'te gösterilmiştir. Ana gereksinimlerin önem düzeyleri belirlenirken sosyal uygunluk yetkilisi ve uzmanının görüşleri dikkate alınmıştır. Kıyaslama yapılırken müşteri beklentileri, yasal gereklilikler ve firma gereklilikleri göz önünde bulundurulmuştur.

Tablo 4. Ana gereksinimler için ikili karşılaştırma matrisi

	G1	G2	G3	G4	G5	G6
G1	1	1	1	1/4	1	1/3
G2	1	1	1	1/3	1	1/3
G3	1	1	1	1/3	1	1/3
G4	4	3	3	1	3	1
G5	1	1	1	1/3	1	1/4
G6	3	3	3	1	4	1
Sütun Ağırlıkları	11	10	10	3,24	11	3,24

Karşılaştırma matrislerinde yapılacak olan karşılaştırma sayısı $[n*(n-1)]/2$ ile ifade edilmektedir (Güner, 2003). Çalışmada 6 adet ana gereksinim bulunmaktadır, n sayısı 6 olarak alındığında ana gereksinimler için 15 adet kıyaslama yapılmıştır. Sosyal uygunluk yetkilisi ve uzmanının görüşleriyle yasal gereklilikler ile onay kabul listesi kıyaslandığında yasal gerekliliklerin daha büyük önem düzeyine sahip olduğuna karar verilmiştir. Tablo 5'te yer alan göreceli önem düzeyine göre 4 değerini almıştır.

Tablo 5. Ana gereksinimler için normalizasyon matrisi, satır toplamı ve öncelikler vektörü

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	Satır Toplamı	Öncelikler Vektörü
G1	0,09	0,10	0,10	0,08	0,09	0,10	0,56	0,093
G2	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10	0,59	0,098
G3	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10	0,59	0,098
G4	0,36	0,30	0,30	0,31	0,27	0,31	1,85	0,309
G5	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,08	0,56	0,093
G6	0,27	0,30	0,30	0,30	0,36	0,31	1,85	0,308

Normalizasyon işleminden sonra Tablo 5'te gösterilen öncelikler vektörüne göre yasal gereklilikler (G4) ve iş sağlığı ve güvenliği (G6) gereksinimleri en yüksek önem düzeyine sahiptir. Diğer gereksinimler ise kendi içerisinde eşit önem düzeylerine sahiptirler. Önem yüzdelerinin yüzdeler dağılımları yaklaşık olarak;

- Onay kabul listesi için %10,
- Prosedürler, politikalar ve eğitimleri için %10,
- Özlük için %10,
- Müşteri gereklilikleri için %10,
- Yasal gereklilikler için %30,
- İş sağlığı ve güvenliği içinse %30 olarak belirlenmiştir.

AHP ile yapılan çalışmalar karar vericilerin kıyasına dayalıdır ve sayısal olmayan verilerin kıyasını sayısallaştırarak bilimselleştirme esasını temel alırlar. Bundan dolayı karar vericilerin kararlarının tutarlılığının kontrol edilmesi ve varsa tutarsızlık durumunun karar vericilere bildirilmesi gerekmektedir. Tutarlılık oranı (CR değeri) 0,00125 olarak hesaplanmıştır ve 0,1 değerinden küçük olduğu için çalışmanın tutarlı olduğu anlaşılmaktadır.

Ana gereksinimlere ait alt gereksinimler sayıca fazla olduğu için çalışmanın AHP metodu ile desteklenmesi zorlaştırmaktadır. Alt gereksinimlerin yüzdeler değeri belirlenirken sosyal uygunluk yetkilisinin ve uzmanının uzman görüşleri ve deneyimlerinden yararlanılmıştır. Değerlendirme ölçütleri olarak ‘En Önemli, Çok Önemli, Orta Derecede Önemli, Az Önemli, Daha Az Önemli ve En Az Önemli’ seçenekleri belirlenmiştir. Bu ölçütlere göre gruplanarak yüzdeler değeri oluşturulmuştur.

AHP yöntemi ile ağırlıklandırılan ana gereksinimler içerisinde onay kabul listesi, %10’luk önem payına sahiptir. Bu ölçütün alt gereksinimleri ve bu gereksinimlere ait yüzde dağılımları en önemli için %2, çok önemli için %1,5, orta derecede önemli için %1 ve az önemli kriterler için %0,25’tir (Tablo 6). Diğer ana gereksinimlerin alt gereksinimlerine ait yüzdeler değeri de benzer şekilde belirlenmiştir.

Fason üretim biriminin sosyal uygunluk yüzdesini hesaplamak için sosyal uygunluk formunda gerçekleşen için 1 ve gerçekleşmeyen için 0 olmak üzere iki değer belirlenmiştir. İstenen belgeler veya gereksinimler fason tarafından sağlanıyorsa gerçekleşen duruma 1 değeri verilmektedir. Tablo 6’da Fason 1 için haziran ayına ait onay kabul listesine ait alt gereksinimlerin ağırlıkları, gerçekleşen değeri ve bu iki değer çarpımından elde edilen hesap puanları verilmiştir. Diğer gereksinimlere ait alt gereksinimlerin hesap puanları da benzer şekilde elde edilmiştir.

Tablo 6. Fason 1 Haziran ayı Onay Kabul Listesi için gerçekleşen hesap puanı

Gereklilik	Ağırlık (%)	Gerçekleşen	Hesap Puanı (%)
1 İşletme itfaiye raporu/izni mevcut mu?	2,00	1	2,00
2 Bina güvenlik belgesi var mı? (Yapı kullanım izni belgesi)	2,00	1	2,00
3 İş yeri açma ve çalışma ruhsatı bulunuyor mu?	2,00	1	2,00
4 Kapasite raporu var mı?	1,00	0	0,00
5 ÇED belgesi (çevre izin belgesi) var mı?	1,50	1	1,50
6 SGK borcu var mı? Var ise yapılandırılmış mı?	1,00	1	1,00
7 Vergi borcu var mı? Var ise yapılandırma yapılmış mı?	0,25	1	0,25
8 Firma isim değişikliği/vergi no değişikliği oldu mu? Olmuş ise tüm çalışanlar hakları ile yeni firmaya geçiş yaptı mı?	0,25	1	0,25
Ara Toplam:	%10,00		%9,00

Değerlendirilmenin yapıldığı 2019 yılının Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında seçilen 3 fason dikim atölyesinin Tablo 7’de yer alan sosyal uygunluk değerlendirme performansları hesaplanarak aşağıda gösterildiği şekilde elde edilmiştir. Hesaplanan aylık veriler neticesinde her ay sonunda fasonların gereksinimleri karşılamaları değerlendirilmiştir.

Tablo 7. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında Fason 1, 2 ve 3'e ait toplam hesap puanları

Gereksinim /Aylar		G1 (%)	G2 (%)	G3 (%)	G4 (%)	G5 (%)	G6 (%)	Toplam Hesap Puanı (%):
F 1	Haziran	9	8,7	10	26,50	8,5	22,95	85,65
	Temmuz	9	8,7	10	26,50	8,5	22,95	85,65
	Ağustos	9	8,7	10	26,50	8,5	22,95	85,65
F 2	Haziran	7,25	6,5	10	27	6	19,60	76,35
	Temmuz	6	10	8	21,5	6	26,20	77,70
	Ağustos	7	10	8	24,5	6,5	24,95	80,95
F 3	Haziran	10	9,5	9,5	26	6	24,45	85,45
	Temmuz	10	9,5	9,5	26	6	24,45	85,45
	Ağustos	10	9,5	9,5	26	6	24,45	85,45

Tablo 8. Fason birimlerinin sosyal uygunluk değerlendirme performansları

Müşteri	Üretim Birimi	Haziran	Temmuz	Ağustos
Grup Müşterisi	1 Fason 1	%85,65	%85,65	%85,65
Grup Müşterisi	1 Fason 2	%76,35	%77,70	%80,95
Grup Müşterisi	1 Fason 3	%85,45	%85,45	%85,45
Ortalama:		%82,48	%80,37	%84,02

Tablo 8'e göre değerlendirmenin yapıldığı üç ayda en yüksek performans Fason 1 ve ardından Fason 3'e aittir. En düşük sosyal uygunluk performansını ise Fason 2 göstermiştir. Fason 2 müşterisinin majör durumlardan biri olan maaş ödemeleri ve sigorta girişlerinden puan alamadığı gözlemlenmiştir. Aylara göre fasonların performans gelişmeleri Fason 1 ve Fason 3 için değişiklik göstermemiş olup, Fason 2 müşterisi Temmuz ve Ağustos aylarında bir önceki aya göre performansını artırmıştır. Performans artışları fason atölyelerinin gereksinimleri karşılmasıyla sağlanmaktadır.

4. Öneriler ve Sonuç

Çalışmada sosyal uygunluk puanını %30'luk önem düzeyleriyle yasal gereklilikler ve iş sağlığı ve güvenliği oluşturmaktadır. Her fasonun aylık olarak toplam hesap puanlarının yer aldığı tablolar incelendiğinde genel olarak en çok puan kaybedilen ana gerekliliklerin yasal gereklilikler ve iş sağlığı ve güvenliği olduğu görülmektedir. Müşteri tarafından yapılan sosyal uygunluk denetimleri sonucunda marka ilgili fasonda üretim yapmamayı talep edebilir. Bu da firma için üretim kapasitesinde kayıp anlamına gelmektedir. Bu gibi hataların önlenmesi için farklı önlemler alınabilir ve firma kapasitesini emniyet altına alabilir. Markalar firmalara bu konuda yaptırımlar uygularken firmaların da fasonlara birtakım yaptırımlar uygulaması gerekmektedir. Firma, sosyal uygunluk denetim sonuçlarına göre

fason üretim birimlerini aylık olarak iyiden kötüye sıralamalıdır. Kötü sonuçlara sahip fasonlara kapasitesinin altında üretim verilmelidir. Bu durumda fasonların kapasitelerini arttırmak için sosyal uygunluk değerlerini iyileştirmeleri gerekecektir. Ödül-ceza ilişkisine dayalı bu sistemle fason atölyeleri markaların firmalara uyguladıkları sistemin aynısını görerek empati kurabileceklerdir ve böylece sosyal uygunluk verilerinin önemini daha net anlayabileceklerdir.

Markaların üretim birimlerinden istediği ve sağlanmadığı takdirde kesinlikle üretimlerini gerçekleştirmek istemeyeceği sosyal uygunluk kriterleri olabilir. Sosyal uygunluk denetim formunda yer alan alt gereksinimler içerisinde en önemli ve çok önemli olarak nitelendirilen kriterler değerlendirilerek majör olanlar belirlenip bu kriterleri sağlamayan fasonlara üretim çıkışı yapılamayacağına dair bildirim gönderilmelidir. Çalışmanın yapılmış olduğu firma EDS sistemi kullanmakta ve tüm üretim programlarını ve çıkışlarını bu program üzerinden sağlamaktadır. İlgili kriterler EDS programına entegre edilerek, majör kriteri gerçekleştiremeyen fasona üretim programının yapılması veya üretime kumaş, aksesuar gibi çıkışının yapılması engellenmelidir. Bu yolla üretici firmanın tüm departmanları majör uygunluk verisinin sağlanmadığını görebileceklerdir. Fason atölyeye yapılan bildirimle bu gereksinimi bir an önce sağlaması gerektiği bildirilecek ve gereksinimin önem düzeyini anlaması sağlanacaktır.

Firma tarafından yapılan sosyal uygunluk denetim sonucuna göre nihai değerlendirme sistemi kurulmalıdır. Değerlendirme sistemine göre değer aralıkları belirlenerek “Altın Üretici”, “Gümüş Üretici”, “Platin Üretici” olarak önem derecelerine göre fason üretim birimleri sıralanmalıdır. En iyi değer aralığında bulunan fason üretim birimi “Altın Üretici” olarak belirlenirken, en iyi değer aralığının daha altında olan fason üretim birimi “Gümüş Üretici” ve son olarak en kötü değere sahip fason “Platin Üretici” olarak adlandırılmalıdır. Bu veriler aylık olarak fason üretim birimleriyle paylaşılarak fasonların kendi içlerinde ve birbirleri arasında bu konuda rekabet etmeleri sağlanmalıdır. Oluşan rekabet ortamıyla beraber sosyal uygunluk değerlendirme sonuçlarında iyileşmeler gözlemlenecektir.

Yapılan çalışmada ilk aşama olarak ana ve alt gereksinimlerin çerçevesi incelenmiştir. Belirleyici olarak müşteri tarafından taahhüt edilen çalışma koşulları, müşteri denetçileri tarafından yapılan daha önceki denetimler göz önünde bulundurularak gereksinimlerin önem düzeyleri incelenmiştir. Ana gereksinimlerin önem dereceleri AHP metoduyla desteklenirken, alt gereksinimler için önem dereceleri uzman görüşlerine göre sınıflandırılarak desteklenmiştir. Oluşturulan sosyal uygunluk formlarına göre kriterlerin gerçekleşip gerçekleşmemeleri incelenmiştir ve fason atölyelerin yetersiz kaldığı sosyal uygunluk kriterleri aylık olarak değerlendirilmiştir. Fasonun ürünü ürettiren firmanın istediği gereksinimleri karşılayıp karşılamadığı bu sistemle kontrol edilebilmektedir. İstenmeyen ya da uygun olmayan koşullara sahip firmalarla çalışmanın en aza indirilmesi için öneriler sunulmuştur. Günümüzde gelişen teknolojiyle beraber artan bilgiye kolay ulaşılma alışkanlığı tüketiciler, üreticiler ve markalar için şeffaflığın önem kazanmasına neden olmuştur. Şeffaflığın artmasıyla

birlikte yapılan hataların tolere edilme şansını azaltmaktadır. Verilerin şeffaf bir şekilde aktarımıyla ilgili en önemli noktalardan biri de verilerin denetlenebilir olması ve hataların önüne geçilebilmesidir. Sosyal uygunluk verileri, sonraki dönemlerde markalar tarafından internet sitelerinde daha da şeffaf raporlamalarla paylaşılmak istenebilir. Yapılan çalışma neticesinde sosyal uygunluk departmanının uzman görüşleri bilimsel olarak desteklenmiştir. Bu çalışmayla birlikte verilerini müşterileriyle şeffaf bir şekilde paylaşmak isteyen işletmeler, olası olumsuzlukları da bu tip çalışmalarla engellemektedirler. Çalışmada firma sosyal gereksinimi uygun olmayan fason üretim birimi kullanımının engellemesi amaçlanmıştır ve uygun öneriler belirlenmiştir. Aynı zamanda internet siteleri üzerinden üretim şeffaflığıyla ilgili verilere yer vermek isteyen firmalar için sosyal uygunluk verilerini nasıl değerlendirebilecekleri konusunda fikir veren bir çalışmanın yapılması hedeflenmiştir. Sonuç olarak çalışmada sosyal uygunluk verilerinin önemi vurgulanarak bu verilerle ilgili denetimlerin değerlendirilmeleri sağlanmıştır. Ülkemizde tekstil sektörünün ihracat payının yüksek olması ve markaların çalışacakları fason işletmeleri seçerken belirledikleri kriterleri sağlayan işletmeleri tercih etmesi sebebiyle konunun bilimsel metotlarla ele alınması oldukça önemlidir ve alana katkı sağlamaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Acar E., Güner M. Integration of multi-criteria decision making method for performance evaluation: an application in the apparel business. *Tekstil: časopis za tekstilnu i odjevnu tehnologiju* 2016; 65(3-4): 90-95.
- Agarwal P., Sahai M., Mishra V., Bag M., Singh V. A review of multi-criteria decision making techniques for supplier evaluation and selection. *International Journal of Industrial Engineering Computations* 2011; 2: 801-810.
- Cheraghi SH., Dadashzadeh M., Subramanian M. Critical success factors for supplier selection: an update. *Journal of Applied Business Research* 2004; 20(2): 91-108.
- Chong W., Barnes D. Literature review of decision-making models and approaches for partner selection in agile supply chains. *Journal of Purchasing & Supply Management* 2011; 17: 256–274.
- Golden BL., Wasil EA., Harker PT. *The analytic hierarchy process. applications and studies*. Berlin, Germany: Heidelberg; 1989.

- Güleş KG., Çağlıyan V., Şener A. Hazır giyim sektöründe analitik hiyerarşi prosesi yöntemine dayalı tedarikçi seçimi. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 2014; Dr. Mehmet Yıldız Özel Sayısı, 159-170.
- Güner M. Analitik hiyerarşi yönteminin fason işletme seçiminde kullanılması. Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi 2003; 16(3): 206–210.
- İmren E., Karayılmazlar S., Kurt R., Çabuk Y. Yatırım kararı almada AHS yönteminin kullanımı: Bartın ili örneği. Bartın Orman Fakültesi Dergisi 2017; 19(2): 107-114.
- Karimi AR., Mehrdadi N., Hashemian SJ., Bidhendi GN., Moghaddam RT. Selection of wastewater treatment process based on the analytical hierarchy process and fuzzy analytical hierarchy process methods. International Journal of Environmental Science & Technology 2011; 8(2): 267-280.
- Öztürk A., Erdoğan Ş., Arıkan VS. Analitik hiyerarşi süreci (AHS) kullanılarak tedarikçilerin değerlendirilmesi: bir tekstil firmasında uygulama. Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 2011; 26(1): 93-112.
- Öztürk D. AHP ve TOPSIS yöntemleri ile tedarikçi seçimi: Hazır giyim sektöründe bir uygulama. Tekstil ve Mühendis 2019; 26(115): 299-308.
- Saaty TL. Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process. Pittsburgh, RWS Publications; 2000.
- Tayyar N., Arslan AGP. Hazır giyim sektöründe en iyi fason işletme seçimi için AHP ve VIKOR. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 2013; 11(1): 340-358.
- UİB (Uludağ İhracatçı Birlikleri), Hazır giyim sektöründe sürdürülebilir trendler. <https://uib.org.tr/tr/kbfile/surdurulebilirlik-raporu-nisan-2017>, (Erişim Tarihi: 10.01.2021).
- Yaralıoğlu K. Performans değerlendirmede analitik hiyerarşi prosesi 2001. Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 2001; 16(1): 129-142.
- Yazdani M., Chatterjee P., Montero-Simo MJ., Araque-Padilla RA. An integrated multi-attribute model for evaluation of sustainable mobile phone. Sustainability 2019; 11(13): 1-18.

Ekler

Ek 1. Ana gereksinimlere ait alt gereksinimler

Onay Kabul Listesi

- İşletme itfaiye raporu/izni mevcut mu ?
- Bina güvenlik belgesi var mı ? (Yapı kullanım izni belgesi)
- İş yeri açma ve çalışma ruhsatı bulunuyor mu ?
- Kapasite raporu var mı ?
- ÇED belgesi (çevre izin belgesi) var mı ?
- SGK borcu var mı? Var ise yapılandırılmış mı ?
- Vergi borcu var mı ? Var ise yapılandırma yapılmış mı ?

- Firma isim değişikliği/vergi no değişikliği oldu mu ? Olmuş ise tüm çalışanlar hakları ile yeni firmaya geçiş yaptı mı ?

Prosedürler, Politikalar ve Eğitimler

- Politikalar yerel/yasal şartlara uygun mu ?
- İş kazası bildirim prosedürü var mı? Kayıtları var mı ? Küçük kaza bildirim kayıtları var mı ?
- Taciz ve suistimal politikası var mı? Cinsel taciz ve kötü muameleyi önleme politikası var mı ?
- Taciz ve ayrımcılık hakkında eğitim verilmiş mi ?
- Ayrımcılık konusunda politika/uygulama var mı ?
- Çalışanlar ayrımcılık hakkındaki şikayetlerini paylaşabiliyorlar mı?
- Ayrımcılık gözlemlendi mi ?
- İşe alım prosedürü var mı ?
- İşten çıkış prosedürü var mı ?
- Disiplin yönetmeliği var mı ?
- Disiplin prosedürü eğitimi verilmiş mi ?
- Oryantasyon eğitimi var mı ?
- Kimyasal eğitimi var mı ?
- Çalışan temsilcisi seçme ve işleyişi prosedürü var mı ?
- İşçi temsilciliği eğitimi var mı ?
- Taciz ile ilgili kayıt var mı ?
- Çocuk iş gücü politikası var mı ?
- Dilek şikayet prosedürü var mı ?
- Sendikalaşma özgürlüğü politikası var mı ?
- Zorla çalıştırmayı önleme politikası var mı ?
- Çevre politikası var mı ?
- Kimyasal madde satın alma prosedürü var mı ?

Özlük

- AGİ'ler kişilerin eş ve çocuk durumuna göre mi ödeniyor ?
- Kimlik kayıtları yaş için kontrol ediliyor mu ?
- Genç çalışanların sözleşmelerini aileleri imzalıyor mu ?
- Her çalışan için bir özlük dosyası var mı ?
- Her çalışanın sözleşmesi var mı ? Bir kopyasını elden almış mı ?
- Her çalışanın kimlik fotokopisi var mı ?
- Gönüllü çalışma esas mı ?
- Zorunlu mesai var mı ?
- Sözleşmeler yasaya uygun mu ?

- Sözleşme çift taraflı imzalanmış mı ?
- Fazla mesai muvafakatnamesi var mı ?
- İş başı yapılan gün sigorta girişi yapılıyor mu ?

Yasal Gereklilikler

- 16 yaşından küçük çalışan var mı ?
- Genç çalışanların çalışma saati yasal limitlerde mi ?
- Genç çalışanlar en az asgari ücret alıyor mu ?
- Maaş hakedişlerini ve ödemeleri hesaplayan elektronik sistem doğru işliyor mu ?
- İşletmede sosyal sigorta primi, alınan tüm maaş üzerinden mi hesaplanıyor ?
- Ayın 20'sinden önce ödeme yapılıyor mu ?
- Fazla mesailer doğru hesaplanıyor mu ?
- Resmi tatiller doğru ödeniyor mu ?
- Bordro veriliyor mu ?
- Maaş kesintileri doğru yapılıyor mu ?
- Tüm ödemeler asgari ücret ve üzeri mi ?
- Tüm çalışanların SGK kaydı var mı ?
- Haftalık normal çalışma 45 saat mi ?
- Günlük 11 saat sınırına dikkat ediliyor mu ?
- İşletmede çalışanlar haftalık tatilini yasal gereksinimler doğrultusunda kullanıyor mu ?
- Hamileler günde 7,5 saat sınırında kalıyor mu ?
- Yıllık izin kayıt sistemi mevcut mu ?
- Yıllık izin kullanımı yasaya uygun mu ?
- Çalışan temsilcisi seçilmiş mi ? Çalışan sayısına göre çalışan temsilcisi sayısı uygun mu ? Kadın çalışan temsilcisi var mı ?
- Çalışan temsilcisi ve destek elemanı eğitimi verilmiş mi ?
- Çalışan temsilcisi seçim kayıtları mevcut mu ?
- Çalışan temsilcileri demokratik olarak seçiliyor mu ?

Müşteri Gereklilikleri

- Aynı kıdemdeki kadın ve erkek maaşları eşit mi ?
- Çalışanlar çalışma saatlerinden sonra gitmekte özgürler mi ?
- Haftalık 60 saati aşan çalışma var mı ?
- İşletmede haftalık fazla mesai çalışmaları 12 saati aşıyor mu ?
- İşletmede yevmiyeci mevcut mu ?
- Yevmiyecilerin maaşları sözleşmeye uygun mu ? Uygun değil ise asgari ücret üzerinden mi ödeniyor ?

- Yevmiyecilere hafta tatili paraları ve AGİ'leri ödeniyor mu ?
- Yevmiyecilerin sigorta girişleri var mı ?
- Yevmiyeciler parmak basıyor mu ?
- İşletmede bilgisayarda tutulan zaman kayıtları değiştiriliyor mu ?
- Molalar doğru kullanılıyor mu ?
- Dilek- şikayet sistemi var mı ?
- Dilek- şikayetlere yazılı cevap veriliyor mu ?

İş Sağlığı ve Güvenliği

- Hizmet alınan yangın firması tarafından yangın ekipmanları uygunluk ve yeterlilik yazısı var mı ?
- İşletme yangın tesisatının periyodik kontrolleri yapılmış mı ?
- Yeterli acil çıkış kapısı var mı ? (Her bölümde en az 2 adet)
- Yangın çıkış kapıları kilitsiz, kolay açılabilir, kolay ulaşılabilir mi ?
- Yangın çıkış kapıları ve çıkış yolları açıkça işaretlenmiş mi ?
- Her bölümde acil tahliye planı asılı mı ? Ben buradayım noktası ve yeri doğru mu ?
- Çıkışlarda yangın alarmı var mı ve yeterli sayıda mı ? Çalışıyor mu ?
- Yeterli sayıda yangın tüpü ve hortumu mevcut mu ?
- Yangın ekipmanları kontrol kayıtları mevcut mu ? (Hizmet alınan firma tarafından yapılan kontrol formu)
- Acil çıkış lambaları çalışıyor mu ?
- Yangın tatbikatı (katılım formu, rapor, fotoğrafları, katılımcı imzası) kayıtları mevcut mu ?
- Yangın tatbikatı 6 ayda bir güncelleniyor mu ?
- İlk yardımcı sayısı yasaya uygun mu ? Personel ve ilkyardım sertifikası geçerlilik tarihleri güncel mi ?
- Ecza dolabı sayısı yeterli mi ?
- Ecza dolabında bulunan malzemelerin kontrol formları tutuluyor mu ?
- İSG sorumlusu tarafından tutulan yangın tüpleri kontrol formu bulunuyor mu ?
- Termal kontrol ortam ölçümü mevcut mu ?
- Aydınlatma kontrol ortam ölçümü mevcut mu ?
- İşyeri ortam toz-toz maruziyet ölçümü mevcut mu ?
- Uçucu organik bileşikleri için uygun ortam mevcut mu ?
- Gürültü-maruziyet gürültü kontrol ortam ölçümü mevcut mu ?
- Hava tankı-kompresör, buhar jeneratörü ve hidroforun (basınçlı kap) periyodik muayeneleri yapılmış mı ?
- Havalandırma tesisatı var mı ? Periyodik kontrolü var mı ?
- Kaldırma araçları periyodik kontrolleri (yük asansörü, insan asansörü, forklift, transpalet, vinç, konveyör bant) yapılmış mı ?

- İçme suyu analizi var mı ve uygun mu ?
- Uygun bir risk analizi raporu var mı ? Risk değerlendirme ekibi kurulmuş mu? Risk değerlendirme herkes tarafından imzalanmış mı ?
- Uygun acil durum eylem planı mevcut mu ? Ekip kurulmuş mu ? Herkes tarafından imzalanmış mı ?
- İSG komitesi mevcut mu ? Uygun zamanlarda toplanıyor mu ?
- Periyodik sağlık muayeneleri yapılmış mı ?
- Kendi sosyal alan sunum personellerinin hijyen eğitimi var mı ? Portör testleri yapılmış mı ?
- İSG uzmanı ve iş yeri hekimi mevcut mu ?
- Revir var mı? Şartları standartlara uygun mu ?
- İSG eğitimleri güncel mi ?
- Kimyasal MSDS'leri var mı ?
- Kimyasal altında ikincil kap mevcut mu ?
- Yasaklı kimyasal kullanılıyor mu? Envanter listesi var mı ?
- KKD'ler kullanılıyor mu ?
- Göz koruyucular tam mı ? Makine kayış kask koruyucuları mevcut mu ?
- Göz koruyucu kullanılıyor mu ?
- Elektrik panolarının izole paspasları yıpranmış mı ?
- Duman algılama sistemi var mı ? Duman algılayıcı sistemlerin periyodik kontrolü var mı ?
- Üretim aydınlatmaları kapalı sistem mi ? Ütü bölümünde aydınlatma etanjı mı ?
- Kesim eldiveni var mı? Kullanılıyor mu ?
- Tuvalet sayısı (kadın/erkek) yeterli mi ?
- Tuvaletlerde sifon sistemi var mı ?
- Taşlama makinası var mı? Koruyucusu var mı ?
- Leke odası var mı? Leke odasında havalandırma tesisatı var mı ? Periyodik kontrolü yapılıyor mu ?
- Leke odasında MSDS asılı mı ?
- Leke odasında uygun tipte maske-eldiven -gözlük var mı ?
- Leke odasında göz duşu-solüsyonu var mı? Kullanım talimatı asılmış mı ?
- Tüm makine gövde topraklama periyodik kontrolü/Pano topraklama periyodik kontrolleri yapılıyor mu ?
- Elektrik iç tesisat periyodik kontrolleri ve kaçak akım rölelerinin uygunluğu yazılı var mı ?
- Paratoner topraklama periyodik kontrolü yapılmış mı ?
- Yemek hizmeti alınan firma personellerinin hijyen eğitimi ve portör testleri var mı ?
- Servis firmasına ait koltuk sigortası ve güzergah izin belgesi mevcut mu ?
- Şoförlerin ve araçların belgeleri (ehliyet, SRC, araçların bakım, vize, ruhsat belgeleri) var mı ?

Küçük Kapasiteli Yem Karma Makinalarında Karıştırma Süresi ve Homojenlik

Görken UZUNOĞLU¹, Fulya TAN^{2*}

¹Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 59030, Tekirdağ

²Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 59030, Tekirdağ

¹<https://orcid.org/0000-0002-2578-250X>

²<https://orcid.org/0000-0002-0037-4251>

*Sorumlu yazar: ftan@nku.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 10.11.2021

Kabul tarihi: 31.01.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Yatay helezonlu

Düşey helezonlu

Homojenlik

Parça boyu

ÖZ

Yem karma makinaları hayvancılık işletmelerinde rasyon hazırlığında kullanılan en etkin makinalardır. Hayvancılık işletmelerinin büyük çoğunluğunun küçük ve/veya orta ölçekli işletmeler şeklinde olması nedeni ile küçük kapasiteli yem karma makinalarının kullanımı oldukça yaygındır. Bu amaçla araştırmada, küçük kapasiteli yem karma makinalarında karıştırma süreleri ve yem karışım homojenliği incelenmiştir. Trakya Bölgesi'nde genel olarak yaygın kullanımı görülen üç farklı tip yem karma makinası belirlenmiş ve üç farklı işletmede çalışmalar yürütülmüştür. Çalışmada saman ve silaj materyalleri 5, 10, 15 ve 20 dakika süre ile karışımlar yapılarak örnekler alınmış ve materyallerin parça boyutları ölçülmüştür. Örneklerde parça boyu dağılım oranları ve frekans dağılımları belirlenmiştir. Ayrıca, işletmelerde kullanılan TMR karışımlarında (samam+silaj+karma yem) homojenlik oranı incelenmiştir. Denemelerde elde edilen yem karma makinalarının çeşitlerinin ve uygulanan karıştırma sürelerinin elde edilen parça boyu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ($P<0.05$) belirlenmiştir. İncelenen karıştırma süreleri de istatistiki açıdan önemli bulunmuş ($P<0.05$) ve her biri ayrı gruplarda yer almıştır. Küçük kapasiteli yem karma makinalarında homojenlik oranları da oldukça değişken seviyelerde hesaplanmıştır.

Mixing Time and Homogeneity in Feed Mixing Machines with Small Capacity

Research Article

Article History:

Received: 10.11.2021

Accepted: 31.01.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Vertical screw

Horizontal screw

Homogeneity

Piece size

ABSTRACT

Feed mixing machines are the most effective machines used in the feed preparation stage in livestock enterprises. Livestock enterprises are mostly in the form of small and/or medium-sized enterprises, so the use of small-capacity feed mixers is quite common. For this purpose, mixing times and feed mixing homogeneity were investigated in feed mixers with small capacity. Three different types of feed mixers, which are widely used in the region, were determined and studies were carried out in three different enterprises. In the study, mixing times of 5, 10, 15 and 20 minutes were applied for straw and silage materials, and the particle sizes of the materials were measured in the samples taken during these times. Particle size distribution ratios and frequency distributions were determined in the samples. In addition, the homogeneity ratio of TMR mixtures (straw + silage + concentrate feed) used in the enterprises was examined. It was determined that the types of feed mixers and the mixing times applied in the trials had a significant effect on the piece size ($P<0.05$). Mixing times were also found to be statistically significant ($P<0.05$) and each was in separate groups. Homogeneity rates in feed mixing machines with small-capacity have also been calculated at highly variable levels.

To Cite: Uzunoglu G., Tan F. Küçük Kapasiteli Yem Karma Makinalarında Karıştırma Süresi ve Homojenlik. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 668-680.

1. Giriş

Sağlıklı beslenme açısından hayvansal ürünlerin önemi büyüktür. Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization-WHO) verilerine göre sağlıklı bir insanın vücut ağırlığının her kilogramı için günde 1 g protein tüketmesini ve bu miktarın %42' sinin ise hayvansal kökenli proteinler olarak tüketilmesini önermektedir (TİGEM, 2018). Bu nedenle hayvansal ürünler en önemli gıda ürünleri içinde yer almaktadır. Hayvansal ürünlerin, uygun fiyatlarla ve yeterli miktarlarda ulaşılabilir seviyede olabilmeleri için, hayvancılık işletmelerinde maliyetlerin en aza indirgenmesi ve üretimin artması gerekmektedir. Günümüzde nüfusun hızla artması, hayvansal üretiminin önemini de arttırmaktadır.

Hayvancılık işletmelerinde yem hazırlama ve temin edilmesi her gün yapılması gereken temel işler olup, iş yükü ve maliyet açısından en büyük payı oluşturmaktadır. Yem hazırlamada en etkin kullanılan ekipmanlar yem karma makinalarıdır. Yem karma makinelere temel görevleri; kıyma, karıştırma ve materyallerin yemliklere dağıtma işlemlerini yapabilmesidir (Pınar ve Sessiz, 1998). Kıyma işlemi, hayvan tarafından sindirimi kolaylaştırmak amacıyla materyallerin boyutunu küçültmek için yapılmaktadır (Anonim, 2016). Karıştırma işlemi ise kaba yemlerin, taneli ürünlerin ve rasyonu oluşturan materyallerin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması amacıyla yapılmaktadır. Yem karma makinalarıyla yapılan karıştırma işlemlerinin başarılı sayılabilmesi için; materyallerin uygun boyutlarda kıyılması, elde edilen karışımdaki homojenliğinin yüksek olması, karıştırma süresinin kısa ve etkin olması gereklidir.

Rasyonların önemli bileşimi olan saman ve yonca otunun benzer boyutlarda parçalanması, makinede harcanan karışım sürelerinin değişkenlik göstermesi, elde edilen karışımın niteliğini etkilemektedir. Karışım sürelerinin uzaması Total Mixed Ration (TMR) hazırlama sürelerini uzatmakta ve işletmelerin iş yükünü arttırmaktadır. Karıştırma işleminde; karıştırma süresi, yemin özellikleri, partikül büyüklüğü etkili olmakla birlikte yem karma makinalarının karıştırıcı tipinin de etkili olduğu belirtilmiştir. Karıştırıcıda istenen özelliklerin başında yemin genel yapısını bozmadan bir karıştırma işlemi yapabilmesi, kısa süre karıştırma işlemi tamamlayabilmesi, yemi tam boşaltabilmesi, bakım ve tamirin kolay olması ve harcanan enerjiden optimum verim alınabilmesi olarak açıklanabilir. Tüm bu faktörler altında yem karma makinesi seçimi oldukça önemli olmaktadır (Akbaş ve Ak, 2018).

Ülkemizde 2004 yılında 18,604 adet olan yem hazırlama makinesi 2019 verilerine göre ortalama iki katına çıkarak 37,851 adet olmuştur. Mevcut yem dağıtma römorkları 2004 yılında 508 iken 2019 verilerine göre 5,555 adet olarak (TÜİK, 2019) belirtilmiştir. Bu, yem hazırlamada kullanılan makine sayısının gün geçtikçe arttığı ve yem hazırlama mekanizasyonuna verilen önemi göstermektedir.

Orta ölçekli hayvancılık işletmelerinde genellikle römork tip yem karma makineleri tercih edilirken, büyük işletmelerde kendi yürür tip yem karma makineleri tercih edilmektedir. Bunun yanında küçük ölçekli hayvancılık işletmelerinde traktörden hareketli küçük tip yem karma makinaları tercih edilmekte ve kullanılmaktadır. Hayvancılık işletmelerinin genellikle küçük ölçekli işletmeler şeklinde olması, bu tip yem karma makinalarının kullanımının da oldukça yoğun olduğunu göstermektedir. Temel olarak bu makinalar arasındaki farklar vagon yapısı, hacmi ve helezon yapıları arasındaki

farklılıklardır. Vagonlar farklı tip ve şekillerde olabildiği gibi, kapasitelerine göre de farklı hacimlere sahip olabilmektedir. Karıştırma işlemini yapan helezon tipi ise, yatay veya dikey formda konumlandırılmakta (Pınar ve Sessiz, 1998) ve üretici firmalara göre değişkenlik göstererek farklı tip bıçaklar ile donatılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı küçük ölçekli işletmelerde kullanılan farklı vagon hacmine sahip yem karma makinalarında materyallerin etkin karıştırma sürelerini belirlemek, harcanan karışım sürelerinde kıyılan yemin boyutlarını incelemek ve TMR hazırlamada homojenliğe etkilerini belirlemektir. Benzer miktarlarda vagona eklenen materyallerin, üç farklı vagon hacmine sahip yem karma makinasındaki kıyma ve homojenlik oranları üzerine değişimlerin incelenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma, Trakya bölgesi'nde kullanımı yaygın olan üç farklı tip yem karma makinasının bulunduğu üç farklı hayvancılık işletmesinde yürütülmüştür.

2.1. Yem Karma Makinaları

Denemelerde üç farklı tip yem karma makinası kullanılmıştır. Tablo 1'de yem karma ve makinelerine ilişkin teknik özellikler verilmiştir.

Tablo 1. Yem karma ve dağıtma makinesine ilişkin teknik özellikler

Marka		A	B	C
Model yılı		2007	2017	2015
Hacim	m ³	5	2	3
Helezon tipi		Yatay helezon	Dikey helezon	Dikey
Helezon sayısı		Çift	Tek	Tek
Ağırlık	kg	2180	900	1700
Toplam yükseklik	mm	1660	1750	2400
Toplam genişlik	mm	1480	1850	2100
Toplam uzunluk	mm	2500	3950	4300
PTO	d/dk	540	540	540
Bıçak tipi		Yıldız tipi bıçak	Dikey	Dikey
Kıyıcı sistem	adet	28/56	5	5
Boşaltma		Sol taraf	Sol taraf	Sol taraf
Boşaltma kapağı		Hidrolik	Hidrolik	Hidrolik
Traktör		Fiat 7056	Deutz Fahr 6206	Massey Ferguson 285

2.2. Saman, Silaj ve TMR Materyali

Araştırma, üç hayvancılık işletmesinde kullanılan materyal miktarları Tablo 2'de, TMR bileşimleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 2. Denemelerde kullanılan yem miktarları ve oranları

Yem maddeleri	Miktar (kg)	%
Saman	100	22,22
Silaj	300	66,66
Karma yem	50	11,12
Toplam karışım	400	100,0

Tablo 3.TMR bileşimleri

Yem maddeleri	Miktar (kg)	Oran (%)	Miktar (kg)	Oran (%)	Miktar (kg)	Oran (%)
İşletmeler	A		B		C	
Saman	100	13,34	100	22,23	100	17,55
Silaj	300	40,0	300	66,66	300	52,63
Kuru ot	150	20,0	-	-	50	8,77
Karma yem (Süt yemi pelet)	50+100	20,0	50	11,11	50+70	21,05
Küspe	50	6,66	-	-	-	-
Toplam karışım	750	100,0	450	100,0	570	100,0

Araştırmada, her üç işletmede 100 kg saman, 300 kg silaj materyali ve 50 kg karma yem kullanılmıştır. Çalışmada hata payını en az tutabilmek için işletmelerde mevcut yem miktarları dikkate alınarak kullanılacak olan materyal miktarları belirlenmiştir. Karma yem miktarı incelen işletmelerin bir tanesinde maksimum 50 kg olması nedeniyle diğer işletmeler için de benzer oranda karışıma dahil edilmiştir. Saman materyali her üç işletmede buğday sapı (%12-13 nem) kullanılmıştır. Silaj materyal içeriği A ve B işletmesinde piyasadan alınan paket silaj, C işletmesinde işletme tarafından yapılan yığın mısır silajından kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan hayvanlar aynı yönetim ve besleme koşulları altında, doğal fotoperiyot, nem ve sıcaklık ortamında tutulmuştur.

2.3. Denemelerin Yürütülmesi

Denemeler üç farklı hacime sahip yem karma makinalarında ve eşit miktardaki materyaller ile çiftlik/saha koşullarında yürütülmüştür. Yem karma vagon hacminin karıştırma süresi ve homojenlik üzerine etkisi öncelikle irdelenmiştir. Denemelerin etkin bir şekilde yürütülebilmesi için her karıştırma işlemi öncesinde yem karma makinelerinin yem karıştırma hazneleri boşaltılarak temizlenmiştir. Böylece daha önceki yem karma işleminden haznede kalan materyallerin diğer denemeleri etkilemesi önlenmiştir. Çalışmalar önce saman materyalde parçalama işlemlerinin yapılması sonra silaj materyallerde parçalama işlemleri yapılarak, haznede temizlik çalışma kontrolü yapılmıştır. Homojenlik için TMR karışımı parçalama işlemi sonrasında yapılmıştır. Yem karma vagon hacminin karıştırma süresi ve homojenlik üzerine etkisi etkileri öncelikle irdelenmiştir. Benzer hacimde vagona

eklenen materyallerin değişen vagon hacimlerinde kıyma ve homojenlik oranları üzerine değişimleri incelenmiştir. Çalışmalarda traktör devri 540 d/dk sabit tutulmuştur. Çalışmalar üç tekrarlı yürütülmüştür.

2.4. Karıştırma Süresi (dakika)

Karıştırma deneyleri 5, 10, 15 ve 20 dakika olmak üzere 4 farklı karıştırma süresinde gerçekleştirilmiştir. Karışım materyali olarak saman ve silaj kullanılmıştır. Her karıştırma süresi sonunda motor kapatılarak karıştırma işlemi durdurulmuştur. Her karıştırma süresi sonunda haznedeki numuneler alınarak, paketlenmiş ve paketler etiketlenmiştir. Alınan örnekler laboratuvar koşullarında açılarak, parça boyutu ölçümleri mm'lik cetveller yardımcıları ile temiz zemin üzerinde yapılmıştır.

2.5. Homojenlik testlerine ilişkin çalışmalar

Homojenlik testleri, TMR yem karışımlarında yem karma makinalarında 20 dakika süre ile yapılan karışım sonrasında alınan örneklerden hesaplanmıştır. Alınan örnekler laboratuvar koşullarında tek tek ayrılarak incelenmiştir. İşletmelerde değişken hayvan sayısına paralel olarak karma yem miktarı değişkenlik gösterdiğinden standart karışım elde etmek amacıyla 50 kg karma yem ilavesi ile karışımlar yapılmış, örnekler alındıktan sonra kalan miktarlar ilave edilerek, işletmelerin rutini bozulmamıştır.

2.6. Parça Boyutunun Belirlenmesi

Araştırmada incelenen karıştırma sürelerinde saman ve silaj materyallerden alınan örneklerin parça boyutları ölçülerek, ölçülen bu değerlerle ortalama parça boyutları ve frekans dağılımları aşağıdaki eşitlik (1) yardımıyla hesaplanmıştır (Demir, 2007).

$$X_{ort} = \frac{\sum f_i \cdot X_i}{\sum f} \quad (1)$$

X_{ort}: Ortalama parçalanmış sap uzunluğu (mm)

X_i: Gruba ait ortalama sap uzunluğu (mm)

f_i: Her bir gruba ait ölçüm yapılan parça sayısı (frekans)(adet)

f: Toplam parça sayısı (toplam frekans)(adet)

2.7. Nem ve Kuru madde İçeriğinin Belirlenmesi

Silajların nem içeriği (ASAE Standarts, 2002)' a göre yapılmıştır. Saman, silaj ve TMR yem rnekleri 103°C, 24 saat etüvde kurutularak hesaplanmıştır.

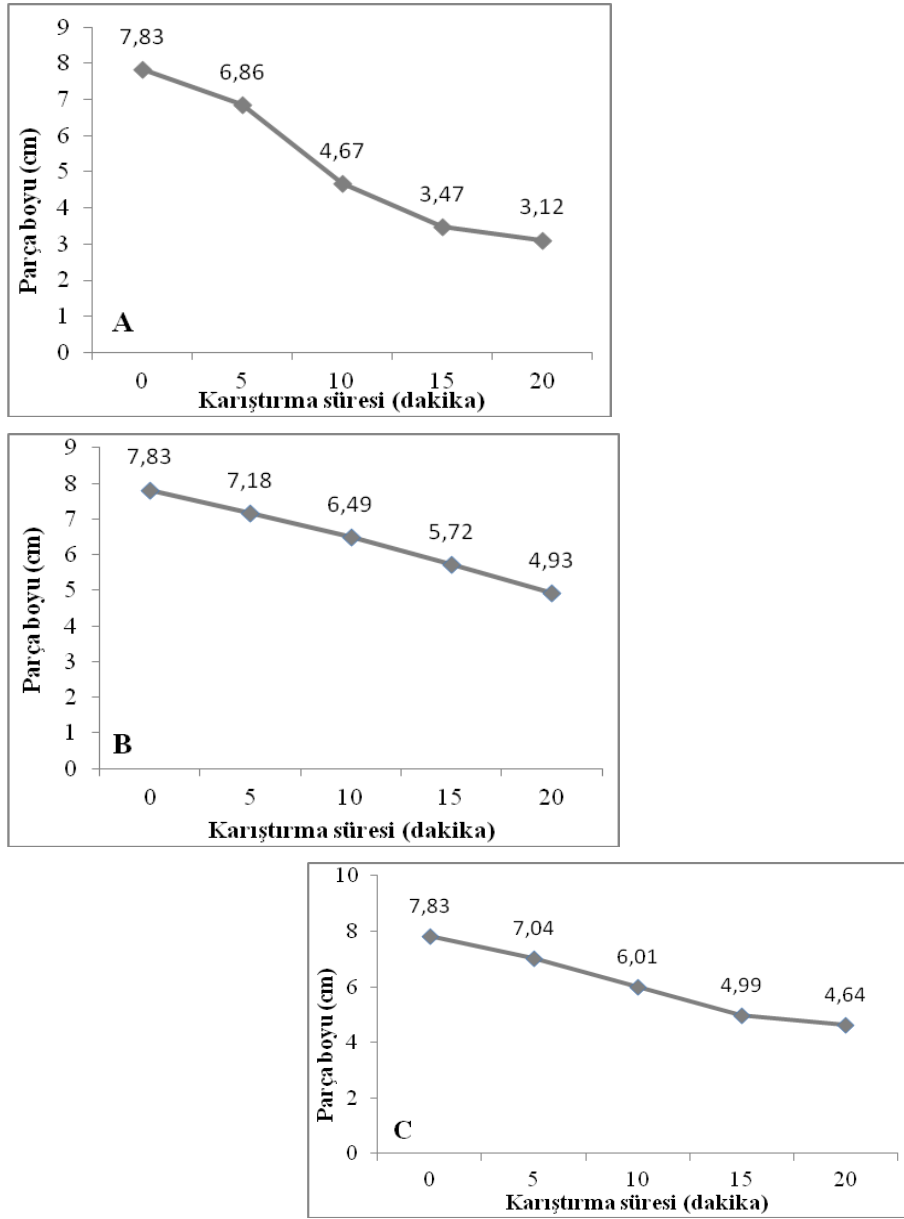
2.8. İstatistiksel Analizler

Araştırmada, incelenen özellikler bakımından yem karma makinaları ve karıştırma süreleri arasındaki farklılıklar, tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği (ANOVA) ile değerlendirilmiştir. Farklı grupların saptanmasında DUNCAN testi kullanılmıştır. Analizler SPSS 18 paket programında yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Parça Boyuna İlişkin Sonuçlar

Denemelerde karıştırma işlemi başlangıcında ele alınan her üç makina için kullanılan saman materyalinin ilk parça boyu 7,83 cm olarak ölçülmüştür. Parça boyunun ortalama uzunluğunun  işletmede benzer olması karışım sürelerine göre parça boyunun değerlendirilmesini daha anlaşılır yapmıştır. Şekil 1' de saman materyaline ilişkin karıştırma sürelerinde elde edilen ortalama parça boyu değişimleri görülmektedir. Tablo 4' de yem karma makinelerinde saman materyalinde karıştırma sürelerine ilişkin ortalama parça boyu analizi verilmiştir.



Şekil 1. Karıştırma sürelerinde A, B ve C yem karma makinalarındaki saman materyalinde parça boyu değişimleri

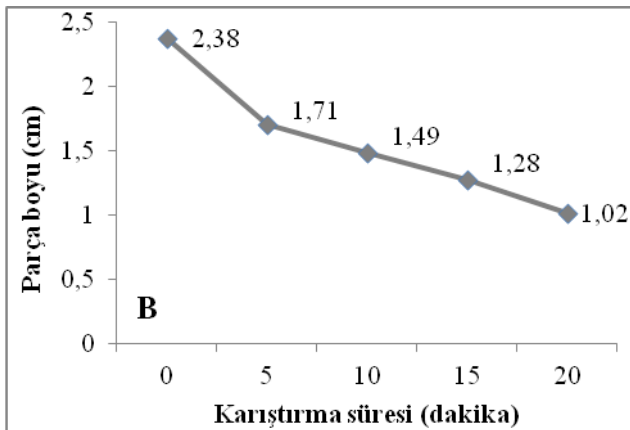
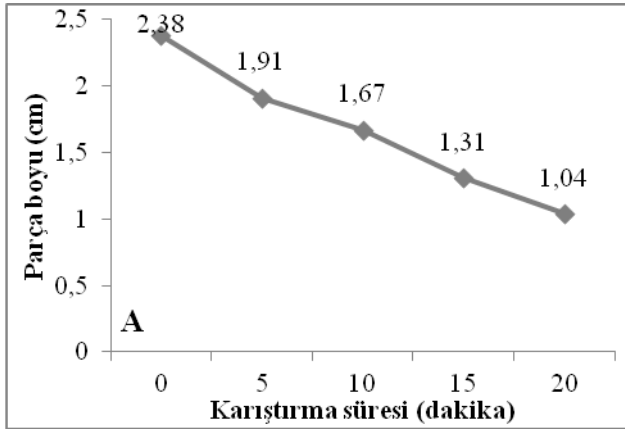
Tablo 4. Yem karma makinelerinde saman için karıştırma sürelerine ilişkin ortalama parça boyu analizi

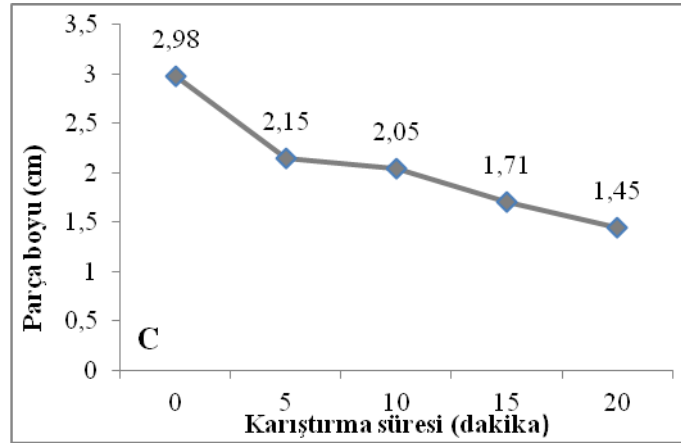
Karıştırma süresi (dk)	A	B	C	Ort.
5	6,88	7,18	7,04	7,03 d
10	4,68	6,49	6,07	5,74 c
15	3,47	5,71	4,98	4,72 b
20	3,12	4,93	4,64	4,23 a
Ort.	4,54 ±1,54 a	6,07±0,87 c	5,68 ±0,98 b	

*: Aynı sütunda farklı harfler arasındaki farklılıklar önemlidir (P<0,05).

Tablo 4'ten görülebileceği gibi karıştırma süreleri artışına bağlı olarak parça boyu azalması her süre için farklı gruplarda yer almış ve istatistik açıdan önemli ($P<0,05$) bulunmuştur. Karıştırma sürelerinde incelenen yem karma makineleri arasındaki farklılık istatistik açıdan bu farklılık önemli ($P<0,05$) bulunmuş ve herbir makina farklı grupta yer almıştır. Samanın parçalanmasında en etkin parçalama boyu A makinasında elde edilirken, sırasıyla C ve B makineleri takip etmiştir. Elde edilen bu bulgulara göre vagon hacminin etkisinin büyük olduğu düşünülmektedir. Farklı yükleme seviyelerinin değişken etkisi olabileceğinden (Costa ve ark., 2019) benzer miktarda yükleme yapılmıştır. Denemede kullanılan makineler eşit vagon haciminde olmadıkları için yatay veya dikey helezonlu tip olmalarına göre bir ayırım yapılamamakla birlikte her iki dikey helezonlu tip makinede (B, C) ortalama parça boyu daha büyük olmuştur.

Şekil 2' de silaj materyaline ilişkin karıştırma sürelerinde elde edilen ortalama parça boyu değişimleri görülmektedir. Tablo 5' de yem karma makinelerinde silaj materyalinde karıştırma sürelerine ilişkin ortalama parça boyu analizi verilmiştir.





Şekil 2. Karıştırma sürelerinde A, B ve C yem karma makinalarındaki silaj materyalinde parça boyu değişimleri

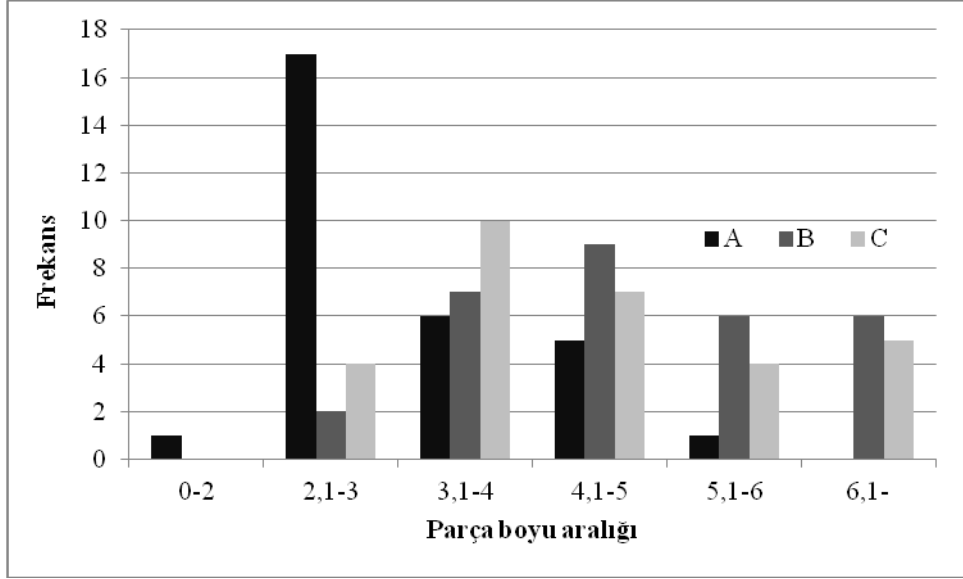
Tablo 5. Yem karma makinelerinde saman materyalinde karıştırma sürelerine ilişkin ortalama parça boyu analizi

Karıştırma süresi (dk)	A	B	C	Ort.
5	1,91	1,71	2,14	1,92 d
10	1,67	1,49	2,04	1,73 c
15	1,31	1,27	1,71	1,43 b
20	1,03	1,02	1,44	1,16 a
Ort.	1,48 ±0,35 b	1,37±0,26 a	1,83 ±0,28 c	
Min.	1,02	1,01	1,44	
Max.	1,92	1,72	2,16	
Makine*Karıştırma süresi		P<0,05		

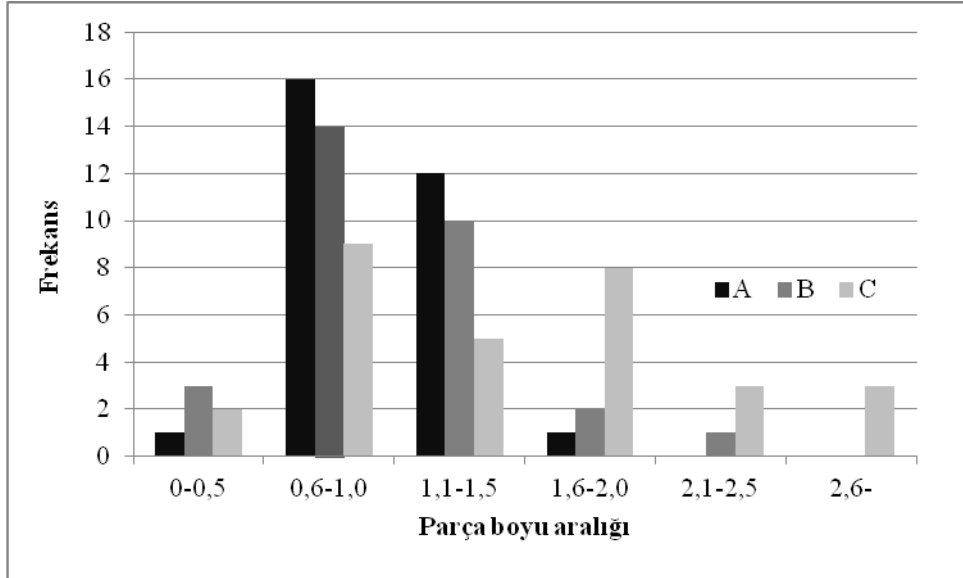
*: Aynı sütunda farklı harfler arasındaki farklılıklar önemlidir (P<0,05).

Tablo 5'ten görülebileceği gibi karıştırma süreleri artışına bağlı olarak parça boyu azalması her süre için farklı gruplarda yer almış ve istatistik açıdan bu farklılık önemli (P<0,05) bulunmuştur. Karıştırma sürelerinde incelenen yem karma makinaları arasındaki farklılık istatistik açıdan önemli (P<0,05) bulunmuş ve herbir makina farklı grupta yer almıştır. Tüm makinalarda karıştırma süreleri arttıkça parça boyutunda azalma meydana gelmiştir. En etkin parçalama boyu A ve B makinasında belirlenmiştir. Materyal boyu ortalama 1,71 ile 2,14 cm arasında değişkenlik göstermiştir. Düşey helezonlu tip B makinasında parça boyunda ortalama %80,1 azalma sağlanırken, C makinasında bu oran %85,51 olmuştur. Bu durum yine vagon hacminin büyük olması ile açıklanabilmektedir. Daniyan ve ark. (2018) tarafından materyallerde 15-20 dakikalık karıştırma süresinin yeterli olduğu bildirilmiş olup, B makinasında saman karışımı için 20 dakika daha uygun olacağı düşünülmektedir. Bunun yanında işletmelerin beslenmede tercihinin göre karışım sürelerini belirlemeleri önerilmektedir. Şekil 3'te 20 dakika karışım sonrası samanın parça boyutlarının frekans dağılımı, Şekil 4'te silaj

materyallerin parça boyutlarının frekans dağılımı verilmiştir. Parça boyu 4,0 cm'den daha küçük kıyma boyutu en iyi A makinasında ve dağılım homojenliğinin %76,6 oranında gerçekleştiği hesaplanmıştır.



Şekil 3. Saman materyalinde frekans dağılımı

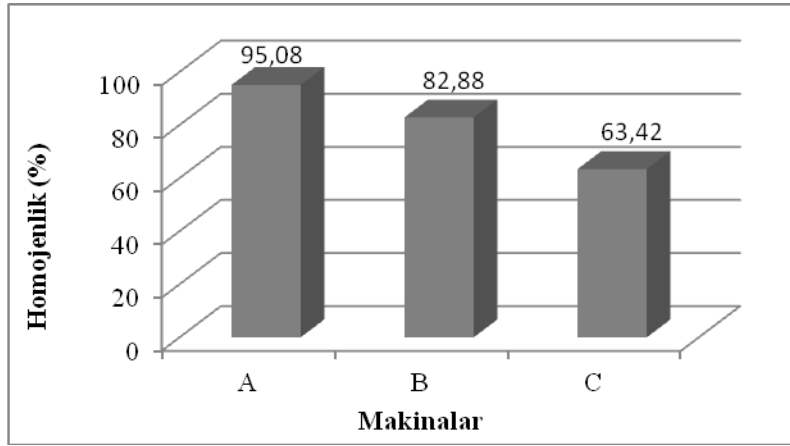


Şekil 4. Silaj materyalinde frekans dağılımı

Silaj materyallerde parça boyu aralıklarının dağılımları incelendiğinde, parça boyu dağılım homojenliğinin A makinasında %92,86 oranında 0,5-1,5 cm aralığında gerçekleştiği hesaplanmıştır. Parça büyüklükleri homojenliği de etkilediğinden ayrıca önem kazanmaktadır (Fahrenheit, 2019). Karıştırma süreleri istenen parça boyu dikkate alınarak seçilmelidir (Amaral-phillips ve ark. 2002), herbir makina için parça boyu dağılım frekansları tabloları yardımı ile belirlenebilmelidir.

Homojenlik Oranına İlişkin Sonuçlar

Başlangıç karışım oranları %100 olarak kabul edilmiş, 20 dakika karışım sonrası alınan örneklerin karışımda bulunma miktarlarına göre değerlendirilmiştir. TMR karışımlarda yapılan saman, silaj ve karma yem karışımlarının homojenlikleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Yem karma makinalarında A makinasında homojenlik oranının yüksek olması hacimin yüksek olmasına bağlanırken, düşey helezonlu tiplerde benzer durum elde edilememiştir. B makinası C makinasına oranla daha düşük vagon hacmine sahip olmasına rağmen homojenlik oranı yüksek (%82,88) olmuştur. Bu durum karışım homojenliğinde etkili diğer faktörlerin de olduğunu göstermektedir.



Şekil 5. Homojenlik oranları

Krolczyk (2016) tarafından homojen karışım için 20 dakika süre "çok iyi" olarak ifade edilmiş, 30 dakikalık süre ve sonrası ise, karışım üzerinde bir farklılık yaratmadığı da belirtilmiştir. Balami ve ark. (2013) tarafından farklı materyaller ile yaptıkları çalışmalarında 20 dakika karıştırma süresinde ortalama %95,31, Makange ve ark. (2016)'ya göre %95,13, Adenigba ve Olalusi (2019) ise, %95,96 homojenlik derecesi elde etmişlerdir. Marczuk ve ark. (2019) yatay helezonlu tip yem karma makineleri ile gerçekleştirdikleri denemelerinde çeşitli yem materyallerinin karıştırılmasında istenen homojenliğin karıştırıcıların yapısal koşullarına bağlı olduğunu belirtmişler ve 13 dakikalık karıştırma süresinde etkin homojenlik değerlerine (%94,13) ulaşabildiklerini belirtmişlerdir. Araştırmamızda kullandığımız yatay helezonlu (A) makinada en yüksek karışım homojenliği %95.08 olarak hesaplanmıştır. Kuhnir ve ark. (2016) karıştırıcı tipinin homojenlik üzerine etkisinin önemli olduğunu vurgulamıştır. Yatay helezonlu tip karıştırıcı modeli (A) homojenlik iyi olmakla birlikte, vagon kapasitesinin diğer makinalara (B ve C) oranla yüksek hacimli olması nedeniyle, karıştırıcı yanında vagon hacmi ile de öne çıktığı düşünülmektedir. Ancak A tipi, B ve C makinaya oranla 10 yıl daha eski bir makinası olması da önemli görülmektedir. Hayvancılık işletmelerinde günde en az iki defa kullanılan makinalar oldukları düşünüldüğünde 10, 13 yaşında makina ile elde edilen performans olumlu olduğu düşünülmektedir.

Sonuç

Küçük kapasiteli yem karma makinalarında karıştırma sürelerinde parça boyu dağılımları oldukça değişkenlik göstermiştir. Karıştırma süreleri incelendiğinde; saman materyalinde 20 dakika karıştırma sonrası başlangıç materyal boyuna oranla; A, B, C makinalarında sırasıyla %60,15, %37,04, %40,74 oranında bir küçülme sağlanırken, silaj materyalde 20 dakika karıştırma sonrası başlangıç materyal boyuna oranla; %56,30, %57,14 ve %51,34 oranında bir küçülme sağlanabilmiştir.

Karıştırma sürelerinin etkinliğinde sadece vagon hacminin etkili olmadığı görülmektedir. Karıştırıcı tipi, bıçak sayısı ve yerleşimleri gibi diğer faktörlerinde etkili olduğu, benzeri koşullarda çalışmaların yapılması da ayrıca önerilmektedir.

Yem karma makinalarında uygulanan karıştırma sürelerinin; işletmeler için istenen parça boyu tercihleri dikkate alınarak belirlenmesi gerekmektedir. Kullanılan her bir makina için parça boyu dağılım frekans tabloları oluşturulmalıdır. Bu verilere dayanarak makinaları ideal karıştırma sürelerine göre kullanabilmeli, gereğinden fazla karıştırma süresi uygulamamalıdır.

Diğer önemli faktör ise karıştırma süresi sonunda yemlerde istenen homojenlik oranının, sadece vagon hacmi ile ilişkili olmadığı, küçük kapasiteli makinalar ile de yüksek homojenlik oranlarına ulaşılabileceği belirlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Görkem Uzunoğlu tarafından tamamlanan yüksek lisans çalışmasının bir bölümüdür. Çalışmaların yürütülmesinde destek ve izinleri için üç hayvancılık işletmesine ayrı ayrı teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynaklar

Adenigba AA., Olalusi AP. Development and evaluation of a fish feed mixer. Department of Agricultural and Bio-Environmental Engineering, Federal Polytechnic Ilaro, Ogun State 2019; 21(3): 226-233.

Akbay CK., Ak İ. Karma yem teknolojisindeki gelişmelerin karma yem kalitesine ve yem değerine etkileri. Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2018; 32(2): 175-188.

Amaral-Phillips DM., Bicudo JR., Turner LW. Feeding your dairy cows a total mixed ration: getting started. Bulletin ID-141A. Cooperative Extension service, College of Agriculture, University of

- Kentucky, Lexington, US. 2002; Erişim adresi:
<http://www2.ca.uky.edu/agcomm/pubs/id/id141a/ID141A.PDF>
- Anonim. Tarım. Hayvan beslemede kullanılan makineler 2016. Erişim adresi:
http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller/Hayvan%20Beslemede%20Kullan%C4%B1lan%20Makineler.pdf. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı: Ankara.
- ASAE Standarts. Moisture measurement - forages. ASAE S358.2. Standards 2002; 565. St. Joseph, MI.
- Balami AA., Adgidzi D., Muazu A. Development and testing of an animal feed mixing machine. *Int. J. Basic Appl. Sci.* 2013; 1(3): 491–503.
- Costa A., Agazzi A., Perricone V., Savoini G., Lazzari M., Nava S., Tangorra M. Influence of different loading levels, cutting and mixing times on total mixed ration (TMR) homogeneity in a vertical mixing wagon during distribution: a case study. *Italian Journal of Animal Science* 2019; 18(1): 1093-1098.
- Daniyan IA., Aderoba AA., Atamunotoru DA., Rominiyi OL. Development and performance of a livestock feed mixer. *MOJ App Bio Biomech* 2018; 2(4): 242-245.
- Demir ON. Anız parçalama makinesinin performans değerlerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 2007; Konya.
- Fahrenheit AC. Best practices: mixing and sampling. *Animal Feed Science and Technology*. Prestage Department of Poultry Science, North Carolina State University, 27695, Raleigh, USA 2019; 250: 51-52.
- Krolczyk JB. The effect of mixing time on the homogeneity of multi-component granular systems. *Transactions of FAMENA*; XL-1 2016; 45-56.
- Makange NR., Parmar RP., Sungwa N. Design and fabrication of an animal feed mixing machine. *Advances in Life Sciences* 2016; 5(9): 3710- 3715.
- Marczuk A., Misztal W., Savinykh P., Turbanov N., Isupov A., Zyryanov D. Improving efficiency of horizontal ribbon mixer by optimizing its constructional and operational parameters. *Eksploatacha Niezawodnosc –Maint. Reliab* 2019; 21: 220-225.
- Pınar Y., Sessiz A. Hayvansal üretim mekanizasyonu. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı No:14, Samsun 1998.
- Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü (TİGEM). 2018 Yılı hayvancılık sektör raporu 2018, s 4-5. Erişim adresi: <https://www.tigem.gov.tr/WebUserFile/DosyaGaleri/2018/2/a374cc25-acc1-44e8-a546-63b4c8bce146/dosya/2018%20YILI%20HAYVANCILIK%20SEKTOR%20RAPORU.pdf>
- TUİK (Türkiye İstatistik Kurumu). Tarımsal alet ve makine istatistikleri 2019, Erişim adresi: <https://www.tuik.gov.tr/>

N-(Sikloheksil (metil) karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid Bileşiğinin Sentezi, Kristal Yapısı, DFT Çalışmaları ve Hirshfeld Yüzey Analizi

Gün BİNZET^{1*}¹Mersin Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, 33343, Mersin¹<https://orcid.org/0000-0002-9601-9528>

*Sorumlu yazar: gunbinzet@mersin.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 18.03.2022

Kabul tarihi:05.05.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

DFT

Sentez

Benzoylthiourea

X-ışını kırınımı

Hirshfeld yüzeyi

Tek kristal yapı analizi

ÖZ

Bu çalışmada, yeni *N*-(sikloheksil(metil)karmotiyoil)-4-nitrobenzamid (**1**) bileşiği iyi verimle sentezlendi ve bileşik ¹H NMR spektroskopik tekniğiyle karakterize edildi. Ayrıca, *N*-sikloheksil(metil)karmotiyoil)-4-nitrobenzamid'in kristal yapısı, X-ışını tek kristal kırınım tekniği ile aydınlatıldı. Monoklinik sistemde kristallenen **1**'in uzay grubu *P*₂₁/*c* olarak tespit edildi. Kristal yapının birim hücre parametreleri *a* = 14,858(4) Å, *b* = 5,0386(14) Å, *c* = 22,336(7) Å ve β = 104,952(8)° olarak belirlendi. *N*-(sikloheksil(metil)karmotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiği için B3LYP/6-311G(d,p) teori seviyesinde gaz fazındaki yoğunluk fonksiyoneli teorisi ile optimize edilmiş yapı deneysel olarak tanımlanmış moleküler yapı ile karşılaştırıldı. Bileşik **1** için HOMO ve LUMO enerjileri ve enerji boşluğu hesaplandı. Bileşiğin HOMO ve LUMO enerji seviyeleri arasında 0,7772 eV'luk bir enerji boşluğunun olduğu tespit edildi. Bu değer, molekülün kimyasal olarak reaksiyona girme eğiliminin yüksek olduğunu ve kararsız olduğunu gösterdi. Moleküller arası etkileşimlerin grafiksel yaklaşımı, Hirshfeld yüzey analizinden elde edildi ve çeşitli etkileşimleri ölçmek için 2D parmak izi çizimleri kullanıldı. Hirshfeld yüzey analizi, yüzey alanına en baskın katkının H...H (%42,10) etkileşimlerinden kaynaklandığı belirlendi.

Synthesis, Crystal Structure, DFT Studies and Hirshfeld Surface Analysis of *N*-(cyclohexyl(methyl)carbamoithioly)-4-nitrobenzamide

Research Article

Article History:

Received: 18.03.2022

Accepted: 05.05.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

DFT

Synthesis

Benzoylthiourea

X-ray diffraction

Hirshfeld surface

Single crystal structure analysis

ABSTRACT

In this study, new *N*-(cyclohexyl(methyl)carbamoithioly)-4-nitrobenzamide (**1**) was synthesized in good yield and the compound was characterized by ¹H NMR spectroscopic technique. In addition, the crystal structure of *N*-(cyclohexyl (methyl)carbamoithioly)-4-nitrobenzamide clarified by the X-ray single crystal diffraction technique. The compound **1** crystallizes into monoclinic system with space group *P*₂₁/*c* symmetry. The unit cell parameters of the crystal structure were determined as *a* = 14.858(4) Å, *b* = 5.0386(14) Å, *c* = 22.336(7) Å and β = 104.952(8)°. Density functional theory optimized structure in the gaseous phase at B3LYP/6-311G(d,p) level of theory has been compared with the experimentally defined molecular structure for *N*-(cyclohexyl(methyl)carbamoithioly)-4-nitrobenzamide compound. The HOMO and LUMO energies and energy gap were calculated for compound **1**. It was determined that there is an energy gap of 0.7772 eV between the HOMO and LUMO energy levels of the compound. This value indicated that the molecule had a high tendency to react chemically and was unstable. The graphical approach of the intermolecular interactions was obtained from the Hirshfeld surface analysis and 2D fingerprint plots was employed to quantifies various interaction. Hirshfeld surface analysis determined that the most dominant contribution to the surface area was due

1. Giriş

Nencki tarafından rapor edilen tiyoüre türevi bileşik sınıfının ilk örneği, *N*-karbamotiyoilasetamid, (CH₃C(O)NHC(S)NH₂), bir yüzyıldan fazla süredir bilinmekte olup (Nencki, 1873), aynı zamanda, CS(C₂H₃O)H₃N₂·2HCl·PtCl₄ stokiometrik oranla bu ligandan türetilen ilk platin kompleksi olarak rapor edilmiştir (Koch, 2001). Kurnakow (1898) tarafından ilk olarak aril ya da alkil süstitüe tiyoüreler ile uzun zamandır bilinen basit ikame edilmemiş tiyoürelerin platin komplekslerinin koordinasyon kimyaları arasında benzerlik olabileceğini rapor edilmiştir. Ancak bu konudaki ilk araştırmalar 1970'li yıllarda Beyer ve ark. tarafından bu bileşik sınıfının geçiş metal iyonları ile yaptıkları kompleks bileşiklerin sentezlenmesiyle başlanmış ve sonrasında son derece zengin koordinasyon kimyaları nedeniyle aktif olarak incelenen bileşik sınıflarından biri olmuştur (Beyer ve ark., 1975; Kirmse ve ark., 1976; Fitzl ve ark., 1977; König ve ark., 1984; Koch ve ark., 1995; Déchamps-Olivier ve ark., 1996; Guillon ve ark., 1996; Richter ve ark., 1997; Koch ve ark., 1999; Reinel ve ark., 2002; Schröder ve ark., 2003; Cornejo ve ark., 2005; Angulo-Cornejo ve ark., 2005; Bruce ve Koch, 2008; Kotzé ve ark., 2017; Nkabyo ve Koch, 2018; Nkabyo ve Koch, 2019; Nkabyo ve ark., 2019).

Benzoiltiyoüre türevi olan tek ve çok dişli *N*-alkil-*N'*-acil(aroil)tiyoüre (H₂L) ve *N,N*-dialkil-*N'*-açil(aroil)tiyoüre (HL) tipi ligandların ilgi çekici özellikleri arasında, genellikle iki aşamalı bir prosedürde, pahalı olmayan ve kolayca temin edilebilen başlangıç reaktiflerden yüksek verimle ve kolay sentezlenmeleri sayılabilir (Douglass ve Dains, 1934a; 1934b). Benzoiltiyoüre türevlerinin koordinasyon kimyasını tek dişli, iki dişli veya üç dişli ligand olarak ilginç kılan, yapılarında N, O ve S güçlü donör atomlarını içermeleridir. Bununla birlikte bu bileşik grubunun, *N'*-açil-tiyoüre veya *N'*-aril-tiyoüre kısımlarının kolayca modifiye edilen alkil/aril (R) grupları içermesinden dolayı sentetik olarak bu bileşik sınıfına pek çok avantaj sağlamaktadır (Kurt ve Mercimek, 2009).

Son yıllarda benzoiltiyoüre türevleri birçok uygulamada çok yönlü ligandlar olarak büyük ilgi görmüştür. Bunun nedeni, farklı modlarda çok çeşitli geçiş metalleri koordine etmelerine izin veren ikili sert donör oksijen/yumuşak donör sülfür atomlarının özelliğinden kaynaklanmaktadır (Koch, 2001; Saeed ve ark., 2014).

Önceki çalışmalarda, tiyoüre türevi bileşiklerin zirâi kimya endüstrisinde herbisitler (Ke ve Xue, 2006), mantar önleyici ajanlar (Pérez ve ark., 2011; Zhang ve ark., 2018) ve böcek büyüme düzenleyicisi (Zade ve ark., 2012) olarak yaygın bir şekilde kullanıldığı bildirilmiştir. Bununla beraber tiyoüre türevleri ve bunların metal komplekslerinin, kanser önleyici (Yaseen ve ark., 2016; Kirishnamaline ve ark., 2020), mikrop önleyici (Nordin ve ark., 2017; Limban ve ark., 2020), bakteri önleyici (Pinheiro ve ark., 2020), sıtma önleyici (Egan ve ark., 2004) ve tüberküloz önleyici (Plutín ve ark., 2015; Gemili ve ark., 2017) gibi ilginç biyolojik aktiviteler gösterdiği de belirlenmiştir (Yang ve

ark., 2012). Birçok çalışma, tiyoüre türevlerinin sadece tıbbi tarım ve uygulamalarında kullanılmadığını, aynı zamanda çevresel ve endüstriyel uygulamalarda da büyük katkılar sağladıklarını ortaya koymuştur. Benzoil tiyoüre türevleri, çeşitli matrislerde bulunan ve eser miktardaki *d* grubu metallerinin çöktürülmesi ve zenginleştirilmesi çalışmalarında özütleyici olarak kullanıldığı saptanmıştır (Ayata ve ark., 2009; Bozkurt ve Merdivan, 2009; Telmore ve ark., 2018). Bunlara ilaveten, çevre kirliliğine sebep olan metallerin nicel ve nitel analizlerinin yapılmasında kullanıldığı tespit edilmiştir. Tiyoüre ve türevlerinin yapısında bulunan kükürt atomu asidik çözeltide kolayca protonlandığından, etkili bir korozyon önleyici ajan olarak değerlendirilmiştir (Gopiraman ve ark., 2012). Ayrıca, tiyoüre bileşikleri, heterosiklik bileşiklerin sentezinde yapı taşları olarak da kullanılmış ve antioksidan görevi gören önemli bir organik bileşik olduğu savunulmuştur (Abosadiya, 2020; Özgeriş, 2021a; Özgeriş, 2021b). Son zamanlarda, çeşitli uygulamalı alanlarda kullanımlarından önce benzoiltiyoüre türevi bileşiklerin topolojisini ve konformasyonel yönlerini araştırmak önem kazanmıştır (Katritzky ve ark., 2009). Bileşiklerdeki molekül içi hidrojen bağının yaygınlığı (Ozer ve ark., 2021) büyük ölçüde kompleksleşme (Ketchemen ve ark., 2021), siklizasyon reaksiyonları (Wilson ve ark., 2010), anyon tanıma (Li ve ark., 2012) ve ilaç tasarımına (Sun ve ark., 2010) yönelik özellikleri belirlenmiştir (Saeed ve ark., 2017). *N*-alkil-*N'*-açil(aroil)tiyoüre (H₂L) ve *N,N*-dialkil-*N'*-açil(aroil)tiyoüre (HL) tipi ligandların kimyası üzerine yapılan çalışmalar, bu iki türün koordinasyonunun belirgin şekilde farklı olduğu tespit edilmiştir. H₂L tipindeki bileşiklerin koordinasyonunda molekül içi hidrojen bağının önemli bir etkisinin olduğu da saptanmıştır.

Bu çalışmada, yeni *N*-(sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiği sentezlendi ve yapısı aydınlatıldı. Bileşiğin moleküler yapısının karakterizasyonu, X-ışını kristalografisi, Hirshfeld yüzey analizi ve DFT yöntemi ile gerçekleştirildi. Sentezlenen bileşiğin reaktivitesini değerlendirmek için sınır moleküler orbitaller ve kimyasal reaktivite tanımlayıcıları incelendi. Moleküler elektrostatik potansiyel (MEP) hesaplandı ve tartışıldı.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kullanılan çözücüler ve kimyasallar

Çalışmada, aseton (Merck-100014211), etanol (J.T. Baker-8025), diklormetan çözücü olarak, *p*-nitrobenzoilchlorür (Acros Organics 150431000), potasyumtiyosiyanat (Merck-1051250250), *N*-metilsikloheksil amin (103322 Sigma-Aldrich) ve hidroklorik asit (VWR-20252335) kimyasal olarak madde sentezinde ve saflaştırma işlemlerinde herhangi bir saflaştırma işlemi uygulanmadan kullanıldı.

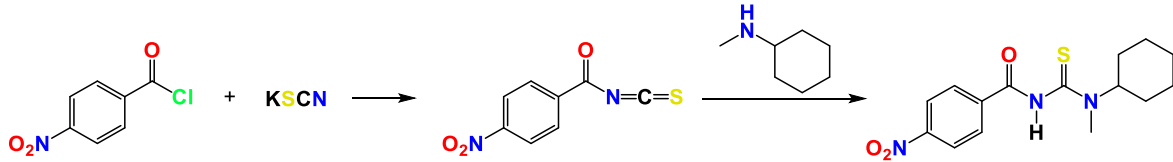
2.2. Kullanılan cihazlar

NMR spektrumu, dahili bir standart olarak tetrametilsilan kullanılarak Bruker Avance III 400 MHz NaNoBay FT-NMR spektrofotometre üzerinde CDCl₃ çözücü içinde kaydedildi. Tek kristal difraksiyon analizi, Bruker APEX-II CCD difraktometresi ile yapıldı.

2.3. Sentez

N-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiği, **1**, Douglass ve Dains tarafından geliştirilen "Tek Damla Sentez Yöntemine" göre sentezlendi ve yapısı aydınlatıldı (Douglass ve Dains, 1934a; 1934b). Sentez, iki aşamada gerçekleştirildi, birinci aşamada 4-nitrobenzoil klorürün (1 mol) asetondaki çözeltilisine potasyum tiyosiyanatın (1.1 mol) asetondaki çözeltilisi ilave edilerek yarım saat geri soğutucu altında karıştırılarak 4-nitrobenzoil izotiyosiyanat bileşiği elde edildi, ikinci aşamada ise ilk aşamada elde edilen 4-nitrobenzoil izotiyosiyanat bileşiğinin üzerine *N*-metilsiklohekzaaminin (1 mol) asetondaki çözeltilisi 15-20 dakika içerisinde damla damla oda sıcaklığında ilave edildi. Karışım iki saat boyunca karıştırdıktan sonra soğuk 0,1 M hidroklorik asit çözeltilisine boşaltıldı. Karışım, belirli bir süre karıştırdıktan sonra oluşan katı ürün sıvısından süzülerek ayrıldı ve kurutuldu. Sonrasında katı ürün etanol:diklorometan (1:1, v:v) karışımında kristallendirilerek *N*-(sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiği elde edildi (şekil 1). Bileşiğin yapısı ¹H NMR spektroskopisi ile aydınlatıldı.

N-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid (**1**): Renk: Beyaz. Verim: 87%. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃, δ , ppm): 8,60 (s, 1H, *N*-H), 8,34 (d, 2H, *Ar*-H), 8,32 (d, 2H, *Ar*-H), 3,09 (s, 3H, *N*-CH₃), 2,01 (t, 2H, *siklo*-CH₂), 1,89 (d, 2H, *siklo*-CH₂), 1,74 (d, 2H, *siklo*-CH₂), 1,61 (s, 1H, *siklo*-CH), 1,54-1,41 (m, 4H, *siklo*-CH₂).



şekil 1. *N*-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiğinin genel sentez şeması.

2.4. X-ışınları tek kristal difraksiyon analizi

N-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiğinin kristalleri etanol:diklorometan (1:1, v:v) karışımında yeniden kristallendirme yöntemi ile elde edildi. X-ışınları tek kristal difraksiyon analizine uygun kristal, polarize mikroskop altında Fomblin Y yağı içerisinde seçildi. BRUKER APEX-II CCD difraktometresi ile kristalin bileşiğin X-ışınları yansıma verileri toplandı. Olex2 (Dolomanov ve ark., 2009) kristalografik paket programı kullanılarak Superflip (Palatinus ve Chapuis, 2007; Palatinus ve Van der Lee, 2008; Palatinus ve E. Ark., 2012) yapı çözüme programı ve Charge Flipping çözüme metodlarının yardımıyla bileşiğin moleküler yapısı aydınlatıldı. Bunlara ek olarak, ShelXL/2013-4 sürümü (Sheldrick, 2015) kullanılarak kristal yapı/modeli iyileştirildi.

2.5. Teorik çalışmalar

N-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiğinin moleküler geometri optimizasyonu ve kuantum kimyasal hesaplamaları Gaussian 16 programı (Frisch ve ark., 2016) kullanılarak yapıldı. Yoğunluk fonksiyonel teorisi ile Becke-3-parametre-Lee-Yang-Parr fonksiyonel (Lee ve ark., 1988; Becke, 1993) seviyeleri için 6-311G(d,p) temel seti tam hesaplamalar için kullanıldı. Sentezlenen bileşiğin reaktivitesini değerlendirmek için sınır moleküler orbitalleri ve kimyasal reaktivite tanımlayıcıları incelendi. Elektrofilik ve nükleofilik bölgeleri belirlemek için moleküler elektrostatik potansiyeli hesaplandı. Hesaplanan parametreleri görselleştirmek için GaussView 6 programı (Dennington ve ark., 2016) kullanıldı. Bileşik **1**'in supramoleküler ağındaki açıklanan kovalent olmayan etkileşimlerin doğasını anlamaya çalışmak için deneysel sonuçları tamamlamak ve bileşiğindeki moleküller arası etkileşimlerin görselleştirilmesini sağlamak için Hirshfeld yüzey analizi yapıldı. Hem Hirshfeld yüzeyi (McKinnon ve ark., 2007; Spackman ve ark., 2009) hem de 2D parmak izi (Spackman ve McKinnon, 2002) grafikleri CrystalExplorer17.5 programı (Spackman ve ark., 2021) kullanılarak oluşturuldu. Yapısal girdi dosyası kristallografik bilgi dosyası (CIF) formatından elde edildi. Hirshfeld yüzeyi, sırasıyla yüzeyin dışındaki ve içindeki en yakın atoma olan mesafeyi gösteren d_e ve d_i ile temsil edildi ve her ikisi de normalleştirilmiş temas mesafesini (d_{norm}) tanımlamak için kullanıldı. d_{norm} 'un görselleştirilmesi için kırmızı-mavi-beyaz renk skalası seçildi.

3. Bulgular ve Tartışma

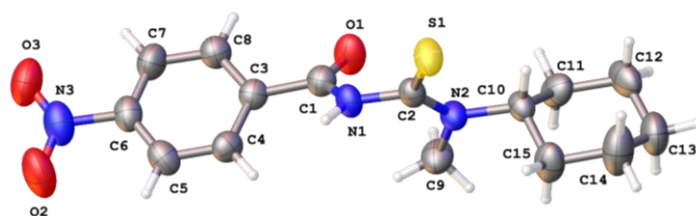
3.1. Spektroskopik çalışmalar

N-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiği iki basamakta sentezlendi, birinci basamakta 4-nitrobenzoil klorürün potasyum tiyosiyanatla tepkitilerek 4-nitrobenzoil izotiyosiyanat bileşiği elde edildi, ikinci basamakta ise bu bileşiğinin üzerine *N*-metilsikloheksaamin eklendi ve sonrasında %87 verimle hedef bileşik elde edildi (**Şekil 1**). Bileşiğin yapısı $CDCl_3$ 'de alınan 1H NMR spektroskopisi ile aydınlatıldı. 1H NMR spektrumu incelendiğinde bu bileşik sınıfı için spesifik olan δ 8,60 ppm'de singlet olarak gözlenen ve bir protona karşılık gelen *N*-H piki, bileşiğin sentezlendiğinin en önemli işaretidir. Bileşiğin yapısındaki aromatik gruba ait pikler δ 8,32 ve 8,34 ppm de ikiye protona karşılık gelen iki ayrı dublet pik olarak gözlemlendi. δ 3,09 ppm'de gözlenen singlet pikin bileşiğin yapısındaki azot atomuna bağlı metil grubuna ait olduğu belirlendi. Sonuç olarak, 1H NMR spektroskopisi ile elde edilen proton sayıları, hem incelenen bileşik için önerilen proton atom sayıları ile hem de literatür ile uyumlu olduğu tespit edildi (Yusof ve ark., 2010; Aydın ve ark., 2012; Mandal ve Ray, 2014).

3.2. Kristal yapı analizi

Bileşik **1**'in X-ışını kırınım analize uygun tek kristali, diklorometan:etanol (1:2, v:v) çözeltisinin yavaş buharlaştırılmasıyla elde edildi. Kristalin bileşiğe ait kırınım verileri Bruker APEX-II CCD difraktometresinde toplanmıştır. 0,71073 Å dalgaboylu MoK α radyasyonu kullanılarak toplam 25013

adet yansıma toplanmış ve toplanmış yansımalarından 2825 adet yansımanın bağımsız olduğu görülmüştür. Matriks veri seti toplanarak kristalin birim hücre boyutları belirlenmiştir. Sonrasında difraksiyon verileri toplanarak kristalin yapısı ilgili paket programları kullanılarak çözümlendi. Elde edilen veriler doğrultusunda bileşiğin yapısının öngörülen yapı ile uyumlu olduğu tespit edildi ve yapısı aydınlatıldı. X-ışını verilerine göre oluşturulan bileşiğin kristal yapısı **Şekil 2**'de verilmiştir. Kristalografik veriler ve iyileştirme parametreleri **Tablo 1**'de, bağ uzunluğu ve bağ açıları da **Tablo 2** ve **3**'te verilmiştir. Bağ uzunlukları ve bağ açıları diğer tiyoüre türevlerinden önemli farklılık gözlenmemiştir (Kavak ve ark., 2009; Aydın ve ark., 2010; Asiri ve ark., 2011; Yamin ve Osman, 2011; Suhud ve ark., 2015; Suhud ve ark., 2017; Okuniewski ve ark., 2017).



Şekil 2. *N*-(Sikloheksil(metil)karbamotiyol)-4-nitrobenzamid bileşiğinin kristal yapısı.

Tablo 1. *N*-(Sikloheksil(metil)karbamotiyol)-4-nitrobenzamid bileşiğine ait kristalografik veriler.

Ampirik formül	C ₁₅ H ₁₉ N ₃ O ₃ S
Molekül ağırlığı	321,39
Sıcaklık (K)	273,15
Kristal sistemi	Monoklinik
Uzay grubu	<i>P</i> 2 ₁ / <i>c</i>
<i>a</i> (Å)	14,858(4)
<i>b</i> (Å)	5,0386(14)
<i>c</i> (Å)	22,336(7)
α (°)	90
β (°)	104,952(8)
γ (°)	90
Hacim (Å ³)	1615,5(8)
<i>Z</i>	4
ρ_{calc} (g/cm ³)	1,321
μ (mm ⁻¹)	0,216
F(000)	680,0
Kristal boyutu (mm ³)	0,35 × 0,35 × 0,05
Radyasyon	MoK α (λ = 0,71073 Å)
Veri toplama 2 θ Aralığı	5,952 - 50,01
İndeks aralığı	-17 ≤ <i>h</i> ≤ 17, -5 ≤ <i>k</i> ≤ 5, -26 ≤ <i>l</i> ≤ 26
Toplam yansıma	25013
Bağımsız yansımalar	2825 [R _{int} = 0,1595, R _{sigma} = 0,0711]
Veri/sınırlamalar/parametreler	2825/0/201
Goof (S)	1,007
Final R Değerleri [<i>I</i> ≥ 2 σ (<i>I</i>)]	R ₁ = 0,0585, wR ₂ = 0,1223
Final R Değerleri	R ₁ = 0,1263, wR ₂ = 0,1518
En büyük fark pik/çukur/ (e.Å ⁻³)	0,24/-0,32
CCDC	2161186

N-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiğinin yapısındaki karbonil (C=O) grubunun bağ uzunluğu 1,209(4) Å, tiyokarbonil (C=S) grubunun bağ uzunluğu 1,683(4) Å olarak belirlenmiş ve hem karbonil grubuna ait hem de tiyokarbonil grubuna ait bağ uzunluklarının tipik çift bağ karakterinde (C=O: 1,21 Å; C=S: 1,67 Å) olduğu saptanmıştır (Kavak ve ark., 2009; Aydın ve ark., 2010; Asiri ve ark., 2011; Yamin ve Osman, 2011; Suhud ve ark., 2015; Suhud ve ark., 2017; Okuniewski ve ark., 2017). Bununla birlikte, incelenen moleküller için amit ve tiyoamid arasında gözlenen molekül merkezindeki C-N grupları için bağ uzunlukları, C1-N1, N1-C2 ve C2-N2 sırasıyla 1,387(4), 1,404(4), ve 1,324(4) Å olarak tespit edilmiştir. Tüm C-N gruplarının bağ uzunluklarının 1,48 Å olan ortalama tek bağ uzunluğundan daha kısa 1,25 Å olan çift bağ uzunluğundan daha uzun olduğu bulunmuştur. Bu da molekülün bu kısmında bir rezonansın etkisinin olduğunu doğrulamıştır (Wei ve ark., 2018).

Sikloheksan halkası (C10-C15) içindeki bağ uzunlukları, beklenen uzunluklardadır (C10-C11 = 1,525(5), C11-C12 = 1,520(5), C12-C13 = 1,517(6), C13-C14 = 1,503(6), C14-C15 = 1,529(5), C10-C15 = 1,510(5) Å) (**Tablo 2**). Sikloheksan halkasındaki (C10-C15) bağ açıları 109,9(3) ile 112,1(3)° aralığındadır ve elde edilen bu bağ açısı değerleri literatür değerleri ile uyumludur (**Tablo 3**) (Ozer ve ark., 2021).

Bileşiğin moleküler yapısındaki N2 atomunun çevresindeki C2-N2-C9 açısı 123,2(3)°, C2-N2-C10 açısı 120,2(3)° ve C9-N2-C10 açısı da 116,2(3)°'dir ve bu açılar toplamı ise 359,6(9)°'dir. Bu bilgileden yola çıkarak N2 atomunun sp^2 hibritleşmesi yaptığı söylenebilir (**Tablo 3**).

Tablo 2. *N*-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiğinin bağ uzunlukları.

Atom	Atom	Bağ Uzunluğu (Å)	Atom	Atom	Bağ Uzunluğu (Å)
S1	C2	1,683(4)	C3	C8	1,388(5)
O1	C1	1,209(4)	C4	C5	1,385(5)
N1	C1	1,387(4)	C5	C6	1,373(5)
N1	C2	1,404(4)	C6	C7	1,363(5)
C1	C3	1,490(5)	C7	C8	1,384(5)
O2	N3	1,221(4)	C10	C11	1,525(5)
N2	C2	1,324(4)	C10	C15	1,510(5)
N2	C9	1,462(4)	C11	C12	1,520(5)
N2	C10	1,487(4)	C12	C13	1,517(6)
O3	N3	1,221(4)	C13	C14	1,503(6)
N3	C6	1,495(5)	C14	C15	1,529(5)
C3	C4	1,376(5)			

Tablo 3. *N*-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiğinin bağ açıları.

Atom	Atom	Atom	Bağ Açısı (°)	Atom	Atom	Atom	Bağ Açısı (°)
C1	N1	C2	124,9(3)	C3	C4	C5	121,2(3)
O1	C1	N1	122,8(3)	C6	C5	C4	117,1(4)
O1	C1	C3	123,4(3)	C5	C6	N3	118,3(4)
N1	C1	C3	113,7(3)	C7	C6	N3	118,1(4)
C2	N2	C9	123,2(3)	C7	C6	C5	123,5(4)
C2	N2	C10	120,2(3)	C6	C7	C8	118,5(4)
C9	N2	C10	116,2(3)	C7	C8	C3	119,8(4)
N1	C2	S1	117,2(3)	N2	C10	C11	112,4(3)
N2	C2	S1	125,8(3)	N2	C10	C15	111,1(3)
N2	C2	N1	116,9(3)	C15	C10	C11	111,5(3)
O2	N3	C6	117,0(4)	C12	C11	C10	109,9(3)
O3	N3	O2	124,6(4)	C13	C12	C11	112,1(3)
O3	N3	C6	118,4(4)	C14	C13	C12	111,2(4)
C4	C3	C1	122,3(3)	C13	C14	C15	111,6(4)
C4	C3	C8	119,8(3)	C10	C15	C14	110,0(3)
C8	C3	C1	117,9(3)				

Tablo 4. *N*-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiğine ait torsiyon açıları.

Atom	Atom	Atom	Atom	Torsiyon Açısı (°)	Atom	Atom	Atom	Atom	Torsiyon Açısı (°)
O1	C1	C3	C4	147,3(4)	C3	C4	C5	C6	-1,0(5)
O1	C1	C3	C8	-32,4(5)	C4	C3	C8	C7	2,7(5)
N1	C1	C3	C4	-33,4(5)	C4	C5	C6	N3	-177,8(3)
N1	C1	C3	C8	146,9(3)	C4	C5	C6	C7	2,0(6)
C1	N1	C2	S1	125,3(3)	C5	C6	C7	C8	-0,6(6)
C1	N1	C2	N2	-56,8(5)	C6	C7	C8	C3	-1,8(6)
C1	C3	C4	C5	179,0(3)	C8	C3	C4	C5	-1,3(5)
C1	C3	C8	C7	-177,6(3)	C9	N2	C2	S1	167,5(3)
O2	N3	C6	C5	-6,6(5)	C9	N2	C2	N1	-10,2(5)
O2	N3	C6	C7	173,6(4)	C9	N2	C10	C11	48,6(4)
N2	C10	C11	C12	177,7(3)	C9	N2	C10	C15	-77,1(4)
N2	C10	C15	C14	-176,4(3)	C10	N2	C2	S1	-5,0(5)
C2	N1	C1	O1	0,6(6)	C10	N2	C2	N1	177,3(3)
C2	N1	C1	C3	-178,7(3)	C10	C11	C12	C13	55,0(4)
C2	N2	C10	C11	-138,4(3)	C11	C10	C15	C14	57,4(5)
C2	N2	C10	C15	96,0(4)	C11	C12	C13	C14	-54,8(5)
O3	N3	C6	C5	174,7(4)	C12	C13	C14	C15	55,0(6)
O3	N3	C6	C7	-5,0(5)	C13	C14	C15	C10	-56,5(5)
N3	C6	C7	C8	179,1(3)	C15	C10	C11	C12	-56,8(4)

N-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiğine ait torsiyon açıları **Tablo 4**'de verilmiştir. Torsiyon açıları incelendiğinde bileşiğin konformasyonun *trans* konumunda olduğu, karbonil ve tiyokarbonil grupları göz önünde bulundurulduğunda bileşikte bir bükülme olduğu belirlenmiştir (C1-N1-C2-S1 = 125,3(3)°, C2-N1-C1-O1 = 0,6(6)°).

Kristaldeki molekül içi ve moleküller arası etkileşimler incelendiği zaman moleküller içi C7-H7...O3 ve N1-H1...S1 hidrojen bağlarının olduğu tespit edilmiştir. Bu bağ sonucunda yapıda düzlemsel altı halkalı bir yapının oluştuğu gözlenmiştir. Bu hidrojen bağlarına ait bağ uzunluk ve açı değerleri de **Tablo 5**'de gösterilmiştir.

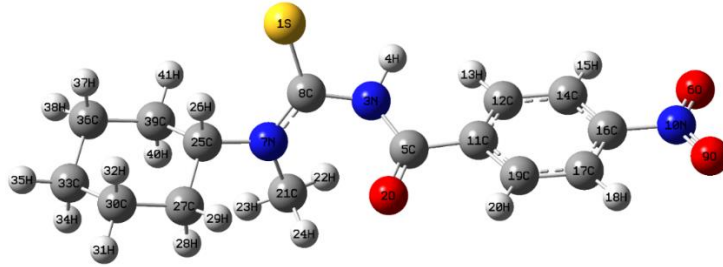
Tablo 5. *N*-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiğinin molekül içi ve moleküller arası etkileşimleri.

Donor-H...Akseptor	D-H (Å)	H...A (Å)	D...A (Å)	∠ D-H...A (°)	Simetri
N1-H1...S1	0,86	2,86	3,472(3)	130	1-x, -y, 1-z
C7-H7...O3	0,93	2,55	3,405(6)	152	2-x, -y, 1-z
C9-H9A...N1	0,96	2,42	2,769(5)	152	x, y, z
C9-H9C...O1	0,96	2,48	2,912(5)	101	-
C10-H10...O4	0,98	2,56	3,061(4)	111	-

3.3. Teorik çalışmalar

3.3.1. DFT

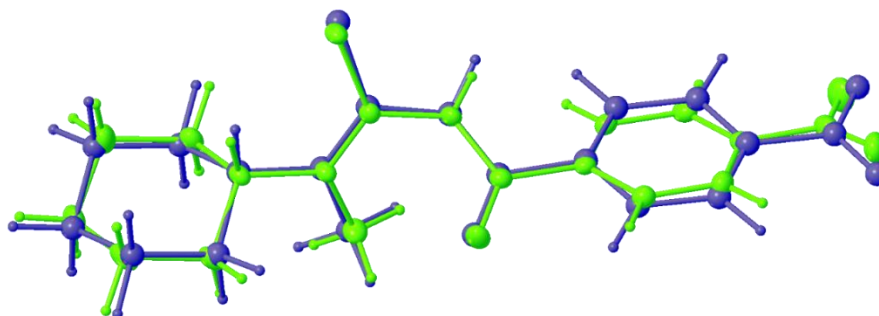
N-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiğinin X-ışınları yapı analizinden deneysel olarak elde edilen ve DFT/B3LYP/6-311G(d,p) ile teorik olarak optimize edilen molekülle ait bağ uzunlukları ve bağ açıları sırasıyla **Tablo 6** ve **7**'de verilmiştir. Elde edilen teorik ve deneysel parametreler oldukça az fark vardır; bu farkın, teorik hesaplamanın gaz fazında izole edilmiş bir molekül üzerinde gerçekleştirildiği, buna karşın deneysel parametrelerinin katı fazdaki moleküller üzerinde hesaplandığı gerçeğiyle açıklanabilir (**Şekil 3**). Buna ilaveten, deneysel olarak elde edilen X-ışınları tek kristal difraksiyonu verilerinde moleküldeki intermoleküller ve intramoleküller etkileşimlerin de sonuçları etkilediği söylenebilir.



Şekil 3. *N*-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid B3LYP/6-311G(d,p) seviyesinde elde edilen optimize edilmiş geometrik yapısı.

Şekil 4'de *N*-(sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiğinin deneysel olarak X-ışını kırınım tekniğiyle belirlenen geometri ile teorik olarak DFT/B3LYP/6-311G(d,p) temel setiyle optimize edilen geometriler örtüştürülmüş ve RMS değeri, B3LYP/6-311G(d,p) seviyesi için 0,374 Å olarak bulunmuştur. Elde edilen veriler teorik yapı ile deneysel yapının birbirleriyle uyumlu olduğu göstermiştir (**Şekil 4**). Yapılan bağ uzunluğu ve bağ açısı hesaplamalarında korelasyon B3LYP/6-311G(d,p) teori düzeyinde hesaplanmış ve bağ uzunluğu hesaplamalarında korelasyon, $r = 0,9954$, bağ açısı hesaplamalarında ise $r = 0,9865$ olarak elde edilmiştir. Deneysel ve teorik bağ uzunlukları arasındaki maksimum fark 0,032 Å olarak C33-C36 atomları arasında, bağ açıları arasındaki maksimum fark ise 1,81° olarak O2-C5-C11 atomları arasında belirlenmiştir. Sonuç olarak yapılan hesaplamalarda hata payının oldukça az olması DFT/B3LYP/6-311G(d,p) metodunun yapılacak

benzer çalışmalarda benzoiltiyoüre türevi bileşikler için moleküler geometrilerinin üç boyutlu yapısının karakterizasyonunda kullanılabilir olduğunu göstermiştir.



Şekil 4. *N*-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiğinin X-ışınları kırınımı (yeşil) ile B3LYP/6-311G(d,p) düzeyinde elde edilen (mavi) geometrilerinin üst üste örtüşmesini gösteren çizimi.

Tablo 6. *N*-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiğinin deneysel ve teorik bağ uzunluğu.

Bağ uzunluğu	Deneysel (XRD) (Å)	B3LYP/6-311G(d,p) (Å)
S1-C8	1,683	1,681
O2-C5	1,209	1,214
N3-C5	1,387	1,394
N3-C8	1,404	1,420
C5-C11	1,490	1,506
O6-N10	1,221	1,223
N7-C8	1,324	1,342
N7-C21	1,462	1,466
N7-C25	1,487	1,482
O9-N10	1,221	1,222
N10-C16	1,495	1,483
C11-C12	1,376	1,400
C11-C19	1,388	1,399
C12-C14	1,385	1,390
C14-C16	1,373	1,389
C16-C17	1,363	1,391
C17-C19	1,384	1,387
C25-C27	1,525	1,537
C25-C39	1,510	1,537
C27-C30	1,520	1,537
C30-C33	1,517	1,535
C33-C36	1,503	1,535
C36-C39	1,529	1,537
<i>r</i>		0,9954

Tablo 7. *N*-(Sikloheksil(metil)karbamotiyol)-4-nitrobenzamid bileşığının deneysel ve teorik bağ açıları.

Bağ açısı	Deneysel (XRD) (°)	B3LYP/6-311G(d,p) (°)
C5-N3-C8	124,90	124,53
O2-C5-N3	122,80	123,71
O2-C5-C11	123,40	121,59
N3-C5-C11	113,70	114,70
C8-N7-C21	123,20	122,65
C8-N7-C25	120,20	120,05
C21-N7-C25	116,20	117,12
S1-C8-N3	117,20	116,95
S1-C8-N7	125,80	126,61
N3-C8-N7	116,90	116,42
O6-N10-O9	124,60	125,14
N3-C8-N7	116,90	116,42
O6-N10-O9	124,60	125,14
O6-N10-C16	117,00	117,44
O9-N10-C16	118,40	117,42
C5-C11-C12	122,30	123,34
C5-C11-C19	117,90	117,00
C12-C11-C19	119,80	119,63
C11-C12-C14	121,20	120,41
C12-C14-C16	117,10	118,61
N10-C16-C14	118,30	118,80
N10-C16-C17	118,10	118,98
C14-C16-C17	123,50	122,23
C16-C17-C19	118,50	118,59
C11-C19-C17	119,80	120,52
N7-C25-C27	112,40	111,67
N7-C25-C39	111,10	112,01
C27-C25-C39	111,50	112,00
C25-C27-C30	109,90	110,18
C27-C30-C33	112,10	111,59
C30-C33-C36	111,20	111,37
C33-C36-C39	111,60	111,74
C25-C39-C36	110,00	110,54
<i>r</i>		0,9865

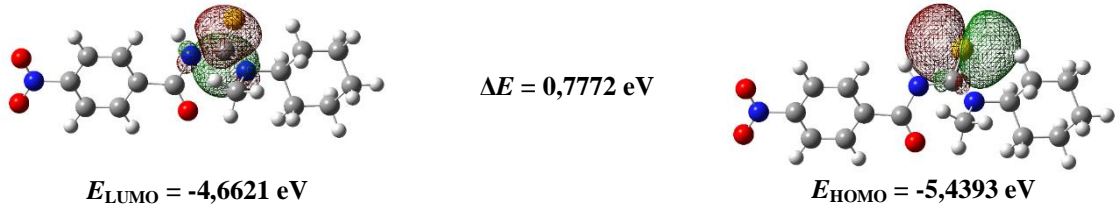
Sentezlenen bileşığın kimyasal özellikleri hakkında, hesaplanan global enerji tanımlayıcıları (enerji değerleri ve kuantum moleküler tanımlayıcıları) ile bilgi edinebiliriz. Bunun için DFT/B3LYP/6-311G(d,p) platformu kullanılarak kuantum mekaniksel moleküler enerji verileri elde edilmiştir (**Tablo 8**).

Tablo 8. *N*-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşığının hesaplanan enerji değerleri ve kuantum moleküler tanımlayıcıları

Parametre	Değer
SCF enerjisi (a.u.)	-1371,37
Toplam enerji (Termal) E_{total} (kcal/mol)	222,17
Isı kapasitesi, C_v (cal/mol.K)	77,608
Titreşim enerjisi, E_{vib} (kcal/mol)	220,389
Sıfır noktası titreşim enerjisi, E^0 (kcal/mol)	209,390
Entropi (cal/mol.K)	
Öteleme	43,196
Dönme	35,202
Titreşim	75,110
Toplam	153,507
Dönme sabitleri (GHz)	
A	0,87976
B	0,08576
C	0,08239
Dipol moment (Debye)	
μ_x	3,7773
μ_y	-1,6241
μ_z	2,9101
μ_{Total}	5,0372
LUMO enerjisi (eV)	-4,6621
HOMO enerjisi (eV)	-5,4393
Enerji boşluğu (eV)	0,7772
İyonlaşma potansiyeli (eV)	5,4393
Elektron İlgisi (eV)	4,6621
Kimyasal sertlik (eV)	0,3886
Küresel yumuşaklık (1/eV)	1,2867
Elektronegativite (eV)	5,0507
Kimyasal potansiyel (eV)	-5,0507
Elektrofiliklik (eV)	32,8243

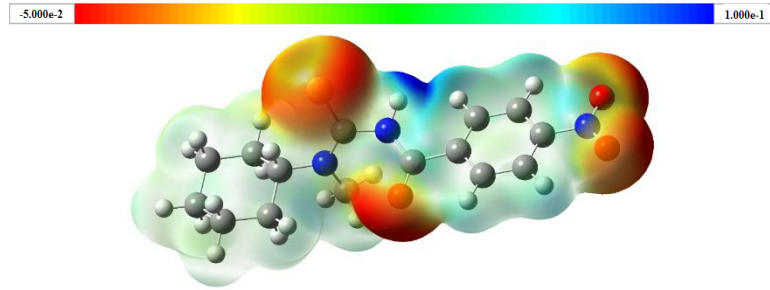
Çalışmada *N*-(sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşığının en yüksek dolu moleküler orbitali ile en düşük boş moleküler orbitalinin, yani sınır moleküler orbitallerinin enerjileri hesaplandı. Sınır orbitalleri arasındaki enerji farkı, bileşığın kararlılığını ve ayrıca çözelti içinde ürettikleri renklere öngörmek amacıyla değerlendirilir. Bununla beraber, molekülün kimyasal reaksiyona girme eğilimi ve kimyasal kararlılığı ile ilgili bilgi vermektedir. Sınır orbitaleri arasındaki enerji farkının az olması durumunda, molekülün daha kolay polarize olacağı ve böylece molekülün kimyasal reaksiyona girme eğiliminin artacağı beklenmektedir (Tan ve ark., 2019; Abosadiya ve ark., 2019; Nkabyo ve Olaoye, 2020; Ashfaq ve ark., 2021).

Moleküllerin sahip olduğu enerji değerleri moleküllerin sert veya yumuşak olmasına göre değiştiği saptanmış, yumuşak moleküllerin sert moleküllere kıyasla genelde daha düşük enerji değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir (Temel ve Alaşalvar, 2018). Bu durumda yumuşak moleküllerin sert moleküllere oranla daha reaktif oldukları, sahip oldukları elektronları kolay bir şekilde diğer molekülle verme eğilimlerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir (Akın ve ark., 2018). **Şekil 5**'de *N*-(sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşığının sınır orbitalleri enerji boşluğu ile beraber gösterilmiştir. Bileşığın kimyasal olarak daha reaktif ve kararsız olduğu, sınır orbitaleri arasındaki enerji boşluğunun değerinin (ΔE) 0,7772 eV olduğundan anlaşılmıştır.

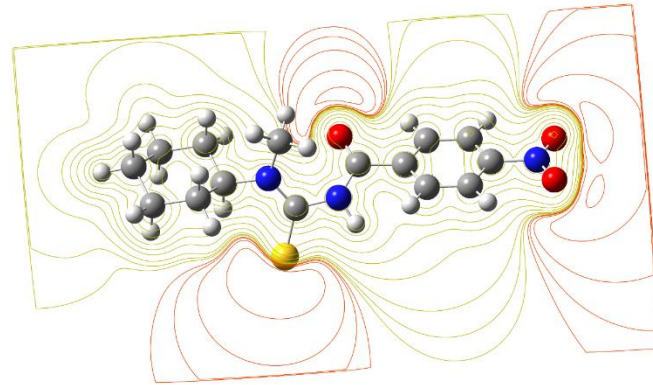


Şekil 5. *N*-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoi)-4-nitrobenzamid bileşiğinin HOMO-LUMO orbitalleri, enerji seviyeleri ve enerji boşluğu.

Elektrostatik potansiyelin dağılımı, nükleofilik türlerle etkileşim için en olası bölgelerin görsel olarak değerlendirilmesine izin verir. Bileşiğin moleküler elektrostatik potansiyel haritası (**Şekil 6**) ve kontur haritası (**Şekil 7**) DFT/B3LYP/6-311G(d,p) seviyesinde hesap edilmiştir (Chermette ve Comput, 1999). Haritalar incelendiğinde, bileşiğin pozitif yüklere sahip olduğu yani hidrojen atomlarının bulunduğu bölgelerin mavi renkle, negative yüklere sahip olduğu yani oksijen ve kükürt atomlarının olduğu bölgelerin de kırmızı renkle elde edildiği ve haritalandığı gözlenmiştir. Bu durumun bileşiğin optimize geometrisi ile elde edilen verilerin diğer hesaplama sonuçlarıyla uyumlu olduğu belirlenmiştir.



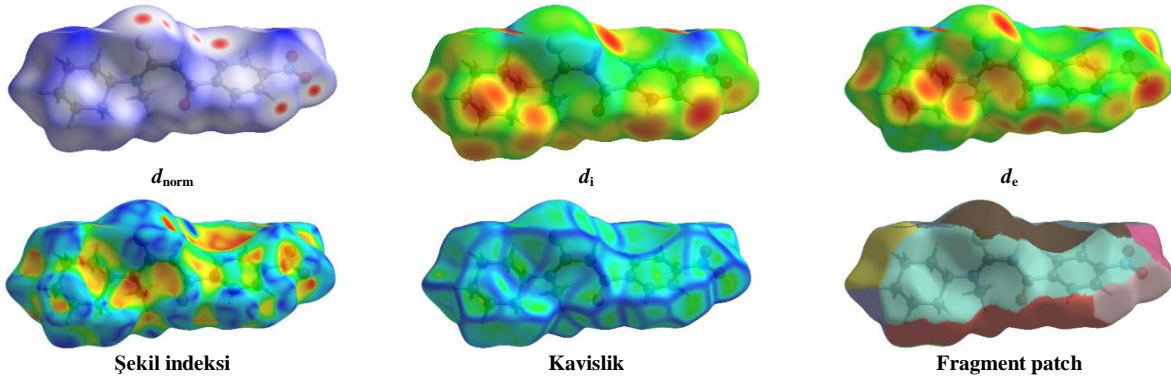
Şekil 6. *N*-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoi)-4-nitrobenzamid bileşiğinin moleküler elektrostatik potansiyel haritası.



Şekil 7. *N*-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoi)-4-nitrobenzamid bileşiğinin kontur haritasına haritası.

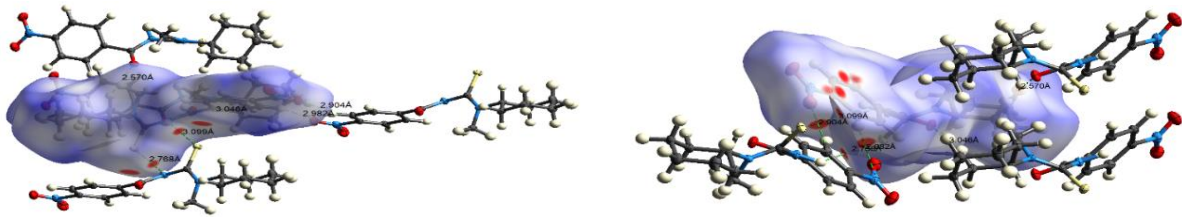
3.3.2. Hirshfeld Yüzey Analizi

Hirshfeld Yüzey Analizi, bir kristal yapı içindeki molekül içi veya moleküller arası tüm temasların grafiksel olarak incelenmesi ve ayrıca ayrıntılı nicel bilgi sağlanması için yeni bir yaklaşımdır (McKinnon ve ark., 2007; Spackman ve Jayatilaka, 2009). Bu çalışmada *N*-(sikloheksil(metil)karbamotiyol)-4-nitrobenzamid bileşiğindeki kristal örgüsündeki moleküllerin paketlenmesinin doğasını anlamak ve moleküldeki tüm etkileşimleri teyit etmek amacıyla Crystal Explorer17.5 programı (Spackman ve ark., 2021) ile kristale ait kristalografik bilgi dosyası kullanılarak Hirshfeld yüzey analizi yapıldı ve böylece moleküller arası ve molekül içi tüm etkileşimler görselleştirildi (Spackman ve McKinnon, 2002; McKinnon ve ark., 2007; Spackman ve Jayatilaka, 2009). Tüm moleküller arası temaslar, molekülün etrafında 3,8 Å yarıçaplı küme içerisinde B3LYP/6-311G(d,p) teori seviyesinde moleküler dalga fonksiyonu ile hesaplandı. Analiz sonucunda, normalize temas mesafeli (d_{norm}) Hirshfeld yüzeyi (McKinnon ve ark., 2007; Spackman ve Jayatilaka, 2009), 2D parmak izi grafikleri (Spackman ve McKinnon, 2002) Hirshfeld yüzeyine katkıda bulunan etkileşimler yüzde oranlarıyla birlikte elde edildi. **Şekil 8**'de incelenen bileşiğin, değişik moleküller arası etkileşimlerine ait karakteristik özellikleri renk kodlama mesaseleriyle haritalanmış normalize temas mesafeli Hirshfeld yüzeyi, (d_{norm}), Hirshfeld yüzeyinden yüzeyin dışındaki en yakın çekirdeğe olan uzaklık (d_e) yüzeyin içindeki en yakın çekirdeğe karşılık gelen uzaklık (d_i), şekil indeksi, kavislik ve Fragment patch yüzeyleri gösterilmektedir. Normalize temas mesafesi, (d_{norm}), moleküller arası hidrojen bağlarının bulunduğu bölgeleri kırmızı, beyaz ve mavi renkleriyle belirlemede kullanılır ve d_{norm} , atomun van der waals (vdw) yarıçapına, d_e ve d_i değerlerine bağlıdır. d_{norm} haritasında Van der Waals yarıçaplarından daha kısa (yakın temasta, pozitif değer alır) ve Van der Waals yarıçaplarından (uzak temasta, negative değer alır) daha uzun olan temaslar sırasıyla kırmızı ve mavi yüzeyler olarak, ayrıca Van der Waals yarıçaplarının toplamına eşit mesafeler de beyaz yüzeyler olarak gösterilir (McKinnon ve ark., 2007; Spackman ve Jayatilaka, 2009; Spackman ve McKinnon, 2002). Yüzeye dış mesafe, d_e , bir yüzey ile komşu çekirdeğe olan mesafeyi ölçerken, yüzeye iç mesafe d_i , bir yüzey ile molekülün kendisindeki en yakın atom arasındaki mesafeyi ölçer. 3D d_{norm} yüzeyleri, standart (yüksek) yüzey çözünürlüğü ile -0,079 ile 1,290 Å renk skalasıyla çizildi. Şekil indeksi haritalarında alıcı ve verici gruplar sırasıyla kırmızı ve mavi bölgelerle temsil edilir. Şekil indeksi haritasındaki bitişik kırmızı ve mavi üçgenler, komplekslerin kristal yapılarında aromatik halkalar arasında π - π istiflenmesinden kaynaklanan etkileşimlerin varlığını doğrulamaktadır. Kavislik haritasında moleküldeki düzlemsel yüzey alanı yeşil renkli bölgeler ile temsil edilirken, moleküldeki kavislenmeler mavi bölgeler ile temsil edilmektedir.



Şekil 8. *N*-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiği için d_{norm} , d_e , d_i , Şekil indeksi, Kavislik ve Fragment patch ile haritalanmış Hirshfeld yüzeyleri.

Hesaplanan moleküler Hirshfeld yüzey alanı, $396,85 \text{ \AA}^3$ hacmini kapsayan $352,85 \text{ \AA}^2$ 'dir. Diğer hesaplanan şekil tanımlayıcıları, küresellik $G = 0,740$ ve asferisite $\Omega = 0,403$ 'dür. Asferisite terimi yapısal anizotropinin bir ölçüsüdür ve küresellik <1 olarak bulunur, bu da moleküler yüzeyin daha yapılandırılmış olduğunu gösterir. Hirshfeld yüzeyinde (d_{norm}) gözlenen kırmızı noktalar renk konsantrasyonuna göre bağ kuvvetleri hakkında bilgi vermektedir, koyu kırmızı noktalar açık kırmızı noktalara göre daha kuvvetli hidrojen bağlarını göstermektedir. **Şekil 9**'daki *N*-(sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiğinin moleküller arası temas bölgelerini gösteren d_{norm} haritasındaki kırmızı bölgeler incelendiğinde, C-H \cdots O ve N-H \cdots S kontaklarına katılan oksijen ve kükürt atomlarının çevresinde belirgin olduğu tespit edilmiştir.

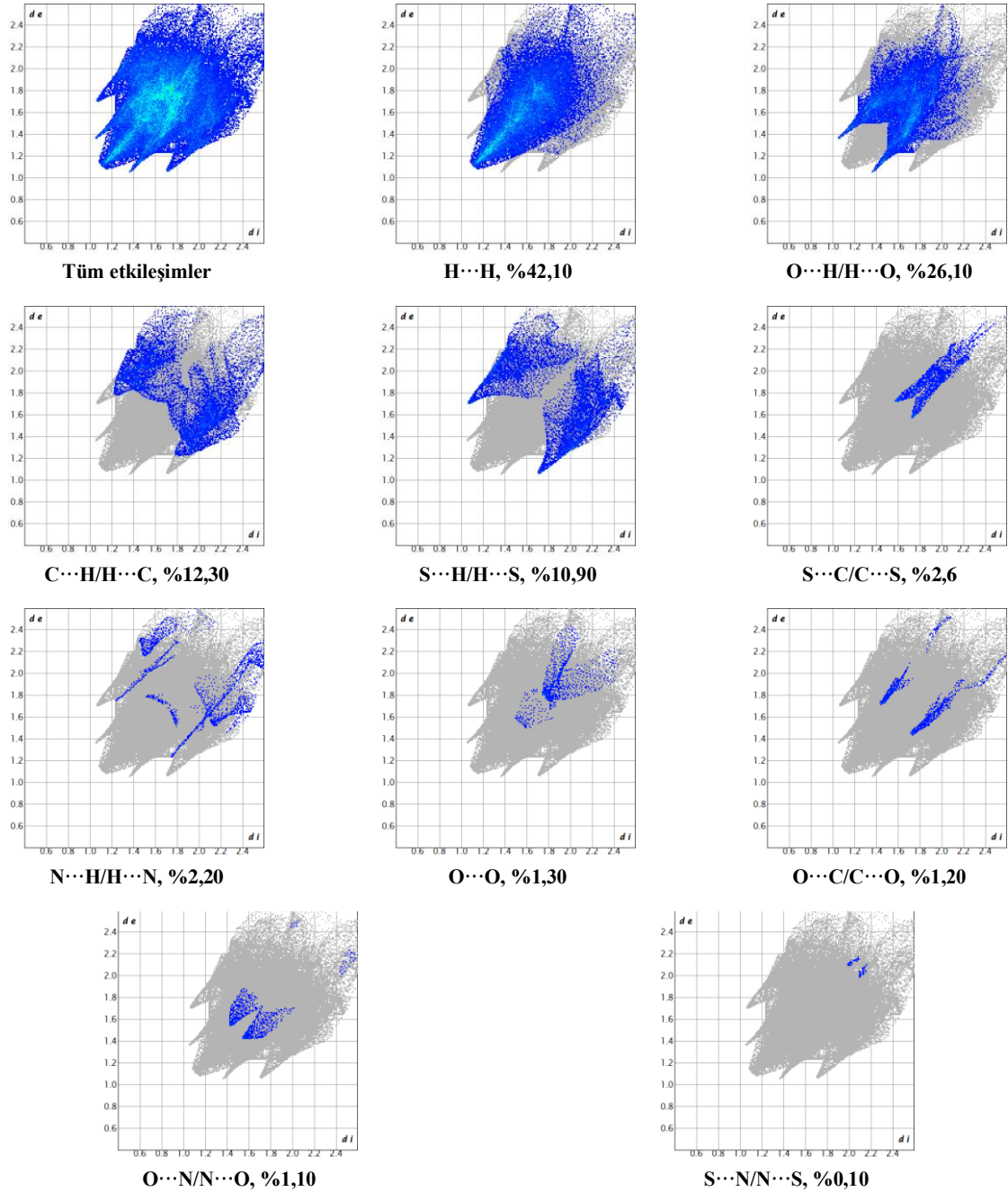


Şekil 9. *N*-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiğinin moleküller arası temas bölgelerini gösteren d_{norm} haritası.

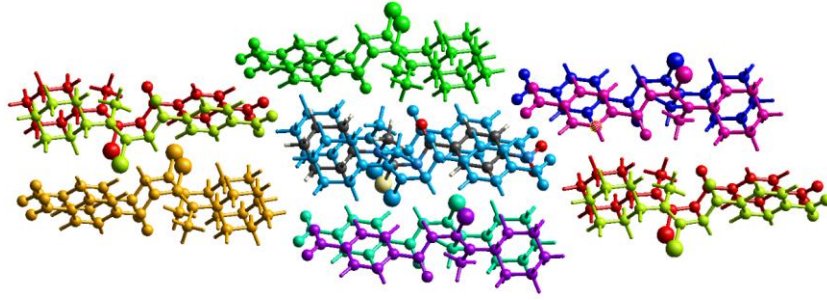
Hirshfeld yüzey analizine dayanan iki boyutlu (2D) parmak izi grafikleri, moleküller arasındaki tüm etkileşimlerin temas tipini tanımlamanın ve özetlemenin bir yolunu temsil eder (Spackman ve McKinnon, 2002). Parmak izine benzeyen ve mavi noktalardan oluşan Hirshfeld yüzeyinin iki boyutlu gösterimi, y ekseninde d_e , x ekseninde de d_i değerleri verilerek çizilir. Tüm etkileşimler, her etkileşim için ayrı 2D parmak izi çizimleri ve Hirshfeld yüzeyine olan göreceli katkıları **Şekil 10**'da verilmiştir. En önemli etkileşimin moleküler yüzeydeki hidrojen bolluğundan dolayı parmak izi çiziminin %42,10'unu oluşturan H \cdots H etkileşimlerinin olduğu saptandı. İkinci en büyük katkı ise koyu kırmızı rengin görünümünden ve N-H \cdots S ve C-H \cdots O ile ilişkiden oluşan O \cdots H/H \cdots O (%26,10) etkileşimleri olarak tahmin edildi. Ayrıca 2D parmak izi çizimlerine, C \cdots H/H \cdots C (%12,30), S \cdots H/H \cdots S, (%10,90), S \cdots C/C \cdots S (%2,6), N \cdots H/H \cdots N (%2,20), O \cdots O (%1,30), O \cdots C/C \cdots O (%1,20) ve

O··N/N··O (%1,10) etkileşimleri de katkıda bulunur. Ayrıca ihmal edilebilir bir katkı yapan diğer kontak tipi de S··N/N··S (%0,10) olarak belirlendi.

Şekil 11’de *N*-(sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiğinin etkileşim enerjilerinin hesaplanmasında yer alan moleküler çiftler. **Tablo 9**’da da moleküler çiftlerin kJ/mol cinsinden farklı etkileşim enerjileri verilmiştir. Şekil 12’de ise molekülün *a*, *b* ve *c* eksenini boyunca görüntülenen yeşil renkte Coulomb enerjisinin, kırmızı renkte dispersiyon enerjisinin ve mavi renkte toplam etkileşim enerjisinin resimli gösterimi sunulmaktadır. Toplam etkileşim enerjisi (E_{tot}); elektrostatik (E_{ele}), polarizasyon (E_{pol}), dağılım (E_{disp}) ve itme (E_{rep}) enerjileri olmak üzere dört farklı enerji türünün toplamından oluşmaktadır.



Şekil 10. *N*-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiğinin kristal yapısındaki ana moleküller arası etkileşimlerin 2-boyutlu parmak izi çizimi.

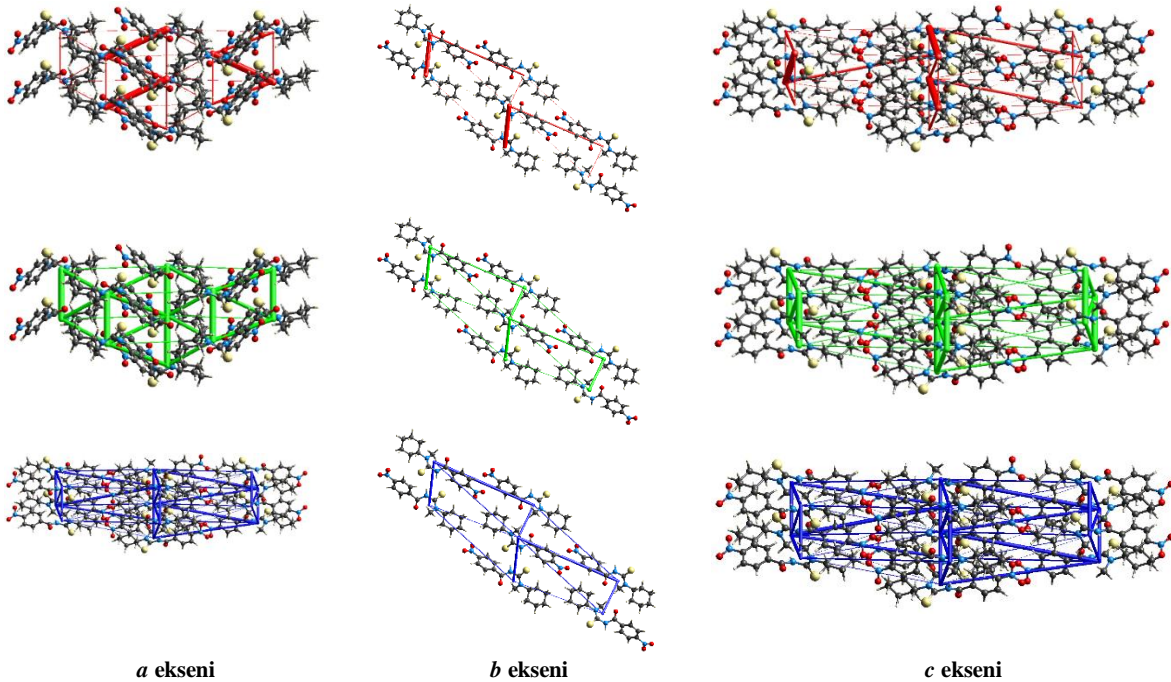


Şekil 11. *N*-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiğinin etkileşim enerjilerinin hesaplanmasında yer alan moleküler çiftler.

Tablo 9. *N*-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiğinin moleküler çiftlerin kJ/mol cinsinden farklı etkileşim enerjileri.

Renk	Simetri	R *	E_{ele}	E_{pol}	E_{dis}	E_{rep}	E_{Toplam}
Red	$x, -y+1/2, z+1/2$	16,12	-2,7	-1,2	-8,2	0,0	-12,1
Orange	$-x, y+1/2, -z+1/2$	15,92	0,5	-0,2	-6,4	0,0	-6,1
Yellow	$x, -y+1/2, z+1/2$	16,87	-0,7	-0,3	-1,5	0,0	-2,5
Green	$-x, y+1/2, -z+1/2$	6,82	-6,6	-3,4	-32,2	18,7	-23,5
Cyan	$-x, -y, -z$	5,70	-59,1	-8,4	-33,1	78,9	-21,7
Blue	x, y, z	5,04	-13,0	-5,8	-54,7	40,8	-32,7
Dark Blue	$-x, -y, -z$	13,47	-21,4	-2,1	-9,2	0,0	-32,7
Purple	$-x, -y, -z$	5,64	-22,7	-7,8	-37,8	40,1	-28,2
Pink	$-x, -y, -z$	13,45	-3,7	-2,2	-19,3	0,0	-25,2
Toplam			-129,4	-31,4	-202,4	178,5	-184,7

* Å cinsinden moleküler merkezler (ortalama atomik konum) arasındaki mesafedir.



Şekil 12. *N*-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileşiğinin coulomb etkileşim enerjisinin (Kırmızı), dağılım enerjisinin (Yeşil) ve toplam enerjinin (Mavi) *a*, *b* ve *c* eksenleri boyunca gösterimi.

4. Sonuçlar

N-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileŒiĐinin sentezlenmiŒ ve yapısı X-ıŒınları tek kristal kırınımı tekniği ile karakterize edilmiŒtir. Analiz sonuçlarından elde edilen verilere göre sentezlenen bileŒiĐin yapısında bulunan karbonil ve tiyokarbonil bağ uzunluklarının normal çift bağ uzunluğunda olduğu tespit edilmiŒtir. Bununla beraber, bileŒiĐin yapısında bulunan C(O)-NH-C(S) grubundaki C-N bağ uzunluğu, normal C-N tek bağ uzunluğundan daha kısa ve normal C=N ift bağ uzunluğundan daha uzun olduğu tespit edilmiŒtir. Bu da bu bölgede bir delokalizasyonun var olduğunu gstermiŒtir. *N*-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileŒiĐinin teorik olarak elde edilen molekülün optimize geometresi ile deneysel olarak tek kristal X-ıŒını kırınım analizi sonucunda elde edilen geometrisi st üste akıŒtırıldıĐında her iki geometrinin birbiri ile uyumlu olduğunu gstermiŒtir. *N*-(Sikloheksil(metil) karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileŒiĐindeki moleküller arası etkileŒimleri grselleŒtirmek amacıyla Hirshfeld yüzey analizi yapıldı, aynı zamanda Hirshfeld yüzey alanına katkıları belirlemek amacıyla 2D parmak izi çizimleri de yapıldı. Hirshfeld yüzey alanına en çok katkının moleküldeki hidrojen bolluğundan dolayı, H··H (%42,5) etkileŒimlerinin olduğu saptandı. *N*-(Sikloheksil(metil)karbamotiyoil)-4-nitrobenzamid bileŒiĐinin sınır orbitallerinin enjileri DFT/B3LYP/6-311G(d,p) seviyesinde hesap edilmiŒ ve HOMO ile LUMO molekül orbitalleri arasındaki enerji boŒluĐu (ΔE) 0,7772 eV olarak elde edilmiŒtir. Bu değer, molekülün kimyasal olarak reaksiyona girme eğiliminin yüksek olduğunu ve kararsız olduğunu gstermiŒtir.

ıkar atıŒması Beyanı

Makalenin yazarı olarak herhangi bir çıkar atıŒması bulunmadığını beyan ederim.

AraŒtırmacıların Katkı Oranı Beyan zeti

Makalenin yazarı olarak bu alıŒmaya %100 oranında katkı sağladığımı beyan ederim.

Kaynakça

Abosadiya HM., Anouar EH., Yamin BM. Synthesis, X-Ray, Spectroscopic characterization (FT-IR, NMR, UV-Vis) and quantum chemical calculations of some substituted benzoylthiourea derivatives. Journal of Molecular Structure. 2019; 1194: 48-56. DOI: 10.1016/j.molstruc.2019.05.060

Abosadiya HM. Synthesis, crystal structure and antioxidant evaluation of *N*-(4-formylpiperazine-1-carbonothioyl)benzamide. European Journal of Chemistry. 2020; 11(2): 156-159. DOI: 10.5155/eurjchem.11.2.156-159.1981.

Akın T., Ucuñ F., Tokatlı A. Global reaktivlik parametreleri ve bazı spektral sonuçlarla polipropilenin zincir uzunluğuna bağlı kimyasal reaktivliği. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi, 2018; 13(1): 19-27. DOI: 10.29233/sdufeffd.412209.

- Angulo-Cornejo JR., Ayala-León K., Herbosa GG., Cuevas JV., Diez V., Richter R., Hennig L., Beyer L. Synthesis and structural characterization of *N*-[4-(2-hydroxyethyl)-1,2,4-oxathiazinan-3-ylidene]-benzamide and its mercury(II) chloride adduct. *Zeitschrift Für Naturforschung B Journal of Chemical Sciences* 2005; 60(9): 945-950. DOI: 10.1515/znb-2005-0906.
- Ashfaq M., Tahir MN., Muhammad S., Munawar KS., Ali A., Bogdanov G., Alarfaji SS. Single-crystal investigation, hirshfeld surface analysis, and DFT study of third-order NLO properties of unsymmetrical acyl thiourea derivatives. *ACS Omega*. 2021; 6(46): 31211-31225. DOI: 10.1021/acsomega.1c04884.
- Asiri AM., Faidallah HM., Al-Youbi AO., Alamry KA., Ng SW. 1-Benzoyl-3-[3-cyano-8-methyl-4-(1-methyl-1H-pyrrol-2-Yl)-5,6,7,8-tetra-hydro-quinolin-2-Yl]thio-urea. *Acta Crystallographica Section E Crystallographic Communications* 2011; 67(9): o2430-o2430. DOI: 10.1107/S1600536811033046.
- Ayata S., Kaynak I., Merdivan M. Solid phase extractive preconcentration of silver from aqueous samples. *Environmental Monitoring and Assessment* 2009; 153(1-4): 333-338. DOI: 10.1007/s10661-008-0359-6.
- Aydın F., Aykaç D., Ünver H., İskeleli NO. Synthesis, spectral properties and structure of new novel 3,3'-dibenzoyl-1,1'-(propan-1,3-Diyl)-bisthiourea. *Journal of Chemical Crystallography* 2012; 42(4): 381-387. DOI: 10.1007/s10870-011-0258-5.
- Aydın F., Ünver H., Aykaç D., İskeleli NO. Spectroscopic studies and structure of 4-(3-benzoylthioureido) benzoic acid. *Journal of Chemical Crystallography* 2010; 40(12): 1082-1086. DOI: 10.1007/s10870-010-9799-2.
- Becke AD. Density-functional thermochemistry. III. The role of exact exchange. *The Journal of Chemical Physics* 1993; 98(7): 5648-5652. DOI: 10.1063/1.464913.
- Beyer L., Hoyer E., Hennig H., Kirmse R., Hartmann H., Liebscher J. Synthese und charakterisierung neuartiger übergangsmetallchelate von 1,1-dialkyl-3-benzoyl-thioharnstoffen. *Journal Für Praktische Chemie* 1975; 317 (5): 829-839. DOI: 10.1002/prac.19753170518.
- Bozkurt SS., Merdivan M. Solid phase extraction of gold (III) on silica gel modified with benzoylthiourea prior to its determination by flame atomic absorption spectrometry. *Environmental Monitoring and Assessment* 2009; 158(1-4): 15-21. DOI: 10.1007/s10661-008-0561-6.
- Bruce JC., Koch KR. *N*-benzoyl-*N',N'*-dibutylselenourea and its palladium(II) complex. *Acta Crystallographica Section C*. 2008; 64 (Pt 1): m1-4. DOI: 10.1107/S0108270107053711.
- Chermette HJ. Chemical reactivity indexes in density functional theory. *Journal of Computational Chemistry*. 1999; 20(1): 129-154.
- Cornejo JA., Ayala K., Richter R., Böhlig H., Hennig L., Beyer L. Wasserstoffbrücken in 1,1-bis(2-hydroxyethyl)-3-benzoylthioharnstoff und seinen nickel (II)- und kupfer (II)-chelate-komplexen.

- Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie. 2005; 631(15): 3040-3045. DOI: 10.1002/zaac.200500266.
- Déchamps-Olivier I., Guillon E., Mohamadou A., Barbier JP. Coordination of nickel and cobalt with *N*-morpholine or *N,N*-diethyl, *N'*-monosubstituted benzoyl thioureas. Polyhedron 1996; 15(20): 3617-3622. DOI: 10.1016/0277-5387(96)00081-2.
- Dennington R., Keith TA., Millam JM. GaussView, Version 6, Semichem Inc., Shawnee Mission, KS, 2016.
- Dolomanov OV., Bourhis LJ., Gildea RJ., Howard JA., Puschmann H. OLEX2: a complete structure solution, refinement and analysis program. Journal of Applied Crystallography 2009; 42(2): 339-341.
- Douglass IB., Dains FB. Some derivatives of benzoyl and furoyl isothiocyanates and their use in synthesizing heterocyclic compounds. Journal of the American Chemical Society 1934a; 56(3): 719-721. DOI: 10.1021/ja01318a057.
- Douglass IB., Dains FB. The preparation and hydrolysis of mono- and disubstituted benzoylthioureas. Journal of the American Chemical Society 1934b; 56(6): 1408-1409. DOI: 10.1021/ja01321a061.
- Egan TJ., Koch KR., Swan PL., Clarkson C., Van Schalkwyk DA., Smith PJ. In vitro antimalarial activity of a series of cationic 2, 2'-bipyridyl- and 1, 10-phenanthrolineplatinum (II) benzoylthiourea complexes. Journal of Medicinal Chemistry 2004; 47(11): 2926-2934.
- Fitzl G., Beyer L., Sieler J., Richter R., Kaiser J., Hoyer E. Kristall- und molekülstruktur von bis(1,1-diethyl-3-benzoyl-thioureato) palladium (II). Zeitschrift Für Anorganische und Allgemeine Chemie. 1977; 433(1): 237-241. DOI: 10.1002/zaac.19774330127.
- Frisch MJ., Trucks GW., Schlegel HB., Scuseria GE., Robb MA., Cheeseman JR., Scalmani G., Barone V., Petersson GA., Nakatsuji H., Li X., Caricato M. Marenich AV., Bloino J., Janesko BG., Gompert R., Mennucci B., Hratchian HP., Ortiz JV., Izmaylov AF., Sonnenberg JL., Williams-Young D., Ding F., Lipparin F., Egidi F., Goings J., Peng B., Petrone A., Henderson T., Ranasinghe D., Zakrzewski VG., Gao J., Rega N., Zheng G., Liang W., Hada M., Ehara M., Toyota K., Fukuda R., Hasegawa J., Ishida M., Nakajima T., Honda Y., Kitao O., Nakai H., Vreven T., Throssell K., Montgomery JA., Jr Peralta JE., Ogliaro F., Bearpark MJ., Heyd JJ., Brothers EN., Kudin KN., Staroverov VN., Keith TA., Kobayashi R., Normand J., Raghavachari K., Rendell AP., Burant JC., Iyengar SS., Tomasi J., Cossi M., Millam JM., Klene M., Adamo C., Cammi R., Ochterski JW., Martin RL., Morokuma K., Farkas O., Foresman JB., Fox DJ. Gaussian 16, Revision C.01, Gaussian, Inc., Wallingford CT, 2016.
- Gemili M., Sari H., Ulger M., Sahin E., Nural Y. Pt (II) and Ni (II) complexes of octahydropyrrolo[3,4-c] pyrrole N -benzoylthiourea derivatives: synthesis, characterization, physical parameters and biological activity. Inorganica Chimica Acta 2017; 463: 88-96. DOI: 10.1016/j.ica.2017.04.026.

- Gopiraman M., Selvakumaran N., Kesavan D., Kim IS., Karvembu R. Chemical and physical interactions of 1-benzoyl-3, 3-disubstituted thiourea derivatives on mild steel surface: corrosion inhibition in acidic media. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2012; 51(23): 7910-7922.
- Guillon E., Mohamadou A., Déchamps-Olivier I., Barbier JP. Synthesis and characterization of copper, nickel and cobalt complexes with N-disubstituted, N'-ethoxy carbonyl thioureas. *Polyhedron* 1996; 15(5-6): 947-952. DOI: 10.1016/0277-5387(95)00305-6.
- Katritzky AR., Tala SR., Abo-Dya NE., Gyanda K., El-Gendy BED. M, Abdel-Samii ZK, Steel P J. Selective synthesis and structural elucidation of S-acyl- and N-acylcysteines. *The Journal of Organic Chemistry* 2009; 74(18): 7165-7167.
- Kavak G., Özbey S., Binzet G., Külcü N. Synthesis and single crystal structure analysis of three novel benzoylthiourea derivatives. *Turkish Journal of Chemistry* 2009; 33(6): 857-868. DOI: 10.3906/kim-0901-1.
- Ke SY., Xue SJ. Synthesis and herbicidal activity of N-(o-fluorophenoxyacetyl) thioureas derivatives and related fused heterocyclic compounds. *Arkivoc.* 2006; 10: 63-68. DOI: 10.3998/ark.5550190.0007.a08.
- Ketchemen KIY., Khan MD., Mlowe S., Akerman MP., Vitorica-Yrezabal I., Whitehead G., Nyamen LD., Ndifon PT., Revaprasadu N., O'Brien P. Crystal structures and physicochemical studies of some novel divalent and trivalent transition metal chelates of N-morpholine-N'-benzoylthiourea. *Journal of Molecular Structure* 2021; 1229(129791): 129791. DOI: 10.1016/j.molstruc.2020.129791.
- Kirishnamaline G., Magdaline JD., Chithambarathanu T., Aruldas D., Anuf AR. Theoretical investigation of structure, anticancer activity and molecular docking of thiourea derivatives. *Journal of Molecular Structure* 2021; 1225(129118): 129118. DOI: 10.1016/j.molstruc.2020.129118.
- Kirmse R., Beyer L., Hoyer E. A single-crystal and solution ESR study of bis(N,N-diethyl-N'-benzoylthioureaato)-copper(II). *Chemical Physics Letters* 1976; 44 (1): 173-176. DOI: 10.1016/0009-2614(76)80435-6.
- Koch KR. New chemistry with old ligands: N-alkyl- and N, N-dialkyl-N'-acyl(aryl)thioureas in coordination, analytical and process chemistry of the platinum group metals. *Coordination Chemistry Reviews* 2001; 216-217, 473-488 DOI: 10.1016/s0010-8545(01)00337-x.
- Koch KR. New chemistry with old ligands: N-alkyl- and N, N-dialkyl-N'-acyl(aryl) thioureas in coordination, analytical and process chemistry of the platinum group metals. *Coordination Chemistry Reviews* 2001; 216: 473-488.
- Koch KR., Sacht C., Grimmbacher T., Bourne S. New ligands for the platinum-group metals: deceptively simple coordination chemistry of N-acyl-N'-alkyl- and N-acyl-N', N'-dialkyl-

- thioureas. South African Journal of Chemistry-Suid-Afrikaanse Tydskrif Vir Chemie. 1995; 48(1–2): 71-77.
- Koch KR., Wang Y., Coetzee A. Platinum (II) and palladium (II) complexes of *N*-benzoyl-*N'*-propylthiourea (H₂L): synthesis and geometric isomer distribution of [M(H₂L-S)₂X₂] (M = Pt(II) or Pd(II); X = Cl⁻, Br⁻ or I⁻); crystal structure of trans-[Pd(H₂L-S)₂Br₂]. Journal of the Chemical Society Dalton Transactions. 1999; 6: 1013-1016. DOI: 10.1039/a809543d
- Kotzé IA., Smith VJ., Kangara EF., Koch KR., Rare Hypodentate L-KS. Coordination mode of *N*, *N*-dialkyl-*N'*-aroylthioureas leads to unprecedented mixed-ligand [Pt(Phen)(L-KS)₂] complexes. New Journal of Chemistry 2017; 41(24): 14995-15002. DOI: 10.1039/c7nj03178e.
- König KH., Schuster M., Schneeweis G., Steinbrech B. Zur chromatographie von metallchelaten: XIV. dünnschicht-chromatographie von *N*, *N*-Dialkyl-*N'*-benzoylthioharnstoff-chelaten. Fresenius' Zeitschrift für Analytische Chemie. 1984; 319(1): 66-69. DOI: 10.1007/bf00476232.
- Kurnakow NS. Über die beziehungen zwischen der farbe und der konstitution der haloïddoppelsalze. Zeitschrift Für Anorganische Chemie. 1898; 17(1): 207-235.
- Kurt G., Mercimek B. Preparation of new benzoylthiourea-functionalized PVC resin and investigation of the complexation properties. Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials 2009; 19(3): 367-373. DOI: 10.1007/s10904-009-9274-8.
- Lee CT., Yang WT., Parr RG. Development of the colle-salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density. Physical review B. 1988; 37(2): 785-789. DOI: 10.1103/physrevb.37.785.
- Li S., Cao X., Chen C., Ke S. Novel salicylic acid-oriented thiourea-type receptors as colorimetric chemosensor: Synthesis, characterizations and selective naked-eye recognition properties. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy 2012; 96: 18-23.
- Limban C., Chifiriuc MC., Caproiu MT., Dumitrascu F., Ferbinteanu M., Pintilie L., Stefaniu A., Vlad IM., Bleotu C., Marutescu LG., Nuta DC. New substituted benzoylthiourea derivatives: from design to antimicrobial applications. Molecules 2020; 25(7): 1478. DOI: 10.3390/molecules25071478.
- Mandal H., Ray D. Bis- and tris-chelates of NiII, CuII, CoII and FeIII bound to *N*, *N*-dialkyl/alkyl aryl-*N'*-benzoylthiourea ligands. Inorganica Chimica Acta. 2014; 414, 127-133. DOI: 10.1016/j.ica.2014.01.044.
- McKinnon JJ., Jayatilaka D., Spackman MA. Towards quantitative analysis of intermolecular interactions with hirshfeld surfaces. Chemical Communications Journal 2007; 37: 3814-3816. DOI: 10.1039/b704980c.
- Nencki M. Zur kenntniss des sulfharnstoffs. Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft. 1873; 6 (1): 598–600. DOI: 10.1002/cber.187300601186.

- Nkabyo HA., Koch KR. Configurational E/Z and photo-induced cis-trans isomerism in the Pd(II) complex of asymmetrical *N,N*-methyl-ethyl-*N'*-benzoylthiourea. *Journal of Molecular Structure*. 2019; 1190: 47-53. DOI: 10.1016/j.molstruc.2019.04.038.
- Nkabyo HA., Koch KR. New Trans-[Pd(L-κS,O)₂] Complexes from *N,N*-dialkyl-*N'*-aroylthioureas prepared by photo-induced isomerization of their cis-[Pd(L-KS,O)₂] counterparts and their thermal trans-cis isomerization. *Inorganica Chimica Acta*. 2018; 483: 440-447. DOI: 10.1016/j.ica.2018.08.028.
- Nkabyo HA., Olaoye O. Synthesis, structural characterization, cis–trans isomerism, and dft studies on cis-bis(*N,N*-di-methyl-*N'*-benzoylthioureato) palladium(II). *Journal of Structural Chemistry*. 2020; 61(11): 1751-1759. DOI: 10.1134/s0022476620110098.
- Nkabyo HA., Procacci B., Duckett SB., Koch KR. Reversible photo-isomerization of cis-[Pd(L-KS,O)₂] (HL = *N,N*-diethyl-*N'*-1-naphthoylthiourea) to trans-[Pd(L-KS,O)₂] and the unprecedented formation of trans-[Pd(L-KS,N)₂] in solution. *Dalton Transactions Journal*. 2019; 48(46): 17241-17251. DOI: 10.1039/c9dt03672e.
- Nordin NA., Chai TW., Tan BL., Choi CL., Abd Halim AN., Hussain H., Ngaini Z. Novel synthetic monothiourea aspirin derivatives bearing alkylated amines as potential antimicrobial agents. *Journal of Chemistry* 2017; 1-7 DOI: 10.1155/2017/2378186.
- Okuniewski A., Rosiak D., Chojnacki J., Becker B. Crystallographic study of self-organization in the solid state including quasi-aromatic pseudo-ring stacking interactions in 1-benzoyl-3-(3,4-dimethoxyphenyl)thiourea and 1-benzoyl-3-(2-hydroxypropyl)thiourea. *Acta Crystallographica Section C: Structural Chemistry* 2017; 73 (1): 52-56. DOI: 10.1107/S2053229616019495.
- Ozer CK., Solmaz U., Arslan H. Crystal structure, hirshfeld surface analysis, and DFT studies of *N*-(2-chlorophenylcarbamothioyl) cyclohexanecarboxamide. *European Journal of Chemistry* 2021; 12(4): 439-449.
- Özgeriş B. Design, synthesis, characterization, and biological evaluation of nicotinoyl thioureas as antimicrobial and antioxidant agents. *The Journal of Antibiotics* 2021b; 74(4): 233-243. DOI: 10.1038/s41429-020-00399-7.
- Özgeriş B. Synthesis of substituted phenethylamine-based thioureas and their antimicrobial and antioxidant properties. *Russian Journal of Organic Chemistry* 2021a; 57(3): 422-429. DOI: 10.1134/s1070428021030143.
- Palatinus L., Chapuis GJ. SUPERFLIP—a computer program for the solution of crystal structures by charge flipping in arbitrary dimensions. *Journal of Applied Crystallography* 2007; 40 (4): 786-790.
- Palatinus L., Prathapa SJ., van Smaalen SJ. EDMA: a computer program for topological analysis of discrete electron densities. *Journal of Applied Crystallography* 2012; 45(3): 575-580.
- Palatinus L., van der Lee AJ. Symmetry determination following structure solution in P1. *Journal of Applied Crystallography* 2008; 41(6): 975-984.

- Pérez H., O'Reilly B., Plutín AM., Martínez R., Durán R., Collado IG., Mascarenhas YP. Synthesis, characterization, and crystal structure of Ni (II) and Cu (II) complexes with *N*-furoyl-*N,N'*-diethylthiourea: antifungal activity. *Journal of Coordination Chemistry* 2011; 64(16): 2890-2898. DOI: 10.1080/00958972.2011.608426.
- Pinheiro LCS., Hoelz LVB., Ferreira MLG., Oliveira LG., Pereira RFA., do Valle AM., André LSP., Scaffo J., Pinheiro FR., Ribeiro TAN., Sachs D., Pascoal ACRF., Boechat N., Aguiar-Alves F. Synthesis of benzoylthiourea derivatives and analysis of their antibacterial performance against planktonic *Staphylococcus aureus* and its biofilms. *Letters in Applied Microbiology* 2020; 71(6): 645-651. DOI: 10.1111/lam.13359.
- Plutín AM., Alvarez A., Mocelo R., Ramos R., Castellano EE., da Silva MM., Colina-Vegas L., Pavan FR., Batista AA. Anti- mycobacterium tuberculosis activity of platinum (II)/ *N,N*-disubstituted-*N'*-acyl thiourea complexes. *Inorganic Chemistry Communications* 2016; 63: 74-80. DOI: 10.1016/j.inoche.2015.11.020.
- Reinel M., Richter R., Kirmse R. Synthesen und strukturen von *N*-acylthioharnstoffkomplexen des zinks und des cadmiums. *Zeitschrift für Anorganische und Allgemeine Chemie*. 2002; 628(1): 41-44. DOI: 10.1002/1521-3749(200201)628:1<41::aid-zaac41>3.0.co;2-q.
- Richter R., Dietze F., Schmidt S., Hoyer E., Poll W., Mootz D. Koordination von silber(I) durch *N,N*-diethyl-*N'*-benzoylthioharnstoff in Lösung und in festem Zustand. *Zeitschrift für Anorganische und Allgemeine Chemie*. 1997; 623(1-6): 135-140. DOI: 10.1002/zaac.19976230122.
- Saeed A., Flörke U., Erben MF. A review on the chemistry, coordination, structure and biological properties of 1-(Acyl/Aroyl)-3-(substituted) thioureas. *Journal of Sulfur Chemistry* 2014; 35(3): 318-355. DOI: 10.1080/17415993.2013.834904.
- Saeed A., Qamar R., Fattah TA., Flörke U., Erben MF. Recent developments in chemistry, coordination, structure and biological aspects of 1-(acyl/aroyl)-3-(substituted) thioureas. *Research on Chemical Intermediates* 2017; 43(5): 3053-3093. DOI: 10.1007/s11164-016-2811-5.
- Schröder U., Beyer L., Richter R., Angulo-Cornejo J., Castillo-Montoya M., Lino-Pacheco M. Complex formation of $N\cap N$ -ethylene bridged bis(*N'*-benzoyl-*O*-ethyl-isourea) and *N*-benzoylguanidines with late transition metals. *Inorganica Chimica Acta*. 2003; 353: 59-67. DOI: 10.1016/s0020-1693(03)00322-0.
- Sheldrick GM. Crystal structure refinement with SHELXL *Acta Crystallographica Section C Structural Chemistry*. 2015; 71(1): 3-8.
- Spackman MA., Jayatilaka D. Hirshfeld surface analysis. *CrystEngComm* 2009; 11(1): 19-32. DOI: 10.1039/B818330A.
- Spackman MA., McKinnon JJ. Fingerprinting intermolecular interactions in molecular crystals. , *CrystEngComm*. 2002; 4 (66): 378-392 DOI: 10.1039/B203191B.

- Spackman PR., Turner, MJ., McKinnon JJ., Wolff SK., Grimwood DJ., Jayatilaka D., Spackman MA. CrystalExplorer: A program for Hirshfeld surface analysis, visualization and quantitative analysis of molecular crystals. *Journal of Applied Crystallography*. 2021; 54(3): 1006-1011.
- Suhud K., Hasbullah SA., Ahmad M., Heng LY., Kassim MB. Crystal structure of 4-meth-oxy-N-(piperidine-1-carbono-thio-YI) benzamide. *Acta Crystallographica Section E: Crystallographic Communications*. 2017; 73(10): 1530-1533. DOI: 10.1107/S2056989017013317.
- Suhud K., Heng LY., Hasbullah SA., Ahmad M., Kassim MB. Crystal structure of 4-meth-oxy-N-[(pyrrolidin-1-yl) carbothio-yl]benzamide. *Acta Crystallographica Section E: Crystallographic Communications*. 2015; 71(4): o225-o226. DOI: 10.1107/S2056989015003813.
- Sun J., Cai S., Mei H., Li J., Yan N., Wang Q., Huo D. Molecular docking and QSAR studies on substituted Acyl (thio) urea and thiadiazolo [2, 3- α] pyrimidine derivatives as potent inhibitors of influenza virus neuraminidase. *Chemical Biology & Drug Design*. 2010; 76(3): 245-254.
- Tan SL., Azizan AHS., Jotani MM., Tiekink ERT. 3,3-bis(2-hydroxy-ethyl)-1-(4-methylbenzoyl)thio-urea: crystal structure, hirshfeld surface analysis and computational study. *Acta Crystallographica Section E: Crystallographic Communications* 2019; 75(10): 1472-1478. DOI: 10.1107/S2056989019012581.
- Telmore VM., Kumar P., Jaison PG. Study on complexation of palladium with thiourea-based ligands and its determination in simulated high-level liquid waste Using solid phase extraction-electrospray mass spectrometry. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 2018; 318(2): 1249-1259. DOI: 10.1007/s10967-018-6165-x.
- Temel, E., ve Alaşalvar, C. Epoksiisindol Türevi bir Bileşimin Moleküler Modelleme Çalışmaları. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 2018; 8(2): 189-199. DOI: 10.31466/kfbd.491184.
- Wei Q., Ning JY., Dai X., Gao YD., Su L., Zhao BX., Miao JY. Discovery of novel HSP90 inhibitors that induced apoptosis and impaired autophagic flux in A549 lung cancer cells. *European Journal of Medicinal Chemistry* 2018; 145: 551-558.
- Wilson D., de los Ángeles Arada M., Alegret S., del Valle M. Lead (II) ion selective electrodes with PVC membranes based on two bis-thioureas as ionophores: 1, 3-bis (N'-benzoylthioureido) benzene and 1, 3-bis (N'-furoylthioureido) benzene. *Journal of Hazardous Materials* 2010; 181(1-3): 140-146.
- Yamin BM., Osman UM. 1,2-Bis(N'-benzoyl-thio-ureido)-4-chloro-benzene. *Acta Crystallographica Section E: Crystallographic Communications* 2011; 67(P6): o1286-o1286. DOI: 10.1107/S1600536811014954.
- Yang W., Liu H., Li M., Wang F., Zhou W., Fan J. Synthesis, structures and antibacterial activities of benzoylthiourea derivatives and their complexes with cobalt. *Journal of Inorganic Biochemistry* 2012; 116, 97-105. DOI: 10.1016/j.jinorgbio.2012.08.001.
- Yaseen S., Rauf MK., Zaib S., Badshah A., Tahir MN., Ali MI., Imtiaz-ud-Din., Shahid M., Iqbal J. Synthesis, characterization and urease inhibition, in vitro anticancer and antileishmanial studies

- of Co (III) complexes with N, N, N'-trisubstituted acylthioureas. *Inorganica Chimica Acta* 2016; 443: 69-77. DOI: 10.1016/j.ica.2015.12.027.
- Yusof MSM., Jusoh RH., Khairul WM., Yamin BM. Synthesis and characterisation a series of *N*-(3,4-dichlorophenyl)-*N'*-(2,3 and 4-methylbenzoyl) thiourea derivatives. *Journal of Molecular Structure*. 2010; 975(1-3): 280-284. DOI: 10.1016/j.molstruc.2010.04.037.
- Zade CM., Pete UD., Kadam MS., Bendre RS. Development of novel insect growth regulators: effect of 1-(substitutedbenzoyl)-3-[(2'-isopropyl-5'-methylphenoxy) acetamino] thiourea and urea derivatives on total haemocyte count of *dysdercus koenigii*. *Chemistry for Sustainable Development* 2012; 69-79.
- Zhang ZJ., Zeng Y., Jiang ZY., Shu BS., Sethuraman V., Zhong GH. Design, synthesis, fungicidal property and QSAR studies of novel β -carboline containing urea, benzoylthiourea and benzoylurea for the control of rice sheath blight. *Pest Management Science* 2018; 74(7): 1736-1746. DOI: 10.1002/ps.4873.

İşlenebilirlikte Kenar Belirleme Algoritmalarının Kullanılabilirliği

Pınar KARAKUŞ^{1*}, Demet ZALAOĞLU²

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 8000, Osmaniye

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 8000, Osmaniye

¹<https://orcid.org/0000-0001-2345-6789>

²<https://orcid.org/0000-0002-1116-6327>

*Sorumlu yazar: pinarkarakus@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 28.01.2022

Kabul tarihi: 12.04.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Görüntü işleme

Kenar belirleme

İşlenebilirlik

ÖZ

Talaşlı imalat işlemlerinde parça kalitesini etkileyen en önemli parametrelerden biri de işleme sırasında kullanılan kesici ucun aşınmasıdır. Elde edilen ürünlerin daha iyi yüzey kalitesine sahip olmaları için kesici ucun aşınma durumunu bilmek ve kullanılan takımın ömrünü en iyi şekilde tahmin etmek gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda yapılan çalışmada, işlemler sırasında otomatik olarak kesici takım aşınmasının takibine de izin veren görüntü işleme yöntemlerinden kenar belirleme algoritmalarının kullanılabilirliği incelenmiştir. Yapılan incelemeler sürecinde, Ø11, Ø5,5 ve Ø2,5 mm olmak üzere üç farklı boyutta aşınmamış durumda olan parmak frezelere ve kesici uçlara Canny, Prewitt, Sobel, Roberts, Log ve Zerocross algoritmaları uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, uçlara uygulanan tüm algoritmalara ait kenarların benzer olarak yakalandığı ve uçlara ait kenarların doğru bir şekilde belirlendiği gözlemlenmiştir. Çalışmada kullanılan kenar belirleme algoritmaları, oldukça küçük boyutlu bir nesneye uygulandığı ve buna bağlı olarak küçük boyutlu görüntüler ile çalışıldığından dolayı, kenar belirleme algoritmalarının performansları arasında görsel yorumlamayla elde edilecek bir farka rastlanmamıştır.

The Availability of Edge Detection Algorithms in Machinability

Research Article

Article History:

Received: 28.01.2022

Accepted: 12.04.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Image processing

Edge detection

Machinability

ABSTRACT

One of the most important parameters affecting the part quality in machining processes is the wear of the cutting tip used during operation. In order to have better surface quality of the obtained products, it is necessary to know the wear status of the cutting insert and to estimate the life of the tool used ideally. In the study done for this aim, the usability of edge detection algorithms, which is one of the image processing methods that allows tracking of cutting tool wear during operations, has been investigated. During the investigations, Canny, Prewitt, Sobel, Roberts, Log and Zerocross algorithms were applied to end mills and cutting tool insert, being in the unworn condition with three different sizes such as Ø11, Ø5.5 and Ø2.5 mm. When the results obtained are examined, it has been observed that the edges of all algorithms applied to the ends are captured similarly and the edges belonging to the ends are correctly determined. Since the edge detection algorithms used in the study are applied to a very small sized object and therefore work with small sized images, no difference was found between the performances of the edge detection algorithms to be obtained by visual interpretation.

To Cite: Karakuş P, Zalaoglu D. İşlenebilirlikte Kenar Belirleme Algoritmalarının Kullanılabilirliği. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 707-719.

1. Giriş

Uygun kesici takım ve kesme parametreleri kullanılarak, bir malzemeyi şekillendirebilmenin göreceli olarak kolaylığı veya zorluğu olarak tanımlanabilen işlenebilirlik; üretimin temel aşamalarından biri olan talaşlı imalat yöntemlerinin çözülmeye çalışılan en temel sorunudur (Dieter, 1988; Coromant, 1994). Talaşlı imalat işlemlerinde, işlenebilirliği etkileyen önemli parametrelerden birisi de takım ömrüdür (Kendall, 1998). Kesici takım ucunda meydana gelen hasarlar; kırılma, aşınma veya plastik deformasyon gibi nedenler ile oluşmaktadır. Kesici takım uçlarında işleme sırasında; serbest bölge (yan yüzey) ve krater aşınması olmak üzere iki baskın aşınma mekanizması oluşmaktadır. Yan yüzey aşınması esas olarak takımın işlenmiş yüzey üzerindeki sürtünme etkisine bağlıdır ve takım kenarının üstü ile aşınmış yüzeyin altı arasındaki maksimum mesafe ölçülerek belirlenmektedir. Krater aşınması ise kesici takımın talaş yüzeyinde meydana gelir ve talaş (iş parçası malzemesi) ile kesici takım ucu ara yüzü arasındaki kimyasal tepkimeye bağlıdır ve kesme işlemini etkilemektedir (Kurada ve Bradley, 1997). Aşınan veya başka bir şekilde zamanla kademeli olarak hasara uğrayan kesici takım uçları, ani bir hasara göre nispeten daha uzun kullanım ömrüne sahiptir. Ancak bu durum üretim hızının, yüzey bitirme kabiliyetinin ve parça kalitesinin azalmasına neden olmaktadır (Stephenson ve Agapiou, 2006). Bu etkilerinin yanı sıra uç aşınması; takım ucunun türüne, malzemeye, kesme koşullarına ve seçilen yağlayıcıya bağlı olarak işleme sırasında kademeli olarak artmaktadır (Kurada ve Bradley, 1997). Bu nedenle takım ömrünü belirlemek için, takımın farklı işleme şartlarında arıza türlerinin incelenmesi gerekmektedir. Kesici takım ucu aşınması üzerinde yapılan çalışmalarda öncelikli amaç, takım ucu arıza mekanizmalarından takım ömrünü tahmin etme yöntemlerini geliştirmek olmuştur (Obikawa ve Shinozuka, 2004; Stephenson ve Agapiou, 2006; Castejón ve ark., 2007; Zhang ve Zhang, 2013).

İmalat sektöründe üretilen ürünün kalitesini yükseltirken maliyetini düşürmek oldukça önemlidir. Söz konusu sektörde parça kalitesini etkileyen parametrelerin, otomatik olarak izlenerek yüksek doğruluk ve tutarlı kalitede parça üretimine imkân sağladığı için otomasyon sistemleri yaygın olarak tercih edilmektedir. Gelişen donanımlar, hesaplama teknikleri ve görüntü işleme yöntemleri ile birlikte takım durumunun otomatik olarak izlenmesi daha önemli hale gelmiştir (Lins ve ark., 2020). Geleneksel olarak takım ucu aşınması, optik mikroskop kullanılarak ölçülmektedir. Kullanılan bu yöntemin ölçüm sırasında çok fazla zaman kaybına neden olduğundan dolayı pratik değildir. Bu geleneksel yöntemle karşın dijital görüntü işleme teknikleri gibi yöntemler, kesici takımların çevrimiçi izlenmesi için gelecek vaat etmektedir (Bagga ve ark., 2021a).

Görüntü işleme teknikleri, görüntüdeki bazı yararlı bilgileri geliştirmek veya elde etmek için bir görüntü üzerinde gerçekleştirilen matematiksel işlemler dizisi olarak tanımlanmaktadır. Görüntü, her ögeye karşılık gelen bir pikselin yoğunluğunu temsil ettiği iki boyutlu bir öge dizisi olarak ele alınmaktadır. Görüntü işlemenin uzaktan algılama, otomatik plaka tanımlama, endüstriyel süreç izleme, tıp ve kalite izleme sistemi vb. gibi pek çok uygulama alanı vardır. Uygulama alanlarından biri de görüntü işleme yöntemleri kullanılarak takım aşınmasının (özellikle yan yüzey) izlenmesidir

(Bagga ve ark., 2021b). Görüntü işleme tekniklerinin uygulanmasıyla takım aşınmasının izlenmesi, ilgili donanım ve yazılımların geliştirilmesiyle kolaylaşır. Dutta ve ark. (2013) çalışmasında görüntü işleme yöntemlerine dayalı çeşitli takım aşınma izleme tekniklerini incelemiş ve tartışılmıştır. Bazı araştırmacılar ise; takım bölgesinin kenar tespiti ve segmentasyonu için kendi algoritmalarını geliştirmişlerdir (Kurada ve Bradley, 1997; Sortino, 2003; Castejón ve ark., 2007; Fadare ve Oni, 2009; D'Addona ve Teti, 2013; Danesh ve Khalili, 2015; Yu ve ark., 2017).

İlgili literatürler ayrıntılı bir şekilde incelendiğinde kesici takım uçlarının kenarlarının belirlenmesinde Canny, Prewitt, Sobel, Roberts, Log ve Zerocross algoritmalarının kullanılmadığı tespit edilmiştir. Sunulan bu çalışmada üretim sürecinde; üretilen parçanın kalitesini iyileştirmek ve işlemi otomatikleştirmek amacıyla kullanılan görüntü işleme yaklaşımlarından, kenar belirleme algoritmalarının kullanılabilirliği araştırılmıştır. Araştırma sırasında aşınmamış durumdaki farklı boyutlardaki parmak freze ve freze kesici takım uçlarına Canny, Prewitt, Sobel, Roberts, Log ve Zerocross algoritmaları uygulanarak, elde edilen sonuçlar ile kenar belirleme yöntemlerinin kullanılabilirliği araştırılmış ve algoritmalar kendi arasında karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Yapılan çalışmada, parçaların görüntülerinin elde edilmesi için DSLR dijital bir fotoğraf makinesi (url-1) kullanılmıştır. Görüntüler 300 dpi, 500 ISO ve 32 mm odak uzaklığı ile elde edilmiştir. Görüntüler elde edilirken sadece kesici uca odaklanılmış, arka plan buğulandırılmıştır.

Çalışmada, incelenmek üzere Şekil 1'de verilen Ø11, Ø5,5 ve Ø2,5 mm olmak üzere üç farklı boyutta parmak freze ve yüzey işleme amacıyla kullanılan kesici takım ucu kullanılmıştır.



Şekil 1. İncelemelerde kullanılan kesici takım uçları

2.2. Takım Aşınmasında Kullanılan Kenar Belirleme Yöntemleri

2.2.1. Canny

Canny kenar dedektörü ilk olarak 1986 yılında Canny tarafından ortaya atılmıştır (Canny, 1986). Canny kenar detektörü, kenar algılamada optimuma yakın sonuçlar vermektedir. Canny kenar belirleme algoritması, kenarların iyi bir şekilde ortaya çıkarılması için birden fazla adım içermektedir. İlk adım görüntünün Gauss filtresiyle yumuşatılması aşamasıdır. Bu sayede gürültülü piksellerin neden olduğu yanlış kenarlar görüntünün yumuşatılması ile elimine edilmektedir. Daha sonra kısmi türevler için sonlu fark yaklaşımları kullanılarak gradyan büyüklüğünün ve yönünün hesaplanması (x ve y yönünde) aşaması gelmektedir. Gradyan yönü ve büyüklüğü hesaplandıktan sonra gradyan büyüklüğü maksimum olmayanlar elimine edilmekte, gradyanın maksimum olduğu noktalarda kenarlar oluşmaktadır. Bu nedenle, maksimum olmayan tüm noktalar bastırılmaktadır. Bunu yapmak için, gradyanın büyüklüğü ve yönü her pikselde hesaplanmaktadır. Ardından, her piksel için, gradyanın büyüklüğünün, bir pikselin uzaklığında, eğime dik olan pozitif veya negatif yönde daha büyük olup olmadığı kontrol edilmektedir. Piksel her ikisinden de büyük değilse, bastırılmaktadır. En son aşamada kenarları algılamak ve bağlamak için hem yüksek eşik hem de düşük eşik olmak üzere çift eşik algoritması kullanılmaktadır. Bir pikselin yüksek eşik üzerinde bir değeri varsa, bir kenar pikseli olarak algılanmaktadır. Bir piksel, düşük eşik üzerinde bir değere sahipse ve bir kenar pikselinin komşusuysa, aynı zamanda bir kenar pikseli olarak algılanmaktadır. Bir piksel, düşük eşik üzerinde bir değere sahipse ancak bir kenar pikselinin komşusu değilse, bir kenar pikseli olarak algılanmamaktadır. Bir pikselin düşük eşik altında bir değeri varsa, asla bir kenar pikseli olarak algılanmamaktadır (Nadernejad ve ark., 2008).

2.2.2. Sobel

Sobel operatörü G_x ve G_y olmak üzere bir çift 3x3 evrişim maskesi (çekirdeğinden) oluşmaktadır. Bir maske basit olarak diğerine göre 90° döndürülmektedir.

-1	0	+1
-2	0	+2
-1	0	+1

+1	+2	+1
0	0	0
-1	-2	-1

G_x G_y

Şekil 2. Sobel operatöründe kullanılan maskeler

Şekil 2’te verilen bu çekirdekler gradyanın yönünü ve büyüklüğünü bulmak için kullanılmaktadır. Bu maskeler yatay ve dikey kenarlar için ayrı olarak düzenlenmiştir. Görüntüdeki kenarları yatay ve düşey eksen boyunca tanımlamaktadır (Roberts, 1963; Maini ve Aggarwal, 2009; Ganesan ve Sajiv, 2017).

Gradyan büyüklüğü (1) ve kenarlardaki dönme açısı (2) aşağıda verilen denklem ile ifade edilmektedir.

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

(1)

$$\theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right)$$

(2)

2.2.3. Prewitt

Prewitt operatörü, Sobel operatörüne çok benzer ve görüntülerdeki dikey ve yatay kenarları algılamak için kullanılmaktadır (Gonzalez ve Woods, 2002). G_x ve G_y çekirdekleri yada maskeleri gradyanın yönünü ve büyüklüğünü bulmak için kullanılabilir (Ganesan ve Sajiv, 2017).

-1	0	+1
-1	0	+1
-1	0	+1

+1	+1	+1
0	0	0
-1	-1	-1

G_x
 G_y

Şekil 3. Prewitt kenar detektörünün maskeleri

Prewitt filtresi, kenar tespiti için hızlı bir yöntemdir. Ancak iyi kontrastlı gürültüsüz görüntüler için daha uygundur (Juneja ve Sandhu, 2009).

2.2.4. Roberts

Roberts operatörü, Lawrence Roberts tarafından 1963 yılında ortaya atılmıştır. Bir görüntü üzerinde basit, hesaplanması hızlı, 2 boyutlu bir uzaysal gradyan ölçümü gerçekleştirmektedir. Roberts kenar detektöründe kullanılan gradyanın yönünü ve büyüklüğünü bulmak için Şekil 4'te verilen çekirdekler kullanılmaktadır. Bu çekirdekler bir çift 2x2 evrişim çekirdeğidir. Bir çekirdek basitçe diğer çekirdeğe göre 90° döndürülmektedir (Roberts, 1963; Ganesan ve Sajiv, 2017).

0	+1
0	+1

+1	+1
0	0

G_x
 G_y

Şekil 4. Robert operatörü için kullanılan maskeler

Bu çekirdekler, iki dikey yönelimin her biri için bir çekirdek olacak şekilde, piksel ızgarasına 45°'de uzanan kenarlara maksimum düzeyde yanıt verecek şekilde tasarlanmıştır. Çekirdekler, her oryantasyonda gradyan bileşeninin ayrı ölçümlerini üretmek için giriş görüntüsüne ayrı ayrı uygulanabilmektedir. Bunlar daha sonra her noktadaki gradyanın mutlak büyüklüğünü ve bu gradyanın yönünü bulmak için aşağıdaki eşitlikler kullanılarak birleştirilebilmektedir (Juneja ve Sandhu, 2009; Maini ve Aggarwal, 2009).

$$grad(f) = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial f / \partial x \\ \partial f / \partial y \end{bmatrix}$$

(3)

Bu detektörün büyüklüğü;

$$M(x, y) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

(4)

Uzamsal gradyanı oluşturan kenarın oryantasyon açısı (piksel ızgara oryantasyonuna göre) şu şekilde verilmektedir:

$$\theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right) - 3\pi/4$$

(5)

2.2.5. Log

Log yöntemi ilk olarak Marr-Hildreth tarafından önerildiği için, bu yöntemle Marr-Hildreth kenar belirleme yöntemi de denilmektedir. Log kenar belirleme algoritması ani yoğunluk değişikliklerinin olduğu bölgeleri tespit ettiğinden dolayı genellikle kenar tespiti için kullanılmaktadır. Laplasyen, gürültüye karşı duyarlılığı azaltmak için genellikle Gauss Yumuşatma filtresini görüntüye uygulamaktadır. Operatör normalde girdi olarak tek bir gri seviyeli görüntü almakta ve çıktı olarak başka bir gri seviyeli görüntü üretmektedir. İki boyutlu bir görüntünün Laplasyen gradyanı; $I(X, Y)$ piksel yoğunluk değeri $L = (X, Y)$ olmak üzere;

$$L(X, Y) = \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial y^2}$$

(6)

Şekil 5'te görülen gibi çekirdekler, Gauss'un Laplasyen gradyan kenar detektöründe kullanılan gradyanın yönünü ve büyüklüğünü bulmak için kullanılmaktadır (Ganesan ve Sajiv, 2017).

-1	1	+1
+1	-8	+1
+1	+1	+1

-1	+2	-1
2	-4	2
-1	+2	-1

G_x
 G_y

Şekil 5. Log kenar belirleme algoritmasının maskesi (çekirdeği)

Görüntünün direk olarak laplesyeninin alınması görüntüdeki gürültüyü arttıracığından dolayı, görüntü öncelikle Gauss filtresinden geçirilmektedir. Daha sonra görüntünün laplesyeni alınmaktadır. Hem Gauss hem de Laplasyen çekirdekleri genellikle görüntüden çok daha küçük olduğundan, bu yöntem genellikle çok daha az aritmetik işlem gerektirmektedir.

2.2.6. Zerocross

Zerocross yöntemi, ikinci türevin sıfır geçişlerini tespit etmektir. Birinci türevin tepe noktası her zaman ikinci türevin sıfır geçişine karşılık geldiğinden, zerocross yöntemi ve Log yöntemi, sınırı tespit etmek için benzer teoriye dayanmaktadır. Kenar algılama ve belirleme, ikinci türevin sıfır geçiş noktalarına dayandığı için bu noktaların yerleri x-koordinatı ve y-koordinatı ile gösterilmektedir. Sıfır noktası, sembollerinin ve bitişik noktasının farklı olduğunu ve sıfır noktasının iki nokta arasında daha küçük olduğunu göstermektedir (Zhang ve ark., 2010).

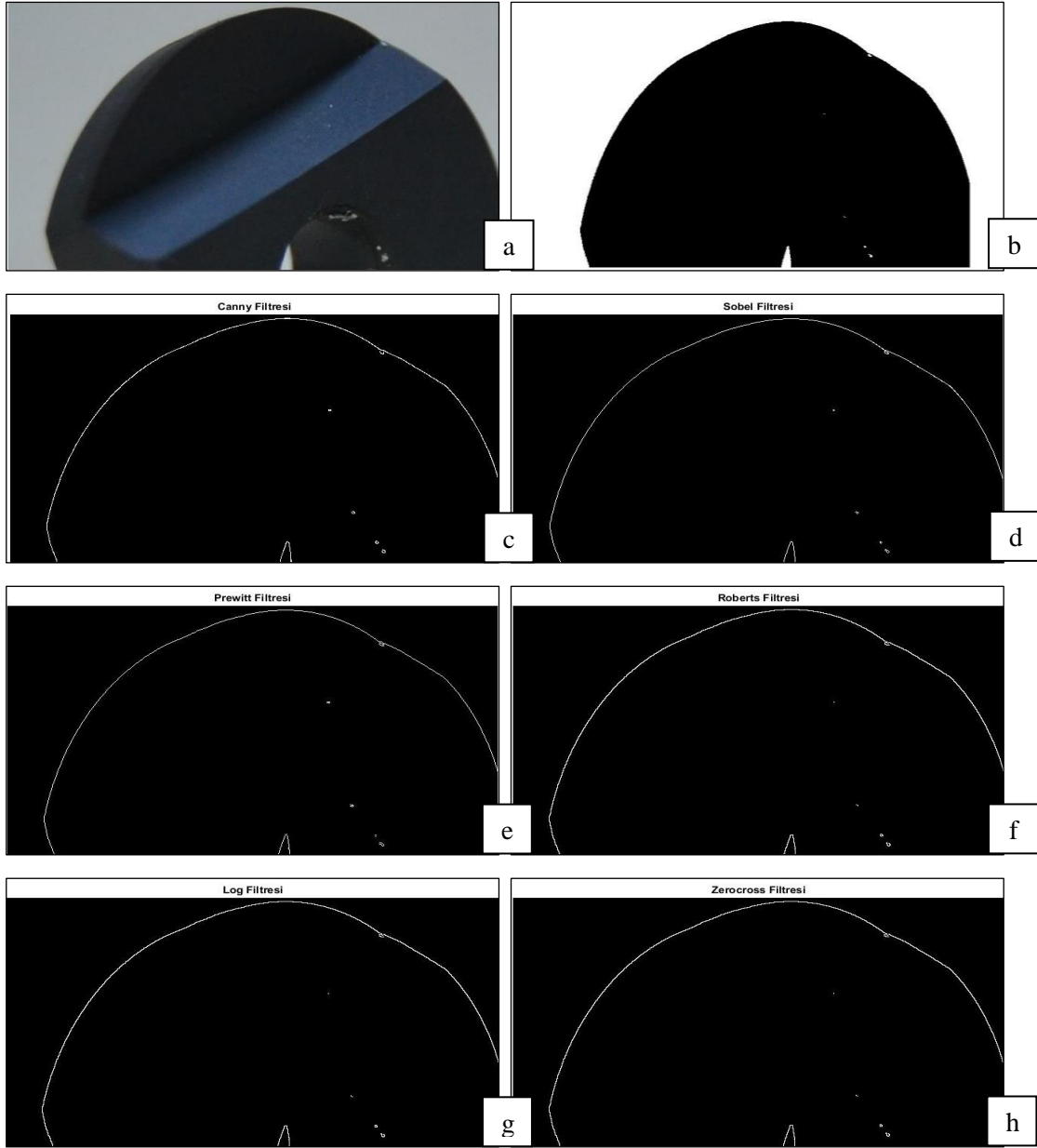
Zerocross operatörünün avantajları, kenarları ve oryantasyonları algılamasıdır. Bu yöntemde, gradyan büyüklüğü yaklaşımından dolayı kenarların ve yönelimlerinin basit olduğu söylenmektedir. Dezavantajı gürültüye karşı aşırı duyarlı olmasıdır (Shrivakshan ve Chandrasekar, 2012).

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma yapılmadan önce talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan; büyük, orta, küçük parmak freze uçları ve ayrı bir freze kesici takım ucu materyal olarak seçilmiştir (Şekil 1).

Görüntüler RGB yani renkli olarak elde edildiğinden öncelikle görüntüler ikili (binary) formata aktarılmıştır. Daha sonra kenar belirlemede yaygın olarak kullanılan Canny, Sobel, Prewitt, Roberts, Log ve Zerocross algoritmaları takım uçları üzerinde tek tek kenarların bulunmasında kullanılmıştır. Görüntü işleme için Matlab yazılımının “Görüntü işleme araç kutusu” kullanılmıştır.

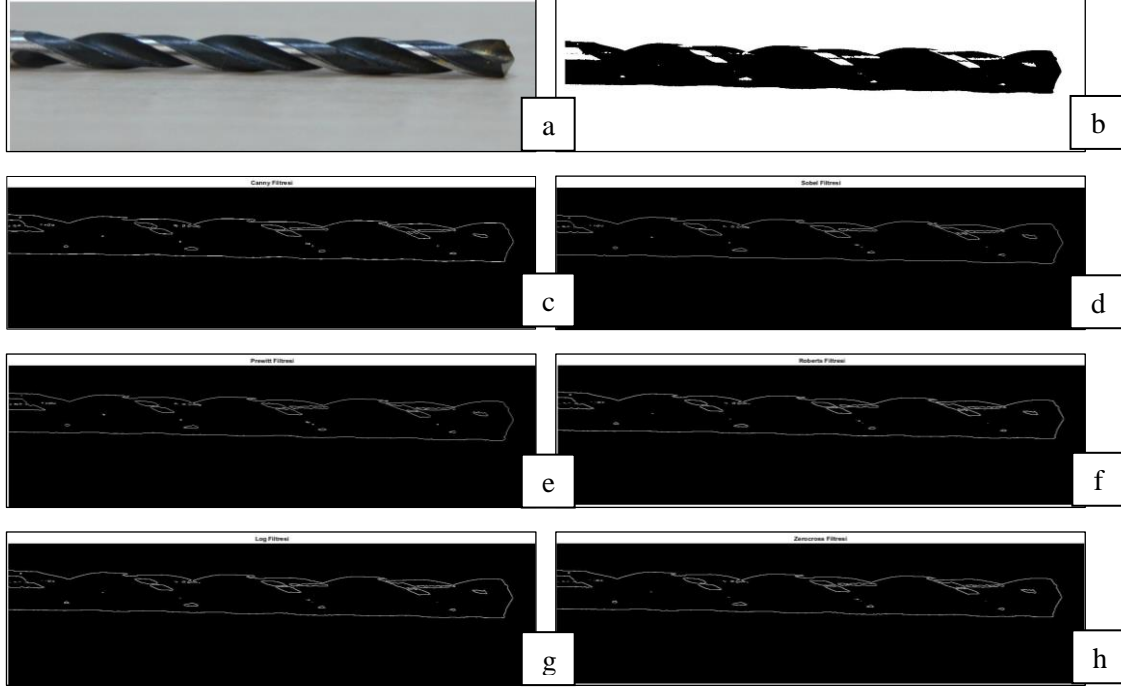
Şekil 6a’da işlem görmemiş kesici takım ucunun Matlab programında elde edilen ham görüntüsü verilmiştir. Şekil 6b’de bu ham görüntüye ait Matlab programında elde edilen ikili görüntü ve Şekil 6c-h’da ise ikili görüntüye ait sırası ile Canny, Sobel, Prewitt, Roberts, Log ve Zerocross algoritmaları uygulanmış hali görülmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, ikili görüntüye uygulanan tüm algoritmalara ait kenarların benzer olarak yakalandığı görülmüştür.



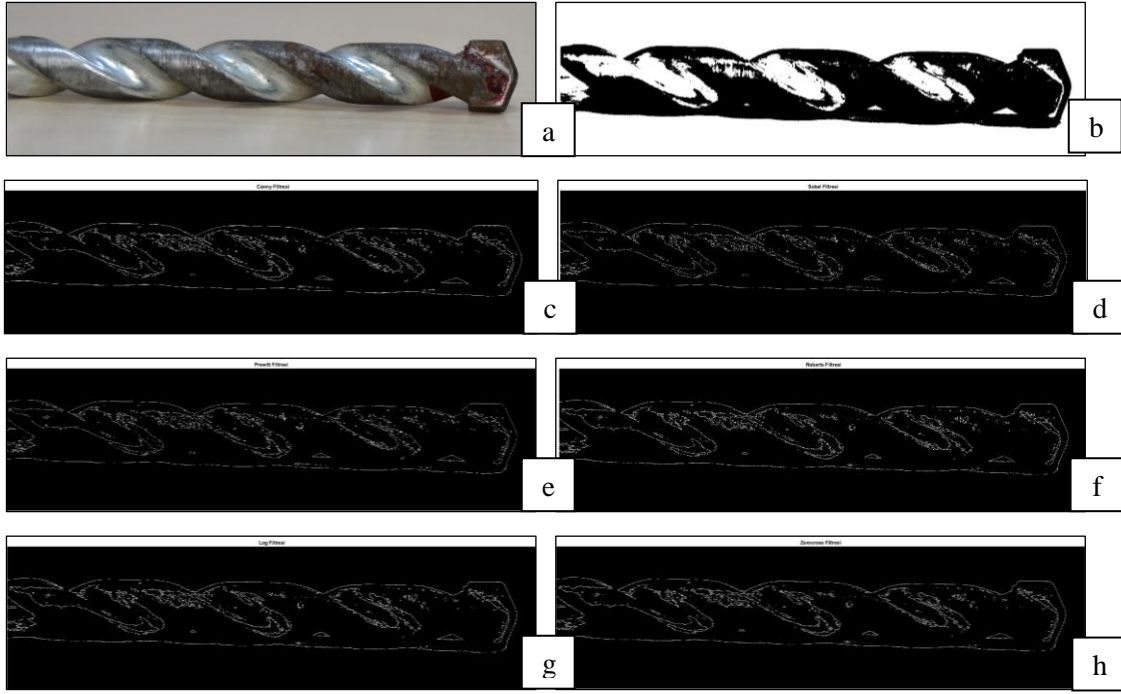
Şekil 6. Kesici takım ucu; a)renkli görüntü, b) ikili görüntü, c) Canny, d) Sobel, e) Prewitt, f) Roberts, g) Log, h) Zerocross

Benzer şekilde Şekil 7-9’da farklı çaplara ($\varnothing 11$, $\varnothing 5,5$ ve $\varnothing 2,5$ mm) sahip parmak freze görüntülerine uygulanan kenar belirleme algoritmalarına ait renkli görüntü, ikili görüntü, Canny, Sobel, Prewitt, Roberts, Log ve Zerocross algoritmaları uygulanmış haline ait görüntüler aynı sıra ile verilmiştir. Görüntülere uygulanan algoritmaların sonuç görüntüleri (Şekil 7-9) görsel yorumlama ile incelendiğinde benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Önal yaptığı tez çalışmasında da gürültüsü az olan görüntüler ile çalışıldığında kenar belirleme algoritmaların belirli bir oranda başarılı olduğunu ve görüntülerdeki gürültü arttıkça kenarların doğru bir şekilde belirlenme oranının düştüğünü belirtmiştir (Önal, 2018).

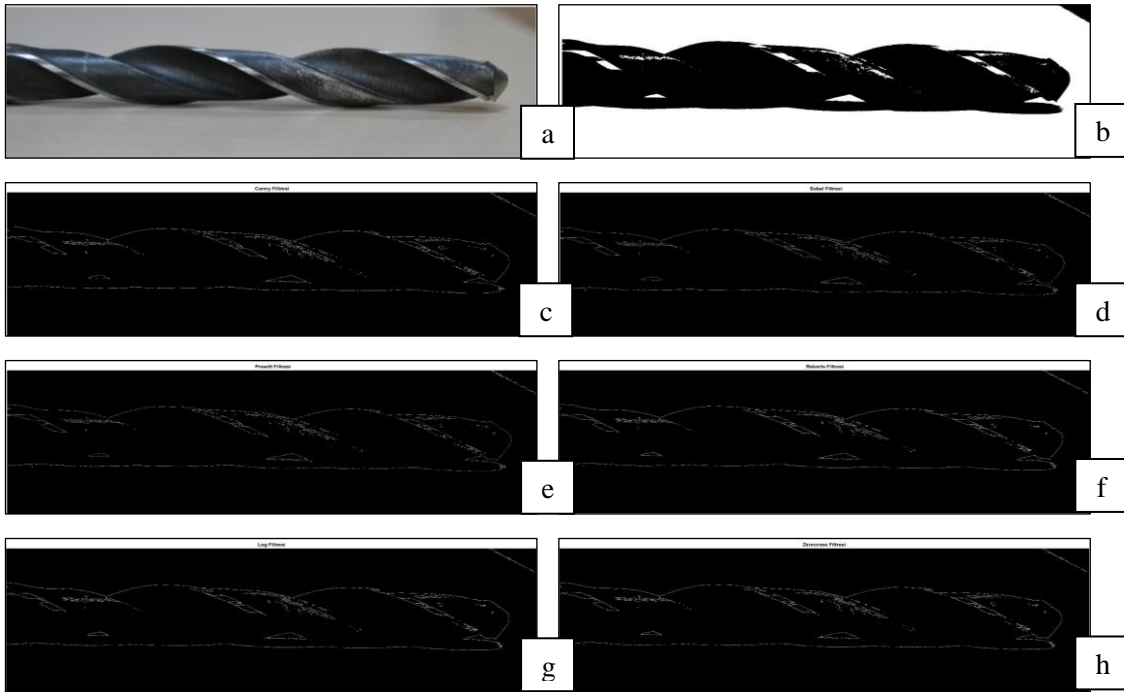
Kesici takım ucu kenarlarının kenar belirleme algoritmaları ile oldukça doğru bir şekilde belirlenebildiği görülmüştür. Yapılan çalışmaya benzer olarak (Thakre ve ark., 2019); yaptıkları incelemelerde talaşlı imalat endüstrisinde karbür kesici takım uçlarının yan yüzey aşınmasının doğrudan ölçümü için kenar belirleme yöntemlerinden Canny algoritmasını incelemişlerdir. Canny algoritması ile belirlenen kenarlar ile dijital mikroskoptan elde edilen kenarlar ile doğrulanmıştır. Ancak taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen sonuçlarda %3'lük bir sapma olduğunu belirtmişlerdir. Atl ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında; Canny algoritması ile 2 adet aşınmamış ve 7 adet aşınmış takım ucuna ait kenarlar belirlenebildiğini göstermiştir (Atl ve ark., 2005).



Şekil 7. Ø2,5 mm parmak freze ucu; a) renkli görüntü, b) ikili görüntü, c) Canny, d) Sobel, e) Prewitt, f) Roberts, g) Log ve h) Zerocross



Şekil 8. Ø5,5 mm parmak freze ucu; a) renkli görüntü, b) ikili görüntü, c) Canny, d) Sobel, e) Prewitt, f) Roberts, g) Log ve h) Zerocross



Şekil 9. Ø11 mm parmak freze ucu; a) renkli görüntü, b) ikili görüntü, c) Canny, d) Sobel, e) Prewitt, f) Roberts, g) Log ve h) Zerocross

4. Sonuç

Kenar belirleme algoritmalarından Canny, Sobel, Prewitt, Roberts, Log ve Zerocross algoritmaları Şekil 2’de verilen takım uçları üzerinde denenmiştir. Elde edilen sonuç görüntüleri ayrıntılı bir şekilde

incelendiğinde, takım uçlarının kenarlarının bütün algoritmalar tarafından benzer şekilde belirlendiği görülmüştür. Bu benzerliğin görüntülerin gürültüsüz bir şekilde elde edilmesinden ve çalışılan örneklerin çok fazla detay barındırmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca görüntüleme algoritmaları uygulanırken özel bir eşik değeri kullanılmamıştır. Algoritma tarafından belirtilen varsayılan değerleri kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen görüntüler herhangi bir gürültüden etkilenmeden yüksek kalitede elde edilmiştir. Görüntüler olması gerektiği gibi elde edildiğinden çalışmada kullanılan kenar belirleme algoritmalarının kenar belirleme performanslarının yüksek olduğu ve kullanılan algoritmalar ile belirlenen kenarların arasında belirgin bir farkın olmadığı görülmüştür. Algoritmalara uygulanacak eşik değerlerinin kenar belirleme işlemini ne kadar etkileyeceği başka bir çalışma konusu olarak düşünülmektedir. Çalışmada küçük boyutlu parmak frezeler ile çalışıldığından ve bu materyallerin uç kısımları çalışma konusunu oluşturduğu için alınan görüntülerde küçük boyutlu görüntülerdir. Küçük boyutlu görüntüler çalışmada kullanılan kenar belirleme algoritmalarına uygulandığında hız ve kenar yakalama performansı açısından görsel yorumlama da etkili bir fark tespit edilememiştir. Daha sonraki çalışmalarda daha büyük matkap uçları ile çalışıldığında daha büyük boyutlu görüntüleme kenar belirleme yöntemlerinin uygulanması sonucunda, kenar belirleme algoritmaları arasındaki farkların tespit edilebileceği düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Bagga P., Makhesana M., Patel KA. Novel approach of combined edge detection and segmentation for tool wear measurement in machining. *Production Engineering* 2021a; 15(3): 519-533.
- Bagga P., Makhesana M., Patel K., Patel K. Tool wear monitoring in turning using image processing techniques. *Materials Today: Proceedings* 2021b; 44: 771-775.
- Canny JA. Computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence* 1986; 6: 679-698.
- Castejón M., Alegre E., Barreiro J., Hernández L. On-line tool wear monitoring using geometric descriptors from digital images. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 2007; 47(12-13): 1847-1853.
- Coromant S. *Modern metal cutting: a practical handbook*. English Edition, Sandvik Coromant, Sweden, I-III 1994: 35-120.
- D'Addona D., Teti R. Image data processing via neural networks for tool wear prediction. *Procedia Cirp* 2013; 12: 252-257.

Danesh M., Khalili K. Determination of tool wear in turning process using undecimated wavelet transform and textural features. *Procedia Technology* 2015; 19: 98-105.

Dieter GE. *Mechanical metallurgy*. 1988.

Fadare D., Oni A. Development and application of a machine vision system for measurement of tool wear. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences* 2009; 4(4): 42-49.

Ganesan P. Sajiv GA. Comprehensive study of edge detection for image processing applications. 2017 international conference on innovations in information, embedded and communication systems (ICIIECS), 2017, sayfa no:1-6.

Gonzalez R. Woods R. *Digital Image Processing*. 2nd edn Prentice Hall. New Jersey 2002; 793.

Juneja M. Sandhu PS. Performance evaluation of edge detection techniques for images in spatial domain. *International journal of computer theory and Engineering* 2009; 1(5): 614.

Kendall L. A. Friction and wear of cutting tools and cutting tool materials. *ASM handbook* 1998; 18: 609-620.

Kurada S., Bradley CA. Machine vision system for tool wear assessment. *Tribology International* 1997; 30 (4): 295-304.

Lins RG., de Araujo PRM., Corazzim M. In-process machine vision monitoring of tool wear for Cyber-Physical Production Systems. *Robotics and computer-integrated manufacturing* 2020; 61: 101859.

Maini R., Aggarwal H. Study and comparison of various image edge detection techniques. *International journal of image processing (IJIP)* 2009; 3(1): 1-11.

Nadernejad E., Sharifzadeh S., Hassanpour H. Edge detection techniques: Evaluations and comparisons. *Applied Mathematical Sciences* 2008; 2(31): 1507-1520.

Obikawa T., Shinozuka J. Monitoring of flank wear of coated tools in high speed machining with a neural network ART2. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 2004; 44(12-13): 1311-1318.

Roberts LG. *Machine perception of three-dimensional solids*. Massachusetts Institute of Technology, sayfa, 1963.

Shrivakshan G., Chandrasekar CA. Comparison of various edge detection techniques used in image processing. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)* 2012; 9(5): 269.

Sortino M. Application of statistical filtering for optical detection of tool wear. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 2003; 43(5): 493-497.

Stephenson D., Agapiou J. *Metal cutting operations in metal cutting theory and practice*: Taylor and Francis Group, Boca Raton, FL; 2006.

Thakre AA., Lad AV., Mala K. Measurements of tool wear parameters using machine vision system. *Modelling and Simulation in Engineering* 2019; 2019.

url-1: https://www.nikon.com.tr/tr_TR/product/discontinued/digital-cameras/2015/d3100-black
27.01.2022

- Yu X., Lin X., Dai Y., Zhu K. Image edge detection based tool condition monitoring with morphological component analysis. *ISA transactions* 2017; 69: 315-322.
- Zhang C., Zhang J. On-line tool wear measurement for ball-end milling cutter based on machine vision. *Computers in industry* 2013; 64(6): 708-719.
- Zhang M., Li X., Yang Z., Yang Y. A novel zero-crossing edge detection method based on multi-scale space theory. *IEEE 10th International Conference On Signal Processing Proceedings*, 2010, sayfa no:1036-1039, Ljubljana, Slovenia.

Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) Çeşitlerinin Besin İçeriği Üzerine Farklı Kükürt Dozlarının Etkileri

Ruveyde TUNCTURK^{1*}, Lutfu NOHUTCU², Muhammed Said YOLCI³, Ezelhan SELEM⁴, Tulay TOPRAK⁵, Murat TUNCTURK⁶

^{1,2,3,4,5,6} Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Van Yuzuncu Yil University, 65080, Van, Turkey

¹<https://orcid.org/0000-0002-3759-8232>

²<https://orcid.org/0000-0003-2250-2645>

³<https://orcid.org/0000-0002-5304-7342>

⁴<https://orcid.org/0000-0003-4227-5013>

⁵<https://orcid.org/0000-0002-5576-2526>

⁶<https://orcid.org/0000-0002-7995-0599>

*Corresponding author: ruveydetuncturk@yyu.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 23.12.2021

Kabul tarihi: 18.02.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Aspir

Carthamus tinctorius L.

Çeşit

Kükürt

Besin içeriği

Bu çalışma, sulu koşullar altında 2011 ve 2012 yılları yazlık vejetasyon döneminde aspir (*Carthamus tinctorius* L.) çeşitlerinin besin içerikleri üzerine kükürt dozlarının etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Arazi denemeleri, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme alanında Tesadüf Blokları Parsel Deneme Deseni' ne göre üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Faktör olarak üç farklı kükürt dozu (0, 25, 50 kg/ha) ve üç aspir çeşidi kullanılmıştır. Çalışmada aspir tohumunun makro ve mikro besin elementi içerikleri incelenmiştir. Kükürt uygulamalarının tohumların Ca, Fe ve Mn içerikleri dışında K, Mg, Zn ve Cu gibi besin element içeriklerini önemli ölçüde etkilemediği belirlenmiştir. Ayrıca aspir çeşitleri arasında Mg ve Cu dışında, K, Ca, Fe, Mn ve Zn besin içeriği bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıklar tespit edilmiştir.

Effects of Different Sulphur Doses on Nutrient Contents of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Cultivars

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 23.12.2021

Accepted: 18.02.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Safflower

Carthamus tinctorius L.

Cultivar

Sulphur

Nutrient content

This study was carried out to determine the effects of sulphur doses on the nutrient contents of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under irrigated conditions in the 2011- and 2012-years spring periods. Field trials were conducted with a randomized complete block split-plot design with three replications in the experimental area of Van Yuzuncu Yil University, Faculty of Agriculture. As a factor, three different sulphur doses (0, 25, 50 kg ha⁻¹) and three safflower cultivars were used. In the study, macro and micronutrient element contents of safflower seed were investigated. It was determined that wasn't affected significantly by nutrient element contents such as K, Mg, Zn, and Cu except for Ca, Fe, and Mn contents of seed by sulphur applications. In addition, statistically significant differences were found among safflower varieties in terms of the nutrient content of K, Ca, Fe, Mn, and Zn, except for Mg and Cu.

To Cite: Tuncturk R., Nohutcu L., Yolcu MS., Selem E., Toprak T., Tuncturk M. Effects of Different Sulphur Doses on Nutrient Contents of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Cultivars. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 720-728.

1. Introduction

Carthamus tinctorius L., belonging to the family Asteraceae, is a multipurpose oilseed crop grown mainly for its high-quality edible oil (Beyyavas et al., 2011). The eastern part of the Mediterranean region is regarded as the center of origin of the safflower genus (Ashri and Knowles, 1960). The seeds of this plant contain 15-20 % protein, and 35-50 % oil (Rahamatalla et al., 2001). Safflower is an important oilseed crop that has been widely cultivated as a source of edible oil and dyes in the world. The average fatty acid composition of the safflower oil is about 78 % linoleic 10 % oleic 9 % stearic and 5% palmitic acid (Yadav and Srivastava, 2013). Safflower is also grown for its flowers which are used as cut flowers, in coloring and flavoring food, in textile dyes, as livestock forage, as a vegetable, in herbal teas, and for medicinal purposes (Mohammadi et al., 2014). Safflower has a high degree of tolerance to drought and salinity which possessing deep roots makes it able to meet its water requirements from a lower layer of soil (Naderi and Bijanzadeh, 2014).

S is required by the plants in amounts similar to phosphorus (P) and is important to the plants for protein formation and other functions (Rani et al. 2009). Sulphur application decreased soil reaction and increased uptake of nutrients by plants (Yener, 1997). Sulfur is particularly effective in the root development of plants. Although sulfur (S) has been an essential well macro element for plant growth for more than two centuries, its use in agricultural production is not common (Jianeng and Haibo, 2015). This study aimed to explore the effects of sulphur doses on some macro and micro nutrition elements content of safflower cultivars.

2. Materials and Methods

The research was conducted in experimental areas of Van Yuzuncu Yil University, Faculty of Agriculture, Field Crops Department in 2010 and 2011. Soil properties of the trial field were clay, loam, high in clay (17.9 %), low in salt (0.021 %), and light alkaline (pH 8.4). Experimental soil had low concentrations of organic material (1.85 %) and nitrogen (0.092 %). Available phosphorus content of the soil was highly low (6.70 ppm) and available potassium content was sufficient (488 ppm). Climatic data of the years in which the research was conducted were 377.4-516.9 mm rainfall, 11.20-9.45 °C mean temperature, and 53.5 %- 56.5 % mean humidity, respectively. Seed sowings, in the ratio of 30 kg/ha, by hand were realized in both experimental years. Field trials were designed in factorial order according to randomized complete block design (RCBD) with three replications. As factor, three different sulphur doses (0 kg/ha, 25 kg/ha, and 50 kg/ha) and three different safflower cultivars (Dinçer (C1), Remzibey (C2), and Yenice (C3)) were used. Seeds were sown by hand on April 6, 2010, and April 19, 2011, in the experimental years. Each plot sizes were 3m x 1.8m = 5.4 m² and row spacing was 30 cm in 6 rows. The area harvested was 2.4 m² and plants were harvested by hand when seeds were ripened.

Nutrient element contents of the plant samples were determined as follows; dried plant samples were ashed in a furnace with hydrochloric and nitric acid (AOAC). After this process, distilled water (50

ml) was added to samples in a volumetric flask. All analyzes were repeated three times and standard materials were used for chemical analyses. Atomic Absorption Spectrometry was used for the determination of mineral compositions. All data were subjected to Analysis of Variance and the significance of mean values was tested by Duncan Multiple Range Test using COSTAS (version 6.3) software (Duzgunes et al., 1987).

3. Results and Discussion

Depending on the effects of the factors applied in the study, the averages of two years are given in Tables 1, 2, 3, 4, 5, 6, and 7). The results of this study showed that, affected Fe and Mn contents of seed by sulphur doses, while K, Ca, Mg, Zn, and Cu contents were not affected. However, concerning Mg and Cu contents were no significant differences among cultivars while among cultivars in other minerals (K, Ca, Fe, Mn, and Zn) were found significant differences. Effects on the Ca, Fe and Mn contents were found significant while on effects the K, Mg, Zn, and Cu were not found significant. of the sulphur doses and cultivar interaction (S x C).

Table 1. Effects of sulphur doses on K (%) contents of safflower cultivars

Parameters	Control (0 kg/ha)	25 kg/ha	50 kg/ha	Means
Dincer (C1)	0.49	0.54	0.56	0.53 b
Remzibey (C2)	0.66	0.57	0.60	0.61a
Yenice (C3)	0.56	0.57	0.63	0.59ab
Means	0.57	0.56	0.60	
LSD (0.05)	0.059			
CV (%)	10.32			
Sulphur Doses (S)		ns		
Cultivars (C)		*		
Sulphur Doses (S) X Cultivars (C)		ns		

Different letters above columns indicate significance levels of means according to Duncan's Multiple Range Test. ** P < 0.01; * P < 0.05.

On the K content, the differences among only cultivars were found statistically significant (5%), while it was not found significant the effects of sulphur doses applications and sulphur x cultivars interaction. The highest K content was obtained as 0.61 % from the Remzibey cultivar and also the lowest value was determined as 0.53 % from the Dincer cultivar. With sulphur doses, K content was recorded between 0.56-0.60%. Potassium regulates the osmotic pressure of the plant and it has an important role in starch synthesis In similar studies related to the subject; Day et al. (2017) determined that the K content was obtained between 45.4- 72.1 g/kg from the Remzibey cultivar, while K content was obtained between 52.6-69.2 g/kg from the Yenice cultivar. In related to sulphur applications, Yılmaz (2017) determined that the highest K content was obtained as 4.67 % from 20 kg S ha⁻¹.

Table 2. Effects of sulphur doses on Ca (%) contents of safflower cultivars

Parameters	Control (0 kg/ha)	25 kg/ha	50 kg/ha	Means
Dincer (C1)	0.31 d	0.38 d	0.36 d	0.35 b
Remzibey (C2)	0.90 a	0.43 d	0.56 c	0.63 a
Yenice (C3)	0.63 bc	0.46 d	0.66 b	0.58 a
Means	0.61 a	0.42 b	0.53 a	
LSD (0.05)	0.09			
CV (%)	17.12			
Sulphur Doses (S)		**		
Cultivars (C)		**		
Sulphur Doses (S) X Cultivars (C)		**		

Different letters above columns indicate significance levels of means according to Duncan's Multiple Range Test. ** P < 0.01 ; * P < 0.05.

The effects of all trial factors and interaction on Ca content were found significant at the 1% level. In terms of calcium content, the highest value was obtained as 0.61 % from 0 kg ha⁻¹ (control) sulphurs doses. It is the same group with a 50 kg/ha sulphur dose. The lowest Ca content (0.42 %) was determined from a 25 kg/ha sulphur dose. Also, among the cultivars, the highest value was recorded as 0.63 kg/ha from the Remzibey cultivars. However, it is seen that there is no statistically significant difference between the C3 cultivar (Table 2). In relation to the Sulphur Doses (S) x Cultivars (C), the best results were recorded as 0.90 % from the control group of sulphur, in the Remzibey variety. Calcium functions as an essential plant nutrient and as a structural element in the plant cell wall (Perochon et. al., 2011). Day et al. (2017) recorded that Ca content was determined between 7.7-11.0 g/kg from the Remzibey cultivar, while Ca content was obtained between 8.7-12.2 g/kg from the Yenice cultivar. In addition, it was recorded that obtained from control (0 kg S ha⁻¹) applications as 1.22 % highest Ca content of canola plant, in a study carried out by Yılmaz (2007).

Table 3. Effects of sulphur doses on Mg (%) contents of safflower cultivars

Parameters	Control (0 kg/ha)	25 kg/ha	50 kg/ha	Means
Dincer (C1)	0.28	0.29	0.30	0.29
Remzibey (C2)	0.30	0.27	0.30	0.29
Yenice (C3)	0.30	0.27	0.33	0.30
Means	0.29	0.28	0.31	
LSD (0.05)	0.04			
CV (%)	16.80			
Sulphur Doses (S)		ns		
Cultivars (C)		ns		
Sulphur Doses (S) X Cultivars (C)		ns		

Different letters above columns indicate significance levels of means according to Duncan's Multiple Range Test. ** P < 0.01; * P < 0.05.

Both factors used in the experiment did not significantly affect the magnesium content. In terms of cultivars, Mg content was between 0.29-0.30 %, and sulfur applications were found between 0.28-

0.31%. Yılmaz (2017), determined that Mg content was found between 0.23-0.24 % in canola plants. It is slightly higher our research results than the findings of the researcher.

Table 4. Effects of sulphur doses on Fe (ppm) contents of safflower cultivars

Parameters	Control (0 kg/ha)	25 kg/ha	50 kg/ha	Means
Dincer (C1)	82.8 g	90.0 efg	94.9 def	89.2 c
Remzibey (C2)	120.2 b	89.1 fg	101.9 cd	103.7 b
Yenice (C3)	103.1 c	95.1 de	128.7 a	108.9a
Means	102.0b	91.3c	108.5a	
LSD (0.05)	5.08			
CV (%)	5.05			
Sulphur Doses (S)		**		
Cultivars (C)		**		
Sulphur Doses (S) X Cultivars (C)		**		

Different letters above columns indicate significance levels of means according to Duncan's Multiple Range Test. ** P < 0.01 * P < 0.05.

The effects of all trial factors and interaction on Fe content were found significant at the 1% level. While the maximum Fe content was detected as 108.5 ppm from 50 kg/ha sulphur applications, the minimum Fe content was obtained as 91.3 ppm from 25 kg/ha sulphur applications. According to cultivars, the best results related to Fe content were determined as 108.9 ppm from the Yenice cultivar, also the lowest value was determined as 89.2 ppm from the Dincer cultivar. Aytac et al., (2014) recorded that the highest Fe content (61.53 mg/kg) was obtained from the UC-1 cultivar and the lowest value (43.13 mg/kg) was obtained from the Remzibey cultivar. However, Naderi and Bijanzadeh (2014) determined that the Fe content was obtained between 65.82-91.41 mg/kg in the two different safflower cultivars. In the Sulphur Doses (S) x Cultivars (C) interaction the highest Fe contents were recorded as 128.7 ppm from 50 kg/ha sulphur application in the Yenice variety. In a study conducted on the canola plant by Yılmaz (2017), the highest Fe content (80.0 mg/kg) was obtained from 40 kg/ha sulphur dose application, the lowest value (71.0 mg/kg) was obtained from the control plot. Our research results were found to be considerably higher than the researcher's findings.

Table 5. Effects sulphur doses on Mn (ppm) contents of safflower cultivars

Parameters	Control (0 kg/ha)	25 kg/ha	50 kg/ha	Means
Dincer (C1)	22.6 c	24.6 c	25.0 c	24.1 b
Remzibey (C2)	27.7 b	25.0 c	23.6 c	25.5 b
Yenice (C3)	24.3 c	22.7 c	34.9 a	27.3 a
Means	24.9 b	24.1 b	27.8 a	
LSD (0.05)	1.45			
CV (%)	5.69			
Sulphur Doses (S)		**		
Cultivars (C)		**		
Sulphur Doses (S) X Cultivars (C)		**		

Different letters above columns indicate significance levels of means according to Duncan's Multiple Range Test. ** P < 0.01; * P < 0.05

The effects on the Mn content were found, statistically significant (1%) of cultivars, Sulphur doses, and S x C interaction. In terms of sulphur fertilizer doses, the maximum Mn content (27.8 ppm) was recorded from 50 kg/ha sulphur (S) applications. The minimum value was obtained as 24.1 ppm from 25 kg/ha sulphur (S) applications. However, it was determined that there are no statistically important differences between control plots. In the study, the highest Mn content (27.3 ppm) was determined from the Yenice cultivar, also the lowest value (24.1 ppm) was determined from the Dincer cultivar. But, there are no statistically important differences between Dincer with Remzibey cultivars. About the Sulphur Doses (S) x Cultivars (C), the best results were detected as 34.9 ppm from 50 kg/ha sulphur applications in the Yenice variety. The other study conducted on the different safflower cultivars (Dincer, Remzibey, Yenice, UC-1, and V50/63) determined that the highest Mn content was 15.10 mg/kg from the Dincer cultivar and the lowest value (10.53 mg/kg) was obtained from Yenice cultivar (Aytac et al., 2014). Naderi and Bijanzadeh (2014) determined that Mn content obtained between 120.32-122.2 mg/kg in the two different safflower cultivars. While our research results were higher than Aytac et al., (2007), it was found to be much lower than Naderi and Bjanzadeh (2014).

Table 6. Effects of sulphur doses on Zn (ppm) contents of safflower cultivars

Parameters	Control (0 kg/ha)	25 kg/ha	50 kg/ha	Means
Dincer (C1)	59.1	63.8	67.3	63.4 b
Remzibey (C2)	72.3	83.0	74.2	76.5 a
Yenice (C3)	67.1	68.3	65.8	67.0 b
Means	66.2	71.7	69.1	
LSD (0.05)	5.62			
CV (%)	8.15			
Sulphur Doses (S)		ns		
Cultivars (C)		**		
Sulphur Doses (S) X Cultivars (C)		ns		

Different letters above columns indicate significance levels of means according to Duncan's Multiple Range Test. ** P < 0.01; * P < 0.05

Zinc is required for various chemical reactions such as protein and DNA synthesis, growth, and immune system function (Maiti et al., 2016). On the zinc content, the differences among only cultivars were found statistically significant (5%), while it was not found significant the effects of sulphur doses applications and sulphur x cultivars interaction. In this research, the Zn ratio of the safflower cultivar was determined between 66.2-71.7 ppm. The best result for zinc was detected at 76.5 ppm from the Remzibey cultivar, the lowest results were obtained at 63.4 and 67.0 ppm from Dincer and Yenice cultivars, respectively. Between both cultivars, there are no differences statistically. The study conducted on the different safflower cultivars (Dincer, Remzibey, Yenice, UC-1, and V50/63) determined that the highest Fe content was obtained as 46.73 mg/kg from the Remzibey cultivar and the lowest value (34.37 mg/kg) was obtained from V50/63 cultivar (Aytac et al. 2014). Naderi and Bijanzadeh (2014) recorded that Zn content obtained between 32.28-32.87 mg/kg in the two different

safflower cultivars. Our research findings were found to be considerably higher than the researcher's findings.

Table 7. Effects of sulphur doses on Cu (ppm) contents of safflower cultivars

Parameters	Control (0 kg/ha)	25 kg/ha	50 kg/ha	Means
Dincer (C1)	35.4	39.8	40.8	38.6
Remzibey (C2)	41.5	39.8	41.1	40.8
Yenice (C3)	41.8	36.8	45.9	41.5
Means	39.6	38.8	42.6	
LSD (0.05)	5.51			
CV (%)	13.67			
Sulphur Doses (S)		ns		
Cultivars (C)		ns		
Sulphur Doses (S) X Cultivars (C)		ns		

Different letters above columns indicate significance levels of means according to Duncan's Multiple Range Test. ** P < 0.01; * P < 0.05.

According to the results of this research, of none of the research factors, the effect on the content of copper wasn't found to be statistically significant. Copper is an essential biometal for humans, animals, and certain types of plants (Nikolica et. al., 2014). The Cu content was obtained between 38.8 and 42.6 ppm in the different sulphur doses applications. For cultivars, copper content was detected between 38.6-41.5 ppm. The study conducted in the five different safflower cultivars (Remzibey, Yenice, Dincer, UC-1, and V50/63) conducted by Aytac et al., (2014) recorded that the highest Cu content (16.35 mg/kg) was obtained from UC-1 cultivar, while the lowest value (3.30 mg/kg) from V50/63 cultivar. Naderi and Bijanzadeh (2014) reported that Cu content was obtained between 15.31-15.77 mg/kg in the two different safflower cultivars.

4. Conclusions

It was determined that was affected significantly the nutrient elements contents such as Ca, Fe, and Mn except for K, Mg, Zn, and Cu by different sulphur doses applications. Only, it had been determined that Mg and Cu weren't affected by both application factors. Also, it was recorded a significant difference statistically among safflower cultivars in K, Ca, Fe, Mn, and Zn contents.

Minerals are of great importance for cell protection and healthy tooth, bone, and skin structure. Apart from this, they play an important role in blood pressure, heart rhythm, muscle functions, maintaining fluid balance in the body, reproduction, and many other functions. As a result of scientific research, mineral loss and deficiency directly affect our health. As a result of the research, it was determined that significant increases occurred in the Fe and Mn content especially the Yenice variety with sulfur applications in safflower seed, which is an important oil plant.

Conflict of Interest Statement

The authors of the article declare that there is no conflict of interest between them.

Contribution Rate of Researchers Statement Summary

The authors declare that they have contributed equally to the article.

References

- AOAC. Official Method of Analysis 962.09 (17 Th Edition) Volume I. Association of Official Analytical Chemists 2020; Inc., Maryland, USA.
- Ashri A., Knowles P.F. Cytogenetics of safflower *Carthamus tinctorius* L. species and their hybrids. *Agronomy Journal* 1960; 52(1): 11.
- Aytac Z., Gulmezoglu ND., Sirel Z., Alkan TI., Torun A. The effect of zinc on yield, yield components, and micronutrient concentrations in the seeds of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). *Not. Bot. Horti. Agrobiol.* 2014; 42(1): 202-208.
- Beyyavas V., Haliloglu H., Çopur O., Yılmaz A. Determination of seed yield and yield components of some safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars, lines and populations under the semi-arid conditions. *Afr J Biotechnol* 2011; 10(4): 527.
- Day S., Cıklı Y., Aasim M. Screening of three safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under boron stress. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus* 2017; 16(5): 109-116.
- Duzgunes O., Kesici T., Kavuncu O., Gurbuz F. Research and experimental methods. *Statistical Methods-II*. Ankara University, Agr Fac Press 1987; 1021: 295.
- Jianeng G., Haibo J. Preparation of ceramic honeycomb monolithic catalyst and catalytic performance in oxidative dehydrogenation of cyclohexane oxid. *Commun* 2015; 38(4): 1645.
- Maiti R., Rodriguez HG., Degu HD., Kumari CA. Sarkar NC. Macro and micronutrients of 44 medicinal plant species used traditionally in Nuevo Leon, Mexico. *International Journal of Bio-resource and Stress Management* 2016; 7(5): 1054-1062.
- Mohammadi M., Tavakoli A., Saba J. Effects of foliar application of 6-benzylaminopurine on yield and oil content in two spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. *Plant Growth Regul.* 2014; 73: 219.
- Naderi R., Bijanzadeh E. Organic amendment sand nitrogen effects on growth and chemical composition of two cultivars of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Aust J Crop Sci.* 2014; 8(4): 577-581.
- Nikolica RS., Kocicb GM., Kostica DA., Nikolicb NG., Jovanovica JM., Krstica NSA. Study on the protective role of lipoic acid in case of acute heavy metal (Cd, Pb, Cu) intoxication through the activity of the dnase in the liver and kidneys. *Oxidation Communications* 2014; 37(4): 1103-1110.
- Perochon A., Alden D., Galaud JP., Ranty B. Calmodulin and calmodulin- like proteins in plant calcium signaling. *Biochimie* 2011; 93: 2048-2053.

- Rahamatalla AB., Babiker EE., Krishna AG., Tinay AE. Changes in fatty acids composition during seed growth and physico chemical characteristics of oil extracted from four safflower cultivars. *Plant Food Hum Nutr.* 2001; 56: 385.
- Rani KU, Sharma KL., Nagasri K., Srinivas K., Murthy TV., Shankar GRM., Korwar GR., Sankar KS., Madhavi M., Grac JK. Response of sunflower to sources and levels of sulfur under rain fed semi-arid tropical conditions. *Commun Soil Sci Plant.* 2009; 40: 2926.
- Yadav G., Srivastava HC. Fatty acid composition and oil content of some safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars of Indian origin. *Asian J Res Chem.* 2013; 6(7): 634.
- Yener H. The effect of sulphur application on growth nutrient uptake and yield of plants in alluvial soils of Gediz plain. Phd Thesis, Ege University, Izmir, Turkey. 1997.
- Yılmaz R. The effect of sulphur fertilization on yield and some quality parameters in canola plant (*Brassica napus* L.). Namık Kemal University Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Soil Science and Plant Nutrition Msc. Thesis. Page no: 55. Tekirdağ, Turkey, 2017.

Factors Affecting Vegetable Farmers' Financial Condition and Income in Kaş District of Antalya Province, Turkey

Hatice TÜRK TEN^{1*}, Çağatay YILDIRIM²

^{1,2}Ondokuz Mayıs University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Economics, Samsun

¹<https://orcid.org/0000-0003-2037-7756>

²<https://orcid.org/0000-0002-4121-5564>

*Sorumlu yazar: hatice.turkten@omu.edu.tr

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 16.11.2021

Accepted: 04.03.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Vegetable

Financial ratios

Multiple regression model

Assets

Turkey

Vegetable agriculture, which has high investment capital and operating costs, plays an important role in the development of the country's economy. Vegetable production is the principal area of Turkish agriculture as vegetables have fulfilled the daily food requirements of humanity for ages. Multiple sampling techniques were used to collect data from 103 vegetable growers of Kaş district of Antalya through face to face surveys. Farmers were categorized into small and large size vegetable growers using cluster analysis. Financial ratios were calculated for vegetable growers to identify the areas which need improvement to make vegetable farms sound. Moreover, descriptive statistics along with a multiple regression model was used to analyze the data. The small size vegetable growers were found younger and more educated as compared to large size vegetable growers. Debt ratios of both vegetable size grower categories indicated that they have more assets as compare to their liabilities. The asset turnover ratio found small size vegetable growers more efficient in the use of their assets as compared to large size vegetable growers. While biological control precautions and fertilizer costs affect income negatively, it has been determined that agricultural experience and household size affect income positively and significantly. Therefore, the government should encourage vegetable size growers as they use environmentally friendly methods to produce safe and healthy food. In addition, large size vegetable growers with high agricultural experience need to benefit from training and extension services in order to increase their income by using new production methods.

Antalya İli Kaş İlçesindeki Sebze Üreticilerinin Mali Durumunu ve Gelirini Etkileyen Faktörler

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 16.11.2021

Kabul tarihi:04.03.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Sebze

Finansal oranlar

Çoklu regresyon modeli

Varlıklar

Türkiye

Yatırım sermayesi ve işletme maliyetleri yüksek olan sebze tarımı ülke ekonomisinin gelişmesinde önemli rol oynamaktadır. Sebze üretimi, çağlar boyunca insanlığın günlük besin ihtiyacını karşıladığı için Türkiye tarımının başlıca alanıdır. Araştırma verileri Antalya ili Kaş ilçesindeki sebze yetiştiricilerinden çoklu örnekleme teknikleri ile belirlenen 103 sebze üreticisinden anket yoluyla elde edilmiştir. Tarım işletmeleri, kümeleme analizi kullanılarak küçük ve büyük ölçekli sebze işletmeleri olarak kategorize edilmiştir. İşletmelerin iyileştirilmesi gereken alanların belirlenmesi için finansal oranlar hesaplanmıştır. Ayrıca, verileri analiz etmek için tanımlayıcı istatistikler ve çoklu regresyon modeli kullanılmıştır. Küçük işletme sahipleri, büyük işletme sahiplerine kıyasla daha genç ve daha eğitilidir. İşletmelerin borç oranları, yükümlülüklerine göre daha fazla varlığa sahip olduklarını göstermiştir. Varlık devir oranı, küçük işletmelerde büyük işletmelere göre daha verimlidir. Biyolojik mücadele önlemleri ve gübre maliyeti işletme gelirlerini olumsuz etkilerken, tarımsal deneyim ve

hane halkı büyüklüğü, işletme gelirini önemli ölçüde ve olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Bu nedenle gelir kaybını göze alarak güvenli ve sağlıklı gıda üretmek için çevre dostu yöntemler kullanan işletmeler teşvik edilmelidir. Ayrıca tarımsal deneyimi yüksek büyük ölçekli sebze işletmelerinin yeni üretim yöntemlerini kullanarak gelirlerini arttırabilmeleri için eğitim ve yayım hizmetlerinden yararlanmaları gerekmektedir.

To Cite: Türkten H., Yıldırım Ç. Factors Affecting Vegetable Farmers' Financial Condition and Income in Kaş District of Antalya Province, Turkey. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(2): 729-739.

1. Introduction

Fruits and vegetables have supported largely the daily food requirement of mankind for ages and even before man learned to grow cereal crops systematically (Naqvi, 2004). Agriculture consists of many subsectors and horticulture is one of them (Shahbaz et al., 2017a). Olericulture is a part of horticulture defined as the science of vegetable growing, dealing with the culture of non-woody (herbaceous) plants for food. Vegetables are leafy green, stem, and root or even flower stalk portions of an edible plant (Braun and Dlamini, 1994). Vegetables are rich in nutrients such as calcium, potassium magnesium, sodium, and vitamin A and C. So growing vegetables not only generate income opportunities for farmers but also a cheaper way to fulfill the body's necessary nutrient requirements those are also helpful in preventing certain diseases.

The production of vegetables is not only affected by socio-economic characteristics of the farmers such as (age, education, farming experience), farm characteristics (farm size, variable and fixed costs, and working capital) (Ugwumba, 2010; Oluwasola, 2015) as well as by many diseases caused by different microbial organisms (Türkten et al., 2017). These diseases not only decrease the production of vegetables and fruits but also increase the cost of production because the farmers use extensive chemicals (pesticides and insecticides) to overcome the loss due to different diseases. This excessive use of chemicals is creating environmental and health problems (Zengin, 1997; McFadyen, 1998). The diseases not only cause resource loss but also restrict the export of fruit and vegetables to other countries. The exports of fresh vegetables and fruits were returned back to Turkey from Russia in 2014 due to the presence of hazardous insects in vegetables (tomatoes) (Anonymous, 2015). This rise in the cost of production due to diseases, farm and management factors, etc. not only affects the farmer's economic situation but also weakens the financial soundness of the business. Disease identification, as well as management of the disease, is an important element for the successful cultivation of fruits and vegetables. Therefore, socio-economic characteristics (education and experience) help to identify and manage vegetable diseases. More environment-friendly measures should be used to control these microbial diseases (Türkten et al., 2017).

Vegetable production is the principal area of Turkish agriculture, and vegetable perishables constitute the backbone of the arena. Turkey is one of the largest producers as well as exporter of fresh fruits and vegetables. Most of the vegetables produced in Turkey are seasonal. It produced about 45 million tons of fresh fruits and vegetables and exported 31 million tons in the year 2021. Most of the farmers in Turkey grow tomatoes, cucumbers, green peppers, melons, green beans, squashes. Russia is the main

importer of Turkish fresh fruits and vegetables along with Iraq and Germany. Russian and Iraqi markets both together constitute 32 percent of total fresh fruits and vegetable exports of the country with 332 million dollars and 293 million dollars respectively. Ukraine, Saudi Arabia, and Belarus are the other important export markets buying from Turkey (Cahit, 2017).

Lots of studies have been conducted to assess the factors which affect the farm income of farmers (Ibekwe et al. 2010; Nzabakenga et al. 2013; Hasaan et al. 2015; Bongole 2016; Ceyhan and Canan, 2017; Haq et al. 2017; Shahbaz et al. 2017b; Canan and Ceyhan, 2021). Illiteracy, farm size, unavailability of credit facilities, farmer age, and distance from market emerged as the main determinants of farm income. Although a lot of studies have been conducted on factors affecting the overall farm income of farmers but only limited literature is available on factors affecting the income of vegetable growers.

In Turkey, 57% of the greenhouse area is covered by Antalya. Proximate, 65% of the greenhouse area in Antalya is sited in districts of Aksu, Kumluca, Kaş and Döşemealtı. Kaş is a special case in Turkey since the vegetable is the dominant production in greenhouses. Because of that, the district of Kaş was selected as a research area. Although a lot of studies have been conducted on factors affecting the overall farm income of farmers only limited information is available on factors affecting the income of vegetable growers. Therefore, this study intended to test the hypothesis of whether socio-economics characteristics affect the farm level financial conditions and income, or not. The primary and foremost objective of this study was to analyze those factors which affect the income of vegetable growers. Additionally, environmentally friendly methods to control the diseases and pest attacks that are being practiced in the study area were also considered to affect farm income. Further study was focused on the analysis of financial ratios to explore the vegetable grower's financial stability. This study may be the focus of future studies depending on the results of this research.

2. Materials and Methods

2.1. Research Area and Sample Selection

Multiple sampling techniques were used in sample and area selection as used by many researchers (Abid et al. 2015; Shahbaz et al., 2017c). First, the Antalya province of Turkey was selected as a study area due to its major share in vegetable production of the country. Antalya province produced 28 percent of the total vegetables of Turkey in 2016 (TUIK, 2016). Antalya consists of 19 districts. Then, from these provinces, the Kaş district was selected as the study area. This district is situated in the west and 168 km away from Antalya. The Kaş district has 48 villages where the vegetable is grown at a larger size. The total agricultural land of Kaş district is 22.53 thousand hectares. Both biological and chemical methods are applied by farmers at their vegetable farms to control different diseases. The list of 1080 farmers were obtained and data were collected from 103 farmers through well-prepared questionnaire and face to face interviews. When calculated the optimum sample size, the precision

level, and confidence level were 10% and 99%, respectively. Fig 1 is showing a map of the study area. This study was conducted in 2016-2017.



Figure 1. Map of study area

During data collection, the variables in the research were divided into two categories (socio-economic and farm costs, expenditures of vegetable growers). The demographic characteristics included age, schooling years, farming experience and family size, etc. of the vegetable grower. The farm characteristics included total farm size, yield, costs, working capital, etc. for research analysis.

2.2. Categorizing Vegetable Growers

Cluster analysis was used to make homogeneous categories of vegetable growers. The respondent included in the same group possess similar characteristics (Hair et al., 1998). A similar method had been used by the different researchers to classify the respondents having the same characteristics to compare the different variables (Tümer et al., 2011; Ul Haq et al., 2016). Cluster analysis (K-mean method) was used to divide farmers into two categories and named as small and large size vegetable growers. For cluster analysis, the manager's profile, landholding, and profitability were used. The age used as manager profile which is considered one of the main demographic features as man learns everything with age. The 2nd important variable considered in grouping was the area under vegetable crops. A larger area under vegetable is an important indication of resources and assets. Benefit cost ratio and return on equity were considered as business profitability indicators.

2.3. Statistical Analysis

Descriptive statistics such as frequency, average, percentage were used to describe the socio-economic characteristics of vegetable growers for comparison among these categories. An independent sample t-test was used to check the significance of variables between different vegetable grower categories. Further, financial ratios (equity ratio, debt ratio, liquidity ratio asset turnover ratio, etc.) were also

calculated because it helps vegetable growers to know their financial standing and which areas should be worked on to have better income.

At last, a multiple linear regression model was used to assess the effect of socio-economic characteristics and environmentally friendly diseases and pest control methods (Beetle Bug method and other biological methods) on the income of vegetable growers. Ugwumba (2010) and Oluwasola (2015) also used a similar method in their study. The general form of the model is given below.

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12} \mu)$$

More specified form of model is

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + \beta_8 X_8 + \beta_9 X_9 + \beta_{10} X_{10} + \beta_{11} X_{11} + \beta_{12} X_{12} + \mu$$

Where

β_0 = Intercept

$\beta_1 - \beta_{12}$ = Coefficient

Y = Income of vegetable grower

X_1 = Age

X_2 = Schooling years

X_3 = Farm experience

X_4 = Household size

X_5 = Area under vegetables

X_6 = Irrigation cost

X_7 = Chemical cost (pesticide/ weedicide cost)

X_8 = Fertilizer cost

X_9 = Protection against frost (cost)

X_{10} = Bug beetle use cost

X_{11} = Biological control measures cost

X_{12} = Working capital

μ = Error term

3. Results and Discussion

3.1. Vegetable Grower Categories

Based on the cluster analysis's results, 51 and 52 farmers were included in small and large size vegetable grower categories respectively. The farmer categorization on the basis of cluster analysis. According to the table, 49.5% of farmers were included a small size group of vegetable growers. Both

groups were having the farmers with the same characteristics and one farmer of a group is independent of the farmer of another group.

3.2. Socio Economic Characteristics of Sampled Categories

The different socio-economic characteristics of small and large size vegetable growing farms are given in Table 1. The small size vegetable growers are younger in age (41.12 years) as compare to large vegetable growers (57.10 years). The difference in age between these two categories was found statistically significant. The larger farmers are relatively more experienced (28.46 years) than small size vegetable growers (15.69 years). The difference in farming experience was also found statistically significant. The small size vegetable growers have more family labor (4.08 persons) available for work in comparison to large size vegetable growers (3.88 persons) of family size was not found statistically insignificant.

Table 1. Socio- economic characteristics of sample vegetable growers

Characteristics	Small size vegetable growers	Large size vegetable growers
Age* (Year)	41.12 (6.94)	57.10 (5.05)
Education (Year)	7.27 (3.02)	6.31 (2.92)
Experience* (Year)	15.69 (7.74)	28.46 (10.27)
Family Size (Number)	4.08 (1.21)	3.88 (1.31)

Values in parenthesis are standard deviation. (*) shows significance level at 1 %

3.3. Farm Characteristics of Sampled Categories

The farm earnings and expenditures of both sampled categories are given in Table 2. The large size vegetable growers have more area under vegetable cultivation as compare to small size vegetable growers. The larger size vegetable growers have more variable costs (12451.59 dollars) as well as fixed costs (15470.84 dollars) per hectare as compared to small size vegetable growers. But there is not much difference in the net income of both small and large size vegetable producers. In fact, small size vegetable growers earn more income (17171.56 dollars) with less cost than large size farmers (17150.42 dollars).

Table 2. Farmer's income and expenditures (US \$ per Hectare)

	Small size vegetable grower	Large size vegetable growers
Area (hectare)	0.71 (0.85)	0.98 (2.38)
Gross income	39022.92 (39841.45)	45072.85 (81444.87)
Variable costs	8592.47 (9177.19)	12451.59 (29644.35)
Fixed costs	13258.88 (10276.16)	15470.84 (24503.58)
Total costs	21851.36 (18723.77)	27922.43 (53443.73)

Gross margin	30430.44 (32632.63)	32621.26 (53287.01)
Net income	17171.56 (25730.57)	17150.42 (30062.74)

3.4. Financial Standings of Vegetable Growers

Financial ratios are very important in any business as they show how a business is performing and indicate areas which need improvement. Solvency ratio shows the ability of vegetable growers to meet long term obligations or requirements. Higher equity ratio (0.82) of large vegetable growers indicates that more of investment in agriculture comes from their own assets as compared to small vegetable growers (0.77). Although, both categories have more assets as compare to their liabilities (loan from bank etc.) but the small vegetable growers have more debt ratio (0.10) as compare to large vegetable growers (0.07) which indicate that they rely more on debt as compare to large vegetable growers. Both categories are not using their assets very efficiently as indicted by lower values of asset turnover ratio. Comparison among return on assets ratios of small and large vegetable producer indicated that the small vegetable growers are using their resources more efficiently as compare to large vegetable producers. This result is also supported by the comparison of BCR ratio. The benefit cost ratio of large vegetable growers is smaller as compare to small vegetable growers which indicate that the large farmers are earning less income per dollar as compare to small vegetable growers from vegetable cultivation.

Table 3. Analysis of vegetable growers' farm business financial conditions

Financial ratios	Small size vegetable growers	Large size vegetable growers
Solvency Ratio		
Equity Ratio	0.77	0.82
Debt Ratio	0.10	0.07
Liquidity Ratio		
Quick Ratio	1.81	2.80
Efficiency Ratio		
Asset turnover ratio	0.16	0.13
Profitability Ratio		
Return on Asset Ratio	0.05	0.04
Benefit Cost Ratio (BCR)	1.78	1.61

3.5. Factors Affecting Income of Vegetable Growers

The different potential factors affecting the income of vegetable growers are shown in Table 4. Farming experience, household size, and working capital affect the income of vegetable growers positively. The effect of the farming, household, and working capital on income was also found statistically significant. The increase in farming experience, household size, and working capital will increase the income of vegetable growers. Emenyonu et al. (2012), Awotide et al. (2012) also found similar results about the farm experience of vegetable growers. The area under vegetables also affects the income of their growers positively and significantly. The results regarding the area under

vegetables are in line with Oluwasola (2015). He stated that the income of vegetable growers increases as the farm size and farm expenditures of vegetable growers increases. It may be described as the experience of vegetable growers' increase; their ability to use resources more efficiently also increases. Moreover, the increased area means more resources available for the cultivation of vegetables which enable vegetable growers to use agricultural machinery which ultimately adds to the income of vegetables. Similarly, the significant positive effect of irrigation cost was also observed on the income of vegetable growers. The fertilizer and biological control cost affect vegetable income negatively and significantly. Nmadu and Ibiejemite (2007), Abdu and Musa (2007); Ajibefun and Abdulkadri (1999) reported similar findings of farm income in different enterprises. The biological pest control techniques are widely used in vegetable production but this biological control affects income negatively and significantly. Vegetable production decreases when biological disease control measures are applied as compare to when farmers which use pesticides to control different diseases. The other aspect of biological control is that it is more expensive than chemical control. Similar findings were found by Türkten et al. (2017) where biological disease control methods were found more expensive as compared to traditional or chemical control methods. The overall model was also found significant with R² value 0.95 and F-value 149.77.

Table 4. Income determinants of vegetable growers

	β's	Std. Error	t-value	Sig.
B ₀	-33066.61	46975.90	-0.70	0.48
Age of Farmer	-1039.62	871.23	-1.19	0.24
Education Level of Farmer	1837.28	2189.50	0.84	0.40
Farming Experience	1826.26	812.44	2.25	0.03**
Household size	9660.96	4782.79	2.02	0.05**
Area under vegetables	156673.21	21765.60	7.20	0.00*
Irrigation Cost	199.14	42.52	4.68	0.00*
Chemical Cost (pesticides)	-0.33	2.20	-0.15	0.88
Fertilizer cost	-4.88	1.40	-3.49	0.00*
Frost against protection cost	1.41	4.15	0.34	0.73
Bug Beetle Cost	-5.75	20.00	-0.29	0.77
Biological Pest control Expenditure	-3.13	1.43	-2.18	0.03**
Working Capital	2.47	0.92	2.68	0.01*

R² = 0.95; Adjusted R² = 0.94; F-value = 149.77 (p<0.001). (*) and (**) describes significance level at 1 % and 5 % respectively

4. Conclusion

Turkey is one of the main producers of vegetables in the world. The country earns billions of dollars from the export of these vegetables to Russia, Iraq, and Germany. But the production of vegetables is affected by many socio-economic factors such as age, schooling years, household size, and area under vegetable farming. The younger age of the small size vegetable growers shows that they are in an innovative production approach rather than the traditional production approach. This situation shows that small size vegetable growers have more profitable production by using new production techniques. Large size vegetable growers with high agricultural experience need to benefit from training and extension services in order to increase their income by using new production methods. Household size and farming experience affect the income of vegetable growers positively. Except for these socio-economic characteristics farm costs and earnings affect vegetable income both positively and negatively. Financial ratios indicate that small vegetable growers are more dependent on credit for vegetable cultivation as compare to large vegetable growers. Although the biological control is affecting the income of vegetable growers negatively the vegetable produced through this way is healthier than produced through chemical control (pesticides and weedicides). So the Turkish government should encourage e vegetable producers which use biological control methods in vegetable cultivation as the world is moving towards more healthy and safe food. By increasing the production of vegetables through biological control methods, the country could capture a large part of vegetable markets which is still vacant in the international arena.

Statement of Conflict of Interest

Authors have declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

5. References

- Abdu Z., Musa S A. Socio-economic determinants of soybean production in Bauchi State: the case of dass and toro local government areas. Refereed Conference Proceedings of the Nigerian Association of Agricultural Economists (NAAE) 2007; 27-35.
- Abid M., Scheffran J., Schneider UA., Ashfaq M. Farmers' perceptions of and adaptation strategies to climate change and their determinants: the case of Punjab province, Pakistan. *Earth System Dynamics* 2015; 6(1): 225.
- Ajibefun I., Abdulkadri OA. An investigation of technical efficiency of production of farmers under the national directorate of employment in Ondo State, Nigeria. *Applied Economics Letter* 1999; 6: 111-114.

- Anonymous. Turkey's exports of fresh fruit, vegetables declining 2015; Hurriyet daily news retrieved from <http://www.hurriyetdailynews.com/turkeys-exports-of-fresh-fruit-vegetables-declining--91511>.
- Awotide DO., Ambali OI., Aihonsu JOY. Agricultural credit access and utilization among small-scale fish farmers in Egba Division of Ogun State, Nigeria. Refereed Conference Proceedings of the Nigerian Association of Agricultural Economists (NAAE) 2012; 306-311.
- Bongole AJ. Determinants of farm and non-farm activities as sources of income amongst rural households: Evidence from Kahama District in Tanzania. *Journal of Economics and Sustainable Development* 2016; 7(4): 132-139.
- Braun KP., Dlamini GM. Swaziland plant diversity and conservation in botanical diversity in Southern Africa. *Proceeding of a Conference on Conservation of South Africa*, Leipzig, Germany 1994; (6): 17-23.
- Cahit S. Fruit and vegetables production in Turkey 2017; <http://www.fresh-fruits.net/2017/02/11/fruit-vegetable-exports-of-turkey/>. Downloaded on 7-11-2017.
- Canan S., Ceyhan V. Exploring the farm level opportunity cost for protecting environment: Evidence from Turkey. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2021; 23(2): 253-263.
- Ceyhan V., Canan S. Türkiye arıcılarının koloni yönetim sistemleri itibariyle ekonomik performansı. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 2017; 4(4): 520-526.
- Emenyonu CA., Eze CC., Egwuelu CJ., Onyemauwa SC. Comparative effects of current bank reforms among union and first banks farmers in Imo State, Nigeria. Refereed Conference Proceedings of the Nigerian Association of Agricultural Economists (NAAE). 2012; 294-305.
- Hair JF., Black WC., Babin BJ., Anderson RE., Tatham RL. *Multivariate data* 1998.
- Haq SU., Shahbaz P., Boz I., Yildirim C., Murtaza MR. Exploring the determinants of technical inefficiency in mango enterprise: a case of Muzafargarh, Pakistan. *Custos e @gronegocio on line*-2017; 218-236.
- Hassan TA. Economic analysis of factors affecting the farmer income under traditional farming system in South Darfur State–Sudan. *Journal of Agricultural Science and Engineering* 2015; 1(3): 114-119.
- Ibekwe UC., Eze CC., Onyemauwa CS., Henri-Ukoha A., Korie OC., Nwaiwu IU. Determinants of farm and off-farm income among farm households in South East Nigeria. *Academia Arena* 2010; 2(10): 58-61.
- McFadyen, REC. Biological control of weeds. *Annual Review of Entomology* 1998; 43(1): 369-393.
- Naqvi. *Diseases of fruits and vegetables* 2004; 1: 247-290.
- Nmadu JN., Ibiejemite JO. Economic analysis of fertilizer use on yam production in Kabba Bunu Local Government Area of Kogi State, Nigeria. Refereed Conference Proceedings of the Nigerian Association of Agricultural Economists (NAAE). 2007; 11-14.

- Nzabakenga A., Feng LX., Yaşın H. Agricultural income determinants among smallholder farmers: Case of Northern Part of Burundi. *Asian Journal of Agriculture and Rural Development* 2013; 3(11): 780.
- Oluwasola O. Vegetable production, livelihood diversification and employment generation in Oyo State, Nigeria. *Journal of Agricultural Science* 2015; 7(8): 165.
- Shahbaz P., Haq SU., Boz I., Murtaza MR. An assessment of determinants responsible for low mango productivity in District Muzaffargarh, Pakistan. *Journal of Food Science and Engineering* 2017; 7: 400-405.
- Shahbaz P., Boz I., Haq SU., Khalid UB. Mixed farming and its impact on farm income; A study in District Faisalabad, Punjab Pakistan. *IJRDO-Journal of Agriculture and Research* 2017b; 3(8): 16-25.
- Shahbaz P., Boz I., Haq SU. Determinants of crop diversification in mixed cropping Zone of Punjab Pakistan. *Direct Research Journal of Agriculture and Food Science* 2017c; 5(11): 360-366.
- TUIK. Türkiye Bitkisel Üretim İstatistikleri, T.C. Türkiye İstatistik Kurumu 2016; Ankara.
- Tümer Eİ., Birinci A., Yıldırım Ç. Ambalajlı su tüketimini etkileyen faktörlerin belirlenmesi: Ankara İli Keçiören İlçesi örneği. *Alınları Zirai Bilimler Dergisi* 2011; 21(2): 11-19.
- Türkten H., Yıldırım Ç., Ceyhan V., Soytoprak H. The effects of applying biological control measures in greenhouse cultivation on the production efficiency in Kaş district of Antalya province, Turkey. *European Journal of Sustainable Development* 2017; 6(3): 1-10.
- Ugwumba COA. Environmental sustainability and profitability of integrated fish cum crop farming in Anambra State, Nigeria. *Agricultural Journal* 2010; 5(3): 229-233.
- Ul Haq S., Ceyhan V., Boz I., Shahbaz P. Effect of different crop management system on technical efficiency in sugarcane production in Faisalabad, Punjab Region of Pakistan. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare* 2016; 6(12): 106-114.
- Zengin H. Yabancı otlarla biyolojik mücadele yöntemleri. *Journal of the Faculty of Agriculture* 1997; 28(3): 496-515.

Yeni Ag(I)-NHC Komplekslerinin Sentezi ve Karakterizasyonu

Nesrin BUĞDAY^{1*}

¹İnönü Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 44280 Malatya, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-3882-035X>

*Sorumlu yazar: nbugday7@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 05.01.2022

Kabul tarihi: 23.02.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

N-Heterosiklik karbon
Benzimidazolium tuzu
Gümüş kompleksi

ÖZ

Yapısal çeşitlilik ve kimyasal özellikleri nedeniyle, *N*-heterosiklik karbonlar (NHC'ler) çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Son yıllarda tıbbi uygulamalarda geçiş metalleri için taşıyıcı moleküller olarak görev yapan NHC'ler antibakteriyel, antifungal ve antikanser çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, yeni 5,6-dimetilbenzimidazol tuzlarından, farmasötik amaçla kullanılabilir Ag-NHC kompleksleri sentezlenmiş ve ¹H-NMR, ¹³C-NMR ve FTIR spektroskopileri ile karakterize edilmişlerdir.

Synthesis and Characterization of New Ag-NHC Complexes

Research Article

Article History:

Received: 05.01.2022

Accepted: 23.02.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

N-heterocyclic carbene
Benzimidazolium salt
Silver complex

ABSTRACT

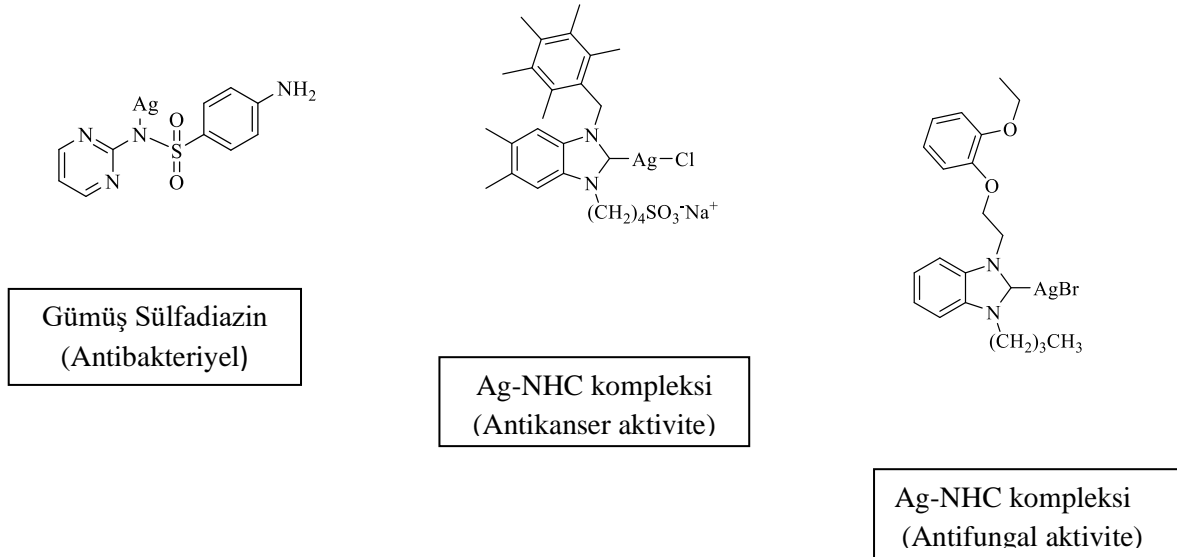
N-heterocyclic carbenes (NHCs) are used in many different fields due to their structural diversity and chemical properties. In recent years, NHCs, which act as carrier molecules for transition metals in medical applications, are frequently used in antibacterial, antifungal, and anticancer studies. In this study, Ag-NHC complexes that can be used for pharmaceutical purposes were synthesized from new 5,6-dimethylbenzimidazole salts and characterized by ¹H-NMR, ¹³C-NMR, and FTIR spectroscopy.

To Cite: Buğday N. Yeni Ag(I)-NHC Komplekslerinin Sentezi ve Karakterizasyonu. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 740-752.

1. Giriş

Gümüş, M.Ö. 4000'li yıllardan bu yana bilinen ve tıbbi amaçla da kullanılan bir metaldir (Hill ve ark., 1939). Özellikle antibakteriyel aktivitesi nedeniyle, yara bakım ürünlerinde, tekstilde, kozmetikte ve tıbbi cihazlarda kullanılan gümüş bileşikleri, çoğunlukla inorganik tuz veya kompleksler halinde sentezlenir (Lansdown ve ark., 2010). Çok sayıda gümüş bileşiğinin varlığına rağmen klinik kullanımlarını sınırlayan dezavantajlar bulunmaktadır. Gümüşün nitrat tuzları, çözünürlüklerinin çok yüksek olması nedeniyle, fizyolojik koşullarda, çözünmeyen klorür tuzlarına dönüşerek hızlı bir şekilde inaktif olurlar. Yine yanıklara uygulanan gümüş içeren kremlerin (örneğin gümüş-sülfa bileşikleri) deri tabakası soyulmuş ciltteki emiliminin yüksek olması nedeniyle toksisitesinin yüksek olduğu ve inaktivasyon nedeniyle de stabilitelerinin düşük olduğu bilinmektedir (Atiyeh ve ark., 2007;

Brandt ve ark., 2012). Biyoaktiviteleri ile birlikte memeli hücre zarı üzerinde bir etkisinin olmaması ve insandaki toksisitesinin sınırlı olması gibi avantajları bulunan gümüşün, dezavantajlarını ortadan kaldırmaya yönelik çalışmalar oldukça ilgi çekmektedir. Gümüş bazlı ilaçların etki mekanizması tam olarak açıklanamamış olsa da, aktivitenin gümüş katyonunun serbest bırakılmasına bağlı olduğu bilinmektedir. Ancak hücre zarına girip işlevini bozabileceğinden dolayı Ag(I) iyonları ile güçlü bir şekilde koordine olabilen ligandlar kullanmak gerekmektedir (Hartinger ve Dyson, 2009). Metal *N*-heterosiklik karben (Metal-NHC) kompleksleri çoğunlukla katalizör olarak kullanılmasına rağmen, antimikrobiyal, antikanser ve antifungal ajanlar olarak kullanılan gümüş çalışmalarında NHC ligantları taşıyıcı moleküller olarak sıklıkla kullanılmaktadır (Şekil 1) (Fox, 1968; Liu ve Gust, 2013; Kaloğlu ve ark., 2016; Asekunowo ve ark., 2017; Yaşar ve ark., 2018a). Ag(I)-NHC komplekslerinin sentezinde gümüş kaynağı olarak genellikle gümüş oksit (Ag₂O) kullanılırken, ligant olarak imidazol ve benzimidazol tuzları kullanılmaktadır (Garrison ve Youngs, 2005). Benzimidazol bazlı gümüş komplekslerinin biyoaktif türler olması, hem benzimidazolün biyoaktif özelliklerinden hem de gümüşün kimyasal ve sterik yapısından kaynaklanmaktadır (Melaiye ve ark., 2004). Ayrıca suda çözünebilen Ag(I)-NHC bileşiklerinin sentezi ile bu yapıların biyolojik sistemlerde kullanımı kolaylaşmıştır (Baquero ve ark., 2013).



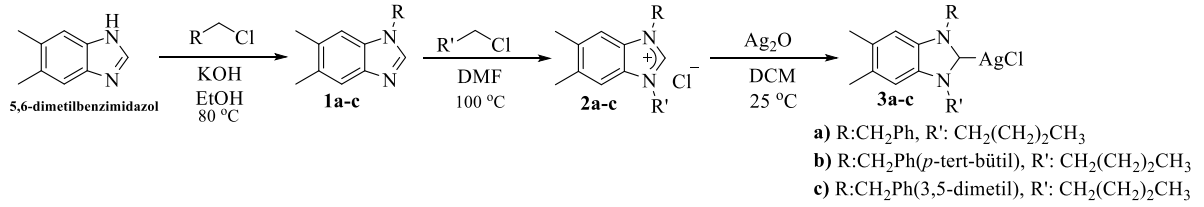
Şekil 1. Biyoaktif Gümüş Bileşikleri Örnekleri

N-heterosiklik karbenlerin güçlü σ -verici ile zayıf π -alıcı özellikleri gümüş komplekslerinde yüksek kararlılık sağlar ve gümüş iyon salınımını yavaşlatarak iyonun uzun süre aktif kalmasına katkıda bulunur (Cazin ve ark., 2011; Yaşar ve ark., 2018b).

Bu çalışmada, yeni 5,6-dimetilbenzimidazol türevi ligantlar kullanılarak Ag(I)-NHC kompleksleri sentezlenmiş ve sentezlenen bütün bileşiklerin karakterizasyonu $^1\text{H-NMR}$, $^{13}\text{C-NMR}$ ve FTIR spektroskopik teknikler ile yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada kullanılan reaktifler ve çözücüler, Sigma-Aldrich, Acros Organics and Alfa-Aesar firmalarından temin edilmiş olup saflaştırma yapmadan kimyasal reaksiyonlarda kullanılmıştır. Sentezler, Schlenk tekniği kullanılarak argon gazı altında inert atmosfer şartlarında gerçekleştirilmiştir. Kuru çözücüler, MBraun SPS 800 çözücü saflaştırma sistemi kullanılarak elde edilmiştir. NMR analizleri, Bruker Avance III 400 MHz NMR spektrometresi ile oda sıcaklığında, CDCl_3 çözücüsü içerisinde yapılmıştır. Bileşiklerin kimyasal kayma değerleri (δ) ppm olarak, eşleşme sabitleri (J) Hertz olarak verilmiştir. $^1\text{H-NMR}$ sinyal yarılımları, s=singlet, d=dublet, t=triplet, q=kuartet, m=multiplet olarak kısaltılmıştır. FTIR analizleri, PerkinElmer Spectrum 100 GladiATR FT/IR spektrometresi ile yapılmıştır. Erime noktası tayini için Stuart (SMP-40) cihazı kullanılmıştır. Bu çalışmada sentezi yapılan bileşikler Şekil 2’de şematize edilmiştir.



Şekil 2. Gümüş-NHC komplekslerinin (**3a-c**) genel sentezi

2.1. Benzimidazol Türevli Tuzların (*2a-c*)

N-süstitüye 5,6-dimetilbenzimidazol türevleri (**1a-c**) literatüre uygun şekilde sentezlendi ve karakterizasyon verileri karşılaştırılarak saflıkları kontrol edildi (Pereira ve ark., 2014; Touj ve ark., 2019).

Tuz sentezi (**2a-c**) için, *N*-süstitüye benzimidazol (**1a-c**) (1 mmol) ve alkil klorür (1 mmol) DMF (5 ml) içerisinde çözülerek 24 saat 80°C 'de ısıtıldı. Reaksiyon tamamlandıktan sonra DMF uzaklaştırıldı ve dietileter (20 ml) eklenerek katı ürün elde edildi. Katı vakum altında kurutulduktan sonra etanol/eter çözgen sistemi ile kristallendirildi. Kurutulan 5,6-dimetilbenzimidazol tuzlarının karakterizasyonu $^1\text{H-NMR}$, $^{13}\text{C-NMR}$ ve FTIR ile yapıldı. Ürün verimleri **2a**, **2b** ve **2c** için sırasıyla %80, %76 ve %79 olarak hesaplandı.

2.2. Ag(I)-NHC Komplekslerinin (3a-c) Sentezi:

Ag(I)-NHC komplekslerinin (**3a-c**) sentezi, 5,6-dimetilbenzimidazol tuzları (**2a-c**) (1 mmol) ile Ag₂O (0.6 mmol) kuru DCM içerisinde inert ve karanlık reaksiyon sisteminde 48 saat karıştırılarak yapıldı. Reaksiyon sonunda çözelti Celite üzerinden süzülerek, DCM/dietileter çözgen sisteminde kristallendirildi. Kurutulan gümüş kompleksleri ışık almayan tüplerde saklanarak, karakterizasyonları ¹H-NMR, ¹³C-NMR ve FTIR ile yapıldı. Ürün verimleri **3a**, **3b** ve **3c** için sırasıyla % 68, %71 ve %65 olarak hesaplandı.

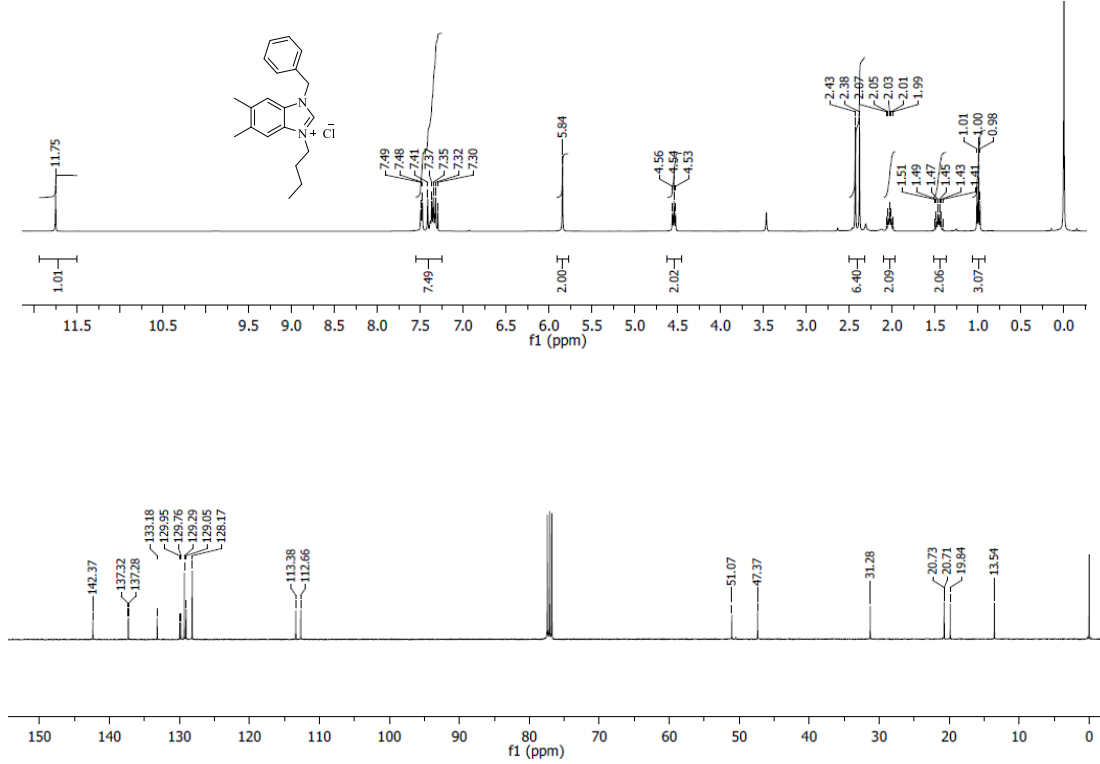
3. Bulgular ve Tartışma

Sentezlenen ligant ve gümüş kompleksleri ¹H-NMR, ¹³C-NMR ve FTIR spektroskopileri ile karakterize edilmiştir. Bileşiklere ait ¹H-NMR spektrumları incelendiğinde 5,6-dimetilbenzimidazol, benzil, metil, bütül gruplarının rezonansları beklendiği gibidir. 5,6-dimetilbenzimidazolün 3-konumuna bağlı bütül grubunun metilen ve metil pikleri 1-3 ppm aralığında görülürken, azota bağlı metilen piki 4,5 ppm civarında görülmektedir. Benzilik metilen ise 5,7 ppm civarında rezonansa gelmektedir. 5,6-dimetilbenzimidazolün 5,6-konumuna bağlı metil pikleri ise 2,31-2,45 ppm civarında rezonansa gelmektedir. 5,6-dimetilbenzimidazole ve 1-konumuna bağlı benzil gruplarına ait aromatik karbon pikleri 112-152 ppm aralığında, bütül grubuna ait etil karbon pikleri 19-47 ppm aralığında, benzilik karbonlar 51 ppm civarında, bütül grubuna ait metil karbonları 13 ppm civarında ve 5,6-dimetilbenzimidazole ait metil grupları 20 ppm civarında rezonansa gelmektedir. **2a-c** tuzlarının karakteristik NCHN singlet H pikleri sırası ile 11,75, 11,65 ve 11,63 ppm'de rezonansa gelmektedir. Bu piklerin (**3a-c**) bileşiklerinde gözlenmemesi (Şekil 9), tuzların deprotona olduğu ve gümüşün proton kaybeden C2 konumuna bağlanarak Ag(I)-NHC komplekslerini oluşturduğunu kanıtlamaktadır. Yine benzimidazol tuzlarına (**2a-c**) ait C2 (NCHN) karbon pikleri 142,4 ppm'de görülürken (Şekil 10), gümüş komplekslerinde (**3a-c**) bu piklerin gözlenmemesi gümüşün benzimidazole C2 konumundan koordine olduğunu göstermektedir. Literatüre göre (Yaşar ve ark., 2018a; Aktaş ve ark., 2020), karben karbonu pikleri 190-200 ppm civarında beklenirken, sentezlenen Ag(I)-NHC komplekslerinde gözlenmemiştir (Şekil 10). Bu durum, Ag-NHC kompleksinin fluxional davranışından kaynaklanmaktadır (Garrison ve Youngs, 2005; Pytkowicz ve ark., 2001; Yaşar ve ark., 2018b; Günal ve ark., 2012). Sentezlenen bileşiklere ait FTIR spektrumları incelendiğinde, karakteristik C-N bağ titreşim frekansları **2a-c** tuzları için sırası ile 1670, 1691 ve 1643 cm⁻¹, Ag(I)-NHC kompleksleri (**3a-c**) için ise 1438, 1466 ve 1491 cm⁻¹ dir.

2a-c ve **3a-c**'ye ait spektrumlar aşağıda (Şekil 3-10) verilmiştir.

1-benzil-3-butil-5,6-dimetilbenzimidazolyum klorür (2a):

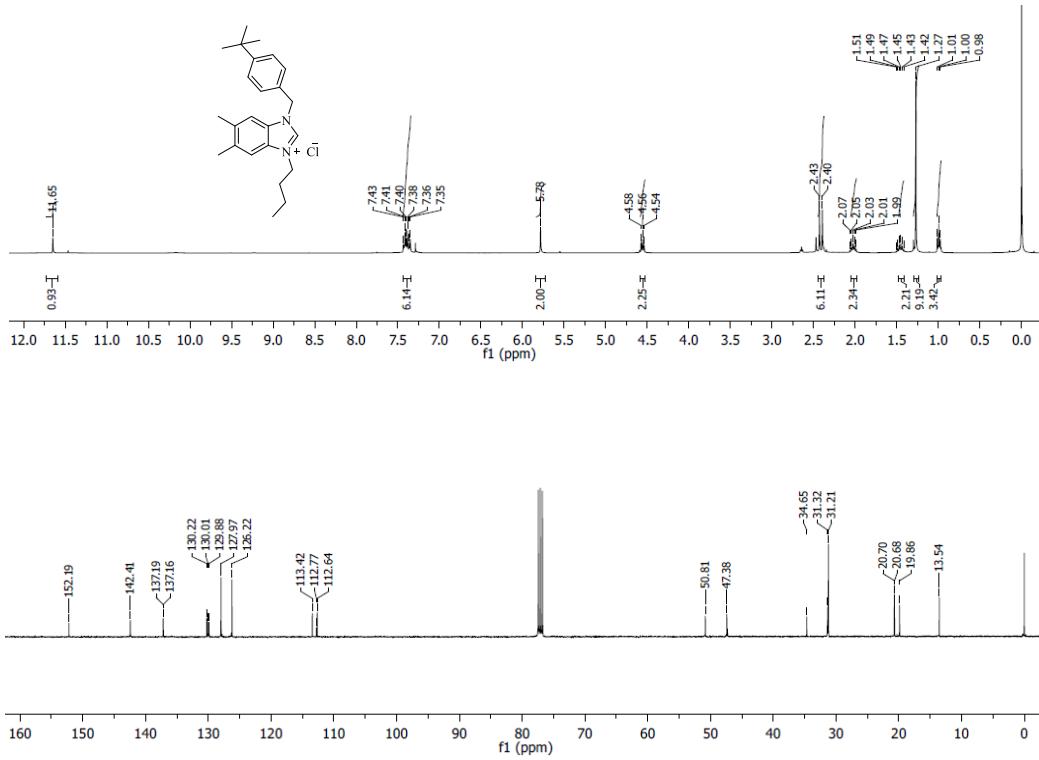
Verim % 80, en 251-253 °C, ^1H NMR (400 MHz, CDCl_3): δ 11,75 (s, 1H, NCHN), 7,49-7,30 (m, 7H, Ar-H), 5,84 (s, 2H, NCH_2Ph), 4,54 (t, 2H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J=6$ Hz), 2,43 ve 2,38 (s, 6H, CH_3), 2,03 (quin, 2H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J=8$ Hz), 1,46 (sextet, 2H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J=8$ Hz), 1,00 (t, 3H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J=6$ Hz), ^{13}C $\{^1\text{H}\}$ NMR (100 MHz, CDCl_3): δ 142,4, 137,3, 137,2, 133,2, 130,0, 129,8, 129,1, 128,2, 113,4, 112,7 (Ar-C), 51,1 (NCH_2Ph), 47,4 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 31,3 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 20,73 ve 20,71 (CH_3), 19,8 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 13,5 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), IR (cm^{-1}): 3011 (C-H)aromatik, 2836 (C-H)alifatik, 1670 (C=N).



Şekil 3. 2a Bileşiğine ait ^1H -NMR ve ^{13}C -NMR spektrumu

1-(4-(ter-butil)benzil)-3-butil-5,6-dimetilbenzimidazolyum klorür (2b):

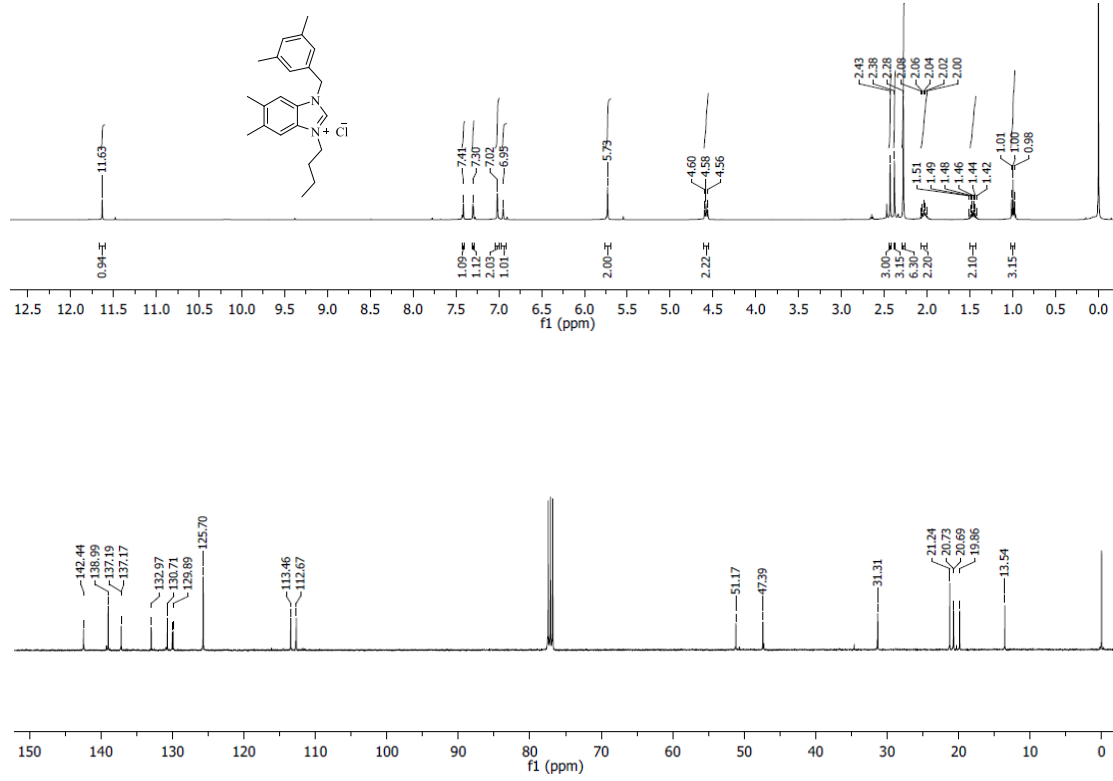
Verim % 76, en 246-248 °C, ^1H NMR (400 MHz, CDCl_3): δ 11,65 (s, 1H, NCHN), 7,43-7,35 (m, 6H, Ar-H), 5,78 (s, 2H, NCH_2Ph), 4,56 (t, 2H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J=8$ Hz), 2,43 ve 2,40 (s, 6H, CH_3), 2,03 (quin, 2H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J=8$ Hz), 1,46 (sextet, 2H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J=8$ Hz), 1,27 (s, 9H, $\text{C}(\text{CH}_3)_3$), 1,00 (t, 3H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J=6$ Hz), ^{13}C $\{^1\text{H}\}$ NMR (100 MHz, CDCl_3): δ 152,2, 142,4, 137,2, 137,2, 130,2, 130,0, 129,9, 128,0, 126,2, 113,4, 112,8, 112,6 (Ar-C), 50,8 (NCH_2Ph), 47,4 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 34,7 ($\text{C}(\text{CH}_3)_3$), 31,3 ($\text{C}(\text{CH}_3)_3$), 31,2 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 20,70 ve 20,68 (CH_3), 19,9 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 13,5 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$). IR (cm^{-1}): 3145 (C-H)aromatik, 2897 (C-H)alifatik, 1691 (C=N).



Şekil 4. 2b Bileşiğine ait ^1H -NMR ve ^{13}C -NMR spektrumu

1-(3,5-dimetilbenzyl)-3-butil-5,6-dimetilbenzimidazolyum klorür (2c):

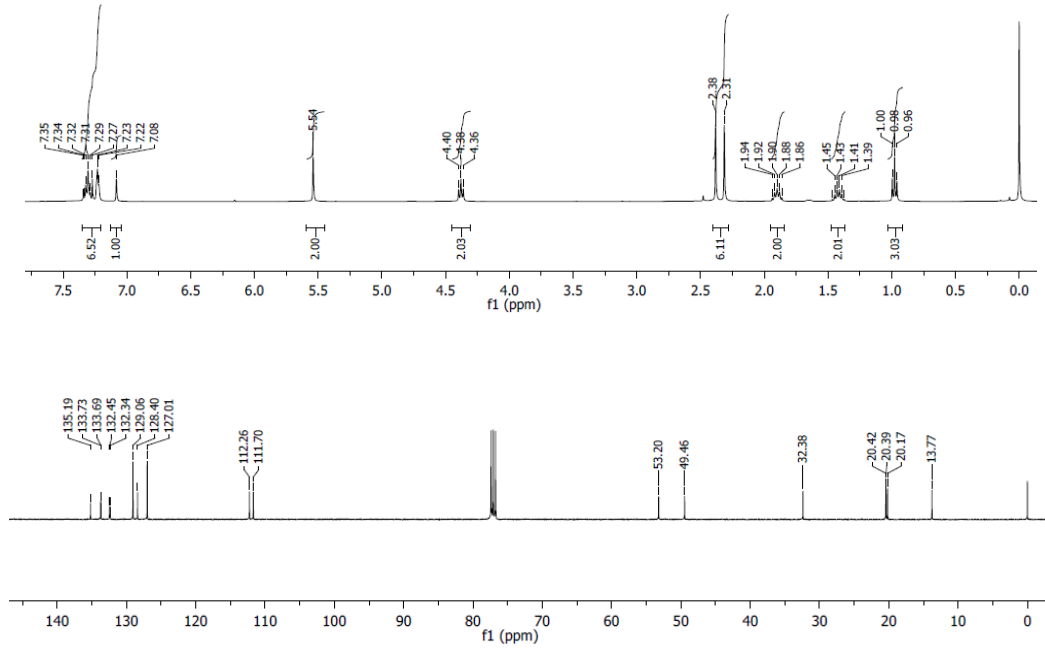
Verim % 79, en 260-262 °C, ^1H NMR (400 MHz, CDCl_3): δ 11,63 (s, 1H, NCHN), 7,41 (s, 1H, Ar-H), 7,30 (s, 1H, Ar-H), 7,02 (s, 2H, Ar-H), 6,95 (s, 1H, Ar-H), 5,73 (s, 2H, NCH_2Ph), 4,58 (t, 2H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J= 8$ Hz), 2,43 ve 2,38 (s, 6H, CH_3), 2,28 (s, 6H, $m\text{-CH}_3$), 2,04 (quin, 2H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J= 8$ Hz), 1,47 (sextet, 2H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J= 8$ Hz), 1,00 (t, 3H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J= 6$ Hz), ^{13}C $\{^1\text{H}\}$ NMR (100 MHz, CDCl_3): δ 142,4, 139,0, 137,2, 137,2, 133,0, 130,7, 130,0, 129,9, 125,7, 113,5, 112,7 (Ar-C), 51,2 (NCH_2Ph), 47,4 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 31,3 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 21,3 ($m\text{-CH}_3$), 20,73 ve 20,69 (CH_3), 19,9 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 13,5 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$). IR (cm^{-1}): 3009 (C-H)aromatik, 2901 (C-H)alifatik, 1643 (C=N).



Şekil 5. 2c Bileşiğine ait ^1H -NMR ve ^{13}C -NMR spektrumu

Kloro[1-benzil-3-butil-5,6-dimetilbenzimidazol-2-iliden]gümüş(I) (3a):

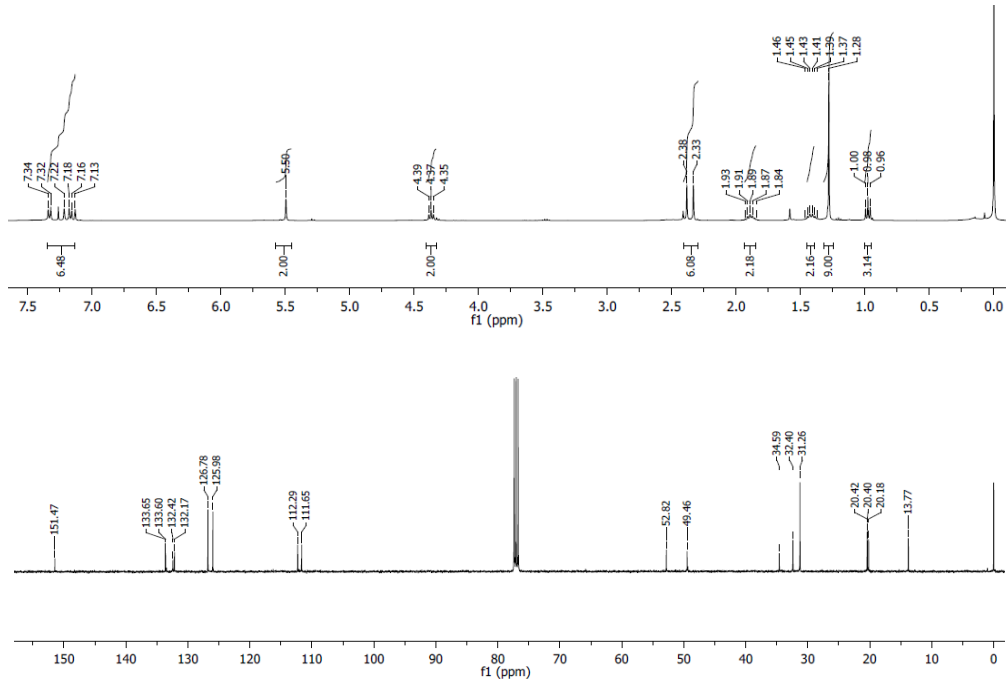
Verim % 68, en 150-152 °C, ^1H NMR (400 MHz, CDCl_3): δ 7,35-7,22 (m, 6H, Ar-H), 7,08 (s, 1H, Ar-H), 5,54 (s, 2H, NCH_2Ph), 4,38 (t, 2H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J= 8$ Hz), 2,38 ve 2,31 (s, 6H, CH_3), 1,90 (quin, 2H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J= 8$ Hz), 1,42 (sextet, 2H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J= 8$ Hz), 0,98 (t, 3H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J= 8$ Hz), ^{13}C $\{^1\text{H}\}$ NMR (100 MHz, CDCl_3): δ 135,2, 133,7, 133,7, 132,5, 132,3, 129,1, 128,4, 127,0, 112,3, 111,7 (Ar-C), 53,2 (NCH_2Ph), 49,5 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 32,4 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 20,42 ve 20,39 (CH_3), 20,2 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 13,8 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$). IR (cm^{-1}): 3037 (C-H)aromatik, 2930 (C-H)alifatik, 1438 (C=N).



Şekil 6. 3a Bileşiğine ait ^1H -NMR ve ^{13}C -NMR spektrumu

Kloro[1-(4-(ter-butil)benzil)-3-butil-5,6-dimetilbenzimidazol-2-iliden]gümüş(I) (3b):

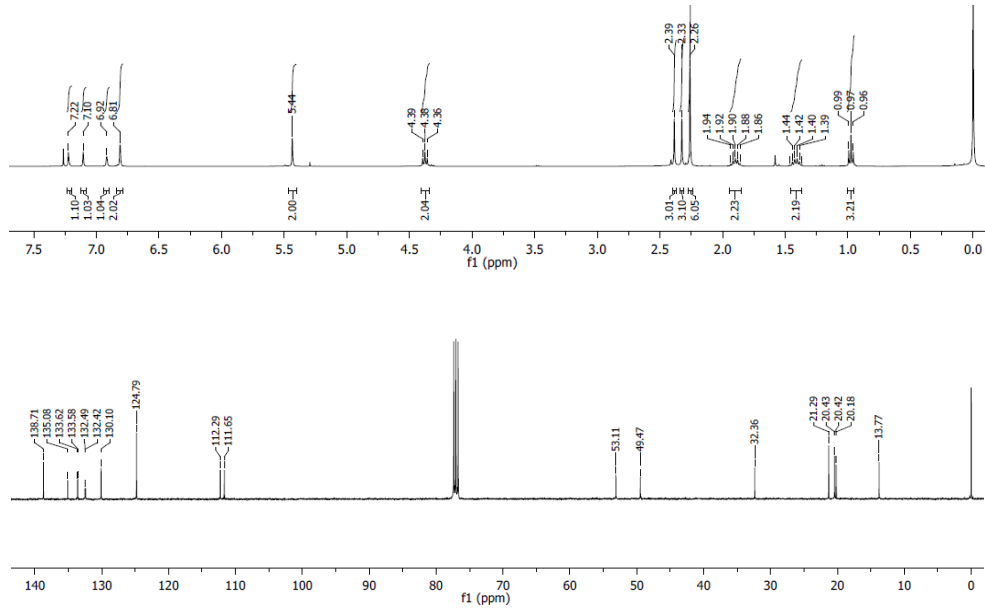
Verim % 71, en 289-291 °C, ^1H NMR (400 MHz, CDCl_3): δ 7,34-7,13 (m, 6H, Ar-H), 5,50 (s, 2H, NCH_2Ph), 4,37 (t, 2H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J= 8$ Hz), 2,38 ve 2,33 (s, 6H, CH_3), 1,89 (quin, 2H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J= 8$ Hz), 1,42 (sextet, 2H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J= 8$ Hz), 1,28 (s, 9H, $\text{C}(\text{CH}_3)_3$), 0,98 (t, 3H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J= 8$ Hz), ^{13}C $\{^1\text{H}\}$ NMR (100 MHz, CDCl_3): δ 151,5, 133,7, 133,6, 132,4, 132,2, 126,8, 126,0, 112,3, 111,7 (Ar-C), 52,8 (NCH_2Ph), 49,5 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 34,6 ($\text{C}(\text{CH}_3)_3$), 32,4 ($\text{C}(\text{CH}_3)_3$), 31,3 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 20,42 ve 20,40 (CH_3), 20,2 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 13,8 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$). IR (cm^{-1}): 3088 (C-H)aromatik, 2894 (C-H)alifatik, 1466 (C=N).



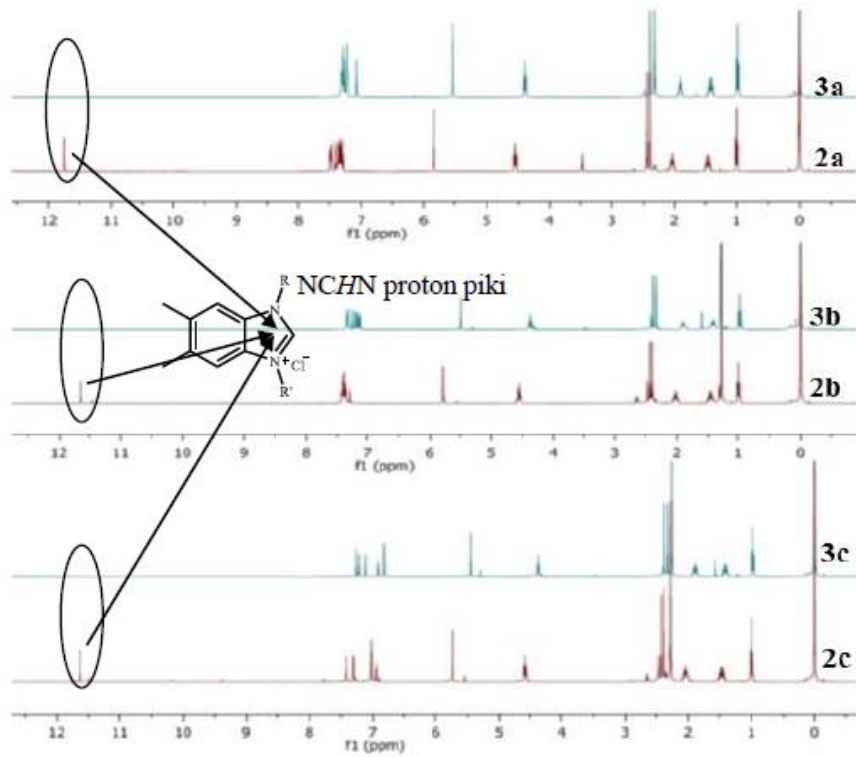
Şekil 7. 3b Bileşiğine ait ^1H -NMR ve ^{13}C -NMR spektrumu

Kloro[1-(3,5-dimetilbenzil)-3-butil-5,6-dimetilbenzimidazol-2-iliden]gümüş(I) (3c):

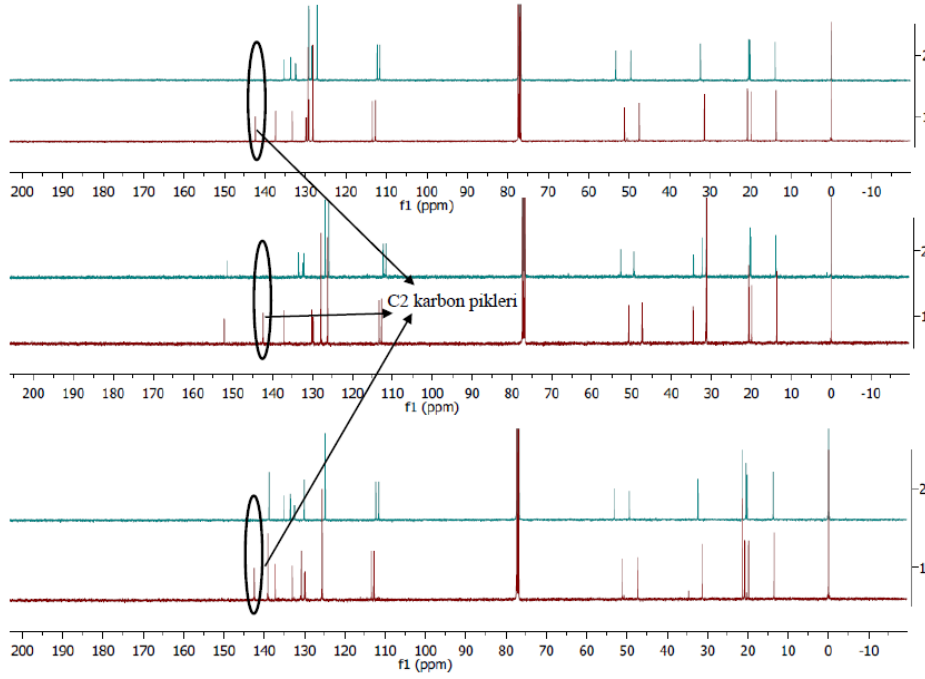
Verim % 65, en 286-288 °C, ^1H NMR (400 MHz, CDCl_3): δ 7,22 (s, 1H, Ar-H), 7,10 (s, 1H, Ar-H), 6,92 (s, 1H, Ar-H), 6,81 (s, 2H, Ar-H), 5,44 (s, 2H, NCH_2Ph), 4,38 (t, 2H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J= 8$ Hz), 2,39 ve 2,33 (s, 6H, CH_3), 2,26 (s, 6H, $m\text{-CH}_3$), 1,90 (quin, 2H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J= 8$ Hz), 1,41 (sextet, 2H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J= 8$ Hz), 0,97 (t, 3H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, $J= 6$ Hz), ^{13}C $\{^1\text{H}\}$ NMR (100 MHz, CDCl_3): δ 138,7, 135,1, 133,6, 133,6, 132,5, 132,4, 130,1, 124,8, 112,3, 111,7 (Ar-C), 53,1 (NCH_2Ph), 49,5 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 32,4 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 21,3 ($m\text{-CH}_3$), 20,43 ve 20,42 (CH_3), 20,2 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 13,8 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$). IR (cm^{-1}): 3100 (C-H)aromatik, 2907 (C-H)alifatik, 1491 (C=N).



Şekil 8. 3c Bileşiğine ait ^1H -NMR ve ^{13}C -NMR spektrumu



Şekil 9. Ligantlara ve gümüş komplekslerine ait ^1H -NMR spektrumları



Şekil 10. Ligantlara ve gümüş komplekslerine ait ^{13}C -NMR spektrumları

4. Sonuçlar

Sonuç olarak, bu çalışmada 5,6-dimetilbenzimidazol ile alkil ve aril halojenürler kullanılarak yüksek verimli üç yeni asimetrik 5,6-dimetilbenzimidazolyum tuzu sentezlenmiştir. Asimetrik 5,6-dimetilbenzimidazolyum tuzlarının sentez ve karakterizasyonunun ardından bu tuzlar ile ilgili Ag(I)-NHC kompleksleri sentezlenerek yapısal karakterizasyonları yapılmıştır. Sentezlenen Ag(I)-NHC kompleksleri hava ve neme karşı kararlılık göstermektedir. Sentezlenen Ag(I)-NHC komplekslerinin çözelti içerisindeki kararlılıkları, klinik kullanımda gümüş bileşiklerinin hızlı salınım sorununu ortadan kaldırmaya yönelik yapılan çalışmalara örnek olması bakımından önemlidir.

Teşekkür

Bu çalışmanın hazırlanmasındaki destek ve katkılarından dolayı danışman hocam Prof. Dr. Sedat YAŞAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar, makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynaklar

- Asekunowo PO., Haque RA., Razali MR. A comparative insight into the bioactivity of mono- and binuclear silver(I)-N-heterocyclic carbene complexes: synthesis, lipophilicity and substituent effect, *Reviews in Inorganic Chemistry* 2017; 37: 29-50.
- Atiyeh BS., Costagliola M., Hayek SN., Dibo SA. Effect of silver on burn wound infection control and healing: Review of the Literature 2007; 33: 139-148.
- Aktas A., Celepci DB., Gok Y., Taslimi P., Akincioglu H., Gulcin İ. A novel Ag-N-heterocyclic carbene complex bearing the hydroxyethyl ligand: synthesis, characterization, crystal and spectral structures and bioactivity properties. *Crystals* 2020; 10: 171.
- Baquero EA., Silvestri GF., Gomez-Sal P., Flores JC., Jesus E. Sulfonated water-soluble N-heterocyclic carbene silver(I) complexes: Behavior in aqueous medium and as NHC-transfer agents to platinum(II). *Organometallics* 2013; 32: 2814-2826.
- Brandt O., Mildner M., Egger AE., Groessl M., Rix U., Posch M., Keppler BK., Strupp C., Mueller B., Stingl G. Nanoscale silver possesses broad-spectrum antimicrobial activities and exhibits fewer toxicological side effects than silver sulfadiazine. *Nanomedicine* 2012; 8: 478-488.
- Cazin CSJ., Bianchini C., Cole-Hamilton DJ., PWNM. van Leeuwen (Eds.), Springer Dordrecht, 2011.
- Fox CL. Silver sulfadiazine-A new topical treatment for Pseudomonas in burns. *The Archives of Surgery* 1968; 96: 184-188.
- Garrison JC., Youngs WJ. Ag(I) N-Heterocyclic carbene complexes: Synthesis, structure, and application. *Chemical Reviews* 105: 3978-4008.
- Günel S., Kaloğlu N., Özdemir İ., Demir S., Özdemir İ. Novel benzimidazolium salts and their silver complexes: Synthesis and antibacterial properties. *Inorganic Chemistry Communications* 2012; 21: 142-146.
- Hill WR., Pillsbury DM. *Argyria-the Pharmacology of Silver*, Williams & Wilkins, Baltimore. 1939.
- Hartinger CG., Dyson PJ. Bioorganometallic chemistry-From teaching paradigms to medicinal applications. *Chemical Society Reviews* 2009; 38: 391-401.
- Kaloglu M., Kaloglu N., Ozdemir İ., Gunal S., Ozdemir İ. Novel benzimidazole 2-ylidene carbene precursors and their silver(I) complexes: potential antimicrobial agents. *Bioorganic and Medicinal Chemistry* 2016; 24: 3649-3656.
- Lansdown AB. A pharmacological and toxicological profile of silver as an antimicrobial agent in medical devices. *Adv Pharmacology* 2010; 1-16.
- Liu WK., Gust R. Metal N-heterocyclic carbene complexes as potential antitumor metallodrugs. *Chemical Society Reviews* 2013; 42: 755-773.

- Melaiye A., Simons RS., Milsted A., Pingitore F., Wesdemiotis C., Tessier CA., Youngs WJ. Formation of water-soluble pincer silver(I)-carbene complexes: A Novel antimicrobial agent. *Journal of Medicinal Chemistry* 2004; 47: 973-977.
- Pereira KC., Porter AL., DeBoef B. Intramolecular arylation of benzimidazoles via Pd(II)/Cu(I) catalyzed cross-dehydrogenative coupling. *Tetrahedron Letters* 2014; 55: 1729–1732.
- Pytkowicz J., Roland S., Mangeney P. Synthesis of chiral silver(I) diaminocarbene complexes from (R,R)-4,5-di-tert-butylimidazoline. *Journal of Organometallic Chemistry* 2001; 631: 157–163.
- Touj N., Chakchouk-Mtibaa A., Mansour L., Harrath AH., Al-Tamimi J., Mellouli L., Özdemir İ., Yaşar S., Hamdi N. Synthesis, spectroscopic properties and biological activity of new Cu(I) N-Heterocyclic carbene complexes. *Journal of Molecular Structure* 2019; 1181: 209-219.
- Yaşar Ş., Köprülü TK., Tekin Ş., Yaşar S. Sulfonated N-heterocyclic carbene-silver (I) complexes: Synthesis, characterisation and biological evaluation. *Applied Organometallic Chemistry* 2018a; 32: 4016.
- Yaşar Ş., Köprülü TK., Tekin Ş., Yaşar S. Synthesis, characterisation and cytotoxic properties of N-heterocyclic carbene silver(I) complexes. *Inorganica Chimica Acta* 2018b; 479: 17–23.

Bireylerin Gelir Dağılım Seviyelerinin Makine Öğrenmesi Teknikleri ile Belirlenmesi

Sait Taner CANİBEY^{1*}, Onur SEVLİ²

¹ Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye

² Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-5781-6372>

²<https://orcid.org/0000-0002-8933-8395>

*Sorumlu yazar: stcanibey@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 22.12.2021

Kabul tarihi: 20.01.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Gelir seviyesi tahminlemesi

Makine öğrenmesi

Ekonomik yaşam

ÖZ

Toplumların ekonomik durumlarını değerlendirme üzerine yapılan çalışmalar mevcut durumu tespit etmek, yaşam koşullarını iyileştirmek ve geleceğe dönük stratejiler geliştirmek açısından son derece önemlidir. Bu konuda farklı disiplinler çeşitli araştırma, analiz ve tahminleme çalışmaları gerçekleştirmektedir. Bu çalışmada farklı ülkelerden toplanmış olan sosyoekonomik verilerine bağlı olarak bireylerin ekonomik seviyeleri üzerine makine öğrenmesi temelli tahminlemeler gerçekleştirilmiştir. Kullanılan veri setinde bireylerin yaş, çalışma durumu, eğitim seviyesi, medeni durumu, mesleği, ırkı, cinsiyeti, haftalık çalışma süresi ve gelir seviyesini gösterir sınıf yer almaktadır. KNN, DVM, Rastgele Orman ve Naive Bayes algoritmaları kullanılarak elde edilen ölçümler farklı metrikler açısından değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. En iyi doğruluk değeri %97.36 olarak Naive Bayes algoritması ile elde edilmiştir. Bu çalışma sosyoekonomik tahminlemeler konusunda çalışacak olan araştırmacılar için makine öğrenmesi temelli başarılı bir model örneği sunmaktadır.

Determining the Income Distribution Levels of Individuals with Machine Learning Techniques

Research Article

Article History:

Received: 22.12.2021

Accepted: 20.01.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Income level

Machine learning

Economic life

ABSTRACT

Studies on the evaluation of the economic situation of societies are extremely important in terms of determining the current situation, improving living conditions and developing strategies for the future. Different disciplines carry out various research, analysis and forecasting studies on this subject. In this study, machine learning-based predictions were made regarding the economic levels of individuals based on the socioeconomic data collected from different countries. The data set used includes the age, employment status, education level, marital status, occupation, race, gender, weekly working time, and income level of the individuals. On this data set, estimations were made on the income level of individuals by using different machine learning algorithms. The measurements obtained using KNN, SVM, Random Forest and Naive Bayes algorithms were evaluated and compared in terms of different metrics. The best accuracy value was obtained with the Naive Bayes algorithm as 97.36%. This study provides an example of a successful model based on machine learning for researchers who will work on socioeconomic forecasting.

To Cite: Canibey ST., Sevlı O. Bireylerin Gelir Dağılım Seviyelerinin Makine Öğrenmesi Teknikleri ile Belirlenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 753-766.

Giriş

Küreselleşen dünya düzeninde her geçen gün ekonomik şartlar gerek ülkeler bazında, gerekse bireyler bazında zorlaşmaktadır. Zorlaşan bu şartlar gelir seviyelerine göre toplumsal sınıfların aralarındaki uçurumları artırmaktadır. Küresel olarak 1990'lı yılların ekonomileri göz önünde alındığında gelir seviyelerine göre toplumu oluşturan düşük, orta ve yüksek sınıflar daha dengeli iken, 2010 yılı ve sonrasında orta seviye giderek daralmış ve düşük gelir seviyesi ile yüksek gelir seviyesi arasındaki makas giderek artmıştır. Özellikle son yıllarda yaşanan pandemi nedeniyle ekonomik koşulların iyi yönetilememesi sonucu orta seviye neredeyse yok olmuş, dağılımdaki eşitsizlik daha da büyümüştür.

Ülkelerin ekonomik durumlarını değerlendirmek sürdürülebilirliği sağlamak, yaşam koşullarını iyileştirmek, geleceğe dönük stratejiler oluşturmak açısından son derece önemlidir. Buna yönelik olarak ekonomi temelinde farklı disiplinlerin de iş birliği ile çok sayıda çalışma yürütülmektedir. Bilgisayar bilimleri içerisinde gelişen yapay zekâ teknikleri farklı alanlarda olduğu gibi ekonomi konusunda gerçekleştirilen çalışmalara da farklı bir boyut kazandırmaktadır. Bir yapay zekâ disiplini olan makine öğrenmesinin, tahminleme çalışmalarında kullanımı giderek artmaktadır.

Makine öğrenmesi, bilgisayarların belirli bir amaç doğrultusunda toplanan veri kümeleri üzerinde gerekli mantıksal, matematiksel, istatistiki işlemleri gerçekleştirerek, veriler arasındaki örüntüleri ortaya çıkarıp karşılaşılan yeni durumlar için başarılı tahminler yapabilmelerini sağlamak için kullanılan tekniklerdir (Öztemel, 2012).

Bireylerin ve ülkelerin sosyoekonomik durumları belirlenirken çeşitli yollarla doğrudan bireylerden elde edilen bilgiler kullanılır. Bu veriler geleneksel istatistiki yöntemlerle analiz edilebileceği gibi, bilgisayar destekli tahminleme sistemleri ile ele alınarak, hem mevcut durum değerlendirmesi yapılıp, hem de geleceğe dönük çıkarımlar yapılabilmektedir.

Gelir seviyesi tespiti yapan firmalar farklı çıkarımlar yaparken, bankalar kredi notunun hesaplanmasında farklı veri setleri üzerinden tahminlemeler yapmaktadır. Bu tahminlemeler üzerinden toplumsal ve bireysel durumları inceleyerek geleceğe dönük stratejiler oluşturmaktadır.

Literatürde yapılan çalışmaların çoğu toplanan veriler ya da işlem kayıtları üzerinden bireylerin ya da toplumun mevcut durumunu betimlemeye yönelik çalışmalardır. Bu çalışmalarda toplumun gelir seviyesi, banka hesap durumları (Ardic ve ark., 2011), harcama kalemleri, öğrenim durumunun ekonomiye etkisi (Doğrul, 2009) gelir dağılımı eşitsizliğinin toplumsal refaha ve çalışmaya başlama yaşındaki düşüşe etkisi (Karaman ve Özçalık, 2007) gibi durumlara dair çıkarımlarda bulunulmuştur.

Literatürdeki mevcut çalışmalar incelendiğinde bu alanda yapay zekâ destekli tahminleme çalışmalarının henüz yeteri kadar çok olmadığı görülmektedir. Bu çalışma ile benzer veri setini kullanan bir çalışmada Meng (1994), bireylerin gelir durumlarının 50 bin dolar üzerinde olup olmama durumuna göre karar ağaçlarına dayalı bir tahminleme çalışması gerçekleştirmişlerdir (Meng,1994).

Gerçekleştirilen sınıflandırmada hata oranını %37,21 olarak bulmuşlardır.

Küreselleşen dünya düzeninde gelir seviyesi eşitsizliği özellikle ABD gibi kalabalık nüfusa sahip ülkelerde ekonomik kriz endişeleri yaratmaktadır. Ülkeler bireylerin gelir seviyesi eşitsizliklerini

azaltmak için farklı tedbirler almaya çalışmaktadırlar. Yoksulluğu ortadan kaldırmak, gelir seviyesi eşitsizliği için alınması gereken en önemli tedbirlerden biridir. Bu sorundan hareketle Chakrabarty ve Biswas (2018), makine öğrenmesi tekniklerinden yararlanarak bireylerin gelir seviyesi üzerinde bir tahminleme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Gradient Boosting Classifier kullanarak gerçekleştirdikleri sınıflandırmalarda %88.16 doğruluk değerine ulaşmışlardır (Chakrabarty ve Biswas, 2018).

Bu çalışmada nüfus ve gelir durumu bilgilerinden oluşan bir veri seti üzerinden bireylerin gelir durumlarının tespitine yönelik bir sınıflandırma ve tahminleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Dört farklı makine öğrenmesi algoritması ile gerçekleştirilen çalışmanın bulguları farklı metrikler ile raporlanmıştır. Bu çalışma ile ekonomik durum ve gelir seviyesi tahminleme konusunda çalışmalar yapan araştırmacılara bilgisayar destekli modeller ve makine öğrenmesi teknikleri ile gerçekleştirilebilecek çalışmalar hakkında yol gösterici bir örneğin oluşturulması amaçlanmıştır.

Materyal ve Metot

Veri Seti

Çalışmada kullanılan veri seti Backer tarafından oluşturulmuş olup, ülkelere göre nüfus ve gelir durumu bilgilerini içermektedir. Veri seti University of California Irvine (UCI) veri deposunda kamuya açık şekilde paylaşılmaktadır (UCI, 2021). Toplam 15 öznitelikten oluşan veri setinde 32561 örnek bulunmaktadır. Özniteliklerden 14 adedi bireyin çeşitli özelliklerini gösterir girdiler olup, hedef öznitelik ise bireyin kazan durumudur. Kazancın 50 bin doları geçip geçmeme durumuna göre iki farklı sınıf mevcuttur.

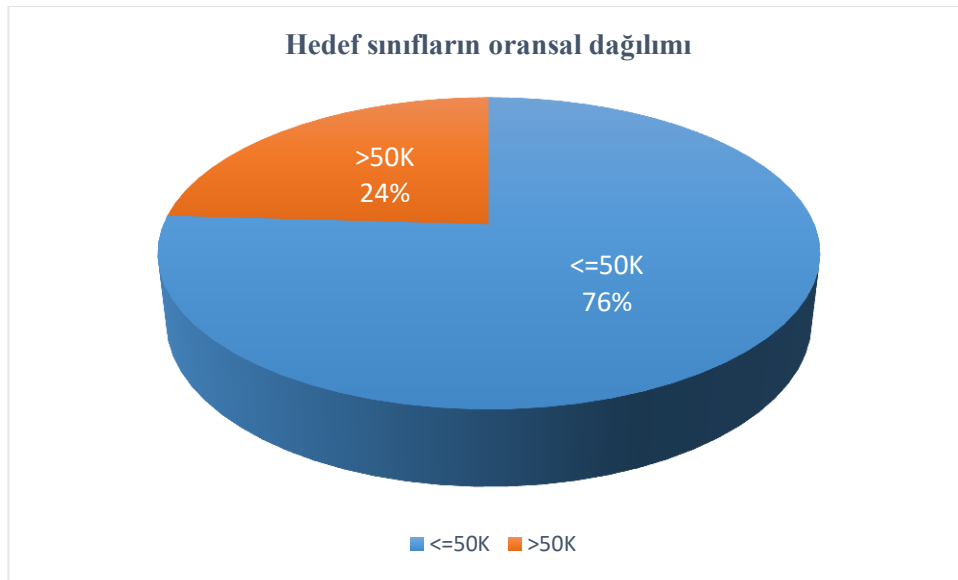
Veri setinde yer alan öznitelikler ve açıklamaları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Veri seti içeriklerin detayları

Öznitelik	Açıklama	Türü
Yaş(Age)	Bireyin yaşı.	Sayısal-süreklili
Çalışma durumu (Workclass)	Bireyin çalışma durumu. “Self-emp-not-inc, Federal-gov, Self-emp-inc, State-gov, Without-pay, Local-gov ve Never-worked” şeklinde çalışma sınıflarını içerir.	Kategorik
Son ağırlık (Fnlwgt)	Sayım bürosu tarafından atanan ağırlık değeridir. Farklı demografik yapıya sahip ırkları ayırmak için belirlenmiştir.	Sayısal-süreklili
Eğitim durumu (Education)	Eğitim durumu. “Some-college, Bachelors, 11th, HS-grad, Prof-school, Assoc-acdm, Assoc-voc, 9 th , 7 th -8 th , 12 th , 1 st -4 th , 10 th , Doctorate, Masters ve 5 th -6 th , Preschool” şeklinde değerler alır.	Kategorik
Eğitim gördüğü süre (Education-num)	Eğitim süresi.	Sayısal-süreklili
Medeni durum (Marital-status)	Bireylerin medeni durumunu. “Divorced, Never-married, Separated, Widowed, Married-spouse-absent, Married-civ-spouse ve Married-AF-spouse” değerlerini içerir.	Kategorik

Meslek(Occupation)	Meslek bilgisi. "Craft-repair, Other-service, Tech-support, Sales, Exec-managerial, Prof-specialty, Machine-op-inspct, Adm-clerical, Farming-fishing, Priv-house-serv, Handlers-cleaners, Protective-serv, Transport-moving ve Armed-Forces." değerlerini içerir.	Kategorik
İlişki durumu(Relationship)	İlişki durumu. "Husband, Wife, Not-in-family, Other-relative, Own-child ve Unmarried." değerlerini içerir.	Kategorik
İrk(Race)	İrk bilgisi. "White, Amer-Indian-Eskimo, Other, Asian-Pac-Islander ve Black." değerlerini içerir.	Kategorik
Cinsiyet(Sex)	Cinsiyet bilgisi. "Female, Male" değerlerini içerir.	Kategorik
Sermaye kazancı(Capital-gain)	Sermaye kazancı.	Sayısal-sürekli
Sermaye kaybı(Capital-loss)	Sermaye kaybı.	Sayısal-sürekli
Haftalık çalışma saati(Hours-per-week)	Haftalık çalışma süresi.	Sayısal-sürekli
Ülke(Native-country)	Bireylerin ülkeleri. "Trinidad&Tobago, Cambodia, England, Puerto-Rico, Canada, United-States, Germany, Outlying-US(Guam-USVI-etc), India, Japan, Greece, South, China, Cuba, Iran, Honduras, Philippines, Italy, Poland, Jamaica, Vietnam, Portugal, Ireland, France, Dominican-Republic, Laos, Ecuador, Mexico, Taiwan, Haiti, Columbia, Hungary, Guatemala, Nicaragua, Scotland, Yugoslavia, El-Salvador, Peru, Thailand, Hong ve Holand-Netherlands" değerlerini içerir.	Kategorik
Maaş(Salary)	Yıllık gelir seviyesinin 50 bin doların altında veya üstünde olma durumu. (>50K, <=50K). Tahminlenecek hedef değişken budur.	Kategorik

Tahminlenecek hedef öznitelik Salary alanıdır. Bu alanın 50 bin dolardan büyük veya küçük olma durumuna bağlı olarak sahip olduğu iki farklı sınıfın oransal dağılımı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Salary özniteliği sınıf dağılımı

Veri setinde yer alan sayısal özelliklerin istatistiki karakteristikleri ise Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Verilerin istatistiki karakteristiği

	Yaş	Eğitim süresi	Sermaye kazancı	Sermaye kaybı	Haftalık çalışma saati
veri sayısı	32561	32561	32561	32561	32561
ortalama	38.58	10.08	1077648.84	8730383	40,44
standart sapma	13.64	2.57	7385292.09	402960219	12,35
en küçük	17	1	0	0	1
%25	28	9	0	0	40
%50	37	10	0	0	40
%75	48	12	0	0	45
en büyük değer	90	16	99999	4356	99

Kullanılan Sınıflandırma Yöntemleri

Bu çalışmada bireylerin gelir durumlarını tespit etmek için K-En Yakın Komşuluk (KNN), Destek Vektör Makinesi (DVM), Rastgele Orman (RO) ve Naive Bayes (NB) olmak üzere 4 farklı sınıflandırma algoritması kullanılmıştır. Sınıflandırma işlemlerinde 5 kat çapraz doğrulama uygulanarak elde edilen sonuçların ortalamaları raporlanmıştır.

KNN, sınıflandırma problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan, uzaklığa dayalı bir makine öğrenmesi algoritmasıdır (Aksoy, 2021). Öğrenme işlemi ve test işlemleri olarak ayrılan veri seti içinden öğrenme gerçekleştirilir. Öğrenme işlemi kümenin elemanları arasındaki k adet veriyi ve bunlar arasındaki uzaklıkların değerlerini hesaplayarak, en yakın olan sınıfa yeni üyenin dahil edilmesini sağlar (Pala ve ark., 2019).

Çalışmada kullanılan diğer bir algoritma olan DVM, doğrusal olarak ayrıştırılabilen iki farklı sınıfın üyelerinin destek vektörleri olarak bilinen karar düzlemi ile sınıf sınırını tanımlayan, örnekler arasındaki maksimum uzaklığın tespit edilmesi ilkesi üzerine kurulu bir sınıflandırma algoritmasıdır (Akben ve ark., 2010).

Kullanılan diğer algoritma olan RO, 2001 yılında Leo Breiman tarafından ortaya çıkarılmış bir modeldir. RO, veri seti ve öznitelikleri çok sayıda parçaya ayrılarak birden fazla ağaç üzerinde işlenerek çözüme ulaşır (Breiman, 2001).

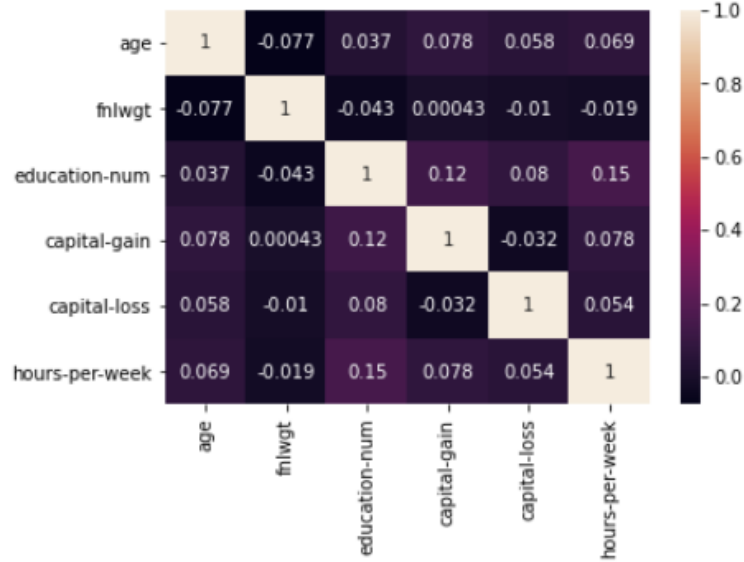
Çalışmada kullanılan diğer bir yöntem olan NB algoritması 19.yüzyılın başlarında Thomas Bayes tarafından ortaya atılan bir koşullu olasılık formülü olan Bayes teoremine dayanır (Eş. 1). NB, Bayes teoremi üzerine kurulu, makine öğrenmesinde ve veri madenciliğinde sık kullanılan yöntemlerden biridir (Zhang, 2005)

$$\text{Bayes Teoremi Formülü} \rightarrow P\left(\frac{A}{B}\right) = \frac{P\left(\frac{B}{A}\right)P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

Veri Analizi ve Araştırma Bulguları

Kullanılan veri seti 15 öznitelik ve 32561 satırdan oluşmaktadır. Hedef değişken Salary öznitelğine göre geliri 50K üzeri olan 7841 kayıt, 50K ve altında ise 24720 kayıt bulunmaktadır. Yıllık gelir durumu 50K'nın üzerindeki bireylerin yaş karakteristiği incelendiğinde yaş ortalamasının 44 olduğu, gelir durumu 50K ve altında olan bireylerin yaş ortalamasının ise 36 olduğu görülmektedir. Veri setindeki en küçük yaş 19 en yüksek ise 90'dır.

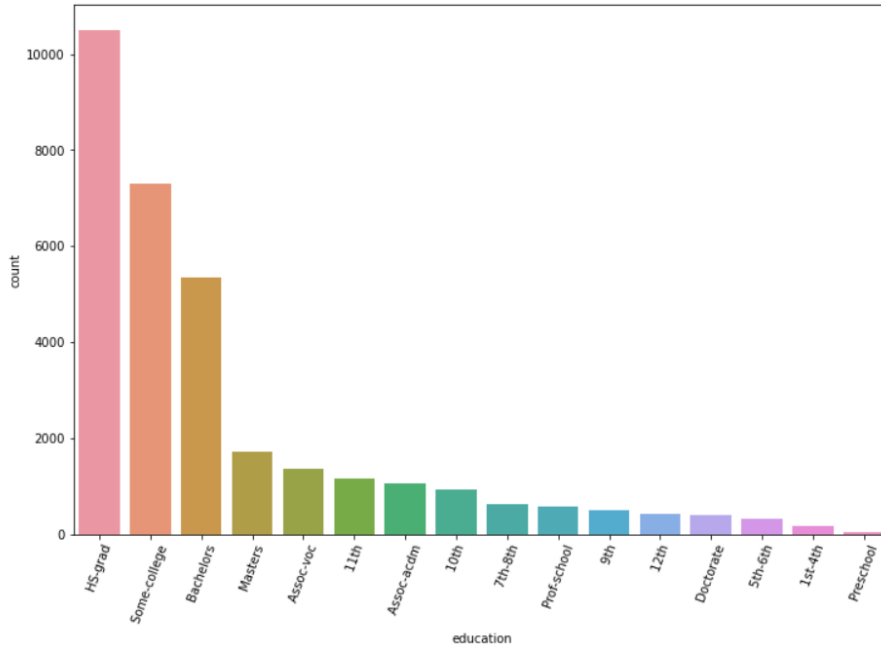
Veri setindeki sayısal alanların korelasyonunu gösterir matris Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Korelasyon matrisi

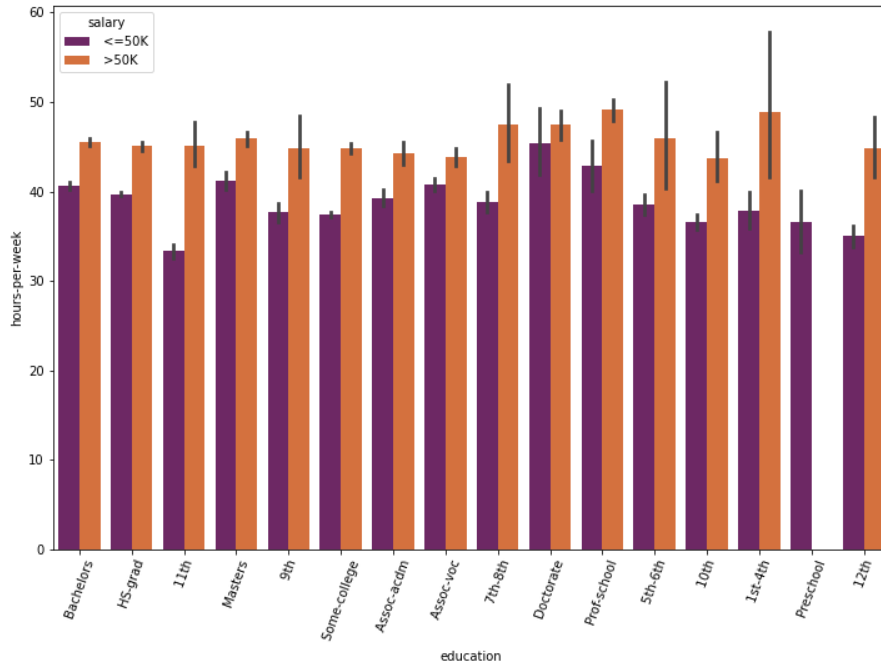
Veri setindeki hedef değişken salary öznitelği üzerinde en çok etkisi olan hours-per-week öznitelğidir. Veri setindeki education-num öznitelği ise hedef değişkeni en çok etkileyen ikincil öznitelik konumundadır.

Veri setindeki bireylerin eğitim durumlarına göre dağılımları incelendiğinde HS-grad 10501 adet, Some-college 7291 adet, Bachelors 5355 adet, Masters 1723 adet, Assoc-voc 1382 adet, 11th 1175 adet, Assoc-acdm 1067 adet, 10th 933 adet, 7th-8th 646 adet, Prof-school 576 adet, 9th 514 adet, 12th 433 adet, Doctorate 413 adet, 5th-6th 333 adet, 1st-4th 168 adet, Preschool 51 adet olarak dağılım gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Eğitim seviyelerine göre birey sayısı dağılımı

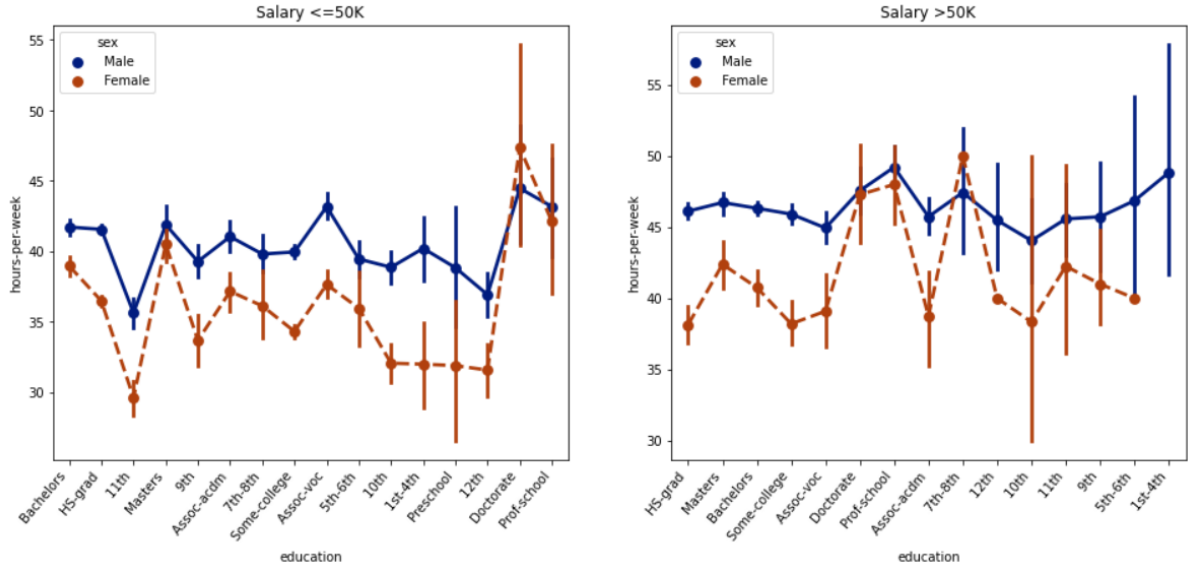
Eğitim durumları ve haftalık çalışma sürelerine göre bireylerin yıllık gelirleri incelendiğinde Geliri 50 bin dolar üzeri olup; haftada en az çalışan kesim 10th olarak etiketli eğitim sınıfına sahip bireyler iken en çok çalışan kesim ise eğitim durumu Prof-school olanlardır. Geliri 50bin dolar ve altında olup haftada en az çalışan kesim eğitim sınıfı 11th olanlar, en çok çalışan kesim ise eğitim durumu Doctorate olanlardır (Şekil 4).



Şekil 4. Eğitim durumu ve gelir seviyelerine göre bireylerin haftalık çalışma süreleri

Gelir seviyesine göre farklı gruplardaki bireylerin eğitim durumu ve cinsiyetlerine göre sınıflandırıldığındaki dağılımları incelendiğinde, erkeklerin her iki gelir grubunda da genel olarak daha

çok çalıştığı gözlenmiştir. Özellikle Doctorate grubunda çalışan kadınların haftalık çalışma süreleri daha uzundur (Şekil 5).



Şekil 5. Gelir seviyeleri ve cinsiyetlerine göre farklı grupların eğitim türü ve haftalık çalışma süresi karşılaştırması

Veri setindeki kategorik olan “education”, “marital-status”, “workclass”, “occupation”, “race”, “sex”, “relationship”, “native-country” öznitelikleri analiz öncesinde kodlanmıştır. Ardından 4 farklı makine öğrenmesi algoritması kullanılarak sınıflandırmalar gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma sonuçları farklı metrikler açısından raporlanmıştır. Sınıflandırma sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan ölçütler şu şekildedir:

Karmaşıklık matrisi, veri seti üzerindeki doğruluğu bilinen değerlerin test verileri üzerindeki sonuçlarıyla uygulanan modelin performans sonuçlarını değerlendirmek için kullanılan bir ölçüttür (Tablo 3). Karmaşıklık matrisi doğru pozitif, yanlış pozitif, yanlış negatif ve doğru negatif değerlerinden oluşur. Doğru pozitifler, gerçek değeri 1 ve modelin tahmin ettiği değeri 1 olan verilerdir. Yanlış pozitifler, gerçek değeri 0 ve modelin tahmin ettiği değeri 1 olan verilerdir. Yanlış negatifler, gerçek değeri 1 ve modelin tahmin ettiği değeri 0 olan verilerdir. Doğru negatifler, gerçek değeri 0 ve modelin tahmin ettiği değeri 0 olan verilerdir.

Tablo 3. Karmaşıklık matrisi

Tahmin Durumu	Gerçek Değerler	
	Pozitif	Negatif
Pozitif	Doğru Pozitif (DP)	Yanlış Pozitif (YP)
Negatif	Yanlış Negatif (YN)	Doğru Negatif (DN)

Karmaşıklık matrisinden çıkan sonuçlara göre doğruluk, duyarlılık, belirleyicilik ve keskinlik oranları hesaplanır. Keskinlik ve duyarlılık değerlerinin harmonik ortalamasından F1 puanı elde edilir.

Doğruluk, sınıflandırıcının ne sıklıkla doğru tahmin ettiğinin bir ölçüsüdür. Duyarlılık, sınıflandırıcının ne kadar gerçek pozitif değeri doğru tahmin ettiğinin bir ölçüsüdür. Belirleyicilik, sınıflandırıcının ne kadar gerçek negatif değeri olduğunu tahmin ettiğinin bir ölçüsüdür. Keskinlik, tüm sınıflardan, doğru olarak ne kadar tahmin edildiğinin bir ölçüsüdür. F1 puanı, sınıflandırıcının ne kadar iyi performans gösterdiğinin bir ölçüsüdür. F1 puanı kesinlik ve duyarlılık arasındaki dengeyi ifade eder. Doğruluk, duyarlılık, belirleyicilik, kesinlik metriklerine ait formüller Eş.2, Eş.3, Eş.4 ve Eş.5'te verilmiştir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP+DN}{DP+DN+YP+YN} \quad (2)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP+YN} \quad (3)$$

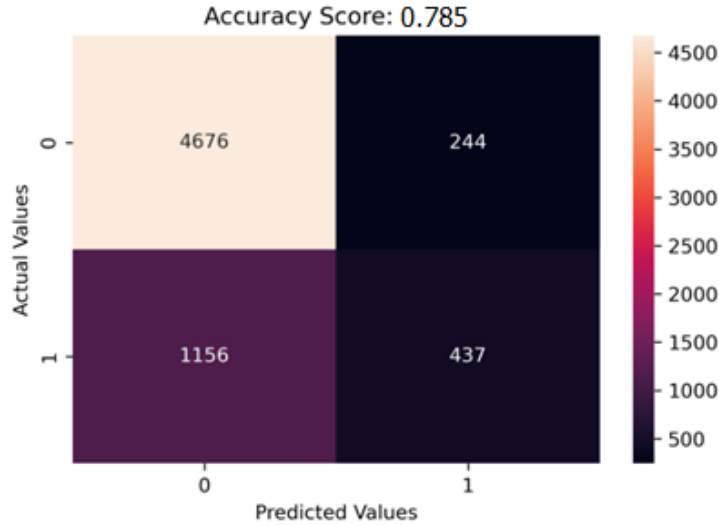
$$\text{Belirleyicilik} = \frac{DN}{DN+YP} \quad (4)$$

$$\text{Keskinlik} = \frac{DP}{DP+YP} \quad (5)$$

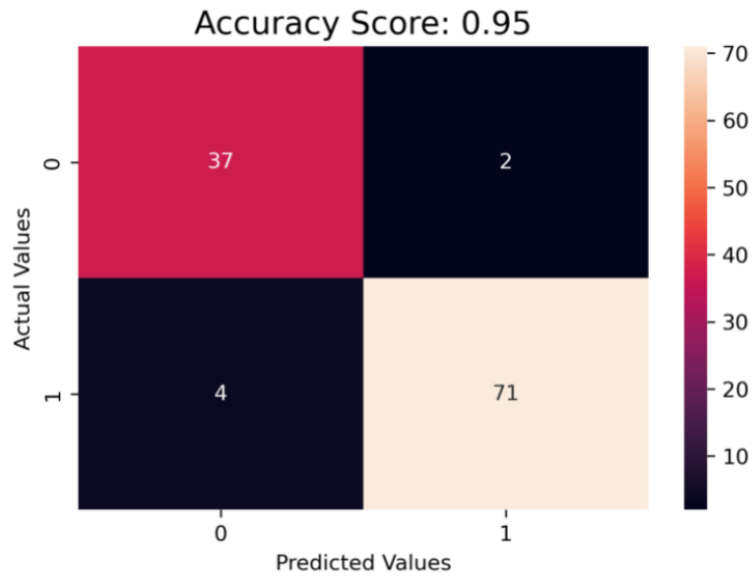
Duyarlılık ve kesinliğin harmonik ortalaması olan F1 puanı ise Eş.6'daki formüle göre hesaplanır.

$$F1 = 2 * \frac{\text{Duyarlılık} * \text{Keskinlik}}{\text{Duyarlılık} + \text{Keskinlik}} \quad (6)$$

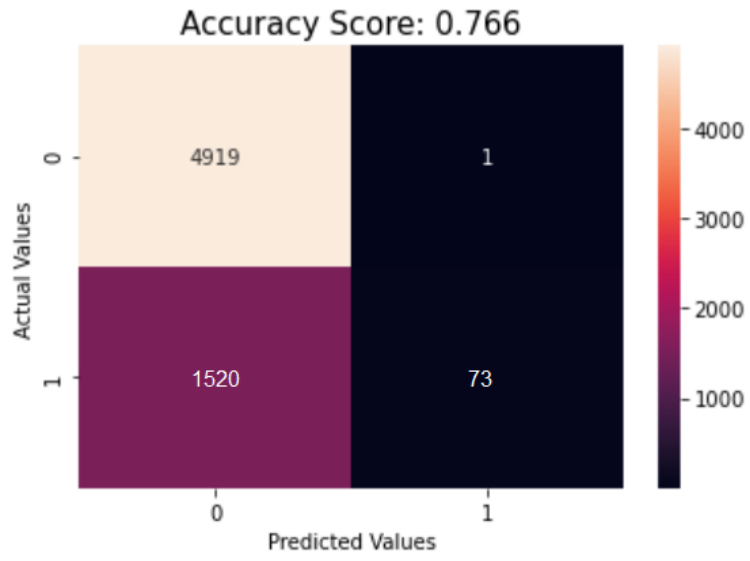
Veri seti üzerinde KNN, DVM, RO ve NB algoritmaları ile yapılan sınıflandırmalar sonucunda elde edilen karmaşıklık matrisleri sırayla Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir. Sınıflandırma işlemlerinde tüm algoritmaların parametreleri varsayılan değerleri ile kullanılmıştır.



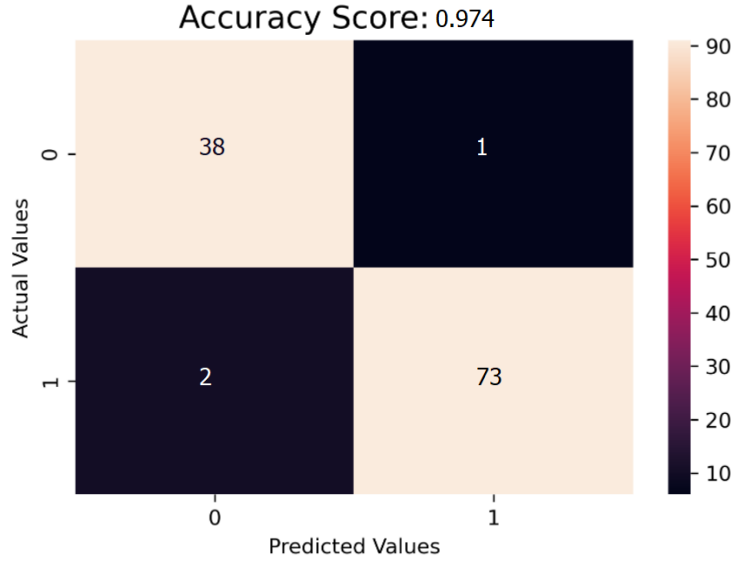
Şekil 6. KNN karmaşıklık matrisi



Şekil 7. DVM karmaşıklık matrisi



Şekil 8. Rastgele Orman karmaşıklık matrisi



Şekil 9. Naive Bayes karmaşıklık matrisi

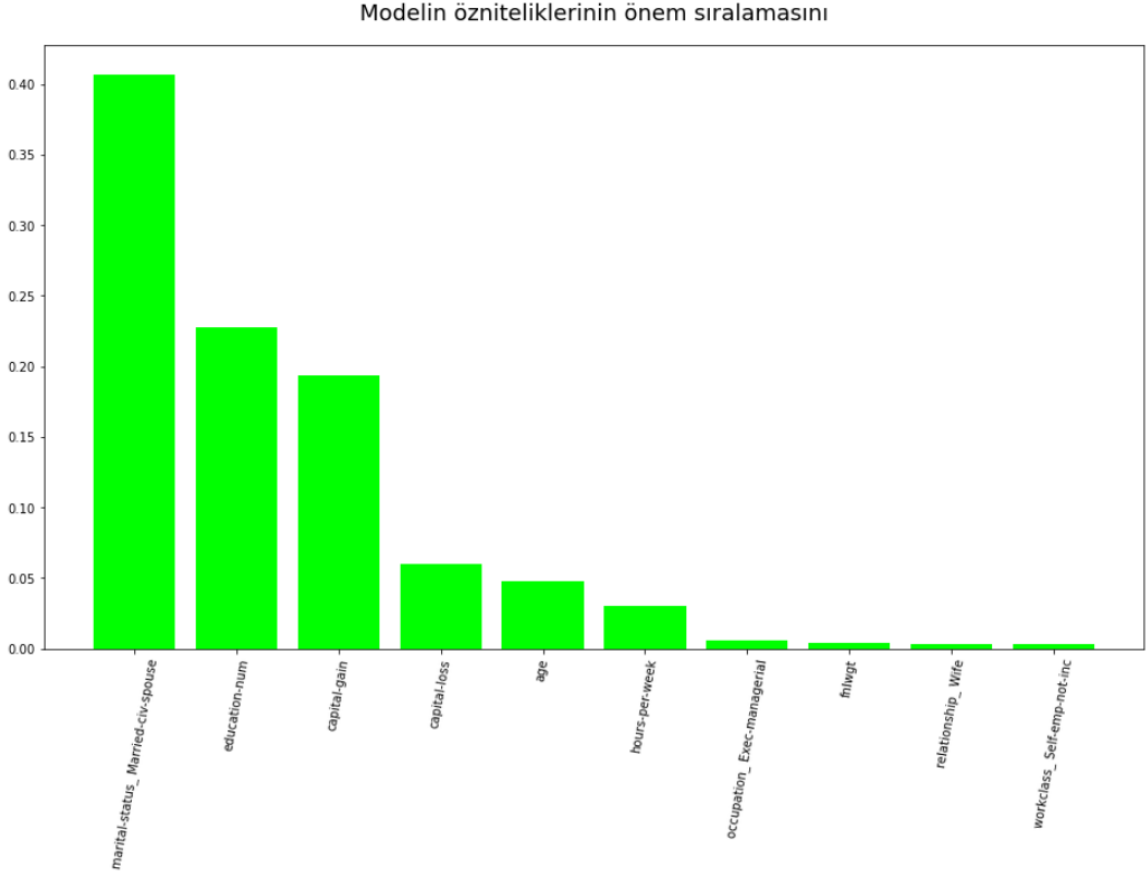
Karmaşıklık matrisleri üzerinden elde edilen hesaplanan diğer metriklerin değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Kullanılan algoritmaların performans ölçümleri

Kullanılan Model	DP	YP	YN	DN	DOĞRULUK	DUYARLILIK	BELİRLEYİCİLİK	KESİNLİK	F1
KNN	4676	244	1156	437	0,7850	0,8017	0,6417	0,9504	0,87
DVM	37	2	4	71	0,9473	0,9024	0,9726	0,9487	0,92
Rastgele Orman (RO)	4919	1	1520	73	0,7664	0,7639	0,9864	0,9997	0,87
Naive Bayes (NB)	38	1	2	73	0,9736	0,95	0,9864	0,9743	0,96

Doğruluk değerleri incelendiğinde en başarılı modelin %97,36 oranıyla NB olduğu görülmektedir. İkinci başarılı model ise %94,73 doğrulukla DVM olmuştur. Üçüncü sırada %78,50 ile KNN yer alırken, doğruluk açısından en düşük başarıyı %76,64 ile RO sergilemiştir. Aynı veri seti üzerinde Chakrabarty ve Biswas (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada elde edilen en yüksek doğruluk değeri %88,16 iken, bu çalışmada kullanılan NB ve DVM modelleri bu değer üzerinde bir doğruluk sağlamışlardır. Doğru ve yanlış sınıfları ayırt etmedeki başarıyı gösterir diğer metriklerin dengesini ifade eden F1 başarı incelendiğinde NB algoritması %96 oranında başarı göstererek diğer algoritmalarından daha iyi sonuç vermiştir. Naive Bayes algoritmasından sonra en iyi sonucu %92 ile DVM göstermiştir. KNN ve RO algoritmalarında ise %87 başarı elde edilmiştir. Tüm metrikler açısından değerlendirildiğinde en başarılı modelin NB olduğu görülmektedir. Genel başarı sıralaması ise şu şekilde yapılabilir: NB>DVM>KNN>RO.

Sınıflandırma işlemlerinin ardından veri setindeki girdi özniteliklerin hedef değişkeni tahminleme üzerindeki etkileri incelenmiştir. Özellik önemlerini gösterir grafik Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Tahminlemeye etki eden öznitelik önem sıralaması

Girdi özniteliklerin hedef değişkeni tahminlemedeki önemini gösterir sonuçlar incelendiğinde önem düzeyi en yüksek öznitelik Marital-status (evlilik durumu), en düşük olanın ise workclass (çalışma sınıfı) olduğu gözlenmiştir.

Sonuç

Bu çalışmada ülkelerin gelir durumu hakkında tahminlemeler yaparak, geliştirilecek stratejilere yardımcı olmak amacıyla makine öğrenmesi temelli bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bireylerin demografik bilgileri ve gelir bilgilerini içeren veri seti üzerinde KNN, DVM, RO ve NB algoritmaları ile sınıflandırmalar gerçekleştirilmiştir. Modellerin başarıları farklı metrikler açısından değerlendirilmiştir. 5 kat çapraz doğrulama uygulanarak gerçekleştirilen sınıflandırmalar sonucu en başarılı modelin %97,36 doğrulukla NB olduğu görülmüştür.

Sınıflandırmaya etki eden özelliklerin önem dereceleri incelendiğinde, hedef değişken olan gelir seviyesi düzeyi üzerinde en yüksek etkiye sahip olan özneliğin bireylerin evlilik durumu olduğu görülmüştür.

Veri seti üzerinde yapılan incelemelerden çıkan bir diğer sonuç ise haftalık çalışma süresinin yıllık gelire doğrudan etki etmediğidir. Veri seti filtreleme sonuçları incelendiğinde, gelir düzeyi 50 bin doların altında ve haftada en çok çalışan kesimin doktora düzeyindeki eğitime sahip kadınlardan oluştuğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışma gelir durumu tespiti konusunda çalışacak olan araştırmacılar için makine öğrenmesi temelli bir model örneği sunmaktadır. Gelecek çalışmalarda farklı veri setleri üzerinde, farklı algoritmalar kullanarak tahminleme çalışmalarının yapılması hedeflenmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Akben S., Subasi A., Kıymık M. EEG işaretleri ile migren tanısında yapay sinir ağları ve destek vektör makineleri sınıflandırma yöntemlerinin karşılaştırılması. IEEE 18. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı Bildiri Kitabı, 2010.
- Aksoy B. Estimation of energy produced in hydroelectric power plant industrial automation using deep learning and hybrid machine learning techniques. Electric Power Components and Systems 2021; 49(3): 213-232.
- Ardic OP., Heimann M., Mylenko N. Access to financial services and the financial inclusion agenda around the world: a cross-country analysis with a new data set. World Bank Policy Research Working Paper 2011; 5537.
- Breiman L. Random forests. Machine learning 2001; 45(1): 5-32.
- Chakrabarty N., Biswas S. A statistical approach to adult census income level prediction. In 2018 International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICACCCN), 2018; 207-212.
- Doğrul N. Gelir Seviyeleri farklı illerde eğitimin ekonomik büyümeye etkisi. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 2009; 23.
- Karaman B., Özçalık M. Türkiye’de gelir dağılımı eşitsizliğinin bir sonucu: çocuk işgücü. Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 2007; 14(1): 25-41.
- Meng H. Census income data set. 1994 classification using decision tree.
- Öztemel E. Yapay sinir ağları. PapatyaYayincilik, İstanbul, 2003.

Pala MA., Çimen ME., Boyraz ÖF., Yıldız MZ., Boz AF. Meme kanserinin teşhis edilmesinde karar ağacı ve knn algoritmalarının karşılaştırmalı başarımların analizi. Academic Perspective Procedia 2019; 2(3): 544-552.

UCI. <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/adult>. Erişim tarihi: 13.11.2021

Zhang H. Exploring conditions for the optimality of naive Bayes. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence 2005; 19(02): 183-198.

Su Hasadı Uygulamalarının Kırsal Alanların Sürdürülebilirliğine Katkısı: Bursa-Karacabey Örneği

Saadet HACISALİHOĞLU^{1*}

¹Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16230, Bursa

¹<https://orcid.org/0000-0001-5969-4180>

*Sorumlu yazar: saadet.hacisalihoglu@btu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 27.10.2021

Kabul tarihi: 09.02.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

İklim değişikliği

Su hasadı

Su yönetimi

Yağmur suyu

ÖZ

Bu çalışma, kırsal alanlarda potansiyel su ihtiyacının karşılanmasında, yağmur sularının toplanması ve miktarının hesaplanması amacıyla yürütülmüştür. Çalışmada, Bursa'nın Karacabey İlçesi, Akçasusurluk Mahallesi'nde bulunan 2000 m²'lik kırsal bir alanda, 300 m² çatı alanına sahip (200 m² konut+100 m² otopark) bir konutun çatısından toplanacak yağmur suyu miktarı hesaplanmıştır. Ayrıca, bu yağmur sularının depolanması için gerekli depo hacmi, tarımsal sulamada, toplanan yağmur sularının kullanılması ile gerçekleştirilecek su tasarrufu miktarları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, Bursa'nın uzun yıllar (1928-2020) aylık yağış verileri kullanılmıştır. Sonuç olarak çalışma alanında, yıllık 170,1 m³ su hasadı yapıldığı, alanda tarımsal sulama amacı için ihtiyaç duyulan su miktarının yıllık 109,5 m³, evsel kullanım amacı için ihtiyaç duyulan su miktarının ise 87,6 m³ olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanında ihtiyaç duyulan suyun %86'sı yapılan kırsal alanda su hasadı ile sağlanabilmektedir. Sahip olduğumuz tatlı su kaynaklarının kalite, miktar ve maliyetleri göz önüne alındığında, bu tür alternatif su temin sistemlerinin yaygın kullanımı, su kaynaklarının ve kırsal alanların sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Contribution of Water Harvesting Practices to the Sustainability of Rural Areas: Bursa-Karacabey Case Study

Research Article

Article History:

Received: 27.10.2021

Accepted: 09.02.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Climate change

Water harvesting

Water management

Rainwater

ABSTRACT

This study was carried out to collect and calculate the amount of rain water in order to provide the potential water demand in rural areas. In the study, the amount of rain water to be collected from the roof of a residential building with a 300 m² roof area (200 m² residence+100 m² parking lot) in a 2000 m² rural area located in Akçasusurluk Village of Karacabey District of Bursa, was calculated. In addition, the storage volume required for the storage of rain water and the amount of water savings to be realized by using the rain water collected in agricultural irrigation was calculated. In the calculations, the monthly precipitation data of Bursa for many years (1928-2020) were used. As a result, it was determined that 170.1 m³ of water was harvested annually in the study area, the amount of water needed for agricultural irrigation purposes in the area was 109.5 m³, and the amount of water needed for domestic use was 87.6 m³ annually. 86% of the water needed in the study area can be provided by harvesting water in the rural area. Considering the quality, quantity and cost of the fresh water resources, the widespread use of such alternative water supply systems is of great importance for the sustainability of water resources and rural areas.

To Cite: Hacisalihoglu S. Su Hasadı Uygulamalarının Kırsal Alanların Sürdürülebilirliğine Katkısı: Bursa-Karacabey Örneği. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 767-782.

1. Giriş

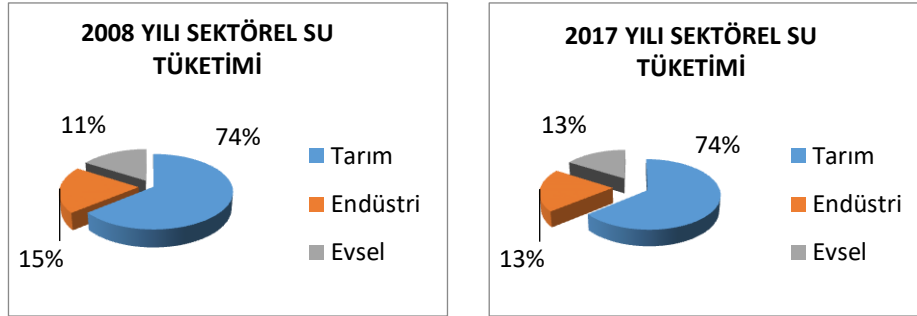
Kalkınma kavramı, üretim ve kişi başına düşen ulusal gelirin artırılmasıyla birlikte, toplumların ekonomik ve sosyokültürel yapılarının değişmesi olarak tanımlanmaktadır (Gürlük, 2010). Bir başka ifadeyle, ülkelerin yapısal niteliklerinin olumlu yönde değişmesi ve insanların refah ve mutluluğunun artması şeklinde tanımlanabilir (Tolunay ve Akyol, 2006). Bu kavram, bazen modernleşme, gelişme, sanayileşme, büyüme ve yapısal değişme gibi kavramlar yerine de kullanılarak anlam değişikliğine uğramıştır (Arıcıoğlu, 2012). Kırsal kalkınma kavramı ise, kırsal alanlarda yaşam niteliğinin gelişmesi veya insan kaynaklarının iyileştirilmesi için gerekli faaliyetlerin planlı bir şekilde gerçekleştirilmesi olarak tanımlanır (Aküzüm ve ark., 2010). Bu kavram daha geniş anlamda, kırsal toplulukların ekonomik, sosyal ve kültürel koşullarının iyileştirilebilmesi için, kendi çabalarının kamu kesiminin işbirliği ile kalkınma yönünde harekete geçirilmesi, ulusal kalkınma gayretlerine katkıda bulunulması şeklinde tanımlanır (Pezikoğlu, 2012; Yalçınkaya, 2021a). Kırsal yörelerde yaşayan insanlar geçimlerini genel olarak, toprağa dayalı bir üretim dalı olan tarımsal üretimden sağlamaktadır (Tolunay ve Akyol, 2006). Tarımsal üretim parasal gelir elde etmekten çok, günlük gıda güvenliğinin sağlanması için yapılmaktadır. Fakat üretim tekniklerinin ilkel ve geleneksel oluşu, istenilen düzeyde verim alınamamasına, dolayısıyla gıda güvenliğinin tehlikeye düşmesine neden olmaktadır (Özgünler, 2017). Dünyada nüfus artışına paralel olarak artan gıda ihtiyacı tarımsal ürünlere olan talebi de arttırmaktadır. 2025 yılında dünya nüfusunun 8,3 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Ülkemizde de artan nüfusun gıda güvenliğini sağlamak için tarımsal üretimde verimliliğin artırılması gerekmektedir. Bu durum, tarımda yeni teknolojilerin kullanılması ve su kaynaklarının etkin yönetimi ile mümkündür (Çakmak ve Gökalp, 2013; Dorak ve ark., 2019).

Su, tüm canlıların hayatlarını sürdürebilmeleri için gerekli yaşamsal ve doğal bir kaynaktır (Souza ve Ghisi, 2020). Ancak dünya yüzeyinde bulunan suyun miktarı kısıtlı düzeydedir. Dünyada bulunan 1,4 milyar km³ suyun %97,5'lik kısmı tuzlu su, %2,5'lik kısmı ise tatlı su kaynaklarını oluşturmaktadır. Sahip olduğumuz tatlı su yüzdesinin dağılımı ise, %69,5'i kutup buzullarında, %30,1'i yer altı sularında, %0,4'ü ise yüzeysel su kaynaklarında bulunmaktadır (Sevimli, 2021; Yüksel ve ark., 2011). Tatlı su kaynaklarının miktarı ile ilgili sıkıntılarının yanı sıra, son dönemlerde suyun kalitesi ile ilgili küresel ölçekte sorunlar yaşanmaktadır. Bu kaynakların miktar ve kalite bakımından kötüleşmesinde etkili olan temel sebepler, hızlı nüfus artışı, teknolojik gelişmeler, kentleşme ve küresel iklim değişikliğidir (İncebel, 2012; Çakmak ve Gökalp, 2013). Ayrıca ülkelere özgü yasal ve yapısal sorunlar, tüketim alışkanlıklarının değişmesi, hayat standartlarının yükselmesi gibi durumlar da su meselesini insanlığın ortak sorunu durumuna getirmektedir (Yüksel ve ark., 2011).

Türkiye'de kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yayımlanan 2017 yılı adrese dayalı nüfus verileri kullanılarak hesaplandığında yaklaşık 1400 m³ iken bu değer 2030 yılı için yaklaşık 1120 m³'e düşeceği öngörülmektedir. Su kaynaklarının daha etkin ve verimli kullanılmaması halinde, ülkemizin 2030'lu yıllarda su sıkıntısı

çeken bir ülke durumuna gelmesi muhtemeldir (Anonim, 2019). Sahip olduğumuz su kaynaklarının miktar ve kalitesini koruyabilmek için tarım, sanayi ve içme-kullanma suyu sektörlerinde gerekli tedbirlerin öncelikle alınması zorunlu hale gelmiştir.

Türkiye'nin su kaynakları potansiyelinin %74'ü tarım sektöründe kullanılmaktadır (Şekil 1). Son yıllarda modern sulama sistemlerine geçiş ile sulama verimliliğinin artırılmasına yönelik önemli çalışmalar yapılmaktadır (Anonim, 2019). Ancak yine de tarımsal faaliyetler için su kaynaklarından aşırı çekim yapılması ve suyun verimli kullanılmaması nedeni ile tatlı su ekosistemleri zarar görmekte ve ekolojik değerini yitirmektedir. Bu durum kırsal alanların sürdürülebilirliğini de sekteye uğratmaktadır (Sandalcı ve Yüksel, 2007; WWF, 2014). Şekil 1'de görüldüğü üzere, 2008 ve 2017 yıllarında tarımsal sulama amacı ile tüketilen su miktarı toplam potansiyelin %74'üne tekabül etmektedir. Evsel amaçlı tüketim alışkanlıkları ve nüfus artışına bağlı olarak ise evsel tüketimin %13'e yükseldiği görülmektedir. Endüstriyel su tüketiminin ise %13'e gerilediği görülmektedir. Bu durumun gelişen teknolojik faaliyetlere bağlı olarak temiz teknoloji kullanımının artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

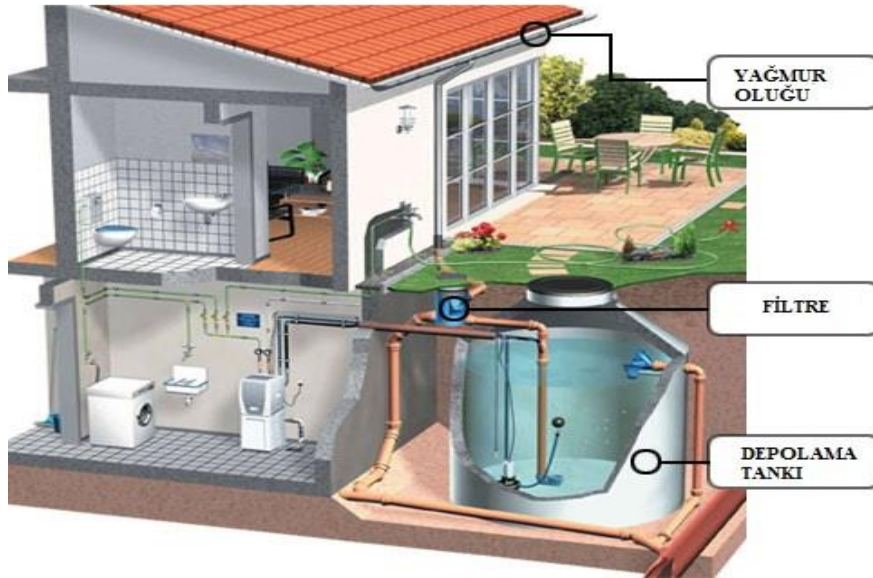


Şekil 1. 2008 ve 2017 yılları sektörel su tüketimleri (Şahin ve Manioğlu, 2011; Anonim, 2019)

Su kaynaklarının sürdürülebilirliği için, alternatif su kaynakları arayışı son dönemlerde pek çok ülkenin odak noktası olmuştur (Souza ve Ghisi, 2020). Yağmur suyu hasadı önemli miktarda su toplanabilen alternatif su kaynaklarından biridir (İlhan, 2011; Üstün ve ark., 2020). Pek çok ülke bu yöntem ile kullanım suyundan büyük ölçüde tasarruf etmekte, şebekeden tüketilen su miktarlarını azaltmakta ve ekonomik anlamda da kazanım sağlamaktadır (Yalılı Kılıç ve Abuş, 2018). Ayrıca kırsal alanlarda, uzak mesafelerde, güvenilir suyun bulunmadığı durumlarda yağmur suyu hasadı yüksek potansiyel vaat etmektedir (Kantaroglu, 2009). Bu tür sistemler ile elde edilen su ücretsizdir ve kalitelidir. Acil durumlarda (deprem, ani susuzluk, aşırı kuraklık, vb.) bu tür toplanan sular rahatlıkla kullanılabilir ve mevcut su kaynaklarının korunmasına ve kırsal alanların sürdürülebilirliğinin sağlanmasına yardımcı olur. Yağmur suyu hasadı ile toplanan sular, yeşil alanların sulanması, tarımsal maksatlı sulama, çamaşır yıkama, tuvalet rezervuarları ve yıkanması, araba yıkama, yangın söndürme, vb. pek çok amaçla kullanılabilir. Ayrıca basit bir arıtma sisteminden geçirilmesi halinde içme maksatlı tüketimi de söz konusu olabilir (Tanık, 2017).

1.1. Su Hasadı

Su hasadı, yağın yağmur sularının farklı teknikler ile toplanıp, çeşitli amaçlarla kullanılması olarak tanımlanır. Su hasadı, dünya genelinde bilinen, suların toplanmasında kullanılan oldukça eski ve geleneksel bir yöntemdir (Yeniçeri, 2018). Su toplama alanının büyüklüğüne göre çeşitli sınıflandırmalar yapılmaktadır. Genel olarak, çiftlik sistemleri (mikro sistem), çatı sistemleri (mikro sistem), vadi tabanı sistemleri (makro sistem), vadi dışı sistemler (makro sistem) olarak sınıflandırılır (Yeniçeri, 2018; Yetik ve Şen, 2020). Alanın su ihtiyacı ve iklim koşullarına bağlı olarak uygun olan sistem tercihi yapılır. Ancak son dönemlerde en yaygın şekilde kullanılan sistemin çatı yağmur suyu hasadı olduğu pek çok çalışmada gözlenmiştir (Pamuk Mengü ve Akkuzu, 2008; Eren ve ark., 2016; Yalılı Kılıç ve Abuş, 2018; Yeniçeri, 2018; Yetik ve Şen, 2020; Üstün ve ark., 2020; Souza ve Ghisi, 2020; Richards ve ark., 2021). Bu sistemlerde, çatı yüzeyine düşen yağış suları toplanarak, oluklar yardımı ile su depolama ortamlarına aktarılmaktadır. Toplanan yağmur sularının depolanmasında ise yeraltında depolama ve toprak yüzeyinde depolama olmak üzere iki farklı yöntem uygulanmaktadır. Toplanan suların yeraltında depolanmasında toprak ve sarnıçlar kullanılırken, toprak yüzeyinde depolama ortamı olarak ise tank, rezervuar veya havuzlar kullanılmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Çatı yüzeyi yağmur suyu toplama sistemleri (İncebel, 2012)

Şekil 2 incelendiğinde, çatı yüzeyine düşen ve oluklar yardımı ile toplanan yağmur suları iniş borularına aktarılır ve ihtiyaç duyulursa filtre sisteminden geçirildikten sonra depolama tankına iletilir. Depolama tankında bulunan su ihtiyaç halinde kullanıma hazır olarak burada bekletilir. Bu tür sistemler ile düşen yağışın yaklaşık %80-85'i hasat edilebilir ve depolanabilir niteliktedir. Yılda 200 mm'den az yağış alan bölgelerde, iyi tasarlanmış çatı sistemleri ile 4 kişilik bir aile, toplanan su ile bir yıllık ihtiyacını karşılayabilir (Yetik ve Şen, 2020).

Yağmur suyu hasadı sistemleri çok eski dönemlerden beri dünyanın birçok yerinde uygulanmıştır. Bulunan arkeolojik kalıntılar bu tür sistemlerin eskiden beri kullanıldığını göstermektedir. Mayaların uyguladığı rezervuar teknolojisi, Roma İmparatorluğu'na ait sarnıçlar, Birleşik Arap Emirlikleri'ndeki su toplama amacı ile yapılan setler, Ürdün'deki toplama ve depolama sistemleri bu arkeolojik kalıntılardan bazılarıdır. Bu kalıntılar insanların ihtiyaçları için yağmur sularını depoladıklarını göstermektedir. Su sorunlarının giderek artış gösterdiği son dönemlerde ise konunun yeniden gündeme geldiği ve önemsendiği tespit edilmiştir. Çatıdan yağmur suyu hasadı yöntemi ABD, Avustralya, İsveç, Hollanda, İspanya, Kanada gibi gelişmiş ülkelerde sulama, çamaşır ve tuvalet yıkama gibi suyun içilmediği amaçlar için kullanılırken, Güney Afrika, Nepal, Uganda gibi gelişmekte ve su sorunları olan ülkelerde içilebilir maksatlar ile kullanılmaktadır (Sevimli, 2021).

Ülkemizde çatı yağmur suyu hasadı kullanımına ilişkin çeşitli örnekler mevcuttur. Siemens Gebze Fabrikası, Yıldız Holding, Eser Holding, Sabancı Holding, Bursagaz Genel Müdürlük, Türk Hava Yolları Uçak Motor Bakım Merkezi ve buna benzer daha pek çok örnek bulunmaktadır (Yalılı Kılıç ve Abuş, 2018). Örneğin Eser Holding projesinde çatı yağmur suyu hasadı ile firmanın şebeke su kullanım oranı %59 azaltılmıştır. Çalışma alanına düşen yağmur suları toplanarak, peyzaj sulamasında ve tuvaletlerde kullanılarak su kullanımı minimum seviyelere düşürülmüştür (Temizkan, 2020). Bursagaz Genel Müdürlük binasının çatısından yağmur suyu hasadı ve bina çevresinde drenaj sularının toplanması ile 20 m³ yağmur suyu depolanabilmekte ve yeşil alanların sulanması ile tuvalet rezervuarlarında kullanılmaktadır (Bursagaz, 2021). Benzer şekilde çeşitli üniversitelerde (Boğaziçi, Yeditepe, Piri Reis üniversiteleri) çatı yağmur suyu hasadı uygulamaları ile farklı ihtiyaçlar için yağmur suyu verimli bir şekilde toplanmakta ve su kaynaklarının sürdürülebilirliği sağlanmaktadır (Sancar, 2019).

Dünya genelinde bu konuda yapılan çalışmalar incelendiğinde, Japonya ve Almanya'nın yağmur suyu hasadı uygulama ve araştırmaları konusunda kapsamlı çalışmalar yaptıkları gözlenmiştir. Yağmur sularının kullanımında geniş çaplı yasa ve düzenlemeler geliştirmişlerdir. Japonya'da 30,000 m²'den büyük binalarda gri su arıtma sistemlerinin veya yağmur suyu toplama sistemlerinin kullanılması, Japonya Bayındırlık Bakanlığı tarafından yasa ile zorunlu hale getirilmiştir. Yine benzer şekilde Almanya'da 1980'lerden itibaren bu konuda çalışmalar yapılmış ve Alman yağmur suyu kullanım teknolojisi standardizasyon (DIN: Alman endüstri standartları) aşamasına getirilmiştir. DIN 1989 yağmur suyu toplama standartları, yağmur sularının toplanması, planlanması, sistem kurulumu, bakımı ve işletilmesini düzenleyen standarttır (Temizkan, 2020). Ülkemizde 2017 yılında yürürlüğe giren "Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik" çerçevesinde su ihtiyacının ve kuraklığın fazla olduğu bölgelerdeki uygulamaların hayata geçirilmesi desteklenmelidir. Yönetmelikte binalardan yağmur suyu hasadı ile ilgili zorunluluk bulunmamakta olup herhangi bir teşvik söz konusu değildir. Bundan dolayı uygulamalar sınırlı sayıda kalmaktadır (Üstün ve ark., 2020). Ancak 23 Ocak 2021 tarihli 30113 sayılı Resmi Gazete 'de yayımlanan "Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği'nde" yapılan değişiklikle, çatılardan toplanan yağmur sularının bahçe zemini altında bir

depoda toplanmasını sağlamak amacıyla yeni binalara “yağmur suyu toplama sistemi” kurulması zorunluluğu getirilmiştir. Bu düzenlemeye göre, 2000 m² üzerindeki parsellere yapılacak binalarda yağmur suyu toplama sistemi zorunlu hale getirilmiştir. 2 bin metrekareden küçük alanlarda inşa edilecek yapılar için ise belediyelere yağmur suyu toplama sistemini zorunlu kılma takdir yetkisi verilmiştir (Resmi Gazete, 2021). Kişi başına düşen yıllık su tüketimi için Falkenmark tarafından geliştirilen ve yaygın olarak kabul edilen göstergeye göre, yıllık 1000-1700 m³ arası miktar su stresi aralığı olarak kabul edilmektedir. Türkiye’de kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarı 2000 yılında 1652 m³, 2020 yılında ise 1346 m³ ile giderek azalmakta ve bu rakamlar ile Türkiye’yi su stresi yaşayan ülkeler kategorisinde konumlanmaktadır (Sarış, 2021). Gelecekte su sıkıntısı yaşayacak bir ülke konumunda olmamızdan ötürü bu uygulamanın daha kapsamlı ele alınıp, çeşitli teşvikler ile özendirilmesi, su kaynaklarının korunması açısından önem arz etmektedir.

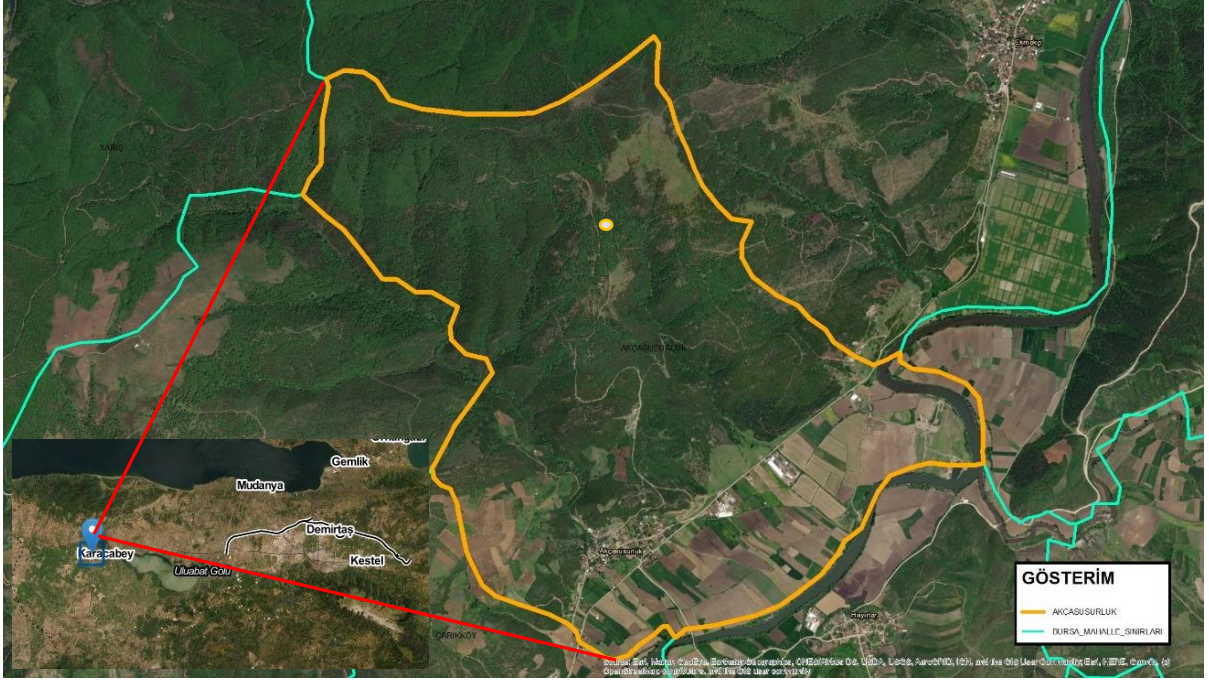
Bu çalışmada, önemli bir alternatif su kaynağı olan yağmur suyu hasadının kırsal alanda toplanması ile ilgili bilgiler verilmiş, kırsal alanların kalkınması ve sürdürülebilirliğinin sağlanmasındaki önemi örnek bir uygulama ile anlatılmıştır. Bursa’nın Karacabey İlçesi, Akçasusurluk Mahallesi’nde bulunan 2000 m²’lik kırsal bir alanda, 300 m² çatı alanına sahip bir konutun çatısından toplanacak yağmur suyu miktarı hesaplanmış, kullanım alanları ve miktarları değerlendirilmiştir. Toplanan yağmur sularının depolanması için gerekli depo hacmi ile şebeke suyu yerine yağmur suyu kullanımı ile gerçekleştirilecek su tasarrufu miktarları hesaplanmıştır. Ayrıca günümüz koşullarında su hasadı konusunun önemi ve su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından gerekliliği vurgulanmıştır.

2. Materyal ve Metod

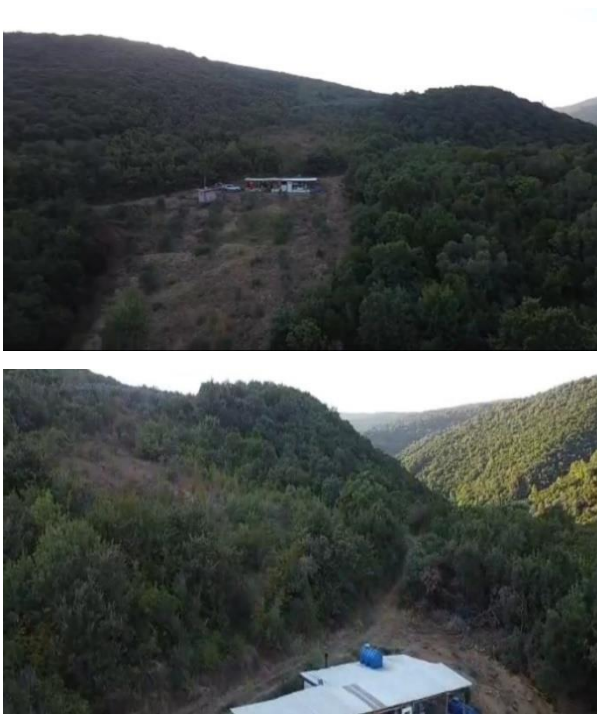
2.1 Materyal

Çalışma, Bursa’nın Karacabey ilçesi Akçasusurluk Mahallesi’nde güvenli ve yeterli miktarda suyun bulunmadığı kırsal bir alanda, iklim koşullarının elverişli olduğu bir arazide yürütülmüştür. Karacabey, Bursa’nın 70 km batısında yer alan ilçesidir. Akçasusurluk Mahallesi ise Bursa kent merkezine 66 km uzaklıkta, Karacabey’in doğusunda yer almaktadır. Akçasusurluk, 2013 yılında Büyükşehir yasası ile mahalle statüsüne alınmıştır. 2020 yılı nüfus sayımlarına göre Akçasusurluk Mahallesi’nde 204 kişi yaşamaktadır. Bölgede ılıman Marmara iklimi görülmektedir. Çalışma alanı, Marmara Denizi Karacabey Boğazı, Bayramdere sahiline çok yakın bir mesafede olup, ortalama 10 m rakıma sahiptir. Toprakları oldukça verimli olan bu mahallede en çok buğday, domates, arpa, mısır, fasulye, bezelye, şekerpancarı, pamuk, ayçiçeği ve tütün yetiştirilmektedir. Ayrıca sebzeçilik ve meyvecilik gelişmiş, hayvancılık ise ileri düzeydedir (URL, 1).

Bölgede yapılacak su hasadı hesaplamalarında, Bursa’nın uzun yıllar (1928-2020) aylık yağış verileri Bursa Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden temin edilmiş ve kullanılmıştır. Çalışma alanı yer buldurur haritası Şekil 3’te, çalışma alanına ait görseller ise Şekil 4’te sunulmuştur.



Şekil 3. Bursa Karacabey, Akçasusurluk Mahallesi

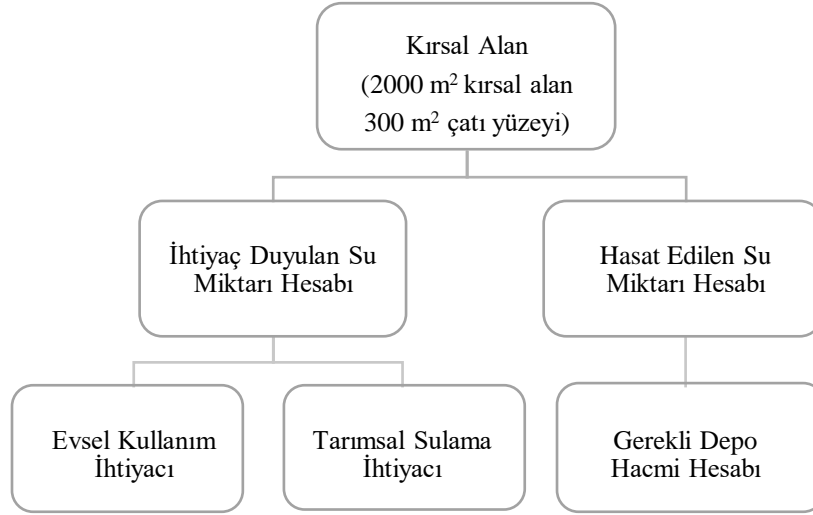


Şekil 4. Akçasusurluk Mahallesi Çalışma Alanı Görselleri

2.2. Metot

Alternatif su kaynaklarından biri olan yağmur suyunun çatı yağmur suyu hasadı sistemi ile toplanarak kırsal bir alanda tarımsal maksatlı sulama suyu olarak kullanımının fizibilite çalışmaları yapılmıştır. Bu sistemlerin kurulumunda alanın iklim koşulları elverişli olmalıdır. Toplanacak yağmur suyu miktarı, alanın su ihtiyacını karşılayabiliyorsa ya da kabul edilebilir kısmını karşılıyorsa bu sistemler

kurulmalıdır. Çatıdan yağmur suyu hasadı sistemlerinin esası hasat edilecek yağmur suyunun veriminin hesaplanması esasına dayanır. Yağmur suyu verimi ise ortalama yağış miktarı ve çatı yüzey alanının bir fonksiyonudur. Hasat edilen su miktarı belirlendikten sonra, alanın su kullanım amaçları ve net su ihtiyacı belirlenir. Çalışma alanı meteoroloji bilgileri kullanılarak toplanabilecek yağmur suyu miktarı hesaplanır. Toplanan su miktarına göre gerekli depo hacmi belirlenir. Su hasadı metot akış şeması Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Su Hasadı Metot Akış Şeması

3. Bulgular

Çalışmada Bursa'nın Karacabey İlçesi, Akçasusurluk Mahallesi'nde bulunan 2000 m² 'lik kırsal bir alanda, 300 m² çatı alanına sahip bir konutun çatısından toplanacak yağmur suyu miktarı, kullanım alanları ve miktarlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla yapılan hesaplamalar aşağıda sunulmuştur.

3.1. Yağmur Suyu Miktarı (Verim Hesabı)

Çatıdan yağmur suyu hasadı yapılması amacıyla tasarlanan projelerde ilk olarak toplanacak yağmur suyu miktarı ve alanda gerekli su ihtiyacının hesaplamaları yapılır. Meteorolojik veriler kullanılarak toplanacak yağmur suyu miktarı (yağmur verimi) eşitlik (1) ile hesaplanabilir.

$$Vy = A x Y x e / 1000 \quad (1)$$

Vy: Toplanan yağmur suyu miktarı (m³)

A: Yağmur suyu toplama alanı (m²)

Y: Ortalama yağış miktarı (mm)

e: Verimlilik katsayısı

Eşitlik 1’de A ifadesi, toplam çatı alanını, Y ifadesi, Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından belirlenen toplam aylık yağış miktarı ortalamasını ifade etmektedir. Çalışma alanına ait meteorolojik veriler Tablo 1’de verilmiştir. Verimlilik katsayısı (e) ise çatıda kullanılan materyalin türüne (metal, alüminyum, beton, çakıl vb.) göre değişiklik gösterir. Bu değer çatı yüzeyine düşen yağmur sularının tamamının toplanamayacağını ifade eder. Alman standartları tarafından DIN 1989’da 0,8 olarak kabul edilmiştir (Eren ve ark., 2016).

Tablo 1. Bursa ili uzun yıllar (1928-2020) aylık ortalama yağış değerleri

Bursa	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Yağış miktarı (mm)	87,8	75,8	69,6	61,9	51,1	34,4	22,3	18,6	44,1	66,7	76,6	99,8	708,7

Tablo 1’de görüldüğü üzere çalışma alanına düşen uzun yıllar aylık yağış ortalaması toplamı 708,7 mm olduğu tespit edilmiştir (Resmi İstatistikler, 2020). Çalışma alanı (Şekil 2) 200 m² konut ve 100 m² otopark olmak üzere toplam 300 m² çatı yüzey alanına sahiptir. Verimlilik katsayısı Alman standartlarında (DIN) verildiği şekli ile 0,8 olarak kabul edilmiştir. Bu veriler ışığında, çalışma alanında toplanan yağmur suyu miktarı,

$$V_y = 300 \text{ m}^2 \times 708,7 \text{ mm} \times 0,8/1000 \quad (2)$$

$$V_y = 170,1 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1} \quad (3)$$

3.2. Toplam Su İhtiyacı

Çalışma alanı sınırlarında su şebeke sistemi bulunmamaktadır. Bu nedenle yağmur suyunun toplanması amaçlanmıştır. Toplanan yağmur suları konut içerisinde kullanım suyu (lavabo, tuvalet, çamaşır, bulaşık yıkama) olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca tarımsal sulama suyu maksatlı kullanımı söz konusudur.

Tarımda, sulama zamanı kadar bir defada verilecek su miktarı da önemlidir. Sulama suyu miktarının belirlenmesinde de bitki, iklim ve toprak faktörleri göz önünde bulundurulmalıdır. Her sulamada uygulanacak sulama suyu miktarları; bitkinin cinsi ve etkili kök derinliği, toprağın su tutma kapasitesi, topraktaki nem eksikliği, bitkinin günlük su tüketimine göre değişmektedir (Manav, 2009). Çalışma alanı toplam 2000 m² alana sahip olup, 200 m² konut alanı, 100 m² bahçe, 100 m² otoparktan oluşmaktadır. Geriye kalan 1600 m²’de ise 40 adet ekili ağaç (meyve, ceviz ve zeytin) bulunmaktadır.

Yeşil alanların su ihtiyacının hesaplanmasında her bir sulama için su miktarı 5 L m^{-2} olarak kabul edilmiştir, yine benzer şekilde her bir ağaç için gerekli su miktarının 5 L adet^{-1} olduğu kabul edilmiştir (Eren ve ark., 2016; Kılıç ve Abuş, 2018). Çalışma alanında haftada üç kez sulama işlemi yapılmaktadır. Toplanan yağmur sularının konut içerisinde kullanım suyu olarak da tüketilmesi nedeniyle, global su tüketiminin günde kişi başı ortalama 80 L olduğu (URL, 2) kabul edilmiştir ve 3 kişilik ailenin su tüketim değerleri hesaplanmıştır.

Evsel kullanım suyu (E) amacıyla gereken su ihtiyacı hesaplaması eşitlik (4) ve (5) ile hesaplanabilir.

$$E = 80 \text{ L gün}^{-1} \times 3 \text{ kişi} \times 365 \text{ gün yıl}^{-1} \times 10^{-3} \text{ L}^{-1} \text{ m}^3 \quad (4)$$

$$E = 86,7 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1} \quad (5)$$

Tarımsal sulama (T) amacıyla gereken su ihtiyacı hesaplaması eşitlik (6) ve (7) ile hesaplanabilir.

$$T = 100 \text{ m}^2 \text{ bahçe} \times 5 \text{ L m}^{-2} + 40 \text{ adet ağaç} \times 5 \text{ L adet}^{-1} = 700 \text{ L gün}^{-1} \quad (6)$$

Burada hesaplanmış olan değer bir defa sulama yapılması halinde gerekli tarımsal su ihtiyacını göstermektedir. Alanda haftada üç defa sulama yapılmakta olup, yıllık tarımsal sulama suyu ihtiyacı;

$$T = 700 \text{ L gün}^{-1} \times 10^{-3} \text{ L}^{-1} \text{ m}^3 \times 365 / (7/3) \text{ gün} = 109,5 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1} \quad (7)$$

Çalışma alanında gereken toplam su ihtiyacı, tarımsal sulama suyu ve evsel kullanım suyu toplamına eşittir ve eşitlik (8) ile hesaplanabilir.

$$\text{Toplam su ihtiyacı} = E + T = 87,6 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1} + 109,5 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1} = 197,1 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1} \quad (8)$$

Buna göre, çatıdan yapılan yağmur suyu hasadı ile çalışma alanı toplam su ihtiyacının %86'sinin karşılandığı tespit edilmiştir.

3.3. Gerekli Depolama Hacmi

Çalışma alanında toplanan yağmur sularının depolanmasında polietilen depolama tankları kullanılacaktır. Sistemin depolama hacmi, maksimum yağışın gözlemlendiği Aralık ayı (Tablo 1; 99,8 mm) düşünülerek hesaplanmıştır. Buna göre gerekli depo hacmi (V_D) eşitlik (9) ve (10) ile hesaplanabilir.

$$V_D = A \times Y \times e / 1000 \quad (9)$$

$$V_D = 300 \text{ m}^2 \times 99,8 \text{ mm} \times 0,8 / 1000 = 24 \text{ m}^3 \quad (10)$$

3.4. Su Tasarrufu

Çalışma alanında toplanan yağmur suyu miktarı $170,1 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$, alanın toplam su ihtiyacı ise (evsel ve tarımsal) $197,1 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$ 'dir. Dolayısıyla tasarruf edilen yıllık su miktarı $170,1 \text{ m}^3$ 'tür. Bu değer TL karşılığı bedeli ise, Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi'nin su satış fiyatı baz alınarak hesaplanmıştır. Atık su bedeli dahil su satış fiyatı $5,53 \text{ TL m}^3$ 'tür (URL, 3).

$$\text{Yıllık tasarruf edilen tutar} = 170,1 \text{ m}^3 \times 5,53 \text{ TL m}^{-3} = 940,65 \text{ TL} \quad (11)$$

Çalışmada verilen kırsal alanda toplam su tüketiminin %86'sı yağmur suyundan sağlanabilmekte ve yıllık olarak yaklaşık 940 TL su tasarrufu yapılabilmektedir.

4. Tartışma

Su, yenilenebilir doğal kaynaklarımızdan biri olmasına rağmen, hızlı nüfus artışı, kentleşme, artan sanayi ve teknolojik faaliyetler, yanlış tarımsal uygulamalar, suyun hiç tükenmeyecekmiş gibi bilinçsizce kullanılması ve kirletilmesi, su havzalarındaki yanlış uygulamalar ve iklim değişikliği gibi nedenlerle çağımızın küresel sorunu olmaya başlamıştır (Şahin ve Manioğlu, 2011). Global olarak yaşanan iklim değişikliği ve küresel ısınma nedeni ile 21. yüzyılda kuraklık yaşanacağı ve kırsal alanlarda gerçekleştirilen tarımsal faaliyetlerin büyük ölçüde olumsuz yönde etkileneceği öngörülmektedir (IPCC, 2021; Richards ve ark., 2021). Ayrıca, dünya genelinde yaşanan Covid-19 salgın hastalığı sebebi ile de su tüketiminde artışların meydana geldiği bilinmektedir. Yaşanan salgın hastalık herkesin temiz suya erişiminin ne kadar önemli olduğunu bir kez daha göstermiştir. Suyun idareli ve bilinçli tüketimi bir yaşam şekli olmalıdır ve bu farkındalık tüm insanlık tarafından benimsenerek suyun sürdürülebilirliği sağlanmalıdır (WHO, 2020).

Ülkemizin küresel ısınmanın etkileri açısından riskli ülkeler arasında yer aldığı ve zamanla su kaynaklarının azalması, kuraklık ve çölleşme gibi sorunlarla karşı karşıya kalacağı düşünülmektedir (Çakmak ve Gökalg, 2013). Ülkemizde su sorunun yaşanmaması veya ciddi boyutlara ulaşmaması için suyun etkin yönetiminin sağlanması ve yeni su kaynaklarının bulunması gerekmektedir. Bu açıdan tarımsal su yönetimi büyük önem taşımaktadır (Kanber ve ark., 2010). Doğal su kaynaklarının korunması gerekliliği ve her geçen gün artan su sıkıntıları nedeni ile iklim koşullarının uygun olduğu yerlerde tarımsal sulama maksatlı yağmur sularının kullanılması, toplam su tüketiminin büyük oranda azalmasına fayda sağlayacaktır. Böylece hem su kaynaklarının sürdürülebilirliği sağlanacak hem de ekonomik kazanım sağlanmış olacaktır (Üstün ve ark., 2020).

Tarımsal üretim için su hasadı, su toplama havzasından daha küçük bir alan içerisinde veya bitki kök bölgesinde suyun biriktirilmesidir (Pamuk Mengü ve Akkuzu, 2008). Bu yöntemde toplanan su, yüzey akış alanının hemen yanındaki ekim alanında sulama amaçlı kullanılmakta ya da daha sonra

kullanılmak üzere depolanmaktadır (Oweis ve Hachum, 2005). Yağmur suyu toplama sistemleri, kurak ve yarı kurak bölgelerde tarımsal verimliliği büyük ölçüde artırmaktadır. Bu sistemler kırsal alanlarda temiz içme suyuna olan ulaşılabilirliği de kolaylaştırmaktadır. Tarımsal sulama nedeniyle yüzey sularında azalma görüldüğü, Çin’de yapılan yağmur suyu hasadı ile su kullanımının azaldığı bildirilmiştir. Kuraklığın yaşandığı bölgelerden olan Mısır’ın El-Beheira kentinde yağmur suyu hasadı ile su mevcudiyeti ve arazi verimliliğinde artışın sağlandığı belirtilmiştir (Yeniçeri, 2018). Yosef ve ark. (2015) Etiyopya’da kırsal alanda yağmur suyu hasat tekniği ile kırsal ekosistemin korunduğunu, toprak nem oranının arttığını, yeraltı su seviyesinin yükseldiğini ve tarımda yüksek verim elde edildiğini belirtmişlerdir. Yağış sularından maksimum fayda sağlayacak bir strateji geliştirmeyi amaçlayan İncebel (2012) Ankara Ostim bölgesinde çatı yağmur suyu hasadı yönteminin fizibilite çalışmalarını yaparak, bu sanayi bölgesinde kullanmak isteyen işletmelerin proje uygulama işlerini kolaylaştıran ve projelendirme hesaplamalarını yapan bir bilgisayar programı üretmiştir. Yalılı Kılıç ve Abuş (2018), Bursa’da 200 m² yüzey alanına sahip bir konutun çatısından toplanacak yağmur suyunun konut dışı su ihtiyacının karşılanmasındaki kullanım potansiyelini incelemiştir. Bu amaçla Bursa ili aylık yağış verileri kullanılarak konutun çatısından toplanacak yağmur suyu miktarını hesaplamışlardır. Bu konutun çatısından toplanacak yağmur suyunun 172 gün boyunca bahçe sulamasında, süs havuzunun doldurulmasında, araç yıkama ve kümes hayvanlarının su ihtiyacının karşılanmasında kullanılabileceğini belirlemişlerdir. Konutun toplam su tüketiminin %47’sinin yağmur suyundan elde edildiğini, yıllık 335 TL su tasarrufu sağlandığını ve su hasadı sisteminin amortisman süresinin 10,3 yıl olduğunu hesaplamışlardır. Yine benzer bir çalışma Eren ve ark. (2016) tarafından yapılmıştır. Çalışmalarında, Sakarya Üniversitesi kampüsü içerisinde yer alan yeşil alanların sulanmasında bina çatılarından toplanacak yağmur sularının kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Bu amaçla kampüs alanının büyük olması ve binaların farklı noktalarda yer alması nedeni ile kampüs alanı 8 ayrı bölgeye ayrılmıştır. Her bir bölgede yer alan binaların çatı alanları hesaplanmış ve devlet meteoroloji işleri Sakarya Bölge Müdürlüğü’nden alınan aylık yağış verileri kullanılarak her bir binadan toplanacak yağmur suyu miktarları hesaplanmıştır. Ayrıca her bir bölgedeki yeşil alanların miktarı ve yağmur suyu ihtiyacı hesaplanmış, toplanacak yağmur suyunun bu ihtiyacın ne kadarını karşılayacağı tespit edilmiştir. Sulamanın her gün yapılması halinde çatıdan su hasadı ile toplanan su miktarının, toplam yeşil alan sulama suyu ihtiyacının %10,9’unu, sulamanın haftada 1 kez yapılması durumunda toplam yeşil alan sulama suyu ihtiyacının %76,8’ini karşıladığı tespit edilmiştir. Türkiye’de yağmur suyu hasadı ile tarımsal alanda sulama çalışmaları kısıtlıdır. Tarımsal alandan ziyade bahçe ve küçük alanlarda yapılan çalışmalar mevcuttur (Yeniçeri, 2018). Ülkemiz, coğrafi konumunun etkisiyle doğal ve kültürel değerleri yönünden önemli bir zenginliğe sahiptir. Bu nedenle, kırsal alanlarda yaşam kalitesinin yükselmesini hedefleyen politikalar, ülkemizin sürdürülebilir kırsal kalkınma hedefleriyle birlikte değerlendirilmelidir (Yalçınkaya, 2021b). Yağmur sularının toplanarak gerek kırsal alanlarda gerekse binalarda kullanımının yaygınlaştırılması, farklı ülkelerde çeşitli teşviklerle ve yasalarla desteklenmektedir. Ülkemizde de bu konuda farkındalık

artıracak ve örnek olacak çalışmalar yapılmalı, suyun herkes için ortak ve önemli bir kamusal mal olduğu unutulmamalıdır (İncebel, 2012).

5. Sonuç

Küresel iklim değişikliği ve çeşitli antropojenik etkilerle su kaynaklarında miktar ve kalite sorunlarının artış gösterdiği günümüzde, yağmur suyu hasadı önemli ve etkili bir alternatif su kaynağıdır. Çatıdan yağmur suyu hasadı ile evsel veya tarımsal maksatlı su temini gerçekleştirilebilir, bu durum üreticiye, tüketiciye, çiftçiye doğrudan fayda sağlar. Ayrıca su kaynaklarının korunmasını ve sürdürülebilirliğini sağlar. Yağmur suyu sistemleri, evsel tüketimde şebeke suyu kullanımını azaltmak, içme suyu ve yeraltı su kaynaklarını korumak ve niteliği iyi olan kullanılabilir suyun, atık suya karışmadan değerlendirmesini sağlamak amacıyla kullanılan çevreci bir yaklaşımdır. Yağmur suyu hasadı sistemleri, günümüzde dünyanın birçok ülkesinde uygulanmakta olup, ülkemizde bu konu ile ilgili gelişmeler henüz yeterli seviyede değildir. Bu tür uygulamaların önemi eğitim ile aşılmalı, kişiler bilinçlendirilmelidir. Bu çalışmada, Bursa'nın Karacabey İlçesi Akçasusurluk Mahallesi'nde 2000 m²'lik kırsal alanda, 300 m² çatı alanına sahip bir konutun çatısından toplanacak yağmur suyu miktarı, alandaki evsel ve tarımsal su ihtiyacı, gerekli depolama hacmi hesaplanmıştır. Sonuç olarak çalışma alanında, yıllık 170,1 m³ su hasadı yapıldığı, alanda tarımsal sulama amacı için ihtiyaç duyulan su miktarının yıllık 109,5 m³, evsel kullanım amacı için ihtiyaç duyulan su miktarının ise 87,6 m³ olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanında ihtiyaç duyulan suyun %86'sı kırsal alanda yapılan su hasadı ile sağlanabilmekte, yıllık 940,65 TL şebeke suyundan tasarruf yapılabilmektedir. Mevcut su kaynaklarının sürdürülebilirliğinin sağlanması ve su tasarrufu açısından yağmur sularının toplanması, yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda büyük önem arz ettiği görülmektedir.

Kırsal alanlardaki sorunların çözümü, aynı zamanda kentlerin de sürdürülebilirliğini sağlayacaktır. Doğal kaynakların doğru ve akılcı bir şekilde yönetilmesi, kültürel ve çevresel birçok olumlu sonucun gözlenmesini de beraberinde getirecektir. Suyun varlığı kırsal yerleşimlerde önemli bir sosyal faktör ve ortak yaşam unsurlarının birçoğunu meydana getiren ortak yaşam kültürünün temelidir. Dolayısıyla hem kırsal alanların hem de su kaynaklarının sürdürülebilirliğinin sağlanması amacıyla alternatif su toplama sistemlerinin yaygın kullanımı özendirilmeli ve teşvik edilmelidir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Bu çalışmanın yazarı olarak, herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile çıkar çatışması bulunmadığını beyan ederim.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Aküzüm T., Çakmak B., Gökçalp Z. Türkiye’de su kaynakları yönetiminin değerlendirilmesi. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi 2010; 3(1): 67-74.
- Anonim. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı ulusal su planı (2019-2023), 2019; 16-17.
- Arıcıoğlu E. Kalkınma kavramına küreselleşme perspektifinden bir bakış. Niğde Üniversitesi İİBF Dergisi, 2012; 5(1): 36-53.
- Bursagaz - Bursagaz’a yeşil bina sertifikası. <https://www.ih.com.tr/bursa-haberleri/bursagaza-yesil-bina-sertifikasi-1681762/> erişim tarihi: 26.08.2021.
- Çakmak B., Gökçalp Z. Kuraklık ve tarımsal su yönetimi. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi 2013; 4: 1-11.
- Dorak S., Aşık BB., Özsoy G. Tarımda su kalitesi ve su kirliliğinin önemi: Bursa Nilüfer Çayı örneği. Journal of Agricultural Faculty of Bursa Uludag University 2019; 33(1): 155-166.
- Eren B., Aygün A., Likos S., Dama Aİ. Yağmursuyu hasadı: Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü potansiyelinin değerlendirilmesi. International Journal of Engineering and Technology Research 2016; 1(1): 1-5.
- Gürlük S. Sürdürülebilir kalkınma gelişmekte olan ülkelerde uygulanabilir mi?, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 2010; 5(2): 85-99.
- IPCC. Hükümetlerarası iklim değişikliği panel raporu, Ağustos 2021.
- İlhan A. Yeni bir su politikasına doğru, Türkiye’de su yönetimi, alternatifler ve öneriler. Sosyal Değişim Derneği 1. Baskı, İstanbul; 2011.
- İncebel C. Alternatif su kaynaklarının endüstriyel kullanıma kazandırılması için çatı yağmur suyu hasadı (ostim örneği). Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s:26 Ankara, Türkiye, 2012.
- Kanber R., Baştuğ R., Büyüктаş D., Ünlü M., Kapur B. Küresel iklim değişikliğinin su kaynakları ve tarımsal sulamaya etkileri. Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, Ocak 2010.
- Kantaroğlu Ö. Yağmur suyu hasadı plan ve hesaplama prensipleri. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 2009, İzmir.
- Manav S. Peyzaj mimarlığında kullanılan sulama sistemleri, teknolojileri ve rekreasyon alanlarının projelendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s:30, Tekirdağ, Türkiye, 2009.
- Oweis T., Hachum A. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in West Asia and North Africa. Agricultural Water Management 2005; 80(1-3): 57-73.
- Özgünler M. Kırsal sürdürülebilirlik bağlamında geleneksel köy evlerinde kullanılan toprak esaslı yapı malzemelerinin incelenmesi. Journal of Architectural Sciences and Applications, 2017; 2(2): 33-41. DOI: 10.30785/mbud.353949.

- Pamuk Mengü G., Akkuzu E. Küresel su krizi ve su hasadı teknikleri. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2008; 5(2): 75-85.
- Pezikoğlu, F. Sürdürülebilir tarım ve kırsal kalkınma kavramı içinde tarım-turizm-kırsal alan ilişkisi ve sonuçları. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi 2012; 1: 83-92.
- Resmi Gazete - T.C. Resmi Gazete, 31373, 23.01.2021. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/01/20210123-4.htm/> erişim tarihi: 01.09.2021.
- Resmi İstatistikler <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik>. BURSA/2020, erişim tarihi: 25.08.2021.
- Richards S., Rao L., Connelly S., Raj A., Raveendran L., Shirin S., Jamwal P., Helliwell R. Sustainable water resources through harvesting rainwater and the effectiveness of a low-cost water treatment. Journal of Environmental Management 2021; 286: 112223.
- Sancar A. Sürdürülebilir üniversite yerleşkeleri: Ankara Üniversitesi Gölbaşı Yerleşkesi için bir öneri. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2019.
- Sandalcı M. ve Yüksel İ. Su kaynakları kullanımının iklim değişikliği üzerindeki etkisi, I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi – Tikdek 2007, İstanbul, 447-453, 2007.
- Sarış F. Türkiye'de evsel su tedarik ve tüketim istatistiklerinin değerlendirilmesi. Coğrafi Bilimler Dergisi, 2021; 19(1): 195-216.
- Sevimli A. Sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi uygulamaları: Bursa Uludağ Üniversitesi Görükle kampüsü örneği. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s:32-38, Bursa, Türkiye, 2021.
- Souza TD., Ghisi E. Harvesting rainwater from scaffolding platforms and walls to reduce potable water consumption at buildings construction sites. Journal of Cleaner Production 2020; 258, 120909.
- Şahin Nİ., Manioğlu G. Binalarda yağmur suyunun kullanılması. Tesisat Mühendisliği Dergisi 2011; 125: 21-32.
- Tanık A. Yağmur suyu toplama, biriktirme ve geri kullanımı. Su Kaynakları ve Kentler Konferansı, 2017, Kahramanmaraş.
- Temizkan S. Kentsel ısı adası özelliği yüksek meydanlarda yağmur suyu hasadına yönelik uygun malzeme seçiminin araştırılması: KBÜ Sosyal Yaşam Merkezi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük, Türkiye, 2021.
- Tolunay A., Akyol A. Kalkınma ve kırsal kalkınma: temel kavramlar ve tanımlar. Turkish Journal of Forestry, 2006; 7(2): 116-127.
- URL - 1 https://tr.wikipedia.org/wiki/Akçasusurluk,_Karacabey. Erişim Tarihi: 15.12.2021.
- URL - 2 <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/turkiyede-kisi-basi-190-litre-su-tuketiliyor/1454848#>, 2021 Erişim Tarihi: 1.9.2021.
- URL - 3 http://www.buski.gov.tr/tr/abonerehberi/kategori_17, 2021 Erişim Tarihi: 20.08.2021.

- Usman EE. Kırsal yerleşimlerin biçimlenmesinde su etkisi ve Eskişehir örneği. Çevre Tasarım Kongresi, 8-9 Aralık 2011, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Üstün GE., Can T., Küçük G. Binalarda yağmur suyu hasadı. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi 2020; 25(3): 1593-1610.
- WHO . Water, sanitation, hygiene, and waste management for the COVID-19 virus. Interim guidance 23 April 2020. (WHO reference number: WHO/2019-nCoV/IPC_WASH/2020.3).
- WWF - *Türkiye'nin Su Riskleri Raporu*. WWF-Türkiye, İstanbul, 2014. <https://www.wwf.org.tr/4180/turkiyenin-su-riskleri-raporu>. Erişim tarihi: 17 Ağustos 2021.
- Yalçınkaya NM. Sakinşehir kavramının kırsal turizm olanaklarının geliştirilmesine katkısı: İzmir-Seferihisar örneği. 6. Uluslararası Bilimsel Çalışmalar Kongresi Tam Metin Kitabı, 26-28 Temmuz 2021a.
- Yalçınkaya NM. Adana İli-Kozan İlçesinin ekoturizm potansiyelinin sürdürülebilir turizm yaklaşımıyla araştırılması. Turkish Journal of Forest Science 2021; 5(2): 55-71.
- Yalılı Kılıç M., Abuş MN. Bahçeli bir konut örneğinde yağmur suyu hasadı. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi 2018; 4(2): 209-215.
- Yeniçeri M. Yağmur sularının hasadı ve aktif olarak tarımsal sulamada kullanılması. Afet ve Risk Dergisi 2018; 1(2): 126-136.
- Yetik AK., Şen B. Su hasadı sistemlerinin önemi ve teknikleri. Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology 2020; 8(1): 46-53.
- Yosef BA., Asmamaw DK. Rainwater harvesting: an option for dry land agriculture in arid and semi-arid Ethiopia. International Journal of Water Resources and Environmental Engineering 2015; 7(2): 17-28.
- Yüksel İ., Sandalcı M., Çeribaşı G., Yüksek Ö. Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin su kaynaklarına etkileri. 7. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 2011, Trabzon.

Evaluation of DDPG and PPO Algorithms for Bipedal Robot Control

Mustafa Can BINGOL^{1*}

¹Firat University, Faculty of Technology, Department of Mechatronic Engineering, 23160, Elazığ, Turkey

¹<https://orcid.org/0000-0001-5448-8281>

*Corresponding author: mustafacanbingol@gmail.com

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 03.12.2021

Accepted: 02.03.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Bipedal robot

Deep deterministic policy gradient
(DDPG)

Proximal policy learning (PPO)

Reinforcement learning (RL)

Legged robots are very popular topics in the robotic field owing to walking on hard terrain. In the current study, the walking of a bipedal robot that was a legged robot was aimed. For this purpose, the system was examined and an artificial neural network was designed. After, the neural network was trained by using the Deep Deterministic Policy Gradient (DDPG) and the Proximal Policy Optimization (PPO) algorithms. After the training process, the PPO algorithm was formed better training performance than the DDPG algorithm. Also, the optimal noise standard deviation of the PPO algorithm was investigated. The results were shown that the best results were obtained by using 0.50. The system was tested by utilizing the artificial neural networks that trained the PPO algorithm which has got 0.50 noise standard deviation. The total reward in the test was calculated as 274.334 and the walking task was achieved by purposed structure. As a result, the current study has formed the basis for controlling a bipedal robot and the PPO noise standard deviation selection.

İki Ayaklı Robot Kontrolü için DDPG ve PPO Algoritmalarının Değerlendirilmesi

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 03.12.2021

Kabul tarihi: 02.03.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

İki Ayaklı Robot

Derin deterministik politika gradyanı

Yakınsal politika öğrenme

Pekiştirmeli öğrenme

ÖZ

Bacaklı robotlar, zorlu arazilerde hareket edebilmeleri nedeniyle robotik alanında çalışılan popüler konulardan biridir. Bu çalışmada, ayaklı bir robot olan iki ayaklı bir robotun yürütmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla sistem incelenmiş ve bir yapay sinir ağı tasarlanmıştır. Daha sonra Derin Deterministik Politika Gradyanı (Deep Deterministic Policy Gradient - DDPG) ve Yakınsal Politika Optimizasyonu (Proximal Policy Optimization - PPO) algoritmaları kullanılarak sinir ağı eğitilmiştir. Eğitim sürecinden sonra PPO algoritması, DDPG algoritmasına göre daha iyi eğitim performansı oluşturulmuştur. Ayrıca, PPO algoritmasının en iyi gürültü standart sapması araştırılmıştır. Sonuçlar, en iyi sonuçların 0,50 kullanılarak elde edildiğini göstermiştir. Sistem, 0,50 gürültü standart sapmasına sahip PPO algoritmasını eğiten yapay sinir ağıları kullanılarak test edilmiştir. Test sonucuna göre toplam ödül 274.334 olarak hesaplanmış ve amaçlanan yapı ile yürütme görevi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, mevcut çalışma, iki ayaklı bir robotun kontrol edilmesi ve PPO gürültü standart sapma seçiminin temelini oluşturmuştur.

To Cite: Bingol MC. Evaluation of DDPG and PPO Algorithms for Bipedal Robot Control. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 783-791.

1. Introduction

Robots are machines widely used in daily life to facilitate human works from home to industry. Many researchers work in sub-robotic fields such as vision, control, etc. to improve the work missions.

Reinforcement Learning (RL) is one of a lot of developed algorithms to control robots. The main difference of RL to other control algorithms is generated robust control outputs according to dynamic environment effects. RL can be examined two sub-title as value and policy learning. Value learning is a process that chooses the best options from among limited output according to inputs. For example, the artificial structure that can play the Atari game could be made by using value learning. Policy learning is a method that calculates the best continuous output according to inputs. For instance, the controller that controls the positions of the DC motor could be designed by using policy learning. There are a lot of kinds of policy learning such as Deep Deterministic Policy Gradient (DDPG) or Proximal Policy Optimization (PPO).

The DDPG algorithm has been formed by improving the actor-critic method. Some problems have been solved by using the algorithm. For example, 3-DoF planar robot was controlled by an artificial neural network that trained the DDPG algorithm in spite of the damaged actuator (Bingol, 2021a). In another study, inverse kinematic of the 2-DoF planar robot was solved by using the DDPG algorithm and the noise parameter of the DDPG was investigated (Bingol, 2021b). An unmanned surface vehicle has been tracked course by using DDPG (Wang et al., 2018). In other work, solving traffic jam problem via Deep Q Network and DDPG algorithms has been studied (Pang and Gao, 2019). Altitude of quad-copter has been controlled by artificial neural network based on DDPG algorithm (Ghouri et al., 2019).

For instance, mapless navigation problem for mobile robots has been solved by using convolutional PPO (Toan and Woo, 2021). The adaptive metro service schedules problem was solved by utilizing PPO (Ying et al., 2021). In other study, a drone has been controlled by using PPO (Lopes et al., 2018). An unmanned aerial vehicle has been controlled similarly to the previous study (Zhen et al., 2020). A manipulator has tracked planned trajectory via artificial neural network that has been trained by using PPO (Zhang et al., 2019). Inverse kinematic of 5-DoF endoscopic instrument has been solved by using PPO (Schmitz and Berthet-Rayne, 2020).

In the study, it was aimed that a bipedal robot learns to walk. In line with this goal, the bipedal robot environment was analyzed. According to this environment, it was decided that DDPG and PPO algorithms would be suitable learning methods. Actor and critic neural network architectures in DDPG and PPO algorithms were designed. These designed networks were trained and the results were compared.

2. Problem Description

Walking for legged robots is a complex process owing to requiring the robot balance and the unpredictability of the terrain. In this study, the learning of the walking process by a bipedal 4-DoF robot was planned. In accordance with this purpose, firstly a bipedal robot was examined. After, artificial neural networks were formed. Lastly, the neural networks were trained by using DDPG and PPO algorithms.

2.1. Robot Design

A bipedal robot consists of five parts as a hull, two knees, and two hips. These parts could be examined in Figure 1.

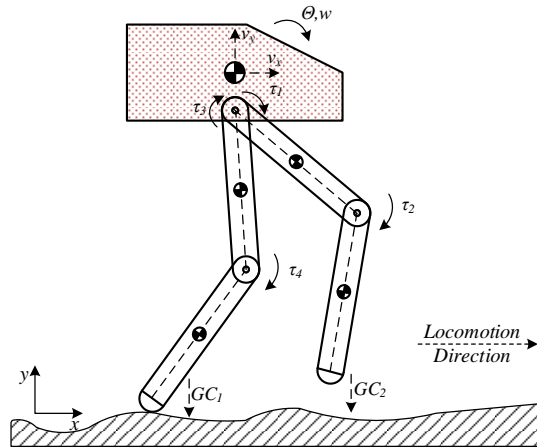


Figure 1. Schematics of mechanical chain a bipedal robot

In Figure 1, θ, w, v, τ , and GC were symbolized as angle of hull, angular velocity of hull, linear velocity of system, motor torque of joint, and ground contact sensors of knee, respectively. The kinematic movements can be modeled by using Euler-Lagrange's motion equation

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial L}{\partial q} = \tau \quad (1)$$

where L represents the Lagrangian, that consist of kinetic ($K(q, \dot{q})$) and potential energy ($V(q)$) of the system, and could be calculated by using

$$L = K(q, \dot{q}) - V(q). \quad (2)$$

The kinetic energy of system is

$$K(q, \dot{q}) = \frac{1}{2} \dot{q}^T D(q) \dot{q} \quad (3)$$

where $D(q)$ is called as inertia matrix. These equations could be solved as

$$D(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + F(q, \dot{q}) = \tau. \quad (4)$$

In Equation (4), $C(q, \dot{q})$, $G(q)$, and $F(q, \dot{q})$ were represented as Coriolis, gravity, and friction matrix of system. q and \dot{q} are system parameters such as angle and angular velocity of knees and hips. After the robot locomotion was explained, state vector

$$s = [\theta, w, v_x, v_y, q_1, \dot{q}_1, q_2, \dot{q}_2, q_3, \dot{q}_3, q_4, \dot{q}_4, GC_1, GC_2, l_1 \text{ to } l_{10}] \quad (5)$$

was formed. In Equation (5), l was typified as LIDAR sensor output. The sensor was located on the hull in order to perceive the terrain. In the current study, the BipedalWalker-v3 environment (BipedalWalker) was used as to simulate the system.

2.2. DDPG Algorithm

DDPG algorithm was formed improving actor-critic method and pseudo code of DDPG algorithm was shown in Algorithm (1).

Algorithm 1. DDPG Algorithm

Initialize CriticNet $Q(s, a|\theta^Q)$ and ActorNet $\mu(s|\theta^\mu)$ with θ^Q and θ^μ weight

Adjust TargetNets weights (Q' and μ') according to θ^Q and θ^μ

Initialize replay buffer (RB) memory

for episode: 1 to 5000

 Initialize noise (η)

 Reset environment and get s_t

for step: 1 to 500

$$a_t = \mu(s_t|\theta^\mu) + \eta_t$$

$$r_t, s_{t+1}, trm_t = Environment(a_t)$$

$$(s_t, a_t, r_t, s_{t+1}) \rightarrow RB$$

if mod(step, update_coefficient)=0

 Get data up to batch size from RB

$$y_i = r_i + \gamma Q'(s_{t+1}, \mu'(s_{t+1}|\theta^{\mu'}))|\theta^{Q'}$$

$$\text{Update CriticNet using } L = \frac{1}{N} \sum_i (y_i - Q(s_i, a_i|\theta^Q))^2$$

$$\text{Update ActorNet using } \nabla_{\theta^\mu} J \simeq \frac{1}{N} \sum_i \nabla_a Q(s_i, \mu(s_i)) \nabla_{\theta^\mu} \mu(s_i|\theta^\mu)$$

$$\theta^{Q'} \leftarrow \tau \theta^Q + (1 - \tau) \theta^{Q'}$$

$$\theta^{\mu'} \leftarrow \tau \theta^\mu + (1 - \tau) \theta^{\mu'}$$

In Algorithm 1, γ and τ were symbolized as discount factor and network update coefficient, respectively. update_coefficient, γ , and τ were chosen as 1, 0.99, and 0.005, respectively. Detailed information about DDPG algorithm was found in (Lillicrap et al., 2016). Also, ActorNet was given in Algorithm (2).

Algorithm 2. Designed artificial neural network structure

$o =$ Dense Layer (Unit = 1024, activation = ReLU)(s)

$o =$ Dense Layer (Unit = 1024, activation = ReLU)(o)

$o =$ Dense Layer (Unit = 1024, activation = ReLU)(o)

$o =$ Dense Layer (Unit = 1024, activation = ReLU)(o)

$out =$ Dense Layer (Unit = 4, activation = tanh)(o)

In Algorithm (2), dense layer (He et al., 2015) is where the mathematical operations are done. Also, activation functions were preferred rectified linear unit (ReLU) and hyperbolic tangent (tanh) function. Algorithm 2 is a multilayer perceptron model. The multilayer perceptron model is a feedforward neural network. Each neuron in this network is connected to all neurons in the previous layer.

According to the neurons in the previous layer, it produces the output after the necessary mathematical operations.

2.3. PPO Algorithm

The PPO algorithm has been a popular algorithm among RL algorithms owing to both simple implementation and more effective solutions. The PPO algorithm was given in Algorithm (3).

Algorithm 3. The PPO algorithm for Actor-Critic Method

for episode: 1 to 5000

for actor: 1 to N

 Run policy $\pi_{\theta_{old}}$ in environment for T time steps

 Compute advantage estimates $\widehat{A}_1, \dots, \widehat{A}_T$

 Optimize surrogate L write θ , with K epochs and minibatch size $M \leq NT$

$\theta_{old} \leftarrow \theta$

Algorithm 2 was used as actor network in Algorithm 3. Exploration is one of the natural processes of the reinforcement learning method. In this study, the exploration process was provided by adding noise to the output of the action network. The mean of this noise term was 0 and its standard deviation was determined 0.25, 0.50, and 0.75, respectively. Also, detailed information about PPO was represented in (Schulman et al., 2017).

3. Results and Discussion

In the current study, an actor neural network was designed as in Algorithm 2 and designed actor neural network was trained by DDPG and PPO algorithms which are frequently used deep reinforcement learning methods. Train performances of DDPG and PPO algorithms were shown in Figure 2-a.

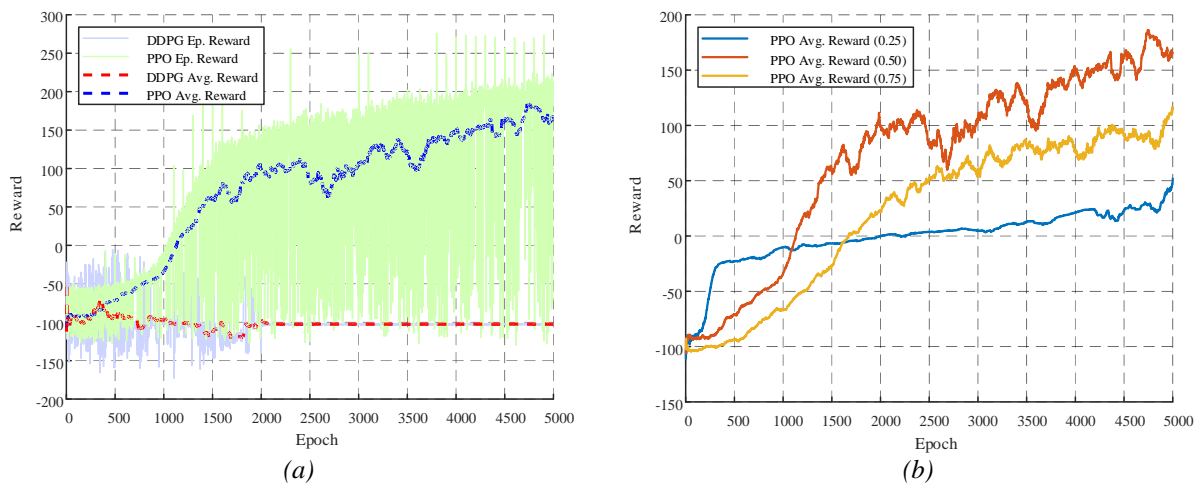


Figure 2. Train performance of proposed algorithms; (a) DDPG and PPO, (b) PPOs

Ep. reward and Avg. reward were symbolized epoch reward and average reward in Figure 2. The average reward was calculated by the last 100 epoch reward. Average reward of DDPG algorithm and PPO algorithm were shown with red and blue dotted dash line in Figure 2-a and last reward values were -100 and 150, respectively. Both these values and Figure 2-a showed that the PPO algorithm was better than the DDPG algorithm about controlling the bipedal robot. If the DDPG algorithm is used to a similar problem by practitioners and researchers, the best actor model should be formed and the current actor model is controlled whether it is the best at the end of every epoch. After it was investigated that the PPO algorithm could better control the bipedal robot, the standard deviation of noise was investigated because of the important this hyper-parameter that could be seen in the previous work (Bingol, 2021b). The best result was generated by using 0.50 standard deviation value when Figure 2-b was analyzed. This study was carried out with the help of OpenAI Gym using Python language on Google Colab. The used PC specifications were Intel Xeon 2.20GHz CPU, Nvidia Tesla P100-16GB GPU, 12GB RAM, and 160GB Disk memory. The training span of PPO algorithms that was standard deviation 0.25, 0.50, and 0.75 were 238, 222, and 214 minutes by using the PC, respectively. The best PPO algorithm that was standard deviation 0.50 was retrained and the training span was measured as 287 minutes. After these training process was done, the robot was tested as in Figure 3.

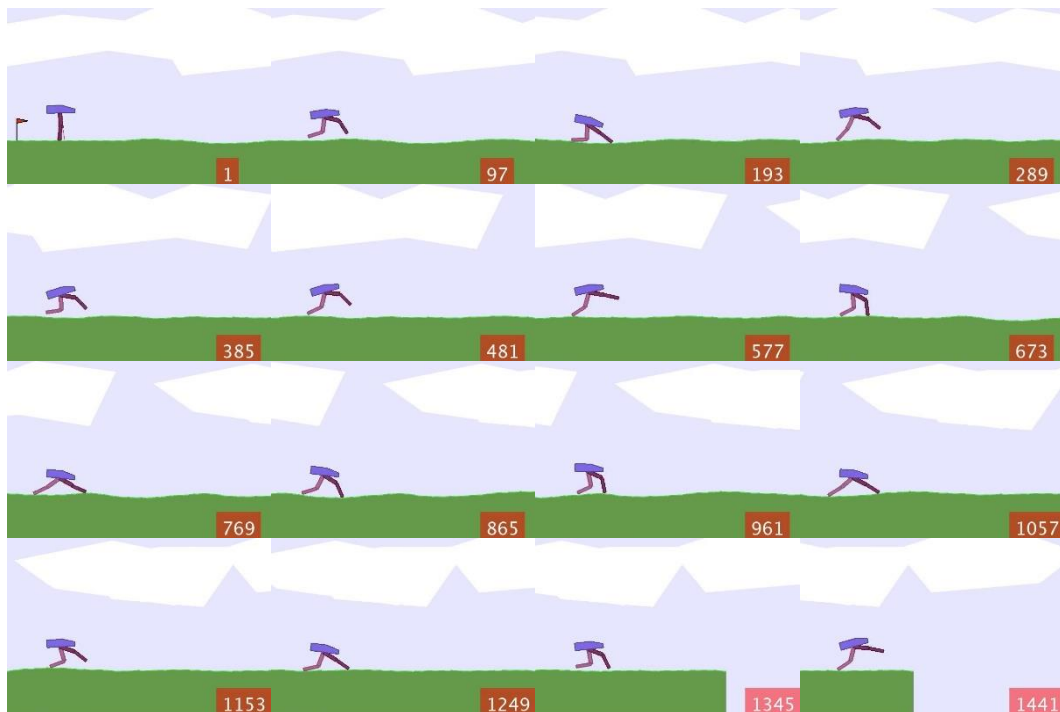


Figure 3. Test of the bipedal robot control

In Figure 3, sample moment of test was located at right bottom of each picture. The bipedal robot achieved the walking task and total reward was calculated as 274.334.

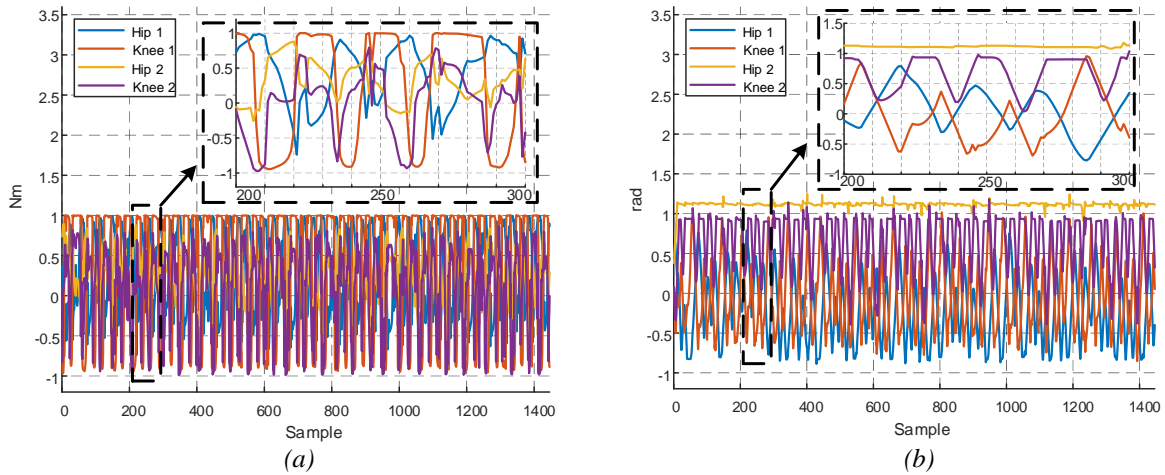


Figure 4. System values during the test; (a) Motors torques, (b) Joints angles

During the task, applied motors torques and measured joints angles were given in Figure 4.

4. Conclusion

In the current study, controlling of the bipedal robot was aimed. Firstly, the bipedal robot was examined and then an artificial neural network was designed. The neural network was trained by using DDPG and PPO algorithms. The PPO algorithm was better than the DDPG algorithm about controlling locomotion of then bipedal robot according to training results, which can be seen in Figure 2-a. The environment used in the study is not frequently used in the literature. Therefore, studies are limited. BipedalWalker environment was used in a study (Dong et al., 2021). When this study was examined, the average reward was calculated as -100 after 50000 steps. In our study, the average reward after 5000 steps was measured as roughly 150. Then, standard deviation of noise that is in PPO algorithm was investigated. According to the result of this investigation, the standard deviation of the noise is a very important hyper-parameter to train the PPO algorithm, the same way as DDPG (Bingol, 2021b). The best result was obtained using 0.50 standard deviation value, could be seen in Figure 2-b. A very important point of Figure 2-b is the transient response of the system. The best result at the first 500 epochs was measured by using a 0.25 standard deviation value whereas the worst result was obtained in a long term. The reason for the situation is that noise is less than dynamic effects. The early-stage of the training process could be misled at the PPO algorithm owing to the situation. Lastly, high noise standard deviation (0.75) extends training time, as can be seen in Figure 2-b. The best method for determining the noise standard deviation in dynamic systems is to know the system. Training time changes depending on done situation at RL system. Thus, the best PPO structure was trained twice times and training spans were obtained as 222 and 287 minutes.

In the future works, advanced algorithms that will reduce training time and increase performance will be tested on the same system.

Statement of Conflict of Interest

Author has declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the author's is 100%.

References

- Bingol MC. Development of neural network based on deep reinforcement learning to compensate for damaged actuator of a planar robot. *Global Conference on Engineering Research (GLOBECER'21)* June 2021a; 310–317.
- Bingol MC. Investigation of the standard deviation of ornstein - Uhlenbeck noise in the DDPG Algorithm. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology* 2021b; 9(2): 200–210.
- Dong Y., Zhang S., Liu X., Zhang Y., Shen T. Variance aware reward smoothing for deep reinforcement learning. *Neurocomputing* 2021; 458, 327–335.
- Ghouri UH., Zafar MU., Bari S., Khan H., Khan MU. Attitude control of quad-copter using deterministic policy gradient algorithms (DPGA). *2019 2nd International Conference on Communication, Computing and Digital Systems C-CODE 2019*; 149–153.
- He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Delving deep into rectifiers: Surpassing human-level performance on imagenet classification. In *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision* 2015; 1026-1034.
- https://github.com/openai/gym/blob/b6b4fc38388c42c76516c93fd107dab124af64dd/gym/envs/box2d/bipedal_walker.py (Accessed October 14, 2021) Bipedal-Walker
- Lillicrap TP., Hunt JJ., Pritzel A., Heess N., Erez T., Tassa Y., Wierstra D. Continuous control with deep reinforcement learning. *4th International Conference on Learning Representations, ICLR* 2016.
- Lopes GC., Ferreira M., Da Silva Simoes A., Colombini EL. Intelligent control of a quadrotor with proximal policy optimization reinforcement learning. *15th Latin American Robotics Symposium, 6th Brazilian Robotics Symposium and 9th Workshop on Robotics in Education*, 2018; 509–514.
- Pang H., Gao W. Deep Deterministic policy gradient for traffic signal control of single intersection. *31st Chinese Control and Decision Conference* 2019; 5861–5866.
- Schmitz A., Berthet-Rayne P. Using Deep-learning proximal policy optimization to solve the inverse kinematics of endoscopic instruments. *IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics* 2020; 3(1): 273–276
- Schulman J., Wolski F., Dhariwal P., Radford A., Klimov O. Proximal Policy optimization algorithms. 2017.

- Toan ND., Woo KG. Mapless navigation with deep reinforcement learning based on the convolutional proximal policy optimization network. 2021 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing 2021; 298–301.
- Wang Y., Tong J., Song TY., Wan ZH. Unmanned surface vehicle course tracking control based on neural network and deep deterministic policy gradient algorithm. 2018 OCEANS - MTS/IEEE Kobe Techno-Oceans Oceans - 2018; 3–7.
- Ying CS., Chow AHF., Wang YH., Chin KS. Adaptive metro service schedule and train composition with a proximal policy optimization approach based on deep reinforcement learning. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2021; 1–12.
- Zhang S., Pang Y., Hu G. Trajectory-tracking control of robotic system via proximal policy optimization. 9th International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems and Robotics, Automation and Mechatronics 2019; 380–385.
- Zhen Y., Hao M., Sun W. Deep reinforcement learning attitude control of fixed-wing UAVs. 3rd International Conference on Unmanned Systems 2020; 239–244.

Determining Gene Expression of MyoD, IGF-I and STAT5B Genes in the Japanese Quail Leg Muscles Which Reared Under Two Different Lighting Systems

Mervan BAYRAKTAR^{1*}, Ela Nur ŞİMŞEK SEZER²

¹Çukurova University, Agriculture Faculty, Livestock Department, 01250, Adana

²Selçuk University, Science Faculty, Biology Department, 42100, Konya

¹<https://orcid.org/0000-0003-3268-864X>

²<https://orcid.org/0000-0003-2805-7204>

*Corresponding author: mbyraktar@cu.edu.tr

Araştırma Makalesi

ABSTRACT

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 20.09.2021

Kabul tarihi: 17.12.2021

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

MyoD

IGF-I

STAT4B

Lighting system

Expression

Light is a very important factor in growth and reproduction. This study aims to determine the effect of two different lighting systems on the expression of MyoD, IGF-I and STAT5B genes in the leg muscles of the Japanese quail. For this aim, two lighting systems were used; 16 hours' light: 8 hours' darkness (16 h L: 8 h D) group I and 8 hours' light: 16 hours' darkness (8 h L: 16 h D) group II. Quantitative real-time PCR was used for assessment of the gene expression levels in leg muscles. When the Real Time PCR results were evaluated, it was determined that MyoD gene expression was higher in group I than in group II. On the other hand, when IGF-I and STAT5B gene expressions were evaluated, the opposite situation was found, namely higher expression in group II compared to group I.

İki Farklı Aydınlatma Sistemi Altında Yetiştirilen Japon Bildircinların But Kaslarındaki MyoD, IGF-I ve STAT5B Genlerin İfadesinin Belirlenmesi

Research Article

ÖZ

Article History:

Received: 20.09.2021

Accepted: 17.12.2021

Published online: 18.07.2022

Keywords:

MyoD

IGF-I

STAT4B

Aydınlatma sistemi

Eksprisyon

Işık büyüme ve üremede oldukça önemli bir faktördür. Bu çalışma, Japon bildircinlarının but kaslarında MyoD, IGF-I ve STAT5B genlerinin ekspresyonu üzerine iki farklı aydınlatma sisteminin etkisini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla iki aydınlatma sistemi kullanılmıştır; 16 saat aydınlık: 8 saat karanlık (16 saat U: 8 saat G) grup I ve 8 saat aydınlık: 16 saat karanlık (8 saat U: 16 saat G) grup II. But kaslarındaki gen ekspresyon seviyelerinin değerlendirilmesi için kantitatif real-time PCR kullanılmıştır. Real Time PCR sonuçları değerlendirildiğinde grup I'de grup II'ye göre MyoD gen ekspresyonunun daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Öte yandan IGF-I ve STAT5B gen ekspresyonları değerlendirildiğinde ise tam tersi durum yani grup II'de grup I'e göre daha yüksek ekspresyon saptanmıştır.

To Cite: Bayraktar M., Sezer ENŞ. Determining Gene Expression of MyoD, IGF-I and STAT5B Genes in the Japanese Quail Leg Muscles Which Reared Under Two Different Lighting Systems. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 792-799.

1. Introduction

Light is a principal environmental factor in poultry production. It is an essential administrative measure, which is illustrated by its direct impact on growth and production traits (Mohammed et al., 2010; Wang et al., 2015; Retes et al., 2017). All lighting systems aim to reach the best production standards for poultry (Lien et al., 2008; Min et al., 2012). The growth trait is a significant factor in the

assessment of poultry, especially in meat production (Van Kaam et al., 1999; Al-Zghoul et al., 2016; Park et al., 2018). The quails gained faster weight under the continuous lighting system than during the 13 hours of daylight (De Jager, 2003). The reducing number of lighting hours in the early part of the birds' life led to a decrease in the rate of growth speed (Olanrewaju et al., 2006). The growth rate of birds reared under the intermittent lighting system was significantly higher compared to the birds reared under the continuous lighting system (Shariatmadari et al., 2007). The light directly affects the activity of myogenic regulatory factors (MRFs) (Sławińska et al., 2013; El Naby et al., 2018). The MRFs are basic helix-loop-helix transcription factors and consist of four genes; Myf5, myogenin, MyoD and MRF4 (Perry et al., 2000; Bhuiyan et al., 2009; Mok et al., 2015; Hernández-Hernández et al., 2017). The MRFs family stimulates embryonic muscle development because they affect the activity of genes that directly participate in muscle specification, differentiation, formation, and growth (Braun et al., 2011; Wood et al., 2013; Collins et al., 2019). MyoD is the first gene among the MRFs family that was identified, and it has a fundamental role in the development and growth of skeletal muscle fibers (Davis et al., 1987; Kim et al., 2017; Lassar et al., 1986; Weintraub et al., 1991; Yang et al., 2015; Zhang et al., 2018). The MyoD gene is expressed in tissues of the skeletal muscles and myoblast and is not expressed in smooth muscles and non-muscle tissues (Olson, 1990). Insulin-like growth factor 1 (IGF-1), also called somatomedin C, is similar to insulin in molecular structure. It is considered a candidate gene for growth, development, and metabolism in animals (Keating, 2008). The poultry mRNA for the IGF1 gene is expressed in the muscles, heart, liver, and brain (Kadlec et al., 2011). Signal transducer and activator of transcription 5b (STAT5b) belong to the STAT family of transcription factors. STAT5b is an important candidate gene for growth, metabolism, lactation, and reproduction in animals (Zhao et al., 2012). This study aims to determine mRNA levels of the MyoD, IGF-I, and STAT5b genes in quail leg muscles reared under two different lighting systems.

2. Materials and Methods

The birds were obtained from a breeding station at livestock development, Faculty of Agriculture, Selçuk University, Turkey. 7 weeks old female breeding of the Japanese quail layer was used in this study. The study consisted of two groups of the Japanese quail layers, where each group contained five birds. Animals were slaughtered at 13 weeks of age. Two different lighting systems were used. The group I applied for a conventional, static, and intermittent lighting program with 16 hours light: 8 hours darkness (16 h L: 8 h D) (mechanically open-close basis). During the lighting phase, the intensity of the coop light was standardized as 20 lux. In group II, which was planned as an innovative application, the lighting duration is planned as (8 h L: 16 h D). The lighting apparatuses' opening and closing are not mechanically open-close basis but organized according to the principle of automatic dynamic lighting with environmental interaction. A dynamic lighting program that varies according to time has been implemented without a constant light intensity. The study lasted six weeks and the diet containing 2850 Kcal/kg ME and 22% HP was used.

2.1. Collection of tissue samples

Tissue samples were collected in the sixth week. The samples were placed directly in the tubes and kept at -80°C.

2.2. Isolation of RNA and synthesis cDNA

After the applications, RNA isolation from the leg muscles tissues of ten individuals, each group was created with at least five individuals. RNA isolation was performed via Axygen RNA isolation kit, and the manufacturer's directions were carried out. After the RNA extractions, the quality and concentrations of samples were estimated via Nanodrop 2000 and validated by agarose gel electrophoresis. Purified RNA was then converted to cDNA using the Biorad cDNA synthesis kit.

2.3. Expression analysis

The mRNA expression levels of studied gene regions and housekeeping gene regions were measured via RT-PCR. The RT-PCR assays were performed in Biorad CFX Connect. The RT-PCR was done to detect expression profiles for MyoD, STAT5b, IGF-I, and GAPDH gene regions by using iTaq™ Universal SYBR® Green. The gene expression experiments were performed with RT-PCR in a total volume of 10 µl mix, which contains 5 µl SYBR green master mix (Bio-Rad), 1 µl primer (Table 1), 3 µl dH₂O, 1 µl cDNA. The GAPDH gene was used as a housekeeping gene. Although the GAPDH gene was primarily selected based on previous reports (Vitorino Carvalho et al., 2019), the study was continued with GAPDH because we also obtained low ct values. A control sample, obtained via performing qRT-PCR with no template, was also assayed to confirm that the samples were not contaminated. The primer sequences are given in Table 1. Primer efficiency rates were calculated, and the primers' efficiency was above 85 %. The obtained data were analyzed by the comparative CT method, and 2^{-ΔΔCT} calculated the fold change. Experiments were made at least in triplicate. Melting curve analyses were performed, and the presence of a single peak confirmed the specificity of the amplicons. BM SPSS Statistics software was used in statistical analyses. A t-test made comparisons between groups—the significance level was considered at (p<0.05).

Table 1. Primer sequences and RT-PCR conditions

Gene	Primer sequencing	Annealing °C	PCR conditions	Reference
MyoD	F: GATTTCCACAGACAACTCCACAT R: GAATCTGGGCTCCACTGTCACT	60	95°C 10m, 95°C 15s, 60°C 45s, Annealing temperature	El Naby and Basha (2018)
IGF-I	F: CACCTAAATCTGCACGCT R: CTTGTGGATGGCATGATCT	60	45s, 40 cycles 72°C 10m	Gasparino et al. (2013)
STAT5b	F: CTGCTGTGTGATGGAGTACC R: GACACTGAACTGCGACTCAA	60		El Naby and Basha (2018)

3. Results

The MyoD, IGF-I and STAT5B mRNA expression levels for leg muscles were given in (Figure 1). The mRNA expression levels of MyoD gene in leg muscles showed an increase in group I and decreased in group II who exposed to automatic dynamic lighting. Whereas, IGF-I and STAT5b mRNA expression levels were higher in group II.

4. Discussion

This investigation determined mRNA expression levels of IGF-I, MyoD, and STAT5B genes in Japanese quail leg muscles reared under two different lighting systems. MyoD is considered an essential factor in determining myoblast formation. It was found that the mRNA levels were high in group I, which was reared under a lighting system (16 h L: 8 h D). In contrast, the levels of mRNA expression of the MyoD gene decreased in group II. Studies have confirmed that the mRNA expression of the MyoD gene is high in embryonic stages and low in the major muscles. El Naby and Basha (2018) identified that mRNA expression levels of the MyoD gene were decreased in the group exposed to continuous artificial light (23 h L: 1 h D) in the major muscle of the Japanese quail. Fergany et al. (2017) revealed that mRNA expression levels of the MyoD gene were higher at embryonic day (ED) E7 and reached their peak at E16. Choi et al. (2014) noted that MyoD mRNA expression levels in quail birds were lower in the major muscles. Ban et al. (2013) confirmed decreased mRNA levels of quail and chicken breast muscles. Al-Musawi et al. (2011) indicated that mRNA levels at the MyoD gene decreased in pectoral muscles and gastrocnemius muscles from embryonic day (ED) 13 to 14 and ED14 to 15 in layers of chicken.

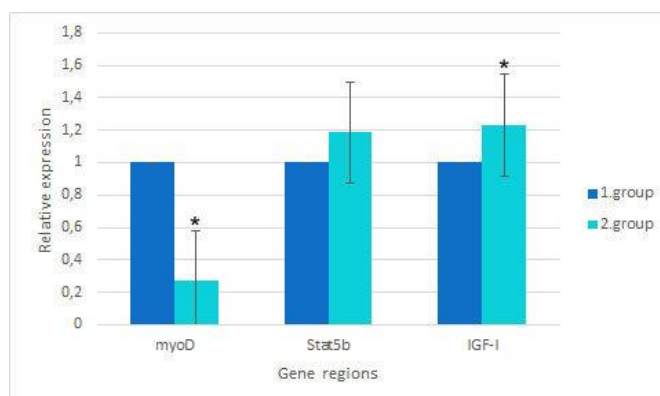


Figure 1. The levels of mRNA expression in MyoD, IGF-I and STAT5B genes in both group (*
 $p < 0.05$, $n = 3$)

IGF-I is classified as a critical regulatory system that plays a vital role in cell differentiation and proliferation in mammalian and poultry tissues like liver, muscle, bone, reproductive organs, and the

central nervous system (Collins et al., 2019). In this study, mRNA levels of IGF-I were found higher in group II than in group I. Fu et al. (2001) noted decreased mRNA levels in the IGF-I gene of quail testis, lung, liver, and heart. Gasparino et al. (2013) showed that mRNA levels for IGF-I were higher in the muscle of laying Japanese quail at different air temperatures. Silva et al. (2013) showed a high expression in quail breast muscles when birds fed 8 and 12% glycerol. Gasparino et al. (2014) found that high feed efficiency female quail under heat stress showed higher expression in the muscle and liver. Bhattacharya et al. (2015) Reported that chicken mRNA expression levels were high in breast muscle. STAT5B plays a vital role in growth, metabolism, reproduction and lactation. The study results showed a high expression of the STAT5B gene in group II and a low expression level in group I. El Naby and Basha (2018) determined that mRNA levels of the quail STAT5b gene increased in an artificial light group. Flisikowski et al. (2004) confirmed that the AA genotype has higher mRNA expression levels in cattle livers.

5. Conclusions

Understanding how the mechanism of genes works is crucial in terms of the economy. This study revealed a high expression of genes associated with growth and development in leg muscles of the Japanese quail. It can be said that a new generation of lighting systems interact with the environment, which can be an alternative to classical lighting applications in Japanese quails, where the automatic dynamic lighting systems with environmental interaction demonstrated an effect on the expression of genes. Considering animal welfare, it is seen that this system is much more compatible with natural life.

Statement of Conflict of Interest

Authors have declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

References

- Al-Musawi SL., Lock F., Simbi BH., Bayol SA., Stickland NC. Muscle specific differences in the regulation of myogenic differentiation in chickens genetically selected for divergent growth rates. *Differentiation* 2011; 82(3): 127-135.
- Al-Zghoul M., Al-Natour M., Dalab A., Alturki O., Althnaian T., Al-Ramadan S., Hannon K., El-Bahr S. Thermal manipulation mid-term broiler chicken embryogenesis: Effect on muscle growth factors and muscle marker genes. *Brazilian Journal of Poultry Science* 2016; 18(4): 607-618.
- Ban Q., Liang Y., Zhao Z., Liu X., Li Q. Differential expression levels of genes related to myogenesis during embryogenesis of quail and chicken. *Pakistan Veterinary Journal* 2013; 33(3): 317-320.

- Bhattacharya T., Chatterjee R., Dushyanth K., Paswan C., Shukla R., Shanmugam M. Polymorphism and expression of insulin-like growth factor 1 (igf1) gene and its association with growth traits in chicken. *British Poultry Science* 2015; 56(4): 398-407.
- Bhuiyan M., Kim N., Cho Y., Yoon D., Kim K.S., Jeon J., Lee J. Identification of snps in myod gene family and their associations with carcass traits in cattle. *Livestock Science* 2009; 126(1-3): 292-297.
- Braun T., Gautel M. Transcriptional mechanisms regulating skeletal muscle differentiation, growth and homeostasis. *Nature reviews Molecular cell biology* 2011; 12(6): 349-361.
- Choi Y.M., Suh Y., Shin S., Lee K. Skeletal muscle characterization of japanese quail line selectively bred for lower body weight as an avian model of delayed muscle growth with hypoplasia. *PLoS One* 2014; 9(4): 1-14.
- Collins A.A., Zou K., Li Z., Ying S. Mechanism and functions of identified mirnas in poultry skeletal muscle development. *Annals of Animal Science* 2019; 1(ahead-of-print):
- Davis R.L., Weintraub H., Lassar A.B. Expression of a single transfected cDNA converts fibroblasts to myoblasts. *Cell* 1987; 51(6): 987-1000.
- De Jager P.H. Effect of photoperiod on sexual development, growth and production of quail (*Coturnix coturnix japonica*). In: George Campus, Port Elizabeth Tehnikon, 2003.
- El Naby W.S.H.A., Basha H.A. Influence of lighting systems on some muscle development related genes and production traits in Japanese quail. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances* 2018; 13: 295-300.
- Fergany A., Hemeda S., El-Nahas A., El Naby W. Polymorphism and expression of some myogenic genes at embryonic stages and 37 days age of Cobb broiler chickens and their impact on the marketing weights. *International Journal of Scientific Research* 2017; 8(8): 19435-19440.
- Flisikowski K., Starzyński R.R., Zwierzchowski L. Promoter variant-dependent expression of the stat5a gene in bovine liver. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Gene Structure and Expression* 2004; 1679(2): 195-199.
- Fu Z., Noguchi T., Kato H. Vitamin A deficiency reduces insulin-like growth factor (IGF)-I gene expression and increases IGF-I receptor and insulin receptor gene expression in tissues of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). *The Journal of Nutrition* 2001; 131(4): 1189-1194.
- Gasparino E., Del Vesco A., Voltolini D., Nascimento C.D., Batista E., Khatlab A., Grieser D., Zancanela V., Guimaraes S. The effect of heat stress on ghr, igf-i, ant, ucp and coxiii mRNA expression in the liver and muscle of high and low feed efficiency female quail. *British Poultry Science* 2014; 55(4): 466-473.
- Gasparino E., Voltolini D.M., Del Vesco A.P., Guimarães S.E.F., do Nascimento C.S., de Oliveira Neto A.R. IGF-I, ghr and ucp mRNA expression in the liver and muscle of high-and low-feed-

- efficiency laying Japanese quail at different environmental temperatures. *Livestock Science* 2013; 157(1): 339-344.
- Hernández-Hernández JM., García-González EG., Brun CE., Rudnicki MA. The myogenic regulatory factors, determinants of muscle development, cell identity and regeneration. *Semin Cell Dev Biol* 72: 10-18.
- Kadlec J., Hosnedlová B., Řehout V., Čítek J., Večerek L., Hanusová L. Insulin-like growth factor-i gene polymorphism and its association with growth and slaughter characteristics in broiler chickens. *Journal of Agrobiology* 2011; 28(2): 157-163.
- Keating GM. Mecasermin. *BioDrugs* 2008; 22(3): 177-188.
- Kim SW., Lee JH., Park BC., Park TS. Myotube differentiation in clustered regularly interspaced short palindromic repeat/cas9-mediated myod knockout quail myoblast cells. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 2017; 30(7): 1029.
- Lassar AB., Paterson BM., Weintraub H. Transfection of a DNA locus that mediates the conversion of 10t12 fibroblasts to myoblasts. *Cell* 1986; 47(5): 649-656.
- Lien R., Hess J., McKee S., Bilgili S. Effect of light intensity on live performance and processing characteristics of broilers. *Poultry Science* 2008; 87(5): 853-857.
- Min JK., Hossan MS., Nazma A., Jae CN., Han TB., Hwan KK., Dong WK., Hyun SC., Hee CC., Ok SS. Effect of monochromatic light on sexual maturity, production performance and egg quality of laying hens. *Avian Biology Research* 2012; 5(2): 69-74.
- Mohammed H., Grashorn M., Bessei W. The effects of lighting conditions on the behaviour of laying hens. *Archiv für Geflügelkunde* 2010; 74(3): 197-202.
- Mok GF., Mohammed RH., Sweetman D. Expression of myogenic regulatory factors in chicken embryos during somite and limb development. *Journal of Anatomy* 2015; 227(3): 352-360.
- Olanrewaju H., Thaxton J., Dozier W., Purswell J., Roush W., Branton S. A review of lighting programs for broiler production. *International Journal of Poultry Science* 2006; 5(4): 301-308.
- Olson EN. Myod family: A paradigm for development? *Genes & Development* 1990; 4(9): 1454-1461.
- Park JW., Lee JH., Kim SW., Han JS., Kang KS., Kim SJ., Park TS. Muscle differentiation induced up-regulation of calcium-related gene expression in quail myoblasts. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 2018; 31(9): 1507.
- Perry R., Rudnick M. Molecular mechanisms regulating myogenic determination and differentiation. *Front Biosci* 2000; 5(D750-767): 148.
- Retes PL., Espósito M., das Neves DG., Viana AG., Coelho LM., Bobadilla-Mendez MF., Alvarenga RR., Fassani EJ., Peixoto JV., Zangeronimo MG. Influence of different types of lamps on the reproductive development of male Japanese quail (*coturnix coturnix Japonica*). *Theriogenology* 2017; 94: 59-63.

- Shariatmadari F., Moghadamian A. Effect of early feed restriction in combination with intermittent lighting during the natural scotoperiod on performance of broiler chicken. *JWSS-Isfahan University of Technology* 2007; 11(40): 363-374.
- Silva S., Gasparino E., Voltolini D., Pires A., Tanamati F., Garcia A., de Oliveira D. Effect of glycerol on ghr and igf-1 gene expression in breast muscle and on growth of Japanese meat quails. *Genetics and Molecular Research* 2013; 3856-3861.
- Sławińska A., Brzezińska J., Siwek M., Elminowska-Wenda G. Expression of myogenic genes in chickens stimulated in ovo with light and temperature. *Reproductive Biology* 2013; 13(2): 161-165.
- Van Kaam J., Groenen M., Bovenhuis H., Veenendaal A., Vereijken A., Van Arendonk J. Whole genome scan in chickens for quantitative trait loci affecting growth and feed efficiency. *Poultry Science* 1999; 78(1): 15-23.
- Wang Y., Ding J., Yang H., Cao W., Li Y. The effect of new monochromatic light regimes on egg production and expression of the circadian gene *bmal1* in pigeons. *Poultry Science* 2015; 94(5): 836-840.
- Weintraub H., Davis R., Tapscott S., Thayer M., Krause M., Benezra R., Blackwell TK., Turner D., Rupp R., Hollenberg S. The myod gene family: Nodal point during specification of the muscle cell lineage. *Science* 1991; 251(4995): 761-766.
- Wood WM., Etemad S., Yamamoto M., Goldhamer DJ. Myod-expressing progenitors are essential for skeletal myogenesis and satellite cell development. *Developmental Biology* 2013; 384(1): 114-127.
- Yang ZQ., Qing Y., Zhu Q., Zhao XL., Wang Y., Li DY., Liu YP., Yin HD. Genetic effects of polymorphisms in myogenic regulatory factors on chicken muscle fiber traits. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 2015; 28(6): 782.
- Zhang R., Li R., Zhi L., Xu Y., Lin Y., Chen L. Expression profiles and associations of muscle regulatory factor (*mrf*) genes with growth traits in tibetan chickens. *British Poultry Science* 2018; 59(1): 63-67.
- Zhao X., Wang J., Zhang G., Wei Y., Gu Y., Yu Y. Single nucleotide polymorphism in the *stat5b* gene is associated with body weight and reproductive traits of the jinghai yellow chicken. *Molecular Biology Reports* 2012; 39(4): 4177-4183.

Yapay Sinir Ağlarının Farklı Aktivasyon Fonksiyonlarında Uygulaması: Türkiye’de Ördek Popülasyonu Öngörüsü

Şenol ÇELİK^{1*}

¹Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü Biyometri ve Genetik Anabilim Dalı, Bingöl

¹<https://orcid.org/0000-0001-5894-8986>

*Sorumlu yazar: senolcelik@bingol.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 03.10.2021

Kabul tarihi: 10.11.2021

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Yapay sinir ağları
Aktivasyon fonksiyonu
Geri yayılım
Ördek

ÖZ

Bu çalışmada farklı aktivasyon fonksiyonlarında Türkiye’de ördek sayısını modellenmiş ve öngörü yapacak bir Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli geliştirilmiştir. YSA modelinin geliştirilmesinde girdi parametresi olarak zaman değişkeni olan yıllar, çıkış parametresi olarak ise ördek sayısı kullanılmıştır. Araştırma verileri 1991-2020 dönemine ait Türkiye’deki ördek sayısından oluşmaktadır. En uygun modeli belirlemek için yarı doğrusal, sigmoid, bipolar sigmoid ve hiperbolik tanjant gibi 4 farklı aktivasyon fonksiyonları kullanıldı. En uygun aktivasyon fonksiyonunu belirlemek için modelin etkinliğini belirleyen Hata Kareler Ortalaması (MSE) ve Hatanın Mutlak Ortalaması (MAE) istatistikleri kullanılmıştır. Farklı aktivasyon fonksiyonlarının performansları karşılaştırıldığında en uygun aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant fonksiyonu olmuştur. Çünkü hiperbolik tanjant fonksiyonu kullanıldığında en küçük MSE ve MAE değerlerine ulaşılmıştır. YSA modeli tek gizli katmanlı, 12 işlem elemanı (1-12-1) ve öğrenme algoritması Levenberg–Marquardt geri yayılım algoritması olarak kullanılan bir ağ mimarisi şeklindedir. YSA ile ördek sayısının 2021-2025 yılları arası öngörüsü yapılmıştır. Öngörü sonuçlarına göre, 2021-2025 yılları arasında ördek sayısının 479,407-531,242 arasında olacağı beklenmektedir.

Application of Artificial Neural Networks in Different Activation Functions: Prediction of Duck Population in Turkey

Research Article

Article History:

Received: 03.10.2021

Accepted: 10.11.2021

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Artificial neural networks
Activation function
Back propagation
Duck

ABSTRACT

In this study, an Artificial Neural Network (ANN) model was developed to model and forecast the number of ducks in Turkey in different activation functions. In the development of the ANN model, years were used, which is a time variable, as the input parameter and the number of ducks as the output parameter. The research data consists of the number of ducks in Turkey for the period 1991-2020. 4 different activation functions such as semi-linear, sigmoid, bipolar sigmoid, and hyperbolic tangent were used in order to determine the most suitable model. Mean Squares Error (MSE) and Absolute Mean Error (MAE) statistics, which determine the efficiency of the model, were used to determine the most suitable activation function. When the performances of different activation functions were compared, the most suitable activation function was the hyperbolic tangent function. Because the smallest MSE and MAE values were achieved when the hyperbolic tangent function was used. The single hidden layer of the ANN model is in the form of a network architecture used as Levenberg–Marquardt backpropagation algorithm (*trainlm*), with 12 processing elements (1-12-1) and as a learning algorithm. With the ANN, the number of ducks was predicted between 2021 and 2025. According to the forecast results, the number of ducks in 2021-2025 is expected to be between 479,407-531,242.

1. Giriş

Dünyanın en karmaşık makinesi olarak değerlendirilebilen insan beyni sayısal bir işlemi birkaç dakikada yapabilse de; algılamaya yönelik olayları çok kısa bir sürede yapmaktadır. Örneğin, yolda araçla seyreden bir şoför, yolun kayganlık derecesini, önündeki tehlikeden uzak durumu, sayısal olarak değerlendiremese bile tecrübesine dayanarak aracın hızını azaltır. Bu nedenle, o anda çok kısa bir sürede tehlikeyi algılamış ve ona karşı koymuştur (Elmas, 2007).

Yapay sinir ağları (YSA), bazı özelliklere sahiptir. Bunlar; Doğrusal olmama, paralel çalışma, öğrenme, genelleme, eksik verilerle çalışma, hata toleransı, uyarlanabilirlik, çoklu değişken ve parametre kullanımınıdır. YSA yöntemi dört grupta incelenir. Bunlar tek katmanlı algılayıcılar, çok katmanlı algılayıcılar, ileri beslemeli yapay sinir ağları ve geri beslemeli yapay sinir ağlarıdır (Öztemel, 2012; Güzeller ve Aksu, 2018).

Bir yapay sinir ağında, üç katman bulunur. Bu katmanlar; birbirleriyle bağlantılı sinir hücrelerinin yer aldığı girdi katmanı, çıktı katmanı ve gizli katmanıdır. Girdi katmanı, dışarıdan gelen verilerin yapay sinir ağına alınmasını sağlar. Girdi katmanı probleme etki eden parametrelerden oluşur ve girdi katmanındaki nöron sayısı parametre sayısına göre şekillenir. Çıktı katmanı, bilgilerin dışarıya iletilmesini sağlar. Gizli katman ise girdi katmanı ile çıktı katmanı arasında yer alır. Gizli katmana ait nöronların dış ortama bağlantıları olmayıp, sadece girdi katmanından gelen sinyalleri alıp, çıktı katmanına sinyal gönderirler (Benli, 2002). Ayrıca toplama fonksiyonu ve aktivasyon fonksiyonu da yapay sinir ağlarının diğer önemli öğeleridir (Öztemel, 2012).

YSA yöntemi ile değişik alanlarda yapılmış araştırmalara rastlanılmıştır. Bu araştırmaların birinde İstanbul’da toplu taşıma yolculuk talepleri yapay sinir ağları ile analiz edilmiştir. İstanbul’da deniz işletmeleri, belediye otobüsleri, özel halk otobüsleri, demiryolları ve Ulaşım AŞ’den toplanan günlük yolculuk değerleri kullanılarak farklı YSA algoritmasıyla modeller oluşturulmuştur (Topuz, 2008). Yapay zekanın internet üzerindeki uygulama alanları üzerinde durulmuş, web sayfası sınıflandırılmıştır (Uğur ve Kınacı, 2006). Psikiyatrik tanılarının sınıflanmasında yapay sinir ağları yöntemi kullanılmıştır. Çok katmanlı algılayıcı ağlarının en yüksek doğruluk veren 5 öğrenme algoritması için teşhis doğruluğu kontrol edilmiş ve gerçek performansları gösterilmiştir (Etikan ve ark., 2009). Hane halkı bütçe anketi uygulayarak Türkiye’de kira değerlerini saptayan faktörler araştırılmıştır. İncelenen modelin lineer olmaması nedeniyle yapay sinir ağları (YSA) alternatif bir yöntem düşünülmüştür. Araştırmada yapay sinir ağları ve hedonik regresyon modelinin yeterliliği kıyaslanmış ve konutların kira fiyatlarının tahmin edilmesinde yapay sinir ağları tercih edilmiştir (Selim ve Demirbilek, 2009). Yapay sinir ağlarının örüntü tanıma, işaret işleme, sistem tanılama ve doğrusal olmayan denetim alanlarında kullanılmış çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Efe ve Kaynak, 1999; Efe ve ark., 1999).

Bu çalışmanın amacı, yapay sinir ağları analiz edilerek Türkiye’de ördek varlığının modellenmesi ve tahmin edilmesidir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan verileri, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)’nin www.tuik.gov.tr web sitesinden derlenen “Türlerine göre kümes hayvanları sayısı” başlığı altında ördek sayıları oluşturmuştur. Çalışmada, 1991-2020 yılları arası veriler kullanılmış ve yapay sinir ağları (YSA) ile analiz edilmiştir. Uygun modeller belirlendikten sonra 2021-2025 dönemi ördek sayısı öngörüsü yapılmıştır.

Yapay sinir ağları (YSA), deneme yoluyla öğrenme ve genelleştirme yapmaktadır. Son zamanlarda gerçekleşen önemli yaklaşımlardan biri YSA kullanarak geleceği tahmin etmedir. Aynı zamanda veriler arasındaki karmaşık ilişkileri ortaya çıkarma işlemi YSA ile yapılabilir. Öğrenme, optimizasyon, analiz, sınıflandırma, genelleme ve ilişkilendirme konularında da YSA iyi bir performans göstermektedir (Öztemel, 2012).

YSA genellikle çok farklı şekillerde oluşturulan enformasyon verilerinin çok hızlı bir biçimde tanımlayarak anlaşılmasını sağlar. Böylece, girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki herhangi bir ön bilgiye ve varsayıma gerek kalmadan, lineer olmayan modellemesini gerçekleştirmektedir (Kaastra ve Boyd, 1996).

YSA’nın çalışmasına temel oluşturan en küçük birimlere yapay sinir hücresi denir. Yapay sinir hücresi beş ana bileşene sahiptir. Bu bileşenler girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkış bileşenleridir.

Girdiler, bir yapay sinir hücresine dış dünyadan gelen bilgilerden ibarettir. Dış dünyadan alınan bilgiler giriş olarak yapay sinir hücrelerine aktarılır (Özveren, 2006).

Ağırlıklar bir yapay hücreye gelen bilginin nöron üzerindeki etkisini ifade eder (Öztemel, 2012). Ağırlıklar yapay sinir aracılığıyla alınan girişlerin sinir üzerindeki etkisini gösteren katsayılardır ve $(w_1, w_2, w_3, \dots, w_i)$ ile ifade edilir (Elmas, 2003). Toplama-fonksiyonu bir hücreye gelen net girdiyi hesaplar. Bu fonksiyon aşağıdaki gibi formüle edilir.

$$z_i = \sum_{i=1}^n (w_{ij} x_i + b_j) \quad (1)$$

Burada w girdiler, x ağırlıklar, n ise girdi (proses elemanı) sayısıdır.

Toplam fonksiyonu kullanılarak elde edilen değer, lineer veya lineer olmayan türevlenebilir bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilen işlem elemanının çıktısı aşağıdaki gibi ifade edilir (Yavuz ve Deveci, 2012).

$$y = f(z_i) = f\left(\sum_{i=1}^n (w_{ij} x_i + b_j)\right) \quad (2)$$

2.1. Aktivasyon fonksiyonları

Aktivasyon fonksiyonu, nöron davranışını belirleyen önemli etmenlerden biridir (Efe ve Kaynak, 2000). YSA'da nöronun çıkış genliği, istenilen değerler arasında sınırlanır. Genel olarak [0, 1] veya [-1, 1] arasındaki değerlerden oluşur (Sağıroğlu ve ark., 2003). Aktivasyon fonksiyonu hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirler. Aktivasyon fonksiyonu için genelde lineer olmayan bir fonksiyon kullanılır (Çayıroğlu, 2015). Genel olarak en yaygın kullanılan aktivasyon fonksiyonları doğrusal (lineer), sigmoid, bipolar sigmoid ve hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonlarıdır.

Doğrusal aktivasyon fonksiyonu, doğrusal problemleri çözmek için aktivasyon fonksiyonu doğrusal bir fonksiyon olarak kullanılabilir. Toplama fonksiyonundan elde edilen sonuç, belli bir katsayı ile çarpılarak hücrenin çıktısını oluşturur.

$$F(NET) = A * NET \quad (3)$$

Burada A, sabit bir sayıdır.

Sigmoid aktivasyon fonksiyonu sürekli ve türevi alınabilir bir fonksiyon olup, girdi değerlerinin her biri için 0 ile 1 arasında bir değer üretir ve aşağıdaki gibi ifade edilir (Çayıroğlu, 2015).

$$F(NET) = \frac{1}{1 + e^{-NET}} \quad (4)$$

Bipolar Sigmoid aktivasyon fonksiyonu hiyerarşik kademeli bir ağ yapısı oluşturmak için geliştirilmiş bipolar aktivasyon fonksiyonunu kullanma fırsatı sunar. Kısaca, geliştirilmiş bipolar sigmoid aktivasyonu kullanılmıştır. Bu etkinleştirme işlevi, ağırlıklarının -1 ve +1 aralığında tutan bir gösterim seçerek hatayı en aza indirmek için tasarlanmıştır. Bu fonksiyon,

$$F(NET) = \frac{1 - e^{-2NET}}{1 + e^{-2NET}} \quad (5)$$

şeklindedir (Kaur ve Gupta, 2020).

Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu, sigmoid fonksiyonuna benzer yapıdadır. Ancak hiperbolik tanjant fonksiyonuna ait çıkış değerleri ise -1 ile +1 aralığındadır (Çayıroğlu, 2015). Bu fonksiyon,

$$F(NET) = \frac{e^{NET} - e^{-NET}}{e^{NET} + e^{-NET}} \quad (6)$$

şeklinde hesaplanır (Öztemel, 2012; Alp ve Öz, 2019).

2.2. Geri yayılım algoritması seçimi

YSA yönteminde önemli problemler geri yayılım algoritması ile çözülmüştür. Geriye yayılım ağında ara katmanlardaki birimlerinin hatalarının, çıktı katmanındaki birimlerin hatalarının geriye yayılması ile belirlenir. Bu nedenle, yöntem Geri Yayılım Öğrenme Algoritması olarak isimlendirilmiştir. Geri yayılım algoritmada sigmoidal transfer fonksiyonu ile doğrusallıktan arındırılmış birden fazla çıktı birimi kullanılabilir. Çıktı birimleri [-1,1] aralığında reel sayılar üretebilir (Kröse ve Smagt, 1996).

2.3. Model uygunluk kriterleri

YSA model performansı genellikle Hata Kareler Ortalaması (MSE) ve Ortalama Mutlak Hata (MAE) ile tespit edilir. MSE aşağıdaki gibi hesaplanır (Singh ve ark., 2009).

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n} \quad (7)$$

MAE ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n |\varepsilon_i|}{n} \quad (8)$$

Burada Y_i : Bağımlı değişkenin gözlenen değerleri, \hat{Y}_i : Bağımlı değişkenin tahmini değerleri, n ise gözlem sayısıdır.

3. Bulgular ve Tartışma

YSA giriş, gizli ve çıktı tabakalarının sayıları sırasıyla 1-12-1 olarak belirlenmiş olup, geri yayılma öğrenimi (Back Propagation Learning) ile 1000 iterasyonlu olarak uygulanmıştır. YSA yönteminde ördek popülasyonu için 4 farklı aktivasyon fonksiyonları kullanılmıştır. Bunlar; semi lineer, sigmoid, bipolar sigmoid ve hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonlarıdır. En uygun aktivasyon fonksiyonun kullanıldığı modeli belirlemek için MSE ve MAE istatistikleri kullanılmıştır. Ördek sayısı için kullanılan farklı aktivasyon fonksiyonlarına göre hesaplanan MSE ve MAE istatistikleri Tablo 1’de verilmiştir.

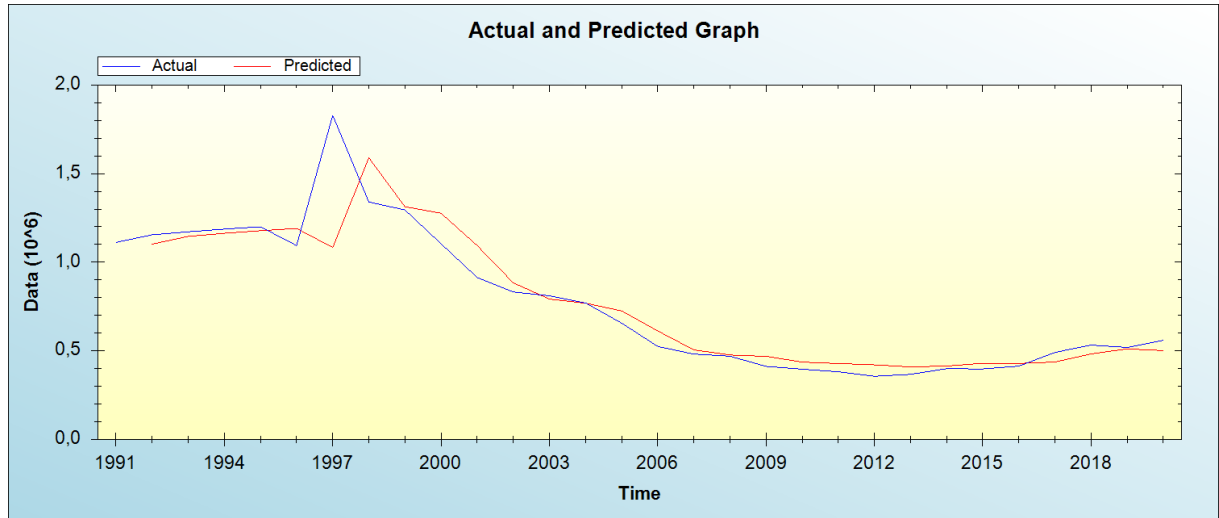
Tablo 1. Aktivasyon fonksiyonlarında hesaplanan MSE ve MAE değerleri

Aktivasyon fonksiyonu	MSE	MAE
Doğrusal fonksiyon	29.070.704.899,239	87.663,588
Sigmoid fonksiyon	70.262.492.220,925	208.089,912
Bipolar sigmoid fonksiyon	30.591.664.564,726	93.862,621
Hiperbolik tanjant fonksiyonu	25.294.373.727,547	80.242,634

Ördek sayısı için YSA yönteminde kullanılan aktivasyon fonksiyonlarında en düşük MSE ve MAE değeri hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonunda elde edilmiştir. $MSE=25.294.373.727,547$ ve $MAE=80.242,634$ bulunmuştur (Tablo 1). Dolayısıyla hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu kullanılarak elde edilen YSA analizi değerlendirilmiştir.

YSA yöntemi sonucunda tahmin edilen ve gözlenen değerlerle birlikte hata terimleri değerleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Ördek varlığı tahmini için YSA uygulaması sonucu gerçek ve tahmini değerlerin seyri ve dağılımı grafiği Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Gözlenen ve tahmin edilen değerlerin grafiği

Şekil 1 incelendiğinde, gözlenen değerler ile tahmin edilen değerler birbirine yakın olup uyum içindedir. Bu durum, özellikle 2000 yılından sonra daha belirgin olmuştur.

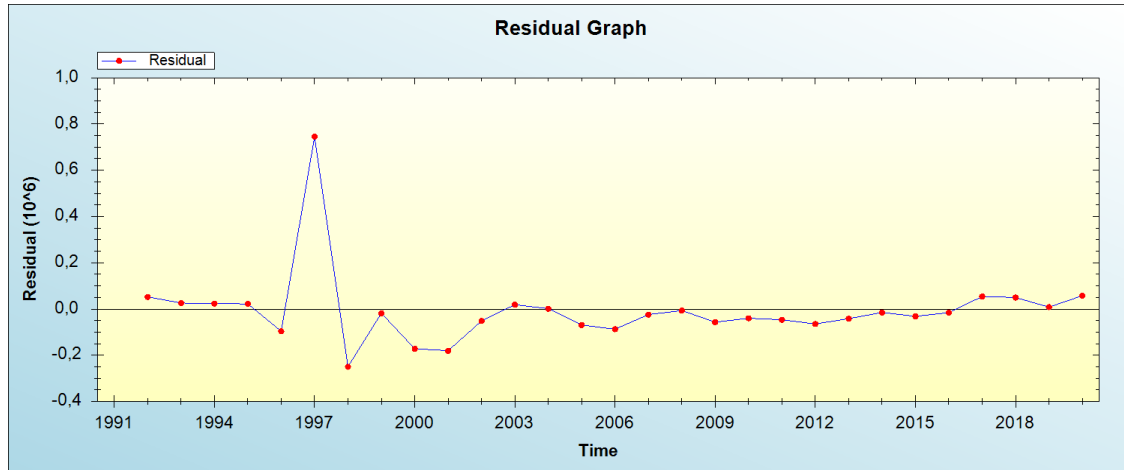
Tablo 2. Gözlenen, tahmini ve artık değerler (residual)

Yıllar	Gözlenen	Tahmini değerler	Artık değerler
1991	1.112.015	NaN	NaN
1992	1.154.743	1.102.413	52.329,64
1993	1.171.961	1.146.093	25.867,85
1994	1.186.891	1.163.199	23.691,74

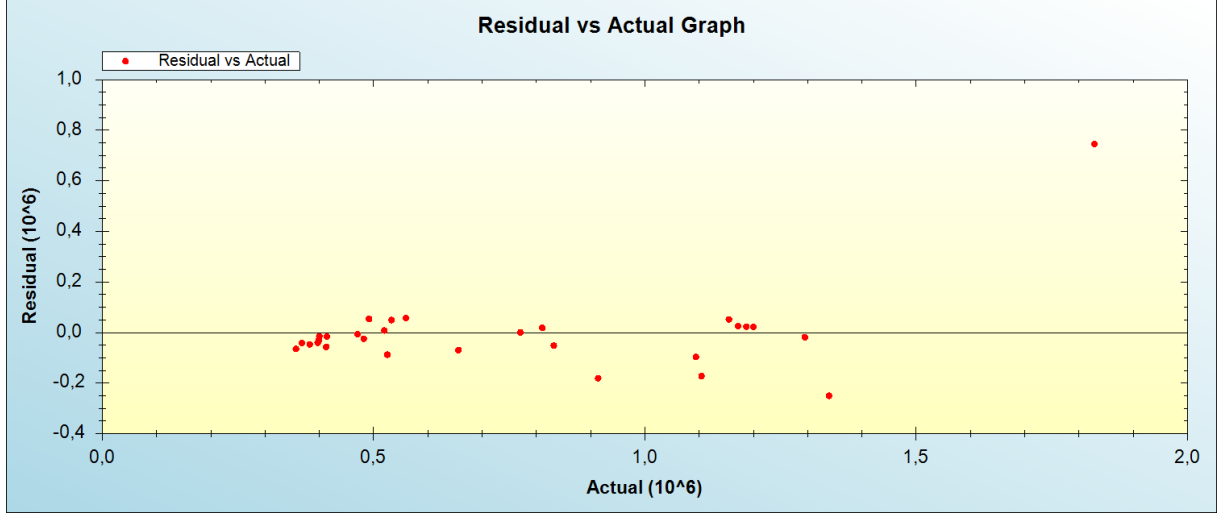
1995	1.199.925	1.177.789	22.136,09
1996	1.093.860	1.190.336	-96.476,1
1997	1.828.792	1.083.361	745.431,3
1998	1.339.468	1.589.222	-249.754
1999	1.294.824	1.312.973	-18.149,2
2000	1.104.176	1.276.110	-171.934
2001	913.748	1.094.221	-180.473
2002	832.091	883.885,8	-51.794,8
2003	810.910	792.333,7	18.576,25
2004	770.436	769.087,5	1.348,546
2005	656.409	725.610,3	-69.201,3
2006	525.250	612.617,8	-87.367,8
2007	481.829	505.995,4	-24.166,4
2008	470.158	476.886,8	-6.728,78
2009	412.723	469.587,8	-56.864,8
2010	396.851	436.813	-39.962
2011	382.223	428.648	-46.425
2012	356.730	421.451	-64.721
2013	367.821	409.637,2	-41.816,2
2014	399.820	414.665,1	-14.845,1
2015	398.387	430.146,9	-31.759,9
2016	413.841	429.421,8	-15.580,8
2017	491.561	437.402,4	54.158,62
2018	532.841	483.142,1	49.698,86
2019	519.575	511.403,3	8.171,716
2020	559.620	502.014,7	57.605,32

YSA uygulaması sonucu elde edilen hata terimlerinin grafiği Şekil 2’de sunulmuştur.

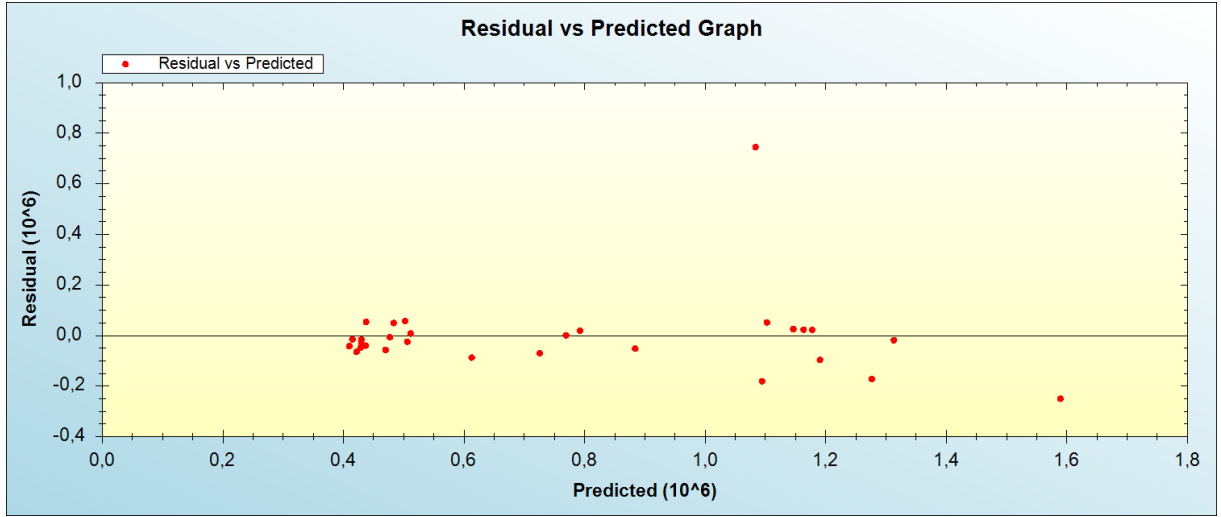
Şekil 2’de artık değerlerin rasgele dağıldıkları görülmüştür. Ördek sayısı gerçek değerleri ile artık değerlerin grafiği Şekil 3’te verilmiştir. Gerçek değerler ile artık değerler birbirinden bağımsız olup rasgele dağılmışlardır. Şekil 4’te ise artık değerlerle tahmin edilen değerlerin grafiği verilmiştir.



Şekil 2. Artık değerler grafiği



Şekil 3. Gerçek değerler ve artık değerlerin grafiği

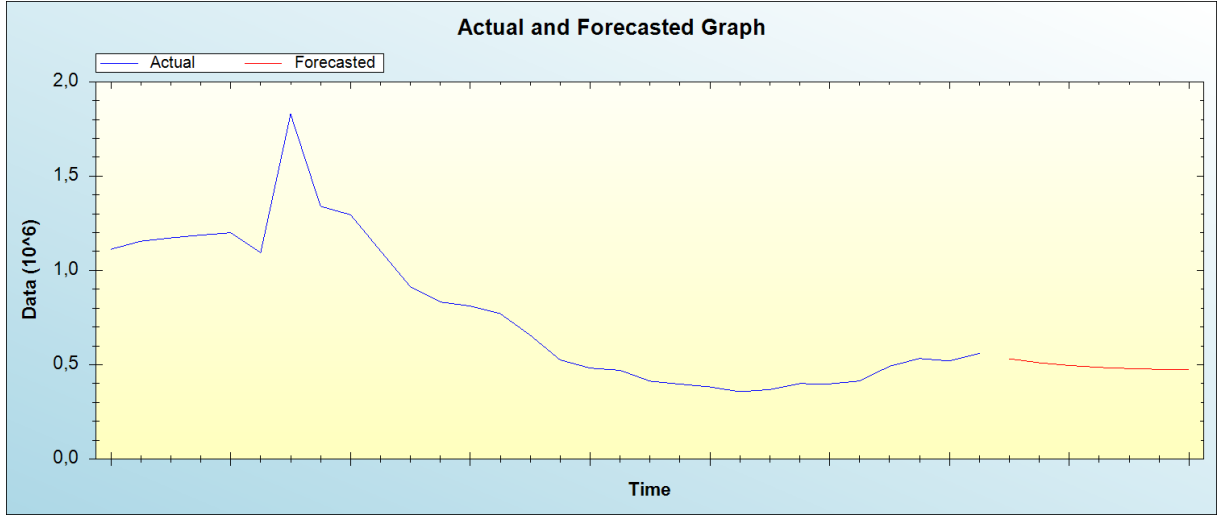


Şekil 4. Tahmini değerler ve artık değerlerin grafiği

Bu aşamadan sonra 4 farklı aktivasyon sonuçlarına göre elde edilen 2021-2025 yılları arası ördek sayısı öngörüsü Tablo 3'te verilmiştir. En uygun bulunan hiperbolik tanjant fonksiyonuna göre elde edilen öngörü grafiği Şekil 5'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Gelecek dönem için ördek sayısı öngörüsü

Yıllar	Doğrusal	Sigmoid	Bipolar sigmoid	Hiperbolik tanjant
2021	565 660	675 028	533 325	531 242
2022	571 032	714 859	518 178	510 256
2023	575 810	728 994	509 841	495 593
2024	580 059	734 056	505 370	485 779
2025	587 200	735 874	503 006	479 407



Şekil 5. Gelecek dönem için gerçekleşen değerler ve öngörü

Tablo 3'te görüldüğü gibi ördek sayısının 2021 yılında 531,242 olacağı bunu izleyen yıllarda bu değer azalarak 2025 yılında 479,407 olacağı tahmin edilmektedir.

Grzesiak ve ark. (2010), yapay sinir ağları ve MARS algoritmalarını kullanarak suni tohumlamada sorunlu olan inekleri belirlemişler ve riskli olanların elenmesini göstermişlerdir. İnekler iki gruba ayrılmıştır. Bunlar; Bir veya iki çiftleştirmeden sonra gebe kalanlar "iyi" ve gebelik için iki çiftleştirmeden fazlasına ihtiyaç olanlar "kötü" gruplarıdır. Suni tohumlamada problemi olan inekleri tespit etmek için belirli değişkenler kullanılmıştır. Her iki yöntemde de en önemli belirleme değişkeni buzağılama aralığıdır.

Zaborski ve Grzesiak (2011)'in çalışmasında ER α -BglI, ER α -SnaBI ve CYP19- PvuII genotipleri ile ilgili yapay sinir ağları uygulaması ile sürülerde zorlu doğum belirlenmiştir. Düve genotiplerinde Holstein-Friesian genlerinin yüzdesi, gebelik süresi, vücut durum skoru, buzağılama mevsimi, buzağılama yaşı ve genotip girdi değişkeni olmuştur. Çıktı değişkeni ise doğum zorluğudur. Zorluk derecesi kolay ve zor olarak sınıflanmıştır. Yazarlar düvelerde doğum zorluğunu en doğru sınıflandırmak için gizli tabakada 4 nöronlu çok tabakalı algılayıcı sinir ağlarını uygulamışlardır. Doğum zorluğunu doğru belirlemede en önemli faktörlerin gebelik süresi, vücut durum skor endeksleri arasındaki farklılık, düve genotiplerinde Holstein-Friesian genlerinin yüzdesi ve ER α -BglI, CYP19-PvuII genotipleri olduğu görülmüştür.

Grzesiak ve ark. (2003) bir barınaktaki 305 günlük süt verimi ortalaması, sağımında geçen gün sayısı, 1., 2., 3. ve 4. periyodunda süt verim ortalaması ve buzağılama ayının Holstein-Friesian ineklerindeki süt verimine etkisini tahmin etmek için yapay sinir ağları ve çoklu regresyon modeli uygulamışlardır. Yazarlar süt tahmininde yapay sinir ağlarının daha uygun olduğunu açıklamışlardır.

Çelik (2021)'in çalışmasında, Türkiye'de deve sayısını tahmin etmek için yapay sinir ağları ve zaman serileri analizi uygulanmıştır. 1961-2020 dönemi için 1000 iterasyonlu 12 gizli katmanlı, 12 işlem elemanlı (12-12-1) ve Levenberg–Marquardt geri yayılım algoritmali (trainlm) bir ağ kurularak analiz

edilmiştir. Analiz sonucunda, 2021-2025 yılları arası deve sayısı öngörüsü elde edilmiş ve deve sayısının bu dönemde inişli çıkışlı bir seyir göstereceği beklenmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada yapay sinir ağları ile Türkiye’de ördek sayısı modellenmiştir. Girdi değişkeni yıllar (1991-2020) olup, çıktı değişkeni ise ördek sayısı kullanılmıştır. Aktivasyon fonksiyonlarından semi lineer, sigmoid, bipolar sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonları kullanılmıştır ve bunlar karşılaştırılmıştır. Aktivasyon fonksiyonları en iyiden en kötüye doğru hiperbolik tanjant > lineer > bipolar sigmoid > sigmoid şeklinde sıralanmıştır. Kısaca, en uygun aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant fonksiyonu olmuştur. Çünkü, bu aktivasyon fonksiyonunda en küçük MSE ve MAE değerleri elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, uygulanan YSA yönteminin iyi tahminler verdiğini ortaya koymuştur. Eğitim, test ve doğrulama aşamalarındaki düşük MSE ve MAE değerleri de bunu göstermektedir.

Hiperbolik tanjant fonksiyonu kullanılarak analiz edilen YSA ile, Türkiye’de 2021-2025 döneminde ördek popülasyonunun 479,407 ile 531,242 arasında olacağı beklenmektedir. 2020 yılına göre gelecek 5 yıllık periyotta ördek popülasyonunda düşüş beklenmektedir. 5 yıl sonra bu düşüşün %14,33 olacağı beklenmektedir. Geleceğe ait tahmin çalışmalarında yapay sinir ağları ve alternatif teknikleri kullanarak hayvancılık verilerinde iyi sonuçlar vereceği umulmaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye tam olarak katkı sağlamıştır.

Kaynakça

Alp S., Öz E. Makine öğrenmesinde sınıflandırma yöntemleri ve R uygulamaları. Nobel Akademik Yayıncılık 2019, Ankara.

Ataseven B. Yapay sinir ağları ile öngörü modellemesi. Öneri Dergisi 2013, 10(39): 101-115.

Benli Y. Finansal başarısızlığın tahmininde yapay sinir ağı kullanımı ve İMKB’de bir uygulama. Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi 2002, 4(4): 17-30.

Çayiroğlu İ. İleri Algoritma Analizi-5 Yapay Sinir Ağları, 2015

<http://www.ibrahimcayiroglu.com/Dokumanlar/IleriAlgoritmaAnalizi/IleriAlgoritmaAnalizi-5.Hafta-YapaySinirAglari.pdf>

- Çelik Ş. Modeling and estimation of camel population in Turkey with time series analysis and Artificial Neural Networks. *International Journal of Research in Engineering and Science (IJRES)* 2021, 9(5): 38-44.
- Efe MÖ., Kaynak O. A Comparative study of neural network structures in identification of nonlinear systems. *Mechatronics* 1999; 9(3): 287-300.
- Efe MÖ., Abadoğlu E., Kaynak O. Analysis and design of a neural network assisted nonlinear controller for a bioreactor. *International Journal of Robust and Nonlinear Control* 1999; 9(11): 799-815.
- Efe Ö., Kaynak O. Yapay sinir ağları ve uygulamaları, Boğaziçi Üniversitesi Yayını, 2000, İstanbul
- Elmas Ç. Yapay sinir ağları, Birinci Baskı, Seçkin Yayıncılık 2003, Ankara
- Elmas Ç. Yapay zeka uygulamaları. Seçkin Yayıncılık San ve Tic. A. Ş., 2007, 425 s
- Etikan İ., Cumurcu BE., Çelikel FÇ, Erkorkmaz Ü. Yapay sinir ağları yöntemi ve bu yöntem kullanılarak psikiyatrik tanılarının sınıflandırılması. *Türkiye Klinikleri Tıp Bilimleri Dergisi* 2009; 29(2): 314-320.
- Grzesiak W., Lacroix R., Wójcik J., Blaszczyk P. A comparison of neural network and multiple regression prediction for 305-day lactation yield using partial lactation records. *Canadian Journal of Animal Science* 2003; 83: 307-310.
- Grzesiak W., Zaborski D., Sablik P., Zukiewicz A., Dybus A., Szatkowska I. Detection of cows with insemination problems using selected classification models. *Computers and Electronics in Agriculture* 2010, 74(2): 265-273.
- Güzeller CO., Aksu G. MATLAB Yapay zeka ve istatistik uygulamaları. Maya Akademi, 2018; Ankara. ISBN: 978-605-4515-68-4
- Kaastra I., Boyd M. Designing a neural network for forecasting financial and economic time series. *Neurocomputing* 1996, 10: 215-236
- Kaur J., Gupta N. Bipolar sigmoid algorithm for designing constructive neural network. *International Journal on Emerging Technologies* 2020; 11(2): 991-996.
- Kröse B., Smagt, P. V. D. An introduction to neural networks. Eight Ed., The University of Amsterdam, 1996
- Öztemel E. Yapay sinir ağları. Papatya Yayıncılık 2012, İstanbul.
- Özveren U. Pem yakıt hücrelerinin yapay sinir ağları ile modellenmesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 2006, İstanbul
- Sağiroğlu Ş., Beşdok E., Erler M. Mühendislikte yapay zeka uygulamaları-I Yapay Sinir Ağları 2003. Ufuk Kitap Yayıncılık.
- Selim S., Demirbilek A. Türkiye'deki konutların kira değerinin analizi: Hedonik model ve yapay sinir ağları yaklaşımı. *Aksaray Üniversitesi İİBF Dergisi* 2009, 1(1): 73-90.
- Singh KP., Basant A., Malik A., Jain G. Artificial neural network modeling of the river water quality- A case study. *Ecological Modelling* 2009, 220(6): 888-895.

- Topuz S. İstanbul ilindeki toplu taşıma yolculuk taleplerinin yapay sinir ağlarıyla modellenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2008, İstanbul.
- TÜİK. Hayvansal Üretim İstatistikleri. Türlerine göre kümes hayvanları sayısı. Türkiye İstatistik Kurumu, www.tuik.gov.tr, 2019.
- Uğur A., Kınacı AC. Yapay zeka teknikleri ve yapay sinir ağları kullanılarak web sayfalarının sınıflandırılması. inet-tr'06 - XI. "Türkiye'de İnternet" Konferansı Bildirileri 21-23 Aralık 2006, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara
- Yavuz S., Deveci M. İstatiksel normalizasyon tekniklerinin yapay sinir ağın performansına etkisi. Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 2012, 40: 167-187.
- Zaborski D., Grzesiak W. Detection of heifers with dystosia using artificial neural networks with regard to ER α -BgII, ER α -SnaBI and CYP19-PvuII genotypes. Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica 2011; 10(2): 105-116

Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu Temelli Geopolimer Sistemlerde Atık Demir Tozunun Agrega Yerine Kullanımının Araştırılması

Uğur DURAK^{1*}, Ahmet Ayberk ŞİMŞEK²

^{1,2}Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri

¹<https://orcid.org/0000-0003-2731-3886>

²<https://orcid.org/0000-0003-2871-2619>

*Sorumlu yazar: ugurdurak@erciyesl.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 27.08.2021

Kabul tarihi: 14.10.2021

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Uçucu kül

Yüksek fırın cürufu

Atık demir tozu

Geopolimer

Bu çalışmada uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen geopolimer harç numunelerde atık demir tozu kullanımı araştırılmıştır. Çalışmada atık demir tozları ince agrega ile ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır. Uçucu kül ile üretilen harç numunelerde aktivatör olarak sodyum hidroksit kullanılmış ve numuneler 24-48 saat 75°C ve 100°C'de ısı küre tabii tutulmuştur. Yüksek fırın cürufu ile üretilen harç numunelerde ise aktivatör olarak sodyum metasilikat kullanılmış ve numuneler 3, 7, 28 ve 90 gün boyunca oda koşullarında havada kür edilmiştir. Kür süresini tamamlayan tüm harç numunelerin birim ağırlık, eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca her iki karışım sisteminde de en iyi sonuçları veren numunelerin su emme ve boşluk oranları ile aşınma dirençleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar, agrega ile ikame edilerek kullanılan atık demir tozunun yüksek fırın cürufu sistemlerde olumlu sonuçlar vermezken, uçucu kül ile üretilen sistemlerde aşınma, eğilme ve basınç dayanımlarına pozitif katkı sağlayabildiğini göstermiştir.

Investigation of The Use of Waste Iron Powder Instead of Aggregate in Fly Ash and Blast Furnace Slag Based Geopolymer Systems

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 27.08.2021

Accepted: 14.10.2021

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Fly ash

Blast furnace slag

Waste iron powder

Geopolymer

In this study, the use of waste iron powder in geopolymer mortar samples produced by using fly ash and blast furnace slag was investigated. In the study, waste iron powders were used by replacing the aggregate with 10%, 20% and 30% by weight. The mortar samples produced with fly ash were activated by using sodium hydroxide as an activator and samples were heat cured at 75°C and 100°C for 24-48 hours. The mortar samples produced with blast furnace slag were activated by using sodium metasilicate as an activator and samples were cured at room temperature in air for 3, 7, 28, and 90 days. After the curing periods the unit weight, flexural and compressive strengths of all mortar samples were determined. In addition, the water absorption and porosity, and abrasion resistance of the samples that gave the best results in both mixing systems were measured. The obtained results showed that while the waste iron powder, which was used as a substitute for aggregate, did not give positive results in blast furnace slag systems, it could contribute positively to abrasion, flexural and compressive strengths in systems produced with fly ash.

To Cite: Durak U., Şimşek AA. Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu Temelli Geopolimer Sistemlerde Atık Demir Tozunun Agregaya Yerine Kullanımının Araştırılması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 812-828.

1. Giriş

Günümüzde çimento üretimi çok fazla enerji gerektirmekte ve üretimi esnasında yüksek karbondioksit salınımı ile çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Bağlayıcı olarak kullanılan portland çimentosu imalatında kalker ve kil ham maddeleri belirli sıcaklıklarda pişirilir ve bu işlem esnasında yüksek sıcaklık kullanıldığı için yoğun bir enerji kullanımı gerçekleşir. Ayrıca bu işlem atmosfere yüksek miktarda karbondioksit salınımının ortaya çıkmasına sebep olmaktadır (Şimşek, 2004; Neville, 2011; Erdoğan, 2015). Bu nedenle günümüzde çimento sistemlerine alternatif bağlayıcılar geliştirilmek üzere çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu kapsamda çalışılan alternatif bağlayıcılardan birisi de uçucu kül veya cüruf ile imal edilen geopolimerlerdir (Atiş ve ark., 2015; Atabey ve ark., 2020; Durak ve ark., 2020; Kaya ve ark., 2020; Yurt ve ark. 2020; Durak ve ark., 2021).

Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kullanılarak geopolimer harç veya beton üretimi bilinen bir konu olmakla birlikte, bu sistemlerin bazı dezavantajları bulunmaktadır. Örneğin; uçucu kül ile üretilen geopolimer sistemler ısıl küre ihtiyaç duymakta ve bu durum ısıl kür esnasında harcanan enerjiden dolayı ekonomik bir problem oluşturmaktadır. Yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen sistemlerde ise çeşitli dayanıklılık problemlerinin ortaya çıktığı gözlenmektedir (Provis ve Van Deventer, 2009; Aydın, 2010; Özodabaş, 2014; Provis, 2014; Bingöl ve ark., 2020).

Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ile üretilen sistemlerde ortaya çıkan bu olumsuz durumlar bu malzemelerin kullanımını sınırlandırmakta ve atık ürün olan bu malzemelerin çevre kirliliği oluşturmaya neden olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ile üretilen geopolimer sistemlerin dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, bu sistemlerin üretiminde kullanılan ince agrega ile atık demir tozları ikame edilmiş ve elde edilen yeni karışım sisteminin dayanım ve bazı dayanıklılık özellikleri incelenmiştir. Konu ile ilgili yapılan literatür araştırması aşağıda sunulmuştur.

Binici ve ark., (2015) yapmış oldukları laboratuvar çalışmasında, atık demir tozu içeren harç ve betonlar üretmiş ve ürettikleri numunelerin dayanım ve dayanıklılık özelliklerini araştırmışlardır. Harç ve beton numunelerin üretiminde atık demir tozunu ince agrega ile %10, %20 ve %30 oranlarında ağırlıkça yer değiştirerek karışım sistemine ilave etmişlerdir. Yapmış oldukları laboratuvar çalışmalarında üretmiş oldukları numunelere eğilme, basınç, ultrasonik atımlı dalga hızı, aşınma direnci ve kılcal su emme deneylerini uygulamışlardır. Ayrıca harç numunelerin sülfat ve tuza karşı dayanımlarını da araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre atık demir tozunun agrega ile %20 oranında ikame edilmesi durumunda dayanım ve dayanıklılık özelliklerinde iyileşmeler sağladığını belirlemişlerdir.

Taş ve ark., (2013) yapmış oldukları laboratuvar çalışmasında endüstriyel demir talaşı atığının betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisini irdelemişlerdir. Bu amaçla TS 802'ye uygun olarak C25 ve C30 beton özelliklerini sağlayan referans beton ve demir talaşı atığını %50 oranında ince agrega ile yer değiştirerek demir talaşı katkılı beton numuneler üretmişlerdir. Çalışmalarında 150×150×150 mm³'lük numuneler üreterek 7 ve 28 gün su kürüne tabi tutmuşlardır. Çalışma kapsamında üretilen

numunelerin basınç dayanımı ve yüzey sertliği özelliklerini belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, endüstriyel demir talaşı atığının kullanıldığı numunelerin basınç dayanımları ve yüzey sertliklerinin, referans beton numunelerinden daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Abraham, ve Sindhu (2017) yapmış oldukları laboratuvar çalışmasında betonun mekanik özelliklerini iyileştirmek adına ince agrega yerine %5, %10 ve %15 oranlarında demir tozu kullanmışlardır. Üretmiş oldukları numunelerin basınç, eğilme ve eğilmede çekme dayanımlarını 7 ve 28 gün kür süreleri sonunda belirlemişlerdir. Elde ettikleri deney sonuçlarına göre demir tozunun betonun basınç, eğilme ve eğilmede çekme dayanımlarını artırdığını ve optimum demir tozu kullanım miktarının %10 olduğunu tespit etmişlerdir.

Kim ve ark., (2015) yapmış oldukları laboratuvar çalışmasında demir tozu ile agregayı hacimce %2 ve %4 oranlarında yer değiştirerek harç numuneler üretmişlerdir. Üretmiş oldukları numunelerde bağlayıcı olarak çimento kullanmışlardır. Karışımlarda su/bağlayıcı oranı olarak 0,65 agrega/bağlayıcı oranı olarak ise 3 kullanmışlardır. Elde ettikleri deney sonuçlarına göre demir tozu kullanımının numunelerde karbonatlaşma derinliği ve korozyon etkilerini azalttığı sonucuna varmışlardır.

Ghannam ve ark., (2016) yapmış oldukları laboratuvar çalışmasında demir tozunun kum ile yer değiştirilmesi durumunda beton özelliklerinin nasıl etkileneceğini araştırmışlardır. Deneysel çalışmaları gerçekleştirmek için küp, silindir ve kiriş numuneler üretmişlerdir. Çalışmada demir tozunu agrega ile ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarında yer değiştirmişlerdir. Elde ettikleri dayanım sonuçlarına göre en iyi sonucun %20 demir tozu ilavesi durumunda meydana geldiğini tespit etmişlerdir. En yüksek artış oranının elde edildiği %20 demir tozu ilavesi durumunda, numunelerin 28 gün sonunda eğilme dayanımlarının %45, basınç dayanımlarının %33 ve eğilmede çekme dayanımlarının %15'e varan oranlarda arttığını gözlemlemişlerdir.

Yapılan literatür araştırmasına göre atık demir tozu genel olarak çimento sistemlerinde agrega ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. Atık demir tozu kullanımı ile çimento sistemlerinde dayanım ve dayanıklılık özelliklerinde iyileşmeler elde edilebilmiştir. Fakat atık demir tozunun geopolimer sistemlerde kullanımı ile ilgili çalışmalar literatürde kısıtlı sayıdadır. Bu nedenle bu çalışmada uçucu kül ve yüksek fırın cürufu temelli geopolimer sistemlerde agrega ile atık demir tozu ikame edilerek geopolimer harç numuneler üretilmiştir. Üretilen geopolimer harç numunelerin birim ağırlık, su emme ve boşluk oranı, eğilme ve basınç dayanımları ile aşınma dirençleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu

Laboratuvar deneylerinde Sugözü Termik Santrali'nden temin edilen uçucu kül (UK) ve Kayseri Çimsa firmasından temin edilen yüksek fırın cürufu (YFC) kullanılmıştır. Kullanılan uçucu kül ve yüksek fırın cürufuna ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 1'de ve uçucu kül ile yüksek fırın cürufu görünümü Şekil 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Sugözü uçucu külü ile yüksek fırın cürufu kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal ve Fiziksel Özellikler	Uçucu Kül	Yüksek Fırın Cürufu
SiO ₂ (%)	56,22	39,40
Al ₂ O ₃ (%)	23,17	10,55
Fe ₂ O ₃ (%)	7,12	1,45
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (%)	86,51	-
K ₂ O (%)	2,87	0,77
CaO (%)	2,81	35,21
MgO (%)	1,95	6,91
Na ₂ O (%)	1,85	0,22
TiO ₂ (%)	1,15	0,45
P ₂ O ₅ (%)	0,71	-
SO ₃ (%)	0,47	1,02
Sr (%)	0,21	0,07
BaO (%)	0,15	0,13
MnO (%)	0,12	1,56
ZrO ₂ (%)	0,09	0,05
Cl ⁻ (%)	0,01	0,01
Serbest CaO (%)	0,22	-
Kızdırma Kaybı (%)	1	2,2
Birim Ağırlık (g/cm ³)	2,35	2,85

Yapılan kimyasal analiz sonucuna göre uçucu külün yapısında kütlece SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ miktarının %70'den fazla ve CaO oranının %10'dan az olduğu tespit edildiği için ASTM C618 (ASTM C618, 2012) standardına göre, uçucu külün düşük kireçli F sınıfı uçucu kül olduğu belirlenmiştir.



Şekil 1. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu görünümü

2.2. Agrega ve Demir Tozu

Yapılan laboratuvar çalışmasında agrega olarak Şekil 2’de görülen 0-4 mm dane çapında ırmak kumu ve Kayseri Sanayi bölgesinden temin edilen 0-4 mm dane çapında atık demir tozu kullanılmıştır.



Şekil 2. Numune üretiminde kullanılan agrega ve atık demir tozu

2.3. Aktivatör

Laboratuvar çalışmasında aktivatör olarak iki farklı aktivatör kullanılmıştır. Uçucu kül ile imal edilen numunelerde aktivatör olarak sodyum hidroksit kullanılırken, yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen numunelerde aktivatör olarak sodyum metasilikat kullanılmıştır. Aktivatör olarak kullanılan sodyum hidroksit ve sodyum metasilikat Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Sodyum hidroksit ve sodyum metasilikat görünümü

2.4. Su

DeneySEL çalışmada içilebilir şebeke suyu kullanılmıştır.

2.5. Karışım Oranları ve Deneylerin Tasarımı

Laboratuvar çalışması kapsamında uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen harç numunelerde atık demir tozları agrega ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında ikame edilerek karışım sistemine dâhil edilmiştir. Karışım sistemine atık demir tozu dâhil edildiğinde taze haldeki harçların TS EN 1015-3 (Taze harç kıvamının tayini) (TS EN 1015-3, 2000) standardına göre yayılma tablası deneyi sonucunda bulunan işlenebilirlik değerleri artmaktadır. Bu nedenle çalışmada sabit işlenebilirlik değerinde çalışmak için atık demir tozu ikamesi ile karışım için kullanılan su miktarında azaltma yapılmıştır. Buna göre uçucu kül ile üretilen numunelerin işlenebilirlik değerleri 130-140 mm arasında, yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen numunelerin işlenebilirlik değerleri ise 140-150 mm arasında olacak şekilde ayarlanmıştır. Uçucu kül sistemlerinde aktivatör olarak kullanılan sodyum

hidroksit bağlayıcı malzeme ile ağırlıkça %8, %10 ve %12 oranlarında Na⁺ içerek şekilde kullanılmıştır. 40x40x160 mm³ kalıplara yerleştirilen harç numuneler 75°C ve 100°C sıcaklıklarda 24 ve 48 saat ısıtılı küre tabii tutulmuşlardır. Bağlayıcı olarak yüksek fırın cürufu kullanılan karışım sisteminde ise aktivatör olarak sodyum metasilikat kullanılmıştır. Kullanılan sodyum metasilikat bağlayıcı malzeme ile ağırlıkça %4, %6 ve %8 oranlarında Na⁺ içerek şekilde kullanılmıştır. 40x40x160 mm³ kalıplara yerleştirilen harç numuneler 3, 7, 28 ve 90 gün süreyle oda koşullarında (23°C) hava küreine tabii tutulmuşlardır. Kür işlemini tamamlanan uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ile üretilen numunelerin birim ağırlık, su emme ve boşluk oranları, eğilme ve basınç dayanımları ile aşınma dirençleri belirlenmiştir. Numunelerin üretiminde kullanılan karışım oranları Tablo 2’de sunulmuştur. Karışım kodlandırılmasında ‘SH’ sodyum hidroksiti, ‘SM’ sodyum metasilikati, ‘U’ uçucu külü, ‘Y’ yüksek fırın cürufunu ve ‘DT’ atık demir tozunu ifade etmektedir. Buna göre 8SH-UDT10 ile kodlandırılan karışım; %8 oranında sodyum hidroksit ve %10 oranında atık demir tozu içeren uçucu kül tabanlı numuneleri temsil etmektedir. Benzer şekilde 4SM-YDT20 ile kodlandırılan karışım; %4 oranında sodyum metasilikat ve %20 oranında atık demir tozu içeren yüksek fırın cürufu numuneleri temsil etmektedir.

Kür işlemini tamamlanan uçucu kül ve yüksek fırın cürufu temelli harç numunelerin ağırlıkları uçucu kül için 24 ve 48 saat ısıtılı küre süreleri sonrasında, yüksek fırın cürufu için ise 3, 7, 28 ve 90 gün hava küre sonrasında tartılarak bulunmuştur. Elde edilen ağırlıklar her bir numune için kumpas ile ölçülen geometrik boyutlarına bölünmüştür. Bu şekilde yaklaşık olarak sertleşmiş numunelerin birim ağırlıkları tespit edilmiştir.

Her bir karışım için kür işlemini tamamlanan 40×40×160 mm³ boyutlarındaki sertleşmiş numunelere TS EN 1015-11 (TS EN 1015-11, 2000) standardına uygun olarak eğilme deneyi yapılmıştır. Deney görünümü Şekil 4’te sunulmuştur. Deneyde bilgisayar kontrollü 50 N/s yükleme hızı kullanılmıştır. Eğilme deneyi her bir karışım için üç adet numune üzerinde gerçekleştirilmiş ve elde edilen değerlerin ortalaması alınarak eğilme deneyi sonucu bulunmuştur. Basınç dayanımı deneyi eğilme deneyi sonucu ikiye bölünen numunelerin düzgün yüzeylerinde TS EN 1015-11 (TS EN 1015-11, 2000) standardında uygun olarak Şekil 4’te görüldüğü şekilde yapılmıştır. Deneyde 500 N/s yükleme hızı kullanılmıştır. Her bir karışım serisi için altı adet numune üzerinde basınç deneyi gerçekleştirilmiş ve elde edilen değerlerin ortalaması deney sonucu olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Karışım oranları

Numune İsmi	UK	YFC	Kum	Atık Demir Tozu	Na ⁺	NaOH	Na ₂ SiO ₃	Su	Isıl Kür Sıcaklığı	Kür Süresi	
	g	g	g	g	%	g	g	g	°C	saat	gün
8SH-UDT0	450	-	1350	0	8	62,6	-	157,5	75-100	24-48	-
8SH-UDT10	450	-	1215	135	8	62,6	-	153,5	75-100	24-48	-
8SH-UDT20	450	-	1080	270	8	62,6	-	149,5	75-100	24-48	-

8SH-UDT30	450	-	945	405	8	62,6	-	145,5	75-100	24-48	-
10SH-UDT0	450	-	1350	0	10	78,3	-	157,5	75-100	24-48	-
10SH-UDT10	450	-	1215	135	10	78,3	-	152,5	75-100	24-48	-
10SH-UDT20	450	-	1080	270	10	78,3	-	147,5	75-100	24-48	-
10SH-UDT30	450	-	945	405	10	78,3	-	142,5	75-100	24-48	-
12SH-UDT0	450	-	1350	0	12	93,9	-	157,5	75-100	24-48	-
12SH-UDT10	450	-	1215	135	12	93,9	-	151,5	75-100	24-48	-
12SH-UDT20	450	-	1080	270	12	93,9	-	145,5	75-100	24-48	-
12SH-UDT30	450	-	945	405	12	93,9	-	139,5	75-100	24-48	-
4SM-YDT0	-	450	1350	0	4	-	47,8	225	23	-	3-7-28-90
4SM-YDT10	-	450	1215	135	4	-	47,8	223	23	-	3-7-28-90
4SM-YDT20	-	450	1080	270	4	-	47,8	221	23	-	3-7-28-90
4SM-YDT30	-	450	945	405	4	-	47,8	219	23	-	3-7-28-90
6SM-YDT0	-	450	1350	0	6	-	71,6	225	23	-	3-7-28-90
6SM-YDT10	-	450	1215	135	6	-	71,6	222	23	-	3-7-28-90
6SM-YDT20	-	450	1080	270	6	-	71,6	219	23	-	3-7-28-90
6SM-YDT30	-	450	945	405	6	-	71,6	216	23	-	3-7-28-90
8SM-YDT0	-	450	1350	0	8	-	95,5	225	23	-	3-7-28-90
8SM-YDT10	-	450	1215	135	8	-	95,5	221	23	-	3-7-28-90
8SM-YDT20	-	450	1080	270	8	-	95,5	217	23	-	3-7-28-90
8SM-YDT30	-	450	945	405	8	-	95,5	213	23	-	3-7-28-90



Şekil 4. Eğilme ve basınç deneyi cihazı ve deney görüntüleri

Su emme ve boşluk oranlarının tespit edilmesinde Arşimet yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre su emme ve boşluk oranları aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Boşluk Oranı (\%)} = \frac{(A_{KYD} - A_{FK})}{(A_{KYD} - A_{SU})} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Su Emme Oranı (\%)} = \frac{A_{KYD} - A_{FK}}{A_{FK}} \times 100 \quad (2)$$

Burada;

A_{FK} : Fırın kurusu ağırlığı (g)

A_{KYD} : Kuru yüzey doymun ağırlığı (g)

A_{SU} : Su içindeki ağırlığı (g)

Aşınma deneyi TS 2824 EN 1338 (TS 2824 EN 1338, 2005) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deneyde $71 \times 71 \times 71 \text{ mm}^3$ boyutlarında küp numuneler kullanılmıştır. Deney öncesi ve sonrasında numunelerin ağırlıkları ve geometrik ölçüleri belirlenmiştir. Deney Şekil 5'te gösterildiği şekilde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile numunelerin aşınma sonrası hacim kayıpları aşağıdaki denklem ile her 5000 mm^2 'de en yakın 1000 mm^3 tam sayıya yuvarlatılarak hesaplanmıştır.

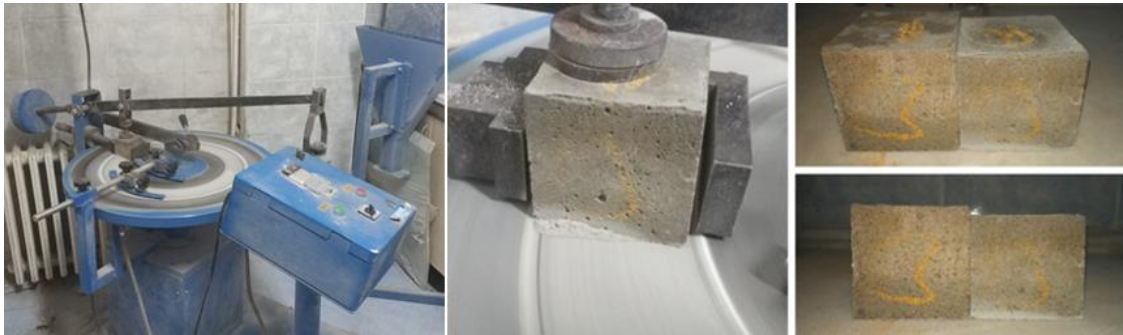
$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho r} \quad (3)$$

Burada;

ΔV : 16 çevrimden sonra hacim kaybı, mm^3

Δm : 16 çevrimden sonra kütle kaybı, g,

ρr : Numunenin yoğunluğu, g/mm^3



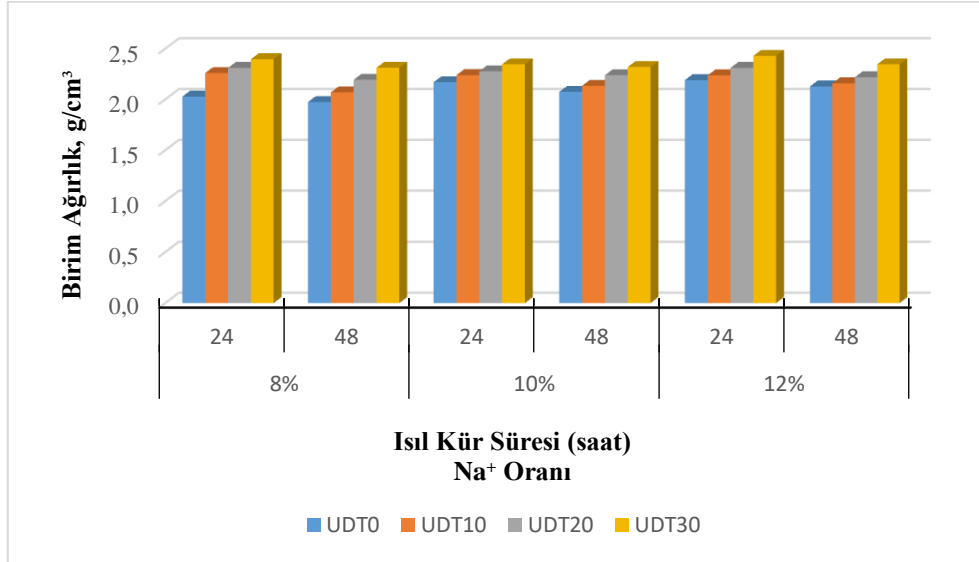
Şekil 5. Aşınma direnci deneyi görünümü

3. Deneysel çalışmalar ve bulgular

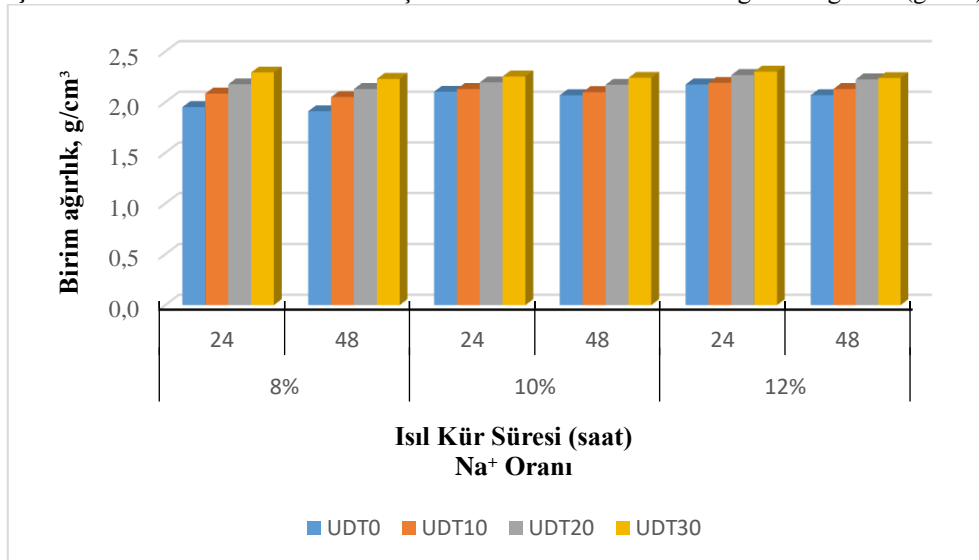
3.1. Birim Ağırlık Deneyi

Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen birim ağırlık değerleri uçucu kül ile üretilen harç numuneler için Şekil 6 ve 7'de, yüksek fırın cürufu ile üretilen numuneler için ise Şekil 8'de sunulmuştur.

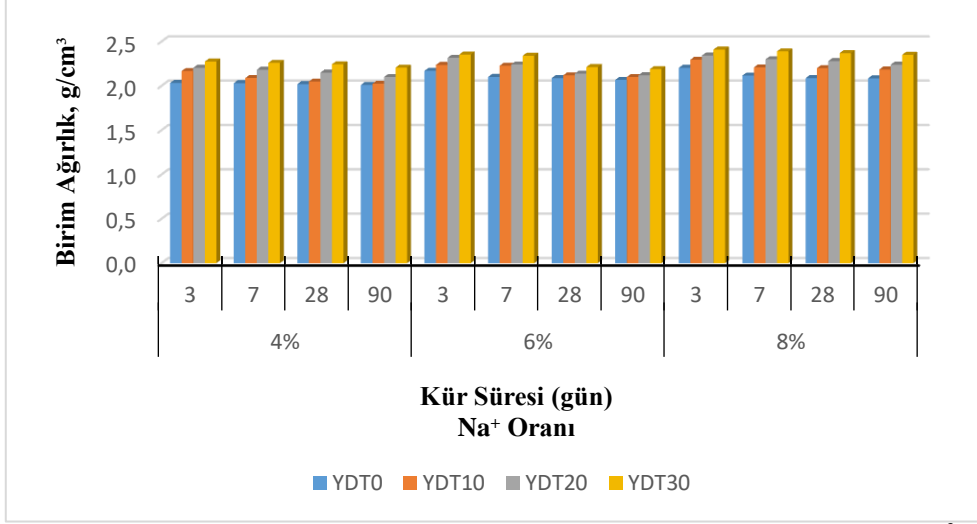
Uçucu kül ile üretilen numunelerde birim ağırlık değerleri 1,91-2,31 g/cm³ aralığında ölçülürken, yüksek fırın cürufu ile üretilen numunelerde 2,01-2,39 g/cm³ aralığında ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre atık demir tozu ikamesi ile her iki karışım serisinde de birim ağırlık değerleri artmıştır. Bu durum kum ile yer değiştirilen atık demir tozlarının birim ağırlık değerlerinin kuma kıyasla daha yüksek olması ile açıklanmaktadır. En yüksek birim ağırlık değerleri %30 oranında atık demir tozu ikame edilen numunelerde elde edilmiştir. Kullanılan aktivatör miktarı numunelerin birim ağırlık değerlerinde kayda değer bir farklılık oluşturmamıştır.



Şekil 6. 75°C sıcaklıkta kür edilen uçucu kül numunelerinin birim ağırlık değerleri (g/cm³)



Şekil 7. 100°C sıcaklıkta kür edilen uçucu kül numunelerinin birim ağırlık değerleri (g/cm³)

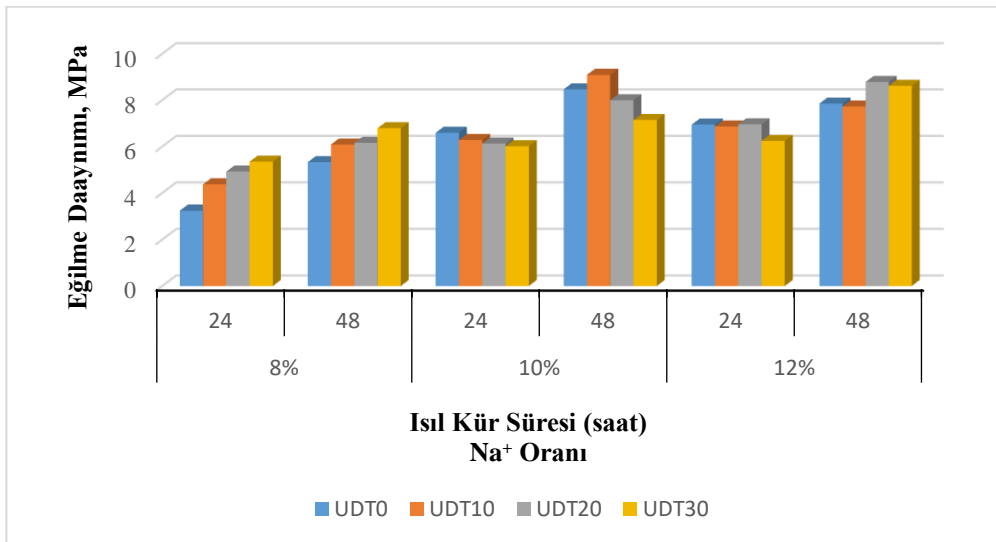


Şekil 8. Oda sıcaklığında kür edilen YFC numunelerinin birim ağırlık değerleri (g/cm^3)

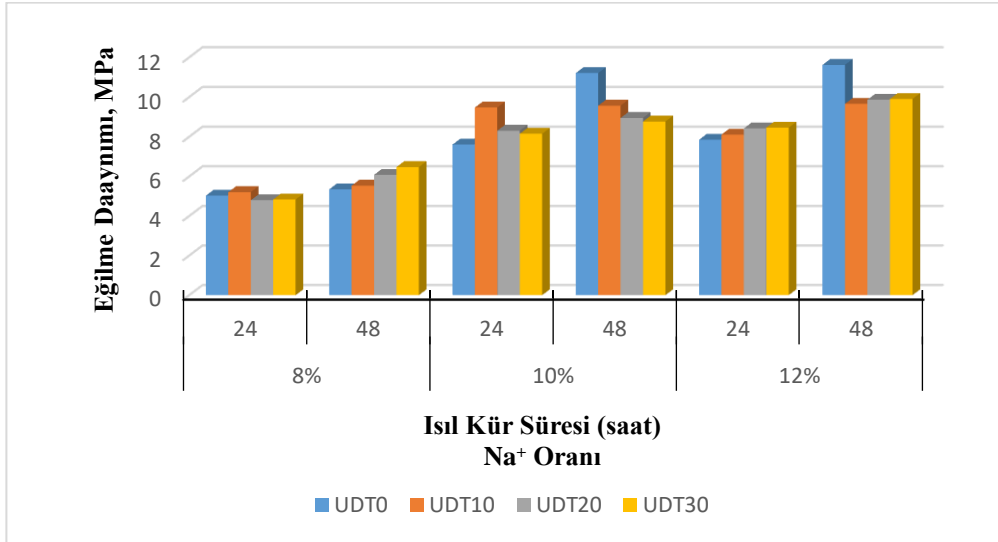
3.2. Eğilme Dayanımı Deneyi

75°C ve 100°C sıcaklıklarda 24 ve 48 saat kür edilen uçucu kül temelli harç numunelere ait eğilme dayanımı deney sonuçları Şekil 9 ve 10'da sunulmuştur. Oda sıcaklığında 3, 7, 28 ve 90 gün kür edilen yüksek fırın cürufu temelli harç numunelere ait eğilme dayanımı deney sonuçları ise Şekil 11'de sunulmuştur.

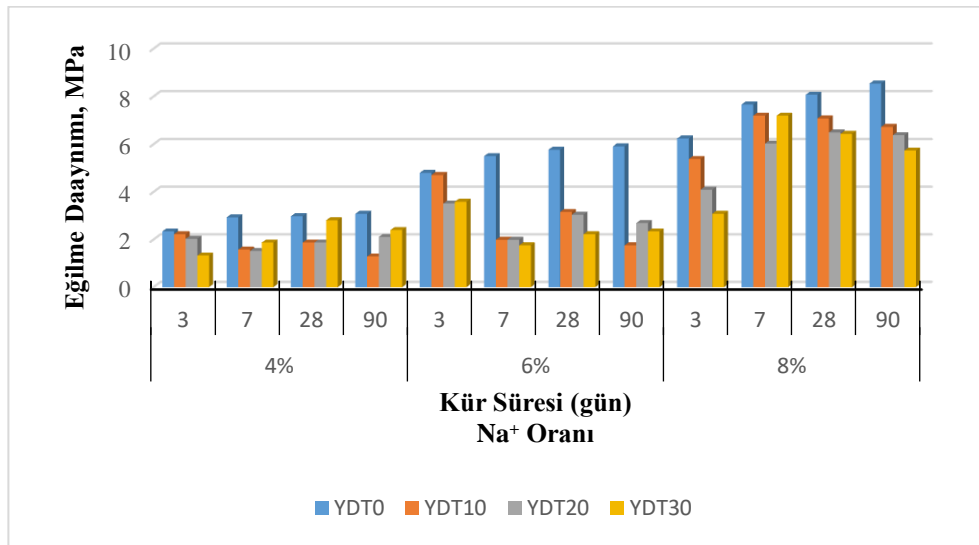
Elde edilen sonuçlara göre artan ısıllı kür süresi ve aktivatör oranı ile uçucu kül temelli geopolimer harç numunelerin eğilme dayanımlarının arttığı gözlenmiştir (Atış ve ark., 2015; Atabey ve ark., 2020; Durak ve ark., 2020). Atık demir tozu ikamesi ile %8 sodyum içeren numunelerde 75°C ısıllı kür süresi sonunda numunelerin eğilme dayanımlarında artış meydana gelmiştir. 75°C sıcaklıkta kür edilen numunelerde %10 ve %12 sodyum oranlarında atık demir tozu eğilme dayanımında ciddi bir artış sağlamamıştır. 100°C sıcaklıkta kür edilen numunelerde ise genel olarak atık demir tozu ilavesi ile eğilme dayanımlarında kayda değer bir artış görülmemiştir.



Şekil 9. 75°C sıcaklıkta kür edilen uçucu kül numunelerinin eğilme dayanımları (MPa)



Şekil 10. 100°C sıcaklıkta kür edilen uçucu kül numunelerinin eğilme dayanımları (MPa)



Şekil 11. Oda sıcaklığında kür edilen YFC numunelerinin eğilme dayanımları (MPa)

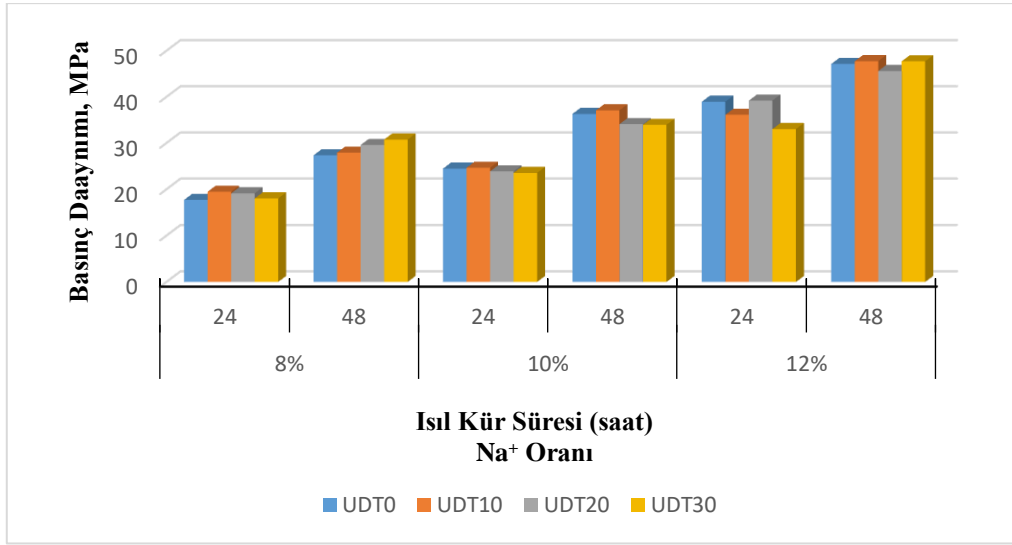
YFC temelli numunelerin eğilme dayanımları incelendiğinde artan kür süresi ve metasilikat miktarı ile numunelerin eğilme dayanımlarında artış meydana geldiği gözlenmektedir (Bingöl, 2018; Almaz, 2020). Tüm sodyum oranları ve kür günlerinde atık demir tozu ilavesi ile numunelerin eğilme dayanımlarında düşüş meydana gelmiştir. Eğilme dayanımlarında meydana gelen azalma, atık demir tozu kullanımının artması ile artış göstermiştir.

3.3. Basınç Dayanım Deneyi

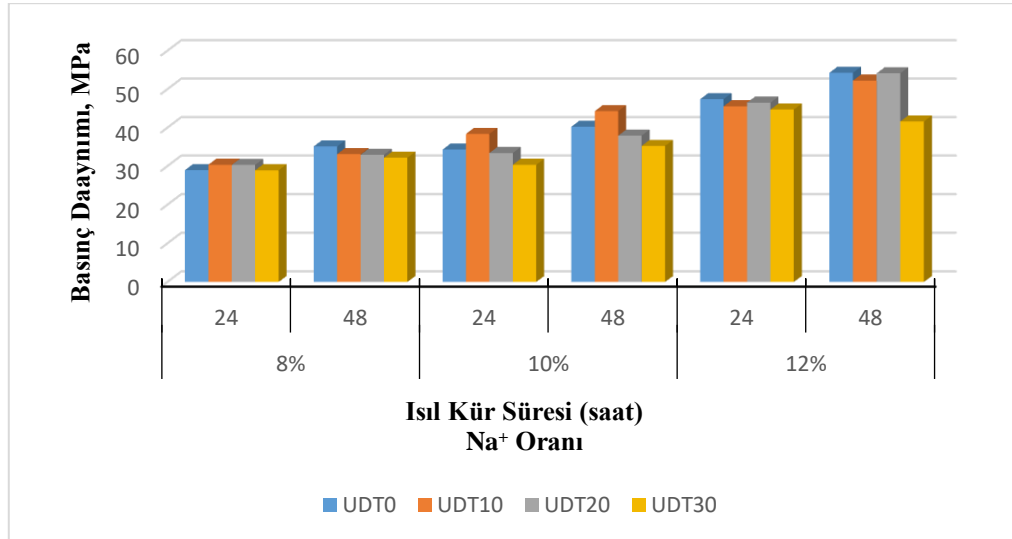
75°C ve 100°C sıcaklıklarda 24 ve 48 saat kür edilen uçucu kül temelli harç numunelere ait basınç dayanımı deney sonuçları Şekil 12 ve 13'te, oda sıcaklığında 3, 7, 28 ve 90 gün kür edilen yüksek fırın cürufu temelli harç numunelerinin basınç dayanımı sonuçları ise Şekil 14'te sunulmuştur.

Uçucu kül temelli numunelerin basınç dayanımı deney sonuçları incelendiğinde artan ısı kür süresi ve sodyum oranı ile numunelerin basınç dayanımlarının arttığı gözlenmiştir (Luga, 2016; Atabey, 2017;

Durak, 2019). 75°C sıcaklıkta kür edilen ve %8 oranında sodyum içeren numunelerde, 24 saat ısıtılma süresi sonunda, atık demir tozu ikamesi ile referans numunelere hemen hemen eşdeğer basınç dayanımları elde edilirken, 48 saat ısıtılma süresi sonunda ise referans numunelerden %10'a varan oranlarda daha fazla basınç dayanımı elde edilmiştir. 75 °C sıcaklıkta kür edilen ve %10 ile %12 oranlarında sodyum içeren numunelerde ise 24 ve 48 saat ısıtılma süresi sonunda atık demir tozu ikamesi basınç dayanımlarında kayda değer bir değişiklik oluşturmamıştır. 100 °C sıcaklıkta kür edilen numunelerde ise 24 saat ısıtılma süresi sonunda atık demir tozu ikamesi genel olarak basınç dayanımında ciddi bir farklılık oluşturmazken, 48 saat ısıtılma süresi sonunda ise basınç dayanımlarının daha düşük olmasına sebep olmuştur. 75 °C ve 100 °C sıcaklıklarda kür edilen uçucu kül temelli harç numunelerinin basınç dayanımları incelendiğinde %10 atık demir tozu ikamesinin hem 24 hem de 48 saat ısıtılma süresi sonunda özellikle %8 ve %10 oranında sodyum içeren numunelerde basınç dayanımlarını artırdığı belirlenmiştir.

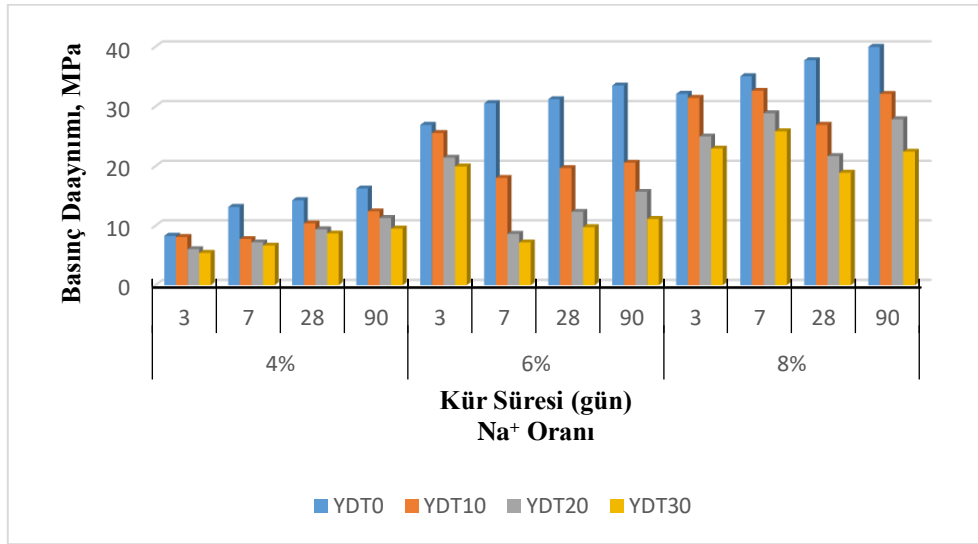


Şekil 12. 75°C sıcaklıkta kür edilen uçucu kül numunelerinin basınç dayanımları (MPa)



Şekil 13. 100°C sıcaklıkta kür edilen uçucu kül numunelerinin basınç dayanımları (MPa)

Yüksek fırın cürufu temelli harç numunelerde artan kür süresi ve aktivatör miktarı ile numunelerin basınç dayanımları artmıştır (Erion Luga, 2016; Almaz, 2020; Bingöl ve ark., 2020). 90 gün kür süresi sonunda %8 oranında sodyum içeren numunelerde 40 MPa basınç dayanımlarına erişilebilmiştir. Atık demir tozu ilavesi ise yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen ve sodyum metasilikat ile aktive edilen harç numunelerde tüm yaşlarda basınç dayanımının düşmesine neden olmuştur. Bu durumun atık demir tozları ile kullanılan aktivatör olan sodyum metasilikat arasındaki uyumsuzluktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Artan atık demir tozu kullanımı ile basınç dayanımlarında meydana gelen kayıplarda artış gözlenmiştir. Bu nedenle atık demir tozlarının sodyum metasilikat kullanılarak üretilen YFC sistemleri ile uyumlu olmadığı söylenilebilir.



Şekil 14. Oda sıcaklığında kür edilen YFC numunelerinin basınç dayanımları (MPa)

3.4. Su Emme ve Boşluk Oranı Deneyi

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen eğilme ve basınç dayanımları sonucunda atık demir tozu ikamesi ile en iyi sonucu veren numuneler üzerinde su emme ve boşluk oranları belirlenmiştir. Bu nedenle uçucu kül ile üretilen numunelerde su emme ve boşluk oranı 100 °C'de 24 saat kür edilen ve %10 oranında sodyum içeren numunelerde belirlenirken, yüksek fırın cürufu numunelerde 28 gün oda sıcaklığında kür edilen ve %8 oranında sodyum metasilikat içeren numunelerde belirlenmiştir. Elde edilen su emme ve boşluk oranları Tablo 3'te sunulmuştur.

Elde edilen sonuçlara göre uçucu kül ile üretilen numunelerde atık demir tozu ikamesi ile su emme ve boşluk oranlarının az da olsa düşme gözlenmiştir. Artan demir tozu ikamesi ile uçucu kül temelli numunelerde daha düşük su emme ve boşluk oranları elde edilmiştir. Yüksek fırın cürufu ile üretilen numunelerde ise artan atık demir tozu ikamesi ile su emme ve boşluk oranlarında artış gözlenmiştir. Yüksek fırın cürufu sistemlerinde atık demir tozu ikamesi ile daha düşük dayanım sonuçlarının bulunması, su emme ve boşluk oranı deney sonucunda ortaya çıkan boşluk miktarının fazla olması ile de açıklanabilmektedir. Bu anlamda YFC sistemlerinde dayanım ve su emme boşluk oranı deney sonuçlarının birbirini desteklediği söylenebilir.

Tablo 3. 1 Uçucu kül ve YFC numuneleri su emme ve boşluk oranı deney sonuçları (%)

Uçucu Kül		Yüksek Fırın Cürufu		
Kür Şekli	100°C-Isıl kür	23°C-Hava kürü		
Kür Süresi	24 saat	28 gün		
Na⁺ Oranı	% 10	% 8		
Numune Kodu	Su Emme	Boşluk	Su Emme	Boşluk
	Oranı (%)	Oranı (%)	Oranı (%)	Oranı (%)
DT0	6,5	13,0	6,5	13,8
DT10	6,5	13,1	6,8	14,8
DT20	6,2	12,9	7,2	16,0
DT30	6,1	12,8	7,8	17,3

3.5. Aşınma Direnci Deneyi

Aşınma direnci deneyi eğilme ve basınç deneyleri sonrasında atık demir tozu ikamesi ile en iyi sonucu veren numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda aşınma direnci, uçucu kül ile üretilen numunelerde 100°C’de 24 saat kür edilen ve %10 oranında sodyum hidroksit içeren numunelerde belirlenirken, yüksek fırın cürufu numunelerde 28 gün oda sıcaklığında kür edilen ve %8 oranında sodyum metasilikat içeren numunelerde belirlenmiştir. Elde edilen ağırlık ve hacim kayıpları Tablo 4’te sunulmuştur.

Tablo 4. Aşınma direnci deney sonuçları

Uçucu Kül		Yüksek Fırın Cürufu		
Kür Şekli	100°C-Isıl kür	23°C-Hava kürü		
Kür Süresi	24 saat	28 gün		
Na⁺ Oranı	% 10	% 8		
Numune Kodu	Ağırlık Kaybı	Hacim Kaybı	Ağırlık Kaybı	Hacim Kaybı
	(g)	(mm³/5000mm²)	(g)	(mm³/5000mm²)
DT0	34,9	17000	42,4	19000
DT10	29,0	15000	35,0	16000
DT20	26,4	13000	31,3	13000
DT30	25,3	12000	28,9	13000

Elde edilen sonuçlara göre hem uçucu kül hem de yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen numunelerde agrega ile atık demir tozunun ikame edilmesi sonucu elde edilen harç numunelerin

aşınma direncinde artış gözlenmiştir. Artan atık demir tozu ikamesi ile harç numunelerde her iki karışım sisteminde de aşınma dirençleri artmıştır. Uçucu kül ile üretilen numunelerde aşınma deneyi sonunda %10, %20 ve %30 atık demir tozu ikamesinde sırasıyla %17, %25 ve %28'e varan oranlarda daha az ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Yüksek fırın cürufu ile üretilen numunelerde ise aşınma deneyi sonunda %10, %20 ve %30 atık demir tozu ikamesinde sırasıyla %17, %26 ve %32'ye varan oranlarda daha az ağırlık kaybı meydana gelmiştir.

4. Sonuçlar

1- Atık demir tozu kullanımı ile hem uçucu kül hem de yüksek fırın cürufu ile üretilen harç numunelerin birim ağırlık değerleri artmıştır. Birim ağırlık değerlerinde meydana gelen artış, atık demir tozu kullanımının artışı ile daha fazla olmuştur.

2- Atık demir tozu kullanımı ile eğilme ve basınç dayanımları uçucu kül ile üretilen harç numunelerde 75°C ve 100°C sıcaklıklarda %8 ve %10 sodyum içeren numunelerde artarken, yüksek fırın cürufu ile üretilen harç numunelerde tüm kür sürelerinde ve aktivatör oranlarında düşmüştür.

3- Atık demir tozu ikamesi uçucu kül ile üretilen numunelerde su emme ve boşluk oranlarında kayda değer bir etki oluşturmazken, yüksek fırın cürufu ile üretilen numunelerde su emme ve boşluk oranlarının artmasına neden olmuştur.

4- Atık demir tozu ikamesi ile aşınma direncinde uçucu kül ile üretilen numunelerde %28, yüksek fırın cürufu ile üretilen numunelerde ise %32'ye varan oranlarda iyileşme meydana gelmiştir.

5- Elde edilen sonuçlar; atık demir tozu kullanımının yüksek fırın cürufu sistemlerde genel olarak olumlu sonuçlar vermediği, uçucu kül ile üretilen sistemlerde ise aşınma ve basınç dayanımında olumlu sonuçlar elde edilebileceğini göstermiştir.

6- Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ve elde edilen bulgular ile çimento sistemlerinde atık demir tozunun agrega ile ikame edilerek kullanılması sonucunda elde edilebilen olumlu katkıların, geopolimer sistemlerde elde edilemediği kanaatine varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamıştır.

Kaynakça

- Almaz ZÖ. Alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürufu ve uçucu kül tabanlı harçların özellikleri Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2020.
- ASTM C618. Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use. American Society for Testing and Material, 2012.
- Atabey İİ. F sınıfı uçucu küllü geopolimer harcının durabilite özelliklerinin araştırılması. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2017.
- Atabey İ., Karahan O., Bilim C., Atiş CD. Very high strength Na₂SiO₃ and NaOH activated fly ash based geopolimer mortar. Cement, Wapno, Beton 2020; 2020(4): 292–305.
- Atiş CD., Görür EB., Karahan O., Bilim C., İlkentapar S., Luga E. Very high strength (120 MPa) class F fly ash geopolimer mortar activated at different naoh amount, heat curing temperature and heat curing duration.” Construction and Building Materials 2015; 96: 673–678.
- Aydın S. Alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürufu bağlayıcı lifli kompozit geliştirilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2010.
- Bingöl Ş. Investigation of mechanical and durability properties of alkali activated blast furnace slag mortars. Graduate School of Natural and Applied Sciences, Erciyes University, 2018.
- Bingöl Ş., Bilim C., Atiş CD., Durak U. Durability properties of geopolimer mortars containing slag. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering 2020; 44(S1).
- Binici H., Sevinç A., Geçkil H. Atık demir tozu katkılı harç ve betonların durabilite özellikleri. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 2015; 30(June): 1–16.
- BS EN 450-1: 2012. Fly ash for concrete, Part 1: Definition, Specifications and Conformity Criteria. British Standard.
- Durak U., Karahan O., Uzal B., İlkentapar S., Atiş CD. Influence of Nano SiO₂ and Nano CaCO₃ particles on strength, workability, and microstructural properties of fly ash-based geopolimer. Structural Concrete 2021; 22(Suppl.1): E352–E367.
- Durak U., İlkentapar S., Karahan O., Uzal B., Atis CD. A new parameter influencing the reaction kinetics and properties of fly ash based geopolimers: A pre-rest period before heat curing. Journal of Building Engineering 2021; 35: 102023.
- Durak U. Nanoparçacık katkıların geopolimer harcın dayanım ve dayanıklılık özelliklerine etkisinin araştırılması. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2019.
- Erdoğan T. Beton. 5th ed. Ankara, Turkey: Odtü Yayıncılık, 2015.
- Erion L., Atiş CD. Strength properties of slag/fly ash blends activated with sodium metasilicate and sodium hydroxide+silica fume. Periodica Polytechnica Civil Engineering 2016; 60(2): 223–228.
- Ghannam S., Najm H., Vasconez R. Experimental study of concrete made with granite and iron powders as partial replacement of sand. Sustainable Materials and Technologies 2016; 9: 1-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.susmat.2016.06.001>.

- Kaya M., Yılmaz M., Karahan O., Atış CD. Mechanical properties of class C and F fly ash geopolymer mortars. *Gradevinar* 2020; 72(04): 297-309.
- Kim JJ., Heo YS., Noguchi T. Effect of iron powder on inhibition of carbonation process in cementitious materials. *ISIJ International* 2015; 55(7): 1522-1530.
- Neville AM. *Longman Properties of Concrete*. 4th ed. London: Longman, 1995.
- Özodabaş A. Alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürüflü harçların performansının geliştirilmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2014.
- Provis JL. Green concrete or red herring? - Future of alkali-activated materials. In *Advances in Applied Ceramics*, 2014.
- Provis John L., Jannie SJ Van Deventer. *Geopolymers: Structures, processing, properties and industrial applications* geopolymers: Structures, Processing, Properties and Industrial Applications, 2009.
- Şimşek O. *Beton ve Beton Teknolojisi*. Ankara, Turkey: Seçkin Yayıncılık, 2004.
- Taş HH., Çoban Ö., Topbaşı B. Endüstriyel demir talaşı atığının betonun bazı mekanik özelliklerine etkisi. *Constructional Technologies* 2013; 5(1): 1–11.
- TS 2824 EN 1338. *Concrete paving blocks-requirements and test methods*. Ankara, Turkey, 2005.
- TS EN 1015-11. *Mortar testing method, Part 11. Measurement of Compressive and Flexural Tensile Strength of Mortar*. Ankara, Turkey: TSE, 2000.
- TS EN 1015-3. *Methods of Test for Mortar for Masonry: Part 3. Determination of Consistence of Fresh Mortar (by Flow Table)*. Ankara, Turkey: TSE, 2000.
- Yurt Ü., Dündar B., Çınar E. Jeopolimer betonlarda sülfürik asit etkisinin araştırılması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2020; 8: 1548-1561.

Bazı Radyodiagnostik Ajanların Radyasyon Koruyucu Parametrelerinin Teorik İncelenmesi

Yusuf KAVUN^{1*}, Eyyup TEL²

¹Kahramanmaraş Sutcu Imam Univ, Vocational School of Health Services, Dept. of Medical Imaging Tech., 46100, Kahramanmaraş, Turkey

²Osmaniye Korkut Ata University, Physics Department, 80000, Osmaniye, Turkey

¹<https://orcid.org/0000-0001-9635-4388>

²<https://orcid.org/0000-0002-5422-3301>

*Corresponding author: yusufkavun@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 08.09.2021

Kabul tarihi: 07.12.2021

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Phy-X yazılımı

Radyasyon zırhlama

Gadoxetic asit

Dadopentetic asit

Fluorescein

ÖZ

Tıbbi görüntülemenin sağlık hizmetlerindeki etkisi her geçen gün artmaktadır. Bu sayede hastalıklar daha erken teşhis edilebilir ve tedaviler daha etkin bir şekilde yürütülebilir. Tıbbi görüntülemenin kullanımı teşhisin ötesine geçerek hastalık önleme ve tedavi alanlarına ulaştığından, küresel ölçekte sağlık hizmetlerinin maliyetleri de önemli ölçüde azalmaktadır. Bu çalışmada, görüntüleme kullanılan $C_{23}H_{30}GdN_3O_{11}$ (Gadoxetic asit), $C_{28}H_{54}GdN_5O_{20}$ (Gadopentetik asit) ve $C_{20}H_{12}O_5$ (Fluorescein) gibi ilaçların radyasyon koruyucu özellikleri araştırılmıştır. Bu radyasyon parametreleri, lineer ve kütle zayıflama katsayılarını (LAC, MAC), yarım ve onuncu değer katmanlarını (HVL, TVL), ortalama serbest yolu (MFP), etkin atom numarası ve elektron yoğunluğunu (Z_{eff} , N_{eff}) ve etkin iletkenlik enerjisini (C_{eff}) içerir ve bunlar Phy-X yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Bu veriler 1 keV ile 2 MeV enerji bölgesi aralığı için üretilmiştir. Elde edilen verilere göre bu enerji değerinden sonra 100 keV'a kadar saçılan verilerin birbiriyile uyumlu olduğu görülmüştür.

Theoretical Investigation of Some Radiation Shielding Parameters of Radiodiagnostic Agents

Research Article

Article History:

Received: 08.09.2021

Accepted: 07.12.2021

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Phy-X software

Radiation shielding

Gadoxetic acid

Dadopentetic acid

Fluorescein

ABSTRACT

The impact of medical imaging in health services is increasing day by day. In this way, diseases can be diagnosed earlier and treatments can be carried out more effectively. As the use of medical imaging goes beyond diagnosis and reaches the areas of disease prevention and treatment, the costs of healthcare services on a global scale are also significantly reduced. In this study, radiation shielding properties of drugs such as $C_{23}H_{30}GdN_3O_{11}$ (Gadoxetic acid), $C_{28}H_{54}GdN_5O_{20}$ (Gadopentetic acid) and $C_{20}H_{12}O_5$ (Fluorescein) used in imaging have been investigated. These radiation parameters include linear and mass attenuation coefficients (LAC, MAC), half and tenth value layers (HVL, TVL), mean free path (MFP), effective atomic number and electron density (Z_{eff} , N_{eff}) and effective conductivity (C_{eff}) energy by using Phy-X software. These data have been generated for 1 keV to 2 MeV energy region. According to the data obtained, it was seen that the data scattered up to 100 keV were compatible with each other after this energy value.

To Cite: Kavun Y., Tel E. Theoretical Investigation of Some Radiation Shielding Parameters of Radiodiagnostic Agents. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 829-839.

1. Introduction

The impact of medical imaging in health services is increasing day by day. In this way, diseases have the opportunity to be diagnosed earlier, so that treatments can be carried out more effectively. With the

expansion of usage areas, Medical imaging goes beyond diagnosis and reaches the areas of disease prevention and treatment. Thus, the costs of health services on a global scale are also significantly reduced. With the use of X-ray devices in medicine, the developments in the past 20-30 years have brought medical science to another era. In particular, the latest point reached in imaging systems, besides signing important developments in the medical world by doctors, serves human health to a great extent (Krane and Lynch, 1989).

Radiodiagnostic means radiological imaging, and information of existing diseases is obtained by this method by extracting medical images of a certain part or all of the human body. These images can be obtained by x-rays or changes in magnetic fields. Radiodiagnostic images, obtained by means of radiodiagnostic devices and providing easier diagnosis, not only provided easy diagnosis, but also helped diseases to become treatable with more specific methods (Kavun et al., 2019). so that the diseases are now diagnosed when they are in their infancy or at the beginning stage, and thus the patients; have the opportunity to be treated by being less affected by the side effects of the treatment (Martin and Tanır, 2013).

Radiation, which is the emission or transfer of energy in the form of electromagnetic waves or particles, can be emitted from natural and artificial sources. Most of the radiation received by unnatural means is of medical origin. Medical radiation is of particular importance for patients exposed to X-ray used for diagnosis or to radiotherapy and nuclear medicine applications used for diagnosis and treatment (Kavun et al., 2019b). The doses received here are larger than those from other man-made sources. For these reasons, radiation shielding materials are being developed to protect against radiation and its destructive effects (Martin and Tanır, 2013; Kavun et al., 2021).

$C_{23}H_{30}GdN_3O_{11}$ (Gadoxetic acid) improves the quality of the collected information of lesion characterization and liver lesions. It is a contrast agent developed to obtain images with high sensitivity and accuracy provided by contrast-enhanced computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI) (Bormann et al., 2015). Because of its magnetic effect, MRI examination is more sensitive to gadolinium effect than CT is more commonly used iodine. The first of the 3 reasons for this is that thin contrasted areas that cannot be selected in CT can be selected in MRI examination. Second, the dose of iodine used in CT is considerably higher than the dose of gadolinium used in MRI. Third, late-phase vascular structures can be monitored more clearly than parenchyma (Kadıyoran, 2010).

$C_{28}H_{54}GdN_5O_{20}$ (Gadopentetic acid), a gadolinium-based MR contrast agent, is used for Imaging blood vessels and inflamed or diseased tissue where blood vessels are leaking. It is often used when imaging intracranial lesions with abnormal vascularity or abnormalities in the blood–brain barrier. It is injected intravenously (Murphy et al., 1996).

$C_{20}H_{12}O_5$ (Fluorescein) is a fluorophore widely used in the microscope, dye laser, forensics, and serology to detect occult blood spots and in dye tracking. It appears yellow-green in normal tear film and bright green in a more alkaline environment such as aqueous humor (Gessner, 2000). It is a

phthalic indicator dye used therapeutically as an aid in the diagnosis of corneal injuries and corneal trauma (Duvall and Kershner, 2006).

Radio frequency (RF) shielding of an MR scanner is mandatory (Seunghoon et al., 2010). With this shielding, foreign electromagnetic radiation can be prevented from contaminating/distorting the MR signal, and is to prevent electromagnetic radiation generated by the MR scanner from causing interference to nearby medical devices (Weibler, 1993). In addition to all these, the basis of radiation protection is to reduce the exposure dose to which individuals are exposed. For this reason, the radiation shielding properties of the material used in radiation protection should be known and the radiation absorption properties of this material and its effectiveness in protecting living tissue should be known (Knoll and Kraner, 1981; Krane and Lynch, 1989).

In this study, radiation shielding properties of drugs such as $C_{23}H_{30}GdN_3O_{11}$ (Gadoxetic acid), $C_{28}H_{54}GdN_5O_{20}$ (Gadopentetic acid) and $C_{20}H_{12}O_5$ (Fluorescein) used in imaging have been investigated. These radiation parameters include linear and mass attenuation coefficients (LAC, MAC), half and tenth value layers (HVL, TVL), mean free path (MFP), effective atomic number and electron density (Z_{eff} , N_{eff}) and effective conductivity (C_{eff}) energy by using Phy-X software (Şakar et al., 2020). These data have been generated for 1 keV to 2 MeV energy region. According to the data obtained, it was seen that the data scattered up to 100 keV were compatible with each other after this energy value.

2. Materials and Methods

Online Photon Shielding and Dosimetry (PSD) software has been developed for calculating parameters related to shielding and dosimetry. Phy-X / PSD online software (Şakar et al., 2020) is running on remote server and operating system is Ubuntu. The linear and mass attenuation coefficients (LAC, MAC), half and tenth value layers (HVL, TVL), mean free path (MFP), effective atomic number and electron density (Z_{eff} , N_{eff}), effective conductivity (C_{eff}) energy absorption parameters can be calculated by using Phy-X software (Şakar et al., 2020). It can generate data in the continuous energy region of 1 keV-100 GeV (Şakar et al., 2020). In order to calculate the radiation protection parameters of any material, users must register with the Phy-X platform with their academic e-mail addresses. There are three steps required for calculation in the software: Definition of materials, Selection of energies and Selection of parameters to be calculated (Şakar et al., 2020).

In the Eq.(1), The linear absorption coefficient (LAC) can be calculated with the Beer–Lambert law (Agar, 2018):

$$\mu = \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) / (-x) \quad (\text{cm}^{-1}) \quad (1)$$

Here, x is material thickness and I is the number of photon reaching the detector by interacting with the thin film, and I_0 is the number of photon reaching the detector without interacting with the material.

The Mass Attenuation Coefficient (MAC) (μ_m) is given in Eq. (2) for a compound and mixture (Eskalen et al., 2020):

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \sum w_i \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_i \quad (\text{cm}^2/\text{g})$$

(2)

here, w_i is the weight fraction and ρ is density and the mass attenuation coefficient is given by $\left(\frac{\mu}{\rho} \right)_i$ for elements in the compound (Sim et al., 2021) (Eskalen et al., 2020).

The required thicknesses to reduce the radiation intensities by one half and one tenth are HVL and TVL, respectively (Şakar et al., 2020);

$$HVL = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (\text{cm})$$

(3)

$$TVL = \frac{\ln 10}{\mu} \quad (\text{cm})$$

(4)

The Mean Free Path (MFP) is average distance of photon moves without interacting with the material (Şakar et al., 2020);

$$MFP = \frac{1}{\mu} \quad (\text{cm})$$

(5)

Equation (8) and (9) represents the effective atomic number (Z_{eff}) and effective electron density (N_{eff}). They can be used in the interaction of dosimeters with radiation and in the calculation of radiation interactions with tissues (Un and Caner, 2014; Şakar et al., 2020).

$$Z_{eff} = \frac{\sigma_a}{\sigma_{e^-}}$$

$$(8) N_{eff} = \frac{(\mu/\rho)m}{\sigma_{e^-}} \quad (6.02 \times 10^{23} \text{ e}^-/\text{g})$$

(9)

σ_a is effective atomic cross section and it is given in eq. 10:

$$\sigma_a = \frac{1}{N_A} \sum f_i A_i \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_i$$

(10)

f_i is the fractional abundance of the element and effective electronic cross section is given in eq.11 as follows:

$$\sigma_e = \frac{1}{N_A} \sum \frac{f_i A_i}{Z_i} \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_i$$

(11)

Z_i is the atomic number of i th element (Un and Caner, 2014):

Effective conductivity of materials is directly proportional to the C_{eff} and given by following equation (Şakar et al., 2020):

$$C_{eff} = \left(\frac{N_{eff} \rho e^2 \tau}{m_e} \right) 10^3$$

(12)

Here, e (C) is charge mass of electron and m_e (kg) is mass of electron. τ (s) is relaxation time of the electron at the Fermi Surface (Şakar et al., 2020).

3. Results and Discussion

In this study, in order to know the radiation absorption amount of $C_{23}H_{30}GdN_3O_{11}$ (Gadoxetic acid), $C_{28}H_{54}GdN_5O_{20}$ (Gadopentetic acid) and $C_{20}H_{12}O_5$ (Fluorescein) drugs in the body, some radiation shielding parameters have been investigated. According to this theoretical investigation that is made by using Phy-X software we made between 1 keV and 2 MeV energies, the LAC values varies between 3061.419 and 0.05 cm^{-1} for $C_{23}H_{30}GdN_3O_{11}$. Depending on LAC values, the MAC value varies between 2813.546 and $0.046 \text{ cm}^2/\text{g}$. Similar to this, HVL values varies between 0.0002 and 13.879 cm. TVL and MFP values are 0.008 and 0.0003 cm at 1 keV and 46.105 and 20.023 cm at 2 MeV energy respectively. Z_{eff} values have been fluctuated between 8.40 and 5.17 and N_{eff} have similar behavior between 5.04×10^{23} and 3.11×10^{23} electrons/g. Lastly, C_{eff} values have been obtained between 3.96×10^8 and 2.44×10^8 s/m. These values can be seen in Table 1. Also, Figure 1 illustrates of these values detailly.

Table 1. Radiation shielding parameters of $C_{23}H_{30}GdN_3O_{11}$ (Gadoxetic acid) by using Phy-X software

Energy (MeV)	MAC (cm^2/g)	LAC ($1/cm$)	HVL (cm)	TVL (cm)	MFP (cm)	Z_{eff}	N_{eff} (electrons/g)	C_{eff} (S/m)
1.00E-03	2813.546	3061.419	0.000	0.001	0.000	8.40	5.04E+23	3.96E+08
1.50E-03	1913.316	2081.879	0.000	0.001	0.000	15.30	9.19E+23	7.22E+08
2.00E-03	1106.423	1203.899	0.001	0.002	0.001	18.68	1.12E+24	8.82E+08
3.00E-03	399.634	434.842	0.002	0.005	0.002	20.96	1.26E+24	9.89E+08
4.00E-03	190.352	207.122	0.003	0.011	0.005	22.61	1.36E+24	1.07E+09
5.00E-03	106.334	115.702	0.006	0.020	0.009	23.90	1.44E+24	1.13E+09
6.00E-03	65.890	71.695	0.010	0.032	0.014	24.95	1.50E+24	1.18E+09
8.00E-03	99.188	107.927	0.006	0.021	0.009	44.39	2.67E+24	2.09E+09
1.00E-02	64.867	70.582	0.010	0.033	0.014	47.21	2.84E+24	2.23E+09
1.50E-02	22.426	24.402	0.028	0.094	0.041	46.94	2.82E+24	2.21E+09
2.00E-02	10.517	11.443	0.061	0.201	0.087	44.42	2.67E+24	2.10E+09
3.00E-02	3.659	3.981	0.174	0.578	0.251	36.04	2.17E+24	1.70E+09
4.00E-02	1.776	1.933	0.359	1.191	0.517	27.47	1.65E+24	1.30E+09
5.00E-02	1.048	1.141	0.608	2.019	0.877	20.94	1.26E+24	9.88E+08
6.00E-02	2.857	3.108	0.223	0.741	0.322	37.39	2.25E+24	1.76E+09
8.00E-02	1.418	1.543	0.449	1.492	0.648	27.52	1.65E+24	1.30E+09
1.00E-01	0.841	0.915	0.757	2.516	1.093	20.59	1.24E+24	9.72E+08
1.50E-01	0.364	0.396	1.752	5.821	2.528	11.96	7.18E+23	5.64E+08
2.00E-01	0.228	0.248	2.796	9.290	4.034	8.71	5.23E+23	4.11E+08
3.00E-01	0.142	0.155	4.474	14.864	6.455	6.52	3.92E+23	3.08E+08
4.00E-01	0.113	0.123	5.654	18.782	8.157	5.83	3.50E+23	2.75E+08
5.00E-01	0.097	0.106	6.556	21.778	9.458	5.54	3.33E+23	2.61E+08
6.00E-01	0.087	0.095	7.309	24.279	10.544	5.39	3.23E+23	2.54E+08
8.00E-01	0.074	0.081	8.575	28.486	12.371	5.24	3.15E+23	2.47E+08
1.00E+00	0.066	0.072	9.671	32.128	13.953	5.17	3.11E+23	2.44E+08
1.50E+00	0.053	0.058	11.998	39.856	17.309	5.13	3.08E+23	2.42E+08
2.00E+00	0.046	0.050	13.879	46.105	20.023	5.17	3.11E+23	2.44E+08

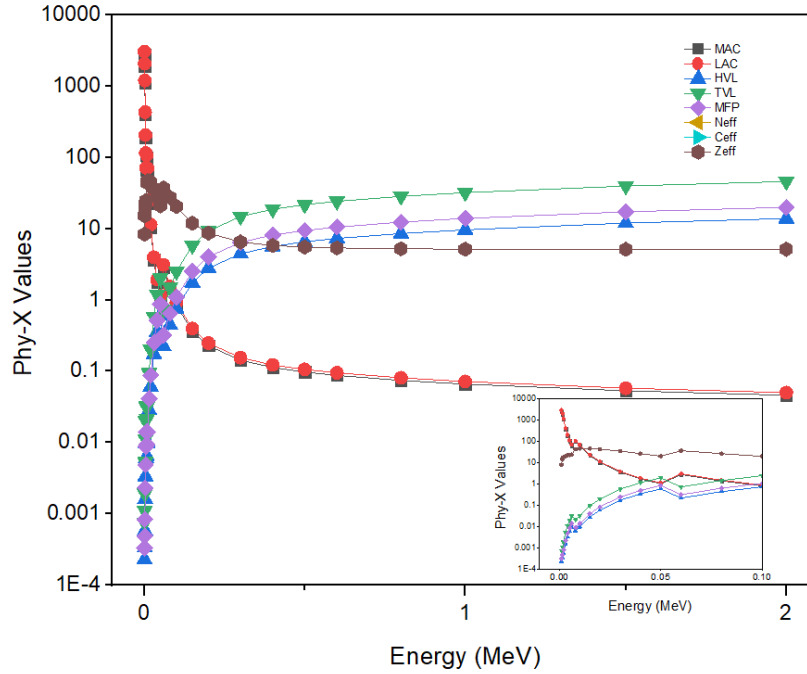


Figure 1. The obtained Phy-X software data of $C_{23}H_{30}GdN_3O_{11}$

The radiation shielding values for $C_{28}H_{54}GdN_5O_{20}$ can be seen in Figure 2. The LAC values varies between 8671.355 and 0.135 cm^{-1} for $C_{28}H_{54}GdN_5O_{20}$. The MAC value varies between 2990.122 and $0.047 \text{ cm}^2/\text{g}$. Similar to this, HVL values varies between 0.00008 and 5.125 cm. TVL and MFP values are 0.00027 and 0.00012 cm at 1 keV and 17.024 and 7.393 cm at 2 MeV energy respectively. Z_{eff} values have been fluctuated between 8.09 and 4.56 and N_{eff} have similar behavior between $5.61 \cdot 10^{23}$ and $3.16 \cdot 10^{23}$ electrons/g. Lastly, C_{eff} values have been obtained between $1.17 \cdot 10^9$ and $6.62 \cdot 10^8$ s/m. These values can be seen in Table 2.

Table 2. Radiation shielding parameters of $C_{28}H_{54}GdN_5O_{20}$ (Gadopentetic acid) by using Phy-X software

Energy (MeV)	MAC (cm^2/g)	LAC (1/cm)	HVL (cm)	TVL (cm)	MFP (cm)	Z_{eff}	N_{eff} (electrons/g)	C_{eff} (S/m)
1.00E-03	2990.122	8671.355	0.000	0.000	0.000	8.09	$5.61\text{E}+23$	$1.17\text{E}+09$
1.50E-03	1705.602	4946.245	0.000	0.000	0.000	12.85	$8.91\text{E}+23$	$1.86\text{E}+09$
2.00E-03	944.494	2739.032	0.000	0.001	0.000	15.32	$1.06\text{E}+24$	$2.22\text{E}+09$
3.00E-03	333.927	968.388	0.001	0.002	0.001	17.02	$1.18\text{E}+24$	$2.47\text{E}+09$
4.00E-03	156.921	455.072	0.002	0.005	0.002	18.28	$1.27\text{E}+24$	$2.65\text{E}+09$
5.00E-03	86.812	251.755	0.003	0.009	0.004	19.28	$1.34\text{E}+24$	$2.80\text{E}+09$
6.00E-03	53.392	154.837	0.004	0.015	0.006	20.11	$1.39\text{E}+24$	$2.92\text{E}+09$
8.00E-03	74.405	215.775	0.003	0.011	0.005	38.38	$2.66\text{E}+24$	$5.57\text{E}+09$
1.00E-02	48.337	140.179	0.005	0.016	0.007	41.50	$2.88\text{E}+24$	$6.02\text{E}+09$
1.50E-02	16.680	48.371	0.014	0.048	0.021	41.07	$2.85\text{E}+24$	$5.96\text{E}+09$
2.00E-02	7.833	22.715	0.031	0.101	0.044	38.10	$2.64\text{E}+24$	$5.53\text{E}+09$
3.00E-02	2.752	7.981	0.087	0.289	0.125	29.19	$2.02\text{E}+24$	$4.24\text{E}+09$
4.00E-02	1.360	3.944	0.176	0.584	0.254	21.23	$1.47\text{E}+24$	$3.08\text{E}+09$

5.00E-02	0.821	2.381	0.291	0.967	0.420	15.80	1.10E+24	2.29E+09
6.00E-02	2.131	6.179	0.112	0.373	0.162	30.33	2.10E+24	4.40E+09
8.00E-02	1.079	3.130	0.221	0.736	0.319	21.14	1.47E+24	3.07E+09
1.00E-01	0.657	1.905	0.364	1.209	0.525	15.45	1.07E+24	2.24E+09
1.50E-01	0.305	0.883	0.785	2.607	1.132	9.08	6.29E+23	1.32E+09
2.00E-01	0.202	0.587	1.181	3.924	1.704	6.86	4.76E+23	9.97E+08
3.00E-01	0.135	0.393	1.766	5.866	2.547	5.42	3.76E+23	7.87E+08
4.00E-01	0.110	0.320	2.165	7.191	3.123	4.98	3.45E+23	7.23E+08
5.00E-01	0.097	0.280	2.473	8.214	3.567	4.79	3.32E+23	6.95E+08
6.00E-01	0.087	0.254	2.734	9.082	3.944	4.69	3.25E+23	6.81E+08
8.00E-01	0.075	0.218	3.181	10.567	4.589	4.60	3.19E+23	6.67E+08
1.00E+00	0.067	0.194	3.574	11.871	5.156	4.55	3.16E+23	6.61E+08
1.50E+00	0.054	0.157	4.421	14.687	6.379	4.53	3.14E+23	6.57E+08
2.00E+00	0.047	0.135	5.125	17.024	7.393	4.56	3.16E+23	6.62E+08

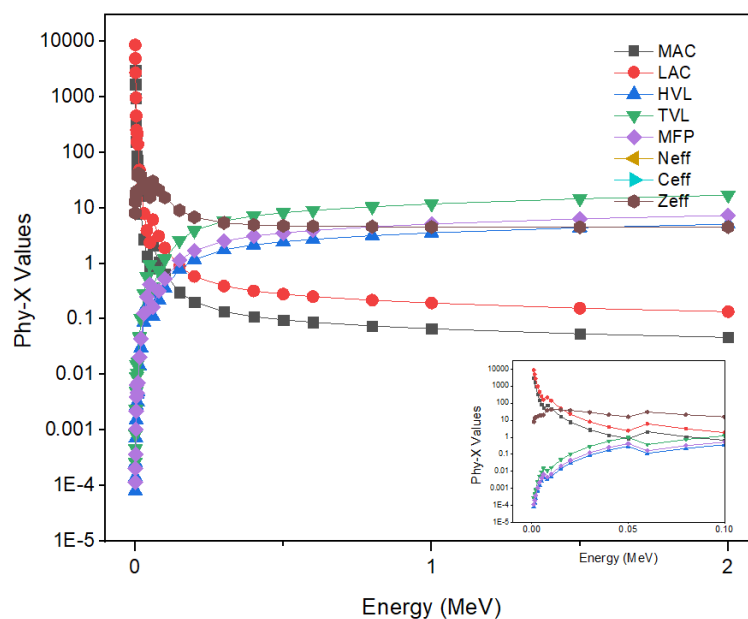


Figure 2. The obtained Phy-X software data of $C_{28}H_{54}GdN_5O_{20}$

$C_{20}H_{12}O_5$ data can be seen in Figure 3 that is calculated to determine of radiation shielding properties. The LAC values starts from 4330.560 cm^{-1} at 1 keV and it changes up to 0.071 cm^{-1} at 2 MeV energy. In these energy ranges, the MAC value have been varied between 2703,221 and $0,046 \text{ cm}^2/\text{g}$. HVL values have been changed between 0.00016 and 9.398 cm. TVL and MFP values are 0.00053 and 0.00023 cm at 1 keV and 31.218 and 13.558 cm at 2 MeV energy, respectively. Z_{eff} values have been changed between 6.68 and 4.66 and N_{eff} have similar behavior between $4.48 \cdot 10^{23}$ and $3.12 \cdot 10^{23}$ electrons/g. Lastly, C_{eff} values have been obtained between $5.18 \cdot 10^8$ and $3.61 \cdot 10^8$ s/m. All these values can be seen in Table 3.

Table 3. Radiation shielding parameters of C₂₀H₁₂O₅ (Fluorescein) by using Phy-X software

Energy (MeV)	MAC (cm ² /g)	LAC (1/cm)	HVL (cm)	TVL (cm)	MFP (cm)	Z _{eff}	N _{eff} (electrons/g)	C _{eff} (S/m)
1.00E-03	2703.221	4330.560	0.000	0.001	0.000	6.68	4.48E+23	5.18E+08
1.50E-03	879.230	1408.526	0.000	0.002	0.001	6.71	4.50E+23	5.20E+08
2.00E-03	386.053	618.457	0.001	0.004	0.002	6.73	4.51E+23	5.22E+08
3.00E-03	117.569	188.345	0.004	0.012	0.005	6.74	4.52E+23	5.23E+08
4.00E-03	49.752	79.703	0.009	0.029	0.013	6.75	4.53E+23	5.23E+08
5.00E-03	25.366	40.636	0.017	0.057	0.025	6.75	4.52E+23	5.23E+08
6.00E-03	14.595	23.381	0.030	0.098	0.043	6.74	4.52E+23	5.22E+08
8.00E-03	6.122	9.807	0.071	0.235	0.102	6.69	4.48E+23	5.19E+08
1.00E-02	3.162	5.066	0.137	0.454	0.197	6.60	4.43E+23	5.12E+08
1.50E-02	1.039	1.665	0.416	1.383	0.601	6.25	4.19E+23	4.85E+08
2.00E-02	0.541	0.867	0.799	2.656	1.153	5.84	3.91E+23	4.53E+08
3.00E-02	0.289	0.463	1.496	4.971	2.159	5.24	3.51E+23	4.06E+08
4.00E-02	0.225	0.360	1.924	6.390	2.775	4.96	3.32E+23	3.84E+08
5.00E-02	0.199	0.318	2.177	7.231	3.140	4.83	3.24E+23	3.74E+08
6.00E-02	0.185	0.296	2.345	7.790	3.383	4.76	3.19E+23	3.69E+08
8.00E-02	0.168	0.269	2.575	8.553	3.715	4.71	3.16E+23	3.65E+08
1.00E-01	0.157	0.252	2.748	9.127	3.964	4.68	3.14E+23	3.63E+08
1.50E-01	0.140	0.224	3.096	10.284	4.466	4.66	3.13E+23	3.62E+08
2.00E-01	0.127	0.204	3.394	11.274	4.896	4.66	3.12E+23	3.61E+08
3.00E-01	0.111	0.177	3.914	13.003	5.647	4.65	3.12E+23	3.61E+08
4.00E-01	0.099	0.158	4.374	14.529	6.310	4.65	3.12E+23	3.61E+08
5.00E-01	0.090	0.145	4.791	15.916	6.912	4.65	3.12E+23	3.61E+08
6.00E-01	0.083	0.134	5.182	17.214	7.476	4.65	3.12E+23	3.61E+08
8.00E-01	0.073	0.117	5.901	19.603	8.513	4.65	3.12E+23	3.61E+08
1.00E+00	0.066	0.106	6.564	21.803	9.469	4.65	3.12E+23	3.61E+08
1.50E+00	0.054	0.086	8.064	26.787	11.633	4.65	3.12E+23	3.61E+08
2.00E+00	0.046	0.074	9.398	31.218	13.558	4.66	3.12E+23	3.61E+08

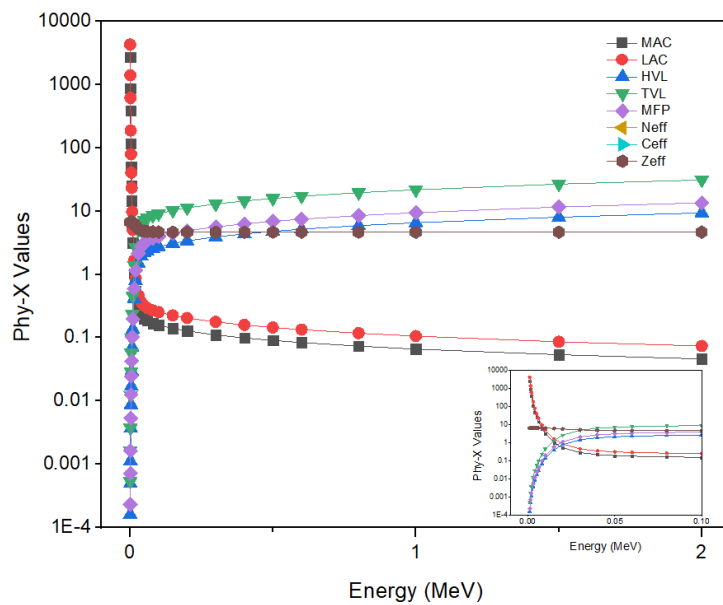


Figure 3. The obtained Phy-X software data of C₂₀H₁₂O₅

4. Conclusions

In this study, radiation shielding properties of $C_{23}H_{30}GdN_3O_{11}$ (Gadoxetic acid), $C_{28}H_{54}GdN_5O_{20}$ (Gadopentetic acid) and $C_{20}H_{12}O_5$ (Fluorescein) imaging agents were investigated in order to measure the radiation permeability in the body. These radiation shielding parameters are linear and mass attenuation coefficients (LAC, MAC), half and tenth value layers (HVL, TVL), mean free path (MFP), effective atomic number and electron density (Z_{eff} , N_{eff}) and effective conductivity (C_{eff}) energy have been calculated theoretically by using the Phy-X software. These calculations have been performed between 1 keV and 2 MeV energy range. According to the obtained values, The LAC and MAC values decreased continuously up to 2 MeV energy. As can be seen from these results, these compounds interact with radiation particles. On the contrary, it was observed that the values of HVL, TVL and MFP increased as the energy increased. As can be seen from these results, the radiation permeability of these compounds is low. Z_{eff} , N_{eff} and C_{eff} values other than these did not show dependence on energy and different values were obtained at different energies, that is, a fluctuation was observed. According to all these results, it has been observed that $C_{23}H_{30}GdN_3O_{11}$ (Gadoxetic acid), $C_{28}H_{54}GdN_5O_{20}$ (Gadopentetic acid) and $C_{20}H_{12}O_5$ (Fluorescein) imaging agents have high efficiency at low energies. Thus, it was concluded that these compounds can be used efficiently in image acquisition.

Acknowledgment

This study was supported by the Scientific Research Projects Coordination Unit of Kahramanmaraş Sütçü İmam University. Project numbers 2020/7-18 M, 2020/7-19 and 2021/3-2 YLS.

Statement of Conflict of Interest

Authors have declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

References

- Agar O. Study on gamma-ray shielding performance of concretes doped with natural sepiolite mineral. *Radiochimica Acta* 2018; 106(12): 1009-1016.
- Bormann RL., Rocha EL. da, Kierzenbaum ML., Pedrassa BC., Torres LR., D'Ippolito G. The role of gadoxetic acid as a paramagnetic contrast medium in the characterization and detection of focal liver lesions: A review. *Radiologia Brasileira* 2015; 48: 43.
- Duvall B., Kershner RM. *Ophthalmic medications and pharmacology*. 1998; 17(4): 151-158.
- Gessner T. Triarylmethane and diarylmethane dyes, in: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Ullmann's Encycl. 7th. ed. Ind. Chem. 2000.

- Eskalen H., Kavun Y., Kerli S., Eken S. An investigation of radiation shielding properties of boron doped ZnO thin films. *Optical Materials* 2020; 105: 109871.
- Martin JE., Tanır G. Radyasyon ve radyasyondan korunma fiziği : Sağlık fiziği uygulamalı. 2020th ed: Palme Yayıncılık; 2013.
- Kadiyoran C. Gastrointestinal maligniteli hastalarda karaciğer metastazlarının manyetik rezonans ile saptanmasında gadoksetik asit ve gadopentate ddmegluminin etkinliğinin karşılaştırılması. Selçuk Üniversitesi Meram Tıp Fakültesi uzmanlık tezi, Sayfa 97, Konya, Türkiye 2010.
- Kavun Y., Eskalen H., Kerli S., Kavgaci M. Fabrication and characterization of $GdxFe_2O_3(100-x)/PVA$ ($x=0, 5, 10, 20$) composite films for radiation shielding. *Applied Radiation and Isotopes* 2021; 177: 109918.
- Kavun Y., Tel E., Şahan M., Salan A. Nükleer tıpta kullanılan bazı radyofarmasötiklerin üretim reaksiyon tesir kesitlerinin yoğunluğa bağlı yeni parametrelerle hesaplanması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Derg. 2019; 57–61.
- Kavun Y., Uruş S., Tutuş A., Eken S., Özbek R. Investigation of radiation absorption properties of tungstate and molibdate doped wallpapers. *Cumhuriyet Science Journal* 2019; 40: 846–853.
- Knoll GF., Kraner HW. Radiation detection and measurement. *Proceedings of the IEEE* 1981.
- Krane KS., Lynch WG. *Introductory nuclear physics. Physics Today* 1989.
- Murphy KJ., Brunberg JA., Cohan RH. Adverse reactions to gadolinium contrast media: A review of 36 Cases. *AJR.* 1996; 167(4): 847-849.
- Şakar E., Özpolat., Alım ÖF., Sayyed B., Kurudirek MI. Phy-X / PSD: Development of a user friendly online software for calculation of parameters relevant to radiation shielding and dosimetry. *Radiation Physics and Chemistry* 2020; 166: 108496.
- Ha S., Hamamura MJ, Roeck WW., Muftuler LT., Nalcioglu O. Development of a new RF coil and gamma-ray radiation shielding assembly for improved MR image quality in SPECT/MRI. *Physics in Medicine & Biology* 2010; 55: 2495-2504.
- Sim S., Jeon D., Kim DH., Yum WS., Yoon S., Oh JE. Incorporation of copper slag in cement brick production as a radiation shielding material. *Applied Radiation and Isotopes* 2021; 176: 109851.
- Un A., Caner T. The direct-zeff software for direct calculation of mass attenuation coefficient, effective atomic number and effective electron number. *Annals of Nuclear Energy* 2014; 65: 158-165.
- Weibler J. *Properties of metals used for RF shielding. EMC Test Des.* 1993.

Helichrysum plicatum Çiçeklerinin Su, Etanol, Aseton, Kloroform ve Hekzan Ekstrelerinin Antioksidan Aktivitelerinin Belirlenmesi

Elife KAYA^{1*}

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, 46100, Kahramanmaraş

¹<https://orcid.org/0000-0001-7213-3601>

*Sorumlu yazar: elife_kaya@hotmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 20.12.2021

Kabul tarihi: 02.02.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Helichrysum plicatum

Antioksidan aktivite

CUPRAC

ABTS

DPPH

ÖZ

Helichrysum plicatum Asteraceae familyasına ait tek yıllık çiçekli bir bitki olup, halk arasında çeşitli rahatsızlıkların tedavisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Anadolu'da genel olarak "mantuvar, ölmez çiçek ve altın otu" olarak bilinen *Helichrysum* böbrek taşlarını düşürmek amacıyla, soğuk algınlığı, şeker hastalığı ve mide rahatsızlıklarına karşı da kullanılmaktadır. Bu çalışmada, *Helichrysum plicatum*'un çiçeklerinin farklı polariteye sahip çözücülerle (su, etanol, aseton, kloroform, hekzan) hazırlanmış ekstrelerinin antioksidan aktiviteleri araştırılmıştır. Ekstrelerin farklı konsantrasyonlardaki (10-80 µg/ml) antioksidan aktiviteleri, Bakır (II) indirgeme (CUPRAC), ABTS (2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit)) ve DPPH (1,1-Difenil 2-pikril hidrazil) yöntemleriyle belirlenmiş olup, sonuçlar BHT, BHA ve Troloks standart antioksidan maddelerle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bitkinin farklı çözücülerle elde edilen ekstrelerine ait antioksidan aktivitelerinin, standart antioksidan maddelerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte CUPRAC ve DPPH yöntemlerinde su ekstresi, ABTS yönteminde ise etanol ekstresi, diğer ekstrelerden daha yüksek antioksidan aktivite göstermiştir. Bu sonuçlar, *Helichrysum plicatum*'un çiçek özütlerinin kozmetik, farmasötik ve gıda endüstrilerinde çeşitli uygulamalar için ulaşılabilir doğal antioksidan kaynaklar olduğunu ortaya koymuştur.

Determination of Antioxidant Activities of Water, Ethanol, Acetone, Chloroform and Hexane Extracts of *Helichrysum plicatum* Flowers

Research Article

Article History:

Received: 20.12.2021

Accepted: 02.02.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Helichrysum plicatum

Antioxidant activity

CUPRAC

ABTS

DPPH

ABSTRACT

Helichrysum plicatum is an annual flowering plant from the Asteraceae family and is widely used in the treatment of various ailments among the people. *Helichrysum*, which is generally known as "mantuvar, ölmez çiçek and altın otu" in Anatolia, is also used against colds, diabetes and stomach ailments in order to reduce kidney stones. In this study, antioxidant activities were investigated in flower extracts of *Helichrysum plicatum* prepared with solvents of different polarities (water, ethanol, acetone, chloroform, and hexane). The antioxidant activities of the extracts at different concentrations (10-80 µg/ml) were determined by Copper (II) reduction (CUPRAC), ABTS (2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid)) and DPPH (1,1-Diphenyl 2-picryl hydrazil) methods. The results were evaluated by comparing them with BHT, BHA and Trolox standard antioxidant substances. It was determined that the antioxidant activities of the extracts of the plant obtained with different solvents were lower than the standard antioxidant substances. However, water extract in the CUPRAC and DPPH methods and ethanol extract in ABTS method showed higher antioxidant activity than other extracts. These results demonstrate that flower extracts of *Helichrysum plicatum* are available natural antioxidant sources for a variety

1.Giriş

Asteraceae (Papatyagiller) ailesinden olan *Helichrysum plicatum* 'un dünyada yaklaşık altı yüz çeşidi bulunmaktadır. *Helichrysum* adı Yunanca “dönen” ve “altın” isimlerinden gelmektedir. Türkiye florasında 14’ü endemik olmak üzere yaklaşık 20 *Helichrysum* türü bulunmaktadır. Halk arasında “ölmez çiçek, altınotu ve mantuvar” olarak da bilinen bitki, başta sindirimi kolaylaştırma olmak üzere safra artırıcı ve idrar söktürücü olarak, böbrek taşlarının düşürülmesinde, yara ve yanıkların tedavisinde kullanılmaktadır (Davis ve ark., 1988; Erik ve ark., 2000).

Helichrysum türlerinin bitki özleri, kimyasal içerikleri ve polar ekstreleri, antioksidan, anti-inflamatuar, antidiyabetik, antiviral, antimikrobiyal ve antimitojenik gibi birçok biyolojik aktivite göstermektedir (Meyer ve ark., 1997; Schinella ve ark., 2002; Aslan ve ark., 2007; Demir ve ark., 2009; Özbek ve ark., 2009; Bigovic ve ark., 2010). *Helichrysum* türleri flavonoidler, fenolik asitler, kumarinler, pironlar ve terpenler gibi sekonder metabolitleri önemli miktarda içermektedir. Flavonoid bileşiklerini içeren bitkilerin güçlü antioksidan etkilere sahip olduğu bilinmektedir. Antioksidan özellikler, özellikle radikal temizleyici faaliyetler, serbest radikallerin kozmetikte, gıdalarda ve biyolojik maddelerde neden oldukları zararlı etkilerin önlenmesi açısından çok önemlidir. Aşırı serbest radikal oluşumu, gıdalardaki lipitlerin oksidasyonunu hızlandırır ve gıda kalitesini de azaltır (Gülçin, 2006; Min, 1998). Bitkilerin doğal bir antioksidan kaynağı olması ve gıda maddelerinde ürünün raf ömrünü uzatabilmelerinden dolayı antioksidanlara olan ilgi ve kullanım olanaklarının araştırılması üzerine yapılan çalışmalarda da önemli bir artış bulunmaktadır (Jayaprakasha ve Rao, 2000; Akbaş ve ark., 2017). Ayrıca bitki ürünlerinin standardizasyonu, fitokimyasal analizleri için uygun ekstraksiyon yöntemleri ve farklı çözücüler kullanıldığında biyolojik aktivitelerinde farklılıkların olduğu da bilinmektedir (Azwanida, 2015).

Bu çalışmada, *Helichrysum plicatum* 'un çiçeklerinin farklı polariteye sahip çözücülerle (su, etanol, aseton, kloroform, hekzan) hazırlanmış ekstrelerinin farklı konsantrasyonlardaki antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1.Bitki temini

Çalışma kapsamında kullanılan *Helichrysum plicatum* bitkisi, 2020 yılı Ağustos ayı içerisinde Kahramanmaraş ili Andırın ilçesinden toplandı. Bitkinin tür teşhisi Dr. Öğr. Üyesi Seyran PALABAŞ UZUN tarafından yapıldı. KASOF-2983 herbaryum numarası ile Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Fakültesi Herbaryumunda (KASOF) saklandı.

2.2. Bitki ekstralarının hazırlanması

Bitkinin çiçek kısımları analizler için kullanıldı. Bitki ekstraları için, kurumuş çiçek kısımları blender (Waring Commercial) yardımıyla toz haline getirildi. Daha sonra farklı polaritedeki çözücüler için, (1:20 oranında) 10 gr bitki üzerine 200 ml çözücüler eklendi ve manyetik karıştırıcı üzerinde 24 saat boyunca karıştırıldı. Bitki ekstraları Whatman No.1 filtre kâğıdından süzöldü ve toplanan ekstralardan çözücüler 40°C’de evaporatör kullanılarak uzaklaştırıldı (Gölçin, 2005). Elde edilen ekstralar analizlerde kullanılmak üzere 4 °C’de muhafaza edildi. Su ekstresi için, süzölen ekstre, -20°C de dondurularak 18 saat boyunca liyofilize edildi. Tüm analizlerde stok çözeltiler kullanıldı.

2.3. Antioksidan Aktivite Tayin Yöntemleri

2.3.1. Bakır (II) indirgeme antioksidan aktivite (CUPRAC) yöntemi

Bitkinin farklı ekstralarının kuprik iyonu (Cu²⁺) indirgeme aktiviteleri Apak ve ark. (2004)’nın kullandığı metoda göre gerçekleştirildi. Bunun için deney tüplerine 1x10⁻² M’lık CuCl₂ çözeltisi, 7,5x10⁻³ M’lık neokuproin çözeltisi ve 1 M’lık amonyum asetat tampon çözeltisi eklendikten sonra farklı konsantrasyonlarda hazırlanan (10-80 µg/ml) ekstralardan de ilave edilerek 450 nm’de köre karşı absorbans değerleri kaydedildi. Uygulamalar üç tekrarlı olarak yapıldı. Standart olarak BHT, BHA ve Troloks kullanıldı.

2.3.2. ABTS⁺ radikali giderme aktivitesi yöntemi

Bitki çiçeklerinin farklı çözücülerle hazırlanan ekstralarının ABTS radikali giderme aktivitesi Re ve ark. (1999)’nın geliştirdiği metoda göre belirlendi. Öncelikle 7 mM olarak hazırlanan ABTS çözeltisi 2,45 mM potasyum persülfat çözeltisi ile karıştırılıp ABTS⁺⁺ radikali elde edildi. Oluşturulan bu radikal çözeltisi kullanılmadan önce 734 nm’deki absorbans, 0,1 M ve pH=7 olan fosfat tamponu ile 0,700±0,02 nm’ye ayarlandı. Farklı konsantrasyonlarda (10-80 µg/ml) hazırlanan ekstraların üzerine 1 ml ABTS⁺⁺ radikal çözeltisi ilave edildikten sonra 30 dk bekletiletek 734 nm’deki absorbanslar kaydedildi. Standart olarak BHT, BHA ve Troloks kullanıldı. Uygulamalar üç tekrarlı olarak yapıldı, ekstraların ve standartların % inhibisyonları Eşitlik 1.deki gibi hesaplandı.

$$\%inhibisyon: \frac{A_{kontrol} - A_{örnek}}{A_{kontrol}} \times 100 \quad (1)$$

2.3.3. DPPH serbest radikallerini giderme aktivitesi yöntemi

Bitkinin farklı ekstralarının serbest radikal giderme aktivitesi tayini 1,1-difenil-2-pikril-hidrazil (DPPH) radikali kullanılarak Blois (1958)’e göre yapıldı. Hazırlanan ekstralarının (10-80 µg/ml) konsantrasyonlarının üzerine 10⁻³ M’lık DPPH radikali çözeltisinden 1 ml ilave edilerek etanolle hacimleri tamamlandı. 30 dakika boyunca oda sıcaklığında bekletildikten sonra 517 nm’deki

absorbansları kaydedildi. Standart olarak BHT, BHA ve Troloks kullanıldı. Aynı işlem üç kez tekrarlı olarak yapıldı. % inhibisyon değerleri Eşitlik 1. deki gibi hesaplandı.

2.4. İstatistiksel analizler

İstatistiksel analizler SPSS programı (standart versiyon 20) ile yapıldı. Tek yönlü varyans analizi (one way ANOVA) uygulanmıştır. Denemeler üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. $p < 0,05$ düzeyindeki farklılıklar anlamlıdır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Ekstraksiyon Verimi

Helichrysum plicatum çiçekleri öğütüldükten sonra su, etanol, aseton, kloroform, hekzan kullanılarak beş farklı çözücü ile ekstre edildi. Ekstrelerin verimleri Tablo 1’de verilmiştir. Tabloya göre en yüksek verim % 2,9 olarak su ekstresinde elde edilirken, en düşük verim ise % 0,9 olarak hekzan ekstresinde elde edilmiştir.

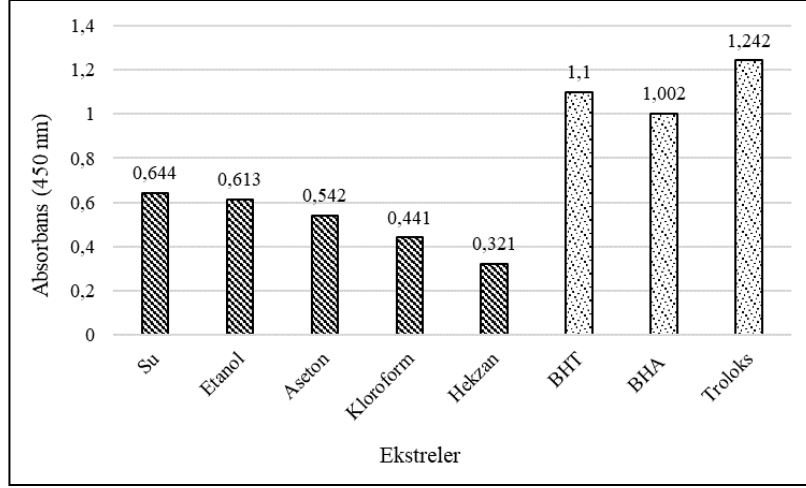
Tablo 1. *Helichrysum plicatum*’un çeşitli çözücülerdeki % ekstraksiyon verimi

Ekstraksiyon çözücüsü	% Verim
Su	2,9
Etanol	2,1
Aseton	1,7
Kloroform	1,2
Hekzan	0,9

3.2. Antioksidan Aktivite Sonuçları

3.2.1. CUPRAC yöntem sonuçları

Bitki çiçeklerinden elde edilen farklı çözücü ekstrelerinin kuprik iyonlarını (Cu^{2+}) indirgeme kapasitesi, farklı konsantrasyon aralıklarındaki çözeltilerin 450 nm’deki absorbansları ölçülerek elde edilmiştir. Absorbanslar artan konsantrasyonla doğru orantılı olarak artmaktadır. Bitkinin CUPRAC yöntemine göre belirlenen su, etanol, aseton, kloroform ve hekzan ekstreleri ile standart olarak kullanılan antioksidanların en yüksek konsantrasyondaki (80 $\mu\text{g/ml}$) absorbans değerleri Şekil 1’de gösterilmiştir.

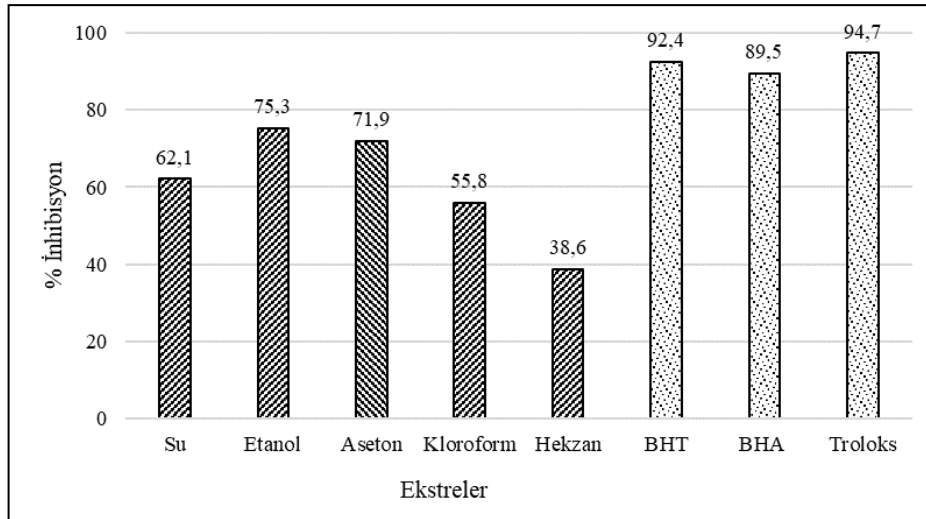


Şekil 1. Ekstrelerin ve standartların CUPRAC yöntemine göre absorbanları (BHA: Bütillenmiş Hidroksianisol BHT: Bütillenmiş hidroksitoluen)

CUPRAC yönteminde, bitkinin su, etanol, aseton, kloroform ve hekzan ekstreleri ile standart olarak kullanılan antioksidanların 80 µg/ml konsantrasyondaki aktiviteleri kıyaslandığında sırasıyla; Troloks > BHT > BHA > su ekstresi > etanol ekstresi > aseton ekstresi > kloroform ekstresi > hekzan ekstresi şeklinde belirlenmiştir. Bu kıyaslamanın istatistiksel olarak önemli olduğu da görülmüştür ($p < 0,05$). Bitkinin farklı çözücü ekstreleri karşılaştırıldığında en yüksek indirgeme kapasitesi su ekstresinde, en düşük indirgeme kapasitesinin ise hekzan ekstresinde olduğu gözlenmiştir.

3.2.2. ABTS yöntem sonuçları

Farklı polariteye sahip su, etanol, aseton, kloroform ve hekzan çözücülerıyla hazırlanmış *Helichrysum plicatum*'un çiçeklerinden elde edilen ekstrelerin farklı konsantrasyonlarda antioksidan aktiviteleri belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, bitki ekstreleri ile standart olarak kullanılan antioksidanlara ait en yüksek konsantrasyondaki (80 µg/ml) ABTS radikali giderme aktivitelerinin % inhibisyon değerleri Şekil 2'de gösterilmiştir.



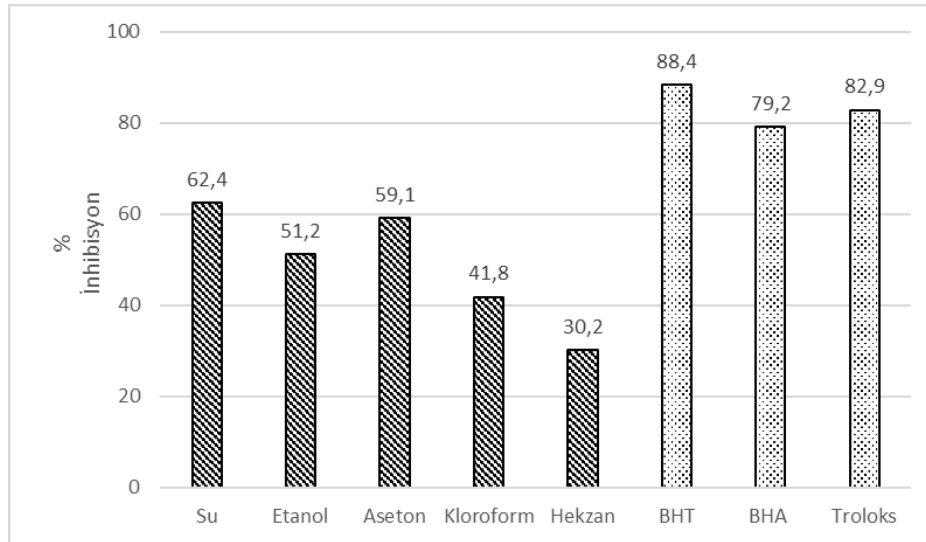
Şekil 2. Ekstrelerin ve standartların ABTS radikal giderme aktiviteleri (%)

ABTS radikali giderme aktivitesi yönteminde, bitkinin su, etanol, aseton, kloroform ve hekzan ekstreleri ile standart olarak kullanılan antioksidanların en yüksek konsantrasyondaki (80 µg/ml) aktiviteleri kıyaslandığında sırasıyla; Troloks> BHT > BHA > etanol ekstresi> aseton ekstresi > su ekstresi > kloroform ekstresi > hekzan ekstresi şeklinde belirlenmiştir. Bu kıyaslamamın istatistiksel olarak önemli olduğu da görülmüştür (p<0,05). Bitkinin farklı çözücü ekstreleri karşılaştırıldığında ise en yüksek ABTS radikali giderme aktivitesinin etanol ekstresinde (% 75,3) olduğu belirlenmiştir. Diğer çözücüler ile hazırlanan bitki ekstreleri ise standart antioksidanlardan daha düşük radikal giderme aktivitesi göstermiştir.

Taşkın ve ark. (2020) çözücü olarak petrol eteri, kloroform, metanol kullandıkları çalışmalarında *H. plicatum* subsp. *plicatum* ekstrelerinde kloroform ekstresinin DPPH ve ABTS yöntemlerinde en düşük serbest radikal giderme aktivitesine sahip olduğunu belirlemişlerdir. Şekil 2' de görüldüğü gibi kloroform ekstresi de düşük aktivite sergilemiştir.

3.2.3. DPPH yöntem sonuçları

DPPH radikali (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) sentetik kararlı bir bileşiktir. Doğal bileşiklerin serbest radikal giderici aktivitelerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. DPPH'ın oluşturduğu reaksiyon karışımının gösterdiği absorbans ne kadar düşük ise antioksidanın serbest radikal giderme aktivitesi o kadar yüksektir. Bitkinin su, etanol, aseton, kloroform ve hekzan ekstreleri ile standart olarak kullanılan antioksidanların en yüksek konsantrasyondaki (80 µg/ml) DPPH radikali giderme aktivitelerinin % inhibisyon değerleri Şekil. 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Ekstrelerin ve standartların DPPH radikali giderme aktiviteleri (%)

DPPH radikali giderme aktivitesi yönteminde, bitkinin su, etanol, aseton, kloroform ve hekzan ekstreleri ile standart olarak kullanılan antioksidanların en yüksek konsantrasyondaki (80 µg/ml) aktiviteleri kıyaslandığında sırasıyla; BHT> Troloks > BHA > su ekstresi> aseton ekstresi > etanol

ekstresi >kloroform ekstresi >hekzan ekstresi şeklinde belirlenmiştir. Bitkinin farklı çözücü ekstreleri karşılaştırıldığında en yüksek (% 62,4) DPPH radikali giderme aktivitesinin su ekstresinde olduğu belirlenmiş olup, istatistiksel olarak da anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Ünal ve ark. (2008) tarafından yapılan bir çalışmada da, 20 bitkinin aseton, etanol ve su ekstrelerinin DPPH serbest radikal süpürme yönteminde, en yüksek aktivite su ekstresinde tespit edilmiştir. Çözücüsü su olan ekstrenin radikal süpürme aktivitesinin, diğer ekstrelere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

DPPH metoduyla Panovska ve Kulevanova (2005) *Helichrysum plicatum* çiçek, sap ve yapraklarının farklı çözücü ekstrelerinin antioksidan aktivitesinin, BHT ve BHA gibi standart maddelerin aktivitesinden daha düşük olduğunu rapor etmişlerdir. Bu sonuçlar çalışma sonuçlarımızla paralellik göstermektedir. Acet ve ark. (2020) tarafından ise Gümüşhane çevresinde toplanan *Helichrysum plicatum* çiçeklerinin etanol, metanol ve etil asetat ekstrelerinde, ABTS ve DPPH yöntemleri kullanılarak antioksidan aktiviteleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada DPPH yönteminde en yüksek aktivite *Helichrysum plicatum* çiçeklerinin etanol ekstresinde gözlenmiştir. Şekil 3' de görüldüğü gibi DPPH yönteminde su ekstreleri diğer çözücülere göre daha yüksek antioksidan aktivite göstermiştir. Bu sonuçlar radikal giderme aktivitesinin kullanılan çözücülere göre değiştiğini ve polar çözücülerde daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Helichrysum plicatum'un farklı çözücüler kullanılarak hazırlanan ekstrelerinin DPPH yöntemiyle antioksidan aktivitesinin belirlenmesi üzerine yapılan başka bir çalışma da Vujic' ve ark. (2020) etanol ve diklorometan ekstrelerinde güçlü bir antioksidan aktivite tespit etmiştir. Çalışmada ayrıca etanol ekstresinin BHT ve Troloks standart antioksidanlarından daha düşük aktiviteye sahip olması elde ettiğimiz sonuçlarla benzerlik gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 3).

Bitkilerden farklı çözücülerle elde edilen ekstrelerin, toplam fenolik içeriklerine, flavonoid miktarlarına bağlı olarak serbest radikal süpürme aktivitesinde farklılıklar bulunmaktadır. Fenolik asitler ve flavonoidler polar çözücülerde çözünerek daha güçlü aktivite gösterirler. DPPH radikal süpürücü yönteminde polar çözücüler tercih edilmektedir (Albayrak ve ark., 2010; Süzgeç Selçuk ve Birteksöz, 2011; Arıdurdu ve Arabacı, 2013; Arslan ve Kaya, 2021). Tepe ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada, Sivas çevresinde toplanan farklı *Helichrysum* türlerinin metanol ekstrelerinde DPPH yöntemi ile sentetik antioksidana (BHT) karşı antioksidan aktivite ölçümleri yapılmış ve en iyi radikal süpürücü aktivitenin polar fraksiyonlarda olduğunu bildirmiştir.

4.Sonuç

Bu çalışmada *Helichrysum plicatum* çiçeklerinden elde edilen farklı polariteye sahip beş farklı çözücü ile hazırlanan ekstrelerin, ABTS, DPPH ve CUPRAC metotları ile antioksidan aktiviteleri incelenmiştir. Uygulanan üç farklı antioksidan aktivite yönteminde de, standart antioksidanların aktivitelerinin, beş farklı çözücü ile hazırlanan ekstrelerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada DPPH ve CUPRAC yöntemlerinde su ekstresinin, diğer ekstrelerden daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğu belirlenmiştir. ABTS yönteminde ise etanol ekstresinde en yüksek

antioksidan aktivite gözlenmiştir. Bu sonuçlar bize bitkilerdeki etken maddelerin kullanılan çözücüye bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Ayrıca farklı çözümlerle elde edilen ekstraktların verim farklılıkları ve antioksidan aktiviteleri, bitkilerin sahip olduğu kimyasal kompozisyona, ekstraksiyonda kullanılan çözücülerin polaritesine bağlı olarak değişmektedir. Çalışma sonuçları; ekstre verimlerinde polar çözücülerin, apolar çözücülerden daha etkili olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, çalışmamızda, *Helichrysum plicatum* çiçeklerinin farklı polaritedeki çözücüler ile hazırlanan ekstraktlarının önemli oranlarda antioksidan aktiviteler gösterdiği belirlenmiştir. Günümüzde antioksidan olarak kullanılan sentetik ajanların yan etkileri nedeniyle, bitkinin nutrasötik, farmasötik, kozmetik ve gıda işleme alanlarında doğal biyoaktif ajan kaynağı olarak alternatif olabileceği düşünülmektedir.

Teşekkür

Yazar, bitkinin tür teşhisini yapan Dr. Öğr. Üyesi Seyran PALABAŞ UZUN'a teşekkür eder.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacı Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Acet T., Ozcan K., Zengin G. An assessment of phenolic profiles, fatty acid compositions, and biological activities of two *Helichrysum* species: *H. plicatum* and *H. chionophilum*. *Journal of Food Biochemistry* 2020; 44(2): e13128.
- Akbaş P., Kol ÖG., Gürbüz A., Manap S. Anti-microbial and Anti-oxidant activity of watermelon (*Citrullus lanatus*) fruit and watermelon seed. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2017; 13(1): 139-147.
- Albayrak S., Aksoy A., Sagdic O., Hamzaoglu E. Compositions, antioxidant and antimicrobial activities of *Helichrysum* (Asteraceae) species collected from Turkey. *Food Chemistry* 2010; 119(1): 114-122.
- Apak R., Güçlü K., Özyürek M., Karademir SE. Novel total antioxidant activity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method. *International Journal of Food Science and Nutrition* 2004; 52(26): 7970-7981.
- Arıdur R., Arabacı G. Ciğertaze otu (*Salvia officinalis*) bitkisinin antioksidan aktivitesinin belirlenmesi. *Sakarya University Journal of Science* 2013; 17(2): 241-246.

- Arslan L., Kaya E. Investigation of antimicrobial and antioxidant activities of *Paliurus spina-christi* mill. in Kahramanmaraş, Turkey. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi 2021; 24(6): 1161-1169.
- Aslan M., Orhan Deliorman D., Orhan N., Sezik E., Yesilada E. In vivo antidiabetic and antioxidant potential of *Helichrysum plicatum* ssp. *plicatum* capitulums in streptozotocin-induced-diabetic rats. Journal of Ethnopharmacology 2007; 109(1): 54-59.
- Azwanida NN. A review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength and limitation. Med. Aromat. Plants 2015; 4(3): 6.
- Bigovic D., Brankovic S., Kitic D., Radenkovic M., Jankovic T., Savikin K., Zivanovic S. Relaxant effect of the ethanol extract of *Helichrysum plicatum* (Asteraceae) on isolated rat ileum contractions. Molecules 2010; 15(5): 3391-3401.
- Blois MS. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. Nature 1958; 181(4617): 1199-1200.
- Davis PH., Mill RR., Tan K. Flora of Turkey and East Aeagen Islands. v. X. Edinburgh: Edinburgh University Press, 1988; p. 159-160.
- Demir A., Mercanoglu Taban B., Aslan M., Yesilada E., Aykut Aytac S. Antimicrobial effect of *Helichrysum plicatum* subsp. *plicatum*. Pharmaceutical Biology 2009; 47(4): 289-297.
- Erik S., Güner A., Özhatay N., Ekim T., Başer KHC. *Helichrysum gaertner*. Flora of Turkey and East Aeagen Islands 2000; 11: 153-154.
- Gülçin İ. Antioxidant and antiradical activities of Lcarnitine. Life Sciences 2006; 78(8): 803-811.
- Gülçin İ. The antioxidant and radical scavenging activities of black pepper (*Piper nigrum*) seeds. International Journal of Food Sciences and Nutrition 2005; 56(7): 491-499.
- Jayaprakasha GK., Rao LJ. Phenolic constituents from the lichen *Parmotrema stuppeum* (Nyl.) Hale and their antioxidant activity. Zeitschrift für Naturforschung C. 2000; 55(11-12): 1018-1022.
- Meyer JJM., Afolayan AJ., Taylor MB., Erasmus D. Antiviral activity of galangin isolated from the aerial parts of *Helichrysum aureonitens*. Journal of Ethnopharmacology 1997; 56(2): 165-169.
- Min DB. Lipid oxidation of edible oils. Food Lipids Chemistry, Nutrition, and Biotechnology, Marcel Dekker, New York, 1998; 283-296 p.
- Ozbek T., Gulluce M., Adiguzel A., Ozkan H., Sahin F., Orhan F. Antimutagenic activity of the methanol extract of *Helichrysum plicatum* ssp. *plicatum*. Asian Journal of Chemistry 2009; 21(4): 2705-2710.
- Panovska TK., Kulevanova S. Antioxidant potential of *Helichrysum plicatum* DC.(Asteraceae). Instabilities of proteins: theoretical aspects, degradation products and methods for their detection. Macedonian Pharmaceutical Bulletin 2005; 51(1-2): 29-34.
- Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical Biology and Medicine 1999; 26(9-10): 1231-1237.

- Schinella GR., Tournier HA., Prieto JM., De Buschiazzo PM., Rios JL. Antioxidant activity of anti-inflammatory plant extracts. *Life Sciences* 2002; 70(9): 1023-1033.
- Süzgeç Selçuk S., Birteksöz AS. Flavonoids of *Helichrysum chasmolyticum* and its antioxidant and antimicrobial activities. *South African Journal of Botany* 2011; 77(1): 170-174.
- Taşkın T., Gezmiş T., Çam ME., Taşkın D., Çelik BÖ., Şenkardeş İ., Süzgeç Selçuk S. The in vitro and in vivo investigation of biological activities and phenolic analysis of *Helichrysum plicatum* subsp. *plicatum*. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences* 2020; 56.
- Tepe B., Sokmen M., Akpulat HA., Sokmen A. In vitro antioxidant activities of the methanol extracts of four *Helichrysum* species from Turkey. *Food Chemistry* 2005; 90(4): 685-689.
- Ünal EL., Mavi A., Kara AA., Çakir A., Şengul M., Yıldırım A. Antimicrobial and antioxidant activities of some plants used as remedies in Turkish medicine. *Pharmaceutical Biology* 2008; 46: 207-224.
- Vujić B., Vidaković V., Jadranin M., Novaković I., Trifunović S., Tešević V., Mandić B. Composition, antioxidant potential, and antimicrobial activity of *Helichrysum plicatum* DC. various extracts. *Plants* 2020; 9(3): 337.

Kedi Lösemi Virüsünde Endemik Denge

Ayşe PEKER DOBİE^{1*}

¹İstanbul Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü, İstanbul

¹<https://orcid.org/0000-0002-5228-7694>

*Corresponding author: pdobie@itu.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 28.01.2022

Kabul tarihi:06.05.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Epidemik modeller
Duyarlı-Enfekte modeli
Felin Lösemi Virüsü
Endemik denge

Felin Lösemi Virüsü kedilerin bağışıklık sistemini zayıflatan bir virüsdür ve virüsün bağışıklık sistemini baskılayan yapısı nedeniyle, virüsle enfekte olmuş kediler lenfoma, lösemi, ağır eritroid hipoplazi ve anemi gibi ciddi hastalıkların ortaya çıkması riskini daha fazla taşırlar. Duyarlı-Enfekte (SI) epidemik modeline dayalı SI_1I_2 kompartıman modeli, aşılama ve tedavinin olmadığı durumlarda, sokak kedileri için hastalığın endemik dengesini incelemek üzere kullanılmıştır. Hastalıklı kedi popülasyonunun duyarlı kedilerin final değerinden daha büyük olduğu parametre koşulları elde edilmiştir.

Endemic Equilibrium of Feline Leukemia Virus

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 28.01.2022

Accepted: 06.05.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Epidemic models
Susceptible-Infected model
Feline Leukemia Virus
Endemic equilibrium

Feline Leukemia Virus impairs the immune system of cats, and as a result of the immunosuppression characteristic of the virus, infected cats are under a greater risk for developing serious diseases like lymphomas, leukemia, severe erythroid hypoplasia and anemia. The compartmental model denoted by SI_1I_2 based on the epidemiological model Susceptible-Infected (SI) is used to investigate the endemic equilibrium of the disease for stray cats without vaccination and treatment. The conditions for parameters are obtained such that the final value of infected cats' population is higher than the final value of susceptible cats.

To Cite: Dobie AP. Endemic Equilibrium of Feline Leukemia Virus. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 850-860.

1. Introduction

One of the most common infectious diseases in cats is caused by Feline Leukemia Virus (FeLV) which belongs to the genus Gammaretrovirus of the family Retroviridae in the subfamily Oncornavirinae (Neil, 2008; Hal, 2012; James, 2017). This feline-only virus impairs the immune system of the cat and can be the reason of severe and lethal diseases. In fact, the disease is the most common cause of cancer (Hartmann, 2011; Hartmann, 2012). The symptoms of infected cats include progressive weight loss caused by the loss of appetite, poor coat condition, anemia, persistent fever and diarrhea, skin, urinary, and upper respiratory tract infections, seizures, behavior changes, and other neurological disorders, inflammation of the nose, the cornea as well as inflammation of the gums and mouth, lymphoma which is the most common FeLV-associated cancer, fibrosarcomas which is the

cancer that develops from fibrous tissue, leukemia, infertility etc. (Ueland et al., 1992; Kipar et al., 2001; Dunham et al., 2008). FeLV is preventable by the use of an effective vaccine. However, the vaccine does not provide full protection. Cats whose immune system does not resist and eliminates the virus can live only few years after the FeLV diagnosis since treatment to clear the infection most often fails. The median survival time for cats with FeLV diagnosis is two and half years (Addie et al., 2000; Levy et al., 2008; Helfer-Hungerbuehler et al., 2015).

FeLV has initially four subgroups A, B and C as well as recombinations of these subgroups (Jarrett et al., 1973; Sarma et al., 1973; Jarrett, 1992). All naturally infected cats have subgroup A which is the dominant form, and is responsible for the immunosuppression characteristic of the disease. Once infected, additional mutated forms of FeLV-A may arise (Miyazawa, 2002; Sykes 2014; Mummoorthy et al., 2021). Cats with FeLV-B are under a greater risk for developing lymphomas whereas cats with FeLV-C have developed severe erythroid hypoplasia and anemia. 50 percent of FeLV-infected cats have a combination of subgroups A and B whereas 1 percent of them have a combination of subgroups C and A as AC, or of all subgroups as ABC. Subgroup A has a variety of strains ranging from non-pathogenic to very pathogenic (Vail, 2019). The pathogenicity increases dramatically if they are present with other subgroups (Macy et al., 2012), and these cats may manifest vastly different diseases. For example, the combination of subgroups A and B is more contagious and pathogenic than subgroup A alone. Cats infected with subgroups A and B often develop thymic lymphoma and myeloproliferative disease (Hoover, 1991; Lutz, 2009; Hartmann, 2012).

Cats can transfer the virus between themselves through prolonged contact with bodily fluids (Lee et al., 2002; Bande et al., 2012), mainly through saliva which may contain up to 100,000 virus particles per milliliter. Other sources of transmission are urine, faeces and nasal secretions as well as by licking, biting and mutual grooming, shared feeding bowls and litter pans (Richards, 2003; Sykes, 2014; Hartmann, 2020). The transmission of virus is also possible from an infected mother to the kittens in utero and via the milk (Hardy et al., 1976; Levy et al., 2008) since kittens are much more susceptible to the infection than adult cats, and therefore are at the greatest risk of infection if exposed. This type of transmission may occur transplacentally or during the nursing period (Hartmann, 2011; Sykes, 2014; Hartmann, 2020). The best way for preventing the spread of the disease is the elimination of the contact with the cats that are FeLV-positive since cats with persistent infection serve as sources of infection for other cats (Tartaglia, 1993; Levy, 2008; Lutz, 2009).

In this article, susceptible-infected model denoted by SI_1I_2 presented in (Ahmetolan et al., 2022) is used to describe FeLV for stray cats without vaccination and treatment. SI_1I_2 model has two infected stages I_1 and I_2 which have different clinical forms. The infected group I_2 has a higher mortality rate than the group I_1 . The group I_1 represents cats infected with either of the subgroups. It should be noted that the subgroups are not distinguished and therefore they are all categorized under the group I_1 . Cats in the group I_2 are experiencing serious health problems like cancer due to the presence of a

subgroup with other subgroups. Since the model is used for stray cats, it is assumed that the disease is transmitted either transplacentally or during the nursing period to the kittens from an infected mother. The article is organised as follows. The mathematical model proposed in (Ahmetolan et al., 2022) is presented in Section 2. The positiveness of solution curves is proved for positive initial conditions. Equilibrium points are obtained, and endemic equilibrium point is investigated. For this equilibrium, the stability analysis is performed, and the conditions for parameters are derived for cases such that the final value of the susceptible population is smaller than the final value of each infected group. Theoretical results are demonstrated for suitable parameters for each case. Discussion of the results and concluding remarks are given in the final section.

2. Material and Methods

2.1. SI_1I_2 Model

The susceptible-infected model (Ahmetolan et al., 2022) considered in this work in its most general form is described by the following system of nonlinear ordinary differential equations

$$\begin{aligned} S' &= -\beta_1SI_1 - \beta_2SI_2 + (\delta_0 - \mu_0)S + (1 - p)\delta_1I_1 + (1 - q)\delta_2I_2, \\ I_1' &= \beta_1SI_1 - \theta I_1 + (p\delta_1 - \mu_1)I_1, \\ I_2' &= \beta_2SI_2 + \theta I_1 + (q\delta_2 - \mu_2)I_2. \end{aligned} \tag{1}$$

Here, S , I_1 and I_2 are the susceptible group and two infected groups, respectively. The contact rates of each infected group with the susceptibles are β_i for $i = 1, 2$. Parameters δ_i and μ_i for $i = 0, 1, 2$ refer to the birth and death rates of groups S , I_1 and I_2 , respectively. The parameter θ is the rate of population in the group I_1 who become a member of the group I_2 . The parameters, $0 \leq p \leq 1$ and $0 \leq q \leq 1$ represent the proportion of infected newborn of the infected mother in groups I_1 and I_2 , respectively. The non-constant total population size N is $N = S + I_1 + I_2$.

In this study for FeLV infection, I_1 represents the cats infected with either of the subgroups A, B or C. If one of these subgroups is present with other subgroups, then the infected cats in group I_1 become members of group I_2 with the rate of θ . Since the existence of a subgroup with other subgroups implies that the disease is more contagious and pathogenic, we assume $\beta_2 > \beta_1$. On the other hand, since the model is used for stray cats without any vaccination or treatment, it is also assumed that the disease is transmitted either transplacentally or during the nursing period to the kittens from an infected mother.

This corresponds to the fact that both parameters, p and q are equal to 1. For simplicity, we take $\beta_1 = 1$ and $\beta_2 = \beta$, and define

$$f_i = \delta_i - \mu_i \tag{2}$$

for $i = 0,1,2$. Since the death rate is higher than the birth rate in group I_2 , the parameter f_2 is negative. Then, the equations given by (1) reduce to the following system of differential equations

$$\begin{aligned} S' &= -SI_1 - \beta SI_2 + f_0 S, \\ I_1' &= SI_1 - \theta I_1 + f_1 I_1, \\ I_2' &= \beta SI_2 + \theta I_1 + f_2 I_2 \end{aligned} \tag{3}$$

where

$$\beta > 1, \theta - f_1 \neq 0, f_2 < 0. \tag{4}$$

Note that $\beta_1 = 1, \beta_2 = \beta$ and $\beta_2 > \beta_1$. For the disease in consideration, the parameter θ is nonzero and the healthy population is not in equilibrium; that is, $f_0 \neq 0$.

The flow diagram of the model is illustrated in Figure 1 and the positiveness of solutions is given by the following proposition.

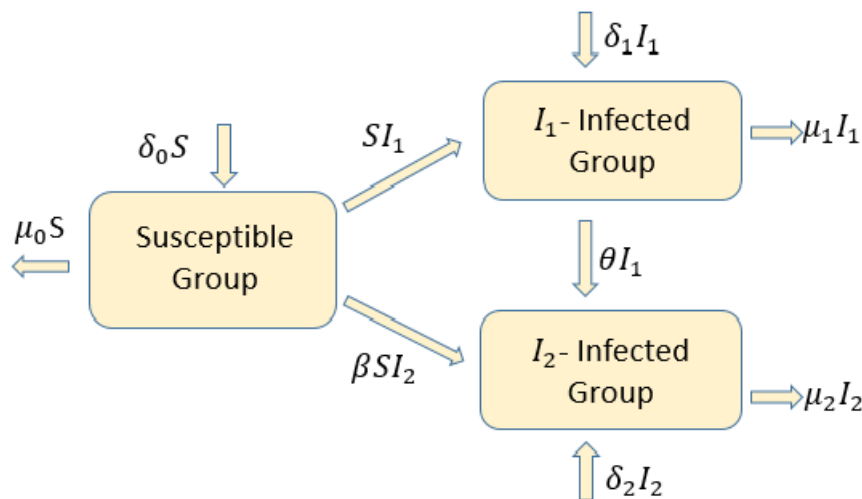


Figure 1. Diagram of SI_1I_2 model.

Proposition 1: The susceptible group S and the infected groups I_1 and I_2 are positive if the initial conditions are chosen to be positive.

Proof: If $S_0, I_{1,0}$ and $I_{2,0}$ are the initial conditions for the susceptible and infected groups, S, I_1 and I_2 , respectively, then solving the equations in (3) yields the following at any time t

$$\begin{aligned} S(t) &= S_0 \exp\left(\int_0^t (-I_1 - \beta I_2 + f_0) d\tau\right), \\ I_1(t) &= I_{1,0} \exp\left(\int_0^t (SI_1 - \theta + f_1) d\tau\right), \end{aligned} \tag{5}$$

$$I_2(t) = \exp\left(\int_0^t (\beta S(\tau) + f_2) d\tau\right) [I_{0,2} + \int_0^t \theta I_1 \exp(-\int_0^\tau (\beta S(\tau) + f_2) d\sigma) d\tau],$$

Solutions curves in (5) show that $S(t)$, $I_1(t)$ and $I_2(t)$ remain positive if the initial conditions S_0 , $I_{1,0}$ and $I_{2,0}$ are chosen positive.

2.2. Equilibrium Points

To obtain the equilibrium points, each equation in (3) is set as zero. Then, the homogeneous system has the trivial solution, $S = I_1 = I_2 = 0$, which refers to the extinction of the specie. To find the nontrivial solution of this system, we consider the following cases.

1) $I_1 = 0$: The first equation in (3) yields that either $S = 0$ or $I_2 = f_0/\beta$. If $S = 0$, then from the last equation in (3), we obtain $I_2 = 0$. Since we search for a nontrivial solution of (3), then $I_2 = f_0/\beta$ and consequently $I_2 = -f_2/\beta$.

2) $I_1 \neq 0$: The second equation in (3) yields $S = \theta - f_1$. Substituting this value into the other equations gives $I_1 = f_0(\beta(f_1 - \theta) - f_2)/(\beta f_1 - f_2)$ and $I_2 = \theta f_0/(\beta f_1 - f_2)$.

The non-trivial critical equilibrium points and the conditions for positive solutions are summarized as follows for the ordered triple (S, I_1, I_2)

1) The point $P(-\frac{f_2}{\beta}, 0, \frac{f_0}{\beta})$ is I_1 -free equilibrium. This equilibrium exists if f_0 is positive.

2) The point $Q(\theta - f_1, f_0 \frac{\beta(f_1 - \theta) - f_2}{\beta f_1 - f_2}, \frac{f_0 \theta}{\beta f_1 - f_2})$ is the endemic equilibrium. Existence of this equilibrium requires

$$f_0 > 0, \theta - f_1 > 0, \beta(f_1 - \theta) - f_2 > 0. \tag{6}$$

The shaded region in Figure 2 gives $(f_1, |f_2|)$ pairs for which the system admits an endemic equilibrium for $f_0 > 0$.

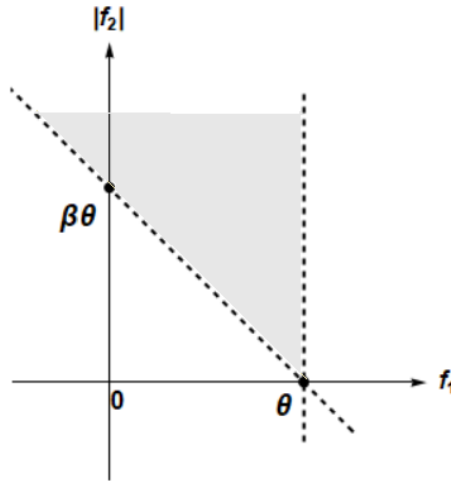


Figure 2. The shaded region for which the system admits an endemic equilibrium for $f_0 > 0$.

2.3. Endemic equilibrium

In this section, we consider the case where the system given by the equations in (3) admits an endemic equilibrium. The stability analysis is performed, and the conditions that the parameters satisfy are derived for the cases such that the final value of the susceptible population is smaller than the final value of each of the infected population.

2.3.1. Stability

In (Ahmetolan et al., 2022), the stability of the system in (1) for $p = q = 1$ is investigated and the following proposition is given.

Proposition 2: Endemic equilibrium at the point $R(S_R^*, I_{1,R}^*, I_{2,R}^*)$ where

$$\begin{aligned}
 S_R^* &= \frac{\theta - \delta_1 + \mu_1}{\beta_1}, \\
 I_{1,R}^* &= \frac{\delta_0 - \mu_0}{\beta_1} \left(1 - \frac{\beta_2 \theta}{\beta_2(\delta_1 - \mu_1) - \beta_1(\delta_2 - \mu_2)} \right), \\
 I_{2,R}^* &= \frac{\theta(\delta_0 - \mu_0)}{\beta_2(\delta_1 - \mu_1) - \beta_1(\delta_2 - \mu_2)}
 \end{aligned} \tag{7}$$

is locally asymptotically stable if the following conditions hold

$$\delta_0 - \mu_0 > 0, -\beta_1(\delta_2 - \mu_2) > \beta_2(\delta_1 - \mu_1), \beta_2 > \beta_1. \tag{8}$$

Since $\beta_1 = 1$ and $\beta_2 = \beta > 1$ for the FeLV model, the point R defined by (7) corresponds to the endemic equilibrium point Q for the system in (3). The conditions given in (6) for Q to exist satisfy the conditions in (8). Thus, the endemic equilibrium Q is locally asymptotically stable if it exists.

2.3.2. Endemic Equilibrium for $S_f < I_{1f} < I_{2f}$

Let S_f , I_{1f} and I_{2f} denote the final values of the susceptible group and two infected groups; that is, $\lim_{t \rightarrow \infty} S(t) = S_f$, $\lim_{t \rightarrow \infty} I_1(t) = I_{1f}$, $\lim_{t \rightarrow \infty} I_2(t) = I_{2f}$. If the components of the point Q is replaced in $S_f < I_{1f} < I_{2f}$, we find the following conditions

$$\begin{aligned} \beta f_1 - f_2 &< (\beta + 1)\theta, \\ (\theta - f_1)(\beta f_1 - f_2) &< \min\{\theta f_0, -f_0(f_2 + \beta(\theta - f_1))\}. \end{aligned} \quad (9)$$

Theoretical results at the endemic equilibrium are demonstrated for suitable parameters satisfying (9) in Figure 3 such that the final value of the infected group I_2 is greater than the other two groups, and the final value of the susceptible group is smaller than the infected groups. As can be seen from the figure, such an equilibrium is locally asymptotically stable.

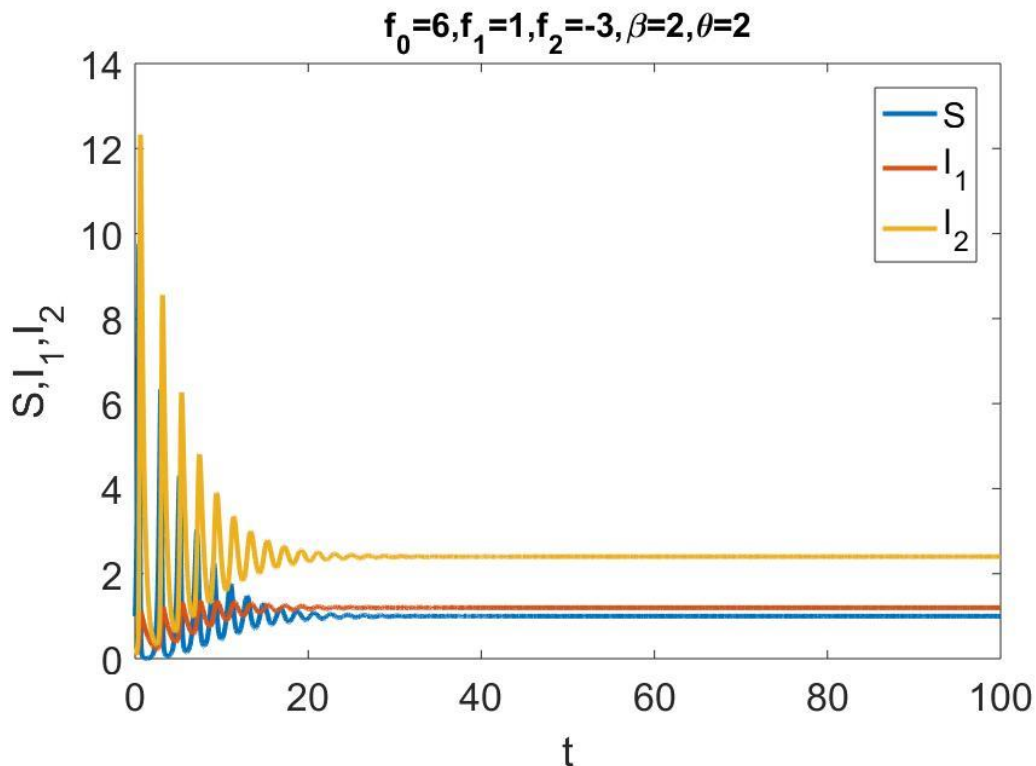


Figure 3. Numerical solutions of (3) with parameter values $f_0 = 6$, $f_1 = 1$, $f_2 = -3$, $\beta = 2$ and $\theta = 2$.

2.3.3. Endemic Equilibrium for $S_f < I_{2f} < I_{1f}$

Similar calculations for the case $S_f < I_{2f} < I_{1f}$ give the following conditions

$$\begin{aligned} \beta f_1 - f_2 &> (\beta + 1)\theta, \\ (\theta - f_1)(\beta f_1 - f_2) &< \min\{\theta f_0, -f_0(f_2 + \beta(\theta - f_1))\}. \end{aligned} \quad (10)$$

Solution curves are demonstrated in Figure 4 for suitable parameters satisfying (10) such that the final value of the infected group I_1 is greater than the other two groups, and the final value of the susceptible group is smaller than the infected groups. As the figure shows, such an equilibrium is locally asymptotically stable.

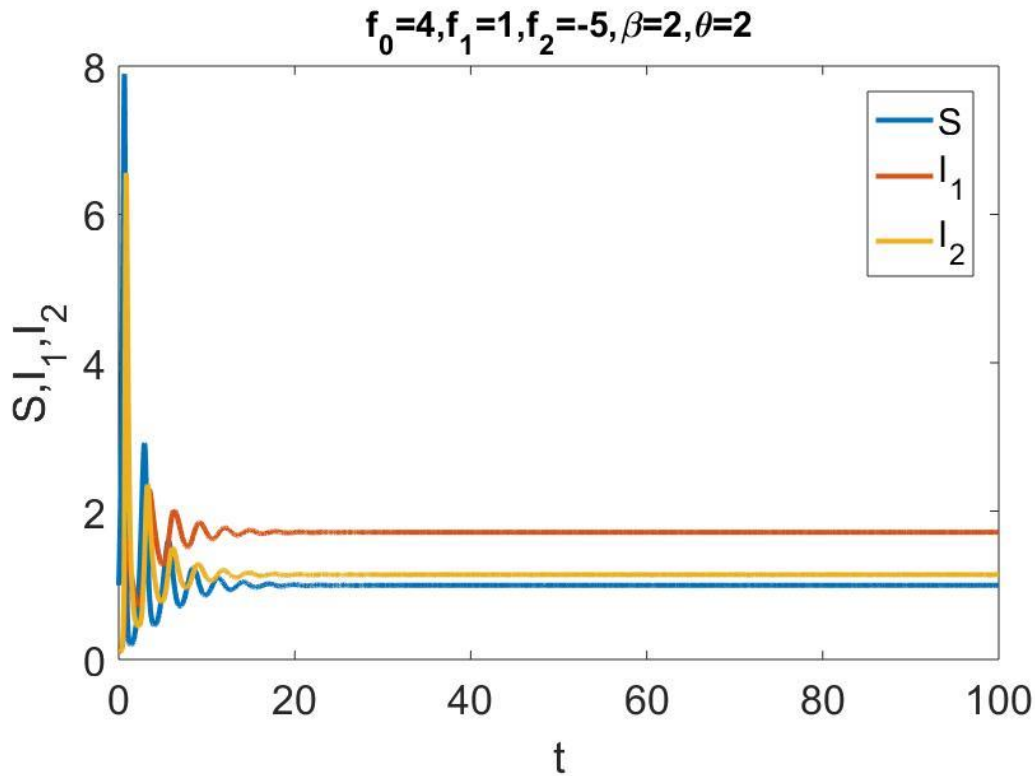


Figure 4. Numerical solutions of (3) with parameter values $f_0 = 4$, $f_1 = 1$, $f_2 = -5$, $\beta = 2$ and $\theta = 2$.

3. Results and Discussion

We study the endemic equilibrium of feline leukemia virus for stray cats without vaccination and treatment by using the epidemiological model Susceptible-Infected with two infected groups, I_1 and I_2 . The group I_1 refers to the cats infected with any of the subgroups of FeLV, whereas the group I_2 represents the cats infected with multiple subgroups of FeLV. We assume that initially, the healthy population is not in equilibrium, and that all the newborns from infected mothers develop the disease

shortly after birth. We determine the region in terms of net population growth rates of the infected groups I_1 and I_2 for which the system admits an endemic equilibrium when the net susceptible-population growth rate is positive. We obtain conditions for parameters at this equilibrium such that the final value of susceptible cats is smaller than the final values of infected cats in each infected group. These cases for which each infection becomes an endemic disease can be seen in different scenarios for a variety of parameter combinations. Theoretical results and numerical solutions for suitable parameters show that such equilibria are locally asymptotically stable.

Conflict of Interest

The author declares no competing interests.

Authors' contributions

The author confirms sole responsibility for the article conception and design, analysis and interpretation of results, and manuscript preparation.

References

- Addie DD., Toth S., Reid S., Jarrett O., Dennis JM., Callanan JJ. Long-term impact on a closed household of pet cats of natural infection with feline coronavirus, feline leukemia virus and feline immunodeficiency virus. *Veterinary Record* 2000; 146(15): 419-424.
- Ahmetolan S., Bilge AH., Demirci A., Dobie AP. A Susceptible-Infectious (SI) model with two infective stages and an endemic equilibrium. *Mathematics and Computers in Simulation* 2022; 194: 19-35.
- Bande F., Arshad SS., Hassan L., Zakaria Z., Sopian NA., Rahman NA., Alazawy A. Prevalence and risk factors of feline leukemia virus and feline immunodeficiency virus in peninsular Malaysia. *BMC Veterinary Research* 2012; 8(1): 1-6.
- Dunham SP., Graham E. Retroviral infections of small animals. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice* 2008; 38(4): 879-901.
- Hal S. *The geographical distribution of animal viral diseases*. Elsevier; 2012.
- Hardy WD., Hess PW., MacEwen EG., McClelland AJ., Zuckerman EE., Essex M., Cotter SM., Jarrett O. Biology of feline leukemia virus in the natural environment. *Cancer Research* 1976; 36(2 Part 2): 582-588.
- Hartmann K. Clinical aspects of feline immunodeficiency and feline leukemia virus infection. *Veterinary immunology and immunopathology* 2011; 143(3-4): 190-201.
- Hartmann K. Clinical aspects of feline retroviruses: A review. *Viruses* 2012; 4(11): 2684-2710.
- Hartmann K., Hofmann-Lehmann R. What's new in feline leukemia virus infection. *Veterinary Clinics: Small Animal Practice* 2020; 50(5): 1013-1036.

- Helper-Hungerbuehler AK., Widmer S., Kessler Y., Riond B., Boretti FS., Grest P., Lutz H., Hofmann-Lehmann R. Long-term follow up of feline leukemia virus infection and characterization of viral RNA loads using molecular methods in tissues of cats with different infection outcomes. *Virus Research* 2015; 197: 137-150.
- Hoover EA., Mullins JI. Feline leukemia virus infection and diseases. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 1991; 199(10): 1287-1297.
- James N. Fenner's veterinary virology. Elsevier Academic Press; 2019.
- Jarrett O., Laird HM., Hay D. Determinants of the host range of feline leukemia viruses. *Journal of General Virology* 1973; 20(2): 169-175.
- Jarrett O. Pathogenicity of feline leukemia virus is commonly associated with variant viruses. *Leukemia* 1992; 6: 153S-154S.
- Kipar A., Kremendahl J., Jackson ML., Reinacher M. Comparative examination of cats with feline leukemia virus-associated enteritis and other relevant forms of feline enteritis. *Veterinary Pathology* 2001; 38(4): 359-371.
- Lee IT., Levy JK., Gorman SP., Crawford PC., Slater MR. Prevalence of feline leukemia virus infection and serum antibodies against feline immunodeficiency virus in unowned free-roaming cats. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 2002; 220(5): 620-622.
- Levy J., Crawford C., Hartmann K., Hofmann-Lehmann R., Little S., Sundahl E., Thayer V. American association of feline practitioners' feline retrovirus management guidelines. *Journal of Feline Medicine and Surgery* 2008; 10(3): 300-316.
- Lutz H., Addie D., Belák S., Boucraut-Baralon C., Egberink H., Frymus T., Gruffydd-Jones T., Hartmann K., Hosie MJ., Lloret A., Marsilio F. Feline leukaemia. ABCD guidelines on prevention and management. *Journal of Feline Medicine & Surgery* 2009; 11(7): 565-574.
- Macy DW., Henry CI. I section c cancer-causing viruses. *Withrow and MacEwen's Small Animal Clinical Oncology* 2012; 20.
- Miyazawa T. Infections of feline leukemia virus and feline immunodeficiency virus. *Front Biosci* 2002; 7: d504-d518.
- Mummoorthy K., Abd Rahaman Yasmin SSA., Omar AR., Nur-Fazila SH., Anand P., Hoong LW., Kumar K. Molecular detection of feline leukemia virus in clinically ill cats in Klang Valley, Malaysia. *Veterinary World* 2021; 14(2): 405.
- Neil JC. Feline leukemia and sarcoma viruses. *Desk Encyclopedia of* 2008; 283.
- Richards J. 2001 Report of the American association of feline practitioners and academy of medicine advisory panel on Feline Retrovirus testing and management. *Journal of Medicine Surgery* 2003; 5(1): 3-10.
- Sarma PS., Log T. Subgroup classification of feline leukemia and sarcoma viruses by viral interference and neutralization tests. *Virology* 1973; 54(1): 160-169.

- Sykes JE., Hartmann K. Feline leukemia virus infection. *Canine and feline infectious diseases* 2014; 224.
- Tartaglia J., Jarrett O., Neil JC., Desmettre P., Paoletti E. Protection of cats against feline leukemia virus by vaccination with a canarypox virus recombinant, ALVAC-FL. *Journal of Virology* 1993; 67(4): 2370-2375.
- Ueland K., Lutz H. Prevalence of feline leukemia virus and antibodies to feline immunodeficiency virus in cats in Norway. *Journal of Veterinary Medicine Series B* 1992; 39(1-10): 53-58.
- Vail DM., Thamm D., Liptak J. *Withrow and MacEwen's Small Animal Clinical Oncology-E-Book*. Elsevier Health Sciences; 2019.

Ab initio Yöntemler ile Ni₂ScAl Bileşiğinin Mekanik ve Termodinamik Özelliklerinin İncelenmesi

Tahsin ÖZER^{1*}, Nihat ARIKAN²

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bahçe Meslek Yüksekokulu, Bahçe/Osmaniye/Türkiye

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Osmaniye/Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0003-0344-7118>

²<https://orcid.org/0000-0001-8028-3132>

*Sorumlu yazar: tahsinozer@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 08.10.2021

Kabul tarihi: 14.03.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Ni₂ScAl

Heusler

Elastik sabitler

Termodinamik

Çalışmada Ni₂ScAl full Heusler bileşiğinin mekanik ve termodinamik özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla, önce yapısal optimizasyon yapılmış akabinde elastik sabitler hesaplanmıştır. Hesaplanan elastik sabitlerin kararlılık kriterlerini sağladığından dolayı elastik modülü hesaplanmış ve anizotropisi incelenmiştir. Debye sıcaklığı, Gruneisen sabiti ve termal iletkenlikleri tahmin edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda Ni₂ScAl bileşiği sert olmayıp, anizotrop ve sünek özellik göstermesi beklenmektedir. Küçük minimum termal iletkenliğe sahip olmasından dolayı, ısı yalıtkan olarak kullanılabilir.

Investigation of Mechanical and Thermodynamic Properties of Ni₂ScAl Compound by Ab initio Methods

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 08.10.2021

Accepted: 14.03.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Ni₂ScAl

Heusler

Elastic constant

Thermodynamic

In this study, the mechanical and thermodynamic properties of Ni₂ScAl full Heusler compound were investigated. For this purpose, first structural optimization was made, and then elastic constants were calculated. Since the calculated elastic constants meet the stability criteria, the elastic modulus was calculated, and its anisotropy was examined. Debye temperature, Gruneisen constant and thermal conductivities were estimated. As a result of the calculations, it is expected that the Ni₂ScAl compound is not hard but will show anisotropic and ductile properties. It can be used as a thermal insulator due to its small minimum thermal conductivity.

To Cite: Özer T., Arıkan N. Ab initio Yöntemler ile Ni₂ScAl Bileşiğinin Mekanik ve Termodinamik Özelliklerinin İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 861-870.

1. Giriş

1903 yılında keşfedilen Heusler alaşımlar manyetik elementler olmaksızın ferromanyetik özellik göstermesinden dolayı ilgi çekmiştir. Çok çeşitli özelliklerinin istenen ihtiyaca göre uyarılma potansiyelinden dolayı 2015 yılından bu yana binlerce çalışma yapılmıştır. Full-Heusler bileşikler X₂YZ formunda olup, X ve Y atomları tipik geçiş elementleri ya da lantanitlerden olurken Z atomu III veya IV gruptan olur (Everhart ve Newkirk, 2019). X₂YZ genel formuna sahip Heusler bileşiğinin günümüzde yüzlerce temsilcisi olan büyük bir kübik bileşik ailesidir (Benndorf ve ark., 2015). Ni₂ScAl üçlü bileşiği intermetalik Heusler bileşiği olup L2₁-yapı olarak da bilinmektedir. Bu bileşik

Benndorf ve ark., (2015) tarafından yakın zamanlarda sentezlenmiştir. Mekanik ve termodinamik özelliklerine, basıncın ve sıcaklığın etkisi Wen ve ark., (2017) tarafından incelenmiştir. Heusler bileşikler mükemmel ferromanyetik özelliğe sahiptir (Wen ve ark., 2017).

Ab initio metotlar kullanılarak bir malzemenin yapısal, mekanik, elektronik, optik ve termodinamik özelliklerini deneysel değerlere çok yakın hesaplamak mümkündür (Özer ve Öztürk, 2019). Ab initio metotlar ile hesaplama yapılacak malzeme, daha önce sentezlenmiş hatta birtakım özellikleri deneysel veya teorik olarak çalışılmış olabileceği gibi henüz hiç sentezlenmemiş malzemeler de olabilir. Sentezlenmemiş malzemelerin sentezlenip sentezlenemeyeceğine dahi bakılabilmektedir. Bu şekilde teorik olarak malzemenin tüm özelliklerinin belirlenmesi uygulamalarda kullanılacak aday malzeme seçiminde önem arz etmektedir (Özer, 2020a).

Bu çalışmada, Ni_2ScAl bileşiğinin yapısal optimizasyonu yapılmış, sonrasında elastik sabitleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu elastik sabitler kullanılarak elastik modül, anizotropi ve termodinamik özellikler (Debye sıcaklığı, erime sıcaklığı, minimum termal iletkenlik vs.)'in araştırılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Quantum Espresso (QE) yazılımı ile yapılan DFT hesaplamalarında GGA (Generalized Gradient Approximation) yaklaşımında elektron-elektron etkileşiminin exchange-correlation terimi için PBE (Perdew – Burke - Ernzerhof) (Perdew ve ark., 1996) fonksiyoneli tercih edilmiştir. QE internet sitesinden temin edilen USPP (Ultrasoft Pseudo Potansiyel) tipi ve PBESOL fonksiyonel Pseudopotansiyel dosyaları kullanılmıştır. Tüm hesaplamalarda kinetik enerji cut off değeri olarak 540 Ry, ecutrho için 3780 Ry, k-noktaları için 6x6x6 optimize değerler kullanılmıştır. Elastik sabitlerin hesaplanması, açık kaynak QE yazılımının bir parçası olan THERMO_PW sicipti ile yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Ni_2ScAl bileşiği kübik yapıda ve Fm-3m (no:225) uzay gurubunda bulunmaktadır. Al atomları 4a Wyckoff konumunda ve (0, 0, 0) koordinatta, Ni atomları 8c Wyckoff konumunda ve (1/4, 1/4, 1/4) koordinatta, Sc atomları 4b Wyckoff konumunda ve (1/2, 1/2, 1/2) koordinatta bulunur (Wen ve ark., 2017).

Araştırmaya Ni_2ScAl bileşiğinin yapısal optimizasyonu ile başlanmıştır. Yapısal optimizasyon sonucunda bileşiğin örgü sabiti 5,98 Å olarak hesaplanmıştır. Yapılan literatür taramasında Wen ve ark., (2017) 6,028 Å (GGA) ve 5,914 Å (LDA) olarak hesaplamışlar ve deneysel olarak 5,990 Å (Dwight ve Kimball, 1987) olduğu rapor edilmiştir. Bu çalışma ile bulunan değer, deneysel olarak ölçülen değere daha yakındır.

3.1. Mekanik ve Anizotropik Elastik Özellikler

Malzemenin mekanik kararlılığını belirleyebilmek için elastik sabitler (C_{ij}) elde edilir. Bu sabitler malzemenin teknolojik uygulamalarında önem arz etmektedir. Kübik yapıdaki kristaller için gerekli olan elastik sabitler C_{11} , C_{12} ve C_{44} olup literatür verileri ile Tablo 1’de verilmiştir. Ni_2ScAl bileşiği herhangi bir deneysel çalışmaya konu olmamış ancak Wen ve ark. (2017) tarafından CASTEP yazılımı ile teorik olarak çalışılmıştır. Tablo 1’den de görüleceği gibi bu çalışma ile bulunan değer, literatür verisi ile ortalama %6,5 farklıdır. Teorik hesaplamalar için bu fark normal olup, kullanılan yazılım farklılığından olduğu düşünülmektedir.

Tablo 1. Ni_2ScAl bileşiği için hesaplanan elastik sabitler

Referans	C_{11}	C_{12}	C_{44}
Bu çalışma	191,94	116,73	88,34
Wen ve ark. (2017)	190,2	101,0	85,6
de Jong ve ark. (2015)	189	105	69

Hesaplanan sabitler Born kararlılık kriterleri (Born, 1940; Mouhat ve Coudert, 2014) olarak bilinen şartları sağlamaktadır. Bundan dolayı Ni_2ScAl bileşiğinin mekanik olarak kararlı yapıda olduğu söylenebilir. Mekanik olarak kararlı olmasından dolayı çalışılan bileşiğin mekanik özellikleri araştırılmıştır. Bulk, shear, Young (E) modülü ve poisson oranı (ν) gibi fiziksel özellikler elastik sabitlerinin yardımı ile Voight (Voigt, 1966), Reuss (Reuss, 1929) ve Hill (Hill, 1952) yaklaşımında hesaplanarak Tablo 2’de verilmiştir. Tablolarda “V” alt indisi Voight, “R” Reuss ve “H” Hill yaklaşımını sembolize etmektedir. Voight yaklaşımı üst, Reuss yaklaşımı alt limite ve Hill yaklaşımı bunların aritmetik ortalamasına karşılık gelmektedir. Hill yaklaşımı genellikle deneylere en yakın değeri vermektedir.

Tablo 2. Ni_2ScAl bileşiği için hesaplanan elastik sabitler

Referans	B			G			E			ν		
	B_V	B_R	B_H	G_V	G_R	G_H	E_V	E_R	E_H	ν_V	ν_R	ν_H
Bu çalışma	141,8	141,8	141,8	68,0	57,4	62,7	176,0	151,7	164,0	0,29	0,32	0,31
Wen ve ark. (2017)	-	-	130,7	-	-	65,9	-	-	169,3	-	-	-
de Jong ve ark. (2015)	133	133	133	58,2	54,88	56,54	152,37	144,75	148,57	0,30	0,31	0,31

Bulk, shear, Young modüllerinin değerlerinin büyüklüğü malzemenin sertliğini göstermektedir. Yapılan çalışmada Ni_2ScAl bileşiği için Bulk, shear ve young modülleri sıra ile 141,8 GPa, 62,7 GPa ve 164,0 GPa olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler, literatür taramasından bulunan veriler ile uyumludur (de Jong ve ark., 2015; Wen ve ark., 2017). Bir malzemenin sertliğini sadece Bulk, shear ve Young modüllerine bakarak değerlendirmek yeterli değildir. Bu yüzden Vicker sertliği de hesaplanmalıdır. Literatürde Vicker sertliğini tanımlayan birkaç tane eşitlik mevcuttur. Bu çalışmada Vicker sertliğini (Chen ve ark., 2011) hesaplamak için takip eden eşitlik tercih edilmiştir.

$$H_v = 2(k^2 G)^{0.585} - 3 \quad (1)$$

Eşitlikte geçen k değeri “G/B” oranını göstermektedir. Verilen bu eşitlik yardımı ile Ni_2ScAl bileşiğinin Vicker sertliği 5,7 GPa olarak hesaplanmıştır. Vicker sertliği 10 GPa altında olan malzemeler, sert olmayan yumuşak malzeme olarak sınıflandırılmaktadır (Liu ve ark., 2020). Bu sınıflandırılmaya göre Ni_2ScAl bileşiği yumuşak bir malzemedir. Malzemenin bir başka enteresan mekanik özelliği de mikro sertliğidir. Malzemenin mikro sertliğini, Young modülü ve Poisson oranını kullanarak tahmin etmek için Yousef’in önerdiği deneysel bağıntı (Yousef ve ark., 2006),

$$H = \frac{(1 - 2\nu)E}{6(1 + \nu)} \quad (2)$$

Yousef’in önerdiği eşitlik yardımı ile malzemenin mikro sertliği 8,06 GPa olarak hesaplanmıştır. Wen ve ark, (2017) bu değeri 9,48 GPa olarak rapor etmişlerdir. Bu bakımdan da bulunan sonuç literatür verisi ile uyumludur.

Malzemenin sünek (ductile), kırılğan (brittle) doğasını belirlemek için B / G oranı kullanılmaktadır. Kırılğan doğaya sahip malzemelerde B / G oranı 1,75’den küçük, sünek doğaya sahip malzemelerde bu oran 1,75’den büyük olmaktadır (Pugh, 1954). Çalışılan malzeme için B / G oranı 2,26 olarak hesaplandığından sünek doğaya sahip olduğu söylenebilir. Literatürde “ $C_{12} - C_{44}$ ” değeri Cauchy basıncı olarak ifade edilmektedir. Kırılğan (sünek) doğaya sahip malzemelerde Cauchy basıncı negatif (pozitif) değer almaktadır. Cauchy basıncı pozitif olduğundan sünek doğaya sahip olduğu söylenebilir. Cauchy basıncı ile ulaşılan yargı, B / G oranı ile ulaşılan yargıyı doğrulamaktadır. Ayrıca Wen ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada Ni_2ScAl bileşiğini sünek davranış sergileyeceğini bildirmişlerdir. Bu bakımdan da bu çalışma ile ulaşılan yargı literatür ile de tutarlıdır.

Aynı zamanda G / B oranı malzemedeki bağların doğasını anlamak için de kullanılmaktadır. Eğer G / B oranı 0,6 civarında ise iyonik bağ, 1,1 civarında ise kovalent bağ baskındır (Surucu, 2018). Ni_2ScAl bileşiği için G / B oranı 0,4 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca Poisson oranı da malzemedeki bağların doğası hakkında bilgi vermektedir. Eğer Poisson oranı 0,1 civarında olursa malzemedeki kovalent bağlar baskındır, eğer 0,25 civarında ise iyonik bağlar baskındır. Poisson oranı 0,31 olarak hesaplandığından Ni_2ScAl bileşiğinde hem kovalent hem de iyonik bağlar mevcuttur. Burada olduğu gibi atomlar arası bağların kısmen iyonik kısmen de kovalent olması mümkündür. Tabiatta sadece birkaç bileşik sadece kovalent veya sadece iyonik bağlardan oluşur. Bir bileşikteki iyonik ve kovalent bağın derecesi periyodik tabloda atomların bağıl konumlarına veya elektronegatiflik değerleri arasındaki farka bağlıdır. Atomların elektronegatiflik değerleri arttıkça iyonik bağ özelliği de artar. Periyodik tabloda elementler birbirine ne kadar yakın iseler veya elektronegatiflik farkları küçük ise bu durumda koavalentlik derecesi de o kadar yüksek olacaktır. A ve B elementleri arasındaki iyonik bağın yüzdesi takip eden eşitlik yardımı ile hesaplanabilir (Callister ve Rethwisch, 2011; Özer, 2020b).

$$\% \text{ iyonik özellik} = \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{(X_A - X_B)^2}{4} \right] \right\} \times 100 \quad (3)$$

Eşitlikte geçen X_A ve X_B ilgili elementlerin elektronegatiflik değerleridir.

Malzeme biliminde ve uygulamalarında mikro çatlaklar önem arz ettiğinden anizotropi incelenmesi gereken bir özelliktir. Ni_2ScAl Heusler bileşiğinin anizotropisi elastik sabit ve modüllere dayanan farklı metotlar ile ifade edilebilir. Malzemenin anizotropisi, herhangi bir kristal yapıya uygulanabilen evrensel anizotropi index (A^U) (Ranganathan ve Ostoja-Starzewski, 2008), Chung-Buessem anizotropi index (A_G) (Buessem ve Chung, 1968), sadece kübik kristallere uygulanabilen Zener anizotropik index (A_Z) (Nye, 1985) ve elastik anizotropi faktörü (A^E) (Every, 1980) olarak farklı şekillerde ifade edilmektedir. İzotropik sistemlerde A_Z bir, A^U , A_G , A^E değerleri sıfır olur. Bu değerlerin sıfır ve birden sapma miktarları anizotropikliğin ölçüsüdür. Anizotropinin farklı ifadeleri ile hesaplanan değerleri Tablo 3’de verilmiştir. Tablo 3’den de açıkça görüleceği üzere Ni_2ScAl bileşiği anizotropik bir davranış sergilemesi beklenmektedir. Ulaşılan bu yargı Wen ve ark., (2017) yaptığı çalışma ile tutarlıdır.

$$A^U = 5 \frac{G_V}{G_R} + \frac{B_V}{B_R} \geq 0 \quad (4)$$

$$A_Z = \frac{2G_{44}}{C_{11} - C_{12}} \quad (5)$$

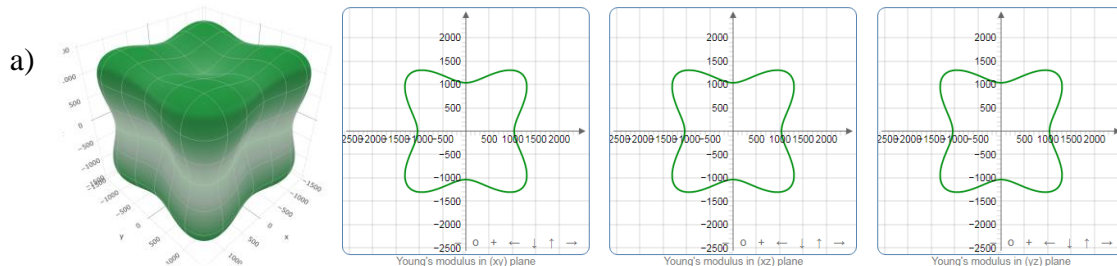
$$A_G = \frac{G_V - G_R}{G_V + G_R} \times 100 \quad (6)$$

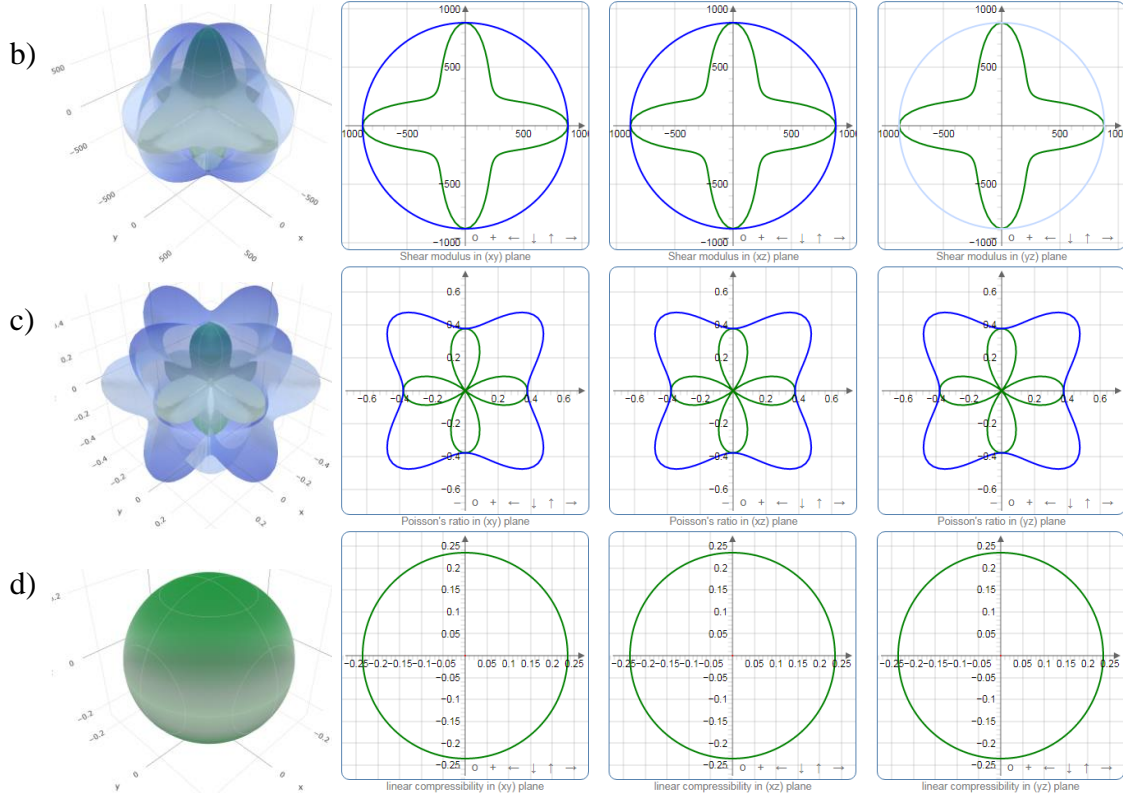
$$A^E = \frac{C_{11} - C_{12} - 2C_{44}}{C_{11} - C_{44}} \quad (7)$$

Tablo 3. Hesaplanan anizotropi oranları.

	A^U	A_Z	A_G	A^E
Bu çalışma	0,93	2,35	8,50	-0,98
Wen ve ark., (2017)	0,53	1,92	5,00	-

Çalışılan malzemenin anizotropisinin daha rahat görülebilmesi için anizotropi ELATE yazılımı (Gaillac ve ark., 2016) ile 3D ve 2D olarak görselleştirilerek Şekil 1’de verilmiştir.





Şekil 1. Bileşiğin anizotropisi (a) Young's modülü, (b) Shear modülü, (c) Poisson'ın oranı, (d) linear sıkıştırılabilirliğinin 3D and 2D şekilleri.

Grafikteki yeşil şekiller minimum parametreyi gösterirken mavi şekiller maksimum parametreyi göstermektedir. Görseller, izotropik malzemelerde küre şeklinde olmaktadır. Küre şeklinden sapmalar anizotropikliğin göstergesidir. Şekilden de açıkça görüleceği gibi lineer sıkıştırılabilirlik izotropik olduğu halde Poisson oranı, Young ve Shear modülleri izotropik olmayıp anizotropiktir.

3.2. Termodinamik Özellikler

Debye sıcaklığı, ortalama ses hızı, erime sıcaklığı gibi bir takım fiziksel özellikler büyük doğruluk oranları ile teorik olarak hesaplanabilmektedir. Debye sıcaklığı, erime sıcaklığı ve termal iletkenlik gibi bazı fiziksel özellikler ile yakından ilişkilidir. Yüksek Debye sıcaklığı, malzemelerde yüksek termal iletkenlik ve yüksek erime sıcaklığına işaret etmektedir (Gencer ve Surucu, 2019). Literatürde verilen eşitlikler (Anderson, 1963; Schreiber, 1973) yardımı ile Debye sıcaklığı (θ_D) 577 K, ortalama ses hızı (v_m) 7302 m/s, enine ses hızı (v_s) 6531 m/s ve boyuna ses hızı (v_l) 12382 m/s olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu Debye sıcaklığını kıyaslayacak bir literatür verisine ulaşamadığından okuyucuya fikir vermesi açısından Ir_2ScGa ve Rh_2ScGa bileşiklerinin Debye sıcaklıkları 324 ve 326 K olarak rapor edilmiştir (Çanlı ve ark., 2021).

Akustik Gruneisen sabiti γ_a atom ve moleküller arasındaki etkileşimin anharmonikliğin bir ölçüsüdür. Termal genişleme ve termal iletkenlik gibi önemli fiziksel süreçleri kontrol eder. Gruneisen sabiti bir

ve iki arasında bir değer alır. Gruneisen sabiti termal iletkenlik ile ters orantılıdır. Akustik Gruneisen sabiti (Okoye, 2014; Arab ve ark., 2016; Kou ve ark., 2020),

$$\gamma_a = \frac{3}{2} \left(\frac{3v_l^2 - 4v_s^2}{v_l^2 + 2v_s^2} \right) \quad (8)$$

Eşitlik 8 yardımı ile akustik Gruneisen sabiti 1,82 olarak hesaplanmıştır. Gruneisen sabitinin 2' ye yakın olması ve termal iletkenlik ile ters orantılı olmasından dolayı termal iletkenliğinin küçük bir değerde olması beklenmektedir. Malzemenin minimum termal iletkenliği Clarke (Clarke, 2003), Cahill (Cahill ve ark., 1992) ve Long (Long ve ark., 2015) yöntemleri ile sırası ile 0,894, 0,998, 0,710 W m⁻¹ K⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan minimum termal iletkenliğin değerinin küçük olması Gruneisen sabiti ile tutarlıdır. Ni₂ScAl bileşiğinin minimum termal iletkenliğinin küçük olmasından dolayı termal yalıtkan malzeme olarak uygulamalarda kullanılabilir. Gruneisen sabiti ve minimum termal iletkenlik değerlerini kıyaslayabilecek herhangi bir veri bulunamamıştır. Bu bakımdan literatürdeki bu eksikliğin tamamlandığı söylenebilir.

Elastik sabit ve modüller yardımı ile malzemenin kaynama noktası teorik olarak hesaplanabilir. Literatürde erime noktasını tahmin eden eşitlikler (Fine ve ark., 1984; Özer, 2018)

$$T_m = 560.4 + 7.805 C_{11} - 3.094 C_{12} - 1.086 C_{44} \quad (9)$$

$$T_m = 553 + 5.91 C_{11} \quad (10)$$

$$T_m = 607 + 9.3 B \quad (11)$$

Eşitlikte geçen C_{ij} elastik sabitlere (GPa) ve B= (C₁₁ + 2C₁₂) / 3, ifadesine karşılık gelmektedir. Ni₂ScAl bileşiğinin erime sıcaklığı 1601 K (Eşitlik 9), 1687 K (Eşitlik 10) ve 1925 K (Eşitlik 11) olarak hesaplanmıştır. Ni₂ScAl bileşiğinin erime sıcaklığının tayinine yönelik herhangi bir deneysel veya teorik çalışma bulunamadığından hesaplanan sonuçlar kıyaslanamamıştır.

4. Sonuç

Bu çalışmada, Ni₂ScAl bileşiğinin yapısal optimizasyonu yapılarak elastik sabitler elde edilmiş bu sabitler kullanılarak elastik modül, anizotropi ve termal özellikler detaylı olarak incelenmiştir. Enerji hesaplamalarında açık kaynak QE kodu, anizotropikliği görselleştirebilmek için ELATE yazılımı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, Ni₂ScAl bileşiğinin hesaplanan elastik sabitleri Born kararlılık kriterlerini karşılamaktadır bu bakımdan mekanik olarak kararlı olduğu söylenebilir. Yine yapılan hesaplamalar neticesinde bileşiğin yumuşak, anizotropik özellik ve sünek karakterde olacağı tahmin edilmiştir. Bileşiğin Debye sıcaklığı, Akustik Gruneisen sabiti ve termal iletkenlik değerleri elde edilmiştir. Termal iletkenliğinin küçük olmasından dolayı ısıl uygulamalarda termal yalıtkan malzeme olarak kullanılabilceği düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduğunu beyan ederler.

Kaynakça

- Anderson OL. A simplified method for calculating the debye temperature from elastic constants. *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 1963; 24(7): 909–917.
- Arab F., Sahraoui FA., Haddadi K., Bouhemadou A., Louail L. Phase stability, mechanical and thermodynamic properties of orthorhombic and trigonal MgSiN₂: an ab initio study. *Phase Transitions* 2016; 89(5): 480–513.
- Benndorf C., Niehaus O., Eckert H., Janka O. 27Al and 45Sc NMR Spectroscopy on ScT₂Al and Sc(T_{0.5}T'_{0.5})₂Al (T = T' = Ni, Pd, Pt, Cu, Ag, Au) heusler phases and superconductivity in Sc(Pd_{0.5}Au_{0.5})₂Al. *Zeitschrift Für Anorganische Und Allgemeine Chemie* 2015; 641(2): 168–175.
- Born M. On the stability of crystal lattices. I. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* 1940; 36(2): 160–172.
- Buessem DH., Chung WR. *Anisotropy in single-crystal refractory compounds*. 1st ed. US: Springer; 1968.
- Cahill DG., Watson SK., Pohl RO. Lower limit to the thermal conductivity of disordered crystals. *Physical Review B* 1992; 46(10): 6131.
- Çanlı M., İlhan E., Arıkan N. First-principles calculations to investigate the structural, electronic, elastic, vibrational and thermodynamic properties of the full-Heusler alloys X₂ScGa (X = Ir and Rh). *Materials Today Communications* 2021; 26: 101855.
- Chen XQ., Niu H., Li D., Li Y. Modeling hardness of polycrystalline materials and bulk metallic glasses. *Intermetallics* 2011; 19(9): 1275–1281.
- Clarke DR. Materials selections guidelines for low thermal conductivity thermal barrier coatings. *Surface and Coatings Technology* 2003; 163–164: 67–74.
- de Jong M., Chen W., Angsten T., Jain A., Notestine R., Gamst A., Sluiter M., Ande CK., van der Zwaag S., Plata JJ., Toher C., Curtarolo S., Ceder G., Persson KA., Asta M. Charting the complete elastic properties of inorganic crystalline compounds. *Scientific Data*, 2015; 2.
- Dwight AE., Kimball CW. ScT₂X and LnT₂X compounds with the MnCu₂Al-type structure. *Journal of the Less Common Metals*, 1987; 127(C): 179-182.
- Everhart W., Newkirk J. Mechanical properties of Heusler alloys. *Heliyon* 2019; 5(5): e01578.

- Every AG. General closed-form expressions for acoustic waves in elastically anisotropic solids. *Physical Review B* 1980; 22(4): 1746.
- Fine ME., Brown LD., Marcus HL. Elastic constants versus melting temperature in metals. *Scripta Metallurgica* 1984; 18(9): 951–956.
- Gaillac R., Pullumbi P., Coudert FX. ELATE: an open-source online application for analysis and visualization of elastic tensors. *Journal of Physics: Condensed Matter* 2016; 28(27): 275201.
- Gencer A., Surucu G. Investigation of structural, electronic and lattice dynamical properties of XNiH (X = Li, Na and K) perovskite type hydrides and their hydrogen storage applications. *International Journal of Hydrogen Energy* 2019; 44(29): 15173–15182.
- Hill R. The Elastic behavior of a crystalline aggregate. *Proceedings of the Physical Society. Section A*, 1952; 65(5): 349–354.
- Kou J., Zhou Y., Li KL., Gan LH. The stability, electronic, mechanical and thermal properties of three novel superhard carbon crystals. *Computational Materials Science* 2020; 182, 109758.
- Liu W., Niu Y., Li W. Theoretical prediction of the physical characteristic of Na₃MO₄ (M=Np and Pu): The first-principles calculations. *Ceramics International* 2020; 46(16): 25359-25365.
- Long J., Shu C., Yang L., Yang M. Predicting crystal structures and physical properties of novel superhard p-BN under pressure via first-principles investigation. *Journal of Alloys and Compounds* 2015; 644, 638–644.
- Mouhat F., Coudert FX. Necessary and sufficient elastic stability conditions in various crystal systems. *Physical Review B* 2014; 90(22): 224104.
- Nye J. *Physical properties of crystals: their representation by tensors and matrices*. Oxford University Press, 1985.
- Okoye CMI. Structural, elastic and electronic structure of LiCu₂Si, LiCu₂Ge and LiAg₂Sn intermetallic compounds. *Computational Materials Science* 2014; 92: 141–148.
- Özer T. Study of first principles on anisotropy and elastic constants of YAl₃ compound. *Canadian Journal of Physics*, 2020a; 98(4).
- Özer T. Yüksek basınç altında SbSeI'nin elektronik özelliklerin ilk ilk hesaplamalar ile incelenmesi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences* 2020b; 2021(1): 64–72.
- Özer T. Determination of melting temperature. 4 th International Congress on Multidisciplinary Studies, 18-19 October 2018, sayfa no: 87–99, Kyrenia-TRNC.
- Özer T., Öztürk Aİ. Theoretical Investigation of the effect of pressure on structural parameters of ferroelectric SbSI crystal. *IMSTEC 2019*, 18-20 Ekim 2019, sayfa no: 176–179, Kızılcahamam-Ankara.
- Perdew JP., Burke K., Ernzerhof M. Generalized gradient approximation made simple. *Physical Review Letters* 1996; 77(18): 3865.

- Pugh SF. XCII. Relations between the elastic moduli and the plastic properties of polycrystalline pure metals. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 1954; 45(367): 823–843.
- Ranganathan SI., Ostoja-Starzewski M. Universal Elastic anisotropy index. APS, 2008; 101(5).
- Reuss A. Berechnung der fließgrenze von mischkristallen auf grund der plastizitätsbedingung für einkristalle . ZAMM - Zeitschrift Für Angewandte Mathematik Und Mechanik 1929; 9(1): 49–58.
- Schreiber E. Elastic constants and their measurement. London: McGraw-Hill Book Company; 1973.
- Surucu G. Investigation of structural, electronic, anisotropic elastic, and lattice dynamical properties of MAX phases borides: An Ab-initio study on hypothetical M2AB (M = Ti, Zr, Hf; A = Al, Ga, In) compounds. Materials Chemistry and Physics 2018; 203: 106–117.
- Voigt W. Lehrbuch der kristallphysik. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag; 1966.
- Wen Z., Zhao Y., Hou H., Wang B., Han P. The mechanical and thermodynamic properties of Heusler compounds Ni₂XAl (X = Sc, Ti, V) under pressure and temperature: A first-principles study. Materials & Design 2017; 114: 398–403.
- William D. Callister Jr., Rethwisch DG. Materials Science and Engineering. 8th edn. United States of America: John Wiley and Sons, 2011.
- Yousef ES., El-Adawy A., El-KheshKhany N. Effect of rare earth (Pr₂O₃, Nd₂O₃, Sm₂O₃, Eu₂O₃, Gd₂O₃ and Er₂O₃) on the acoustic properties of glass belonging to bismuth–borate system. Solid State Communications 2006; 139(3): 108-113.

Sütlü Çikolatalarda Kurşun ve Kadmiyum Elementlerinin ICP-OES ile Tespiti ve Metod Validasyon Çalışması

Fatma HEPSAĞI^{1*}, İbrahim HAYOĞLU²

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Gıda Teknolojisi Programı, 80760, Osmaniye

²Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, 63040, Şanlıurfa

¹<https://orcid.org/0000-0002-3688-4106>

²<https://orcid.org/0000-0002-6358-8302>

*Sorumlu yazar: fatmahepsagi@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 23.12.2021

Kabul tarihi: 14.03.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Çikolata
Kadmiyum
Kurşun
Kakao
Validasyon
ICP-OES

ÖZ

Bu çalışmada, induktif olarak eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) ile çikolatada kurşun (Pb), kadmiyum (Cd) elementlerin tespiti için metod validasyon çalışması yapılmıştır. Validasyon parametreleri olarak, tayin limiti (LOD), ölçüm limiti (LOQ), lineer ölçüm aralığı, hassasiyet ve kesinlik belirlenmiştir. Çalışmada, Sertifikalı Referans Materyalleri (CRM) kullanılmıştır. Tekrarlanabilirlik, Pb için 0,0365-1,197 ppm, Cd için 0,064-0,247 ppm, doğruluk sırasıyla 0,365-1,255 ve 0,065-0,247 ppm aralığında iken geri kazanım oranları ise %71,51-96,56 ve %64,10-88,05 olarak belirlenmiştir. Çalışmada 20 sütlü çikolata örnekleri incelenmiş olup, Pb ve Cd konsantrasyonları sırasıyla 0,004-0,009 ve 0,001-0,002 ppm aralığında tespit edilmiştir. LOD ve LOQ değerleri ise Pb için 0,005 ve 0,016, Cd için 0,001 ve 0,002 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların, Eurachem “The Fitness for Purpose of Analytical Methods” Second Edition 2014’e ve NMKL 161 metodu ve Türk Gıda Kodeksi “Gıdalarda kurşun, kadmiyum, cıva, inorganik kalay, 3-MCPD, 2 diol ve polisiklik aromatik hidrokarbon seviyelerinin resmi kontrolü için numune alma, numune hazırlama ve analiz metodu kriterleri tebliğine (Tebliğ No: 2014/2) göre uygun olduğu görülmüştür.

Determination of Lead and Cadmium Elements in Milk Chocolate with ICP-OES and Method Validation Study

Research Article

Article History:

Received: 23.12.2021

Accepted: 14.03.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Chocolate
Cadmium
Lead
Cocoa
Validation
ICP-OES

ABSTRACT

In this study, a method validation study was performed for the determination of lead (Pb), cadmium (Cd) elements in chocolate by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). As the validation parameters, determination limit (LOD), measurement limit (LOQ), linear measurement range, sensitivity and precision were determined. Certified Reference Materials (CRM) were used in the study. Repeatability was in the range of 0,0365-1,197 ppm for Pb, 0,064-0,247 ppm for Cd, accuracy between 0,365-1,255 and 0,065-0,247 ppm, respectively. Recovery rates were determined as 71,51-96,56% and 64,10-88,05%. In the study, 20 milk chocolate samples were examined, Pb and Cd concentrations were determined between 0,004-0,009 and 0,001-0,002 ppm, respectively, and LOD and LOQ values were calculated as 0,005 and 0,016 for Pb, 0,001 and 0,002 for Cd. The results obtained, Eurachem “The Fitness for Purpose of Analytical Methods” Second Edition 2014 and NMKL 161 method and Turkish Food Codex “Lead, cadmium, mercury, inorganic tin, 3-MCPD, 2

diol and polycyclic aromatic hydrocarbon levels in foods sampling, sample preparation and analysis method criteria were found to be appropriate for the control according to the communique (Communique No: 2014/2).

To Cite: Hepsağ F., Hayoğlu İ. Sütü Çikolatalarda Kurşun ve Kadmiyum Elementlerinin ICP-OES ile Tespiti ve Metod Validasyon Çalışması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 871-884.

1. Giriş

Her ne kadar kakao içeren gıdalar, temel gıdalara kıyasla az miktarlarda tüketilse de potansiyel olarak yüksek Cd konsantrasyonları nedeniyle beslenmemizde önemli yer tutmaktadır. Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA), kakao bazlı ürünlerle Cd alımının, Avrupa nüfusunun günlük toplam gıda tüketiminin %4,3'ünü oluşturduğunu belirtmektedir (EFSA, 2012).

Çikolata, dünyada en çok tüketilen kakao bazlı üründür. Çikolataların ve diğer kakao ürünlerinin düzenli ve orta derecede tüketimi, antioksidan aktiviteleri, yüksek karbonhidrat içeriği ve Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn ve Zn gibi bazı elementleri yüksek miktarda içermesi nedeniyle sağlığa katkısı önemlidir (Crozier ve ark., 2001; Sager, 2012). Olumlu sağlık etkilerinin yanında, çikolatanın hoş ve lezzetli oluşu muhtemelen popülerliklerinin ana nedenidir (Bruinsma ve Taren, 1999; Parker ve ark., 2006).

Çikolata ürünlerinin kimyasal bileşimi yıllardır araştırılmaktadır (Dahiya ve ark., 2005; Rehman ve Husnain, 2012; Villa ve ark., 2014). Kakaodan üretilen ürünlerde elementlerin bulunması ile ilgili çalışmaların çoğu, minerallerin toplam konsantrasyonlarının belirlenmesine yöneliktir. Villa ve ark., (2014) çikolata örneklerindeki Cd ve Pb'nin toplam içeriğini, bu elementlerin konsantrasyonlarının kakao içeriği ile doğrusal olarak arttığını ve beklendiği gibi koyu renkli çikolataların Cd ve Pb'nin en yüksek konsantrasyonlarını sunduğunu göstermiştir (Sager, 2012). Son dönemde yapılan birçok çalışma, kakao türevi ürünlerdeki Cd konsantrasyonunun kakao içeriğiyle ilişkili olduğunu ve Cd'nin hammaddeden (kakao uçları) kaynaklandığını gösteren benzer sonuçlar bildirilmiştir (Yanus ve ark., 2014; Abt ve ark., 2018; Vanderschueren ve ark., 2019).

Yapılan birçok çalışma, çikolata ürünlerinde Pb ve Cd mevcudiyetinin doğal olarak hammaddeden ve işlenmeye bağlı olabileceğini savunmuşlardır. Bu metaller, doğrudan kakao ağacı tarafından emilebilir, hazırlama işlemi sırasında bulaşabilir veya mutfak eşyaları, çevre kirliliği veya nakliye ve depolama yoluyla kontaminasyondan kaynaklanabilir, dolayısıyla nihai üründe de bulunabilirler (Lee ve Low, 1985; Mesallam, 1987; Rankin ve ark., 2005).

Cd, böbrek ve prostatta, toksik olarak tümör baskılayıcı proteinler ve DNA onarımında bozulmalara Grup1 Kanserojen olarak (IARC, 2012), Pb ise sinir sisteminde, DNA onarımında bozulmalara Grup 2A kanserojen olarak (IARC, 2002) toksidite etkileri bulunmaktadır.

Bu çalışmadaki amaç, çikolata örneklerindeki Pb ve Cd elementlerinin ICP-OES ile tespiti ve validasyon çalışmalarını yapmaktır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmamızda 20 adet sütlü çikolata örnekleri kullanılmıştır. Çikolata örnekleri, 2020 yılında Gaziantep, Adana, Kahramanmaraş ve Mersin illerindeki marketlerden temin edilmiştir. Örneklerin analizleri yapıncaya kadar 5°C'de bekletilmiştir.

2.1. Kullanılan Kimyasallar ve Hazırlanışı

HNO₃ (%65 saflıkta, Merck), %0,4'lük HNO₃ çözeltisi yıkama çözeltisi olarak ve kalibrasyon standartları hazırlamada kullanılmıştır. Konsantre %65'lik nitrik asitten yaklaşık 7 ml alınıp ve balon jodede ultra saf su ile 1000 ml'ye tamamlanmıştır. %6,5'lik HNO₃ çözeltisi, 100 ml konsantre %65'lik HNO₃'ten alınıp ve balon jodede 1000 ml'ye ultra saf su ile tamamlanmıştır. Standart çalışma çözeltisi (10 ppm) standart stok çözeltilerden (1000 ppm) 1 ml alınarak ultra saf su ile 100 mL' ye tamamlanmıştır. Kalibrasyon çözeltileri Merck marka Cd, Pb standartları kullanılarak hazırlanmıştır.

2.2. Örneklerin hazırlanması ve analiz işlemleri

Örnekler blenderde öğütülüp ve homojen olarak karıştırıldıktan sonra yaklaşık 0,20-1,00 g arasında teflon örnek yakma kabına konulmuştur. Üzerine 10 mL HNO₃ (%65 saflıkta) eklenerek 20 dakika çeker ocakta bekletilmiştir. Süre sonunda teflon kapların kapakları kapatılarak mikrodalga (Elektrolux EMS 21400 S model) yakma cihazına yerleştirilmiştir. 1 saat süren yakma işlemi sonunda kaplar çıkartılarak 20 dakika çeker ocakta soğuması için bekletilmiştir. Soğuyan kapların içeriği huni yardımı ile balon jojeye aktarılıp ve ultra saf su (MILLIPORE Milli-QIQ 7000) ile 100 ml'ye tamamlanmıştır. Örnekler daha sonra ICP-OES (Optima 2100, Perkin Elmer England) cihazında okutularak konsantrasyon miktarları 1 no'lu formülle hesaplanmıştır (ISO, 2010).

$$\text{Analiz Miktarı (ppm)} = \text{KD} \times \text{SF} \quad (1)$$

KD: ICP - Axial 'de Okunan Konsantrasyon Miktarı (mg/L)

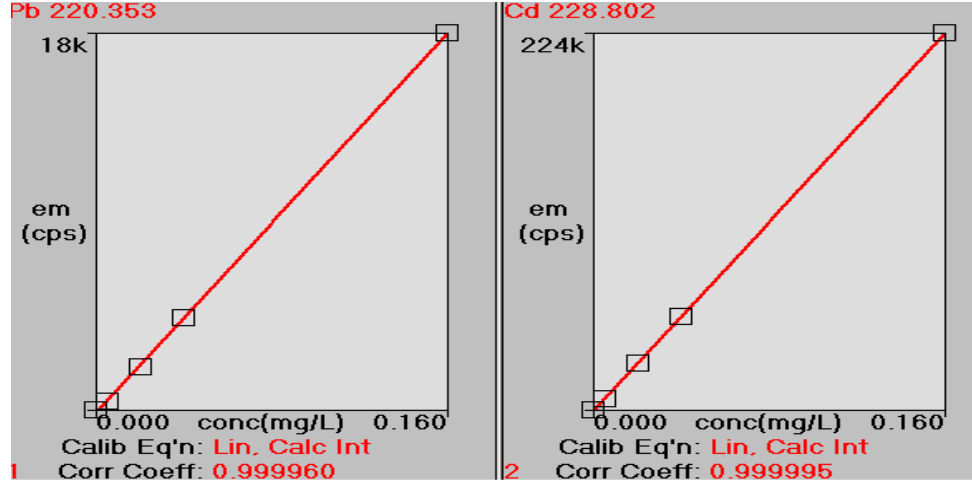
SF: Seyreltme Faktörü

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Tayin Limiti ve Ölçüm Limiti

Tayin limiti (LOD) ve ölçüm limiti (LOQ) çalışması için kurşun ve kadmiyum standartları (0,005 ppm-0,02 ppm-0,04 ppm-0,16 ppm) ile hazırlanmıştır. Cihazda kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. Örnek kullanmaksızın örneğe uygulanan tüm işlemlerin yapıldığı (reagent), birbirinden bağımsız 20 farklı teflon örnek kaplarında yakma işlemi yapılmıştır. Örneğe uygulanan seyreltme oranında seyreltilerek cihazda, gün içinde, 20 farklı kurşun ve kadmiyum okuması yapılmıştır. Elde edilen

değerler kullanılarak Eurachem “The fitness for purpose of Analytical Methods”e göre tayin limiti (LOD) ve ölçüm limiti (LOQ) hesaplanmıştır (EURACHEM GUIDE, 2014).



Şekil 1. Pb ve Cd için kalibrasyon eğrileri

Tablo 1. Örneklere ait Pb ve Cd miktarları

Analiz no	Kurşun (Pb) (ppm)	Kadmiyum (Cd) (ppm)
1	0,007	0,001
2	0,004	0,001
3	0,004	0,001
4	0,005	0,001
5	0,006	0,001
6	0,006	0,001
7	0,006	0,001
8	0,007	0,001
9	0,006	0,001
10	0,006	0,001
11	0,007	0,001
12	0,006	0,002
13	0,006	0,001
14	0,006	0,001
15	0,008	0,001
16	0,005	0,001
17	0,006	0,001
18	0,006	0,001
19	0,006	0,002

20	0,009	0,002
ORT	0,006	0,001
SD	0,001	0,001
LOQ	0,016	0,002
LOD	0,005	0,001

ORT: Ortalama, SD: Standart hata, LOQ: Ölçüm limiti, LOD: Tespit limiti.

3.2. Lineer ölçüm aralığı

Lineer ölçüm aralığını belirlemek için Pb ve Cd'da, gün içinde, 4 farklı konsantrasyonda okuma yapılmış ve sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir:

Tablo 2. Pb ce Cd için lineer ölçüm aralığı ve miktarları

Pb		Cd	
Konsantrasyon (ppm)	Miktar	Konsantrasyon (ppm)	Miktar
0,005	431,800	0,005	6772,100
0,020	2042,800	0,020	28038,800
0,040	4341,800	0,040	55239,700
0,160	17700,000	0,160	223655,400

3.3. Kesinlik

3.3.1. Tekrarlanabilirlik

Bu amaçla çikolata matriksinde kurşun ve kadmiyum minerallerinin her biri için gün içinde, üç farklı konsantrasyonda toplam 72 geri kazanım çalışması yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 3'de verildiği gibidir:

Tablo 3. Tekrarlanabilirlik için Pb ve Cd'da geri kazanım çalışmaları

Analiz no	Pb			Cd		
	0,5 ppm	1 ppm	1,5 ppm	0,1 ppm	0,2 ppm	0,3 ppm
1	0,381	0,854	1,187	0,077	0,167	0,244
2	0,393	0,931	1,165	0,076	0,175	0,246
3	0,404	0,838	1,182	0,064	0,161	0,222
4	0,388	0,828	1,197	0,066	0,161	0,234
5	0,391	0,908	1,144	0,082	0,169	0,225
6	0,388	0,924	1,154	0,081	0,172	0,244
7	0,365	0,952	1,172	0,065	0,175	0,237
8	0,390	0,966	1,185	0,083	0,176	0,199
9	0,396	0,959	1,073	0,083	0,172	0,232

10	0,385	0,895	1,185	0,083	0,166	0,247
11	0,389	0,878	1,176	0,077	0,167	0,244
ORT	0,388	0,903	1,166	0,075	0,169	0,234
SD	0,010	0,049	0,034	0,008	0,005	0,014
RSD	0,025	0,054	0,030	0,101	0,032	0,061

ORT: Ortalama, SD: Standart hata, RSD: Standart sapma

3.3.2. Tekrarlanabilirlik Limiti

Tekrarlanabilirlik limiti 2 no'lu formüle göre hesaplanmıştır.

$$r = 2,8 \times sr \quad r: \text{Tekrarlanabilirlik limiti}; sr: \text{Standart sapma} \quad (2)$$

HORRAT değeri 3 no'lu formüle göre hesaplanmıştır.

$$\text{HORRAT (r)} = \text{RSD (r)} / \text{PRSD (R)} \quad (3)$$

$\text{HORRAT (R)} = \text{RSD (R)} / \text{PRSD (R)}$; $\text{PRSD (R)} = 2 \cdot C(-0,15)$: Tahmin edilen tekrar üretilebilirlik RSD'si; RSD (r): Tekrarlanabilirlik RSD'si; RSD (R): Tekrar Üretilebilirlik RSD'si; C: Kütle Konsantrasyonu (konsantrasyon %100 ise kütle konsantrasyonu 1; konsantrasyon 1 ppm ise kütle konsantrasyonu 0,000001 olarak alınmıştır.)

Tekrarlanabilirlik limiti ve Horrat değeri tekrarlanabilirlik sonuçları Tablo 4'de verilmiştir:

Tablo 4. Tekrarlanabilirlik limiti ve Horrat değeri tekrarlanabilirlik sonuçları

Validasyon parametreleri	Pb			Cd		
	0,05	0,1	0,15	0,05	0,1	0,15
Tekrarlanabilirlik limiti	0,027	0,136	0,096	0,021	0,015	0,040
HORRAT değeri tekrarlanabilirlik	0,140	0,339	0,197	0,450	0,156	0,320

3.3.3. Tekrar Üretilebilirlik

Bu amaçla çikolata matrisinde kurşun ve kadmiyum minerallerinin her biri için gün içinde, üç farklı konsantrasyonda toplam 36 geri kazanım çalışması yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 5'de verildiği gibidir:

Tablo 5. Tekrar üretilebilirlik için Pb ve Cd'da geri kazanım çalışmaları

Analiz No	Pb			Cd		
	0,5 ppm	1 ppm	1,5 ppm	0,1 ppm	0,2 ppm	0,3 ppm
1	0,391	0,805	1,166	0,084	0,159	0,237
2	0,403	0,812	1,255	0,086	0,165	0,253
3	0,378	0,754	1,147	0,082	0,152	0,237
4	0,404	0,828	1,1973	0,052	0,161	0,237

5	0,365	0,91	1,073	0,083	0,169	0,199
6	0,389	0,966	1,176	0,077	0,176	0,247
ORT	0,389	0,845	1,169	0,077	0,164	0,235
ort	0,388	0,825	1,216	0,081	0,163	0,242
SD	0,015	0,077	0,060	0,013	0,008	0,019
RSD	0,058	0,077	0,105	0,108	0,053	0,077

ORT: Ortalama, SD: Standart hata, RSD: Standart sapma

Tekrar üretilebilirlik limiti

Tekrar üretilebilirlik limiti 4 no'lu formüle göre hesaplanmıştır.

$$RSD = 2,8 \times SD \quad RSD: \text{Tekrar üretilebilirlik limiti}; SD: \text{standart sapma} \quad (4)$$

Tekrar üretilebilirlik limiti ve Horrat değeri tekrarlanabilirlik sonuçları Tablo 6'da verilmiştir:

Tablo 6. Tekrar üretilebilirlik limiti ve Horrat değeri tekrarlanabilirlik sonuçları

Validasyon parametreleri	Pb			Cd		
	0,05	0,1	0,15	0,05	0,1	0,15
Tekrar üretilebilirlik limiti	0,063	0,177	0,036	0,024	0,024	0,052
HORRAT değeri tekrarlanabilirlik	0,389	0,524	0,633	0,470	0,299	0,365

3.4. Doğruluk

Doğruluk için gerçeklik çalışması geri kazanım ile yapılmıştır. Geri kazanım için çikolata matriksinde kurşun ve kadmiyum minerallerinin her biri için gün içinde, üç farklı konsantrasyonda toplam 84 geri kazanım çalışması yapılmıştır. % Hata (Bias) 5 no'lu formüle göre hesaplanmıştır.

$$\% \text{Hata (Bias)} = [(X_i - X_t) / X_t] \times 100, \quad X_i: \text{Ölçülen değer}; X_t: \text{Gerçek değer.} \quad (5)$$

Sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir:

Tablo 7. Doğruluk için Pb ve Cd'da geri kazanım çalışmaları sonuçları

Analiz No	Pb			Cd		
	0,5 ppm	1 ppm	1,5 ppm	0,1 ppm	0,2 ppm	0,3 ppm
1	0,381	0,854	1,187	0,077	0,167	0,244
2	0,393	0,931	1,165	0,076	0,175	0,246
3	0,404	0,838	1,182	0,064	0,161	0,222
4	0,388	0,828	1,197	0,066	0,161	0,234
5	0,391	0,908	1,144	0,082	0,169	0,225
6	0,388	0,925	1,154	0,065	0,172	0,244

7	0,365	0,952	1,172	0,083	0,175	0,237
8	0,390	0,966	1,185	0,082	0,176	0,199
9	0,396	0,959	1,073	0,082	0,172	0,232
10	0,385	0,895	1,185	0,077	0,166	0,247
11	0,389	0,878	1,176	0,084	0,167	0,244
12	0,391	0,805	1,166	0,086	0,158	0,237
13	0,403	0,812	1,255	0,082	0,164	0,253
14	0,378	0,754	1,147	0,082	0,152	0,237
Xi	0,389	0,879	1,171	0,077	0,167	0,236
Xt	0,500	1,000	1,500	0,100	0,200	0,300
%Hata	-22,220	12,110	-21,960	-22,620	-16,600	-21,440

3.5. Geri Kazanım

Geri kazanım için çikolata matriksinde kurşun ve kadmiyum minerallerinin her biri için gün içinde, üç farklı konsantrasyonda toplam 84 geri kazanım çalışması yapılmıştır. Geri kazanım oranı 6 no'lu formüle göre hesaplanmıştır.

$$\%R = [(CF-CU)/CA] \times 100 \quad (6)$$

%R: Geri kazanım; CF: Standart eklenmiş kör örnek ölçüm sonucu; CU: Standart eklenmemiş kör örnek ölçüm sonucu; CA: Eklenen standart miktarı.

Sonuçlar Tablo 8'de verilmiştir:

Tablo 8. Pb ve Cd için geri kazanım sonuçları

Analiz No	Pb						Cd					
	0,5 ppm	%Geri Kazanım	1 ppm	%Geri Kazanım	1,5 ppm	%Geri Kazanım	0,1 ppm	%Geri Kazanım	0,2 ppm	%Geri Kazanım	0,3 ppm	%Geri Kazanım
1	0,381	76,270	0,854	85,400	1,187	79,150	0,077	77,100	0,167	83,500	0,244	81,270
2	0,393	78,670	0,931	93,120	1,165	77,680	0,076	75,600	0,175	87,450	0,246	81,970
3	0,404	80,790	0,838	83,800	1,182	78,790	0,064	64,100	0,161	80,500	0,222	74,030
4	0,388	77,630	0,828	82,830	1,197	79,820	0,066	66,200	0,161	80,650	0,234	78,070
5	0,391	78,250	0,908	90,800	1,144	76,290	0,082	82,200	0,169	84,550	0,225	74,830
6	0,388	77,630	0,925	92,450	1,154	76,920	0,065	64,900	0,172	85,800	0,244	81,300

7	0,365	73,090	0,952	95,240	1,172	78,160	0,083	82,500	0,175	87,650	0,237	78,900
8	0,390	78,070	0,966	96,560	1,185	78,970	0,082	82,400	0,176	88,050	0,199	66,500
9	0,396	79,170	0,959	95,880	1,073	71,510	0,082	82,400	0,172	86,150	0,232	77,330
10	0,385	77,070	0,895	89,510	1,185	78,970	0,077	76,600	0,166	82,900	0,247	82,270
11	0,389	77,790	0,878	87,780	1,176	78,400	0,084	83,900	0,167	83,350	0,244	81,270
12	0,391	78,240	0,805	80,540	1,166	77,740	0,086	85,700	0,158	79,000	0,237	78,870
13	0,403	80,620	0,812	81,210	1,255	83,690	0,082	82,300	0,164	82,150	0,253	84,200
14	0,378	75,660	0,754	75,400	1,147	76,430	0,081	82,200	0,152	75,850	0,238	79,100
ORT	0,388	77,780	0,879	87,890	1,171	78,040	0,077	77,380	0,167	83,400	0,236	78,560
SD	0,009	1,960	0,066	6,540	0,039	2,610	0,008	7,620	0,007	3,560	0,014	4,480

3.6. Belirsizlik Kaynakları ve Hesaplamaları

Kesinlikten gelen belirsizlik, tekrar üretilebilirlik çalışmalarının matris ve her konsantrasyon için hesaplanan rölatif standart sapması kesinlik belirsizliği olarak alınmıştır. Doğrudan gelen belirsizlik, geri kazanım çalışmalarının ortalamalarının 1'den farkı 7 no'lu formülle hesaplanmıştır.

$$t = \frac{|1 - \bar{R}|}{u(\bar{R})} \quad \bar{R} : \text{Geri alma oranlarının ortalaması}$$

$$u(\bar{R}) : \text{Geri alma oranlarının ortalamalarının standart sapması (yani } s / \sqrt{n} \text{)} \quad (7)$$

Geri kazanım çalışmasının ortalaması, matris ve tüm konsantrasyonlarda 1'den farkı önemli bulunmuş ve doğrudan gelen belirsizlik 8 no'lu formülle hesaplanmıştır.

$$u(R_a) = \sqrt{\left(\frac{1 - \bar{R}}{k}\right)^2 + u(\bar{R})^2} \quad (8)$$

$u(R_a)$: Geri kazanımdan gelen artırılmış belirsizlik; \bar{R} : Geri kazanım oranlarının ortalaması; k : Genişletilmiş belirsizlik hesabında kullanılan kapsama faktörü; $u(\bar{R})$: Geri kazanım oranlarının ortalamalarının standart sapması (yani s/\sqrt{n}).

3.7. Belirsizlik Sonuç Tablosu

Belirsizlik bileşenleri ve elde edilen sonuçlar Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Belirsizlik sonuçları

	Pb			Cd		
	0,5 ppm	1 ppm	1,5 ppm	0,1 ppm	0,2 ppm	0,3 ppm
Kesinlik	0,058	0,077	0,105	0,108	0,053	0,077
Doğruluk	0,114	0,083	0,084	0,099	0,086	0,089
Birleştirilmiş Belirsizlik	0,128	0,113	0,134	0,147	0,101	0,118
Genişletilmiş Belirsizlik (%95 güvenle, k=2)	0,256	0,226	0,269	0,294	0,202	0,236

Validasyon çalışmalarından elde ettiğimiz sonuçlardan, tekrarlanabilirlik, Pb için 0,0358-0,1771 ppm, Cd için 0,0244-0,0519 ppm, doğruluk sırasıyla 0,3889-1,1706 ve 0,0774-0,2357 ppm aralığında idi. Geri kazanım oranları ise 77,78-87,89 ve 77,38-83,4 olarak belirlenmiştir. Çalışmada 20 sütlü çikolata örnekleri incelenmiş olup, Pb ve Cd konsantrasyonları sırasıyla 0,0038-0,0079 ve 0,0011-0,0019 ppm aralığında tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçların, Eurachem “The Fitness for Purpose of Analytical Methods” Second Edition 2014’e (Eurachem-Guide, 2014) e NMKL 161 metodu ve Türk Gıda Kodeksi “Gıdalarda kurşun, kadmiyum, cıva, inorganik kalay, 3-MCPD, 2 diol ve polisiklik aromatik hidrokarbon seviyelerinin resmi kontrolü için numune alma, numune hazırlama ve analiz metodu kriterleri tebliğine (Tebliğ No: 2014/2) (NMKL 161 Metodu ve Türk Gıda Kodeksi, 2014) göre uygun olduğu görülmüştür.

Yapılan bir diğer çalışmada, sırasıyla sütlü çikolatada ortalama Pb oranı 0,034 ppm (0,012-0,395) olarak bulunmuştur. Aynı çalışmanın çikolata örneklerinde bulunan Cd konsantrasyonlarının çoğu oldukça düşük miktarda bulunmuştur (ortalama 0,043 ppm), ancak 7 örnekte >0,30 ppm üzerinde tespit edilmiştir (Sager, 2012).

Malezya'daki bir diğer çalışmada sütlü çikolata örneklerinde Cd miktarı ortalama 0,29 ppm (0,26-0,42) ve bitter çikolata örneklerinde 0,30-0,42 ppm tespit edilmiştir (Lee ve Low, 1985). 2004 yılında, Hindistan'da satılan çikolata örneklerinde yapılan bir diğer çalışmada Pb oranları bitter çikolata için 0,24-2,04 ppm ve sütlü çikolata için 0,23-2,62 ppm aralığında, Cd ise genel olarak tüm örneklerde ortalama 0,07 ppm (0,01-0,85) olarak tespit edilmiştir (Seifert ve ark., 2000). Polonya'da, incelenen çikolata örneklerinde Pb oranları koyu çikolatalar (süt içermeyen) için $0,044 \pm 0,011$ ve sütlü çikolatalar için $0,049 \pm 0,026$ olarak tespit edilmiştir. Örneklerde Cd için Polonya ulusal standardına (0,050 ppm) uymayan hiçbir örneğe ulaşılamamıştır (Dahiya ve ark., 2005; Figurska-Ciura ve ark., 2006).

Rankin ve ark., (2005) ikolata örneklerindeki Pb konsantrasyonunun (0,070-0,230 ppm) ortalama olarak ham kakao çekirdeklerinden ($\leq 0,0005$ ppm) ok daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Duran ve ark., (2009) kakao türevi Őekerlerde Cd ve Pb seviyelerini 1,347 ppm, 0,681 ppm olarak belirlemişlerdir. Benzer Şekilde, Abt ve ark., (2018) ABD pazarındaki ikolatalardaki Cd ve Pb seviyelerini araştırmışlardır. Bulguları, ikolatalardaki kakao tozunun miktarı ile Pb ve Cd miktarının doğru orantılı olduğunu göstermektedir. Mounicou ve ark., (2003) sekiz ülkeden getirdikleri kakao örneklerinde Cd ve Pb miktarları oldukça farklılıklar göstermiştir. Manton, (2010) tarafından yapılan benzer bir çalışmada da on iki ülkeden toplanan kakao örneklerinde Pb ilgili coğrafi varyasyonlar bulunmuştur. Villa ve ark., (2014) ikolata örneklerinde bulunan kakao içeriği ile Pb ($R^2= 0,955$) ve Cd ($R^2= 0,907$) arasında pozitif yönde güçlü bir korelasyon olduğunu vurgulamışlardır. Gramlich ve ark., (2016) Honduras'ta satılan kakao çekirdeklerini Cd açısından değerlendirmiş ortalamayı 1,1 ppm olarak tespit etmişlerdir. Ayrıca kakao çekirdeklerinin toprak faktörlerine göre değişiklik gösterdiğini belirlemişlerdir. Gramlich ve ark., (2016) Bolivya'da satılan kakao çekirdeklerinde ortalama Cd konsantrasyonu 0,21 ppm olarak bulmuşlardır. Chavez ve ark., (2016a; 2016b) araştırılan on beş farklı yerde yetişen kakao çekirdeklerinin %73'ünün 0,6 ppm'den fazla Cd içerdiğini bildirmişlerdir.

Sonuçta, ikolata gibi kakao içeren gıda ürünlerinde kadmiyum ve kurşun seviyelerini değerlendirmek için yapılan çalışmaların farklı sonuçlar verdiği görülmektedir. Kakao içeren ürünlerin kurşun ve kadmiyum içeriklerini etkileyen faktörlerin en önemli sebeplerinden birinin yapılan çalışmalarda kakaonun yetiştirildiği toprak, kültürel ve işleme faktörlerinin olduğu söylenebilir (Kruszewski ve ark., 2018).

4. Sonuç

Avrupa çapında yapılan yeterlilik testlerinden elde edilen verilere göre, %50 genişletilmiş belirsizlik değerinin (%95 güven aralığı, $k=2$), laboratuvarlar arası farklılıkları kapsadığı tespit edilmiş ve resmi kontrollerde bu değerin dikkate alınması önerilmiştir. Yapılan alışmalarda, NMKL 161 metodu ve Türk Gıda Kodeksi “Gıdalarda kurşun, kadmiyum, cıva, inorganik kalay, 3-MCPD, 2 diol ve polisiklik aromatik hidrokarbon seviyelerinin resmi kontrolü için numune alma, numune hazırlama ve analiz metodu kriterleri tebliği (Tebliğ No: 2014/2) dokümanının ilgili bu maddesine dayanılarak, çalışmamızda bulunan genişletilmiş belirsizlik değerinin %50'nin altında olduğu görülmüştür. Ayrıca alışmamızda elde ettiğimiz çikolata rneklerinin Pb ve Cd konsantrasyonlarıda, Eurachem “The fitness for purpose of Analytical Methods” Second Edition ve NMKL 161 metodu ve Türk Gıda Kodeksi dökümanına uygun değerlerdir.

ıkar atışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar atışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacı Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye aynı oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

5. Kaynakça

- Abt E., Sam JF., Gray P., Robin LP. Cadmium and lead in cocoa powder and chocolate products in the US Market. *Food Additives & Contaminants: Part B* 2018; 11(2): 92-102.
- Bruinsma K., Taren DL. Chocolate: food or drug. *Journal of The American Dietetic Association*, 1999; 99: 1249-1256.
- Chavez E., He ZL., Stoffella PJ., Mylavarapu R., Li Y., Baligar VC. Evaluation of soil amendments as a remediation alternative for cadmium-contaminated soils under cacao plantations. *Environmental Science Pollution Research* 2016a; 23: 17571–17580.
- Chavez E., He ZL., Stoffella PJ., Mylavarapu RS., Li YC., Baligar VC. Chemical speciation of cadmium: an approach to evaluate plant-available cadmium in Ecuadorian soils under cacao production. *Chemosphere* 2016b; 150: 57–62.
- Crozier SJ., Preston AG., Hurst JW., Payne MJ., Mann J., Hainly L., Miller DL. Cacao seeds are a “super fruit”: A comparative analysis of various fruit powders and products. *Chemistry Central Journal* 2001; 5: 1-6.
- Dahiya S., Karpe R., Hedge AG., Sharma RM. Lead, cadmium and nickel in chocolates and candies from suburban areas of Mumbai, India. *Journal Food Composition and Analysis* 2005; 18: 517-522.
- Duran A., Tuzen M., Soylu M. Trace metal contents in chewing gums and candies marketed in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 2009; 149: 283–289.
- EFSA. Cadmium dietary exposure in the European population *EFSA Journal* 2012; 10(2551).
- Eurachem Guide. *The Fitness for Purpose of Analytical Methods-A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics* 2014; Second Edition.
- Figurska-Ciura D., Styczynska M., Malicki A., Bruzewicz S. Zawartość wybranych metali ciężkich oraz zanieczyszczeń mikrobiologicznych w wyrobach czekoladowych. *Acta Scientiarum Polonorum Medicina Veterinaria* 2006; 5: 57-63.
- Gramlich A., Tandy S., Gauggel C., Lopez M., Peria DG., Schulin R. Soil cadmium uptake by cocoa in Honduras. 18th International Conference on Heavy Metals in the Environment, Ghent, 2016; Belgium.
- Gramlich A., Tandy S., Andres C., Paniagua JC., Armengot L., Schneider M., Schulin R. Cadmium uptake by cocoa trees in agroforestry and monoculture systems under conventional and organic management. *The Science of the Total Environment* 2017; 580: 677–686.
- Grivetti LI., Shapiro H. *Chocolate: History, culture and heritage*. Wiley, 2009; Hoboken.

- IARC. Traditional herbal medicines, some mycotoxins, naphthalene and styrene, IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Lyon, France: International Agency for Research on Cancer 2002; 82: 1–556.
- IARC. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: chemical agents and related occupations, A review of human carcinogens, Lyon, France: International Agency for Research on Cancer 2012; 100: 224–248.
- ISO. UNI EN 15763:2010. Foodstuff, Determination of trace elements, Determination of arsenic, cadmium, mercury and lead in foodstuff by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) after pressure digestion. 2010.
- Kruszewski B., Obiedziński MW., Kowalska J. Nickel, cadmium and lead levels in raw cocoa and processed chocolate mass materials from three different manufacturers. *Journal of Food Composition and Analysis* 2018; 66: 127–135.
- Lee CK., Low KS. Determination of cadmium, lead, copper and arsenic in raw cocoa, semi finished and finished chocolate products. *Pertanika* 1985; 8: 243-248.
- Manton WIIM. Determination of the provenance of cocoa by soil protolith ages and assessment of anthropogenic lead Contamination by Pb/Nd and lead isotope ratios. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2010; 58: 713-721.
- Mesallam AS. Heavy metal content of canned orange juice as determined by direct current plasma atomic emission spectrophotometry (DCPAES). *Food Chemistry* 1987; 26(1): 47-58.
- Mounicou S., Szpunar J., Andrey D., Blake C., Lobinski R. Concentrations and bioavailability of cadmium and lead in cocoa powder and related products. *Food Addition Contamination* 2003; 20: 343–352.
- NMKL 161 Metodu ve Türk Gıda Kodeksi. “Gıdalarda kurşun, kadmiyum, cıva, inorganik kalay, 3-MCPD, 2 diol ve polisiklik aromatik hidrokarbon seviyelerinin resmi kontrolü için numune alma, numune hazırlama ve analiz metodu kriterleri tebliği (Tebliğ No: 2014/2) 2014.
- Parker G., Parker I., Brotchie H. Mood state effects of chocolate. *Journal of Affective Disorders* 2006; 92: 149-159.
- Rankin CW., Nriagu JO., Aggarwal JK., Arowolo TA., Adebayo K., Flegal AR. Lead contamination in cocoa and cocoa products: isotopic evidence of global contamination. *Environmental Health Perspectives* 2005; 113(10): 1344-1348.
- Rehman S., Husnain SM. Assessment of trace metal contents in chocolate samples by atomic absorption spectrometry. *Journal Trace Element Analysis* 2012; 1: 1-11.
- Sager M. Chocolate and cocoa products as a source of essential elements in nutrition. *Journal Nutritional & Food Science* 2012; 2: 1-10.
- Seifert M., Jaritz M., Holzinger S., Seeber O., Anke M. Alimentary strontium intake: first results in Germany. *Trace Elements in Medicine* 2000; 17: 115-118.

- Vanderschueren R., Montalvo D., De Ketelaere B., Delcour JA., Smolders E. The elemental composition of chocolates is related to cacao content and origin: A multi-element fingerprinting analysis of single origin chocolates. *Journal of Food Composition and Analysis* 2019; 83: 103277.
- Villa JEL., Peixoto RRA., Cadore S. Cadmium and lead in chocolates commercialized in Brazil. *Journal Agriculture and Food Chemistry* 2014; 62: 8759-8763.
- Yanus RL., Sela H., Borojovich EJC., Zakon Y., Saphier M., Nikolski A., Gutflais E., Lorber A., Karpas Z. Trace elements in cocoa solids and chocolate: An ICPMS study. *Talanta* 2014; 119: 1-4.

Evaluation of the Effect of Chitosan-Based Edible Film and Coating Material on Dried Mulberry

Eda GÜNEŞ¹, Haticetül Kübra ERÇETİN^{2*}

^{1,2}Necmettin Erbakan University, Faculty of Tourism, Department of Gastronomy and Culinary Arts, Konya

¹<https://orcid.org/0000-0001-7422-9375>

²<https://orcid.org/0000-0001-7935-4052>

*Corresponding author: htk.kubra@gmail.com

Research Article

Article History:

Received: 26.09.2021

Accepted: 09.02.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Edible coating

Morus alba

Drosophila melanogaster

Sensory analysis

ABSTRACT

The purpose of applying coating methods in the study is to slow down the chemical deterioration that will occur in foods. The effect of the model organism, which is considered as a warehouse pest, on the coated mulberry was determined. At the end of storage, weight, texture and sensory analyzes of the fruit were made. Sensory analyzes were evaluated by 20 semi-trained panelists in terms of color, appearance, hardness, taste, smell, general taste. In terms of weight, it was observed that the weight of 1% chitosan coated mulberries was higher. In terms of texture, although the groups were statistically similar ($p>0.05$), it was determined that the hardness of the samples in the environment with storage pests decreased somewhat. According to sensory data, it was determined that the panelists had a positive approach towards 0.2% coated mulberry. As a result, the edible coating is considered to be useful for mulberries.

Kitosan Bazlı Yenilebilir Film ve Kaplama Materyalinin Kurutulmuş Dut Üzerindeki Etkisinin Değerlendirilmesi

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 26.09.2021

Kabul tarihi: 09.02.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Yenilebilir film

Morus alba

Drosophila melanogaster

Duyusal analiz

ÖZ

Kaplama yöntemlerinin çalışmada uygulanmasındaki amaç, gıdalarda oluşacak kimyasal bozulmayı yavaşlatmaktır. Depo zararlısı olarak değerlendirilen model organizmanın kaplamalı dut üzerine etkisi belirlenmiştir. Depolama sonunda meyvelerin ağırlık, tekstür ve duyu analizleri yapılmıştır. Duyusal analizler 20 yarı eğitimli panelist tarafından renk, görünüm, sertlik, tat, koku, genel tat açısından değerlendirilmiştir. Ağırlık olarak ise %1 kitosan kaplı dutların ağırlığının daha yüksek olduğu görülmüştür. Tekstür açısından gruplar istatistiksel olarak benzer olmasına rağmen ($p>0,05$), depolama zararlılarının bulunduğu ortamda örneklerin sertliğinin bir miktar azaldığı tespit edilmiştir. Duyusal verilere göre panelistlerin %0,2 kaplamalı duta olumlu yaklaşımları belirlenmiştir. Sonuç olarak, yenilebilir kaplamanın dutlarda kullanılabilir olduğu düşünülmektedir.

To Cite: Güneş E., Erçetin HK. Evaluation of the Effect of Chitosan-Based Edible Film and Coating Material on Dried Mulberry. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 885-896.

1. Introduction

Mulberry is native to China, although in many parts of Asia; it is widely grown in Japan, Korea, Manchuria, India, Pakistan, Iran and Anatolia (Gokmen, 1973; Ozbek, 1977; Baskaya, 2013). Therefore, mulberry is grown as a suitable product for many soil and climatic conditions. In the records of FAO (Food and Agriculture Organization), although the mulberry production fluctuates by years, it is stated as 69,317 tons in 2020 (Anonim, 2020).

Widely consumed mulberry varieties are *Morus nigra* L. (Black Mulberry), *Morus rubra* L. (Purple Mulberry), *Morus alba* L. (White Mulberry) and *Morus levigata* (Finger Mulberry) (Imran et al., 2010).

Mulberry is produced in every region of Turkey, except for six provinces (Kahramanmaraş, Adıyaman, Elazığ, Erzincan, Malatya and Tokat) where production is insufficient to be included in statistics. According to TUIK statistics, the total mulberry production in Turkey in 2020 was 66.647 tons (TUIK, 2020). It has been stated that white mulberries account for 95% of all mulberry species cultivated in the country, while red mulberries account for 3% and black mulberries account for 2% (Ercişli, 2004; Orhan, 2009).

Fruit is a frequently consumed product in Turkish cuisine. Simultaneously, mulberry fruit has an important place in the production of fruit pulp and köme products, which are traditionally made and commercially produced today (Savkay, 2000; Efendi, 2005; Yıldız, 2013; Yerasimos, 2014; Akkor, 2014; Guldemir, 2016; Kuzucu, 2016). In addition, products such as molasses, jam, mulberry paste, ice cream production, walnut sausage, vinegar, fruit juice concentrate, spirit are also produced from the fruit (Serceoglu, 2014). Mulberry fruit can be consumed fresh and dried. Sources include dried and fresh mulberry dishes, and mulberry rice and black mulberry dessert are an example (Koymen, 1982; Arlı, 1982; Sahn, 2008; Kozleme, 2012; Gursoy, 2013; Yerasimos, 2014; Samancı, 2016; Demirgöl, 2018; Isın, 2018). Produced using dried mulberry, mulberry tea powder is used in making donuts, biscuits, cakes and bread in China (Huo, 2000; Machii, 2002). Mulberry fruit is a good source of energy with a high nutritional content. The protein content of the fruit varies between 4.72% and 9.96%; it is counted among fruits rich in phytochemicals, monoterpenes and polyphenols (flavonol and anthocyanin) (Srivastava et al., 2006; Zhang et al., 2018). However, fresh mulberry with high moisture content is difficult to preserve due to the short harvest period and storage sensitivity (Doymaz, 2004). Packaging becomes a necessity to ensure the continuity of safety and reliability until the consumption stage, to preserve its quality and nutritional properties and to preserve its properties during the projected shelf life (Gennadios et al., 1997; Vermeiren et al., 1999; Krochta, 2002). Edible films and coatings are used today as an environmentally friendly application to extend the shelf life of foods and to preserve the quality properties of foods (Baldwin, 1994; McHugh, 2000; Keles, 2002; Han and Gennadios, 2005; Falguera et al., 2011; Galus and Kadzińska, 2015).

Sugary foods are among the products that pose the highest risk in terms of food safety during the storage phase. Especially, biological contamination elements such as insects cause product losses as

warehouse pests and affect many quality characteristics of the product such as taste, appearance, odor and texture. In the study, the preferred model (*Drosophila melanogaster*) as a storage pest is fed with chitosan-coated mulberries and is important for the preference of the coating material, for the evaluation of living things and the environment. Due to the high sugar content of dried mulberry fruit, it is resistant to storage pests and deteriorates quickly. Because sugar crystals formed on dried fruits encourage the reproduction of storage pests (Aksoy et al., 2004). In the study, the effect of the coating material formed with the chitosan solution on the mulberry (such as weight, texture and sensory analysis) was determined and its shelf life was extended. In addition, consumer opinions were taken through sensory analysis and the marketability of the coated product was evaluated.

2. Materials and Methods

In this study, dried mulberry grown in central Anatolia Konya commercially available mulberries (*M. alba*) in 2019/2020 were used. *D. melanogaster* (Oregon) culture has been cultivated in the laboratory of with an artificial diet (Rogina and Helfand, 2000) since 2014 (60%-70% humidity and $25 \pm 2^\circ\text{C}$).

2.1. Preparation of coating material

The solution was prepared from 10 g of commercial chitosan with 1% acetic acid and 0.5% glycerol and mixed in a magnetic stirrer (Bandelin, Germany) for two days. The chitosan ratios used were set at 0.2%-2% (Kahve, 2016; Sımsek and Keyf, 2018). Chitosan solutions homogenized for one hour at 40°C were exposed to ultrasonic washing for 30 min to remove gas (Carbonell-Capella et al., 2015). The prepared chitosan solution was coated on the entire surface of the dried mulberry fruit using the spraying method (airbrush, Artos Power). All chemicals were supplied from Sigma-Aldrich.

2.2. Implementation of the harmful model

The experimental setup was kept in the incubator (Core ES120) in the same environment with the culture, insects were followed until they became mature. 50 individuals (25 females and 25 males) of the same age and unpaired were transferred to the experimental setup that did not show any maturation, and their survival was followed, and the dead insects were removed from the experimental design. In order to survive for insects, mulberry and insect in the food environment were taken into a new bottle every two days and egg laying was prevented. The trials continued for a month.

2.3. Weight and texture analysis

Before and after the experiment, four fruit samples were selected from each trial design, weighed (Ohaus PA-214C) and averaged. Fruits were photographed by scanning their surface areas under a microscope to determine external tissue changes (Olympus SZ61; X 2.5).

For texture analysis, a texture device (Texture Analyzer TAXT2I; stable microsystems). Texture profile analysis (TPA) was performed. For TPA, the diameter of penetration probe was used as a 5 mm; five samples were selected separately for each group in the trial design. The texture was measured from two opposite points of each fruit. For each application, the average of 10 (10 x 10) measurements was taken. In determining the hardness, the penetration force (N) was measured with a cylinder probe with a diameter of four mm, a velocity of one mm/s and a penetration distance of 7.5 mm from the middle points of the mulberry with the compression program of the texture analyzer.

2.4. Sensory analysis

In the chitosan solution prepared for sensory analysis, the solution was prepared using the same ratio of vinegar instead of 1% acetic acid. The sensory properties of edible coated fruit were evaluated with a Hedonic scale by 20 semi-educated panelists (20 semi-trained panelists with food training) without prior information. Samples were independently rated above five points in terms of color, appearance, taste, odor, hardness and general taste. Samples were independently rated more than 5 points in terms of color, appearance, taste, odor, hardness and general taste (5: excellent; 4: good; 3: acceptable; 2: not sufficient; 1: bad) (Beğen, 2012). The application was in two repetitions.

2.5. Analysis of data

One-way analysis of variance (ANOVA) and Duncan Multiple Comparison Test (Duzgunes et al., 1987) were compared using statistical program (LSD and Duncan test) to determine the difference between the means of homogeneous and normally distributed groups. In the analysis results of the samples, the difference between the applications was determined. Mann Whitney U test was used to compare storage hardness of mulberries (no table given in the text). Analysis were repeated twice; The significance of the means is shown in the tables and figures at a probability level of 0.05 and standard errors (ST) are given.

3. Results

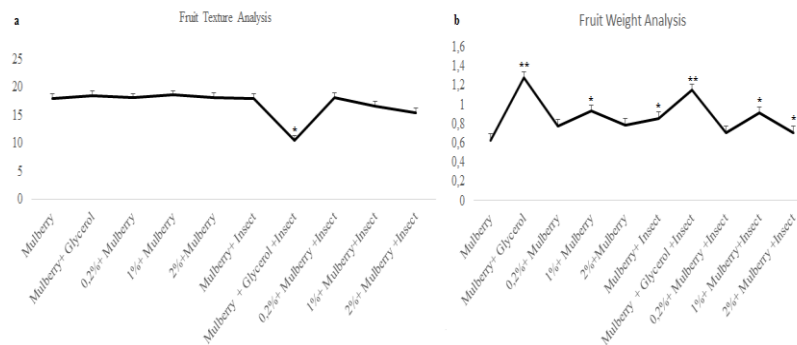


Figure 1. a. Mulberry texture analysis, **b.** Mulberry weight analysis ($p < 0.05$)

According to the texture analysis applied on mulberries, the hardness was decreased as depending on the ratio of the coating material and a negative correlation was created on fruits. While fruit firmness was 18.01 ± 0.1 N in the control group (Figure 1; the lowest hardness in coated fruits was measured in mulberries coated with glycerol (10.598 ± 0.1 N). The gel-like structure of glycerol, softening the mulberry fruit directly reduces the fruit hardness. Among the mulberries with no living organisms, the lowest hardness was measured in mulberries covered with a 2% chitosan solution (15.6646 ± 0.1 N). Near normal (control) hardness of 18.247 ± 0.1 N was measured in mulberry coated with 0.2% chitosan solution (Figure 1).



Figure 2. Morphological images of mulberries after pretest without coating and coating **a.** Uncoated mulberry, **b.** Mulberry coated with glycerol, **c.** Mulberry covered with 0.2% chitosan, **d.** Mulberry covered with 1% chitosan, **e.** Mulberry covered with 2% chitosan.

Due to the glycerol weight, glycerol-coated mulberry (1.15 ± 0.02 g) was the highest weight, while 0.2% coated mulberry (0.71 ± 0.01 g) was the lightest group after the control (0.63 ± 0.01 g).. There was no correlation between these groups in terms of weight ($b > c > a$) (Figure 2). Covered mulberries for sensory analysis are seen in Figure 3.

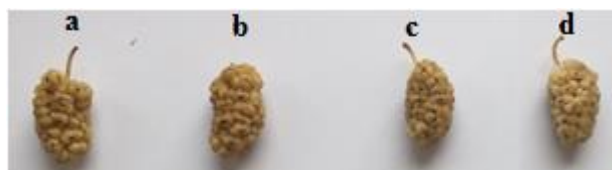


Figure 3. Mulberries; **a.** Mulberry with a coating with 1% grape vinegar, **b.** Mulberry with a coating added with 0.2% grape vinegar, **c.** Mulberry with 2% grape vinegar coating applied, **d.** Uncoated mulberry

Table 1. Sensory analysis results of edible film-coated mulberries

Examples	Color			Appearance			Taste			Smell			Hardness			General Rating		
	Mean ± S.H.	Sig.	t test	Mean ± S.H.	Sig.	t test	Mean ± S.H.	Sig.	t test	Mean ± S.H.	Sig.	t test	Mean ± S.H.	Sig.	t test	Mean ± S.H.	Sig.	t test
Mulberry	3.17±0.2	0.1**	11.9	3.40±0.2	0.15*	12.14	3.47±0.2	0.5	15.24	3.70± 0.2	0.1*	16.90	3.05±0.2	0.46	11.3	3.32±0.2	0.3*	13.77
0.2% Mulberry Coated Chitosan	3.62±0.2	0.4*	16.0	3.67±0.2	0.24*	15.7	3.45±0.2	0.3*	14.19	3.62±0.2	0.1*	17.42	3.17±0.2	0.80	10.6	3.70±0.1	0.2*	22.58
1% Mulberry Coated Chitosan	3.22±0.2	0.5	12.2	3.10±0.2	0.30*	13.0	3.25±0.2	0.6	11.51	3.50±0.2	0.64	16.54	3.05±0.2	0.83	13.6	3.32±0.2	0.5	15.43
2% Mulberry Coated Chitosan	3.30±0.2	0.3*	15.7	3.26±0.2	0.60	12.9	3.21±0.2	0.9	11.74	3.60±0.2	0.68	15.38	2.85±0.2	0.86	10.1	3.51±0.2	0.9	16.58

*Degrees of importance

145 Within the scope of sensory evaluation, panelists evaluated the color, appearance, taste, odor, stress
146 and general taste of edible film-coated mulberries (Table 1). When the appearance of the coated
147 mulberry is examined, there is no difference except for the gel-like structure (Figure 2). However,
148 when the colors of the mulberries covered with 2% grape vinegar were evaluated, a significant
149 difference was observed ($p < 0.05$). Panelists said that 0.2% coated mulberries are better in terms of
150 color, appearance and taste.

151

152 **4. Discussion**

153 Microbial growth can be destroyed in dried fruits, but vegetative cells and spores can survive for a
154 long time (Beuchat et al., 2013). Microbial growth that occurs, a significant quality deterioration on
155 fruit; moisture adsorption, oxygen invasion, flavor loss, unwanted odor absorption and migration of
156 packaging components to food cause mass transfer events (Fennema and Sherman, 1976; Kester and
157 Fennema 1986; Debeaufort et al., 1998; Krochta, 2002). Due to the high sugar content in dried fruits
158 the growth of microorganisms occurs rapidly during storage (Beuchat et al., 2013). The main purpose
159 of use of edible films and coatings is to minimize and eliminate the presence of pathogenic
160 microorganisms in foods. The effect of edible coatings on dried fruits with high sugar content, which
161 was also used in study, is the subject of many studies (Azeredo et al., 2009; Rojas-Grau et al., 2009;
162 Deng et al., 2011; Lago-Vanzela et al., 2013; Garcia et al., 2014; Farahmandfar et al., 2017). Glycerol
163 was added to the coating at the preparation stage to reduce the brittleness and extensibility of the
164 coating used in the study (Hernandez-Izquierdo and Krochta, 2008; Gounga et al., 2010; Tonyalı et al.,
165 2018). In addition, *D. melanogaster* was used to determine the effects of nutrients, which have a short
166 growth biology, whose nutritional requirements are known quantitatively (Sang, 1956), and which are
167 used in obesity studies, on non-target organisms and target agricultural pests (Tettweiler et al., 2005).
168 According to texture analysis, the lowest hardness on fruits has been stated on mulberries coated with
169 glycerol (10.5598 ± 0.1 N). The decrease in the hardness of the samples with glycerol compared to the
170 mulberry without coating shows that the gel-like structure of glycerol directly affected fruit hardness.
171 Simultaneously, it was determined that the weight of glycerol mulberry (1.15 ± 0.02 g) was the highest
172 due to the weight of glycerol. Accordingly, it was determined that the insect considered as a storage
173 pest did not decrease the weight of the fruit among the application groups as show in Figure 1, but
174 increased the weight of the mulberry with coating.

175 The most important negativity that occurs during storage in dried fruits is browning and it is assumed
176 that the different colors of the mulberry used in sensory analysis application affect the panelists
177 (Fennema and Sherman, 1976; Cemeroglu and Ozkan 2004). Studies have reported that the use of film
178 solution prepared with chitosan as a coating material has an important effect on improving the sensory
179 properties of foods (Vargas et al., 2006; Han et al., 2014). A study with freeze-dried carrots indicates
180 that samples immersed in citric acid solution are more liked by panelists in terms of general

181 acceptability in sensory evaluation, and are similar to study (Erbay et al., 2009). When the colors of
182 the mulberries covered with 2% grape vinegar were evaluated, a positive difference was observed
183 (Table 1). It is thought that uncoated mulberries are liked more than grape vinegar in terms of taste,
184 and the difference in odor is due to the stronger smell of grape vinegar compared to the uncoated
185 product. Similarly, it has been stated the panelists that strawberries coated with whey protein are
186 acceptable (Karabulut et al., 2018). It has been stated that the general quality of bananas coated with
187 gum arabic and chitosan is preserved and bananas with 1% chitosan solution are acceptable in sensory
188 evaluation (Maqbool et al., 2011).

189

190 **5. Conclusion**

191 In the study; the usability of chitosan solution as edible material has been tested on fruit, storage pest
192 and sensory analysis to reduce and eliminate that the quality deterioration occur in fresh and dried
193 fruits. In terms of weight, it was observed that the weight of 1% chitosan coated mulberries was
194 higher. Although the groups were statistically similar in terms of texture, it was determined that the
195 hardness of the samples decreased somewhat in the presence of storage pests. Panelists said that 0.2%
196 coated mulberries are better in terms of color, appearance and taste. The study was planned
197 considering that the fruit, whose coating materials are high in sugar, will serve as a packaging in terms
198 of its life in the warehouse and on the shelf. According to the data obtained, it was determined that the
199 amount of chitosan used is important in increasing the shelf life of dried fruits and minimizing quality
200 deterioration.

201

202 **Acknowledgment**

203 Permission was obtained for texture analysis, Necmettin Erbakan University Food Engineering
204 department and for sensory analysis Necmettin Erbakan University. The study was produced from the
205 second author's master's thesis.

206

207 **Conflict of Interest Conflict of Interest**

208 The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships
209 that could have appeared to influence the work reported in this paper.

210

211 **Contribution Rate Statement Summary of Researchers**

212 The authors declare that they have contributed equally to the article.

213

214 **References**

215 Aksoy U., Meyvacı BK., Sen F., Altindisli A. Impact of fumigants applied to control storage pests on
216 fruit quality of dried figs. Integrated Protection of Stored Products IOBC Bulletin/WPRS, 2004;

- 217 27: 203-208. Akkor YE. Gelenekten evrensele Osmanlı mutfağı. Alfa Yayınları, Baskı 2,
218 İstanbul; 2014.
- 219 Anonim. <https://www.tarimorman.gov.tr/sgb/Belgeler/SagMenuVeriler/BUGEM.pdf> Erişim Tarihi
220 05.06.2020.
- 221 Arlı M. Türk mutfağına genel bir bakış, Türk Mutfağı sempozyumu bildirimleri. Kültür ve Turizm
222 Bakanlığı Milli Folklor Araştırma Dairesi Yayınları, Ankara; 1982.
- 223 Azeredo HM., Mattoso LHC., Wood, D., Williams, TG., Avena-Bustillos, RJ., McHugh TH.
224 Nanocomposite edible films from mango puree reinforced with cellulose nanofibers. Journal
225 Food Sciences 2009; 74(5): N31-N35.
- 226 Baldwin EA. Edible coatings for fresh fruits and vegetables: Past, Present and Future. In Baldwin EA.,
227 Hagenmaier R., Bai J., Krochta JM. (Eds.), Edible Coatings and Films to Improve Food Quality
228 1994; 25-64.
- 229 Baskaya Z. Gelişimi ve dağılışı bakımından türkiye ipekböcekçiliğinde bilecik ilinin yeri, sorunları ve
230 çözüm önerileri. Doğu Coğrafya Dergisi 2013; 18-30.
- 231 Begen F. Yüksek lif içerikli bisküvi üretiminde lüpen (*Lupines albus l.*) kepeği kullanımını üzerine bir
232 araştırma. Selçuk Üniversitesi, Konya, 2012.
- 233 Beuchat LR., Komitopoulou E., Beckers H., Betts RP., Bourdichon F., Fanning S., Ter Kuile BH.
234 Low-water activity foods: increased concern as vehicles of foodborne pathogens. Journal Food
235 Protection 2013; 76: 150-172.
- 236 Carbonell-Capella JM., Buniowska M., Esteve MJ., Frígola A. Effect of stevia rebaudiana addition on
237 bioaccessibility of bioactive compounds and antioxidant activity of beverages based on exotic
238 fruits mixed with oat following simulated human digestion. Food Chemistry 2015; 184: 122-
239 130.
- 240 Cemeroglu B., Ozkan M. Kurutma teknolojisi. In Cemeroglu, B. (Eds.), Meyve ve Sebze İşleme
241 Teknolojisi. Başkent Kiş Matbaacılık, Ankara, 2004.
- 242 Debeaufort F., Quezada-Gallo JA., Voilley A. Edible films and coatings: tomorrows packagings. A
243 review. Critical Reviews Food Sciences 1998; 38: 299-313.
- 244 Demirgöl F. Çadırdan saraya Türk mutfağı. Uluslararası Türk Dünyası Turizm Araştırmaları Dergisi
245 2018; 3, 105-125.
- 246 Deng Q., Penner MH., Zhao Y. Chemical composition of dietary fiber and polyphenols of five
247 different varieties of wine grape pomace skins. Food Research International 2011; 44, 2712-
248 2720.
- 249 Doymaz I. Drying kinetics of white mulberry. Journal of Food Engineering and Technology 2004;
250 61: 341-346.
- 251 Duzgunes N., Allen TM., Fedor J., Papahadjopoulos D. Lipid mixing during membrane aggregation
252 and fusion: why fusion assays disagree. Biochemistry 1987; 26(25): 8435-8442.
- 253 Efendi T., Aktürk AI. Osmanlı mutfağı. Dönence yayınları, İstanbul; 2005, ISBN: 9789757054504.

254 Erbay B., Kivrak E., Orhan H., Küçüköner E. Dondurarak kurutulmuş havuç dilimlerinin renk,
255 rehidrasyon özellikleri ve bazı duyuşal özellikleri üzerine farklı antioksidan çözeltilerin
256 etkisi. *Journal of Applied and Natural Science* 2009; 13, 3.

257 Ercişli S. A short review of the fruit germplasm resources of turkey. *Genetic Resources and Crop*
258 *Evolution* 2004; 51, 419-435.

259 Falguera V., Quintero JP., Jiménez A., Muñoz JA., Ibarz A. Edible films and coatings: structures,
260 active functions and trends in their use. *Journal of Food Science and Technology* 2011; 22(6):
261 292-303.

262 Farahmandfar R., Mohseni M., Asnaashari M. Effects of quince seed, almond, and tragacanth gum
263 coating on the banana slices properties during the process of hot air drying. *Food Science &*
264 *Nutrition* 2017; 5, 1057-1064.

265 Fennema E., Sherman JA. Fennema-sherman mathematics attitudes scales: instruments designed to
266 measure attitudes toward the learning of mathematics by females and males. *Mathematics*
267 *Education Research Journal* 1976; 7, 324-326.

268 Galus S., Kadzińska J. Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food*
269 *Science and Technology* 2015; 45, 273283.

270 Garcia CC., Caetano LC., de Souza Silva K., Mauro MA. Influence of edible coating on the drying
271 and quality of papaya (*Carica papaya*). *Food Biology Technology* 2014; 7, 2828-2839.

272 Gennadios A., Hanna MA., Kurth LB. Application of edible coatings on meats poultry and seafoods: a
273 review. *Lwt-Food Science Technology* 1997; 30, 337-350.

274 Gomen H. Kapalı tohumlular. Şark Matbaası, Ankara; 1973.

275 Gounga ME, Xu SY., Wang Z. Film forming mechanism and mechanical and thermal properties of
276 whey protein isolate-based edible films as affected by protein concentration, glycerol ratio and
277 pullulan content. *Journal of Food Biochemistry* 2010; 34, 501-519.

278 Guldemir O. Yemekler uygulama örnekleri Osmanlı mutfuğı, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi
279 Yayınları, Eskişehir; 2016.

280 Gursoy D. Tarihin Süzgecinde Mutfak Kültürümüz. Oğlak Yayınları, İstanbul; 2013.

281 Han C., Zuo J., Wang Q., Xu L., Zhai B., Wang Z., Gao L. Effects of chitosan coating on postharvest
282 quality and shelf life of sponge gourd (*Luffa cylindrica*) during storage. *Scientia Horticulturae*
283 2014; 166, 1-8.

284 Han JH., Gennadios A. Gıda ambalajında yenilikler. Elsevier Bilim ve Teknoloji Kitapları 2005; 239-
285 262.

286 Hernandez-izquierdo VM., Krochta JM. Thermoplastic processing of proteins for film formation-a
287 review. *Journal of Food Science* 2008; 73.

288 Huo Y. Mulberry cultivation and utilization in China. Fao Electronic Conference on Mulberry for
289 Animal Production (*Morus1-L*) 2000; 11-44.

- 290 Imran M., Khan H., Shah M., Khan R., Khan F. Chemical composition and antioxidant activity of
291 certain morus species. Journal of Zhejiang University Science B 2010; 11(12): 973-980.
- 292 Isın PM. Avcılıktan gurmeliğe yemeğin kültürel tarihi. İstanbul: Kitap Yayınevi; 2018.
- 293 Karabulut G., Efendioglu B., Kurtulus B., Turan E., Kuyumcu H., Esen S., Mehmetoglu AC. Bacillus
294 subtilis içeren yenilebilir kaplama uygulamasının çileğin raf ömrüne etkisi. Gıda 2018; 43, 53-
295 63.
- 296 Keles F. Gıda ambalajlama ilkeleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi 2002.
- 297 Kester JJ., Fennema OR. Edible films and coatings: a review. Food Technology 1986.
- 298 Koymen MA. Selçuklular zamanında beslenme sistemi. Türk Mutfağı Sempozyumu Bildirileri: Ktb
299 Yayınları, 1982; 33-45.
- 300 Kozleme O. Türk mutfak kültürü ve din. Rağbet Yayınları, İstanbul; 2012.
- 301 Krochta JM. Proteins as raw materials for films and coatings: definitions, current status, and
302 opportunities. Protein-Based Films and Coatings, Boca Raton, Fla.: Crc Press; 2002.
- 303 Kuzucu K. İçecek kültürü, Osmanlı mutfağı. Eskişehir: Anadolu üniversitesi yayınları; 2016.
- 304 Lago-vanzela ES., Do Nascimento P., Fontes EAF., Mauro MA., Kimura M. Edible coatings from
305 native and modified starches retain carotenoids in pumpkin during drying. Lwt-Food Science
306 Technology 2013; 50(2): 420-425.
- 307 Machii H. Evaluation and utilisation of mulberry for poultry production in japan. Mulberry for animal
308 production Fao Rome 2002; 241.
- 309 Maqbool M., Ali A., Alderson PG., Zahid N., Siddiqui Y. Effect of a novel edible composite coating
310 based on gum arabic and chitosan on biochemical and physiological responses of banana fruits
311 during cold storage. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2011; 59(10): 5474-5482.
- 312 Mchugh TH. Protein lipid interactions in edible films and coatings. Nanrung 2000; 44(3): 148-151.
- 313 Miller KS., Upadhyaya SK., Krochta JM. Permeability of d-limonene in whey protein films. Journal of
314 Food Science 1998; 63(2): 244-247.
- 315 Orhan E. Oltu ve olur ilçelerinde yetiştirilen dutların (*morus* spp.) seleksiyon yoluyla seçimi ve seçilen
316 tiplerde genetik akrabalığın rapd yöntemiyle belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi, Erzurum,
317 Türkiye, 2009.
- 318 Ozbek S. Genel meyvecilik. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: Adana; 1977.
- 319 Rogina B., Reenan RA., Nilsen SP., Helfand SL. Extended life-span conferred by cotransporter gene
320 mutations in drosophila. Science 2000; 290(5499): 2137-2140.
- 321 Rojas-grau MA., Soliva-Fortuny R., Martín-Belloso O. Edible coatings to incorporate active
322 ingredients to fresh-cut fruits: a review. Trends in Food Science and Technology 2009; 20(10):
323 438-447.
- 324 Sahın H. Türkiye Selçuklu ve beylikler dönemi mutfağı. Türk Mutfağı, Kültür ve Turizm Bakanlığı
325 Sanat Eserleri Dizisi: Ankara; 2008; 476,

- 326 Samancı O. Osmanlı mutfağı. Osmanlı mutfağı, Anadolu üniversitesi yayınları: Eskişehir; 2016; 1-
327 193.
- 328 Sang JH. The quantitative nutritional requirements of *Drosophila melanogaster*. Journal of
329 Experimental Biology 1956; 3(1): 45-72.
- 330 Savkay T. Osmanlı Mutfağı. İstanbul: Sekerbank Savkay; 2000.
- 331 Serceoğlu N. Yöre halkının mutfak kültürünü tanıma durumunun tespit edilmesi: Erzurum ili. Journal
332 of Tourism Gastronomy Studies 2014; 2(4): 36-46.
- 333 Srivastava S., Kapoor R., Thathola A., Srivastava RP. Nutritional quality of leaves of some genotypes
334 of mulberry (*Morus alba*). International Journal of Food Science and Nutrition 2006; 57(5-6):
335 305-313.
- 336 Tettweiler G., Miron M., Jenkins M., Sonenberg N., Lasko PF. Starvation and oxidative stress
337 resistance in drosophila are mediated through the eif4e-binding protein, *d4E-BP*. Genes and
338 Development 2005; 19(16): 1840-1843
- 339 Tonyalı B., Cikrikci S., Oztop MH. Physicochemical and microstructural characterization of gum
340 tragacanth added whey protein based films. Food Research International 2018; 105: 1-9.
- 341 TTSM Standart Tohumluk Kayıt Listesi.
342 <https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/TTSM/Sayfalar/Detay.aspx?SayfaId=86>. Erişim
343 Tarihi: 14.08.2019.
- 344 TUIK Türkiye İstatistik Kurumu, Tarım Alanları. http://tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001 Erişim
345 Tarihi: 21.03.2020.
- 346 Vargas M., Albors A., Chiralt A., González-Martínez C. Quality of cold-stored strawberries as
347 affected by chitosan–oleic acid edible coatings. Postharvest Biology and Technology 2006;
348 41(2): 164-171.
- 349 Vermeiren L., Devlieghere F., van Beest M., de Kruijf N., Debevere J. Developments in the active
350 packaging of foods. Trends in Food Science and Technology 1999; 10(3): 77-86.
- 351 Yerasimos M. Evliya çelebi seyahatnamesi'nde yemek kültürü. Yorumlar ve sistematik dizin, İstanbul:
352 Kitap Yayınevi; 2014.
- 353 Yıldız O. Physicochemical and sensory properties of mulberry products: Gümüşhane pestil and
354 köme. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 2013; 37(6): 762-771.
- 355 Zhang H., Ma ZF., Luo X., Li X. Effects of mulberry fruit (*Morus alba L.*) consumption on health
356 outcomes: a mini-review. Antioxidants 2018; 7(5): 69.

Polivinil Klorür İçeren Membranın Karakterizasyon ve Ekstraksiyon Veriminin Zaman İçerisinde Değişimi

Yasemin YILDIZ^{1*}, Aynur MANZAK²

¹Sakarya Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Sakarya

²Sakarya Üniversitesi Fen- Edebiyat Fakültesi, Sakarya

¹<https://orcid.org/0000-0003-2855-0496>

²<https://orcid.org/0000-0002-4548-5713>

*Sorumlu yazar: yyildiz@sakarya.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 08.01.2022

Kabul tarihi:06.05.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Kararlılık

Dayanıklılık

Akı

Yüzey morfolojisi

Çalışmada polivinil klorür içeren polimer içerikli membranların (PIM) hazırlanmasının ardından belirli sürelerde oda sıcaklığında bekletilmesi ile membran morfolojisindeki değişim incelenmiştir. Bu amaçla membranlar, oda sıcaklığında ve herhangi bir toza veya kimyasala maruz bırakılmadan belli sürelerde laboratuvarında bekletilmiştir. Membranlarda bu süreler sonunda herhangi bir yırtılma ve yapısal bozulma meydana gelmemiştir. Membranların yüzey morfolojileri, taramalı elektron mikroskobu ve optik mikroskop ile incelenmiştir. Bu görüntülerde de yapısal bir bozulma olmadığı görülmüştür. Ayrıca membranların asit ve baza karşı dayanıklılıkları incelenmiş ve dayanıklılıklarını korudukları belirlenmiştir. Bekletilen membranların metal ekstraksiyonunda akı ve verimi değerlendirildiğinde, en az 6 ay ile 1 yıla kadar ciddi bir değişim görülmemiştir. Membran verimliliğinde de aynı sonuç elde edilmiştir. Elde ettiğimiz polimer içerikli membranların uzun zaman sonrada kullanılabilirliği tespit edilmiştir. Bu durum PIM ticari faaliyetlerdeki kullanımını artırmaktadır.

The Change in Characterization of Membrane Containing Polyvinyl Chloride and of Extraction Efficiency over Time

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 08.01.2022

Accepted: 06.05.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Stability

Durability

Flux

Surface morphology

In the study, after the preparation of the polymeric membrane containing polyvinyl chloride, the change in the morphology of the membrane was investigated by keeping it at room temperature for certain periods. For this purpose, the membranes were kept at room temperature for certain periods in the laboratory without being exposed to any dust or chemicals. It was evaluated that the membranes did not show any tearing and structural deterioration after waiting. For information about the surface morphologies of the membranes, surface images were obtained by scanning electron microscopy and optical microscope images. It was observed that there was no structural deterioration in these images. Also, the resistance of the membranes to acids and bases was examined, and it was determined that they maintained their durability. At the end of the extraction experiments, flux and efficiency evaluations of the kept membranes showed no significant change for at least 6 months to 1 year. Similarly, the same result was found in membrane efficiency. It has been determined that the polymer inclusion membranes we have obtained can be used after a long time. This may increase the use of polymeric inclusion membrane (PIMs) in commercial activities.

To Cite: Yıldız Y., Manzak A. Polivinil Klorür İçeren Membranın Karakterizasyon ve Ekstraksiyon Veriminin Zaman İçerisinde Değişimi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 897-907.

1. Giriş

Polimer içerikli membranlar (PIM) uzun süreli kararlılığıyla her zaman dikkat çekici olmuştur. İhtiyaca yönelik membran tasarlanabilmesi de, tercih edilen membran çeşitleri içerisinde yer almasının nedenidir. Membran tasarlarken membranı oluşturacak temel malzemeler polimer bir destek, ekstraktant (taşıyıcı) ve plastikleştiricidir. Membranda destek polimerler, mekanik mukavemeti sağlayarak ince, esnek ve kararlı bir film oluşturur. Taşıyıcı, iyonu etkili bir şekilde bağlar ve membran boyunca taşır. Plastikleştirici ise; esnekliği veya son malzemenin akışkanlığını artıran katkı maddesidir. Plastikleştiricilerin yumuşatma etkisi, genellikle polimer destek zincirleri arasındaki moleküller arası çekim kuvvetlerini azaltmasına atfedilir. Bununla birlikte, plastikleştirici metal türlerinin akısını artırırken; membran bileşenleri arasındaki uyumu ve geçirgenlik özelliklerini iyileştirir. Taşıyıcı, membran polimer yapısı içinde tutulduğu için sızması engellenir. Bu durum, PIM'in destekli sıvı membranlara (SLM) kıyasla daha yüksek performans göstermelerini sağlar (Sellami ve ark., 2019).

Son on yılda, PIM ilgili çok sayıda makale görülmektedir. PIM'deki taşıma mekanizmasının membran bileşimi, homojenlik ve yüzey morfolojisi gibi farklı faktörlere bağlı olduğu bulunmuştur (Resina ve ark., 2008; Almeida ve ark., 2012; Yıldız ve ark., 2014). Bununla birlikte, Aliquat 336 içeren PIM' ler bazı kararlılık sorunları sergilemiştir. Kozłowski (2005) gerçekleştirdikleri Cr(VI) için taşıma deneylerinde, PIM yoluyla Cr(VI)'nın ilk akısının, taşıma döngülerinin sayısındaki artışla azaldığını gözlemlemişlerdir (Kozłowski, 2005). Ekstraksiyon işlemi ile birlikte CTA destekli membranların kararlılığı da birkaç çalışma grubu tarafından incelenmiştir (Kaya ve ark., 2016; Kebiche-Senhadji ve ark., 2010; Kozłowski, 2005). Kaya ve ark. (2016) taşıyıcı olarak kaliks[4]arene sahip CTA / Aliquat 336 membran için Cr(VI) geri kazanma faktörünün (RF) on döngüden sonra (döngü süresi 6 saat) %60' a kadar düştüğünü ifade etmişlerdir. Sellami ve ark. (2019) kararlılık ölçümünü, her döngünün sonunda (8 saat) besleme ve sıyırma aşamalarının yenilenmesiyle 128 saat boyunca gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında membranlarının kademeli olarak ekstraksiyon verimliliğini kaybettiğini belirtmişlerdir.

Kagaya ve ark. (2012) ise, %40 (w/w) Aliquat 336 ve %60 (w/w) PVC içeren PIM' lerin deiyonize su, HCl çözeltileri, Na ve tuzları içeren çeşitli çözeltilere daldırıldıktan sonra kütle değişimini incelemişler ve Aliquat 336, kuaterner amonyum klorürlerin, klorür anyonunun diğer anyonlarla yer değiştirdiğini ifade etmişlerdir (Kul, 2015). Membran kütle değişimi, membran ve tuz çözeltisi arasındaki anyon değişim dengesi ve Aliquat 336' nın yukarıda bahsedilen sulu çözeltilerle temaslarından önce ve sonra PIM'lerden sızması araştırılmıştır (Kagaya ve ark., 2012). Bu bulgular, membranın kararlılık çalışmalarında kademeli olarak ekstraksiyon verimliliğinde azalmayı açıklayabilmesi açısından önem arz etmektedir.

Bu çalışmada ise, membranın yüzey morfolojisinin zamanla değiştiği, membran hazırlandıktan sonra hemen alınan taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve optik mikroskop görüntüleri ile, membran

hazırlanıp oda sıcaklığında belli sürelerde bekletildikten sonra alınan SEM ve optik mikroskop görüntüleri kıyaslanarak incelenmiştir. Ayrıca, taşıyıcı olarak Aliquat 336 içeren polimer içerikli membranın kararlılık ve dayanıklılık çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıktadır. Polivinil klorür (PVC), 2-nitrofenil pentil eter (NPPE), tetra hidrofuran (THF) Riedel-de Haen'den, amonyak (NH₃), trietanolamin (TEA) ve amonyum tiyosiyanat (NH₄SCN) Fluka'dan, tributil fosfat (TBP), CoCl₂.6H₂O, 3CdSO₄.8H₂O, NiCl₂.6H₂O, asetik asit, NaOH, Merck firmasından temin edilmiştir. Aliquat 336 Cognis Corp. (Germany)'dan temin edilmiştir. Bütün stok çözeltiler distile su içinde kobalt, kadmiyum ve nikel tuzlarının çözülmesiyle elde edilmiştir.

Polimer içerikli membran dökme yöntemiyle hazırlanırken, polimer çözeltisi hazırlamak için, polivinil klorür (480 mg) 70 mL tetra hidrofuran içerisinde çözülüp, ardından 2-nitrofenil pentil eter (NPPE) ilavesi yapılmıştır. Bu homojen karışıma Aliquat 336 ve TBP karıştırıldıktan sonra eklenmiştir. Homojen bir çözelti elde etmek amacıyla iki saat boyunca mekanik olarak karıştırılmıştır. Elde edilen homojen karışım cam kaba (24 cm x 24 cm) yavaş yavaş aktarılmıştır. Organik çözücünün buharlaşması amacıyla çözelti bir gece boyunca oda sıcaklığında bekletilmiştir. Çözücü buharlaştırıldıktan sonra distile su ile yıkanarak membran kabından çıkarılmıştır. Membranın ortalama kalınlığı dijital mikrometre (Salu Tron Combi-D3) ile 25µm olarak ölçülmüştür (Yildiz, 2016).

SEM analiz fotoğrafları; Jeol JSM-6060LV marka cihazı ile yüksek vakum altında gerçekleştirilmiş, bunun için ince film halindeki numuneye iletkenlik sağlanması amacıyla önce altın kaplama işlemi yapılmıştır. SEM ile 1.000x-10.000x büyütme ve 10 µm - 1000 nm çözünürlük aralığında görüntüler kaydedilmiştir. Membran dayanıklılığı ve kararlılığı çalışmaları için gerçekleştirilen ekstraksiyon işlemlerinin ölçümleri de atomik absorpsiyon spektrofotometresiyle incelenmiştir. Optik mikroskop görüntüleri ise Huwitz marka dijital mikroskop ile elde edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

PIM'de, taşıyıcı yarı sıvımsı bir ortamda ve her iki sıvı faz ile temastadır. Bu temas sebebiyle, taşıyıcının hidrofobikliği ve sudaki çözünürlüğü membran kararlılığına etki eden en önemli faktördür (Argiropoulos ve ark., 1998). Bununla birlikte, hidrofobik davranış, taşıyıcı sızıntısını geciktireceği için membran stabilitesini sağlar. Membran dayanıklılığı ile ilgili Yıldiz (2016)'ın çalışmasında, membranın beş kez kullanılmasına rağmen RF değeri %90 bulunmuştur. Bu seviyede RF değeri olması membranın dayanıklılığın oldukça iyi ve ömrünün uzun olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada ise; PVC, 2-NPPE ve Aliquat 336 taşıyıcısını içeren PIM'lerle gerçekleştirilen ekstraksiyon deneylerinde 14 gün boyunca herhangi bir akı düşüşü veya madde kaybı bulgusu olmamıştır. Ayrıca, elde edilen membranların bazik koşullar altında (6M NH₃) parçalandıkları, asidik koşullar altında ise (3M HNO₃) çok daha uzun ömürlü oldukları görülmüştür. Membranın hidrolizi,

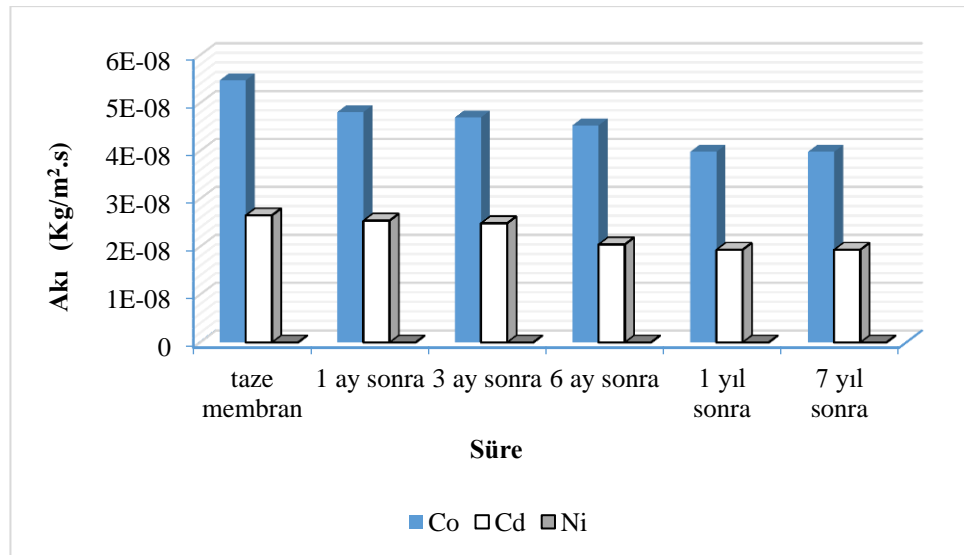
bazik koşullar altında 3 gün içinde gerçekleşmektedir. Asidik koşullarda ise, membran 30 gün boyunca kararlı kalmaktadır. Süre sonunda herhangi bir parçalanma söz konusu değildir. Aşırı bazik veya asidik koşullarda hidrolize karşı daha dirençli olmaları PVC membranın polimerik yapılarına bakılarak beklenen bir durumdur ve molekül içi kuvvetler etkileşimlerde baskın olarak ifade edilmektedir (Nghiem ve ark., 2006). Bu kuvvetler onların hidrolize karşı direncini açıklamaktadır.

3.1. Akı Performansındaki Değişimin Belirlenmesi

Ekstraksiyon deneylerinde, besleme çözeltisi karışımı 100 ppm Co(II), 100 ppm Cd(II) ve 100 ppm Ni(II) iyonları ve 0,5M NH₄SCN ile pH 4'te hazırlandı. Sıyırma çözeltisi ise 1M NH₃ ve 1M TEA ile elde edildi. Ekstraksiyon işlemi, taze hazırlanmış membran ile gerçekleştirildiğinde, Co (II), %99 RF değeri ile sıyırma aşamasına başarıyla taşındı. Cd(II)'ya kıyasla Co(II) taşınımının daha hızlı ve fazla olduğu bulunmuştur. Cd(II) %48 RF değerine sahipken, Ni(II) için hiçbir geri kazanım gözlenmemiştir. Bu durum, Aliquat 336'nın Co(II) için seçici olduğunu bir kez daha kanıtlamıştır. Benzer pek çok çalışmada membranın seçicilik özellikleri araştırılmış ve seçiciliğin taşıyıcı ile besleme ve sıyırma çözeltilerinin özelliklerine bağlı olduğu belirlenmiştir (Kozłowski, 2002; Pospiech ve ark., 2007; Pont ve ark., 2008).

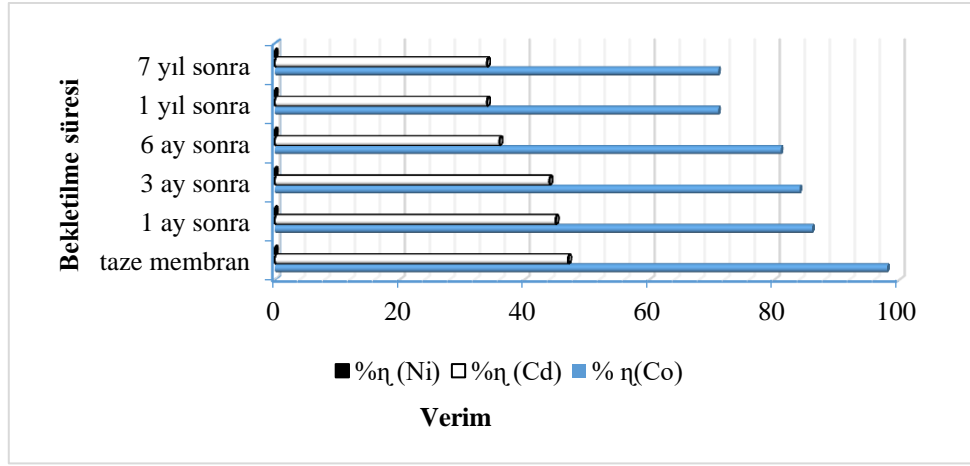
PIM ekstraksiyon deneylerinde, membranın dayanıklılığı oldukça önem arz etmektedir. PIM'lerin SLM ile kıyaslandığında en büyük avantajlarından biri membranın uzun ömürlü olmasıdır. Bu avantaj hem çalışmaları kolaylaştırmakta hem de maliyeti oldukça azaltmaktadır.

Bu çalışmada, membranın zaman içindeki dayanıklılığını incelemek için hazırlanan membranlar süzgeç kağıdına sarılarak ağzı kapalı bir poşet içerisinde ve herhangi bir toza veya kimyasala temas etmeden 1 ay, 3 ay, 6 ay, 1 yıl ve 7 yıl oda sıcaklığında ($24 \pm 2^\circ\text{C}$) bekletildi ve bu süreler sonunda ekstraksiyon deneyleri periyodik olarak gerçekleştirildi. Membranın bekletilme süresinin Co(II), Cd(II) ve Ni(II)'nin akı performansına etkisi Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Membranın bekletilme süresinin Co (II), Cd (II) ve Ni (II)'nin akı performansına etkisi

Şekil 1’de görüldüğü gibi PIM’lerin 6 aylık depolamadan sonra ekstraksiyon verimliliği nispeten korunmuştur. Bu sonuç, membran dayanıklılığına tanıklık etmektedir.



Şekil 2. Membranın bekletilme süresinin Co (II), Cd (II) ve Ni (II)’nin verimliliğine etkisi

Ayrıca iyonların ekstraksiyon verimini (η):

$$\eta = 1 - \left(\frac{C}{C_0}\right) \quad (1)$$

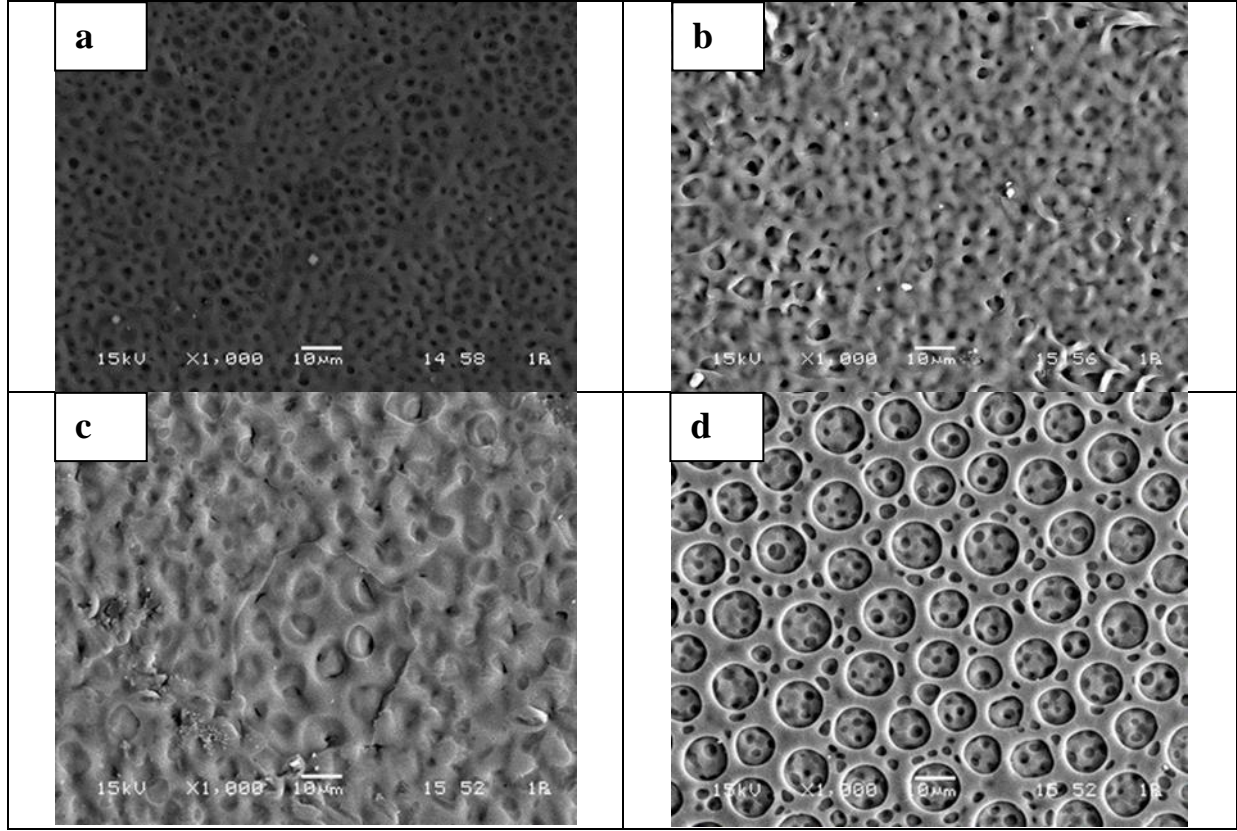
eşitliği ile hesaplanmıştır.

Bu eşitlikteki C_0 besleme çözeltisi başlangıç metal iyonu konsantrasyonu ve C herhangi bir andaki metal iyonu konsantrasyonudur.

Çalışmada, membranın hazırlandıktan hemen sonra kullanılmasıyla elde edilen ekstraksiyon verileri ile belli süre geçtikten sonra kullanılmasıyla elde edilen ekstraksiyon verileri Şekil 2’de karşılaştırıldığında, membranın zaman içindeki morfolojik değişimi sebebiyle ekstraksiyon veriminde nispeten azalma olduğu düşünülmektedir.

3.2. Membran karakterizasyonu

Membran morfolojisi, membran özelliklerinin tespit edilmesinde önemli bir rol oynar. Membran bileşiminin morfoloji üzerindeki etkisini araştırmak için membran yüzeyinin SEM görüntüleri alınmıştır.



Şekil 3. Polivinil klorür (PVC)-2-NPPE-Aliquat 336-TBP' nin SEM yüzey görüntüsü
a) Taze hazırlanan, b) 6 ay sonra, c) 1 yıl sonra, d) 7 yıl sonra

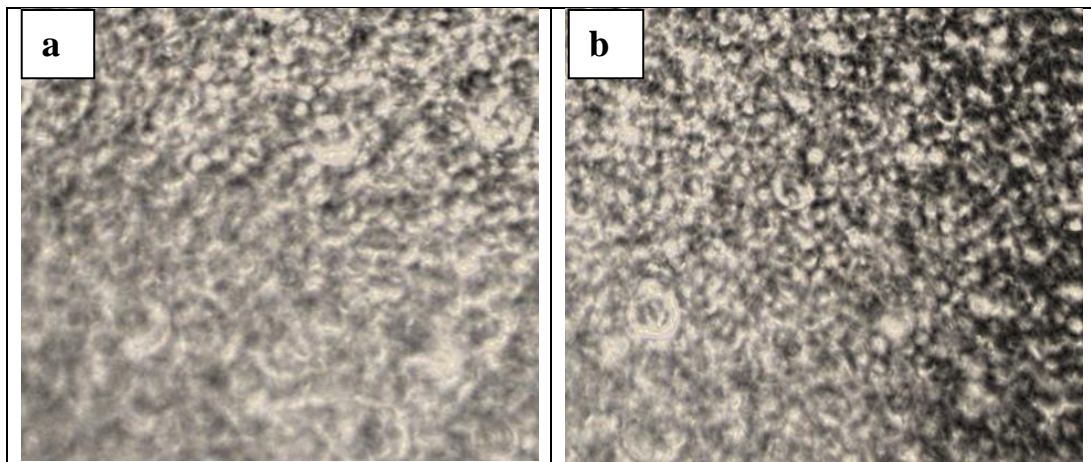
Membranların bekleme sürelerinin membran morfoloji üzerine etkisini gösteren SEM yüzey görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir. Taze hazırlanan membranın morfolojisinde taşıyıcı moleküllü polimer desteğin içerisine nüfuz etmiş ve boşlukları doldurmuştur. Hazırlanması ardından 7 yıl geçen membran morfolojisinde ise, taşıyıcı molekül ile polimer destek yüzeyinde oluşan bağların zamanla zayıfladığı ve bu durumdan dolayı taşıyıcının polimer destek boşluklarından nispeten sızdığı düşünülmektedir. Fakat bu sızma ekstraksiyon deneylerinden de anlaşılacağı gibi ihmal edilebilir boyuttadır. PIM'de taşıyıcı, plastikleştirici ve polimer destek maddesi birbirleriyle zayıf van der Waals kuvvetleri ve hidrojen bağları gibi bağlarla sekonder olarak bağlıdır. Aralarındaki bu etkileşimler arayüzey gerilimi veya kapiler kuvvetlerden daha güçlü kuvvetlerdir ve iyi derecede kararlılık sergilemesinin nedeni olarak düşünülmektedirler (Zhang ve ark., 2011; Pabby ve ark., 2015). SEM görüntüleri ve akı performansına bakılarak, membran hazırlandıktan bir yıl sonrasına kadar bu etkileşimlerin nispeten korunduğu düşünülmektedir. Genel olarak, çalışmalarda PIM'lerin sızıntılara karşı dayanıklı olduğu ve membran ömürlerinin akı kararlılıklarına bakılarak ifade edildiği bilinmektedir. Bu nedenle, destek polimerlerin hidrolizi üzerine çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Onaç, 2017).

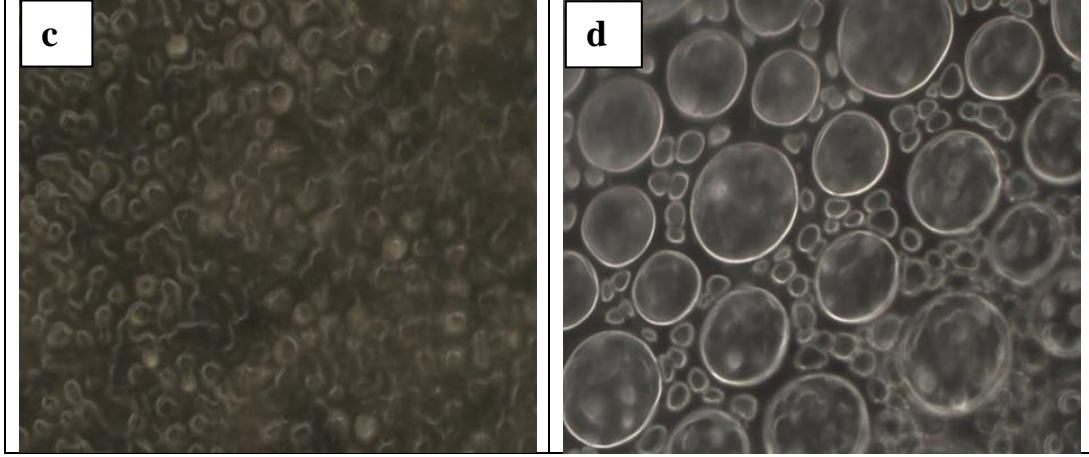
Zamanla membran yüzeylerinde morfolojik değişim göz önüne alındığında yüzeylerindeki porozitenin arttığı görülmektedir (Şekil 3). Yüzey pürüzlülüğünü artırarak katı bir yüzeyin hidrofobik ya da hidrofilik özelliklerini artırmak mümkündür. Literatürde bu konuda çalışmalar mevcuttur ve bu

çalışmalarda, zamanla temas açısı ölçümünde değişiklik ifade edilmektedir. Bunun sebebi ise pürüzlülüğün artışı hidrofobik yüzeylerde temas açısı artışına, hidrofilik yüzeylerde ise temas açısı azalışına neden olmaktadır (Nuraje ve ark., 2013). Ayrıca Yıldız (2016)'ın çalışmasında temas açısının azalmasından dolayı bekletilen membranın hidrofilik karakterde olduğu ifade edilmiştir.

PIM'lerin kararlılığını ve tekrar kullanılabilirliklerini incelemek amacıyla, birçok araştırmacı aynı membran ile tekrarlanan ekstraksiyon deneyleri gerçekleştirmiş ve bu deneylerde her iki çözeltiyi (besleme ve sıyırma çözeltilerini) her deneyde yenilemişlerdir. Bu araştırmacılar, PIM'lerin kararlılığını ilk birkaç denemede nispeten değişen akı ve geçirgenlik değerleri elde etmişlerdir. Bu veriler, membranın yapısal olarak herhangi bir bozulma belirtileri göstermeyerek oldukça iyi bir kararlılığa sahip olduğunu kanıtlamıştır. Özellikle düşük iyonik dayanımlı sulu fazlar kullanıldığında, membran fazından sulu faza dikkat çeken miktarda sızıntı durumu fark edilmiş olsa da, son araştırmalarda membran fazla sulu faz arasındaki bu sızıntının denge durumuna ulaştığını ve bunun göz ardı edilebilir olduğunu göstermiştir (Zhang ve ark., 2011). Yine de PIM'lerin, gerçek ekstraksiyon ve taşıyım sistemlerinde kullanılması durumunda benzer iyonik kuvvetteki çözeltileri ayarlamının gerekli olduğu düşünölmektedir. Ayrıca her ne kadar PIM'lerin kararlılığının SLM'lerinkinden daha iyi olduğu bilinse de, PIM'de başlangıçta düşük akı değerleri veya geçirgenlik katsayılarına sahip oldukları da ifade edilmektedir (Sastra ve ark., 1998, Gyves ve ark., 2006, Pabby ve ark., 2015).

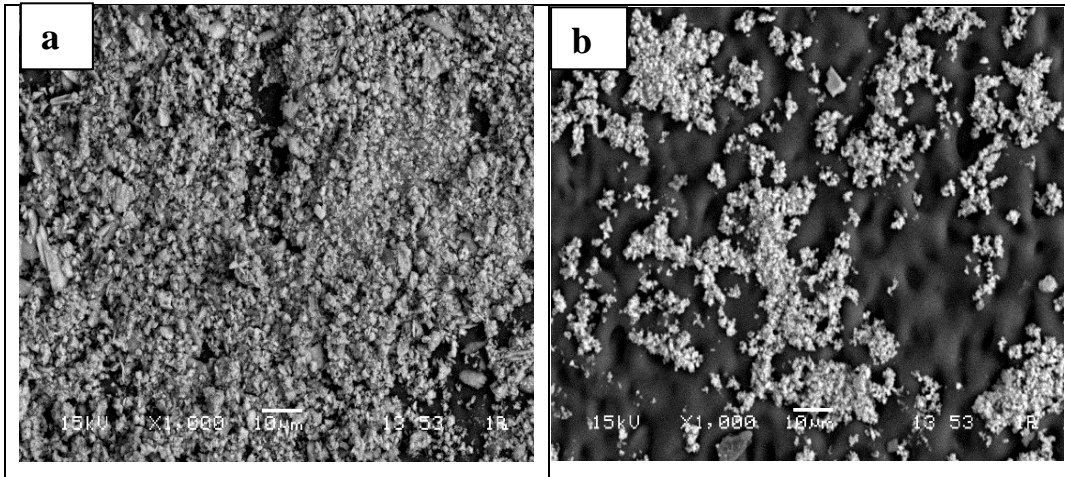
Zamanla membran morfolojindeki değişim Şekil 4'te optik mikroskop görüntülerinde de görölmektedir. Bu görüntüler SEM görüntülerindeki (Şekil 3) gibi membranların porozitesindeki artışı desteklemektedir. Bu durum, taşıyıcının polimer destek boşluklarından nispeten sızdığını düşündürse de; bu sızmanın ekstraksiyon deneylerinden de anlaşılacağı gibi ihmal edilebilir boyutta kaldığı görölmektedir. Membran yüzey pürüzlülüğü ile metal iyon geçirgenliği arasında ilişkinin göröldüğü diğer çalışmalarla paraleldir (Wang ve ark., 2000; Kozłowski ve ark., 2005; Scindia ve ark., 2005).

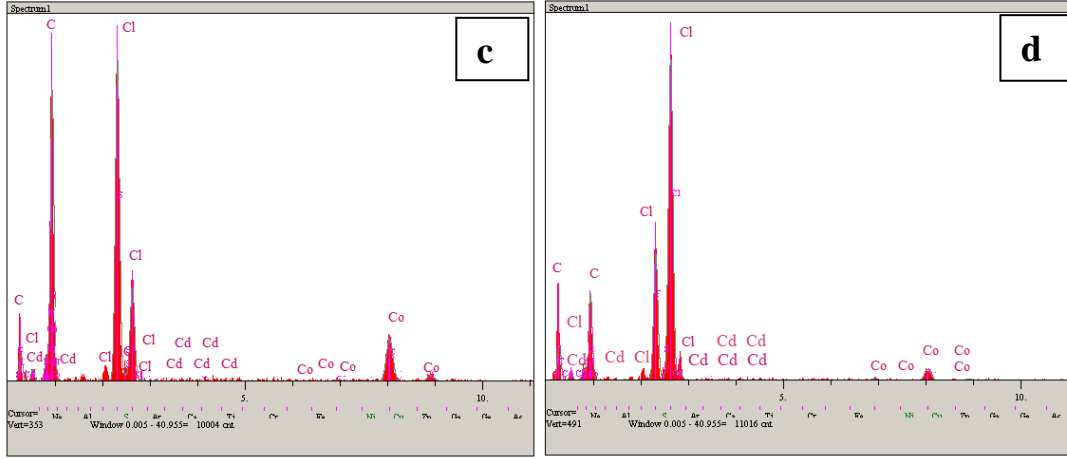




Şekil 4. Polivinil klorür (PVC)-2-NPPE-Aliquat 336-TBP' nin optik mikroskop görüntüsü (1000x)
a) Taze hazırlanan, b) 6 ay sonra, c) 1 yıl sonra, d) 7 yıl sonra

Bekletilen membranların ekstraksiyon deneyleri ile akı ve verim değerlendirmeleri sonunda 1 yıldan az bekletilen membranlarda ciddi bir değişim görülmemiştir. Bu nedenle sadece 1 yıl ve 7 yıl bekletilmiş membranların ekstraksiyon deneyi sonundaki SEM görüntüleri ve SEM-EDS görüntüleri alınmıştır. Şekil 5'te görüleceği gibi 1 yıl bekleyen membranın yüzeyinde kobalt ve kadmiyum metallere tutunması gerçekleşmiştir. Bu durumda membranın hala etkinliğini koruduğu teyit etmektedir.





Şekil 5. a) 1 yıl sonra kullanılan membranın deney sonundaki SEM görüntüsü
 b) 7 yıl sonra kullanılan membranın deney sonundaki SEM görüntüsü
 c) 1 yıl sonra kullanılan membranın deney sonundaki SEM-EDS görüntüsü
 d) 7 yıl sonra kullanılan membranın deney sonundaki SEM-EDS görüntüsü

4. Sonuç

Membranın oda sıcaklığında bekletilme süresi ile membran morfolojisindeki değişim ilişkisi incelenmiştir. Bunun için, 2014, 2020 ve 2021 yıllarında hazırlanan ve ekstraksiyon deneylerinde kullanılmayan, oda sıcaklığında bekletilen membranlar kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, bekleme süresi ile morfoloji değişimi arasındaki ilişki SEM, optik mikroskop görüntüleri ve ekstraksiyon deneyleri ile değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen görüntüler ve verilere bakılarak membranın kullanılmadan bekletilmesi membran morfolojisinde en az 6 ay ile 1 yıla kadar ciddi bir değişim görülmemiştir. Benzer şekilde membran verimliliğinde de aynı sonuç bulunmaktadır. Elde edilen PIM'in uzun zaman sonrada kullanılabilirdiği tespit edilmiştir. Farklı türdeki taşıyıcılar ve polimerler içeren membranların ömürlerini değerlendirmek için daha çok araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Belirli bir membran ömrü kriteri olmamasına karşın, membran içeriğindeki bileşen ilavelerinin araştırılması ve optimize edilmesi, membranların ömürlerinin uzamasına oldukça yardımcı olacaktır. Bu gelişme, PIM'lerin ticari olarak kullanımına katkı sağlayacaktır. Çalışmamız ile polimerik membranların mükemmel seçici, uzun ömürlü ve kararlı bir proses olduğu bir kez daha teyit edilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Aguilar JC., Sánchez-Castellanos M., Rodríguez de San Miguel E., Gyves J. Cd(II) and Pb(II) extraction and transport modeling in SLM and PIM systems using Kelex 100 as carrier. *Journal of Membrane Science* 2001; 190: 107–118.
- Almeida MIGS., Cattrall RW., Kolev SD. Recent trends in extraction and transport of metal ions using polymer inclusion membranes (PIMs). *Journal Membrane Science* 2012; 415–416.
- Argiropoulos G., Cattrall RW., Hamilton IC., Kolev SD., Paimin R. The study of a membrane for extracting gold (III) from hydrochloric acid solutions. *Journal Membrane Science* 1998; 138(2): 279–285.
- Kagaya S., Ryokan Y., Cattrall RW., Kolev SD. Stability studies of poly(vinyl chloride)-based polymer inclusion membranes containing Aliquat 336 as a carrier. *Separation and Purification Technology* 2012; 101: 69-75, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2012.09.007>.
- Kaya A., Onac C., Korkmaz Alpoguz H., Yilmaz A., Atar N. Removal of Cr(VI) through calixarene based polymer inclusion membrane from chrome plating bath water. *Chemical Engineering Journal* 2016; 283: 141–149.
- Kebiche-Senhadji O., Tingry S., Seta P., Benamor M. Selective extraction of Cr(VI) over metallic species by polymer inclusion membrane (PIM) using anion (Aliquat 336) as carrier. *Desalination* 2010; 258: 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2015.04.021>.
- Kozłowski CA., Walkowiak W. Applicability of liquid membranes in chromium(VI) transport with amines as ion carriers. *Journal Membrane Science* 2005; 266: 143–150.
- Kozłowski CA., Walkowiak W. Removal of chromium(VI) from aqueous solutions by polymer inclusion membranes. *Water Research* 2002; 36: 4870–4876.
- Kul M., Oskay KO. Separation and recovery of valuable metals from real mix electroplating wastewater by solvent extraction. *Hydrometallurgy* 2015; 155: 153-160.
- Lam B., Wei M., Zhu L., Luo S., Guo R., Morisato A., Alexandridis P., Lin H. Cellulose triacetate doped with ionic liquids for membrane gas separation. *Polymer* 2016; 89: 1-11.
- Levitskaia TG., Lamb JD., Fox KL., Moyer BA. Selective carrier-mediated cesium transport through polymer inclusion membranes by calix[4]arene-crown-6 carriers from complex aqueous mixtures. *Radiochimica Acta* 2002; 90(1): 43–52.
- Nghiêm LD., Mornane P., Potter ID., Perera JM., Cattrall RW., Kolev SD. Extraction and transport of metal ions and small organic compounds using polymer inclusion membranes (PIMs). *Journal of Membrane Science* 2006; 281: 7-41.
- Nuraje N., Khan WS., Lei Y., Ceylan M., Asmatulu R. Superhydrophobic electrospun nanofibers. *Journal of Materials Chemistry A* 2013; 1(6): 1929-1946.
- Onaç C. Polimer içerikli membranlar ile bazı metal katyonlarının yük taşıyıcılı ekstraksiyonu, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Pamukkale, Türkiye, 2017.

- Pabby AK., Rizvi SSH., Sastre AM. Handbook of membrane separations: Chemical, pharmaceutical, food, and biotechnological applications. 2015; CRC Press Taylo & Francis Group, Boca Raton London, New York.
- Pont N., Salvado V., Fontas C. Selective transport and removal of Cd from chloride solutions by polymer inclusion membranes. *Journal of Membrane Science* 2008; 318: 340–345.
- Pospiech B., Walkowiak W. Separation of copper(II), cobalt(II) and nickel(II) from chloride solutions by polymer inclusion membranes. *Separation and Purification Technology* 2007; 57: 461–465.
- Resina M., Fontas C., Palet C., Munoz M. Comparative study of hybrid and activated composite membranes containing Aliquat 336 for the transport of Pt(IV). *Journal Membrane Science* 2008; 311: 235–242.
- Scindia YM., Pandey AK., Reddy AVR. Coupled-diffusion transport of Cr (VI) across anion-exchange membranes prepared by physical and chemical immobilization methods. *Journal Membrane Science* 2005; 249 (1/2): 143–152.
- Sellami F., Kebiche-Senhadji O., Marais S., Couvrat N., Fatyeyeva K. Polymer inclusion membranes based on CTA/PBAT blend containing Aliquat 336 as extractant for removal of Cr(VI): efficiency, stability and selectivity. *Reactive and Functional Polymers* 2019; 139: 120-132. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2019.03.014>.
- Suah FBM., Ahmad M. Preparation and characterization of polymer inclusion membrane based optode for determination of Al³⁺ ion. *Analytica Chimica Acta* 2017; 951: 133-139.
- Wang L., Paimin R., Cattrall RW., Wei S., Kolev SD. The extraction of cadmium (II) and copper (II) from hydrochloric acid solutions using an Aliquat 336/PVC membranes. *Journal Membrane Science* 2000; 176(1): 105–111.
- Yildiz Y., Manzak A., Aydin B., Tutkun O. Preparation and application of polymer inclusion membranes (PIMs) including Alamine 336 for the extraction of metals from an aqueous solution. *Materiali in Tehnologije / Materials and Technology* 2014; 48: 791–796.
- Yildiz Y., Manzak A. Stability and durability of polyvinyl chloride membranes consisting of Aliquat 336. 3rd International Turkic World Conference on Chemical Sciences and Technologies, 26-30 October 2016, Skopje, Macedonia.
- Zhang L.J.L., Cattrall, RW., Kolev SD. The use of a polymer inclusion membrane in flow injection analysis for the on-line separation and determination of zinc. *Talanta* 2011; 84: 1278-1283.

Çift Sıra Ekim Makinasının Bazı Kültür Bitkilerinde Ekim Başarısının Belirlenmesi ve Ekonomik Durum Analizi

Ali BOLAT^{1*}

¹Adıyaman Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Adıyaman

¹<https://orcid.org/0000-0002-1019-0069>

*Sorumlu yazar: alibolat@adiyaman.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 03.03.2022

Kabul tarihi:26.05.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Çift sıra ekim makinası

Tek sıra ekim makinası

Silajlık mısır,

Dane mısır,

Silajlık ayçiçeği

ÖZ

Bu çalışmada, silajlık mısır, dane mısır ve silajlık ayçiçeği ürünlerinde çift sıra ekim makinasının performansı belirlenmiştir. Karşılaştırma yöntemi olarak, üreticilerin yaygın olarak kullandığı tek sıra ekim makinası (Geleneksel pnömatik ekim makinası) kullanılmıştır. Yöntemlere ait bitki dağılım düzgünlüğü, ürün verimi ve ekonomik analiz karşılaştırmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, her iki ekim makinası ile bitki dağılım düzgünlüğü bakımından benzer sonuçlar elde edilmiştir. Verim değerleri bakımından çift sıra ekim yöntemi ile silajlık mısırdaki % 8,8, dane mısırdaki % 9,5 ve silajlık ayçiçeğinde % 8,1 daha yüksek değerler sağlanmıştır. Ekonomik analiz değerlendirmelerinde ise, çift sıra ekim makinası ile birim alandan daha yüksek karlılık sağlandığı belirlenmiştir.

Determination of Sowing Success and Economic Situation Analysis of Some Cultural Plants of Double Row Sowing Machine

Research Article

Article History:

Received: 03.03.2022

Accepted: 26.05.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Double row sowing machine

Single row sowing machine

Silage maize

Grain maize

Silage sunflower

ABSTRACT

In this study, the performance of the double row sowing machine in silage maize, grain maize and silage sunflower products was determined. As a comparison method, a single row sowing machine (Traditional pneumatic sowing machine), which is commonly used by producers, was used. Plant distribution uniformity, product yield and economic analysis comparisons of the methods were made. According to the results obtained, similar results were obtained in terms of plant distribution uniformity with both machines. In terms of yield values, the double row cultivation method provided 8,8% higher values in silage maize, 9,5% in grain maize and 8,1% higher in silage sunflower. In the economic analysis evaluations, it was determined that higher profitability was achieved with the twin row sowing machine than the unit area.

To Cite: Bolat A. Çift Sıra Ekim Makinasının Bazı Kültür Bitkilerinde Ekim Başarısının Belirlenmesi ve Ekonomik Durum Analizi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 908-918.

1. Giriş

Dünya nüfusu her geçen gün hızla artmaktadır. Hızla artan dünya nüfusunun beslenmesi için her geçen gün daha fazla besin kaynağına ve tarımsal üretime ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü insan ve hayvan beslenmesinin temel kaynağı tarımsal ürünlerdir. Dolayısıyla bu ihtiyacı karşılayabilmek için tarımsal üretimin de aynı oranda artması gerekmektedir. Tarımsal üretimin artması ise ya ekilebilir alanların artması ya da birim alandan alınan verimin yükseltilmesi ile mümkündür. Tarım yapılan alanların

sınırlı olması ve tarım yapılan arazilerin amaç dışı kullanılması, tarım arazilerinin arttırma gibi bir şansın olmadığı sonucunu ortaya koymaktadır. Böyle bir durum halen kullanılmakta olan tarım alanlarının en etkin şekilde kullanılması gerektiğini ortaya koymaktadır (Bakal ve Arıoğlu, 2013). Diğer bir ifade ile ekolojik koşulları bozmadan birim alandan daha fazla ürün alınması gerekmektedir. Birim alandan verim artışı ile ilgili birçok konuda (sulama, gübreleme, tohum, vs) çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan biride birim alanda bitki sayısının arttırılmasıdır. Tarlada bitki sıklığı değişikliği, genellikle sıra arası ve sıra üzeri mesafeler değiştirilerek yapılmaktadır. Gereğinden fazla sık ekim her zaman verim artışı yapmadığı gibi gereğinden çok seyrek ekim de birim alandan alınan ürün miktarının azalmasına sebep olmaktadır. En uygun ekim sıklığı kullanılan çeşide, ekim zamanına, yetiştirme amacına, yükseltiye, iklime, sulama miktarına ve toprağın durumuna göre değişmektedir. Ancak son yıllarda, çift sıra ekim şekli uygulamasının da verim yönünden öne çıktığına dikkat çekilmektedir (Taşçılar, 2008). Çift sıra ekim şeklinde, bitkinin yaşam alanına fazla müdahale edilmeden birim alanda bitki sayısını ve dolayısıyla verimin arttırılması amaçlanmaktadır. Adana' ili ana ürün üretim koşullarında tek sıra ve çift sıra ekimin farklı ekim sıklıklarının bazı mısır çeşitlerinde yeşil ot veriminin ve dane verime etkisinin saptanmasının amaçlandığı 2 yıllık bir çalışmada hem dane mısır, hem de silajlık mısır üretiminde en yüksek verimlerin çift sıra ekim yönteminde elde edildiği belirtilmiştir. Ayrıca 2 yılın sonuçlarına göre çift sıra ekim şeklinin, tek sıra ekim şekline göre dane mısırdaki %7,6-10,0 yeşil ot veriminde %4,6-6,9 üstünlük sağladığını, bu nedenle çift sıra ekim yapabilen ekim makinası tasarımı üzerinde çalışmaların yapılması gerektiği bildirilmiştir (Taşçılar, 2008). Çukurova'da ikinci ürün yetiştirme sezonunda farklı ekim yöntemlerinin ve ekim sıklıklarının susamda verim ve önemli tarımsal özelliklere etkilerinin belirlenmeye çalışıldığı bir çalışmada tek sıralı klasik ekim yöntemi ve çift sıralı ekim yöntemi araştırılmıştır. Araştırmada en yüksek tohum veriminin 112,97 kg/da ile çift sıralı ekim yönteminde, en düşük tohum veriminin (84,87 kg/da) ise tek sıralı klasik ekim yönteminde alındığı bildirilmiştir (Bakal ve Arıoğlu, 2013). Gül ve Tan (2016) tarafından Erzurum'da yapılan bir çalışmada farklı tohum çeşitleri ve farklı biçim zamanları araştırılmıştır. Çalışma sonunda tüm çeşitlerde en yüksek silajlık ayçiçeği verimlerinin, meyve olum dönemindeki biçilme zamanlarında bulunduğu bildirilmiştir. Ayrıca meyve olum dönemindeki hasat zamanının silaj kalitesinin araştırılması gerektiği belirtilmiştir. Bursa koşullarında ikinci ürün olarak yetiştirilen mısırdaki uygun bitki sıklığı ve ekim şeklinin belirlenmesi amacıyla yapılmış olan bir çalışmada, 3 farklı ekim şekli (50, 70 ve 25+45 cm) ve 4 farklı bitki sıklığı (5500, 7500, 9500 ve 11500 bitki/da) kullanılmıştır. Çalışmanın tarımsal ekolojik koşullarında ikinci ürün mısır üretiminde 11500 bitki/da yoğunluğu ve 25+45 cm ekim şeklinin daha iyi sonuç verdiği saptandığı bildirilmiştir (Bayram ve ark., 2017). Kırılmaz ve Marakoğlu (2018) tarafından yapılan bir çalışmada mısır üretiminde farklı çift sıra ekim yöntemlerinin tane verim ve verim parametreleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Konya'da yapılan denemelerde geleneksel (70x16)(U1), çift sıra çapraz (50x25) (U2), çift sıra (50x25) (U3) ve geleneksel çapraz çift sıra (50x16) (U4) mısır ekimi olmak üzere 4 farklı ekim yöntemi uygulamaya alınmıştır. Araştırmada bitki sıklığı U1, U2 ve U3 uygulamaları için

yaklaşık olarak 8900 tohum/da, U4 uygulaması için 16400 tohum/da ile ekim normu işlemi pnömatik ekim makinası ile gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre; en yüksek tane verim 2233 kg/da ile geleneksel çapraz çift sıra mısır ekim yönteminde, en düşük verim ise 1526 kg/da ile geleneksel tek sıra mısır ekim yönteminden elde edilmiştir. Geleneksel çapraz çift sıra mısır ekim yönteminin veriminin yüksek olmasını diğer uygulamalara göre dekara yaklaşık %80'den fazla tohum ekiminden dolayı olduğunu bildiren araştırmacılar atılan tohum miktarının çıkış üzerine olumlu ve olumsuz bir etkisinin gözlenmediğini bildirmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar kullanılan ekim tekniklerinde işin ekonomik boyutunun, özellikle tohum maliyetinin mutlaka dikkate alınması gerektiğini ve geleneksel ekim yöntemleri ile çift sıra ekim yöntemlerinin üretim ekonomisi açısından değerlendirilebilmesi için yeni yapılacak çalışmalarda enerji bilançolarının da tespit edilmesi gerektiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada, dane mısır, silajlık mısır ve silajlık ayçiçeği ürünlerinde tek sıra ve çift sıra ekim makinasının bitki dağılım düzgünlüğü, verim ve ekonomik analiz yönünden karşılaştırılması yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

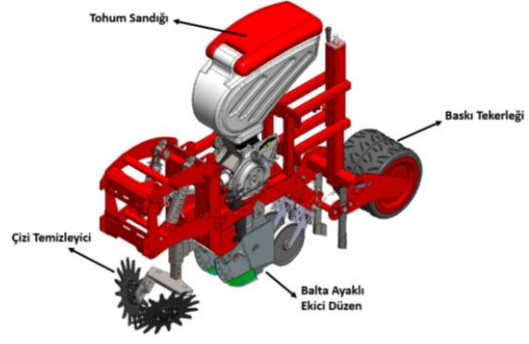
Çalışma 2020 yılı ana ürün üretim sezonunda Adana ili Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne bağlı deneme alanında yürütülmüştür. Çalışmada iki farklı tip ekim düzenine sahip ekim makinası kullanılmıştır. Bunlar ; (1) Tek sıra ekim makinası (geleneksel ekim makinası) : hat üzerinde tek sıra tohum atan (2) Çift sıra ekim makinası: aynı hat üzerinde ikiz tohum atıcı gövde grubuna sahip ekim makinasıdır.

Tek sıra ekim makinası (Geleneksel Yöntem)

Tek sıra ekim yöntemi, geleneksel ekim makinasında üreticilerin yaygın olarak kullandığı balta ayaklı ekim makinasıdır. Bu ekim makinasında 4 sıralı balta ayaklı ekici ayaklara düzene sahip, tohumları hat üzerine tek sıra dizilecek şekilde ekim yapabilen pnömatik esasa göre çalışmaktadır.

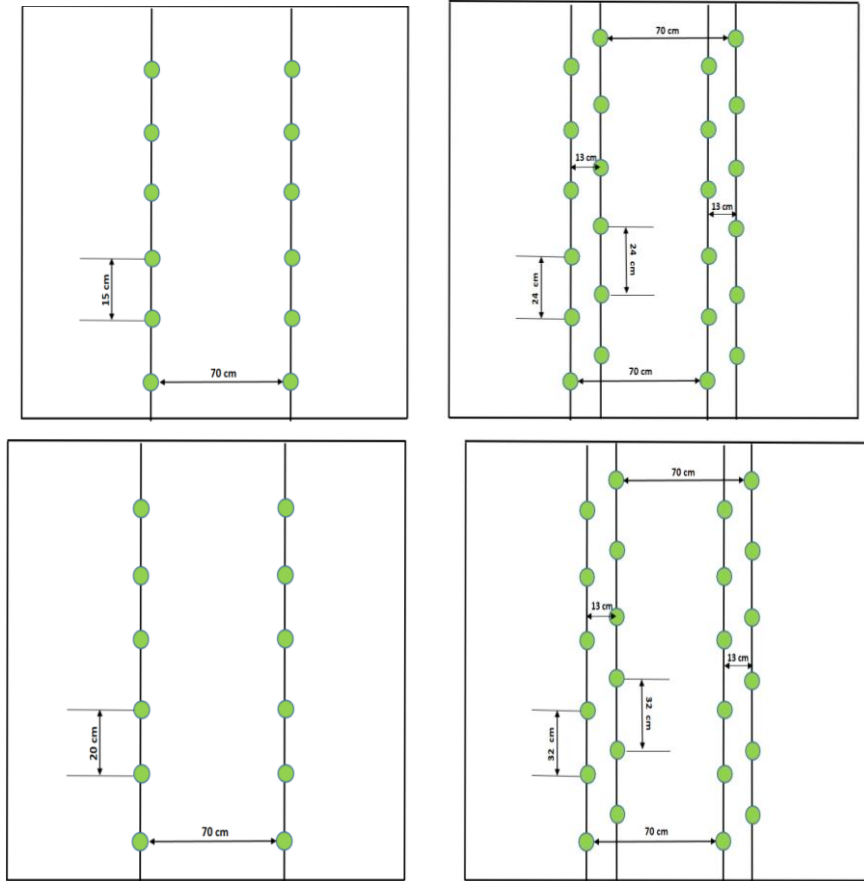
Çift sıra ekim makinası

Her bir ekici ayağın ilerlediği hat üzerinde aynı anda senkronize ekim yapabilen üzerinde bir adet sağ tohum atıcı ve bir adet sol tohum atıcı ünite bulunan ve menteşeli tohum boşaltma kapağına sahiptir. Çift sıra ekim makinası, 4 sıralı balta ayaklı ekici ayaklara düzene sahip ve sıra üzerinde çapraz çift tohum atabilen pnömatik esasa göre çalışmaktadır (Şekil 1).



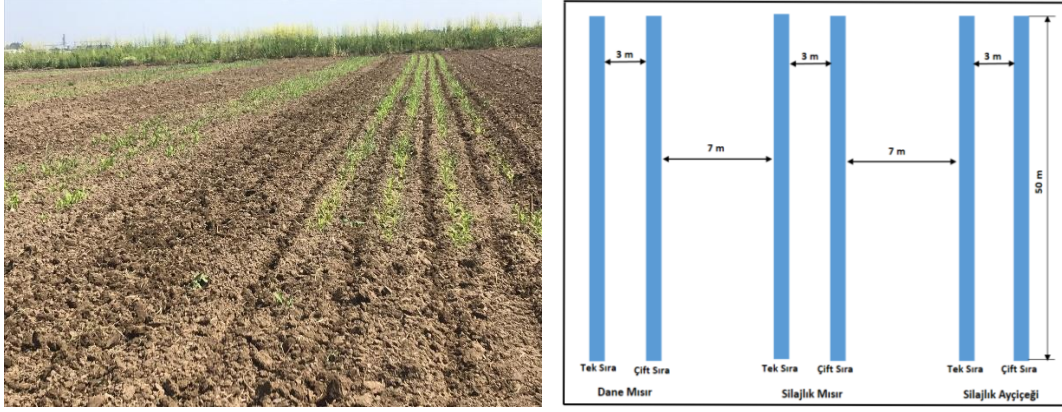
Şekil 1. Çift sıra ekim makinası tarla uygulaması ve ekici ünite görünümü

Çalışmada kullanılan her iki tip ekim makinasının da ekici ünitelerinde mısır ekimi için her bir delik çapı 4,5 mm, ayçiçeği ekimi için her bir delik çapı 3 mm olan plakalar kullanılmıştır. Ekim sırasında ekim makinasının vakum basıncı 60 mbar, traktör ilerleme hızı yaklaşık 6 km/h olarak ayarlanmıştır. Tek sıra ekimde silajlık mısırdaki ve dane mısırdaki sıra arası mesafe 70 cm ve sıra üzeri mesafe 15 cm olarak (70 x 15) ve çift sıra ekimde ise, aynı bitkilerde sıra arası 70 cm, sıra üzeri 24 cm ve ikiz sıralar arası 13 cm olacak şekilde uygulanmıştır (70 x 24 x 13). Tek sıra ekimde silajlık ayçiçeğinde sıra arası mesafe 70 cm ve sıra üzeri mesafe 20 cm olarak (70 x 20) ayarlanmıştır. Çift sıra ekimde silajlık ayçiçeğinde ise, sıra arası 70 cm, sıra üzeri 32 cm ve ikiz sıralar arası 13 cm olacak şekilde uygulanmıştır (70 x 32 x 13) (Şekil 2).



Şekil 2. Tek ve Çift sıra ekim makinası tohum atma şekli şematik görünümü

Deneme alanında her bir kültür bitkisi için çift sıra ve tek sıra ekim yöntemi 50 metre boyunca 4 sıra şeklinde ekilmiştir. Çift sıra ve tek sıra ekim uygulamaları arasında 3 metre boşluk bırakılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Deneme alanına ait tarla ve şematik görünüm

Araştırma kapsamında deneme alanında çizel, goble, düz tapan ve ekim işlemlerine ait tarımsal faaliyetler yürütülmüştür. Ekim öncesi deneme parsellerinde toprak hazırlığı olarak, merdaneli çizel ve diskli goble ile işlendikten sonra düz tapan uygulaması yapılmıştır. Yetiştirme süresince tüm ürünlere toplam 2 defa traktör ara çapa işlemi uygulanmıştır. Hem tek sıra ekimde hem çift sıra ekimde silajlık mısırdaki 9 kg/da fosfor, 21 kg/da azot, dane mısırdaki 9 kg/da fosfor, 26 kg/da azot, ayçiçeğinde 7 kg/da fosfor, 8 kg/da azot uygulaması yapılmıştır. Her iki ekim şeklinde de silajlık mısıra 4, dane mısıra 5, silajlık ayçiçeğine 2 defa salma sulama işlemi yapılmıştır. Denemede yabancı ot ve zararlı görülmediğinden dolayı herhangi bir ilaçlı mücadele yapılmamıştır.

2.1. Bitki Dağılım Düzgünlüğü Hesaplamaları

Ekim makinası ekim şeklinin sıra üzeri bitki dağılım düzgünlüğüne olan etkilerini ortaya koymak için bitki çıkışı tamamlandıktan sonra sıra üzeri ardışık bitki aralığı ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler, 4 sıra halinde ekimi yapılmış olan deneme parsellerinin orta iki sırası üzerinde 5 metre boyunca 3 tekerrürlü olarak alınmıştır.

Ölçümlerde bitkilerin sıra üzeri aralıkları ölçülmüş, Boşluk oranı (BO), İkizlenme oranı (İO) ve Kabul edilebilir bitki aralığı oranı (KEBA) aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır. İkizlenme oranı (Eşitlik 1) olarak, sıra üzerinde teorik tohum ekim mesafesinin 0.5 katından daha düşük mesafede olan bitki aralıkları belirlenmiştir. Boşluk oranı hesaplamasında (Eşitlik 2), sıra üzerinde teorik tohum ekim mesafesinin 1.5 katından daha fazla mesafede olan bitki aralıkları belirlenmiştir. Kabul edilebilir bitki aralığı oranı hesaplamasında ise (Eşitlik 3), sıra üzerinde teorik tohum ekim mesafesinin 0.5-1.5 katı arası olan bitki aralıkları belirlenmiştir (Barut, 1996).

$$\text{İkizlenme oranı (İO) (\%)} = (n1 / n) 100 \quad (1)$$

$$\text{Boşluk oranı (BO) (\%)} = (n2 / n) 100 \quad (2)$$

$$\text{Kabul edilebilir bitki aralığı oranı (KEBA) (\%)} = (n_3 / n) 100 \quad (3)$$

Burada;

Z: Sıra üzeri mesafe (cm), n: Toplam bitki aralığı sayısı (adet), n₁: 0,5 Z'den küçük bitki aralıkları sayısı (adet), n₂: 1,5 Z'den büyük bitki aralıkları sayısı (adet), n₃: (0,5-1,5) Z arasındaki bitki aralıkları sayısı (adet).

Tek sıra ve çift sıra ekimlerde, bitki dağılım düzgünlüğü hesaplamaları yukarıda verilen formüllere göre hesaplanmıştır. Ancak çift sıra ekim sisteminde, tohumların ekildiği hat üzerindeki her bir çizideki ölçümler ayrı olarak hesaplanmış ve hesaplanan bu değerlerin ortalaması esas kabul edilmiştir. Hesaplanan değerlerden bitki dağılım düzgünlüğü aşağıda verilen Tablo 1' e bağlı olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Bitki dağılım düzgünlüğü oranlarının değerlendirilmesi (Aykas ve ark. 2013, Yazgı ve ark. 2017).

Kabul Edilebilir Bitki Aralığı Oranı (KEBA, %)	İkizlenme Oranı (İÖ, %)	Boşluk Oranı (BO, %)	Değerlendirme
>98,6	<0,7	< 0,7	Çok İyi
>90,4-≤98,6	≥0,7-<4,8	≥0,7-<4,8	İyi
≥82,3-90,4	≥4,8-≤7,7	≥4,8-≤10	Orta
<82,3	>7,7	>10	Yetersiz

2.2. Tarla Filiz Çıkış Hesaplamaları

Çalışma kapsamında 5 m uzunluğunda rastgele seçilen 3 şerit çimlenme periyodu süresince gözlenerek toprak yüzeyi üzerine çıkan filizler sayımları yapılarak, tarla filiz çıkışı yüzdesi değerleri hesaplanmıştır (Eşitlik 4) (Konak ve Çarman, 1996; Kırılmaz ve Marakoğlu, 2018, Torosoğlu ve Aydın, 2019).

$$\text{TFÇ} = (N_b / N) 100 \quad (4)$$

Burada;

TFÇ: Tarla filiz çıkış derecesi (%),

N_b: Birim uzunlukta çıkan bitki sayısı (bitki/m),

N: Birim uzunluğa ekilen tohum sayısı (tohum/m).

2.3. Verim Hesaplamaları

Silajlık mısırın verim hesaplamaları için bitkinin kuru madde içeriğinin %30-35 olduğu dönem seçilmiştir (Yalçın, 1998). Silaj hasadı 5 m parsel uzunluğu boyunca 3 tekrarlı olarak orta iki sıradaki bitkilerin tamamı yerden 10-15 cm yükseklikten elle hasat edilmiştir. Hasat edilen bitkilerin ağırlıkları ölçülmüş ve elde edilen silaj verim değerleri kg/da olarak hesaplanmıştır.

Dane mısırdaki verim hesaplamaları, bitkinin tam olgunluk döneminde 5 m parsel uzunluğu 3 tekrarlı olarak orta iki sıra bitkilerden ölçülmüştür. Toplanan koçanlar dane makinasında sömeklerinden ayrılarak dane ağırlığı ölçülmüştür. Ölçümler %15 nem düzeyine göre düzeltilmiş ve kg/da olarak hesaplanmıştır.

Silajlık ayçiçeği hasat işlemleri, meyve dolum döneminde yapılmıştır. Ölçümlerde her bir parsel, 5 m uzunluğu boyunca orta iki sıradaki bitkilerin yerden yaklaşık 10-15 cm yükseklikten elle hasat edilmesi ağırlıklarının ölçülmesi ile hesaplanmıştır. Elde edilen değerler birim alan verim kg/da değerlerine dönüştürülmüştür.

2.4. Ekonomik Analiz Hesaplamaları

Çalışmada çift sıra ve tek sıra ve ekim şeklinin ekonomik olarak değerlendirmesi yapılmıştır. Ekonomik değerlendirmede kısmi bütçe analiz yöntemi uygulanmıştır. Burada tek ve çift sıra ekim yöntemleri arasında aynı masraf kalemleri hesaba dahil edilmemiş, sadece farklı olan harcamalar (tohum miktarı) değerlendirmeye alınmıştır. Böylece yöntemler arasında brüt karlılık tespit edilmiştir (Uzunlu ve Özcan, 1987; Kaya ve ark., 2010). Ürün birim satış fiyatlarının belirlenmesinde, dane mısır satış fiyatı için fiyatları, silajlık mısır ve silajlık ayçiçeği birim satış fiyatları için ise, mevcutta alım yapan üç farklı firmadan alınan fiyatlarının ortalaması kabul edilmiştir (Anonim, 2022). Tohum maliyet ve denemeye alınan ürünlerin satış fiyatları 2022 yılı güncel fiyatları dikkate alınmıştır. Hesaplamalarda herhangi bir devlet desteği dikkate alınmamıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Araştırma kapsamında tek ve çift sıra ekim makinası üç farklı kültür bitkisinde denemeye alınmıştır. Bu bitkiler, Silajlık mısır, Dane mısır ve Silajlık ayçiçeğinden oluşmuştur. Her bir denemeye ait sonuçlar ayrı ayrı hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar geleneksel ekim yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, bitki dağılım düzgünlüğü değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Bitki dağılım düzgünlüğü değerleri

Bitkisel Ürün	Ekim Şekli	İO (%)	BO (%)	KBAO(%)	Değerlendirme
Silajlık Mısır	Tek Sıra Ekim	6,0	8,4	85,6	Orta
	Çift Sıra Ekim	5,7	9,6	84,7	Orta
Dane Mısır	Tek Sıra Ekim	5,8	9,4	84,8	Orta
	Çift Sıra Ekim	4,6	9,3	86,1	Orta
Silajlık Ayçiçeği	Tek Sıra Ekim	4,8	8,0	87,2	Orta
	Çift Sıra Ekim	4,8	10,1	85,1	Orta

Tablo 2’ den anlaşılacağı üzere, deneme kapsamında kurulan her iki tip ekim yönteminde bitki dağılım düzgünlükleri orta sınıf düzeyinde olduğu anlaşılmaktadır. Her iki tek sıra ve çift sıra ekim yönteminde ikizlenme oranı, boşuk oranı ve kabul edilebilir bitki aralığı oranı değerleri yöntemlere bağlı farklılıklar oluşturmamıştır. Bu nedenle, her iki ekim makinasının da ekici düzenlerinin birbirine benzer özellikte bitki dağılımı oluşturduğu söylenebilir.

Araştırmaya alınan her bir ürün deseni için hesaplanan Tarla filiz çıkış yüzdesi değerleri ve Verim miktarları ise, Tablo 3’ de verilmiştir.

Tablo 3. Tarla filiz çıkış ve verim değerleri

Bitkisel Ürün	Ekim Şekli	TFC (%)	Verim (%)
Silajlık Mısır	Tek Sıra Ekim	83,0	8730,3
	Çift Sıra Ekim	84,0	9495,9
Dane Mısır	Tek Sıra Ekim	85,0	1704,8
	Çift Sıra Ekim	85,6	1866,7
Silajlık Ayçiçeği	Tek Sıra Ekim	84,0	5762,7
	Çift Sıra Ekim	85,3	6226,7

Tablo 3’ te verilen Tarla filiz çıkış yüzdesi değerleri incelendiğinde, tek sıra ekimde en düşük değer silajlık mısır bitkisinde %83,0 değeri bulunurken, en yüksek Tarla filiz çıkış yüzdesi değeri çift sıra ekimde dane mısırdaki %85,6 olarak hesaplanmıştır. Verim değerleri bakımından ise, denemeye alınan her bir kültür bitkisinde, çift sıra ekim ile yapılan uygulamalarda daha yüksek miktarda verim değerleri elde edilmiştir. Çift sıra ekim makinası, tek sıra ekim makinasına göre verim miktarları bakımından silajlık mısır bitkisinde %8,8; dane mısırdaki %9,5 ve silajlık ayçiçeğinde %8,1 daha yüksek oranda değerler oluşturmuştur. Bunun temel nedeni olarak, birim alana daha fazla bitki sayısının bulunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer olarak, Bakal ve Arıkoğlu (2013); Kırılmaz ve Marakoğlu (2018) ve Taşçılar 2008 tarafından yapılan çalışmalarda da ekim şeklinin ve bitki sıklığının verim değerlerini doğrudan etkilediğini belirlemişlerdir.

Araştırmada incelenen tek ve çift sıra ekim yöntemleri için her bir kültür bitkisinde oluşan ekonomik analiz hesaplamaları da yapılmıştır. Ekonomik analizlerde hesaplanan kısmi bütçe değerlendirmeleri Tablo 4’ te verilmiştir.

Tablo 4. Yöntemler ve ürün desenine bağlı kısmi bütçe analizi

	Silajlık Mısır		Dane Mısır		Silajlık Ayçiçeği	
	Tek Sıra Ekim	Çift Sıra Ekim	Tek Sıra Ekim	Çift Sıra Ekim	Tek Sıra Ekim	Çift Sıra Ekim
Tohum (TL/da)	266,9	333,6	266,9	333,6	82,50	103,1
Verim (kg/da)	8730,3	9495,9	1704,8	1866,7	5762,7	6226,7
Üretim Değeri (TL/da)	3928,7	4273,1	6222,4	6813,3	1728,8	1868,0
Brüt Kar (TL/da)	3661,7	3939,5	5955,5	6479,7	1646,3	1764,9

Tablo 4 incelendiğinde silajlık mısırdaki tek sıra ekim ile 3661,7 TL/da brüt kar elde edilirken, bu değer çift sıra ekimde aynı bitki için 3939,5 TL/da olmuş ve %7,6 oranında daha fazla kazanç elde edildiği belirlenmiştir. Dane mısırdaki tek sıra ekim ile 5955,5 TL/da brüt kar elde edilirken, çift sıra ekimde 6479,7 TL/da olmuş ve çift sıra ekim ile %8,8 oranı ile daha fazla karlılık sağlanmıştır. Silajlık ayçiçeğinde ise, tek sıra ekim ile 1646,3 TL/da brüt kar elde edilirken, bu değer çift sıra ekim ile 1764,9 TL/da olmuş ve tek sıra ekime göre % 7,2 oranında daha yüksek karlılık hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlardan anlaşılacağı üzere, denemeye alınan tüm kültür bitkileri için çift sıra ekim makinası ile yapılan uygulamalarda karlılık oranları tek sıra ekim yöntemine göre daha yüksek olmuştur.

4. Sonuç

Bu çalışmada dane mısır, silajlık mısır ve silajlık ayçiçeği ürünlerinde tek sıra ve çift sıra ekim yöntemlerinin bitki dağılım düzgünlüğü, verim ve ekonomik analiz yönünden karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, bitki dağılım düzgünlük değerleri bakımından birbirine benzer sonuçlar oluşturduğu anlaşılmıştır. Verim sonuçları bakımından incelendiğinde, çift sıra ekim makinası ile yapılan uygulamalarda daha yüksek verim miktarları sağlandığı ortaya çıkmıştır. Bunun en önemli nedeni olarak, birim alana tohum miktarındaki artıştan kaynaklandığı söylenebilir. Ekonomik değerlendirmeler bakımından, verim artışına bağlı olarak çift sıra ekim makinası ile daha yüksek kazanç sağlandığı anlaşılmaktadır.

Bunun yanı sıra çift sıra ekim makinası ile kullanılan tohum miktarındaki artış, uygulanması gereken gübre miktarlarının da artırılması gerektiği düşünülmektedir. Yapılacak yeni Ar-Ge çalışmaları ile gübre tohum uygulamaları ile ilgili çalışmaların yapılması ve bunun verim miktarına olan etkisi ile ekonomik analiz değerlendirmelerinin yapılması faydalı olacaktır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Anonim. <https://www.adanatb.org.tr/wp-content/uploads/2022/02/08022022.pdf>. Adana Ticaret Borsası Kayıtları 2022.
- Aykas E., Yalçın H., Yazgı A. Balta tipi gömücü ayağa sahip tek dane ekim makinalarının farklı bölgelerde mısır ekiminde ekim performanslarının karşılaştırılması. Tarım Makinaları Bilim Dergisi 2013; 9(1): 67-72.
- Bakal H., Arıoğlu H. Adana Çukurova Bölgesi'nde ikinci ürün susam (*Sesamum indicum* L.) tarımında farklı ekim yöntemlerinde oluşturulan farklı bitki yoğunluklarının verim ve kalite üzerindeki etkileri. Ç.Ü.Z.F. Dergisi 2013; 28(1): 23-30.
- Barut ZB. Farklı tohumların ekimlerinde kullanılan düşey plakalı, hava emişli hassas ekici düzenin uygun çalışma koşullarının saptanması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Adana, 1996.
- Bayram G., Turgut İ., Şenyiğit E. İkinci ürün olarak yetiştirilen silajlık mısırdaki ekim şekilleri ile farklı bitki sıklıklarının verim ve kalite özellikleri üzerine etkisi. KSÜ Doğa Bil. Dergisi 20(Özel Sayı): 97-101.
- Gül ZD., Tan M. Farklı hasat dönemlerinin ayçiçeği populasyonlarında silajlık verim ve bazı özelliklere etkileri. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi 2016; 25(Özel sayı-2): 272-277.
- Kaya Y., Arısoy RZ., Taner A., Aksoyak Ş., Partigöç F., Gültekin İ. Geleneksel ve doğrudan ekim yöntemlerinin nohut buğday ekim nöbetinde Orta Anadolu kuru koşullarında karşılaştırılması. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi 2010; 6(4): 267-272.
- Kırılmaz H., Marakoğu T. Tanelik mısır üretiminde çift sıra ekim yöntemlerinin verim ve verim parametrelerine etkisi. Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi 2018; 32(3): 297-304.
- Konak M., Çarman K. Hububat ekimi için baskılı ekim makinasının tasarımı. 6, Uluslar arası Mekanizasyon ve Enerji Kongresi 1996; 353-360.
- Taşcılar D., 2008. Adana koşullarında yetiştirilen bazı mısır (*Zea Mays* L.) çeşitlerinde geleneksel ve çift sıralı ekim şekilleri ile farklı ekim sıklıklarının yeşil ot, tane verimi ve verim öğelerine etkileri. Doktora Tezi. Uludağ Üniv Fen Bilimleri Enst Tarla Bitk Anabilim Dalı, Bursa.
- Torosoglu MK., Aydın C. Pnömatik tek dane ekim makinasında elektrikli hareket sisteminin mısır ve ayçiçeği tohumlarının sıra üzeri tohum dağılım düzensizliğine etkisi. Research Journal of Biology Sciences 2019; 12(1): 1-7.
- Uzunlu V., Özcan N. Bazı araştırma deneme bulgularının ekonomik analiz yöntemleri. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No: 1987/5, Araştırma Yayın No: 1987/2, Ankara.
- Yalçın H. Silajlık İkinci Ürün Mısırdaki Uygun Toprak İşleme Yöntemlerinin Belirlenmesi Üzerinde Bir Araştırma. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi. İzmir, 1998.

Yazgı A., Yalçın H., Aykas E., Tozan M. Baltalı ve diskli gmc ayağa sahip tek dane ekim makinalarının sırta ekim performanslarının karşılaştırılması. Tarım Bilimleri Dergisi 2017; 23: 195-207.

Değişen Yıldız Fotometrisinde STEREO Uydu Verilerinin Güvenilirliği

Doğuş ÖZUYAR^{1*}

¹Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Astrofizik Anabilim Dalı, Ankara

¹<http://orcid.org/0000-0001-8544-0950>

*Sorumlu yazar: dozuyar@ankara.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 03.01.2022

Kabul tarihi:05.05.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

STEREO uydusu

TESS uydusu

Fotometri

Veri analizi

Astrosismoloji

ÖZ

Son on yılda, uzay teknolojisinin gelişmesiyle birlikte uzaya yollanan yüksek çözünürlüklü ve kesintisiz gözlem yapabilen teleskoplar sayesinde hem yakın çevremizdeki hem de Evren'in derinliklerindeki gök cisimleri daha ayrıntılı olarak incelenmeye başlanmıştır. Bu çalışmalar arasında galaktik ve galaksi dışı gözlemler, Güneş'in atmosferinin incelenmesi ve ötegezegen araştırmaları başı çekmektedir. Bu araştırmalar için kullanılabilen önemli teleskoplardan ikisi STEREO ve TESS'dir. STEREO'nun asıl görevi Güneş'teki madde atımlarını takip etmek ve TESS'in görevi ise yeni ötegezegenler keşfetmektir. Ancak bunların yanı sıra, bu teleskoplar arkaplanda bulunan milyonlarca yıldızın ışık değişimlerini gözleme özelliğine de sahiptir. Bu sayede yıldız astrofiziğinde oldukça önemli gelişmeler yaşanmaktadır. Bununla birlikte, çok sayıda yıldızın aynı anda gözlenmesiyle büyük veri kümeleri elde edilmeye başlanmış ve bunun sonucu olarak da bilgisayar kodlarının kullanıldığı otomatik veri işleme süreçleri ortaya çıkmıştır. Ancak, bu süreç birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Çok sayıda ve çeşitli türdeki yıldızların analiz edilmeye çalışılması veri indirgeme ve analiz kodlarının aynı hassasiyetle çalışmasına izin vermemekte ve insan kaynaklı hataların da işin içine girmesine neden olmaktadır. Bu duruma, uzay aracından kaynaklanan sorunlar da eklendiğinde elde edilen verilerde ve analiz sonuçlarında ciddi problemler ortaya çıkabilmektedir. Bu bağlamda, STEREO uydusundan elde edilen 41 tane Be türü yıldızın ışık eğrileri analiz edilmiş ve verilerde yıldızlardan kaynaklanmayan bir problem ile karşılaşmıştır. Daha net bilgiler elde edebilmek için bu 41 yıldızdan TESS ile gözlenenler belirlenmiş ve iki uydudan alınan ışık eğrileri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara dayanarak STEREO verilerindeki problem irdelenmiştir.

Reliability of STEREO Satellite Data in Variable Star Photometry

Research Article

Article History:

Received: 03.01.2022

Accepted: 05.05.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

STEREO satellite

TESS satellite

Photometry

Data analysis

Astroseismology

ABSTRACT

Thanks to space telescopes with high resolution and uninterrupted observations, celestial objects in our immediate surroundings and in the depths of the Universe have been studied in more detail for last ten years. Among these studies, galactic and extragalactic observations, solar atmosphere and exoplanet research are the leading ones. Two of the important telescopes available for these studies are STEREO and TESS. The main task of the STEREO is to follow coronal mass ejections from the Sun while TESS's mission is to discover new exoplanets. These telescopes also have the ability to observe the light variations of millions of stars in the background. Therefore, significant advances have been made in stellar astrophysics. Yet, simultaneous observations of many stars cause large datasets to be obtained and consequently, automatic data processing

processes using computer codes arise. This process brings several problems with it. Attempting to analyze many and various types of stars does not allow data reduction and analysis codes to work with the same precision and also causes human-induced errors to get involved. When spacecraft-related problems are added to this situation, serious problems may arise in the data obtained and in the results of the analysis. In this context, STEREO data of 41 Be type stars were analyzed and a problem not caused by the stars was encountered in the data. In order to obtain clearer information, the ones observed by TESS from these 41 stars were determined and the light curves taken from the two satellites were compared. Based on the results obtained, the problem in the STEREO data was scrutinized.

To Cite: Özuyar D. Değişen Yıldız Fotometrisinde STEREO Uydu Verilerinin Güvenilirliği. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 919-942.

1. Giriş

Temel olarak yıldız pulsasyonlarının incelendiği astrosismoloji, ötegezegen karakterizasyonunda kullanılan kütle, yarıçap ve yaş gibi küresel yıldız özelliklerinin doğru belirlenebilmesi (Batalha ve ark., 2011) için ve galaktik arkeoloji yoluyla yapılan galaksi araştırmaları (Miglio ve ark., 2013) için güçlü bir araçtır. Bununla birlikte, astrosismoloji başlı başına Hertzsprung-Russell diyagramı boyunca yıldızların ayrıntılı içyapısı ve evrimi hakkında benzersiz çalışmalara olanak tanınması açısından da önem arz etmektedir (Aerts ve ark., 2010). Literatürde astrosismoloji temelinde yapılan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, Beta Cephei türü büyük kütleli ve sıcak yıldızlardan Güneş benzeri salınımlar yapan düşük kütleli ve nispeten soğuk yıldızlara kadar birçok farklı türdeki yıldız değişkenlikleri araştırılmış olup, birçoğunda sadece yeni ötegezegenler keşfedilmemiş aynı zamanda yıldız değişkenliğinin gizeminin çözülmesinde de oldukça başarılı olunmuştur.

Örneğin, Balona ve Ozuyar (2020) frekans analizleri yoluyla 766 tane pulsasyon yapan B türü anakol yıldızının, 5000'den fazla Delta Scuti'nin, 2300 Gamma Doradus ve 114 hızlı dönen Ap yıldız (rapidly oscillating A type peculiar star - roAp) adayının tespit edildiğini belirtmiştir. Ayrıca, yüksek frekanslı zonklamaların yalnızca erken B türü yıldızlar olan Beta Cephei'lerle sınırlı olduğu düşünülürken, Balona ve Ozuyar (2020) bu frekansların tüm B türü yıldızlarda bulunduğunu ve hatta aralığın Delta Scuti yıldızlarına kadar uzandığını göstermiştir. Kahraman Aliçavus ve ark., (2020) yaptıkları çalışmada, beş tane onaylanmış Gamma Doradus ve üç tane onaylanmış sıcak Gamma Doradus/Delta Scuti türü hibrid yıldız bulurken, 16 tane normal Gamma Doradus, Delta Scuti veya hibrid yıldız tespit etmiştir. Benzer bir astrosismoloji çalışmasında, Antoci ve ark. (2019) zonklayan orta kütleli 117 Gamma Doradus ve Delta Scuti yıldızının zonklama mekanizmalarını araştırmış ve dış zarflarındaki karışma sürecinin zonklamayı sürdürmek için önemli bir role sahip olduğunu göstermiştir. Holdsworth ve ark. (2021), frekans analizleri yardımıyla 12 yeni roAp yıldızı keşfetmiş ve bunlardan birinin en uzun zonklama dönemine, bir diğersinin en kısa dönme dönemine ve altı tanesinin ise çok dönemli değişimlere sahip olduğunu rapor etmiştir. Hertzsprung-Russell diyagramının farklı bir bölgesini inceleyen Plachy ve ark. (2021) ise 25 Cepheid yıldızının ışık eğrisi değişimlerini incelemiş ve frekans analizleri sonucunda on tane Cepheid'in temel mod ile, üç tanesinin üst ton ile ve iki tanesinin ise çift mod ile zonklama yaptığını tespit etmiştir. Bununla birlikte, bu

yıldızların dönem dalgalanması ve ışık-zaman etkisinden kaynaklanan zamanlama değişimleri gibi düşük genlikli birçok özelliğe sahip olduğu gösterilmiştir. Ayrıca Cepheid türü yıldızlarda radyal olmayan modların varlığına ilişkin işaretler bulunmuş ve çalışılan yıldızlardan birinde böyle bir modun ilk defa keşfedildiği belirtilmiştir.

Örneklerden de görüleceği gibi, astronomi camiası özellikle son on yılda yıldızların doğasını araştırma ve anlama konusunda oldukça büyük bir yol kat etmiştir. Bu araştırmaların yapılabilmesi adına günümüze kadar, All Sky Automated Survey (ASAS: Pojmanski, 2000), Hungarian Automated Telescope (HATnet: Bakos ve ark., 2002) ve Wide Angle Search for Planets (WASP/SuperWASP: Pollacco ve ark., 2006) gibi birçok yer tabanlı proje ve Convection, Rotation and planetary Transits (CoRoT: Baglin ve ark., 2000), Micro-variability and Oscillations of Stars (MOST: Matthews ve ark., 2000), *Kepler* (Blomme ve ark., 2010) ve Solar Mass Ejection Imager (SMEI: Spreckley ve Stevens, 2008) gibi çok sayıda uzay görevi gerçekleştirilmiştir.

Bu görevlerin başarısı, yüksek bir kadansta ve uzun süreli aralıkları kapsayan yüksek kaliteli fotometrik gözlemler sunma yeteneklerine bağlanabilir. Bu görevlerden bir tanesi NASA'nın Solar TERrestrial RELations Observatory (STEREO) uydusudur. Bu gözlemevi, Güneş'in her iki tarafına iki uzay aracı yerleştirilerek Güneş'te meydana gelen olayların üç boyutlu olarak gözlenmesi için tasarlanmıştır. STEREO'nun Ekim 2006'da fırlatılmasından bu yana, bu özdeş uydular, Güneş'in 360 derecelik bir görünümünü sunarak, Güneş aktivitesini ve koronal kütle atılımlarını (Coronal Mass Ejections - CME) benzeri görülmemiş bir ayrıntıda incelemeyi mümkün kılmıştır. Misyona, Solar and Heliospheric Observatory (SoHO) ve SMEI gibi önceki görevleri içeren mevcut Güneş çalışmalarına önemli katkılarda bulunmuştur. SMEI'de olduğu gibi, STEREO'nun sağladığı fotometrik verilerin de, yerden veya başka uzay görevleriyle kaliteli gözlemi yapılamayan çok çeşitli yıldızlarda, yıldız ve gezegen araştırmaları yapmak için kullanılma potansiyeli bulunmaktadır. STEREO, 20 güne (g) kadar sürekli gözlem yapabilme yeteneği ile birlikte yüksek hassasiyetli verilere sahip olma ve atmosferik etkilerin olmaması gibi büyük avantajlara sahiptir.

Transit Exoplanet Survey Satellite (TESS; Ricker ve ark., 2014) ise yüksek kadanslı, yüksek kaliteli veriler alabilen, uzun gözlem dönemine sahip ve bu bağlamda astrosismolojinin gelişimine büyük katkı sunan son uzay görevlerinden biridir. TESS'den elde edilen veriler yaklaşık olarak 9,7 milyon adet ışık eğrisi içermektedir. Uydu yaklaşık üç yıllık görev süresince her ~27 günlük gözlem aralığı için 120, 600 ve 1800 saniyelik kadanslarda ışık eğrileri elde etmiştir. Bu veriler, yıldızların değişkenliği ve ötegezegenlerin incelenmesi için bir hazine oluşturmaktadır.

Önceden belirlenmiş tek yıldızların yerden ve uzaydan yapılan çalışmaları ile başlayan (Borucki ve ark., 2010; Howell ve ark., 2014) ve bahsi geçen uzay tabanlı görevler aracılığıyla binlerce yıldızın eş zamanlı fotometrik araştırmalarına (Jenkins, 2017) doğru evrilen gözlem teknikleri sonucunda daha büyük veri kümeleri elde edilmeye başlanmış ve doğal olarak verilerin bilgisayar kodlarına odaklı işlenmesi sürecine geçilmiştir. Ancak bu süreç bazı hataları da beraberinde getirmektedir. Evrende çok çeşitli türden yıldız ve yıldız sistemleri bulunmaktadır. Bu çeşitlilik ve çok büyük veri setleriyle

uğraşılması kimi zaman yazılan veri indirgeme ve analiz kodlarının incelenen tüm cisimler için aynı hassasiyette çalışmasına izin vermemekte ve hatta insandan kaynaklanan hataların da işin içine girmesine neden olabilmektedir. Bu duruma uzay aracındaki sistemsel problemlerden kaynaklanan sorunlar da eklendiğinde hem elde edilen veride hem de analiz sonuçlarında önemli problemler olabilmektedir.

Bu çalışmada, 41 tane Be türü değişen yıldızın fotometrik değişimlerine ilişkin STEREO verileri incelenmiş, bu yıldızlardan çoğunun uydu takibinden veya sistemin indirgeme rutinlerinden kaynaklanan bir durumdan dolayı hatalı verilere sahip oldukları fark edilmiş ve hedef yıldızlardan uygun olanların verileri TESS gözlemleriyle karşılaştırılmıştır. Verilerde görülen bu durumun değerlendirilmesi amacıyla; Kısım 1.1'de STEREO uydusu, bu uydudan veri elde etme süreçleri ve bu verilerin özellikleri, Kısım 1.2'de ise TESS uydusu ve bu uydudan alınan fotometrik verilerin özellikleri detaylı olarak anlatılmıştır. Bölüm 2'de her iki uydudan alınan verilerin analiz süreçleri ve elde edilen bulgulardan bahsedilmiş, son bölümde ise elde edilen sonuçların olası nedenleri tartışılmıştır.

1.1. STEREO Uydusu ve Fotometrik Veriler

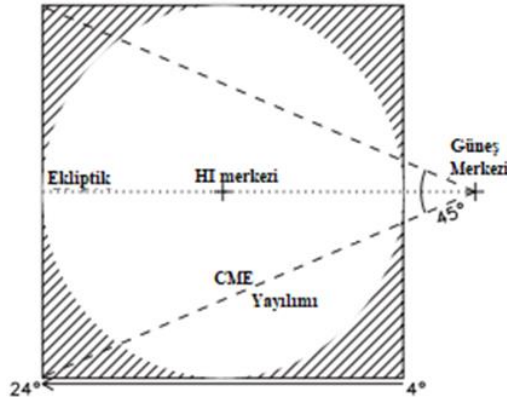
STEREO, stereoskopik izdüşümde koronal kütle atımlarının özelliklerini ve evrimini incelemek için 25 Ekim 2006'da fırlatılan iki özdeş uzay aracından oluşmaktadır. İkiz uydular, STEREO-A ve STEREO-B, sırasıyla 0,97 ve 1,07 Astronomik Birim (AB) çaplarında Güneş merkezli yörüngelerde hareket etmektedirler. Bu yerleşimde STEREO-A Dünya'nın önünde her yıl 22° uzaklaşırken STEREO-B her yıl Dünya'nın 22° gerisinde kalmaktadır. 2014 yılı itibari ile Güneş'in arkasından geçiş yapmışlardır. STEREO-A hala aktif olarak çalışmaktayken STEREO-B ile bu geçiş esnasında iletişim kaybedilmiştir.

Her uyduda, Sun-Earth Connection Coronal and Heliospheric Investigation (SECCHI) adı verilen ve üzerinde birden fazla araç bulunan bir paket bulunmaktadır. Buna bir UV görüntüleyici, bir çift beyaz ışıklı koronograf ve bir çift heliosferik görüntüleyici (HI-1 ve HI-2) dâhildir. Görüntüleyiciler öncelikle yıldızlararası ortam boyunca CME'lerin yayılmasını gözlemek için kullanılmaktadır. Buna ek olarak, 12 ile 215 Güneş yarıçapı (R_\odot) arasında kalan gezegenlerarası bölgede bol miktarda fotometrik veri sağlayan çok sayıda arkaplan yıldızını gözlemektedir. Bu cihazların açıklamaları ve özellikle HI cihazının ayrıntıları için Eyles ve ark. (2009), Brown ve ark., (2009), Bewsher ve ark. (2010) ve Bewsher ve ark., (2012)'a bakılabilir.

Bu çalışmada HI-1A kamera tarafından 2007 ile 2011 yılları arasında takip edilen cisimlere ait veriler kullanılmıştır. HI-1A kamerası, görünür ışığa duyarlı 2048x2048 pikseli bir CCD dedektörü kullanılmaktadır. Her piksel 35,15x35,15 yaysn²'lik açısal boyutlara sahiptir ve bu da $20^\circ \times 20^\circ$ 'ye varan bir açısal görüş alanı (FOV) sağlamaktadır. Kameranın optik eksenini, ekliptik düzlem ile hizalıdır ve Güneş merkezinden yaklaşık 14° 'lik bir uzaklığa yönlendirilmiştir. Bu, Güneş'i, kameranın sağ

kenarından 4° uzağa yerleştirmektedir. Bu yakınlık nedeniyle, ekliptik düzlemin yakınında bulunan yıldızların gözlemleri, artan Güneş ışığına ve CME'lere maruz kalmaktadır.

CCD yapısal olarak kare olmasına rağmen optik tasarım daireseldir ve bu nedenle dedektörün köşelerinde kenar ayrıntısı yitimi (vinyet) vardır. Şekil 1, Güneş'e göre açısal görüş alanının bir şemasını göstermektedir. Köşelerdeki taralı kısımlar, vinyetten etkilenen alanı temsil etmekte ve kesikli çizgiler ise tipik bir CME yayılımını göstermektedir. Bunların ekliptik düzlem boyunca Güneş'ten dışarı doğru uzanan 45° 'lik bir koni içinde kalmaları beklenmektedir (Socker ve ark., 2000).

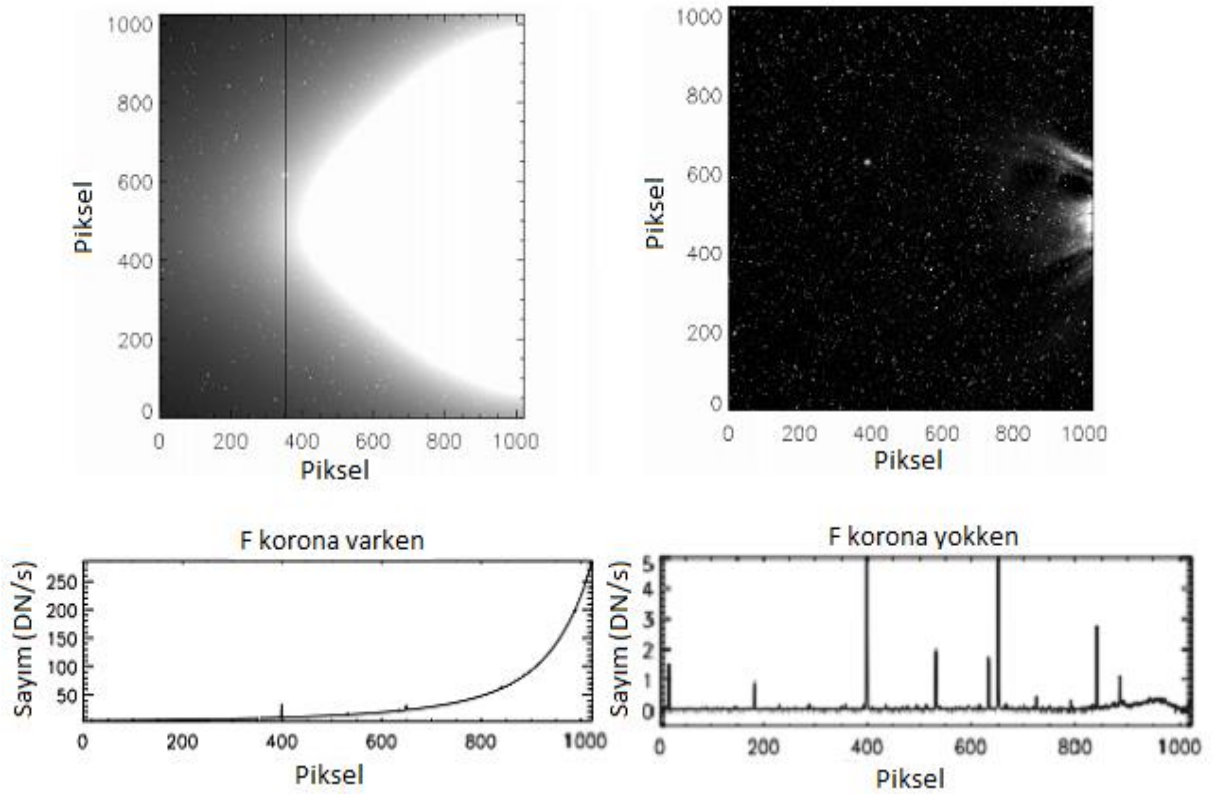


Şekil 1. Bu şema, $20^\circ \times 20^\circ$ açısal görüş alanına sahip olan HI-1A FOV'ünü göstermektedir.

HI-1A kamerası tarafından sağlanan her poz karesi, kozmik ışıklardan arındırılmış 30 adet 40 saniyelik pozlamaların ürünüdür. Sonuç olarak, günde 40 dakikalık bir kadansa sahip 36 kare elde edilmektedir. Görüntülerin pikselleri ayrıca 2×2 olacak şekilde birleştirilmiş olup bir görüntü pikseli $70,3 \times 70,3$ yaysn²'lik bir alana sahiptir. Nokta dağılım fonksiyonu (Point Spread Function - PSF) yaklaşık olarak dairesel olup $3,3$ yaydk²'lik bir alan görmektedir. Karşılaştırma olarak, CoRoT'un PSF'si $0,2$ yaydk²'lik bir alana sahiptir ve ışık eğrileri hala yakındaki yıldızlardan kaynaklanan kirlenmeye maruz kalmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmadaki hedef seçimi, yarıçapı 6 piksele eşit bir daire içinde, iyi izole edilmiş veya yakındaki yıldızlardan en az 1,5 kat daha parlak olan yıldızlarla sınırlandırılmaktadır.

UK Solar System Data Centre (UKSSDC)'dan indirilebilecek üç farklı işlenmiş veri türü bulunmaktadır. L0, toplam ham görüntülerden oluşan kalibre edilmemiş verileri, L1, aletsel ve uydudan kaynaklanan genel etkilerin giderildiği temel süreçlerden geçmiş yarı işlenmiş görüntüleri ve L2, ek bir arkaplan düzeltmesi uygulanan ön işleminden geçirilmiş görüntüleri göstermektedir. Daha önce belirtildiği gibi, HI-1 kamerasının pozlama süresi 40 saniyedir ve her görüntü 30 pozdan oluşmaktadır. Bu şekilde alınan görüntüler sadece satürasyonu önlemekle kalmaz, aynı zamanda gözlemler için gerekli olan sinyal-gürültü oranını (SNR) da üretir. Bu görüntüler uzay aracında bir araya getirilmeden önce, her görüntü, tahmini çarpma hızı saniyede 45 piksel olan kozmik ışıklardan temizlenir (Eyles ve ark., 2009). Bu ışınları ortadan kaldırmak için her poz piksel piksel karşılaştırılır.

Piksel değeri 5σ 'dan büyükse (burada σ , fotoelektron sayısına göre tahmin edilen gürültünün standart sapmasıdır), önceki görüntünün piksel değeri ile değiştirilir. Bu görüntüler toplam ham görüntülerdir. L0 verileri temel indirgeme süreçlerinden geçirilmediğinden bilimsel kullanıma uygun değildir. Bu indirgeme işlemleri, “*secchi_prep*” olarak adlandırılan bir rutin ile yapılmakta olup bu rutin; kayıp verilerin düzeltilmesi, kötü görüntülerin belirlenmesi ve temizlenmesi, satüre olmuş piksellerin düzeltilmesi, düz alan düzeltilmesi, hedefleme parametrelerinin güncellenmesi gibi durumları kapsamaktadır. Bu işlemlerden geçen veriler artık L1 verileri olarak adlandırılır. Bu aşamadaki veriler hala baskın Güneş F-korona'sına sahiptir. F-korona, iç heliosferdeki toz parçacıklarından saçılan Güneş ışığı olup bu ışık Dünya'nın yörüngesine kadar uzanmaktadır. Işığın parlaklığı Güneş diskinin parlaklığının 10^{-12} ile 10^{-6} katı arasında değişmektedir.



Şekil 2. F-korona'nın var olduğu (sol üst) ve çıkarıldığı (sağ üst) örnek görüntüler. Sol üstteki şekilde görülmesi imkânsız olan gezegen ve yıldızlar sağ üstteki şekilde tanımlanabilir hale gelmektedir. Sağ üstteki şekil sonraki analizlerde kullanılacak olan verilere ilişkin şekildir. Altta grafikler, F-korona çıkarma işleminden önce ve sonra alınan görüntülere ilişkin verilerdir. Grafiklerdeki pikler, sol üstteki resimde güçlükle görülebilen parlak yıldızlardır. F-korona çıkarıldığında daha sönük yıldızlar bile tanımlanabilmektedir (sağ alt).

Şekil 2 (üst), yıldız fotometrisi gerçekleştirmek için F-korona'nın neden çıkarılmaya ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Üst soldaki şekilde dikey olarak uzanan koyu çizgi, üst sağdaki şekilde belirgin bir şekilde görülebilen ve 3 kadirden daha parlak bir cismin satürasyonundan kaynaklanmaktadır. Şekilde bulunan alt kısımdaki grafikler, F-korona'sı varken ve F-korona'sı çıkarıldığı zaman arkaplan gökyüzünden gelen sayımları göstermektedir.

Şekil 2’de altta verilen bu grafikler, verilerde F-korona’nın baskınlığını açıkça ortaya koymaktadır. Sol alttaki grafikte sayımları belli olmayan yani neredeyse görünmez olan yıldızlar, F-korona çıkartıldıktan sonra sağ alttaki grafikte açıkça görünür hale gelmektedir. 400 ve 600 piksel civarındaki cisimlerin en parlakları altı kadirdir ve sönük olanlar ise 11 – 12 kadir civarında parlaklıklara sahiptir. Sürecin ilk aşamalarında, bir dizi görüntü için her pikselin minimum değeri hesaplanarak minimum bir arkaplan haritası elde edilir. Bu harita, farklı sayıda görüntü ile yapılan denemeler ve verilerdeki F-korona kalıntıları ve değişimlerine dayanarak oluşturulmaktadır. Bu harita daha sonra F-korona’nın çoğunu ortadan kaldırmak için her bir görüntüden çıkarılmaktadır.

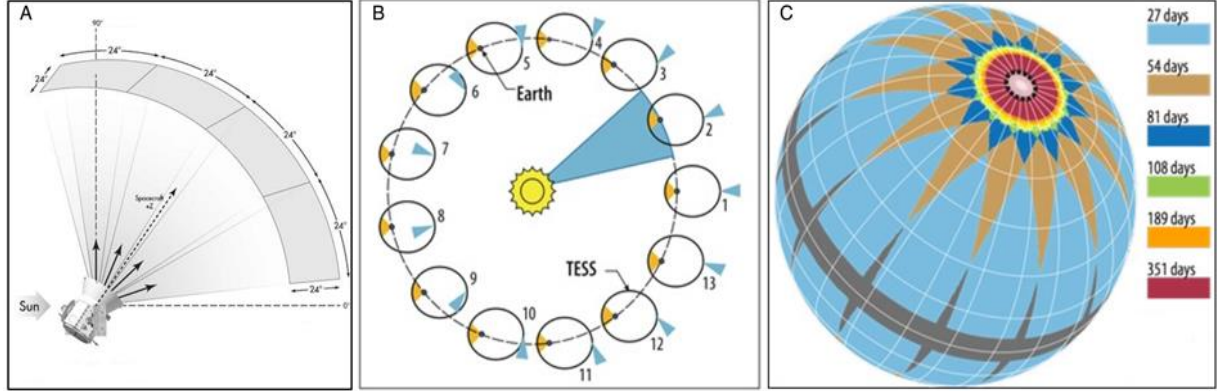
Yıldızlara ilişkin fotometrik bilgiler bu görüntülerden (L2 verileri olarak bilinir) elde edilmektedir. Bunu yapabilmek adına 12 kadirden daha parlak yıldızlar için girdi kataloğu olarak The Naval Observatory Merged Astrometric Dataset (NOMAD; Zacharias ve ark., 2004) kullanılmaktadır. Uydu koordinat sisteminden gökyüzü koordinat sistemine geçilmesinden sonra 4 x 4 piksellik bir alanda arkaplandan 1,5 kat fazla sayıma sahip olan pikseller olası yıldız kaynakları olarak işaretlenmektedir. Bu kaynaklar katalog ile eşleşirse 2 piksellik bir hata marjini kullanılmaktadır. HI görüntülerinin büyük pikselleri, karşılaştırılabilir büyüklükteki yakın hedefler arasında PSF kontaminasyonuna neden olur. Bu etkinin büyük bir kısmını belirlemek ve ortadan kaldırmak için temel bir parlaklık-uzaklık kıstası uygulanmaktadır. Böylece, 10 pikselden daha yakın olan ve 0,5’ten küçük bir parlaklık farkı olan cisim çifti hedef listesinden çıkarılmaktadır. Ayrıca, aynı yarıçap içinde olan ancak 2,5 veya daha az bir parlaklık farkı olan çiftlerdeki daha sönük yıldızlar da çıkarılmaktadır. Bunlar dışında olabilecek daha fazla kontaminasyonu tespit etmek adına akıyı hesaplamak için üç farklı açıklık ölçüsü kullanılmaktadır. Daha parlak olan yıldız için en büyük açıklık ve daha sönük olan yıldız için ise en küçüğü kullanarak, daha fazla karışıklık ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır. Tüm bu önlemlere rağmen, hedeflerin ya kaçırıldığı ya da yakındaki daha yakın ve daha parlak olan yıldızlarla karıştırıldığı durumlar da olmaktadır.

Bu sürecin sonucunda, HI-1A kamerasının gözlemlerinden, her bir yıldız için yaklaşık 700 veri noktasından oluşan 20 günlük veri elde edilmektedir. Görüntüler her 40 dakikada bir alındığı için elde edilen veri setlerinin Nyquist frekansları günde yaklaşık 18 çevrimdir.

1.2. TESS Uydusu ve Fotometrik Veriler

Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS), NASA’nın Explorer Programı tarafından Nisan 2018’den itibaren parlak yıldızların etrafındaki Dünya benzeri gezegenleri aramak için iki yıllık bir görev olarak başlatılmış olup bu süre sonradan Eylül 2022’ye kadar uzatılmıştır (Ricker ve ark., 2014). Temel olarak parlaklıkları 4 ile 15 kadir arasında değişen F, G ve K türü ve 200 ışık yıllık bir yarıçap içinde bulunan M türü cüce yıldızlardaki gezegen geçişlerini inceleyen TESS’in, görevi boyunca etrafında gezegen olduğu düşünülen en az 200000, toplamda ise bir milyardan fazla yıldız gözlemesi planlanmaktadır (Stassun ve ark., 2018). Bu yıldızlar, *Kepler* Misyonu tarafından gözlenenlerden tipik olarak 10 kat daha yakın ve 100 kat daha parlak olup, takip gözlemleri ve gezegen belirlemeleri için

çok daha uygundurlar. TESS uydusu üç yıllık zaman zarfında gökyüzünün %75'inden fazlasını görüntülemeyi başarmış olup 166 yeni ötegezegen ve 4604 gezegen adayı bulmuştur*. TESS'in bilimsel veri işleme kodları, son derece başarılı olan *Kepler* Bilim Operasyon Merkezi kodlarına dayalı olarak geliştirilmiştir.



Şekil 3. TESS'in görüş alanı, her biri 24°x 24° olan dört kameradan oluşmaktadır (panel A). TESS, ~27,4 günlük iki yörünge dönemi boyunca veri toplamakta ve ardından bir sonraki görüş alanı Güneş'in aksi yönünde olacak şekilde ~27° dönmektedir (panel B). Tüm güney yarımkürenin bir yıllık bir süre boyunca gözlenmesinin ardından TESS, kuzey yarımküre için gözlemleri tekrarlamak üzere tersine dönmüştür. Yıldızların çoğu yalnızca yaklaşık 27 gün boyunca gözlenirken kutup yönündeki kamera bir yıl boyunca sürekli olarak 450 derece karelik bir alanı gözleyebilmektedir (panel C) (Ricker ve ark., 2014).

Şekil 3'de görüldüğü gibi, TESS'in, her biri 24°x24°'lik bir görüş alanıyla görebilen, ekliptiğin 6° üstünden ekliptik kutbunun 12° ötesine kadar uzanan bir sütunda olan ve Güneş'in aksi yönünde gözlem yapan dört kamerası bulunmaktadır. Bu özelliğiyle tüm gökyüzünü, her biri 24°x96°'lik 26 farklı sektöre bölerek inceleyebilmektedir. Bu sektörlerden 13 tanesi kuzey yarımkürede 13 tanesi ise güney yarımkürededir (Oelkers ve Stassun, 2018). Uydusu Dünya ve Ay arasında dönemi 13,7 gün olan oldukça eliptik bir yörüngede bulunmaktadır. Uzay aracındaki güçlü kameralar her sektördeki yıldızları yaklaşık 27,4 gün boyunca gözlemektedir. Bununla birlikte kutup yönündeki kamera ekliptik kutba merkezlenmiştir. Bu nedenle her yarımkürede ~450°x450°'lik bir alanın bir yıl boyunca sürekli olarak gözlenmesine olanak sağlamaktadır (Jenkins, 2017).

Kameralar, her kameraya geniş (24x24 derece) bir görüş alanı sağlayan özel f/1,4 lenslerle donatılmıştır ve gezegenlerin algılanabilirliğini simüle ederek belirlenen 10 cm (yaklaşık 4 inç) çapında etkili bir diyafram boyutuna sahiptir. Ötegezegenlerin tespiti için yüksek kadans gerektiğinden gezegen arama hedeflerinin ve özellikle ilgi çeken diğer yıldızların pozları her 2 dakikada bir elde edilmektedir.

Ötegezegen çalışmaları için uygun olmasının yanı sıra, TESS ile anakolda bulunan Güneş benzeri zonklayan yıldızların, galaktik arkeoloji çalışmaları için kırmızı devler veya klasik zonklayan yıldızlar gibi evrimleşmiş yıldızların astrosismik çalışması için ise eşzamanlı olarak 30 dakikalık tam kare görüntüler de (full frame images - FFI) elde edilmektedir (Sullivan ve ark., 2015).

* <https://exoplanets.nasa.gov/tess/>

Kullanılan dedektörler, 62x62 mm alana yerleştirilmiş 4096x4096 pikseli, arkadan aydınlatmalı (Back-Illuminated: BI) CCD kameralardır. Görüntüleme alanı 2048x2048 pikselden oluşmaktadır ve kalan pikseller, saniyede 10 elektrondan daha az gürültü okumasıyla (readout noise) hızlı (yaklaşık 4 ms) okumaya izin vermek için bir frame deposu olarak kullanılmaktadır. CCD'ler, kara akımı (dark current) ihmal edilebilir bir düzeye indiren yaklaşık -75°C sıcaklıkta çalışmakta ve 2 saniyelik aralıklarla sürekli olarak okunmaktadır. Veriler, uzay aracında veri işleme birimi tarafından işlenmektedir. Veri işleme birimi, gözlemler için 2 dakikalık (target pixel files - TPFs) veya 30 dakikalık (full frame images - FFIs) kadans oluşturmak üzere 2 saniyelik görüntüleri 60'lı gruplar halinde istiflemektedir. Bu veriler sıkıştırılarak bir arabellekte saklanmakta ve uzay aracı 13,7 günde bir enberi noktasına ulaştığında Dünya'ya iletilmektedir[†].

Bu noktada verilerin hazırlanmasıyla ilgili bir dizi zorluk ortaya çıkmaktadır. Çünkü TESS her ne kadar 30 dakikalık kadans ile gökyüzünün 96°x24°'lik bölgelerinin tam kare görüntülerini toplasa da fotometrik çıkarma işlemi yapılmaz ve ürün olarak hiçbir ışık eğrisi alınmaz. Bu nedenle astrosismik çalışmaları yürütmek için TESS verileri, TESS Data for Asteroseismology (T'DA) grubu tarafından yazılan TESS Asteroseismic Science Operations Center (TASOC) bilgisayar kodu ile düzenlenmektedir. T'DA grubu, temel olarak FFI'lardan (yani 30 dakikalık kadansa sahip görüntülerden) ve TPF'lerden (yani 2 dakika kadanslı görüntülerden) fotometrik zaman serilerinin çıkarılması ile sistematik sinyallerden arındırılmış ve astrosismik analizler için hazırlanmış ışık eğrilerinin elde edilmesinden sorumludur. TASOC kodundaki ilk adım, bir FFI veya TPF'ye düşen 15 kadırlık bir TESS parlaklığına kadar olan her hedef için ışık eğrilerinin fotometrik olarak çıkarılmasıdır. Bu parlaklık sınırı, astrosismolojik olarak ilgilenilen hedeflerin tipik olarak daha parlak olması ve işlem süresini azaltmak amacıyla bu şekilde ayarlanmıştır ancak daha sönük hedefler için kolaylıkla yeniden düzenlenebilir.

TASOC fotometri kodu için temel girdi, zamanın bir fonksiyonu olarak TESS tarafından toplanan ayrı pikselleri içeren ve FITS dosyaları olan kalibre edilmiş FFI'lar ve TPF'lerdir. 2 dakikalık TPF'ler, Science Processing Operations Center (SPOC) kodu ile işlenmektedir. SPOC kodunun kalibrasyon modülü önce CCD'lerden gelen dijital sayımları akı birimlerine ($e^- s^{-1}$) dönüştürür (Clarke ve ark. 2020). Modül, 2D sabit örüntülü gürültüyü çıkarır, her bir okuma satırındaki CCD taban gürültüsünü hesaplayarak ortadan kaldırır. Doğrusalsızlığı ve kazancı düzeltir; her sütundan gelen kara akımla birlikte CCD'lerin perdesiz çalışmasından kaynaklanan dikey yayılan akıyı ölçer ve ortadan kaldırır ve düz alan düzeltmesi yapar.

SPOC kodunun fotometri modülü ise her bir hedef yıldız için, hedef yıldızın TPF'sinin her pikselindeki ortalama akıyı hesaplar (Jenkins ve ark., 2016). Daha sonra arkaplan piksellerini tanımlayarak her bir hedef yıldızın TPF'sinden bu arkaplanları çıkarır. Akı ölçümünün SNR'yi maksimize eden açıklığı belirlemek için yıldız görüntüsünü analiz ederek en uygun açıklığı belirler

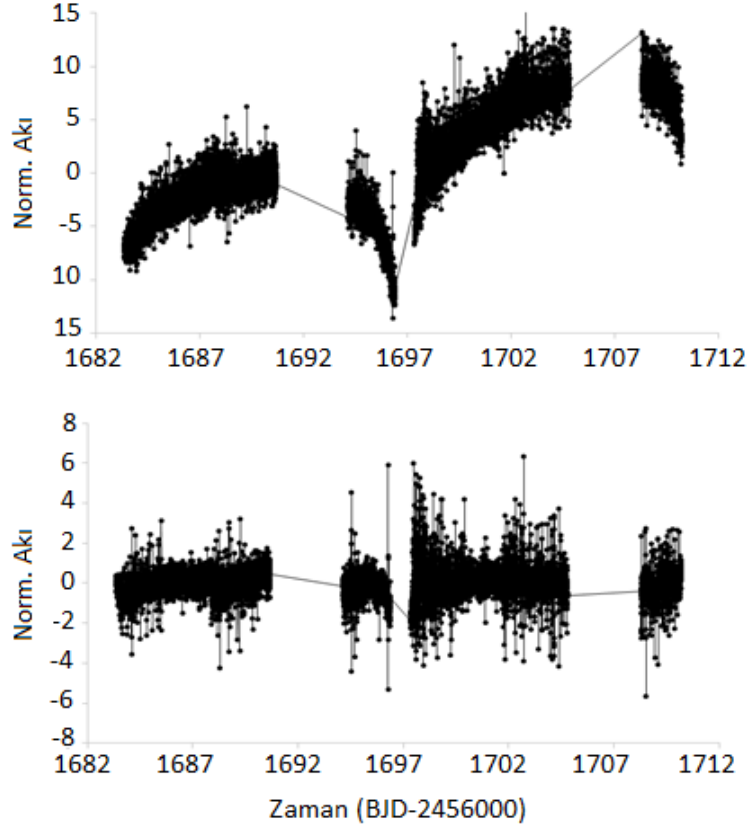
[†] <https://tess.mit.edu/science/>

(Simple Aperture Photometry – SAP; Bryson ve ark., 2020). Daha sonra, hedef yıldızın parlaklığını hesaplamak için optimal açıklıktaki pikselleri toplar (Morris ve ark. 2020). Modül ayrıca her karedeki her bir hedef yıldız için parlaklık ağırlıklı sendroidler elde eder.

Açıklık boyutu parlaklığa bağlıdır. Parlak satüre hedefler için fotometrik açıklıklar oldukça büyük olabilir (2500 piksel). Satüre olmayan yıldızlar için, ilk yıldaki tipik optimum açıklık piksel sayısı, TESS parlaklığı $T_{\text{mag}} \approx 7^m$ için 20 pikselden $T_{\text{mag}} \approx 10^m$ için 11 piksele ve $T_{\text{mag}} \approx 13^m$ için 6 piksele kadar değişir. 11^m den sönük yıldızlar için fotometrik açıklıklar, pointing titreşiminden kaynaklanan ışık eğrisi değişimlerini azaltmak amacıyla 2. yılda biraz daha büyütülmüştür. Her bir fotometrik açıklıkta meydana gelen yakın yıldızlardan kaynaklanan kirlenme, bu yıldızların TESS Identification Catalogue (TIC) parlaklıklarından, koordinatlarından (öz hareket düzeltilmesi yapılmış) ve verilen hedefin konumunda interpolasyon yapılan bir piksel yanıt fonksiyonundan hesaplanmaktadır.

SAP ışık eğrisi, TPF’de depolandığı ve tanımlandığı şekliyle, optimum açıklık içine düşen tüm kalibre edilmiş akının bir piksel toplamı zaman serisidir. 1σ hataları, toplam üzerinden TPF hatalarının standart Gauss hata yayılımından hesaplanır. Bir SAP ışık eğrisinin komşu kaynaklar tarafından etkilenebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Kontaminasyonu belirlemek için eşzamanlı TPF’ler incelenebilir. Özel bir piksel seçimi kullanılarak TPF’den yeni bir SAP ışık eğrisi çıkarılabilir. Ayrıca, SAP fotometrisinin aletsel etkileri içerebileceği de unutulmamalıdır.

SAP verilerini bilimsel olarak kullanmaya devam etmek için, analiz sonuçlarının bunlardan etkilenip etkilenmediğine karar verilmelidir. Örneğin, Güneş benzeri salınımların, δ Scuti ve γ Doradus zonklamalarının astrosismolojisi son derece başarılı olmaktadır. Çünkü $>1 \text{ gün}^{-1}$ (g^{-1}) frekansındaki sinyaller, aletsel etkilerin çoğundan etkilenmez (Balona ve ark., 2011). Bu programlar için sorun yaratabilecek bazı yüksek frekanslı etkiler, sağlanan kalite işaretleri kullanılarak zaman serisinden filtrelenebilir. Dolayısıyla kataklizmik değişenlerin, RR Lyr yıldızları ve Sefeidler veri analizi de aynı derecede başarılı olmaktadır. Bu zonklayan yıldızlarda ilgi duyulan astrofiziksel frekansların çoğu birkaç günden daha uzun olabilir. Bu süreler bir pointing manevrasından sonra uzay aracının termal yeniden konumlanma sürelerine benzer olsa da, hedef yıldızların değişkenliğine ilişkin büyük genlikler sistematik etkilere göre daha baskındır ve sonuç olarak ihmal edilebilir (Szabo ve ark., 2011). SAP verilerinde doğrudan yararlanma olasılığı daha düşük olan birçok astrofiziksel durum vardır. Bunlar, hemen göze çarpmayan ışık eğrisi yapılarını ve birkaç günden daha uzun dönemlere dayanan değişimleri içerir ki bu durumda, tartışılan sistematığın önemli olması daha olasıdır. Manyetik aktivite, çift yıldızlar ve uzun dönemli değişenlerin araştırılması SAP verilerinin büyük bir dikkatle incelenmesini gerektirmektedir.

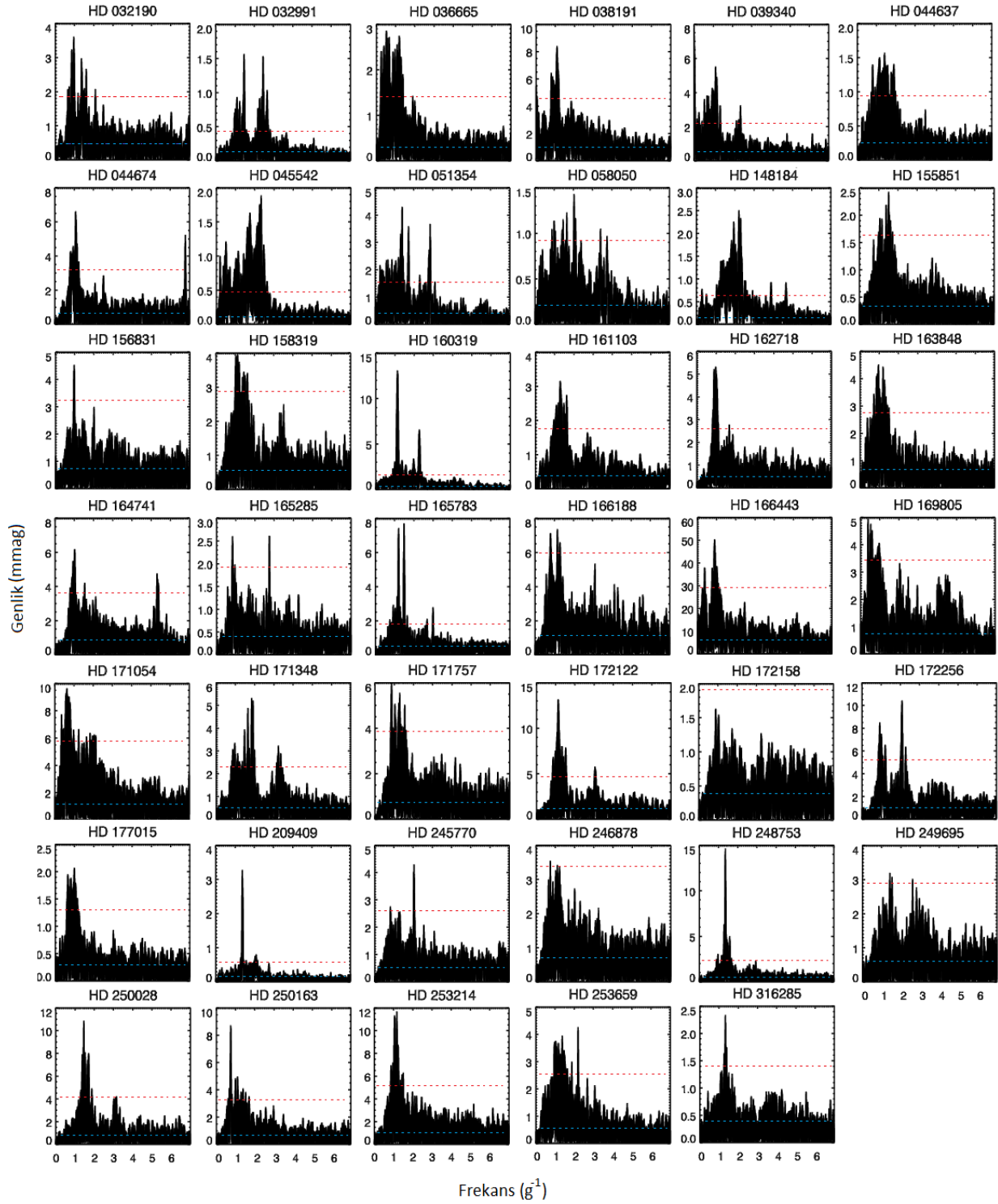


Şekil 4. Üstteki grafik TESS tarafından gözlenen bir yıldızla ilişkin SAP verilerini gösterirken alttaki grafik ise aynı yıldızla ait ve çeşitli etkilerin giderildiği PDCSAP verilerini göstermektedir.

Cisimden kaynaklanmayan değişimlere sebep olan etkileri azaltmak için Presearch Data Conditioning Simple Aperture Photometry (PDCSAP) olarak adlandırılan bir diğer yöntem kullanılmaktadır. PDC modülü, daha fazla astrofiziksel sinyali korurken sistematik etkileri daha etkili bir biçimde ortadan kaldırmak için geliştirilmiştir (Stumpe ve ark., 2014). Bu modül her bir CCD'deki yıldız alanları boyunca olan yüksek oranda ilişkili aletsel etkileri tanımlar ve düzeltir. Modülde ilk olarak, sistematik etkiler stratejik olarak seçilmiş yüzlerce hedef için en yaygın olan özelliklerin belirlenmesiyle karakterize edilir. Bu karakterizasyon, Eş Eğilim Temelli Vektörler (Cotrending Basis Vectors - CBV) olarak adlandırılan vektörlerin saklanmasıyla yapılır. Arşivlenen temel vektörler, en yaygın eğilimleri temsil etmektedir. CBV'lerin oluşturulması için gereken algoritmanın bir açıklaması Stumpe ve arkadaşlarından (2012) elde edilebilir. İkinci olarak ise SAP zaman serisinden CBV'ler çıkarılarak sistematik değişimler ortadan kaldırılır. Sonuçlar arşivlenmiş dosyalarda ve etiketli PDCSAP verilerinde saklanır. Düzeltmeler her hedef için benzersizdir. SAP ve PDC fotometrileri ile elde edilen bir ışık eğrisi arasındaki fark Şekil 4'te gösterilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Klasik Be yıldızları, hidrojenin Balmer çizgilerinde emisyon gösteren ya da en azından bir zamanlar emisyon göstermiş olan cüce ve dev B türü yıldızlardır (Porter ve Rivinius, 2003). Işık ve çizgi profil değişimlerinin gözlemleri birçok Be yıldızının dönemsel değişenler olduğunu göstermektedir.



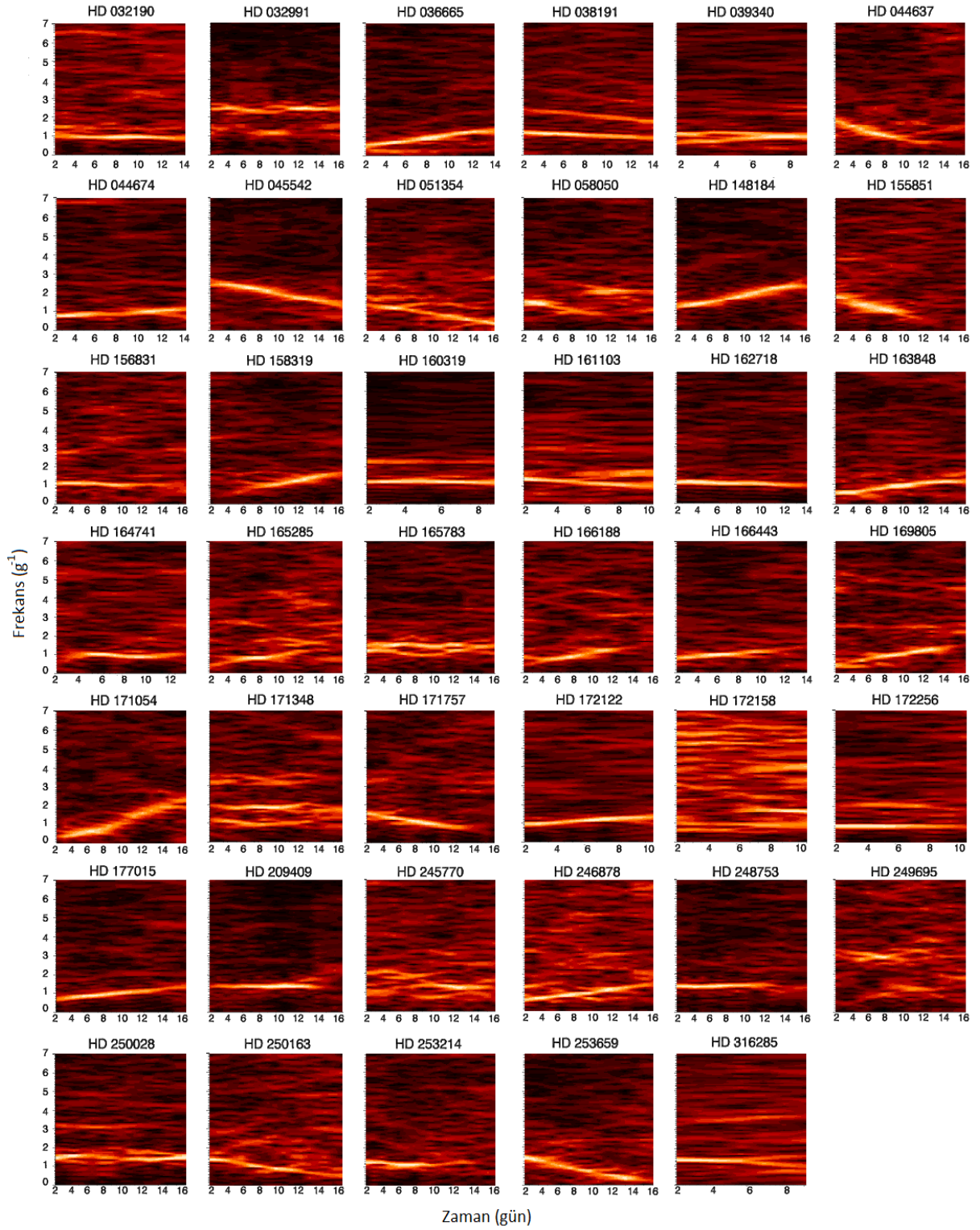
Şekil 5. STEREO-A uydusunun HI-1A kamerasıyla 2007-2011 yılları arasında elde edilen verilerin birleştirilmesi ve Fourier analizlerinin yapılması sonucu elde edilen periodogramlar. Grafiklerde gürültü seviyeleri mavi çizgi ile ve önem seviyeleri ise (SNR = 5) kırmızı çizgi ile gösterilmiştir.

Bu değişkenliğin kökeni pulsasyon ve dönmeye bağlı modülasyonlar olarak yorumlanmaktadır. Gözlenen dönem, dönme dönemine yakın olduğu için bu iki hipotez pek ayırt edilemez. Pulsasyon, kütle kaybı için makul bir tetikleyici unsur olduğundan çekici bir fikirdir. Bu yıldızların fotometrik davranışları incelendiğinde, frekans değişimlerinin geçici değişimler olduğu görülmektedir. Bu nedenle, birkaç gün boyunca gözlem yapılması durumunda, kolayca radyal olmayan pulsasyonlar olarak yorumlanabilirler. Yine de, genel ışık eğrisi yapısı, bir leke veya bulut yapısının mevcut olduğu dönen bir yıldızla tutarlıdır (Balona ve Ozuyar, 2021).

Bu bağlamda bu yıldızların fotosferindeki fiziksel süreçlerin netleştirilmesine yardımcı olabilecek 41 Be yıldızının STEREO tarafından sağlanan verileri incelenmek istenmiştir. Yıldızlar parlaklık ($V < 10^m$), koordinat (STEREO uydusunun gözleyebileceği sağ açıklık ve dik açıklık aralığında), ışık eğrilerinin düzgünlüğü ve uygun bir açıklık fotometrisinin yapıp yapılmamasına göre belirlenmiştir. Seçilen yıldızlara ilişkin veriler 2007 ve 2011 yılları arasında STEREO-A uydusunun HI-1A kamerasından elde edilmiştir. Işık eğrileri yaklaşık 20 günlük gözlemleri kapsamakta olup kadansları 40 dakikadır. Bu beş yıllık verilerin birleştirilmesiyle elde edilen periodogramlar Şekil 5'te verilmektedir.

Be türü yıldızların frekans tayflarında öne çıkan en önemli özellik, belirgin frekans grupları göstermesidir. Bu konfigürasyonlar bir yıldızdan diğerine değişmekte olup çoğunlukla iki, bazı durumlarda üç farklı grup şeklinde meydana gelmektedir. Be değişenleri, H-R diyagramında SPB ve β Cephei yıldızlarıyla aynı bölgeyi paylaşmaktadır. Bu nedenle κ -mekanizmasının Be yıldızlarında p- ve g-modlarını tetikleme beklenmektedir (Neiner ve Hubert, 2009).

Bununla birlikte, Hubert ve Floquet (1998), incelenen erken tür Be yıldızlarının çoğunun ve geç türlerin %30'unun SPB tipi salınımlara karşılık gelen 0,5 ile 3,5 g^{-1} arasında bir döneme sahip olduğunu belirtmektedir. SPB yıldızlarında, salınımların kaynağı demir benzeri elementlerin kısmi iyonlaşma bölgesinde etkili olan donukluk mekanizmasıdır ve bu mekanizma yüksek dereceli, radyal olmayan g modlu pulsasyonlara neden olmaktadır. SPB yıldızlarından farklı olarak, prograd modlar Be yıldızlarında yüksek dereceli g-modları arasında baskın olarak tetiklenir. Bu modlar gözlemci çerçevesinde $|m|f$ civarında frekanslara sahiptir; burada $|m|$ azimut derecesi ve f dönme frekansdır (Cameron ve ark., 2008). Hızlı dönen yıldızlarda ise gözlemci çerçevesindeki frekanslar ya $|m|f$ değerine yakın meydana gelir ya da diğer frekans gruplarından $|m|f$ ile ayrılırlar (Saio, 2014). Bu ayrılma kendini 2:1 şeklinde bir frekans dağılımı olarak gösterir ve genellikle temel bir frekans ve onun birinci harmoniği şeklindedir. Bu duruma örnek olarak, 48 Lib (Ozuyar ve ark., 2018), μ Cen (Rivinius ve ark., 1998), HD 202904 (Neiner ve ark., 2005) ve MOST tarafından tespit edilen HD 127756 ve HD 217543 (Cameron ve ark., 2008) yıldızları verilebilir.



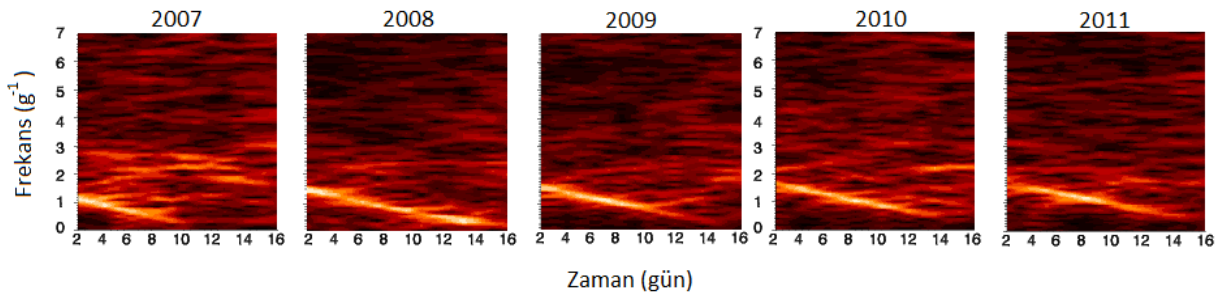
Şekil 6. 41 yıldızın 2008 yılında alınmış olan ışık eğrilerinden elde edilen frekans ve genliklerin zamana bağlı değişimleri.

STEREO uydusu aracılığı ile elde edilen 41 yıldız örneğinin frekans tayflarında bu durum incelendiğinde, yukarıda bahsi geçen frekans gruplarına benzer yapıya sahip örneklerin var olduğu görülmüştür (Şekil 5) (örn: HD 032991, HD 160319, HD 162718 ve HD 250028). Bununla birlikte,

her ne kadar Be yıldızlarına has tipik frekans dağılımları gösteren yıldızlar olsa da, Şekil 5'ten de görüleceği gibi, 41 yıldızdan yaklaşık 20 tanesinin frekans tayfı ne belirgin bir frekansa ne de orantılı bir frekans dağılımına sahiptir (örn: HD 036665, HD 044637, HD 158319, HD 171054 ve HD 253659). Bu yıldızların periodogramları genel olarak bir frekans yığını şeklinde kendini göstermektedir.

İncelenen yıldızlardan bazılarında gözlenen olgunun bu yıldızlarda bünyesel olarak meydana gelen bir durum mu yoksa herhangi farklı bir etkiden dolayı mı ortaya çıktığını anlayabilmek adına, elde edilen frekansların zamana bağlı olarak nasıl değiştiği araştırılmıştır. Bunun için beş yıl boyunca alınan yıllık verilere kayan pencere yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem, belirli bir pencere aralığının seçilmesi, bu aralıkta kalan veri noktalarına istatistiksel yöntemlerin uygulanması ve pencerenin veri seti üzerinde belirli bir miktar kaydırılarak işlemlerin tekrarlanması esasına dayanmaktadır. Buna göre, pencerenin uzunluğu beş gün olarak ayarlanmış olup pencere bir günlük bir zaman adımı ile yıllık ışık eğrileri boyunca kaydırılmıştır. Her kaydırma işleminden sonra ise verilere Lomb-Scargle tekniği uygulanarak bir Fourier analizi yapılmış ve elde edilen frekans değerleri zamanın bir fonksiyonu olarak grafiğe aktarılmıştır. Bu analiz sonucunda her bir yıldız için beşer yıllık frekans değişim grafikleri elde edilmiş olup yerden tasarruf etmek amacıyla yalnızca 2008 yılına ait frekans-zaman grafikleri Şekil 6'da verilmiştir.

Buna göre şekilden, incelenen 41 yıldızdan HD 032190, HD 032991, HD 044674, HD 160319 ve HD 162718 gibi bazı örneklerin $|m/f|$ civarında bir temel frekansa veya bu frekans ile birlikte bir harmoniğe sahip olduğu görülmektedir. Bu frekanslar gözlem süresi boyunca değişim göstermemekte ve çoğunlukla genliklerini korumaktadır. Öte yandan HD 036665, HD 038191, HD 045542, HD 148184, HD 171054 ve HD 253659 gibi örnekler ise her ne kadar belirgin bir frekans dağılımı gösterse de sahip oldukları frekanslar zamana bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Bu türden değişimler, tek bir gözlem sezonu için düşünüldüğünde, Be yıldızlarının yüzeyinde bulunan bir leke bölgesinin veya kütle kaybı sonucu atmosferinde oluşan bulut yapısının göçü (Balona ve Ozuyar, 2021) şeklinde veya radyal olmayan pulsasyon yapısında meydana gelen bir değişim olarak yorumlanabilir. Bu durumun daha net anlaşılabilmesi için beş yıllık verilerin tamamını değerlendirmek gerekmektedir.



Şekil 7. HD 253659 yıldızının beş yıllık frekans değişim grafiği.

Bu bağlamda Şekil 7’de HD 253659 yıldızının beş yıllık frekans değişim grafiği verilmiştir. Şekilden, frekansın, her bir yıl için 16 günlük gözlem süresi boyunca yaklaşık iki kat azalarak tüm yıllar için çarpıcı şekilde değişiklikler gösterdiği fark edilmektedir. Frekansta artış veya azalış olarak kendini gösteren bu durum, 41 Be yıldızının neredeyse yarısında görülmektedir. Eğer bu yıllık değişim rastgele meydana geliyor olsa, incelenen yıldızlarda ciddi bir leke göçü olduğuna işaret ediyor olacaktır. Ancak her yıl benzer bir eğime sahip diyagonal değişim göstermeleri, değişimin yıldızlardan değil de aletsel bir etki veya fotometrik indirgeme işlemleriyle bağlantılı olabileceği şüphesini uyandırmaktadır.

Bu durumun açıklığa kavuşturulması, incelenen yıldızlara ilişkin verilerin ya STEREO uydu veri tabanından yeniden alınarak incelenmesi ya da farklı bir uydunun verilerinin analiz edilmesiyle yapılabilir. Ancak 31 Temmuz 2019’dan sonra STEREO verilerine FTP erişimi sağlanamamaktadır. Dolayısıyla farklı bir uydunun verileri kullanılarak analizlerin tekrarlanması yoluna gidilmesi gerekmektedir. Bu seçenek ile STEREO verilerinde aletsel veya indirgemenen kaynaklanan bir etki varsa doğrudan anlaşılabilir.

Bu amaçla, TESS uzay teleskobundan yararlanılmış, 41 yıldızın hangilerinin TESS tarafından gözlemlendiğine bakılmış ve sadece 3 tanesinin (HD 044637, HD 155851 ve HD 253659) iki uydunun ortak gözlem alanına girdiği tespit edilmiştir. Bu üç örnek için bahsi geçen analizler tekrarlanmıştır. Bu yıldızlara ilişkin TESS ve STEREO verilerinden elde edilen frekans değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

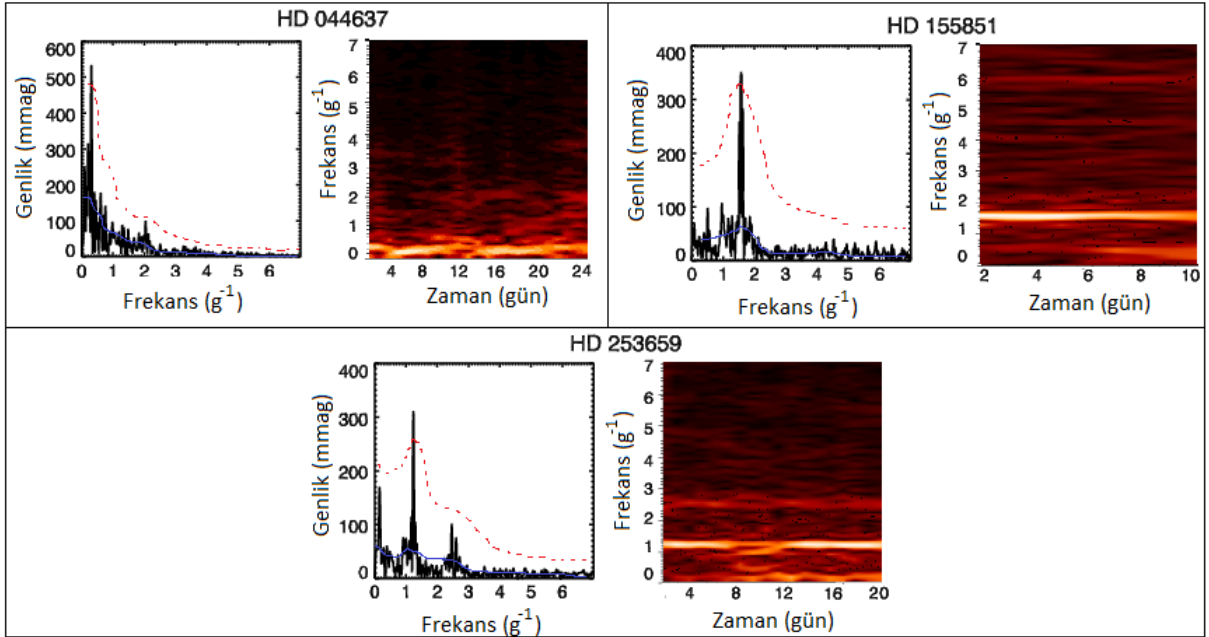
Tablo 1. Üç yıldızla ilişkin TESS ve STEREO verilerinden elde edilen frekanslar ve hataları. SNR değeri 5’ten büyük olan frekanslar dikkate alınmıştır.

HD	TESS $f(g^{-1})$	STEREO $f(g^{-1})$	HD	TESS $f(g^{-1})$	STEREO $f(g^{-1})$	HD	TESS $f(g^{-1})$	STEREO $f(g^{-1})$
044637	0,3076(1)	1,4204(4)	155851	1,5740(2)	1,5152(5)	253659	1,2355(2)	2,2011(4)
		1,1594(3)			1,3895(5)			1,3712(5)
		1,0927(4)			1,0528(7)			0,9647(5)
		1,9077(4)			1,7126(7)			1,0436(4)
		0,7992(4)			1,6116(6)			1,4931(5)
		1,8699(4)			1,1668(6)			1,1883(5)
		1,5768(4)			1,5549(6)			1,5396(5)
		1,3011(3)			0,9869(7)			1,2844(6)
		1,3769(4)			1,6825(8)			1,1188(6)
		1,7627(4)			1,3186(8)			1,8751(6)
		1,3164(5)			1,0768(8)			
		1,0683(4)						
		1,0378(5)						

TESS, bugüne kadar gökyüzünde 49 farklı sektör gözlemiş olsa da üç yıldızla ilişkin veriler yalnızca birer sektörden (HD 044637 için 33. sektör, HD 155851 için 12. Sektör ve HD 253659 için ise 6. sektör) elde edilmiş olup bu çalışmada yalnızca PDC ışık eğrileri kullanılmıştır. Her bir sektörden elde edilen veriler yaklaşık 27 günlük gözlem aralıklarını kapsamaktadır ve her 2 dakikada bir alınan

fotometrik noktalardan oluşmaktadır. Yani, 27 günlük bir veri setinde yaklaşık 20000 veri noktası bulunmaktadır. Bu türden bir gözlem seti, günde yaklaşık $0,036 \text{ g}^{-1}$ çevrimlik frekans çözünürlüğünde ve örnekleme (Nyquist) frekansı yaklaşık 360 g^{-1} olan geniş bir frekans aralığında analiz yapmak için bir fırsat vermektedir. Ancak STEREO verilerinde olduğu gibi TESS verilerinde de nispeten düşük frekanslardaki değişimler inceleneceği için yalnızca $0-7 \text{ g}^{-1}$ aralığında bulunan ve SNR değeri 5'ten (Baran ve Koen, 2021) büyük olan frekanslar dikkate alınmıştır.

Tablo 1'den görüleceği gibi, iki uydunun verilerinden elde edilen frekanslar oldukça farklıdır. STEREO verileri genellikle çok sayıda frekanstan oluşmakta olup bu frekanslar, her yıldız için belirli bir aralıkta toplanma eğilimi göstermektedir. Bununla birlikte temel frekanslar karşılaştırıldığında, yine bir tutarsızlık olduğu görülmektedir. Her ne kadar HD 155851 ve HD 253659 yıldızlarının frekans analizine yönelik bir literatür çalışması olmasa da, HD 044637 yıldızı için Labadie-Bartz ve ark. (2017) tarafından $0,3162 \text{ g}^{-1}$ değeri verilmiştir. Bu değer TESS verilerinden elde edilen değere oldukça yakındır. Daha net bir karşılaştırma yapmak adına TESS verilerinin frekans-genlik ve frekans-zaman grafikleri Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8'den görüleceği gibi yıldızların periodogramlarındaki frekansları STEREO verilerinde olduğu gibi ne yığın şeklinde ne de belirli bir frekans aralığında oluşmaktadır. Temel frekanslar oldukça belirgin ve şiddetlidir. HD 044637 ve HD 155851 yıldızları yalnızca temel bir frekans gösterirken, HD 253659 yıldızında ise temel bir frekans ve onun harmonikleri (f_1 , $f_1/8$, $2f_1$) açık bir şekilde görülmektedir. Bununla birlikte frekans-zaman grafiklerinde, frekanslar zamana bağlı olarak artış veya azalış göstermemekte ve beklendiği üzere değişmeden kalmaktadır.



Şekil 8. HD 044637, HD 155851 ve HD 253659 yıldızlarının TESS verilerine ilişkin frekans-genlik ve frekans-zaman grafikleri. Grafiklerde gürültü seviyeleri mavi çizgi ile ve önem seviyeleri ise (SNR = 5) kırmızı çizgi ile gösterilmiştir.

3. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, 41 tane Be yıldızının 2007-2011 yılları arasında STEREO uydusundan alınan beş yıllık verilerine frekans analizleri yapılmış ve elde edilen frekansların zamana bağlı değişimleri incelenmiştir. İnceleme sonucunda bu yıldızlardan büyük bir kısmının frekanslarında zamana bağlı olarak önemli ölçüde değişim meydana geldiği ve beş yıllık bir gözlem verisi dikkate alındığında değişimin rastgele olmadığı görülmüştür. Bu durum, Be yıldızlarının yüzeyinde bulunan bir leke bölgesinin veya madde atımına bağlı olarak atmosferinde oluşan bir bulut yapısının göçü ile veya radyal olmayan pulsasyon yapısında meydana gelen bir değişim ile açıklanamamaktadır. Bu nedenle, STEREO verilerinin doğruluğunu test etmek adına, 41 örnek yıldızdan TESS uydusunun gözlem alanına düşen 3 yıldızın TESS verileri incelenmiştir. Sonuç olarak, bu yıldızların frekanslarında zaman bağlı herhangi bir değişim olmadığı görülmüştür. Dolayısıyla, değişimin STEREO uydusundaki aletsel bir etki veya fotometrik indirgeme süreçleriyle bağlantılı olabileceği düşünülmüştür.

STEREO'nun HI kameralarından alınan verileri kullanan yayınlanmış çok sayıda astronomik çalışma bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak, ötegezegenler (Sangaralingam ve Stevens, 2011; Wraight ve ark., 2011; Whittaker ve ark., 2013), örten çift yıldızlar (Wraight ve ark., 2012c; Chaturvedi ve ark., 2014; Belcheva ve ark., 2015), kataklizmik değişenler (Holdsworth ve ark., 2014) ve daha uzun zaman ölçeklerindeki bünyesel değişimlerle (örneğin: Wraight ve ark., 2012a, 2012b; Paunzen ve ark., 2013) ilgili çalışmalar verilebilir. Hatta Valtonen ve ark. (2011), kara delik fiziği araştırmasında HI verilerinin kullanılması olasılığını bile tartışmıştır.

Ancak, genel olarak STEREO verileri, kullanılan rutinlerden kaynaklı veya görüntülerin temel koşullarında meydana gelen sistematik değişiklikler nedeniyle belirli bir bölgedeki tüm yıldızlar için ortak olan eğilimlerin yanı sıra temel araç tasarımının sonucu olan sistematik eğilimler de sergilemektedir. Bunlardan en yaygın olanlarından biri, görüntüde geçici bir Güneş rüzgârı olayının veya bir CME'nin varlığından dolayı akının medyan yoğunluğunun artması veya azalmasıdır. Diğer bir eğilim ise CCD'nin sonunda PSF'nin değişiminden kaynaklanan ve çerçevenin sonuna doğru görüntü karesinde meydana gelen akı kaybıdır. Böyle bir ışık kaybı kendini ışık eğrisinin hem başlangıcında hem de sonunda gösterebilmektedir.

Yaygın olarak görülen başka bir eğilim, tüm ışık eğrileri için ışık eğrisi boyunca sistematik olarak kendini gösteren bir değişimdir. CCD'nin yanıt fonksiyonu ile aynı olan dördüncü dereceden bir polinom fiti ile bu eğilim ortadan kaldırılabilir. Bu nedenle, bu etkinin yanıt fonksiyonunun bir belirtisi olduğunu düşünülmektedir (Bewsher ve ark., 2010). Birçok ışık eğrisinde görülen diğer bir özellik, parlamalara benzer şekilde ani akı artışlarıdır. Birkaç karede görülen bu keskin ve ani akı artışı, cismin çoğunlukla ya bir Güneş flamenti, ya gezegen gibi parlak bir cisim ya da daha parlak bir yıldız ile çakışmasından kaynaklanmaktadır. Bunlar yapı itibarıyla son derece geçici değişimlerdir.

Tüm bu eğilimler, sistematik olmakla birlikte, büyük ölçüde zamana bağlıdır. Bununla birlikte, gözlem zamanından bağımsız olan ancak bunun yerine cismin parlaklığı ile ilgili olan eğilimler de vardır. Bunlar, yıldızın parlaklığına karşı akının göreceli dağılımını içermektedir. İdeal bir durumda, yukarıda

bahsedilen tüm sistematik gürültü ortadan kaldırıldığında, incelenen cismin parlaklığına karşılık gelen foton çekim gürültüsünden kaynaklı sınırlı akı değerleri elde edilmektedir. Uzay tabanlı bir görevin avantajlarından biri olarak tüm sistematik kolayca tanımlanabilir ve dolayısıyla bu sınıra yer tabanlı bir gözlemden çok daha kolay ulaşılabilir. Ancak STEREO uydusunun temel amacı yıldız değişkenliğini araştırmak değil Güneş olaylarını incelemek olduğundan gözlemler daha yüksek akı değerleriyle sınırlandırılmaktadır. Bu sınırlayıcı faktörler arasında parlak Güneş koronası ve gezegenlerin varlığı, büyük görüntü pikselleri, Galaktik düzlem geçişi sayılabilir (Tappin ve ark., 2015, 2017).

Bahsedilen etkilere bağlı olarak ışık eğrilerinde birçok sistematik değişim olduğu görülmektedir. Verilerde görülen dönemlilikleri analiz etmek için bu etkileri ortadan kaldırmak veya azaltmak adına denenen ve sonunda kullanılan bazı yöntemler bulunmaktadır. Bu tür analizler için kullanılan köklü yöntemlerden bazıları, medyan yumuşatma ve hareketli kutu ortalama yumuşatma gibi filtreleme yöntemleri, polinom fiti ve Trend- Filtreleme Algoritması (TFA: Kovacs ve ark., 2005) ve Dae Kim-won'un algoritması (Kim ve ark., 2009) gibi çeşitli özel algoritmalarıdır. Bunlar birçok fotometrik analizin temelini oluştursa da, uydunun kendine has gözlemsel özellikleri ve verilerdeki farklı arkaplan sorunları nedeniyle özellikle uydudan alınan ışık eğrilerine uyarlanmaları gerekmektedir. Verilerde uğraşılması gereken temel konulardan biri kalabalık alandır. Daha önce bahsi geçen karışıklık kıstaslarının uygulanmasından sonra bile, iki cismin uydu tarafından dönüşümlü olarak takip edildiği ve bunun da ışık eğrilerindeki saçılmayı arttırdığı hatta ışık eğrilerinin karakterini bozduğu durumlarla karşılaşmaktadır. Genellikle bu karışıklık, benzer parlaklığa sahip ve birbirine yakın iki veya daha fazla cismin görüş alanında olmasından dolayı ortaya çıkmaktadır. Her ne kadar kıstaslar bu tür cisim çiftleri için uygulansa da yine de bu cisimler bazen takip edilebilmektedir.

TESS'in veri indirgeme prosedürü bir önceki uzay görevi olan *Kepler* verilerinin indirgeme prosedüründen uyarlanmıştır. Dolayısıyla, verilerdeki bozucu etkilerin giderilmesi için kullanılan kodların ne kadar etkili bir şekilde kullanılabileceği ve bozucu etkileri nasıl ortadan kaldırılacağı bilinmektedir. STEREO verilerinde bahsi geçen etkinin ise ne yazık ki tam olarak uydunun kendinden mi yoksa indirgeme prosedürlerinden mi kaynaklandığı bilinmemektedir ve bunun tespiti, STEREO verilerine yeniden erişim sağlanmadan mümkün olamayacaktır. Verilerin tekrar kullanıma açılması durumunda ise eğer yıldız astrofiziği ile ilgili çalışmalar yürütülecekse daha dikkatli ve titiz bir ön çalışmanın yapılması gerektiği aşikârdır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makalede herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederim.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Makaleye %100 katkı sağladığımı beyan ederim.

Kaynakça

- Aerts C., Christensen-Dalsgaard J., Kurtz DW. *Asteroseismology*, Springer, Berlin. 2010; 256-257.
- Antoci V., Cunha MS., Bowman DM., Murphy SJ. The first view of Delta Scuti and Gamma Doradus stars with the TESS mission. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 2019; 490: 4040. doi: 10.1093/mnras/stz2787.
- Baglin A., Vauclair G. The space stellar photometry mission COROT: Asteroseismology and search for extrasolar planets. *Journal of Astrophysics and Astronomy* 2000; 21: 319. doi: 10.1007/BF02702417.
- Bakos GA., Lazar J., Papp I., Sari P., Green EM. System description and first light curves of the hungarian automated telescope, an autonomous observatory for variability search. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 2002; 114: 974–987. doi: 10.1086/342382.
- Balona LA., Ozuyar D. TESS observations of Be stars: General characteristics and the impulsive magnetic rotator model. *The Astrophysical Journal* 2021; 921: 5B. doi: 10.3847/1538-4357/ac1a77.
- Balona LA., Ozuyar D. Pulsation among TESS A and B stars and the Maia variables. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 2020; 493: 5871. doi: 10.1093/mnras/staa670.
- Balona LA., Guzik JA., Uytterhoeven K., Smith JC., Tenenbaum P., Twicken JD. The Kepler view of Gamma Doradus stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 2011; 415: 3531–3538. doi: 10.1111/j.1365-2966.2011.18973.x.
- Baran, AS., Koen CA. Detection threshold in the amplitude spectra calculated from TESS time-series data. *Acta Astronomica* 2021; 71: 113–121. doi:10.32023/0001-5237/71.2.3.
- Basri G., Walkowicz LM., Batalha N., Gilliland RL. Photometric variability in Kepler target stars: The Sun among stars - A first look. *The Astrophysical Journal* 2010; 713: L155–L159. doi: 10.1088/2041-8205/713/2/L155.
- Batalha NM., Borucki WL., Bryson ST., Buchhave LA. Kepler's first rocky planet: Kepler-10b. *The Astrophysical Journal* 2011; 729: 27. doi: 10.1088/0004-637X/729/1/27.
- Belcheva M., Markov H., Tsvetanov Z., Iliev I., Stateva I. Physical parameters of eclipsing binary components, discovered by STEREO. *Bulgarian Astronomical Journal* 2015; 22: 28.
- Bewsher D., Brown DS., Eyles CJ. Long-term evolution of the photometric calibration of the STEREO heliospheric imagers: I. HI-1. *Solar Physics* 2012; 276: 491–499. doi: 10.1007/s11207-011-9874-7.
- Bewsher D., Brown DS., Eyles CJ., Kellett BJ., White GJ., Swinyard B. Determination of the photometric calibration and large-scale flat field of the STEREO heliospheric imagers: I. HI-1. *Solar Physics* 2010; 264: 433–460. doi: 10.1007/s11207-010-9582-8.
- Blomme J., Debosscher J., De Ridder J., Aerts C. Automated classification of variable stars in the asteroseismology program of the Kepler space mission. *The Astrophysical Journal* 2010; 713: L204–L207. doi: 10.1088/2041-8205/713/2/L204.

- Borucki WJ., Koch D., Basri G., Batalha N. Kepler planet-detection mission: Introduction and first results. *Science* 2010; 327: 977. doi: 10.1126/science.1185402.
- Breger M., Stich J., Garrido R., Martin B. Nonradial pulsation of the Delta Scuti star BU CANCRI in the Praesepe cluster. *Astronomy and Astrophysics* 1993; 271: 482–486.
- Brown DS., Bewsher D., Eyles CJ. Calibrating the pointing and optical parameters of the STEREO heliospheric imagers. *Solar Physics* 2009; 254: 185–225. doi: 10.1007/s11207-008-9277-6.
- Bryson ST., Jenkins JM., Klaus TC., Cote MT. Kepler data processing handbook: Target and aperture definitions: Selecting pixels for Kepler downlink. Kepler Science Document KSCI-19081-003, id. 3. 2020. Editörler: Jon M. Jenkins.
- Cameron C., Saio H., Kuschnig R., Walker GAH. MOST detects SPBe pulsations in HD 127756 and HD 217543: Asteroseismic rotation rates independent of vsini. *The Astrophysical Journal* 2008; 685: 489–507. doi: 10.1086/590369.
- Chaturvedi P., Deshpande R., Dixit V., Roy A. Determination of mass and orbital parameters of a low-mass star HD 213597B. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 2014; 442: 3737–3744. doi: 10.1093/mnras/stu1127.
- Clarke BD., Caldwell DA., Quintana EV., Chandrasekaran H. Kepler data processing handbook: Pixel level calibrations. Kepler Science Document KSCI-19081-003, id. 5. 2020. Editörler: Jon M. Jenkins.
- Eyles CJ., Harrison RA., Davis CJ., Waltham NR. The heliospheric imagers onboard the STEREO mission. *Solar Physics* 2009; 254: 387–445. doi: 10.1007/s11207-008-9299-0.
- Holdsworth DL., Rushton MT., Bewsher D., Walter FM. STEREO/HI and optical observations of the classical nova V5583 Sagittarii. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 2014; 438: 3483–3489. doi: 10.1093/mnras/stt2455.
- Holdsworth DL., Cunha MS., Kurtz DW., Antoci V. TESS cycle 1 observations of roAp stars with 2-min cadence data. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 2021; 506: 1073. doi: 10.1093/mnras/stab1578.
- Howell SB., Sobeck C., Haas M., Still M. The K2 Mission: Characterization and early results. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 2014; 126: 398. doi: 10.1086/676406.
- Hubert AM., Floquet M. Investigation of the variability of bright Be stars using HIPPARCOS photometry. *Astronomy and Astrophysics* 1998; 335: 565–572.
- Jenkins JM., Twicken JD., McCauliff S., Campbell J. The TESS science processing operations center. Software and Cyber infrastructure for Astronomy IV 9913. 2016. doi: 10.1117/12.2233418.
- Jenkins JM. Kepler data processing handbook: Overview of the science operations center. Kepler Science Document KSCI-19081-002, 2017. id. 2, Editör: Jon M. Jenkins.
- Kahraman Aliçavuş F., Poretti E., Catanzaro G., Smalley B. Spectroscopy of hot Gamma Doradus and A-F hybrid Kepler candidates close to the hot border of the Delta Scuti instability strip. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 2020; 493: 4518. doi: 10.1093/mnras/staa399.

- Kim DW., Protopapas P., Alcock C., Byun YI., Bianco FB. Detrending time series for astronomical variability surveys. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 2009; 397: 558–568. doi: 10.1111/j.1365-2966.2009.14967.x.
- Kovacs G., Bakos G., Noyes RW. A trend filtering algorithm for wide-field variability surveys. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 2005; 356: 557–567. doi: 10.1111/j.1365-2966.2004.08479.x.
- Labadie-Bartz J., Pepper J., McSwain MV., Bjorkman JE. Photometric variability of the Be star population. *The Astronomical Journal* 2017; 153: 252. doi: 10.3847/1538-3881/aa6396.
- Matthews JM., Kuschnig R., Walker GAH., Pazder J. Johnson, R. Ultra precise photometry from space: The MOST microsat mission. *IAU Colloq. 176: The Impact of Large-Scale Surveys on Pulsating Star Research* 2000; 203: 74–75.
- Michel E., Auvergne M., Baglin A., Catala C. Stellar variability from space with COROT: pulsation and binarity. *Tidal Evolution and Oscillations in Binary Stars* 2005; 333: 264.
- Miglio A., Chiappini C., Morel T., Barbieri WJ. Galactic archaeology: mapping and dating stellar populations with asteroseismology of red-giant stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 2013; 429: 423–428. doi: 10.1093/mnras/sts345.
- Morris RL., Twicken JD., Smith JC., Clarke BD. Kepler data processing handbook: Photometric analysis. Kepler Science Document KSCI-19081-003, id. 6. 2020. Editörler: Jon M. Jenkins.
- Neiner C., Hubert AM. The pulsations of Be stars. *Communications in Asteroseismology* 2009; 158: 194.
- Neiner C., Floquet M., Hubert AM., Frémat Y. Rotation, pulsations and outbursts in the Be star HD 202904. *Astronomy and Astrophysics* 2005; 437: 257–272. doi: 10.1051/0004-6361:20041901.
- Oelkers RJ., Stassun KG. Precision light curves from TESS full-frame images: A different imaging approach. *The Astronomical Journal* 2018; 156: 132. doi: 10.3847/1538-3881/aad68e.
- Ozuyar D., Caliskan S., Stevens IR., Elmasli A. Photometric and spectroscopic variability of the Be star 48 Lib: The relation between photometric variations and rotation. *Publications of the Astronomical Society of Australia* 2018; 35: 34. doi: 10.1017/pasa.2018.38.
- Paunzen E., Wraight KT., Fossati L., Netopil M., White GJ., Bewsher D. A photometric study of chemically peculiar stars with the STEREO satellites - II. Non-magnetic chemically peculiar stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 2013; 429: 119–125. doi: 10.1093/mnras/sts318.
- Pojmanski G. The all sky automated survey. Catalog of about 3800 variable stars. *Acta Astronomica* 2000; 50: 177–190.
- Pollacco D., Skillen I., Cameron A., Christian JI. The WASP project and SuperWASP camera. *Astrophysics and Space Science* 2006; 304: 253–255. doi: 10.1007/s10509-006-9124-x.
- Porter JM., Rivinius T. Classical Be stars. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 2003; 115: 1153–1170. doi: 10.1086/378307.

- Pribulla T., Rucinski SM., Latham DW., Quinn SN. Eclipsing binaries in the MOST satellite fields. *Astronomische Nachrichten* 2010; 331: 397. doi: 10.1002/asna.201011351.
- Ricker GR., Winn JN., Vanderspek R., Latham DW. Transiting exoplanet survey satellite (TESS). *Space Telescopes and Instrumentation 2014: Optical, Infrared, and Millimeter Wave 2014*; 9143. doi: 10.1117/12.2063489.
- Rivinius T., Baade D., Stefl S., Stahl O., Wolf B., Kaufer A. Stellar and circumstellar activity of the Be star MU Centauri. II. Multiperiodic low-order line-profile variability. *Astronomy and Astrophysics* 1998; 336: 177–190.
- Saio H. A- and B-type star pulsations in the Kepler and CoRoT era: Theoretical considerations. *Putting A stars into context: Evolution, environment, and related stars 2014*; 305–313.
- Sangaralingam V., Stevens IR. STEREO transiting exoplanet and stellar survey (STRESS) - I. introduction and data pipeline. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 2011; 418: 1325–1334. doi: 10.1111/j.1365-2966.2011.19581.x.
- Sockett DG., Howard RA., Korendyke CM., Simnett G. M., Webb D.F. NASA solar terrestrial relations observatory (STEREO) mission heliospheric imager. *Instrumentation for UV/EUV Astronomy and Solar Missions 2000*; 4139: 284–293. doi: 10.1117/12.410528.
- Spreckley SA., Stevens IR. The period and amplitude changes of Polaris alpha UMi from 2003 to 2007 measured with SMEI. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 2008; 388: 1239–1244. doi: 10.1111/j.1365-2966.2008.13439.x.
- Stassun KG., Oelkers RJ., Pepper J., Paegert M. The TESS input catalog and candidate target list. *The Astronomical Journal* 2018; 156: 102. doi: 10.3847/1538-3881/aad050.
- Stumpe MC., Smith JC., Van Cleve JE., Twicken JD. Kepler presearch data conditioning I- architecture and algorithms for error correction in Kepler light curves. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 2012; 124: 985. doi: 10.1086/667698.
- Stumpe MC., Smith JC., Catanzarite JH., Van Cleve JE. Multiscale systematic error correction via wavelet-based band splitting in Kepler data. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 2014; 126: 100. doi: 10.1086/674989.
- Sullivan PW., Winn JN., Berta-Thompson ZK., Charbonneau D. The transiting exoplanet survey satellite: Simulations of planet detections and astrophysical false positives. *The Astrophysical Journal* 2015; 809: 77. doi: 10.1088/0004-637X/809/1/77.
- Szabo R., Szabados L., Ngeow CC., Smolec R. Cepheid investigations using the Kepler space telescope. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 2011; 413: 2709–2720. doi: 10.1111/j.1365-2966.2011.18342.x.
- Tappin SJ., Eyles CJ., Davies JA. Determination of the photometric calibration and large-scale flat field of the STEREO heliospheric imagers: II. HI-2. *Solar Physics* 2015; 290: 2143–2170. doi: 10.1007/s11207-015-0737-5.

- Tappin SJ., Eyles CJ., Davies JA. On the long-term evolution of the sensitivity of the STEREO HI-1 cameras. *Solar Physics* 2017; 292: 28. doi: 10.1007/s11207-017-1052-0.
- Valtonen MJ., Mikkola S., Lehto HJ., Gopakumar A., Hudec R., Polednikova J. Testing the black hole no-hair theorem with OJ287. *The Astrophysical Journal* 2011; 742: 22. doi: 10.1088/0004-637X/742/1/22.
- Whittaker GN., Stevens IR., Sangaralingam V. STEREO trend removal pipeline and planet detection possibilities. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 2013; 431: 3456–3469. doi: 10.1093/mnras/stt425.
- Wraight KT., Fossati L., Netopil M., Paunzen E. A photometric study of chemically peculiar stars with the STEREO satellites - I. Magnetic chemically peculiar stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 2012a; 420: 757–772. doi: 10.1111/j.1365-2966.2011.20090.x.
- Wraight KT., Bewsher D., White GJ., Nowotny W., Norton AJ., Paladini C. STEREO observations of long period variables. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 2012b; 426: 816–832. doi: 10.1111/j.1365-2966.2012.21445.x.
- Wraight KT., Fossati L., White GJ., Norton AJ., Bewsher D. Bright low mass eclipsing binary candidates observed by STEREO. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2012c; 427: 2298–2307. doi: 10.1111/j.1365-2966.2012.22102.x.
- Wraight KT., White GJ., Bewsher D., Norton AJ. STEREO observations of stars and the search for exoplanets. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 2011; 416: 2477–2493. doi: 10.1111/j.1365-2966.2011.18599.x.
- Zacharias N., Monet DG., Levine SE., Urban SE., Gaume R., Wycoff GL. The Naval Observatory Merged Astrometric Dataset (NOMAD). *American Astronomical Society Meeting Abstracts*. 2004.

Yeşil Mutabakatı Destekleyen Mineral Katkılı Çimento Esaslı Kompozitlerin Asit-Sülfat Direnci ve Karbonatlaşma Derinliği

Müzeyyen BALÇIKANLI BANKİR^{1*}

¹İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun/Hatay

¹<https://orcid.org/0000-0001-5091-8766>

*Sorumlu yazar: muzeyyen.balcikanli@iste.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 20.10.2021

Kabul tarihi: 29.03.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Sürdürülebilir üretim

Yeşil mutabakat

Mineral katkı

Asit ve sülfat direnci

Karbonatlaşma

ÖZ

Çalışma kapsamında sürdürülebilir ve yeşil mutabakatı destekleyen çimento esaslı kompozitlerin mekanik ve durabilite performanslarını değerlendirmek için Granüle Yüksek Fırın Cürufu (GYFC), Uçucu Kül (UK) ve Silis Dumanı (SD)'nin tekli, ikili ve üçlü kompozisyonlarının çimento ile ağırlıkça %15, %30 ve %45 oranında ikame edilmesi ile sekiz farklı beton üretilmiştir. Numunelerin 28 ve 90 günlük dört noktadan eğilme dayanımı ve basınç dayanımının yanı sıra 30 gün boyunca %5 konsantrasyonda hazırlanan sülfürik asit ve sodyum sülfat içeren ortamlara maruz kalan betonların performans değerlendirilmesi ağırlık ve dayanım değişimleri dikkate alınarak yapılmıştır. Çimento miktarının %30 azaltılması ile üretilen kompozit numuneler kontrol numunesine göre daha üstün mekanik ve durabilite özelliği sergilemiştir. Laboratuvar ortamında bekletilen numunelerin 60 ve 120 günlük karbonatlaşma derinlikleri (KD) de ölçülmüş ve KD'yi sınırlayan en ideal kompozisyon %15 GYFC+ %15 UK'dir.

Aggressive Environment and Carbonation Resistance of Sustainable Cement-Based Composites Supporting the Green Deal

Research Article

Article History:

Received: 20.10.2021

Accepted: 29.03.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Sustainable production

Green deal

Mineral additive

Acid and sulfate resistance

Carbonation

ABSTRACT

Within the scope of the study, in order to evaluate the mechanical and durability performances of cement-based composites that support sustainable production and green deal, single, double and triple compositions of Granulated Blast Furnace Slag (GYFC), Fly Ash (UK) and Silica Fume (SD) were replaced with cement 15%, 30% and 45% by weight and so eight different concretes were produced. In addition to the four point flexural and compressive strength of the samples at 28 and 90 days, the concretes were exposed to sulfuric acid and sodium sulfate solutions prepared at 5% concentration for 30 days. Performance evaluation was made by considering weight and strength changes. Concrete samples produced by reducing the amount of cement by 30% showed superior mechanical and durability properties compared to the control sample. Carbonation depths (KD) of 60 and 120 days samples, kept in the laboratory, were measured and the ideal composition limiting the KD was 15% GYFC + 15% UK.

To Cite: Bankir MB. Yeşil Mutabakatı Destekleyen Mineral Katkılı Çimento Esaslı Kompozitlerin Asit-Sülfat Direnci ve Karbonatlaşma Derinliği. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 943-957.

1. Giriş

Çimento esaslı kompozitler dünyada en çok tercih edilen yapı malzemeleridir. Çimento üretimi ise yüksek enerji tüketiminin yanı sıra doğal kaynak tüketimine de neden olmaktadır. Çimento üretim aşamasında doğaya çok miktarda sera gazı salınımı ve atıl malzeme üretimi gerçekleşmektedir. Çeşitli

sektörlerden açığa çıkarak atmosfere karışan, doğaya bırakılan ve beraberinde küresel ısınma problemini getiren zararlı gaz ve malzemelerin en aza indirgenmesi için çeşitli önlemler alınmaktadır. Bunlardan bir tanesi önümüzdeki 29 yılı hedef alan Avrupa Yeşil Mutabakatı'dır (Şahin ve Önder, 2021). Bu bağlamda atık malzemelerin ekonomide üç farklı kategoride değerlendirilmesi gerektiği ifade edilmektedir. Bunlar; atık malzemelerin kaynağında kirlenmeden ayrıştırılarak farklı sektörlerde değerlendirilmesi ile sürdürülebilir üretim, bertaraf edilmesi ve doğal hammadde kullanımının sınırlandırılması ile çevreyi korumaya yönelik destek sağlanmasıdır (Şahin ve Önder, 2021). Kalkınan ülkelerde atık veya atıl malzemelerin israfının önüne geçilmesi ile ekonomiye büyük oranda katkı sağlanabilecektir.

Yapı malzemesi olarak kullanılan çimento üretimi de bir takım çevresel sorunlara yol açmaktadır. Dünyadaki CO₂ salınımı %5 oranında çimento üretiminden açığa çıkmaktadır (Gürsel ve Meral, 2012). Çimento kullanımının azaltılması ile bu sorunların da azalacağı açıktır. Çimento yerine kullanılacak alternatif malzeme arayışı birçok araştırmacının konusu durumundadır (Ahmad ve ark, 2021). Farklı sektörlerden açığa çıkan ve çimento yerine kullanılmasının mekanik özellikleri açısından mümkün olduğu belirlenmiş puzolanik özellik gösterebilen malzemeler vardır (Chen ve ark, 2020; Hossain ve ark, 2021). Çelik üretiminden açığa çıkan Yüksek fırın cürufu (GYFC), termik santrallerden açığa çıkan uçucu kül (UK) ve ferrosilikon alaşımların üretiminden açığa çıkan silis dumanı (SD) bunlardan bazılarıdır. Küresel olarak, GYFC, UK, SD yıllık olarak sırasıyla 360 milyar ton, 1 milyar ton, 1622,58 bin ton açığa çıkmaktadır (Malhotra, 2006; Reynolds, 2009; Kumar ve ark, 2017; Kumar ve ark, 2021). Bu malzemelerin çimento esaslı kompozitlerin mekanik ve geçirimsizlik özelliklerine iyileştirici etkisinin olduğunu belirten araştırmalar yapılmıştır. Örneğin, GYFC katkılı harçların yedi günlük dayanımlarının çimento harçlarına göre daha düşük ancak 28 ve 90 günlük numunelerin basınç dayanımlarının daha yüksek olduğu yapılan bir çalışmada ifade edilmiştir (Gupta, 2016). SD katkılı harçlar ile kontrol harcının dayanımı karşılaştırıldığında 28 güne kadar basınç dayanımı üzerinde olumsuz bir etkinin olduğu fakat 28 günden sonra %10 SD ilavesi ile 180 günlük kür neticesinde basınç dayanımının daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Sezer, 2012). SD yüksek oranda puzolanik bir malzeme olduğundan, çimentoya eklendiğinde daha fazla C-S-H jel oluşumunu destekler ve böylece basınç dayanımı artar (Jeong ve ark, 2020). Yapılan bir diğer çalışmada UK katkısı ile üretilen harçların basınç dayanımında %3 ile %35 oranında artış meydana geldiği ifade edilmiştir (Hsu ve ark, 2018; Mironyuk ve ark, 2019).

GYFC, SD ve UK katkılı beton veya harçların agresif ortamlardaki performansını araştırmaya yönelik yapılan çalışmalar da mevcuttur. Kırmızı çamur, GYFC ve elektrik ark fırın tozu katkısı ile üretilen çimentolu harçlarda kullanım oranı %10 iken asit atağına karşı daha iyi performans elde edildiği belirtilmiştir (Sabzi ve ark. 2021). Metakaolin bazlı geopolimer kompozitler SD, GYFC ve kolemanit atığı ilavesi ile üretilerek hacimce %10 hidroklorik asit ve sülfürik asit içeren çözeltilerde 12 ay bekletilmiştir. Performans değerlendirmesi ağırlık kaybı, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı açısından yapılmıştır. Geopolimer harçların eğilme ve basınç dayanımlarının sülfürik ve hidroklorik

asit saldırılarına maruz bırakıldıktan sonra önemli oranda azaldığı ifade edilmiştir. Durumun sebebi yapılan mikroyapı analizleri neticesinde belirlenmiş ve sülfürik ve hidroklorik asit ortamlarında bekletilen numunelerde oksijen-alyuminyum köprüsünün (-Al-Si-O) bozulması olarak açıklanmıştır. Sonuç olarak basınç ve eğilme dayanımında azalmaya sebep olduğu belirtilmiştir (Aygörmez ve Canpolat, 2021). Yapılan başka bir çalışmada GYFC ve kalsine kil katkısı ile üretilen geopolimer betonların %5 konsantrasyondaki asit atağına karşı sadece çimento ile üretilen betonlara göre daha dirençli olduğu belirtilmiştir (Gupta ve ark, 2021).

Literatürden elde edilen bilgiler tabanında ancak farklı olarak bu çalışmada YFC, UK ve SD'nin çimento ile tekli, ikili ve üçlü olarak yer değiştirmesi ile Çimento esaslı yeşil mutabakatı destekleyen kompozitler (ÇEYK) üretilmiş ve mekanik özelliklerinin yanı sıra çevresel etkiler karşısındaki performansı araştırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan çimento miktarı %45'e varan oranlarda azaltılıp yerine YFC, SD ve UK'nin tekli, ikili ve üçlü kombinasyonları kullanılarak beton üretimi yapılmıştır. ÇEYK numunelerinin eğilme ve basınç dayanımının yanı sıra asit ve sülfat atağına karşı hangi kombinasyonun daha dirençli olduğu tespit edilmiştir. Beton elemanların servis ömrü boyunca istenmeden maruz kaldığı karbonatlaşma etkisine karşı numuneler 120 güne kadar denize yakın olan bir bölgede bekletilerek 60 ve 120 gün sonra karbonatlaşma derinlikleri (KD) ölçülmüştür. Geçen bu süre zarfında KD'nin hangi kombinasyonda en az ve en çok olduğu belirlenmiştir. Sürdürülebilir ÇEYK üretimi ile daha az maliyet ve çevre kirliliği ile daha üstün özelliklerde çimento esaslı kompozit üretimi, yöntemi ile beraber belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzemeler

Çalışma kapsamında mineral katkıları (GYFC, SD ve UK) sayesinde ÇEYK üretilmiştir. Üretimde eşit oranlarda olmak koşulu ile ikili ve üçlü kombinasyonlar kullanılarak sekiz farklı ÇEYK üretilmiştir. CEM I 42.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. CEM I 42.5 R, GYFC, SD ve UK'nin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Agregalar olarak en büyük tane boyutu 11 mm olan kalker esaslı agrega ve en büyük tane boyutu 4 mm olan kalker esaslı kum kullanılmıştır. Karışım ve kür suyu olarak İskenderun şehir suyu kullanılmıştır. Süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak tüm karışımların eşit çökme değerine (S4) ulaşması sağlanmıştır.

Mineral katkıların çimento ile tekli, ikili ve üçlü yer değiştirmesi ile üretilen ÇEYK'lerin üretiminde su/toplam bağlayıcı oranı 0,5 olarak sabit tutulmuş ve tüm karışımlar için toplam bağlayıcı dozajı 400 kg/m³ seçilmiştir. Üç mineral katkının tekli, ikili ve üçlü olarak çimento ile yer değiştirme oranı hacimce %0, %15, %30 ve %45'tir. K1 kodlu karışımda hiç mineral katkı bulunmadığından diğer numuneleri karşılaştırabilmek için kontrol numunesi olarak seçilmiştir. K2, K3 ve K4 kodlu karışımlarda %15 oranında GYFC, UK ve SD bulunurken, K5, K6 ve K7 kodlu karışımlarda ikili kombinasyonlarının oranı hacimce %30 olacak şekilde kullanılmıştır. En son K8 kodlu karışımda ise

her üç mineral katkı eşit oranlarda katılarak %45 oranında çimento ile yer değiştirilmiştir. ÇEYK üretimi için tasarlanan karışım özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. CEM I 42.5 R, UK, SD ve GYFC’nin kimyasal özellikleri

Bileşen (%)	CEM I 42.5 R	UK	SD	GYFC
SiO ₂	21,02	59,2	91,36	43,08
Al ₂ O ₃	5,41	21,21	1,39	11,34
Fe ₂ O ₃	3,27	7,69	1,31	0,74
CaO	62,2	4,24	0,45	37,11
MgO	2,54	1,92	-	6,1
SO ₃	2,38	0,49	0,41	0,6
Kızdırma kaybı	2,19	1,78	3,11	0
Na ₂ O	0,17	1,58	0,45	0,28
K ₂ O	0,76	1,89	1,52	0,75
Özgül ağırlık	3,12	2,25	2,2	2,89
Blaine inceliği (cm ² /g)	3250	2870	21080	5400

Tablo 2. ÇEYK Karışım Tasarımı

Malzeme	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
CEM I 42,5 R (%)	100	85	85	85	70	70	70	55
GYFC (%)	0	15	0	0	15	15	0	15
UK (%)	0	0	15	0	15	0	15	15
SD (%)	0	0	0	15	0	15	15	15

2.2. Deney Yöntemi

2.2.1. Eğilme Dayanımı

Üretilen ÇEYK karışımından 100x100x500 mm³ boyutlarında prizmatik kiriş numuneler üretilmiş ve 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak 28 gün su kürü uygulanmıştır. ASTM C1161-18 standardına göre dört noktadan eğilme testi uygulanmıştır.

2.2.2. Basınç Dayanımı

100x100x100 mm³ boyutlarında üretilen küp numuneler 28 gün suda kür edildikten sonra numunelere ASTM C 39’a göre tek eksenli basınç testi uygulanmıştır.

2.2.3. Asit ve Sülfat Direnci

100x100x100 mm³ ölçülerindeki küp numuneler %5 konsantrasyonda hazırlanan sülfürik asit (H₂SO₄) ve sodyum sülfat (Na₂SO₄) çözeltilerinde 30 gün bekletildikten sonra 7 gün laboratuvar koşullarında kurumaya bırakılmıştır. Kurutulan numunelerin başlangıç durumuna göre dayanım ve ağırlık değişimleri oransal olarak belirlenmiştir.

2.2.4. Karbonatlaşma Derinliği

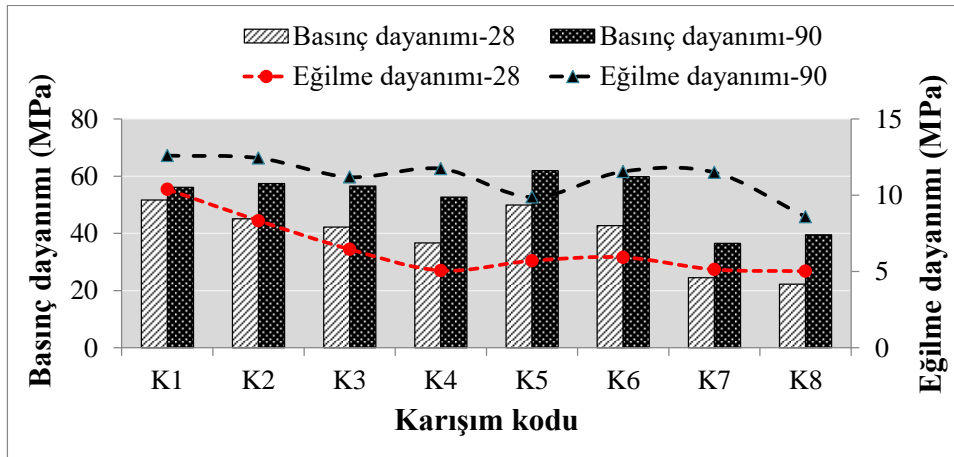
Betonun karbonatlaşma direncini belirlemek için kiriş parçalarından 60. ve 120. günde kesitler alınıp %1 derişimde hazırlanan Fenolftalein çözeltisi püskürtülerek (Verbeck, 1958) karbonatlaşma derinlikleri (KD) ölçülmüştür (EN 13295:2004).

3. Bulgular ve Tartışma

Her deney için 3'er adet numune test edilmiştir ve aralarındaki standart sapma miktarı %3'ü aşmayan sonuçların aritmetik ortalaması verilmiştir.

3.1. Eğilme ve Basınç Dayanımı

Farklı oranlarda mineral katkı içeren ÇEYK numunelerin dört noktadan eğilme dayanımı ve basınç dayanımı sonuçları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. ÇEYK numunelerin 28 ve 90 günlük basınç dayanımları ile eğilme dayanımları

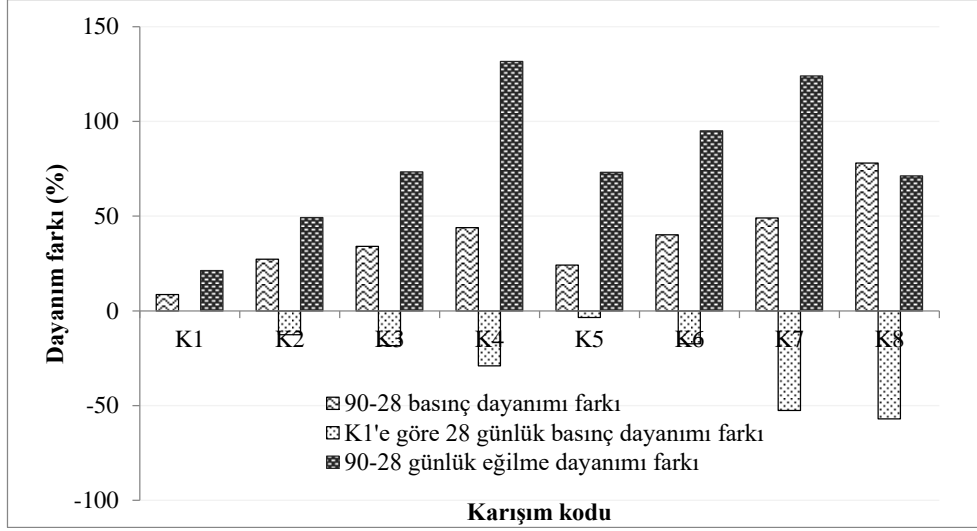
Numunelerin basınç dayanımı ile paralel olarak 28 ve 90 günlük eğilme dayanımları Şekil 1'de gösterilmiştir. 28 günlük basınç dayanımı ile eğilme dayanımı davranışı benzer eğilimdedir. Kontrol numunesi olan K1'in 28 günlük dört noktadan eğilme dayanımı 10,39 MPa iken 90 gün sonunda %12,6 MPa'ya yükselmiş ve % 21,24 oranında artış gerçekleşmiştir. %15 oranında GYFC, UK ve SD içeren K2, K3 ve K4 numunelerinin eğilme dayanımlarında 90 gün sonunda sırası ile %49, %73 ve %131 oranında artış meydana gelmiştir. Literatür çalışmalarında da UK, GYFC ve SD katkılı betonların zamanla mineral katkı miktarına bağlı olarak dayanımın artış gösterdiği ifade edilmiştir (Afroz ve ark, 2019; Bankir ve Sevim, 2020; Jiang ve ark, 2020). Tekli olarak kullanıldığında eğilme dayanımındaki artış en fazla SD eklendiği karışımda gözlenmiştir (Şekil 2). %30 oranında GYFC, UK ve SD içeren ikili kombinasyonlu karışımların (K5, K6 ve K7) eğilme dayanımları ise 28. güne göre sırası ile %73, %95 ve %124 artış göstermiştir (Şekil 2). UK ve SD ikili kombinasyonu (K7) ile eğilme dayanımı 5,13 MPa'dan 11,5 MPa'ya yükselmiş ve kontrol numunesinin eğilme dayanımına (12,6 MPa) çok yaklaşmıştır. ÇEYK numunelerinin eğilme dayanımı 90 gün sonunda K1 kontrol

numunesi ile kıyaslanabilir seviyelere ulaşmıştır. Buradan çimento yerine %30 oranında mineral katkı kullanılmasının yeşil mutabakat ve sürdürülebilir üretim açısından önemi anlaşılmaktadır. %45 oranında GYFC, UK ve SD içeren K8 karışımının eğilme dayanımı ise 5,02 MPa'dan 8,6 MPa'ya yükselmiştir. Ancak çimento azalma oranı %45 olması ile birlikte bu dayanım değeri azımsanmayacak kadar önemlidir.

Tüm numunelerin 28 günlük basınç dayanımı değerleri 90 günlük dayanım değerlerinden daha düşüktür. Mineral katkılardan en az birini içeren karışımlarla üretilen numunelerin tamamının 28 günlük basınç dayanımı K1'den düşüktür. Bu durumun nedeni çimentonun mineral katkılar ile kısmen yer değiştirmesi ile erken yaşlardaki hidrasyon hızının ve ısısının etkili bir şekilde azalmasıdır (Zhang ve ark, 2020). Mineral katkıların çimento ile ikame oranı arttıkça bu dayanım kaybı oranı artış göstermiş ve K8 numunesinde bu oran %57'ye ulaşmıştır (Şekil 2). Yani K8 numunesinin basınç dayanımı K1 numunesinden %57 daha düşüktür. Yapılan bir araştırmada bu durumun nedeni %50 oranında katkı malzemesi içeren harç karışımında mikro çatlak oluşumu ve yüksek su emme değerlerinin ana nedeni olarak kabul edilebilecek daha büyük boşlukların meydana geldiği şeklinde açıklanmıştır. Bu boşlukların varlığı ile dayanımın azalması doğrudan ilişkilendirilmiştir (Ramezianpour ve Moeini, 2018). Ayrıca, sınırlı miktarda atıl malzemenin katkı olarak kullanılması gözeneklerin küçülmesine yol açabilirken, ikame oranının arttırılması ile mikroyapısal özelliklerin bozulduğunu ifade eden çalışmalar da mevcuttur (Sadique ve Al- Nageim, 2012).

K1'e alternatif olarak K5 numunesi gösterilebilir. Basınç dayanımları birbirine çok yakın olmasına karşın içerikleri incelendiğinde K5 numunelerinde %15 GYFC+ %15 UK bulunmaktadır. Çimento miktarının %30 oranında azaltılması neticesinde K1 ile K5 numunelerinin basınç dayanımları çok yakındır. Hatta K5'in 90 günlük basınç dayanımı K1'den %10 daha yüksektir. Bu durumda atıl malzemelerin stok sorunlarının çözülmesinin ve değerlendirilmesinin yanı sıra yeşil mutabakatı destekleyen ve ekonomik üretimler mümkün olabilecektir. Nitekim yapılan çalışmalarda geri dönüşüm sayesinde hammadde tüketiminin azalacağı ve doğal kaynakların korunabilmesi ile ülke ekonomisine katkı sağlanabileceği ifade edilmiştir (Aydın, 2015).

Hiç mineral katkı içermeyen K1 numunesinin basınç dayanımı 90 gün içerisinde 28 günlük değere göre %8,6 artış gösterirken %45 oranında mineral katkı içeren K8 numunesinin basınç dayanımı %78 artış göstermiştir (Şekil 2). Yani, karışım bünyesinde bulunan mineral katkı oranı arttıkça 28 günlük basınç dayanımı azalmış ve 90. güne kadar basınç dayanımı kazanma oranı artmıştır.

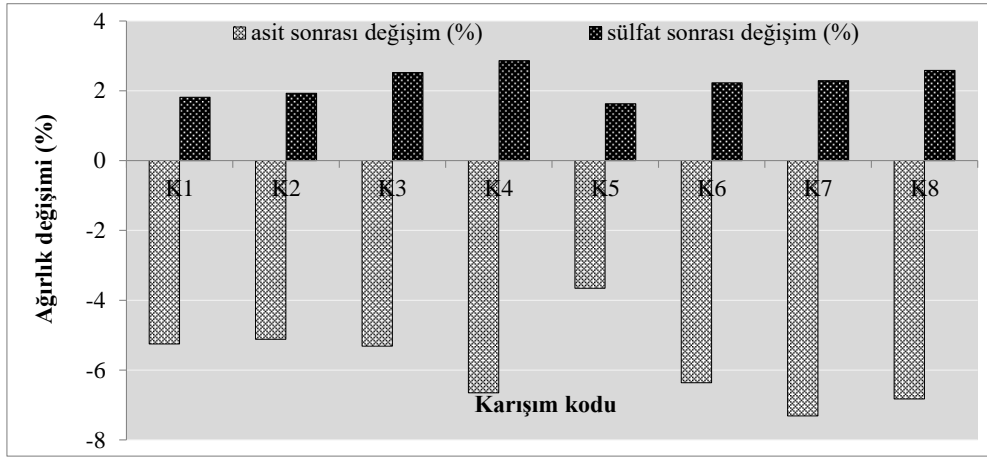


Şekil 2. Kontrol numunesine (K1) ve zamana göre dayanım değişim oranları

3.2. Asit ve Sülfat Direnci

H_2SO_4 ve Na_2SO_4 çözeltilerinde 30 gün bekletildikten sonra kurutulan numunelerin ağırlık değişimleri asit ve sülfat atağına maruz bırakılmadan önceki duruma göre belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekil 3'den görüleceği üzere asit atağına maruz kalan numunelerde ağırlık kaybı gözlenirken sülfat atağına maruz kalan numunelerde ağırlık artışı meydana gelmiştir. Sülfat saldırısı esnasında sülfat iyonu, çimento esaslı kompozitlere nüfuz eder ve kalsiyum hidroksit gibi çimento hidrasyon ürünleri ile reaksiyona girer. Tepkimeler sonucunda etrenjit ve alçıtaşı gibi zararlı ürünlerin oluşması ile çimento esaslı kompozitler aşınır, genişler ve çatlaklar oluşur (Chen ve ark, 2016). Bu süreç devam ederken, kurumuş yüzeylerdeki gözeneklerde sülfat tuzları kristalleşir, kompozit yüzeyinde hasar meydana gelir. Hem fiziksel hem de kimyasal sülfat atağının bir sonucu olarak, anhidrat sodyum sülfat, %314 hacimsel genişleme ile hidrat formuna dönüşür (Tekin, 2010; Haynes ve Bassuoni, 2011) ve böylece ağırlık artışı gözlenir. %15 oranında sırası ile GYFC ve UK içeren K2 ve K3 numunelerinin asit atağı karşısında ağırlık kaybı K1 kontrol numunesi ile benzerlik göstermiştir (Şekil 3). K1 numunesinin asit atağından sonraki ağırlık kaybı %5,25 iken K5 numunesinde %3,66'dır. Ağırlık kaybı en az %15 GYFC + %15 UK içeren K5 numunesinde meydana gelmiştir. Sülfat atağı sonrasında K1 kontrol numunesinin ağırlık kaybı %1,81 iken ağırlıkça %15 oranında GYFC, UK ve SD içeren K2, K3 ve K4 numunelerinin ağırlık kaybı oranları sırası ile %1,93, %2,52 ve %2,86'dır. Tekli olarak çimento ikamesi yapılan bu mineral katkılardan sülfat atağına karşı ağırlık kaybına en dirençli olan asit atağında olduğu gibi GYFC'dir. Bunun nedeni erken yaşlarda UK'nın reaktivitesinin GYFC'den çok daha düşük olmasıdır (Zhang ve ark, 2021). GYFC katkısı ile asit atağına karşı UK ve SD'ye nazaran daha dirençli betonların üretilmiştir (Elyamani, 2020). Bu durumun nedeni olarak GYFC kullanımı ile oluşan gözeneklerin daha küçük olması neticesinde olumsuz çevresel koşullara maruz kaldığında beton bileşenlerinin dayanıklılığının artması gösterilmiştir (Hwang ve Lin, 1986). Ayrıca, çimento hidrasyonunun bir yan ürünü olarak kabul

edilen ve betonun dayanım kazanma sürecine katkıda bulunmayan $\text{Ca}(\text{OH})_2$, daha fazla kalsiyum silikat hidrat (CSH) jeli oluşturmak ve sertleşmeyi iyileştirmek için su ve GYFC ile reaksiyona girebilir (Elyamani ve ark, 2020). Puzolanik reaksiyonların doğası gereği, çimento ikame malzemelerinin kullanılması, kireç içeriğinde azalmaya neden olur ve beton geçirgenliğini artırır. Bu nedenle, doğal puzolanlar ve GYFC gibi mineral katkı malzemelerinin kullanılması, sülfürik aside maruz kalan ortamlarda beton dayanıklılığını iyileştirebilir (Sabzi ve ark., 2021). İkili kombinasyonlar şeklinde çimento ile ikame edilen mineral katkıların etkisine bakılırsa GYFC ve UK'nin birlikte kullanımı ile çimento oranı %30 azaltılmış ve sülfat atağına karşı ağırlığı koruma direnci artmıştır (Şekil 3, K5 numunesi). Ağırlık değişim oranları karşılaştırıldığında asit ortamında bekletilen numunelerde meydana gelen ağırlık değişim oranı sülfat ortamında bekletilenlere göre daha yüksektir. Asit içeren ortamların betonun bütünlüğünü bozan ve hasar oranını sülfatlı ortamlara göre daha çok artıran ortamlar olduğu belirlenmiştir.



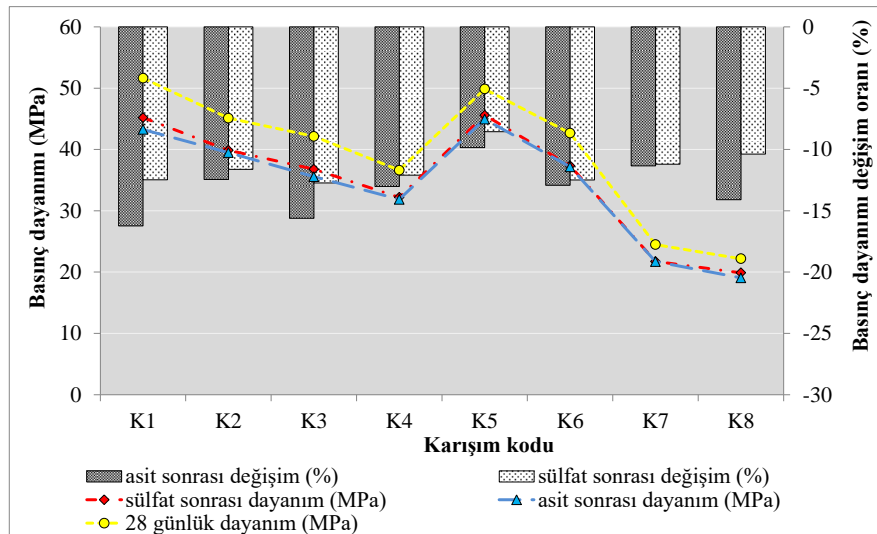
Şekil 3. Asit ve sülfat atağından sonra meydana gelen ağırlık değişimi

Asit atağından sonra numunelerin basınç dayanım kaybı oranları ağırlık kaybı oranları ile benzer eğilimde olmuştur. K1 kontrol numunesinin basınç dayanımı %16,2 iken %15 GYFC içeren K2 numunesinde %12,5 ve %15 GYFC+ %15 UK içeren K5 numunesinde %9,8'dir (Şekil 4). ÇEYK numuneler asit atağına maruz kaldığı andan itibaren asit parçacıkları kompozit numune içine girmeye çalışır ve zamanla çimento çözünmeye başlar. pH seviyesi 10.6'nın altına inmeye başladığında etrenjit bozunmaya başlar ve alüminyum hidroksite ayrılarak betonda alçı oluşumları meydana gelir. Etrenjitin genişmesi ile birlikte içsel lokal gerilmeler meydana gelir. Bu döngü devam ederken hacmi alçıdan 7 kat daha fazla olan etrenjit, pH değeri düştüğünde, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve kalsiyum alüminat hidratın çözünmesiyle oluşur. Son olarak asit infiltrasyonu başlar ve betonda kabarma ve boşluklar meydana gelir. Kalsiyum silikat hidrat jelleri (C-S-H) sülfürik asidin etkisinden dolayı ağırlık ve mukavemet kaybına neden olur ve hatta parçalanma ile sonuçlanabilir (Hadigheh ve ark, 2017; Bankir ve Sevim, 2020). K1 numunesinin asit atağına maruz kalmadan önceki basınç dayanımı 51,6 MPa iken asit atağı sonrasında 43,3 MPa'dır. Dayanım kaybı oranı en az olan K5 numunesinin asit atağından önceki ve sonraki dayanımları ise sırası ile 49,9 MPa ve 45 MPa'dır. Yani asit etkisinden sonraki dayanım değeri

kontrol numunesinden daha yüksektir. Buradan anlaşılacağı üzere GYFC ve UK katkısı asit ortamında numunelerin dayanıklılığını çimentoya göre daha fazla artırmıştır. Yapılan bir çalışmada UK miktarının %22 olması durumunda ağırlık kaybının %11,3'ü aşmadığı ifade edilmiştir (Bankir ve Sevim, 2020). Başka bir çalışmada cüruf içeren geopolimer betonların kontrol numunesine göre %4 daha az hasar aldığı belirtilmiştir (Jena ve Panigrahi, 2021).

Sülfat atağına maruz kalan tüm numunelerin de basınç dayanımında azalma meydana gelmiş ancak hasar seviyesi asit atağındaki kadar fazla olmamıştır (Şekil 4). Sülfatlı ortamda bekletilen numunelerin basınç dayanımları ve dayanımdaki azalma miktarı 28 günlük değerlerle ve asit atağı sonrasındaki dayanım değerleri ile karşılaştırmalı olarak Şekil 4'de gösterilmiştir. K1 kontrol numunesinin sülfat atağından sonraki dayanım değişim oranı %12,5 iken %45 oranında mineral katkı ikamesi yapılan K8 numunesinin basınç dayanımı değişimi %10,4 olmuştur. K1 ve K5 numunelerinin nihai dayanım değerlerinin neredeyse aynı olduğu (sırasıyla 45,2 ve 45,6 MPa) görülmüştür. K5 içeriğinde bulunan %15 GYFC ve %15 UK ikili kombinasyonu asit atağına olduğu gibi sülfat atağı karşısında da betonun durabilitesini iyileştirici etki göstermiştir. Üstelik tekli kullanımları ile azaltılan dayanım kaybının çok daha azaldığı belirlenmiştir. Çimento miktarının %30 oranında azaltılması ile kontrol numunesi ile aynı dayanıma sahip olması, betonun dayanıklılık özelliklerinin iyileştirilmesine katkı sunmasının yanı sıra doğaya bırakılan atıl malzemelerin değerlendirilmesi ile yeşil mutabakat dostu betonlar üretilebilmiştir.

Her üç mineral katkının tekli ve ikili kombinasyonlarının basınç dayanımı ve ağırlık değişimine olan etkileri göz önüne alındığında asit ve sülfat atağına karşı en dirençli olan mineral katkının GYFC + UK olduğu anlaşılmıştır. Mineral katkıları tekli olarak çimento ile ikame edildiğinde ise asit ve sülfat atağına karşı GYFC'nin UK ve SD'den daha dirençli olduğu tespit edilmiştir.

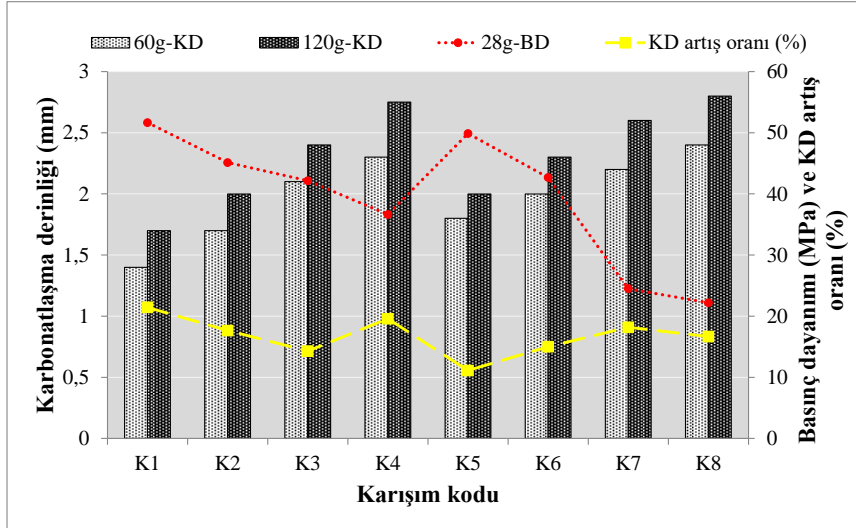


Şekil 4. Asit ve sülfat atağından sonra meydana gelen basınç dayanımı değişimi

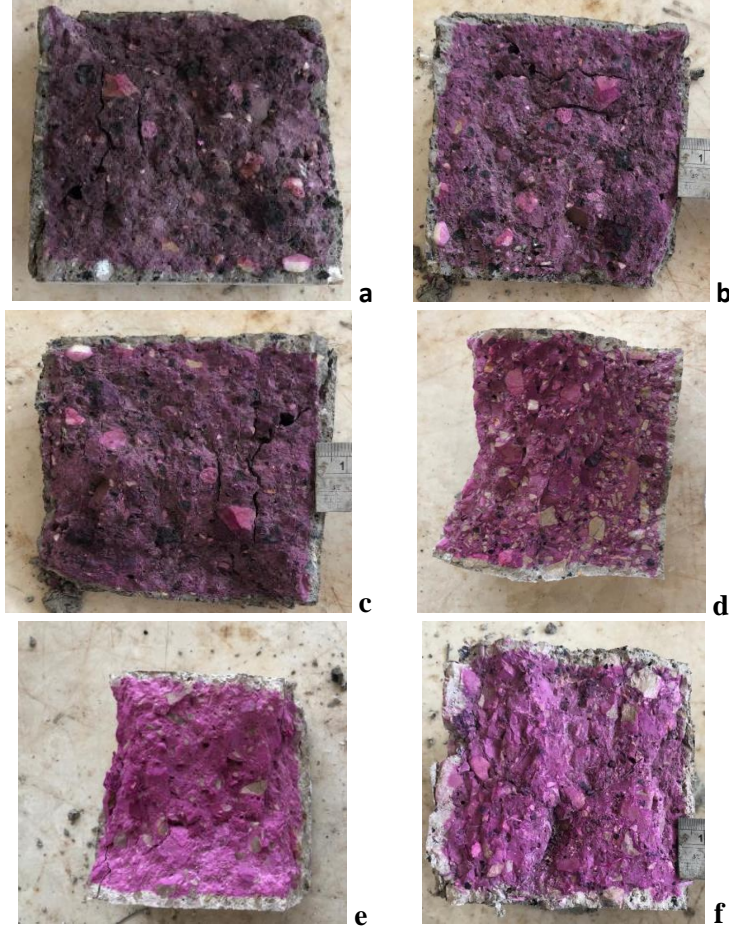
3.3. Karbonatlaşma Derinliği

Üç farklı mineral katkının tekli, ikili ve üçlü kombinasyonunun çimento yerine kullanılması ile üretilen ÇEYK numunelerinin 60 ve 120 günlük KD ve 28 günlük basınç dayanımı ilişkisi Şekil 5'de

gösterilmiştir. Basınç dayanımı yüksek olan numunelerin KD değerlerinin düşük, basınç dayanımı düşük olan numunelerin KD değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Yapılan araştırmalarda da bu bulguyu destekler ifadelerle rastlanmıştır (Kara ve Yazıcıoğlu, 2016; Horoz, 2020). KD zamanla meydana gelen ve 120. gün sonunda numunelerde ölçülen KD miktarı 60. güne göre artış göstermiştir. 60. ve 120. gün sonunda K1 ile K5 numunelerinde neredeyse aynı oranda karbonatlaşma meydana gelmiştir. K1'in içeriğinde hiç mineral katkı bulunmuyorken K5 numunesinde %30 oranında GYFC ve UK karışımı bulunmaktadır. Yani çimento miktarının %30 oranında az olması ile KD arasında ciddi fark oluşmamıştır. GYFC ve UK içeren K2 ve K3 kodlu numunelerin KD değerleri yine GYFC ve UK'nin ikili kombinasyonlarını içeren K5 ve K6 numuneleri ile yakın değerlerdedir. Buradan GYFC ve UK'nin karbonatlaşmayı azaltıcı etkisinin olduğu anlaşılmaktadır. GYFC katkısı puzolanik reaktivitesi nedeniyle betondaki CH içeriğini azaltma eğilimindedir (Saillio ve ark, 2019). SD eklenen numunelerin KD, GYFC ve UK katkılı numunelere kıyasla daha fazla ölçülmüştür. Hatta SD katkılı K4, K7 ve K8 numunelerinin KD'leri kontrol numunesine göre sırası ile %64, %57 ve %71 daha fazladır. KD'nin ilk ölçümünden 60 gün sonra KD artış oranı (%) Şekil 5'de gösterilmiştir. 60 günde KD değeri artış oranı K1 numunesinde %21,4; K5 numunesinde %11,1 ve K8 numunesinde %16,7'dir. K1, K5 ve K8'in 60 ve 120 günlük KD görüntüleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Başlangıçtaki KD'ye göre K1'den sonra en fazla artış %15 SD içeren K4'tedir (%19,6).



Şekil 5. Zamana bağlı karbonatlaşma derinliği ve 28 günlük basınç dayanımları



Şekil 6. ÇEYK numunelerin 60 ve 120 günlük karbonatlaşma derinlikleri a) K1-60 gün b) K1-120 gün c) K5-60 gün d) K5-120 gün e) K8-60 gün f) K8-120 gün

4. Sonuç

Global dünya gereksinimleri olarak doğayı korumak ve ekonomik dengeyi sağlamak tüm sektörler için kaçınılmaz olmuştur. Beton üretiminde çokça kullanılan ve üretimi esnasında çevreye zarar veren malzemelerin kullanımının azalması Avrupa Yeşil Mutabakatı çerçevesinde elzem hale gelmiştir. Diğer yandan çokça açığa çıkan GYFC, UK ve SD gibi katma değeri olan atıl malzemelerin geri dönüşümü veya bertarafı gerekmektedir. Bu nedenlerden ötürü bu çalışma kapsamında literatür çalışmalarından farklı olarak çimentonun %15 GYFC, %15 SD ve %15 UK kombinasyonlarının ikame yoluyla azaltılması amaçlanmıştır. Çimento esaslı kompozitlerin servis ömürleri boyunca maruz kalabileceği çevresel şartların etkisinde kompozit numunelerin 28 ve 90 günlük eğilme ve basınç dayanımının yanı sıra asit, sülfat ve karbonatlaşma direnci belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular şöyledir:

- Mineral katkı türüne bakılmaksızın tüm numunelerin eğilme dayanımları 28 günden 90 güne kadar artış göstermiştir. GYFC, UK ve SD'nin ikili kombinasyonları ile üretilen numunelerin eğilme dayanımlarında %124'e varan artış meydana gelmiştir. %30 oranında çimento miktarının azalması durumunda bile 90 gün sonunda kontrol numunesinden daha yüksek eğilme dayanımına ulaşılmıştır.

- Tüm numunelerin basınç dayanımları 28 günden 90 güne kadar artış göstermiştir. %15 GYFC + %15 UK içeren K5 numunesinin 28 günlük basınç dayanımları birbirine çok yakın iken 90 günlük basınç dayanımı kontrol numunesine göre %10,3 daha yüksektir. Mineral katkıların basınç dayanımının zamana bağlı olarak artmasına katkı sağlamıştır.
- Asit etkisinde kalan numunelerde ağırlık kaybı, sülfat etkisinde kalan numunelerde ağırlık artışı meydana gelmiştir. Ancak her iki durumda basınç dayanımında azalma meydana gelmiştir. ÇEYK numunelerin GYFC ve UK ikili kombinasyonunun çimento ile %30 ikamesi neticesinde hem asit hem de sülfat atağına karşı mevcut ağırlığını koruma kararlılığı artmıştır. Asit atağında bekletilen numunelerde meydana gelen ağırlık değişim oranı sülfat atağındaki numunelere göre daha fazladır. Yani asit içeren ortamlar çimentolu kompozitler için daha hasar vericidir.
- Çimento miktarının %30 oranında azaltılması ile kontrol numunesi ile aynı dayanıma sahip olması, betonun dayanıklılık özelliklerinin iyileştirilmesine katkı sunmasının yanı sıra doğaya bırakılan atıl malzemelerin değerlendirilmesi ile yeşil mutabakat dostu betonlar üretilebilmiştir.
- Her üç mineral katkının tekli ve ikili kombinasyonlarının basınç dayanımı ve ağırlık değişimine olan etkileri göz önüne alındığında asit ve sülfat atağına karşı en dirençli olan mineral katkının GYFC + UK olduğu anlaşılmıştır. Mineral katkıların tekli olarak çimento ile ikame edildiğinde ise asit ve sülfat atağına karşı GYFC'nin UK ve SD'den daha dirençli olduğu tespit edilmiştir.
- GYFC ve UK içeren numunelerin KD değerleri yine GYFC ve UK'nin ikili kombinasyonlarını içeren numunelerinki ile yakın değerlerdedir. GYFC ve UK'nin karbonatlaşmayı azaltıcı etkisini vardır.
- Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda çevrenin korunması, sürdürülebilir üretimlerin yapılabilmesi ve betonların servis ömrünün uzatılması için bu katkı malzemelerinin daha yüksek oranda kullanılabilirliğinin araştırılması gerekmektedir. Ayrıca, durabilite performansını geliştirebilecek özellikte olan ve kullanım alanı bulmayı bekleyen, farklı sektörlerde açığa çıkan yan ürünler değerlendirilmelidir. Sanayi iş birliği ile büyük ölçekte üretimler ile teşvik edici uygulamalara gidilmelidir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması veya çakışması yoktur.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamıştır.

Kaynakça

- Afroz M., Venkatesan S., Patnaikuni I. Effects of hybrid fibers on the development of high volume fly ash cement composite. *Construction and Building Materials* 2019; 215: 984-999.
- Ahmad W., Ahmad A., Ostrowski KA., Aslam F., Joyklad P., A scientometric review of waste material utilization in concrete for sustainable construction. *Case Studies in Construction Materials* 2021; 15: e00683.
- ASTM C 39. Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. *Annual Book of ASTM Standards*, 1994.
- ASTM Standard C1161-18. Standard test method for flexural strength of advanced ceramics at ambient temperature. West Conshohocken, PA, USA.
- Aydın P. Lastik atığın kompozit yapımında değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, 2015, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Aygörmez Y., Canpolat O. Long-term sulfuric and hydrochloric acid resistance of silica fume and colemanite waste reinforced metakaolin-based geopolymers. *Revista de la Construcción* 2021; 20(2): 291-307.
- Bankir MB., Sevim UK., Performance optimization of hybrid fiber concrete according to mechanical properties. *Construction and Building Materials* 2020; 261: 119952.
- Bankir MB., Sevim UK., Performance optimization of hybrid fiber concretes against acid and sulfate attack. *Journal of Building Engineering* 2020; (32): 101443.
- Chen Y., Gao J., Tang L., Li X. Resistance of concrete against combined attack of chloride and sulfate under drying-wetting cycles. *Construction and Building Materials* 2016; 106: 650-658.
- Chen JJ., Ng PL., Chu SH., Guan GX., Kwan AKH. Ternary blending with metakaolin and silica fume to improve packing density and performance of binder paste. *Construction and Building Materials* 2020; 252: 119031.
- Elyamany HE., Abd Elmoaty M., Diab ARA. Sulphuric acid resistance of slag geopolymer concrete modified with fly ash and silica fume. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering* 2020; 1-19.
- EN 13295. Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Test methods - Determination of resistance to carbonation. 2004.
- Gupta S. Effect of content and fineness of slag as high volume cement replacement on strength and durability of ultra-high performance mortar. *Journal of Building Materials and Structures* 2016; 3(2): 43-54.
- Gupta A., Gupta N., Saxena KK. Experimental study of the mechanical and durability properties of slag and calcined clay based geopolymer composite. *Advances in Materials and Processing Technologies* 2021; 1-15.
- Gürsel AP., Meral Ç. Türkiye’de çimento üretiminin karşılaştırmalı yaşam döngüsü analizi. 2. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü 2012; 1-13.

- Hadigheh SA., Gravina RJ., Smith ST. Effect of acid attack on FRP-to-concrete bonded interfaces. *Construction and Building Materials* 2017; 152: 285-303.
- Haynes H., Bassuoni MT. Physical salt attack on concrete. *Concrete International* 2011; 33(11): 38-42.
- Horoz A. Şanlıurfa yöresinde bulunan kalker ocaklarında atıl durumdaki elenmiş malzemelerin (Taş unu) taze ve sertleşmiş betona etkisi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2020.
- Hossain MU., Dong Y., Ng ST. Influence of supplementary cementitious materials in sustainability performance of concrete industry: A case study in Hong Kong. *Case Studies in Construction Materials* 2021; 15: e00659.
- Hsu S., Chi M., Huang R. Effect of fineness and replacement ratio of ground fly ash on properties of blended cement mortar. *Construction and Building Materials* 2018; 176: 250-258.
- Hwang CL., Lin CY. Strength development of blended blast-furnace slag-cement mortars. *Journal of the Chinese Institute of Engineers* 1986; 9(3): 233-239.
- Jena S., Panigrahi R. Evaluation of durability and microstructural properties of geopolymer concrete with ferrochrome slag as coarse aggregate. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering* 2021; 1-10.
- Jeong Y., Kang SH., Kim MO., Moon J. Acceleration of cement hydration from supplementary cementitious materials: Performance comparison between silica fume and hydrophobic silica. *Cement and Concrete Composites* 2020; 112: 103688.
- Jiang H., Yi H., Yilmaz E., Liu S., Qiu J. Ultrasonic evaluation of strength properties of cemented paste backfill: effects of mineral admixture and curing temperature. *Ultrasonics* 2020; 100: 105983.
- Kara C., Yazicioglu S. Mermer tozu atığı ve silis dumanının betonun karbonatlaşma özelliğine etkisi. *Journal of Science* 2016; 5(2): 191-202.
- Kumar S., Mucsi G., Kristály F., Pekker P. Mechanical activation of fly ash and its influence on micro and nano-structural behaviour of resulting geopolymers. *Advanced Powder Technology* 2017; 28(3): 805-813.
- Kumar R., Goyal S., Srivastava A. A comprehensive study on the influence of supplementary cementitious materials on physico-mechanical, microstructural and durability properties of low carbon cement composites. *Powder Technology* 2021; 394: 645-668.
- Malhotra VM. Reducing CO₂ emissions. *Concrete International* 2006; 28(9): 42-45.
- Mironyuk I., Tatarchuk T., Paliychuk N., Heviuk I., Horpynko A., Yarema O., Mykytyn I. Effect of surface-modified fly ash on compressive strength of cement mortar. *Materials Today: Proceedings* 2019; 35: 534-537.
- Ramezaniapour AA., Moeini MA. Mechanical and durability properties of alkali activated slag coating mortars containing nanosilica and silica fume. *Construction and Building Materials* 2018; 163: 611-621.

- Reynolds S. The future of ferrous slag,. Market Forecasts to 2020. Pira International Ltd., Cleeve Road, Surrey KT227RU, Leatherhead, UK, 2009.
- Sabzi J., Asadi Shamsabadi E., Ghalehnovi M., Hadigheh SA., Khodabakhshian A., Brito JD. Mechanical and durability properties of mortars incorporating red mud, ground granulated blast furnace slag, and electric arc furnace dust. *Applied Sciences* 2021; 11(9): 4110.
- Sadique M., Al-Nageim H. Hydration kinetics of a low carbon cementitious material produced by physico-chemical activation of high calcium fly ash. *Journal of Advanced Concrete Technology* 2012; 10(8): 254-263.
- Sailio M., Baroghel-Bouny V., Bertin M., Pradelle S., Vincent J. Phase assemblage of cement pastes with SCM at different ages. *Construction and Building Materials* 2019; 224: 144-157.
- Sezer Gİ. Compressive strength and sulfate resistance of limestone and/or silica fume mortars. *Construction and Building Materials* 2012; 26(1): 613-618.
- Şahin G., Önder HG. Atık yönetimi, sera gazı emisyonları ve Türkiye: Avrupa yeşil mutabakatı çerçevesinde bir değerlendirme. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi* 2021; 9(112): 194-216.
- Tekin İ. Sülfat etkisine maruz farklı çimento harçlarındaki makro boşluk yapısı gelişiminin bilgisayarlı tomografi yöntemi ile incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* 2010.
- Verbeck G. Carbonation of hydrated Portland cement. *ASTM International* 1958; 17-36.
- Zhang S., Yang L., Ren F., Qiu J., Ding H. Rheological and mechanical properties of cemented foam backfill: Effect of mineral admixture type and dosage. *Cement and Concrete Composites* 2020; 112: 103689.
- Zhang T., Ma B., Jiang D., Jiang Q., Jin Z. Comparative research on the effect of various mineral admixtures on the early hydration process of cement. *Construction and Building Materials* 2021; 301: 124372.

Hemşirelik Öğrencilerinin Akılcı İlaç Kullanımı ve Antibiyotik Kullanım Duyarlılığı

Mansur Seymen SEĞMENÖĞLU^{1*}

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, 80000, Osmaniye

¹<https://orcid.org/0000-0003-2743-6245>

*Sorumlu yazar: mansurseghmenoglu@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 29.03.2022
Kabul tarihi: 26.05.2022
Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Akılcı ilaç kullanımı
İlaç
Antibiyotik duyarlılığı
Antibiyotik
Hemşirelik öğrencisi

ÖZ

Bu makale, hemşirelik öğrencilerinin akılcı ilaç kullanımı ve antibiyotik kullanımına yönelik farkındalıklarını artırmaya, sağlıklı birey ve sağlıklı toplum hedefinin gerçekleşmesine katkı sunacaktır. Bu amaçla hemşirelik öğrencilerine bu konulardaki duyarlılıklarını ölçmek için anket uygulaması yapılmıştır. Çalışma Şubat-Mart 2022 tarihleri arasında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Hemşirelik Bölümü öğrencilerinde yapılan tanımlayıcı tipte bir çalışmadır. Hemşirelik öğrencilerinin %57'si (n: 260) çalışmaya gönüllü katılmayı kabul etmiştir. Anket formunda öğrencilerin akılcı ilaç kullanımını davranış durumlarını ve antibiyotik grubu ilaç kullanma duyarlılıklarını ölçme ile ilgili 14 önerme sorusu yer almıştır. Verilerin değerlendirilmesinde tanımlayıcı istatistiksel yöntemler (ortalama, standart sapma, frekans dağılımları ve yüzdeleri) kullanıldı. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edildi. Hemşirelik öğrencileri akılcı ilaç kullanım davranışı olarak, %77,2'si doktora danışarak ilaç kullandığını, %96,4'ü antibiyotiklerin reçete ile verilmesinin gerektiğini, %64,3'ü ilaç kullanma talimatını okuduğunu ve %86,6'sı doktor/eczacının belirttiği zamanlarda ilacı aldığını belirtti. Hemşirelik öğrencilerinin antibiyotik kullanım duyarlılığı yönünden ise, %76,8'inin antibiyotiği doktorun belirttiği süre boyunca kullandığı, %94,5'inin antibiyotik kullanım zamanlarına dikkat ettiği ve %67'sinin de reçetelenmeyen antibiyotiği kullanmadığı belirlendi. Sonuç olarak, hemşirelik öğrencilerinin akılcı ilaç kullanımına yönelik davranışları ve antibiyotik kullanımı duyarlılığı yönünden farkındalıklarının iyi düzeyde olduğu görüldü.

Rational Drug Use and Antibiotic Use Sensitivity of Nursing Students

Research Article

Article History:

Received: 29.03.2022
Accepted: 26.05.2022
Published online: 18.07.2022

Keywords:

Rational drug use,
Drug
Antibiotic sensitivity
Antibiotic
Nursing student

ABSTRACT

This article will contribute to the awareness of nursing students about rational drug use and antibiotic use, and to the realization of the goal of healthy individuals and healthy society. For this purpose, a questionnaire was applied to nursing students to measure their sensitivity on these issues. The study is a descriptive study conducted on Osmaniye Korkut Ata University Faculty of Health Sciences Nursing Department students between February and March 2022. In the study, 57% (n: 260) of the nursing students agreed to participate voluntarily. In the questionnaire form, there were 14 propositional questions about measuring the rational drug use behavior of students and their sensitivity to antibiotic group drug use. Descriptive statistical methods (mean, standard deviation, frequency distributions and percentages) were used in the evaluation of the data. The statistical significance level was accepted as $p < 0.05$. According to the rational drug use behavior of nursing students, 77.2% of them used drugs in consultation with the doctor, 96.4% of them said that antibiotics should be given with a prescription, 64.3% of them

read the prospectus for use of drugs, and 86.6% stated that they took their medication at the times specified by the doctor/pharmacist. In terms of antibiotic use sensitivity of nursing students, it was determined that 76.8% used antibiotics for the period specified by the doctor, 94.5% paid attention to antibiotic use times, and 67% did not use non-prescription antibiotics. As a result, it was observed that the awareness of nursing students in terms of rational drug use behaviors and sensitivity to antibiotic use was at a good level.

To Cite: Seğmenoğlu MS. Hemşirelik Öğrencilerinin Akılcı İlaç Kullanımı ve Antibiyotik Kullanım Duyarlılığı. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(2): 958-963.

1. Giriş

İlaçlar, insan sağlığına ve esenliğine önemli bir katkıda bulunur; hastalıkların önlenmesi ve tedavisinde önemli bir noktadır (Sema ve ark., 2021). Akılcı ilaç kullanımı (AİK), “hastaların klinik ihtiyaçlarına uygun ilaçları, kendi bireysel gereksinimlerini karşılayan dozlarda, yeterli bir süre boyunca, kendilerine ve topluma en düşük maliyetle alması” olarak tanımlanır (WHO, 2002). AİK, hem bireylerin sosyo-kültürel ve ekonomik geçmişi hem de eğitim ve sağlık okuryazarlığı düzeyi ile ilgilidir. Sağlık okuryazarlığı, “bireyin sağlığını korumak ve sürdürmek için sağlık bilgilerine erişme, anlama ve kullanma yeteneği” olarak ifade edilir (Güner, 2021). Akılcı olmayan ilaç kullanımı ise, ilaçların yukarıdaki tanıma uygun olmayan şekilde kullanılmasıdır. Yaygın irrasyonel ilaç kullanım örnekleri arasında polieczacılık (hasta başına aşırı ilaç kullanımı), uygun olmayan antibiyotik kullanımı, aşırı enjeksiyon kullanımı, reçetelerin uygulanmaması ve reçete edilmemiş kendi kendine ilaç kullanımı yer alır (WHO, 2002; Özdamar ve Mutlu, 2021). Akılcı olmayan ilaç kullanımı, özellikle de gelişmekte olan ülkeler başta olmak üzere dünya çapında önemli bir halk sağlığı sorunu olarak devam etmektedir (Özdamar ve Mutlu, 2021). Dünya’da antibiyotikler en sık kullanılan ilaçlardır (Topal ve ark., 2015; Seğmenoğlu, 2021).

Antibiyotiklerin klinik kullanıma girmesi, 20. yüzyılın en büyük tıbbi atılımı olarak ifade edilmektedir (Katz ve Baltz, 2016). Antibiyotikler, bulaşıcı hastalıkları tedavi etmenin yanı sıra kanser tedavisi, organ nakli ve açık kalp ameliyatı da dahil olmak üzere birçok modern tıbbi prosedürü mümkün kıldı (Hutchings ve ark., 2019). Kullanılan antibiyotiğin etkin olması için hastada uygun kullanımı gereklidir. Uygun antibiyotik kullanımı; doğru tanı sonrasında, doğru etken maddenin; uygun dozda, uygun aralıklarla, uygun süre ve uygun yoldan verilmesi olarak tanımlanabilir (Seğmenoğlu, 2021). Antibiyotiklerin yanlış veya ampirik seçimi, aşırı ve gereksiz kullanımı, viral hastalıklarda kullanımı, tarım ve hayvancılıkta yoğun antibiyotik kullanımı, hijyen yetersizliği ve koruyucu tedbirlerin yetersizliği gibi durumlar antibiyotik direncine neden olurlar (Aksoy ve Hızal, 2020).

Geleceğin hemşiresi olacak öğrencilerin, hemşirelik yaparken hastalarına uygulayacakları bakım ve eğitim çalışmaları esnasında, bireylerin akılcı ilaç kullanımı ve antibiyotik kullanımına yönelik farkındalıklarını artırması, sağlıklı birey ve sağlıklı toplum hedefinin gerçekleşmesine katkı sunacaktır.

Bu çalışma, hemşirelik bölümünde öğrenim gören lisans öğrencilerinin akılcı ilaç kullanımı ve antibiyotik kullanım duyarlılığını ölçmek amacıyla yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışma Şubat-Mart 2022 tarihleri arasında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Hemşirelik Bölümü öğrencilerinde yapılan tanımlayıcı tipte bir çalışmadır. Hemşirelik bölümünde 456 öğrenci eğitim görmekte olup %57'si (n: 260) çalışmaya gönüllü katılmayı kabul etmiştir. Veriler anket formu üzerinden elde edilmiş olup, anketin uygulandığı gün aktif olarak derse gelen öğrencilere uygulanmıştır. Anket uygulaması yaklaşık 5-10 dakikada tamamlanmıştır. Anket formunda öğrencilerin akılcı ilaç kullanımı davranış durumlarını ve antibiyotik grubu ilaç kullanma duyarlılıklarını ölçme ile ilgili 14 önerme sorusu yer almıştır. Önermelerle, hemşirelik öğrencilerinin akıllı ilaç kullanımına yönelik farkındalıkları ve hemşirelik öğrencilerinin antibiyotik kullanım duyarlılıkları hakkında, fikir edinilmeye çalışılmıştır.

Araştırmanın etik kurul izni; Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu'nun 25.02.2022 tarihli 2022/2/11 sayılı kararı ile alınmıştır. Çalışmaya katılan öğrenciler formu gönüllülük esasına dayalı olarak uyguladıklarını da formda belirtmişlerdir.

Verilerin değerlendirilmesinde tanımlayıcı istatistiksel yöntemler (ortalama, standart sapma, frekans dağılımları ve yüzdeleri) kullanıldı. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak kabul edildi.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışma hemşirelik bölümünde okuyan 260 öğrenci ile gerçekleştirildi. Araştırma kapsamında hemşirelik öğrencilerinin akıllı ilaç kullanımına ilişkin davranışları Tablo 1'de görülmektedir. Çalışmaya katılan hemşirelik öğrencilerinin %77,2'sinin doktora danışarak ilaç kullandığı, %64,3'ünün ilaç kullanma talimatını okuduğu, %86,6'sının doktor/eczacının belirttiği zaman diliminde ilacını aldığı, %77,6'sının doktor/eczacının belirttiği süre kadar ilacını kullandığı ve %96,4'ünün de antibiyotiklerin reçete ile verilmesini doğru bulduğunu belirtti (Tablo 1).

Tablo 1. Hemşirelik öğrencilerinin AIK ilişkin davranışlarının dağılımı (n=260)

Önermeler	Evet	Evet %	Bazen/ Kararsız	Bazen/ Kararsız %	Hayır	Hayır %
Doktora danışmadan kullandığım ilaçlar vardır.	21	8,1	38	14,7	201	77,2
İlaç kullanmadan önce "ilaç kullanım talimatları"nı okurum.	167	64,3	83	31,9	10	3,8
İlaç kullanım talimatlarını birebir uygularım.	144	55,3	88	33,9	28	10,8
İlaçları doktor/eczacının belirttiği zamanlarda alırım.	226	86,9	34	13,1	0	0
İlaçları doktor/eczacının belirttiği süre kadar kullanırım.	202	77,6	57	22	1	0,4
Antibiyotiklerin reçete ile verilmesini doğru buluyorum.	251	96,4	6	2,4	3	1,2

Çalışmada yer alan öğrencilerin %77,2'si doktora danışarak ilaç kullanmaktadır. Farklı bir hemşirelik öğrenci çalışmasında bu oran %80,8 olarak ifade edilmiştir (Yıldırım ve ark., 2021). Ekenler ve Koçoğlu (2016)'da aile sağlığı merkezine gelen vatandaşlarla yaptıkları çalışmada %22,7'lük bir kesimin doktora

danışarak ilaç kullandığını belirtmişlerdir. Farklı bir sağlık kuruluşuna gelen hastalar üzerine yapılan başka bir çalışmada da hastaların %74'lük bir kesimi doktora danışarak ilaç kullanmaktadır (Yapıcı ve ark., 2011). Çalışmada ve Yıldırım ve ark. (2021) çalışmalarında hemşirelik öğrencilerinin doktora danışarak ilaç kullanımında bulunmaları AİK farkındalığı için son derece önemlidir.

Çalışmada öğrencilerin ilaç kullanım talimatlarını okuma oranı %64,3, talimatları uygulama oranı ise %55,3'tür. Kütahya'da üniversite öğrencilerine yapılan bir çalışmada ilaç talimatlarını okuma oranını %62,9 olarak belirtmişlerdir (Özyiğit ve Arıkan, 2015). Yapıcı ve ark. (2011)'da sağlık kuruluşuna gelen hastalar üzerine yaptığı çalışmada ilaç kullanım talimatını %73,3'lük bir kesimin okuduğunu ve ayrıca düzenli olarak ilaç kullananların kullanmayanlara göre daha az talimatları okuduklarını ifade etmişlerdir. Hemşirelik öğrencileri ile yapılan başka bir çalışmada ilaç kullanım talimatını okuma olayını erkekler %53, kız öğrenciler %75,6 oranında gerçekleştirdiğini belirtmişlerdir (Yıldırım ve ark., 2021). Kız öğrencilerin ve düzenli ilaç kullanmayıp sağlık merkezine tedavi amacıyla gelen hastaların, yazılan ilaçla ilgili bilgi sahibi olmak için, kullanım talimatlarını okumaya daha meyilli oldukları görülmektedir.

Antibiyotiklerin lüzumundan fazla reçete edilmesi, reçetesiz alınabilmeleri ve tedavi dışı kullanılmaları, enfeksiyonla mücadelede en önemli silah olan, antibiyotiklere direnci arttırmakta ve dirençli bakteri suşlarının meydana gelmesine neden olmaktadır (Pasberg-Gauhl, 2014; Atila ve Barışık, 2017; Seğmenoglu, 2021). Bu nedenle antibiyotiklerin reçete ile verilmesi en önemli antibiyotiğin etkililiğini koruma yollarından biridir. Çalışmada öğrencilerin %96,4 ile antibiyotiğin reçetelenmesi yönünde fikir beyan etmeleri de AİK farkındalığı yönünden önemli bir göstergedir.

Araştırma kapsamında hemşirelik öğrencilerinin antibiyotik kullanım duyarlılığına ilişkin davranışları Tablo 2'de görülmektedir. Öğrencilerin %76,8'inin antibiyotiği doktorun belirttiği süre boyunca kullandığı, %94,5'inin antibiyotik kullanım zamanlarına dikkat ettiği, %67'sinin doktorun yazmadığı antibiyotiği kullanmadığı ve %76'sının da kullandığı antibiyotiği çevresine tavsiye etmediği belirlendi (Tablo 2).

Tablo 2. Hemşirelik öğrencilerinin antibiyotik kullanım duyarlılığı dağılımı (n=260)

Önermeler	Evet	Evet %	Bazen/ Kararsız	Bazen/ Kararsız %	Hayır	Hayır %
Antibiyotiği doktorun belirttiği süre boyunca kullanırım.	200	76,8	47	18	13	5,2
Antibiyotiği kullanırken ilaç alım zamanlarına dikkat ederim.	246	94,5	14	5,5	0	0
Antibiyotiği, doktorun belirttiği süreden önce, rahatsızlığım bittiğinde bırakırım.	34	13,1	42	16,2	184	70,7
Antibiyotiği doktor yazsa da kolay kolay kullanmam.	17	6,5	78	30	165	63,5
Rahatsızlandığımda, doktora danışmadan, bulduğum antibiyotiği kullanmaya başlarım.	10	3,8	25	9,6	225	86,6
Bitkisel ürünleri antibiyotik yerine kullanılabirim.	22	8,5	61	23,4	177	68,1
Doktorun aynı etken maddeli antibiyotiklerden "yerli üretim" olanını bana reçetelemesini isterim.	36	13,8	97	37,2	127	49
Çevremde rahatsızlığımı bildiğim insanlara kullandığım antibiyotiği tavsiye ederim.	6	2,4	56	21,6	198	76

Çalışmada öğrencilerin %94,5'u antibiyotiği alım zamanlarına dikkat ederken, %76,8'i de doktorun belirttiği süre boyunca antibiyotiği kullanmakta ve %86,6'sı doktora danışarak antibiyotik kullanmaktadır. Aynı çalışmada AİK davranışları ile antibiyotik kullanma duyarlılığını karşılaştırdığımızda, öğrencilerin AİK davranışları ne kadar yüksek olsa da, antibiyotiği doktora danışarak kullanım davranışları ve antibiyotiği doktor/eczacının belirttiği zamanında kullanım düzeylerinin de yüksek olduğu görülmektedir. Sağlık merkezine gelen hastalar üzerine yapılan bir çalışmada hastaların %84,4'ünün doktora danışarak antibiyotik kullanma eğilimde olduğu belirtilmiştir (Ekenler ve Koçoğlu, 2016). Üniversite öğrencileri üzerine yapılan farklı bir çalışmada öğrencilerin %67,8'i hekim önerisi doğrultusunda antibiyotik kullanma eğiliminde olduğu ifade edilmiştir (Özyiğit ve Arıkan, 2015). Çalışmamızda yer alan öğrencilerin sağlık alanında olması, antibiyotiğe ulaşma ve kullanma farkındalıklarına olumlu katkı yaptığı görülmektedir.

Çalışmada hemşirelik öğrencilerinin %70,7'si rahatsızlığı bitmesine rağmen antibiyotiğe devam ederek, %68,1'i antibiyotik yerine bitkisel ürünleri tercih etmeyerek ve ayrıca antibiyotiği çevrelerinde rahatsızlıklarını bildikleri insanlara önermeyerek (%76), antibiyotik kullanım duyarlılığı yönünden olgun davranışlar sergilediği tespit edilmiştir.

4. Sonuç

Hemşirelik öğrencilerinin akılcı ilaç kullanımına yönelik davranışları ve antibiyotik kullanımı konusunda duyarlılıkları incelendiğinde, AİK ve antibiyotik kullanım duyarlılığı yönünden farkındalıklarının iyi düzeyde olduğu görüldü. Hemşirelik öğrencilerinin bu düzeyini korumak ve daha ileri taşıyabilmek için, öğrencilerin farkındalık eğitimleri artırılmalı ve bu eğitimlerin sürdürülebilirliği sağlanmalıdır.

Teşekkür

Lisans ders eğitimi ve öğretimi esnasında kısa bir süre de olsa anket uygulamasına destek olan Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi'nin değerli akademisyenlerine teşekkür ederim.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Aksoy A., Hızal ÖG. Antibiyotikler ve antibiyotik direnci. Erişkin hastada antibiyotik kullanımına akılcı yaklaşım. T.C. Sağlık Bakanlığı Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu Akılcı İlaç Kullanımı Dairesi, Ankara. Sağlık Bakanlığı Yayın No: 1188, 2020. ISBN: 978-975-590-796-3.
- Atila D., Barışık V. Akılcı antibiyotik kullanımı. Klinik Tıp Aile Hekimliği Dergisi 2017; 9: 3.

- Ekenler Ş., Koçoğlu D. Bireylerin akılcı ilaç kullanımıyla ilgili bilgi ve uygulamaları. Hacettepe Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi 2016; 3(3): 44-55.
- Güner TA. Effect of education on rational drug use and health literacy in people with diabetes mellitus. Cukurova Med J 2021; 46(1): 240-247.
- Hutchings M., Truman AW., Wilkinson B. Antibiotics: past, present and future. Current Opinion in Microbiology 2019; 51: 72–80.
- Katz L., Baltz RH. Natural product discovery: past, present, and future. J Ind Microbiol Biotechnol 2016; 43: 155-176.
- Özdamar EN., Mutlu HH. Evaluation of the rational drug use by using the World Health Organization core prescribing indicators at the obesity outpatient clinic of a tertiary care hospital. Ege Journal of Medicine 2021; 60(1): 13-19.
- Özyiğit F., Arıkan İ. Kütahya ilinde üniversite öğrencilerinin akılcı ilaç kullanımı hakkında bilgi, tutum ve davranışları. Bozok Tıp Derg 2015; 5(1): 47-52.
- Pasberg-Gauhl C. A need for new generation antibiotics against MRSA resistant bacteria. Drug Discovery Today: Technologies, Drug resistance 2014; 11.
- Seğmenoğlu MS. Antibiyotiklere güncel yaklaşım. Temel Tıp ve Klinik Uygulamalar. Bölüm 6, İksad Publishing House 2021; 111-133. ISBN: 978-625-7562-51-5.
- Sema FD., Asres ED., Wubeshet HD. Evaluation of rational use of medicine using WHO/INRUD core drug use indicators at Teda and Azezo Health Centers, Gondar Town, Northwest Ethiopia. Integrated Pharmacy Research and Practice 2021; 10: 51–63.
- World Health Organization. Promoting rational use of medicines: Core components. Geneva: World Health Organization; 2002.
- Yapıcı G., Balıkçı S., Uğur Ö. Birinci basamak sağlık kuruluşuna başvuranların ilaç kullanımı konusundaki tutum ve davranışları. Dicle Tıp Derg 2011; 38(4): 458-465.
- Yıldırım ÖÖ., Korkmaz M., Avcı İA. Hemşirelik öğrencilerinin akılcı ilaç kullanımına yönelik farkındalıkları ile sağlık algılarının incelenmesi. Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi 2021; 5(2): 251-260.



Makarna ve Erişte Çeşitlerinde Glioksal ve Metilglioksal Biyoerişilebilirliklerinin *In vitro* Sindirim Metodu ile Belirlenmesi

Serap ANDAÇ ÖZTÜRK^{1*}, Gökçen GARİPOĞLU²

¹ İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, 34303, İstanbul

² Bahçeşehir Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, 34349, İstanbul

¹ <https://orcid.org/0000-0002-6253-4118>

² <https://orcid.org/0000-0001-7430-5163>

*Sorumlu yazar: serap.ozturk@izu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 05.05.2022

Kabul tarihi: 26.05.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Makarna

İleri Glikasyon Son Ürünleri

Biyoerişilebilirlik

ÖZ

Besinlerin işlenmesi sırasında oluşan İleri Glikasyon Son Ürünlerinin [Advanced Glycation End Products (AGEs)] heterojenliği, fizyolojik olarak oluşan AGE'lerden daha fazladır ve diyet AGE'lerinin çeşitli olması etkilerini karmaşıktır. Diyetle alınan AGE'lerin kronik hastalık riskini arttırdığı bilinmektedir. Bu çalışmada toplum tarafından sık tüketilen besinlerden olan makarna ve eriştelede başlangıç ve *in vitro* sindirim sonrası AGE öncülleri olan glioksal (GO) ve metilglioksal (MGO) düzeyleri ve biyoerişilebilirlikleri araştırılmıştır. Makarna ve erişte örneklerindeki başlangıç GO ve MGO değerleri sırasıyla 0,112-2,607 µg /100 g ve 1,641-11,675 µg /100 g olarak saptanmıştır. *In vitro* sindirim sonrasında tüm örneklerdeki GO ve MGO içeriklerinde artış saptanmıştır. Sindirim sonrası GO ve MGO içerikleri sırasıyla 0,847 ile 6,624 µg /100 g ve 5,563 ile 24,932 µg /100 g olarak belirlenmiştir. Biyoerişilebilirlik oranları ise GO için %208-1098, MGO için %110-519'dur. Sindirim sürecinde açığa çıkan serbest şeker miktarının AGE öncüllerinin artışına katkıda bulunduğu düşünülmüştür. Bununla birlikte sindirim sonrasında her ne kadar ürünlerin GO ve MGO biyoerişilebilirlikleri artmış olsa da 100 gram üründeki miktarları incelendiğinde ürünlerin AGE öncülleri içeriğinin düşük olduğu söylenebilir. İnsan beslenmesi genel olarak karışık bir kompozisyona sahip olduğundan diyetle yer alan tüm besinlerin AGE içerikleri önem arz etmektedir. Bu nedenle ülkemizde sık tüketilen ürünlerin AGE içeriklerinin belirlenmesi ve içeriklerin azaltılabilmesine yönelik tekniklerin geliştirilmesinin halk sağlığı açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

Determination of Glyoxal and Methylglyoxal Bioaccessibility in Pastas and Noodles Varieties by *In vitro* Digestion Method

Research Article

Article History:

Received: 05.05.2022

Accepted: 26.05.2022

Published online: 18.07.2022

ABSTRACT

The heterogeneity of Advanced Glycation End Products (AGEs) formed during food processing is greater than that of physiologically formed AGEs, and the diversity of dietary AGEs complicates their effects. It is known that dietary AGEs increase the risk of chronic diseases. In this study, pasta and

Keywords:

Pasta
AGEs
Bioaccessibility

noodles, which are commonly consumed by the society, initial and after *in vitro* digestion glyoxal (GO) and methylglyoxal (MGO) levels were investigated. Initial GO and MGO values in pasta and noodle samples were determined as 0,112- 2,607 µg/100 g and 1,641-11,675 µg/100 g, respectively. After the *in vitro* digestion process, an increase in GO and MGO contents was detected in all samples. The GO and MGO contents after digestion were determined as 0,847 and 6,624 µg/100 g and 5,563 and 24,932 µg/100 g, respectively. Bioaccessibility rates were 208-1098 % for GO and 110-519 % for MGO. The amount of free sugar released during the digestive process was thought to contribute to the increase of AGE precursors. However, although GO and MGO bioaccessibility of the products increased after digestion, it can be said that they do not have a high content of AGE precursors when their amounts in 100 grams of product are examined. Since human nutrition generally has a mixed composition, the AGE content of all foods in the diet is important. For this reason, it is thought that it is important for public health to determine the AGE content of frequently consumed products in our country and to develop techniques to reduce the content.

To Cite: Öztürk SA., Garipoğlu G. Makarna ve Erişte Çeşitlerinde Glioksal ve Metilglioksal Biyoerişilebilirliklerinin *In vitro* Sindirim Metodu ile Belirlenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(2): 964-976.

1.Giriş

İleri Glikasyon son ürünleri [Advanced Glycation End Products (AGE)], glukoz veya diğer sakkarit türevlerinin proteinler veya lipitlerle enzimatik olmayan reaksiyonlarından türeyen heterojen moleküllerdir (Perrone ve ark, 2020). İndirgeyici şekerlerin (glikoz, galaktoz ve fruktoz), proteinlerin, peptitlerin, amino asitlerin ve nükleik asitlerin amino gruplarıyla reaksiyona girmesi ile gerçekleşen Maillard reaksiyonu (MR) (Gill ve ark, 2019) sonucu oluşan kararsız Schiff bazları daha kararlı bileşikler olan Amadori ürünlerine dönüşür (Cintesun ve ark, 2022). Amadori ürünleri de zamanla AGE öncülleri olan glioksal (GO) ve metilglioksal (MGO) bileşiklerine dönüşür (Cintesun ve ark, 2022).

Temel olarak endojen üretilen ve eksojen alınan olmak üzere 2 tür AGE bulunmaktadır (Gill ve ark, 2019). Endojen AGE'ler bir dizi karmaşık enzimatik reaksiyonların sonucunda karbonhidrat ve proteinlerin glikasyonu ile oluşur. Eksojen AGE'ler ise diyet yoluyla alındığı için diyet AGE'leri (dAGE) olarak adlandırılır ve besin işleme sırasında enzimatik olmayan reaksiyonlarla hızlı ve yoğun miktarda oluşurlar (Nie ve ark, 2022). Izgara ve kızartma gibi yüksek ısıda pişirme teknikleri besinlerde lezzeti ve yapıyı güçlendirirken, bunu sağlayan MR ürünleri, AGE oluşumuna neden olan esas etkendirler (Gill ve ark, 2019). Ayrıca, gıdalara uygulanan ısı işlem sırasında oluşan AGE'lerin heterojenliği, fizyolojik olarak oluşan AGE'lerden daha fazladır ve diyet AGE'lerinin çeşitli olması etkilerini karmaşıklaştırmaktadır (Snelson ve Coughlan, 2019).

Modern diyetlerde bisküvi, unlu mamuller ve kahvaltılık gevrekler gibi işlenmiş tahıl ürünleri, süt tozu ve kuru ısıda pişen beyaz ve kırmızı etlerin tüketim sıklığı ve miktarı yüksek miktarda AGE alımı ile ilişkilidir (Scheijen ve ark., 2016). Ayrıca diyetle aşırı şeker alımının, özellikle fruktoz miktarının AGE oluşumuna etkisinin çok daha fazla olduğu belirtilmektedir (Aragno ve Mastrocola, 2017). Diyetle günlük 25-75 mg arasında AGE, 500-1200 mg arasında ise Amadori ürünleri, alındığı tahmin edilmektedir (Snelson ve Coughlan, 2019). Diyetle alınan ve dolaşıma geçen AGE'ler günlük alınan

kalori, pişirme yöntemleri ve böbrek fonksiyonları gibi faktörlerden etkilenmektedir (Negrean ve ark, 2007; Kutlu, 2016).

Diyet AGE'lerinin sindirim sisteminde ne düzeyde emildiği ve dolaşıma katıldığı ise tam olarak bilinmemektedir (Scheijen ve ark, 2016). Bu nedenle sindirim sisteminde çözünen miktar olarak değerlendirilen ve alınan dozdan ziyade insan vücudu tarafından potansiyel olarak emilime hazır miktarı ölçmek için kullanılan biyoerişilebilirliklerinin de tahmini önemlidir (Liu ve ark, 2019). *In vitro* biyoerişilebilirlik gastrointestinal sistem koşullarını birebir yansıtamayabilir, ancak *in vitro* gastrointestinal sindirim modellerinin preabsorpsiyon fazını tahmin etmede faydalı olacağı düşünülmektedir (Yaman ve ark, 2021). Diyetle alınan AGE miktarı arttıkça plazmadaki AGE düzeyi de artmaktadır. Dolayısıyla diyetle alımın kısıtlanması diyabet, ateroskleroz ve böbrek hastalıkları gibi toplumda sıklığı giderek artan hastalıkların azaltılmasına katkı sağlayabilir (Goldberg ve ark., 2004).

Tahıl ve tahıl ürünleri, dünya nüfusunun çoğu için temel enerji ve besin kaynağını oluşturmaktadır. Bu nedenle toplam diyet AGE alımına önemli katkı sağlayan ürünlerdir. İndirgenmiş karbonhidrat miktarı tahıl türlerinde farklılık gösterir, bununla birlikte amino asit türü ve miktarı MR hızını ve dolayısıyla AGE içeriğini etkiler (Žilić ve ark., 2021). Ulusal Beslenme Rehberi içerdiği vitamin, mineral ve diyet lifi gibi sağlık için önemli besinsel değeri nedeniyle, işlenmemiş tahıl ürünlerinin günlük 3-7 porsiyon tüketilmesini önermektedir (TÜBER, 2015). Tahıl ürünlerinden makarna, toplumlarda her yaşta bireyin tükettiği besinlerdendir (Papanikolaou, 2020). Bugüne kadar yapılan çalışmalarda makarnalarda AGE öncüllerinin içeriği ile ilgili veriler yetersizdir. Bu nedenle çalışmamızda toplum tarafından sık tüketilen, kolay hazırlanan ve ekonomik olarak ulaşılabilir olan makarnalarda AGE öncülleri olan GO ve MGO içeriklerinin ve biyoerişilebilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Örneklem

Bu çalışmada İstanbul ilindeki farklı marketlerden toplanmış olan 14 farklı makarna ve erişte örneği kullanılmıştır. Ürün özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur.

2.2. Materyal

GO (%40), MGO (%40), metanol, asetonitril, trikloroasetik asit, sodyum asetat, 4-nitro-1,2-fenilendiamin, alfa-amilaz (1.5 U/mg), pepsin (≥ 250 ünite/mg), pankreatin (8 x USP), lipaz (100-500 ünite/mg), NaHCO₃, CaCl₂·2H₂O, KCl, NaCl, serum albümin (sığır), safra tuzları, üre, ürik asit ve müsin Sigma- Aldrich'ten (St. Louis, MO, ABD) temin edilmiştir.

2.3. GO ve MGO ekstraksiyonu ve HPLC tayini

Homojenize edilmiş numunelerden 50 mL'lik plastik falkon tüplere 5 g konuldu ve üzerine 25 mL metanol ilave edildi. Daha sonra karışım 1 dk vorteks edildikten sonra 8000 rpm'de 5 dk santrifüj edildi. Santrifüj edilen süpernatantdan 1 mL alındı ve 10 mL'lik cam tüp içine alındı. Daha sonra

üzerine 1 mL sodyum asetat tamponu (0.1 M, pH: 3) ilave edildi. Türevlendirme işlemi için üzerine 4-nitro-1.2- fenlendiamin içeren solüsyonundan (%1 metanol içinde) 0,5 mL ilave edildi ve 70 °C'de 20 dk çalkalamalı su banyosunda inkübe edildi. Numuneler 0,45 µm'lık selüloz asetat filtresi ile süzüldü ve HPLC'ye enjekte edildi (Cengiz ve ark., 2020).

GO ve MGO'nun HPLC tayini Shimadzu SPD-20A UV/VIS dedektörü (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japonya) ile Shimadzu LC 20AT pompasından oluşan HPLC Sisteminde gerçekleştirilmiştir. Ayırma işleminde Metanol:Su:Asetonitril'den (42:56:2 v/v/v) oluşan mobil faz kullanılmıştır. Kolon akış hızı 1 mL/dk'ya, dedektör dalga boyu 254 nm'ye ve kolon fırın sıcaklığı 30 °C'ye ayarlandı.

2.4. *İn vitro* biyoerişilebilirlik tayini

Biyoerişilebilirlik üç aşamalı *in vitro* gastrointestinal sindirim modeli ile belirlenmiştir (Lee et al., 2016). Biyoerişilebilirlik için hazırlanan ağız, mide, ince bağırsak ve safra solüsyonu içeriği Tablo 2'de gösterilmiştir.

2.4.1. *İn vitro* sindirim

Homojen edilmiş makarna örneklerinden 5 g tartıldı ve 50 mL'lik plastik falkon tüp içine alındı. Karışım üzerine ağız solüsyonundan 5 mL ilave edildi ve çalkalamalı su banyosunda 37 °C' de 5 dk inkübe edildi. Daha sonra 10 mL mide sıvısı karışım üzerine ilave edildi ve 37 °C' de 30 dk çalkalamalı su banyosunda inkübe edildi. İnce barsak aşamasında ise safra sıvısından 5 mL ilave edildi ve pH 7 olacak şekilde ayarlandı. İnce bağırsak sıvısından 10 mL eklendi ve 37 °C'de çalkalama su banyosunda 2 saat inkübe edildi. Enzimatik reaksiyonu durdurmak için 5 ml TCA (%20) ilave edildi. Karışımın son hacim deiyonize su ile 50 mL'ye tamamlandı ve 8000 rpm'de 5 dk santrifüj edildi.

2.5. İstatistiksel analizler

Her bir çalışma üç kez tekrar edildi ve standart sapması hesaplandı. Uygulamalar arasındaki önemli farklılıklar tek yönlü varyans analizi (ANOVA $p < 0,05$, Tukey testi) kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirildi.

3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

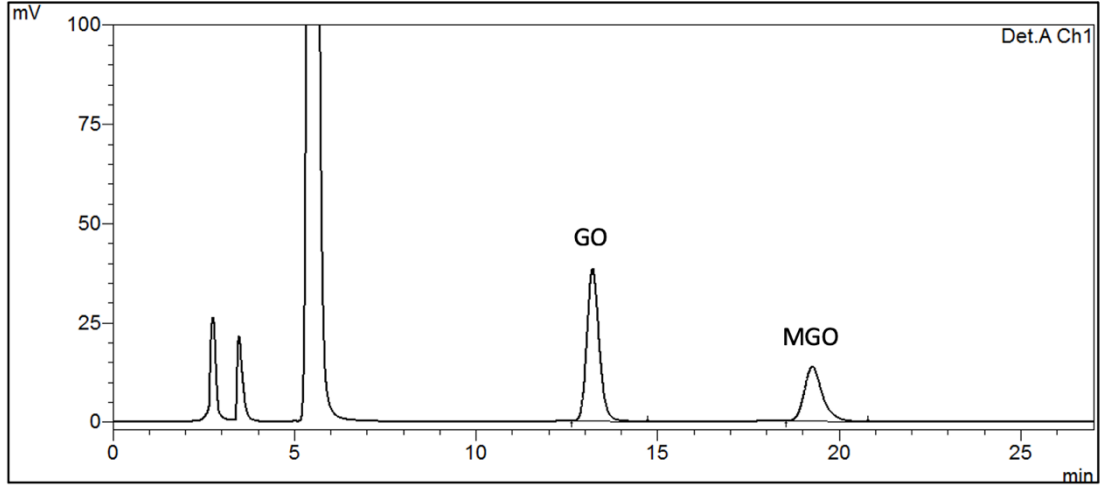
3.1. Başlangıç GO ve MGO değerleri

Makarna ve erişte örneklerinin başlangıç ve *in vitro* sindirim sonrasındaki GO ve MGO değerleri ve biyoerişilebilirlikleri Tablo 3'de verilmiştir.

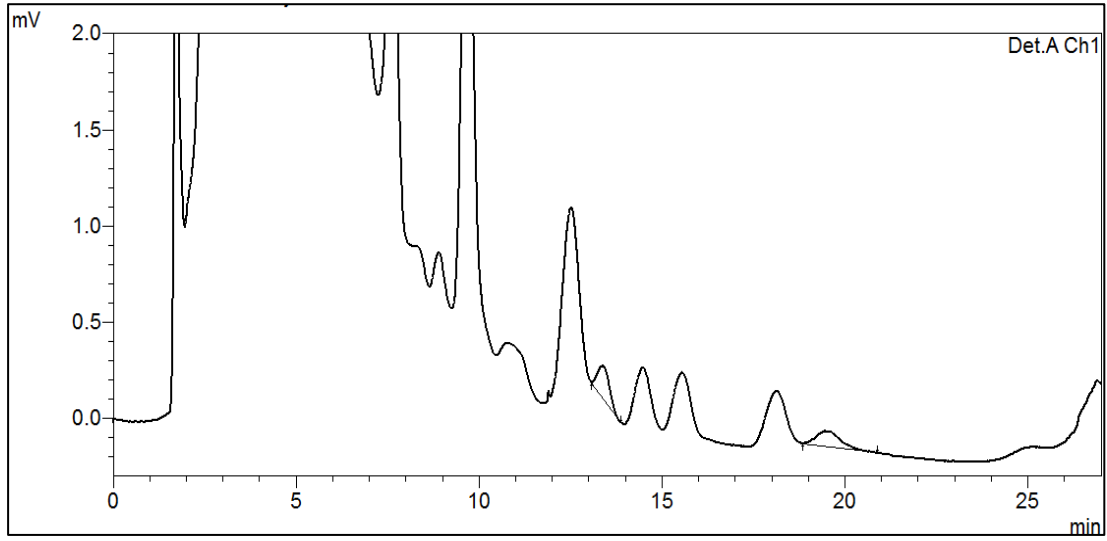
GO ve MGO'nun standart HPLC kromatogramı ile tam buğday unu ve siyez makarnasında örnek HPLC kromatogramları Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'de sunulmuştur.

Makarna ve erişte örneklerindeki başlangıç GO değerlerinin 0,112- 2,607 $\mu\text{g} / 100 \text{ g}$ arasında olduğu, MGO değerlerinin ise 1,641-11,675 $\mu\text{g} / 100 \text{ g}$ arasında olduğu saptanmıştır (Tablo 3). AGE'ler endojen ve ekzojen olarak ikiye ayrılır. Ekzojen AGE'ler genel olarak işlenmiş veya pişmiş ürünlerden oluşurken, AGE havuzuna olan katkılarının endojen AGE'lerden daha fazla olduğu dūřünölmektedir. Bu nedenle besinlerin AGE miktar ve içeriklerinin belirlenmesi önemlidir (Gill ve ark., 2019). Besinlerin ısııl işleme maruziyetleri ileri glikasyon ürünlerinin potansiyel öncüleri olan GO ve MGO gibi dikarbonil bileşiklerin oluşmasına neden olur (Arribas-Lorenzo ve Morales, 2010). AGE'ler işleme, sterilizasyon, paketlenme ve gıda ürünlerinin uzun süreli depolanması gibi prosedürlerin herhangi bir aşamasında oluşabilir (Zhang ve ark., 2020).

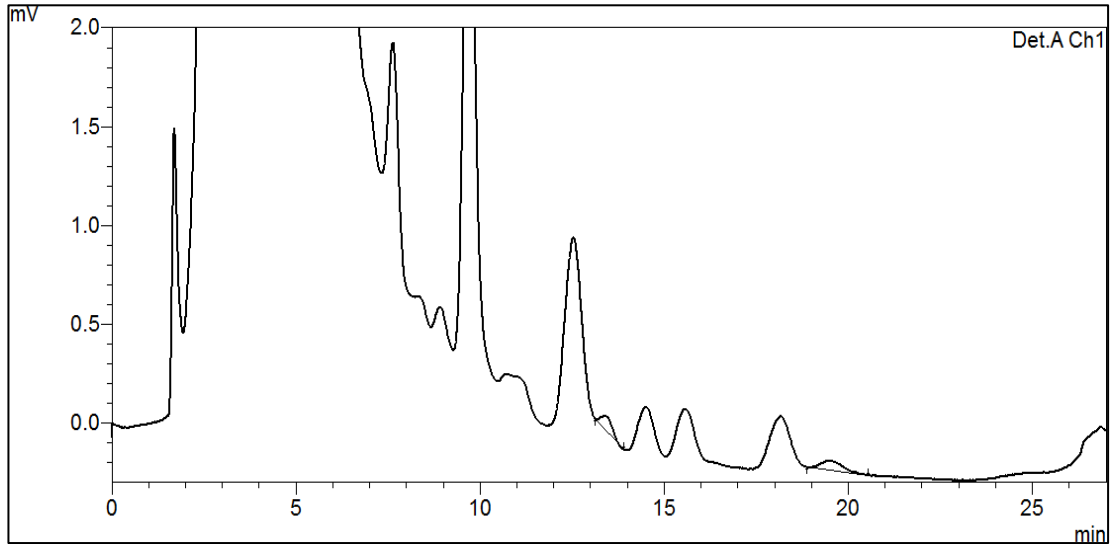
Makarna üretim aşamasında kurutma $<60 \text{ }^\circ\text{C}$ de, $70-80 \text{ }^\circ\text{C}$ veya $110 \text{ }^\circ\text{C}$ derecede olabilir ve uygulanan ısıya bağlı olarak da kurutma süresi sırasıyla 20 saat, 7-8 saat ve 1-2 saat arasında değişebilmektedir. Günümüzde birçok üretici firma yüksek ve çok yüksek sıcaklık prosedürünü tercih etmektedir (Giannetti ve ark., 2021). MR, AGE oluşumu için önemli olup $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ve 4-7 pH aralığında meydana gelebilmektedir (Cintesun ve ark., 2022). Makarna üretim teknolojisinin çeşitli basamaklarında ısııl işlem aralığının MR için yeterli olduğu söylenebilir. Çalışmamızda ürünlerin başlangıç GO ve MGO miktarlarının dūřük olduğu, benzer şekilde ekmek eřitlerinin GO ve MGO düzeyleri üzerinde yapılan çalışma ile kıyaslandığında da sonuçlarımızın daha dūřük ancak verilerin birbirine yakın olduğu görölmektedir (Ozgolet ve ark., 2022). Degen ve ark. (2012) yapmış oldukları çalışmada ise makarnalarda MGO'un saptanamadığını bildirilmiştir. Urbarri ve ark. (2010) 8 ve 12 dk pişmiş makarnalardaki AGE miktarlarını sırası ile 112 kU/100 g ve 242 kU/100 g olarak bulmuşlardır. Bařka bir çalışmada krakerlerin MGO değerlerini 51-104 $\mu\text{g} / 100 \text{ g}$ olarak saptanmış (Cintesun ve ark., 2022), bisküvilerde yapılan başka bir çalışmada ise GO ve MGO değerleri sırasıyla 35-224 $\mu\text{g} / 100 \text{ g}$ ve 32-1573 $\mu\text{g} / 100 \text{ g}$ olarak bulunmuştur (Cintesun, 2022). Yaman (2021) ise çalışmasında bisküvilerin GO değerlerini 81-169 $\mu\text{g} / 100 \text{ g}$, MGO değerlerini 55-607 $\mu\text{g} / 100 \text{ g}$ olarak belirlemiştir. İlgili alışmalar ile kıyaslandığında çalışmamızda elde edilen GO ve MGO miktarlarının oldukça dūřük miktarlar olduğu göze çarpmaktadır. Ekmek ve makarna yapımında AGE oluşuna katkı verecek içeriklerin bisküvi ve krakerlere göre daha az olması, uygulanan ısııl işlemin de daha dūřük olması bu sonucu etkilemiş olabilir.



Şekil 1. GO ve MGO'nun standart HPLC kromatogramı



Şekil 2. Tam buğday unu makarnasına ait HPLC kromatogramı



Şekil 3. Siyez makarnasına ait HPLC kromatogramı

3.2. *In vitro* GO ve MGO değerleri ve biyoerişilebilirlikleri

In vitro sindirim işlemi sonrasında makarna ve erişte örneklerinin tümünde GO ve MGO içeriklerinde artış saptanmıştır. Sindirim sonrası GO ve MGO içerikleri sırasıyla 0,847 ile 6,624 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ ve 5,563 ile 24,932 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ olarak belirlenmiştir. GO için en yüksek biyoerişilebilirlik %1098 ile yumurtalı eriştelerde, MGO’da ise en yüksek biyoerişilebilirlik %519 ile standart makarnada görülmüştür (Tablo 3).

Cintesun ve ark.’nın (2022) yaptığı çalışmada *in vitro* sindirim sonrasında krakerlerin MGO değerleri 274- 408 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ olarak saptanmıştır. Artış oranı ise %226- 628 olarak belirtilmiştir. Çalışmada yazarlar besinlerin yağ kompozisyonun lipid peroksidasyonunda önemli bir etken olduğunu, bunun yanı sıra gastrointestinal kanaldaki prooksidan koşullarda lipid peroksidasyonunun artacağını belirterek sindirim sonrasındaki bu artışın ürünlerin şeker içerikleri ve lipid peroksidasyonu aracılığı ile oluşan ileri lipoksidasyon son ürünlerinden (ALE) kaynaklanabileceğini ne sürmüşlerdir. Biskvilerle yapılan bir çalışmada ise *in vitro* sindirim sonrasında rnlerin GO değerleri 202-52 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, MGO değerleri 220-59 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ olarak saptanmıştır. Aynı çalışmada, kahvaltılık gevrek ve cips gibi ürünlerin de sindirim sonrasında GO ve MGO içeriklerinin arttığı bildirilmiştir (Yaman, 2021). Farklı mayalarla yapılan ekmeklerin, sindirim sonrası GO ve MGO içeriklerinin araştırıldığı bir başka çalışmada da GO ve MGO içeriklerinde artış saptanmıştır (Ozgolet ve ark., 2022). Mevcut çalışmadaki bu artışın sindirim süreci boyunca açığa çıkan serbest şeker miktarının gastrointestinal sistemde AGE öncüllerinin artışına katkıda bulunmasından kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Her ne kadar çalışmamızda ürünlerin *in vitro* sindirim sonrasında GO ve MGO biyoerişilebilirliklerinin artmış olduğu görülse de, yüksek ısıl işlem görmüş kraker, bisküvi gibi ürünlerin 100 gramlık porsiyonları ile kıyaslandığında, diyet AGE alımına olan katkısının daha az olacağı görülmektedir.

Tablo 1. Ürünlerin beyan edilen enerji, makro besin öğeleri ve içindikiler

Örnek no	Ürün özelliği	Enerji	Karbonhidrat	Protein	Yağ	Lif	İçindikiler
1	Glutensiz makarna	345	79	5,5	0	0	Mısır unu, su
2	Tam buğday unu makarnası	347	69,6	12,1	0	8,1	Tam durum buğdayı irmiği, su
3	Siyez makarnası	-	-	-	-	-	Siyez buğdayı unu, tuz, su
4	Kepekli makarna	353	67,6	12,5	2,1	6,7	Durum buğdayı irmiği, durum buğdayı kepeği, su
5	Organik makarna	358	77	10,5	1	0,3	Organik durum buğdayı irmiği, su
6	Yüksek proteinli makarna	360	53,7	32	0,7	5,6	Durum buğdayı irmiği, protein karışımı, su
7	Proteinli makarna	-	-	11	-	-	Durum buğdayı irmiği, su
8	Domatesli makarna	356	72,2	10,8	1,7	4,1	Durum buğdayı irmiği, domates salçası, su
9	İspanaklı makarna	356	72,2	10,8	1,7	4,1	Durum buğdayı irmiği, ıspanak tozu, su
10	Standart makarna	357	73,3	10,7	2,9	2,9	Durum buğdayı irmiği, su
11	İspanaklı erişte	362	72	16,6	0,4	4,8	Buğday unu, süt, yumurta, ıspanak kurusu, tuz, su
12	Domatesli erişte	371	77	12,2	1,5	2,3	Buğday unu, süt, yumurta, domates kurusu, tuz, su
13	Tam buğdaylı erişte	345	71	10,8	1,2	2,3	Tam buğday unu, süt, yumurta, tuz, su
14	Yumurtalı erişte	-	-	-	-	-	Durum buğdayı irmiği, yumurta sarısı toz, su

Tablo 2. Ağız, mide, ince bağırsak ve safra solüsyonu bileşenleri ve konsantrasyonları

	Ağız (1000 mL)	Mide (1000 mL)	İnce Bağırsak (1000 mL)	Safra (1000 mL)
	3,4 mL NaCl (175,3 g/L)	33 mL HCl (37 g/L)	13 mL KCl (89,6 g/L)	136 mL NaHCO ₃ (84,7 g/L)
Organik ve inorganik bileşenler	16 mL üre (25 g/L)	36 mL CaCl ₂ .2H ₂ O (22,2 g/L)	18 mL CaCl ₂ .2H ₂ O (22,2 g/L)	20 mL CaCl ₂ .2H ₂ O (22,2 g/L)
	30 mg ürik asit	2 g sığır serum albumin	2 g sığır serum albumin	3,6 g sığır serum albumin
				60 g safra
Enzimler	580 mg α-amilaz	5 g pepsin	18 g pankreatin	
	50 mg müsin	6 g müsin	3 g lipaz	
pH	7,0 ± 0,2	1,50 ± 0,1	7,5 ± 0,2	7,0 ± 0,2

Tablo 3. Makarna ve erişte örneklerinin başlangıç ve *in vitro* sindirim sonrasındaki GO, MGO içerikleri ile biyoerişilebilirlik yüzdeleri

Örnek	GO değerleri ($\mu\text{g}/100 \text{ g}$)*		MGO değerleri ($\mu\text{g}/100 \text{ g}$)**		Biyoerişilebilirlik (%)	
	Başlangıç	Sindirim sonrası	Başlangıç	Sindirim sonrası	GO	MGO
1	0,624 \pm 0,028 ^{gA}	2,367 \pm 0,106 ^{gB}	4,211 \pm 0,189 ^{eA}	5,563 \pm 0,250 ^{fB}	380 \pm 30	132 \pm 11
2	1,124 \pm 0,051 ^{eA}	4,810 \pm 0,216 ^{cB}	3,384 \pm 0,152 ^{fgA}	9,770 \pm 0,439 ^{eB}	429 \pm 34	289 \pm 23
3	1,408 \pm 0,063 ^{cdA}	5,065 \pm 0,228 ^{bcB}	4,527 \pm 0,203 ^{eA}	14,408 \pm 0,648 ^{cB}	361 \pm 29	319 \pm 25
4	0,931 \pm 0,042 ^{fA}	3,354 \pm 0,151 ^{deB}	4,337 \pm 0,195 ^{eA}	9,841 \pm 0,442 ^{eB}	361 \pm 29	227 \pm 18
5	0,523 \pm 0,023 ^{gA}	3,914 \pm 0,176 ^{dB}	4,172 \pm 0,187 ^{efA}	6,302 \pm 0,283 ^{fB}	750 \pm 60	151 \pm 12
6	1,543 \pm 0,069 ^{ca}	4,548 \pm 0,204 ^{cB}	7,883 \pm 0,354 ^{cdA}	8,679 \pm 0,390 ^{eB}	295 \pm 23	110 \pm 9
7	1,109 \pm 0,050 ^{eA}	3,905 \pm 0,176 ^{dB}	3,358 \pm 0,151 ^{gA}	8,813 \pm 0,396 ^{eB}	353 \pm 28	263 \pm 21
8	2,607 \pm 0,117 ^{aa}	5,404 \pm 0,243 ^{bb}	11,675 \pm 0,525 ^{aa}	19,985 \pm 0,898 ^{bb}	208 \pm 16	172 \pm 14
9	2,323 \pm 0,104 ^{ba}	5,387 \pm 0,242 ^{bb}	8,151 \pm 0,366 ^{bcA}	19,439 \pm 0,874 ^{bb}	232 \pm 18	239 \pm 19
10	0,532 \pm 0,024 ^{gA}	3,182 \pm 0,143 ^{efB}	1,641 \pm 0,074 ^{hA}	8,498 \pm 0,382 ^{eB}	600 \pm 48	519 \pm 41
11	1,305 \pm 0,059 ^{da}	2,958 \pm 0,133 ^{efB}	7,134 \pm 0,321 ^{da}	9,327 \pm 0,419 ^{eB}	227 \pm 18	131 \pm 10
12	0,122 \pm 0,006 ^{hA}	0,847 \pm 0,038 ^{hB}	8,772 \pm 0,394 ^{ba}	24,932 \pm 1,121 ^{ab}	693 \pm 55	285 \pm 23
13	0,856 \pm 0,038 ^{fA}	6,624 \pm 0,298 ^{ab}	3,784 \pm 0,170 ^{efgA}	11,935 \pm 0,536 ^{dB}	776 \pm 62	316 \pm 25
14	0,246 \pm 0,011 ^{hA}	2,693 \pm 0,121 ^{fgB}	2,129 \pm 0,096 ^{hA}	6,564 \pm 0,295 ^{fB}	1098 \pm 87	309 \pm 25

*GO değerleri için küçük harfler sütundaki farkı, büyük harfler ise satırdaki farklılıkları göstermektedir ($p<0,05$).

**MGO değerleri için küçük harfler sütundaki farkı, büyük harfler ise satırdaki farklılıkları göstermektedir ($p<0,05$).

4. Sonuç

Çalışmamızda tüm ürünlerdeki GO ve MGO içerikleri önemli ölçüde artmıştır. GO için en yüksek artış yumurtalı eriştede görülürken, MGO'da ise standart makarnada görülmüştür. Sindirim süreci boyunca açığa çıkan serbest şeker miktarının gastrointestinal sistemde AGE öncüllerinin artışına katkıda bulunduğu düşünülmüştür. Bununla birlikte sindirim sonrasında her ne kadar ürünlerin GO ve MGO biyoerişilebilirlikleri artmış olsa da 100 g üründeki miktarlar incelendiğinde makarna ve eriştelerin diyet AGE öncülleri içeriğinin yüksek olmadığı görülmüştür. İnsan beslenmesi genel olarak karışık bir kompozisyona sahip olduğundan diyetle yer alan tüm besinlerin AGE içerikleri önem arz etmektedir. Bu nedenle ülkemizde sık tüketilen ürünlerin AGE öncülleri ve AGE içeriklerinin belirlenmesi ve bu içeriklerin azaltılabilmesine yönelik tekniklerin geliştirilmesinin halk sağlığı açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

5. Teşekkür

Desteklerinden dolayı İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesine teşekkürlerimizi sunarız.

6. Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

7. Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Aragno M., Mastrocola R. Dietary sugars and endogenous formation of advanced glycation endproducts: Emerging mechanisms of disease. *Nutrients* 2017; 9: 385.
- Arribas-Lorenzo G., Morales FJ. Analysis, distribution, and dietary exposure of glyoxal and methylglyoxal in cookies and their relationship with other heat-induced contaminants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2010; 58(5): 2966–2972.
- Cengiz S., Kışmıroğlu C., Çebi N., Çatak J., Yaman M. Determination of the most potent precursors of advanced glycation end products (AGEs) in chips, crackers, and breakfast cereals by high performance liquid chromatography (HPLC) using precolumn derivatization with 4-nitro-1,2-phenylenediamine. *Microchemical Journal* 2020; 158: 105170.
- Cintesun EE., Yaman M., Aslan R., Mizrak OF., Tanyildiz SN., Yildirim H., Bali R., Uçan B. Effects of different herbal teas on reducing the bioaccessibility of methylglyoxal in crackers under stimulated gastrointestinal digestive system. *Letters in Applied Nanobioscience* 2022; 11(2): 3421–3429.

- Cintesun EE., Tanyıldız SN., Yıldırım H., Mızrak OF., Yaman M. Investigation of the α -dicarbonyl compounds in some snack foods by HPLC using precolumn derivatization with 4-nitro-1,2-phenylenediamine. *Biointerface Research in Applied Chemistry* 2022; 12(2): 2242-2250.
- Degen J., Hellwig M., Henle T. 1,2-Dicarbonyl compounds in commonly consumed foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2012; 60(28): 7071-7079.
- Giannetti V., Mariani MB., Marini F., Biancolillo A. Effects of thermal treatments on durum wheat pasta flavour during production process: A modelling approach to provide added-value to pasta dried at low temperatures. *Talanta* 2021; 225: 121955.
- Gill V., Kumar V., Singh K., Kumar A., Kim JJ. Advanced glycation end products (AGEs) may be a striking link between modern diet and health. *Biomolecules* 2019; 9: 888.
- Goldberg T., Cai W., Peppas M., Dardaine V., Baliga BS., Uribarri J., Vlassara H. Advanced glycation end products in commonly consumed foods. *Journal of the American Dietetic Association* 2004; 104(8): 1287-1291.
- Kutlu T. Dietary glycotoxins and infant formulas. *Türk Pediatri Arşivi* 2016; 51: 179-185.
- Lee SJ., Lee SY., Chung MS., Hur SJ. Development of novel in vitro human digestion systems for screening the bioavailability and digestibility of foods. *Journal of Functional Foods* 2016; 22: 113-121.
- Liu K., Zheng J., Wang X., Chen F. Effects of household cooking processes on mineral, vitamin B, and phytic acid contents and mineral bioaccessibility in rice. *Food Chemistry* 2019; 280: 59-64.
- Negrean M., Stirban A., Stratmann B., Gawlowski T., Horstmann T., Götting C., Kleesiek K., Mueller-Roesel M., Koschinsky T., Uribarri J., Vlassara H., Tschoepe D. Effects of low- and high-advanced glycation endproduct meals on macro- and microvascular endothelial function and oxidative stress in patients with type 2 diabetes mellitus. *American Journal of Clinical Nutrition* 2007; 85(5): 1236-1243.
- Nie C., Li Y., Qian H., Ying H., Wang L. Advanced glycation end products in food and their effects on intestinal tract. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2022; 62(11): 3103-3115.
- Ozgolet M., Yaman M., Zeki Durak M., Karasu S. The effect of five different sourdough on the formation of glyoxal and methylglyoxal in bread and influence of in vitro digestion. *Food Chemistry* 2022; 371: 131141.
- Papanikolaou Y. Pasta consumption is linked to greater nutrient intakes and improved diet quality in American children and adults, and beneficial weight-related outcomes only in adult females. *Frontiers in Nutrition* 2020; 7: 112.
- Perrone A., Giovino A., Benny J., Martinelli F. Advanced glycation end products (ages): biochemistry, signaling, analytical methods, and epigenetic effects. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* 2020; 1-18.
- Scheijen JLJM., Clevers E., Engelen L., Dagnelie PC., Brouns F., Stehouwer CDA., Schalkwijk CG. Analysis of advanced glycation endproducts in selected food items by ultra-performance liquid

- chromatography tandem mass spectrometry: Presentation of a dietary AGE database. *Food Chemistry* 2016; 190: 1145-1150.
- Snelson M., Coughlan MT. Dietary advanced glycation end products: digestion, metabolism and modulation of gut microbial ecology. *Nutrients* 2019; 11: 215.
- TÜBER 2015. T.C. Sağlık Bakanlığı Yayın No 1031. Ankara, 2016.
- Uribarri J., Woodruff S., Goodman S., Cai W., Chen X., Pyzik R., Yong A., Striker GE., Vlassara H. Advanced glycation end products in foods and a practical guide to their reduction in the diet. *Journal of the American Dietetic Association* 2010; 110(6): 911-16.e12.
- Yaman M. İleri glikasyon son ürünlerinin (ages) öncüllerinin *in vitro* biyoerişilebilirliklerinin bazı gıdalarda belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2021; 27: 598–604.
- Yaman M., Çatak J., Uğur H., Gürbüz M., Belli İ., Tanyıldız SN., Yıldırım H., Cengiz S., Yavuz BB., Kışmıroğlu C., Özgür B., Yıldız MC. The bioaccessibility of water-soluble vitamins: A review. *Trends in Food Science and Technology* 2021; 109: 552-563.
- Zhang Q., Wang Y., Fu L. Dietary advanced glycation end-products: Perspectives linking food processing with health implications. *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety* 2020; 19(5): 2559-2587.
- Žilić S., Aktağ IG., Dodig D., Gökmen V. Investigations on the formation of maillard reaction products in sweet cookies made of different cereals. *Food Research International*. 2021; 144: 110352.

E-Ticaretteki Pazaryeri Satıcı Seçimi Problemine Bulanık Hibrit Yaklaşım

Kübra TÜMAY ATEŞ^{1*}

¹Çukurova Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 01250, Adana

¹<https://orcid.org/0000-0002-3337-7969>

*Corresponding author: ktumay@cu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 11.11.2021

Kabul tarihi: 13.02.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Satıcı seçimi problemi

Bulanık AHP

Bulanık hiyerarşik TOPSIS

Pazaryeri

İnternet alışverişi

ÖZ

Günümüz şartları göz önüne alındığında ve COVID-19 küresel salgının ortaya çıkması durumu internet ticaretini zorunlu olarak arttırmıştır. Bu durum satıcıların çeşitlenmesi ve farklı sektörlerde sayılarının artmasına sebep olmuştur. İnternet satıcılarının artması müşteriler için hangi ürünü hangi satıcıdan nasıl alacağı konusunda karar vermesini zorlaştırmıştır. Bu sebeple pazaryeri siteleri incelenmiş ve müşterilerin tercihini etkileyen en önemli kriterler belirlenmiştir. Bu kriterlerin çoğu, karar vericilerin bulanık ifadeler kullanarak ifade edebilecekleri dilsel terimlere dayanmaktadır. Bu çalışmada, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Bulanık Hiyerarşik TOPSIS yöntemlerinin birleştirilmesiyle bir hibrit model kullanılarak satıcı seçim problemi çözülmüştür. Çalışmada, satıcı puanları, müşteri yorumları ve alanında uzman kişilerden görüş alınmıştır. Üç ana kriter ve on yedi alt kriter belirlenmiş ve Bulanık Hibrit Yaklaşımına uygulanmıştır. Uygulanan hibrit yöntemin sonuçlarına göre en etkili ana kriter 0,68 ağırlıkla satıcının genel özellikleri olarak bulunmuştur. Satıcı ile iletişim kolaylığı ise 0,30 ağırlıkla bu ana kriterin bir alt kriterinden elde edilmiştir. Böylelikle yapılan analizler sonucunda müşterilerin satıcının genel özelliklerine ve satış sonrası iletişime diğer kriterlere göre çok daha önem verdiği görüşüne varılmıştır. Önerilen hibrit model Türkiye'deki pazaryeri satıcı seçimi problemine başarıyla uygulanmıştır.

A Fuzzy Hybrid Approach to the Marketplace Seller Selection Problem in E-Commerce

Research Article

Article History:

Received: 11.11.2021

Accepted: 13.02.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Vendor selection problem

Fuzzy AHP

Fuzzy hierarchical TOPSIS

Marketplace

Internet Shopping.

ABSTRACT

Considering today's conditions and the sudden emergence of the COVID-19 epidemic disease, internet commerce has necessarily increased. This situation has led to the diversification of vendors and an increase in their number in different sectors. The increase in internet sellers has made it difficult for customers to decide which product to buy from which seller and how. For this reason, the marketplace sites were examined and the most important criteria affecting the preferences of the customers were determined. Most of these criteria are based on linguistic terms that decision makers can express using fuzzy expressions. In this study, vendor selection problem is solved using a hybrid model by combining Fuzzy Analytical Hierarchy Process and Fuzzy Hierarchical TOPSIS methods. In the study, seller ratings, customer comments and opinions from experts in the field were taken. Three main criteria and seventeen sub-criteria were determined and applied to the Fuzzy Hybrid Approach. According to the results of the applied hybrid method, the most effective main criterion was found to be the general characteristics of the seller with a weight of 0.68. Ease of communication with the seller was obtained from a sub-criterion of this main criterion with a weight of 0.30. Thus, as a result of the analyzes made, it was concluded that the customers attach more

importance to the general characteristics of the seller and to the after-sales communication than the other criteria. The proposed hybrid model has been successfully applied to the marketplace vendor selection problem in Turkey.

To Cite: Ateş KT. A Fuzzy Hybrid Approach to the Marketplace Seller Selection Problem in E-Commerce. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(2): 977-997.

1. Introduction

Nowadays, the rapidly growing consumption craze is often seen as e-shopping. It is also necessary not to ignore the negative situations encountered in the phases after the delivery of the purchased products. When it is desired to compare the characteristics of the desired products, and to take into account the qualities of the vendor, it can be questioned how and by what a decision should be made. Occasionally, this situation can become inextricable. In order to avoid this situation, it may be necessary to make the solution quantitative in order to be able to deal with a qualified vendor and to increase the satisfaction after sales. Deciding on how to buy, as well as features such as vendor and product selection, can be a time-consuming and misleading situation. The reason for this is the decrease in the level of reliability of the market together with the increase in websites and the increasing number of vendors. It is a controversial issue to discuss how effectively a product from any site and any vendor is handled, and the problems encountered after it is reached. The decision-making process starts from this stage. In order to conclude the decision-making correctly and effectively; in this study, the Fuzzy TOPSIS (Technique For Order Preference By Similarity To An Ideal Solution) method was used, which was formed by integrating fuzzy logic in Chang's extended analysis method and multi-criteria decision making methods. These methods are effective methods to solve the problem and make the results quantitative. When we look at the literature, we can see that decision-making problems are solved by integrating multi-criteria decision-making methods into fuzzy logic. Decision making can be done by a variety of methods, such as the Chang Method, fuzzy AHP (Analytic Hierarchy Process), fuzzy TOPSIS, fuzzy DEMATEL (Decision making trial and evaluation laboratory), and fuzzy MOORA (Multi-Objective Optimization Method by Ratio Analysis). Fuzzy AHP and TOPSIS, which are used for social areas including health and financial issues, are given in chronological order. Chan and Al-Hawamdeh (2002), Chan and Al-Hawamdeh studied government e-commerce training in Singapore. (Heo et al., 2010) aimed to determine the analysis of the evaluation factors for the evaluation of the renewable energy dissemination program using extended fuzzy AHP. Guler (2012), in the hospitality industry, aimed to expose the success factors of yield management practices with extended scope analysis. Taylan et al., (2014) aimed to use analytical tools to assess the overall risks of construction projects and their incomplete, uncertain situations. They put risk into an appropriate category and developed strategies and, at the same time, tried to eliminate the high risk factors. In this study, they benefited from the fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. Mandic et al., (2014) applied the fuzzy AHP and TOPSIS methods to analyze the financial parameters of Serbian banks. The aim of their work was to propose a fuzzy multi-criteria model that will facilitate the

evaluation of financial performance. In her study, Zile (2015) developed a computer program based on A fuzzy logic by addressing a problem in occupational health and safety, and established a risk valuation analysis model. Besikci et al., (2016) tried to take measures that could be applied to operational energy efficiency by using the fuzzy AHP method in order to reduce ship fuel consumption in the maritime industry. Ly et al., (2016) developed a theory to evaluate the factors affecting the internet of things by using a blurred AHP analysis using a fuzzy set, and developing a rule-based decision support mechanism. Alizadeh et al., (2016) used the fuzzy AHP and TOPSIS methods together to select the most effective of various methods for processing alunite, a source of aluminum. Pandey et al., (2017) proposed an approach to assessing human resources and technology criteria based on the combined fuzzy AHP and fuzzy DEMATEL methods. Dožić et al., (2018) developed the approach to the choice of passenger aircraft type using the fuzzy AHP method and to select the types of aircraft that meet the requirements of the airline. Sirisawat and Kiatcharoenpol (2018) used the fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods in their study for the electronics industry where; they compare the weight of each barrier by two-way, and proposed the methodology of sorting weights in the reverse logistics area. Ligus and Peternek (2018) tried to determine the most suitable low-emission energy technologies in Poland by using fuzzy AHP-TOPSIS methods in an integrated manner. Li et al., (2018) in their work determined the weights of the relationship between performance shaping factors and fuzzy logic to evaluate the reliability of the analytic hierarchy process more objectively, thus a fuzzy AHP based method was created. Aytore and Hasgul (2020) developed road selection for autonomous trucks in Turkey with fuzzy AHP. Ordu et al., (2021) aimed to better manage the process against the Covid19 epidemic by evaluating the productivity efficiency of the regions against the pandemic epidemic with the data envelopment technique.

Fuzzy AHP and TOPSIS used for security, risk and industry are given in chronological order. Junior et al., (2014) using the fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods, making a comparison between the supplier, tried to create a model for selection. Akkaya et al., (2015) conducted a study by determining the criteria for evaluating the sectors that may be selected in the future, by applying an integrated fuzzy AHP and fuzzy MOORA approach to the problem of the industrial engineering sector. Sharma et al., (2018) tried to rank success factors using the fuzzy AHP method to improve safety and security in order to improve supply chain management in the sustainable food sector. Calabrese et al., (2018) aimed to develop a method for the selection of sustainability issues by integrating sustainability into the strategic decision-making process with the blurred AHP method. Li and Wei (2018) proposed a new mixed method based on the AHP method and THOWA method by determining criteria to solve the selection problem of the distribution systems. Abdel Basset et al., (2019) aimed at matching uncertain and incomplete information, which had a significant impact on risk management, using the neutrophilic analytic hierarchy process (N-AHP) and (N-TOPSIS) to integrate risks in the supply chain. Fuzzy AHP and TOPSIS methods used for environmental problems are given in chronological order. Amiri (2010) developed suggestions for project selection for the development of oil fields using

the AHP and fuzzy TOPSIS methods of multi-criteria decision-making techniques and interpreted the results. Wichapa and Khokhajaikiat (2017) in their study, used a fuzzy AHP and target programming to make a case study on infectious waste centers and address the problem of multi-purpose facility layout. Gupta (2018) aimed to determine order preference by using a three-phase methodology in the last stage of the fuzzy TOPSIS method in order to evaluate the performance of the organizations on the basis of the role of green human resources management, their environmental management, and their applications in green management. Ordu and Fedai (2021) combined to optimize operations using three different methods. In the study, composable design and analysis, journey data envelopment analysis (DEA) and analysis process (AHP).

When all studies are considered, it is possible to see that the fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods can be used as an effective solution method. When the literature is examined and the studies are analyzed, it has been chosen for the study with the result that fuzzy logic is effective and reliable, and AHP and TOPSIS methods are more accurate and precise results when combined with fuzzy logic.

2. Fuzzy Sets and Fuzzy Numbers

Zadeh (1965) was the first researcher to have the idea of fuzzy set theory: he proposed such a theory to handle vagueness in human thought and expression. Membership grades constitute the basis of objects found within a fuzzy set class definition. In this definition, each object is given a membership attribute and a membership function sets this attribute between 0 and 1.

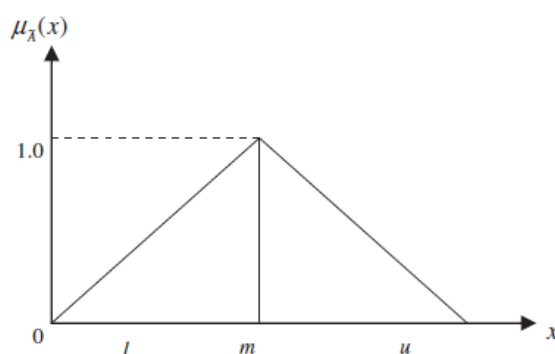


Figure 1. Triangle Membership Function

The tilde symbol, ‘~’, is placed above to show that the number represents a fuzzy set. As seen in Figure.1, parameter l represents the smallest possible value, m is the most promising value and u is the largest possible value. A fuzzy event is defined by using these parameters (l, m, u) and known as a triangular fuzzy number (TFN), \tilde{M} .

The membership function of a TFN could be given as;

$$\mu(x|\widehat{M}) = \begin{cases} 0, & x < l \\ (x-l)/(m-l), & l \leq x \leq m \\ (u-x)/(u-m), & m \leq x \leq u \\ 0, & x > u \end{cases} \quad (1)$$

A fuzzy number is always characterized using its corresponding left and right membership degrees, where the left side and right side representation of a fuzzy number are denoted by $l(y)$ and $r(y)$, respectively.

$$\begin{aligned} \widehat{M} &= (M^{l(y)}, M^{r(y)}) \\ &= (l + (m-l)y, u + (m-u)y) \quad y \in [0,1] \end{aligned} \quad (2)$$

3. Proposed Model

The proposed model was designed to be used in single level, multi-attribute decision making (MADM) problems. Figure. 2 shows a general MADM hierarchy when a single decision objective, and criteria hierarchies are considered. The goal of the decision making process is situated on top of the decision hierarchy. In the first stage, criteria sets and alternatives are determined according to the context of the decision problem. A common approach is to list the alternatives and criteria set conducting a market analysis. The method assigns this step to the decision makers, and then the goal is solved through the evaluation of the alternatives according to the criteria provided by the decision makers.

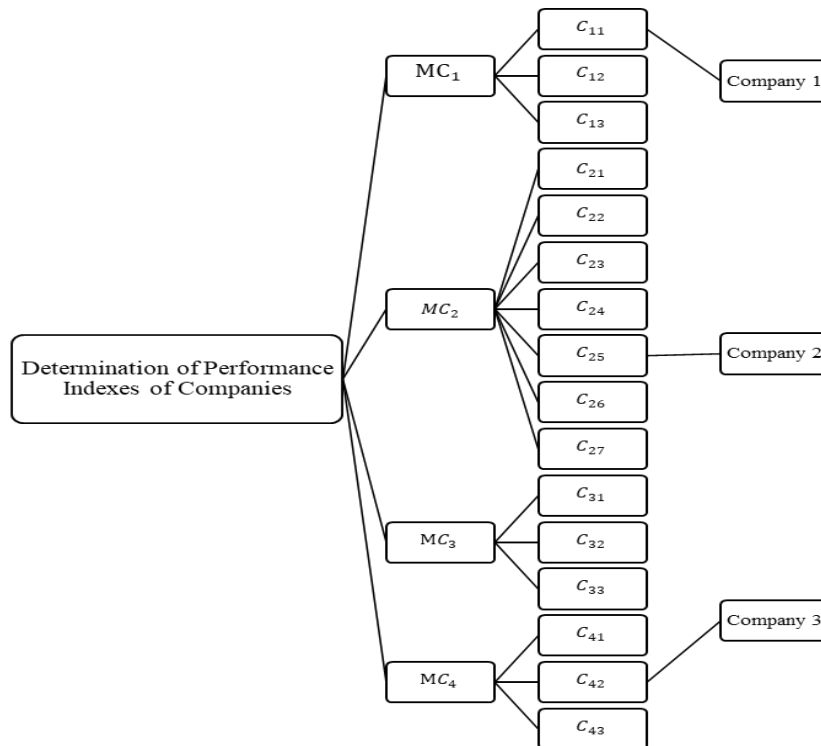


Figure 2. Hierarchical Structure

In the second stage, Chang's extent analysis model is used in order to calculate criteria weights (Ligus and Peternek, 2016). Ranking of the alternatives are obtained in the third stage of the model by using the fuzzy TOPSIS method. In order to solve MADM, our hybrid model combines the theoretical fundamentals from Chang's extent analysis with the fuzzy TOPSIS method. Figure. 3 shows the activity diagram for the proposed hybrid model.

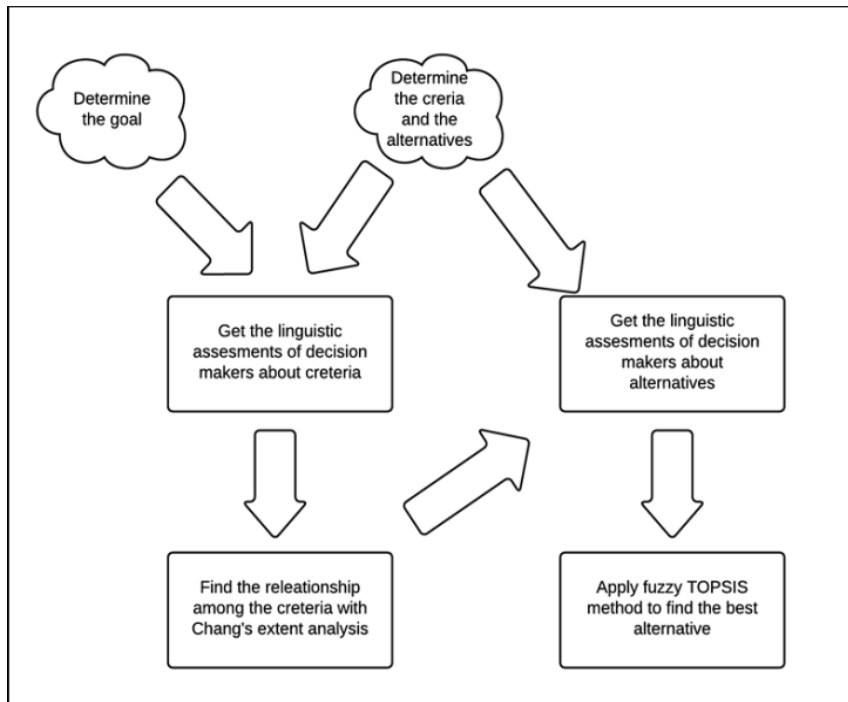


Figure 3. Hybrid model activity diagram

3.1. Fuzzy Analytic Hierarchy Process for Criteria Weights

The root of FAHP is extended to fuzzy set theory, which was proposed by Zadeh (1965). Instead of using crisp values, Buckley utilized fuzzy ratios. By doing so, Buckley introduced a hierarchical structures analysis environment. (Ali and Zadeh, 2016).

In the second stage of the proposed model, the weights of criteria are calculated by using Chang's extent analysis. Initially, we define $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots\}$ and $G = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_m\}$ as an object set, and a goal set, respectively. According to the principles of Chang's extent analysis, each object is taken correspondingly, and extent analysis for each of the goals, g_i , is implemented in order to obtain the values of m extent analyses with the following signs:

$$M_{g_1}^1, M_{g_2}^2, \dots, M_{g_i}^m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

where $M_{g_{ij}}$ ($j = 1, 2, \dots, m$) are triangular fuzzy numbers. After these assumptions are defined, Chang's extent analysis includes four main steps:

Step 1: The value of the fuzzy synthetic extent with respect to the i^{th} object is defined as,

$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$, and the fuzzy addition operation of m extent analysis value is performed for particular matrices such that:

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^m M_{gi}^j = \sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (4)$$

Step 2: The degree of possibility of M_2 , such that $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1$ is defined as $V(M_1 \geq M_2) = \sup_{x \geq y} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))]$

$V(M_1 \geq M_2) = \sup_{x \geq y} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))]$ and can be denoted as:

$$V(M_2 \geq M_1) = \mu_{M_1}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_1}(d) \quad (5)$$

$$= \begin{cases} 1, & \text{if } m_2 \geq m_1, \\ 0, & \text{if } l_1 \geq u_2, \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Where d is the ordinate of the highest intersection point between μ_{M_1} and μ_{M_2} . The values of $V(M_1 \geq M_2)$ and $V(M_2 \geq M_1)$ are needed in order to compare accordingly.

Step 3: The degree of possibility for a convex fuzzy number to be greater than k convex fuzzy numbers $M_i = (l_i, m_i, u_i), i = 1, 2, \dots, k$ can be defined by

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ and } (M \geq M_2) \dots \text{ and } (M \geq M_k)]$$

$$= \min V(M \geq M_i), i = 1, 2, 3, \dots, k$$

(6)

Assuming that, $d(A_i) = \min V(S_i \geq S_k), \text{ for } i = 1, 2, 3, \dots, n; k \neq i$ Then, the weight vector is given by

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T, \text{ where } A_i = (1, 2, 3, \dots, n) \text{ are } n \text{ elements.}$$

Step 4: Normalized weight vectors $W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T$ are obtained after normalization. W is a nonfuzzy number that represents the priority weights of attributes (Ligus and Peternek, 2018).

3.2. Fuzzy TOPSIS for Alternative Ranking

In the third stage of the proposed model, the alternatives are ranked using the fuzzy TOPSIS method. There are numerous techniques in order to sort the alternatives based on a criteria set such as ELECTRE, TOPSIS, AHP, and PROMETHEE. The TOPSIS method was first proposed by Hwang and Yoon (Amiri, 2010), and is built on the shortest distance and longest distance mechanism. A preferable solution should have a short distance to the positive-ideal solution and a long distance to the negative ideal solution. Therefore, in order to be ranked first an alternative must have both shortest distance to positive ideal solution and farthest distance to negative ideal solution at the same time. The term Ideal solution is used to show the best criteria value, which is attainable from the alternatives under consideration. Negative ideal solution is used to indicate the opposite: worst criteria value which is attainable from the alternatives under consideration (Amiri, 2010). However, it is not generally feasible to get a direct value from a decision maker about any criteria in a typical decision problem.

When decision maker evaluations are vague, fuzzy logic substitutes as a good method to be used in solving MADM problems. When fuzzy theory is used along with the TOPSIS method it is called fuzzy TOPSIS. Fuzzy TOPSIS was developed as an extension of TOPSIS in order to encapsulate linguistic evaluations of alternatives and criteria (Wichapa and Khokhajaikiat, 2017). A great number of applications for fuzzy TOPSIS can be found in the literature (Zadeh, 1965; Chang, 1996; Mardani et al., 2015; Calabrese et al., 2018).

3.2.1. Alternative Set Definition and Obtaining Decision Maker Linguistic Assessment

At the beginning of the fuzzy TOPSIS method, the alternatives are assessed with respect to each criterion using the linguistic values given in Table 1, accordingly.

Table 1. Saaty's 1–9 linguistic scale (Buckley, 1985)

Linguistic terms	Triangular fuzzy numbers	Intensity of importance
Equal	$\tilde{1}$	(1,1,1)
Weak	$\tilde{3}$	(2/3,1,3/2)
Fairly strong	$\tilde{5}$	(3/2,2,5/2)
Very strong	$\tilde{7}$	(5/2,3,7/2)
Absolutely	$\tilde{9}$	(7/2,4,9/2)

The fuzzy assessment values are held in a \tilde{Y} matrix. \tilde{y}_{ij} holds the specific assessment of the decision maker for alternative i according to criteria j where $(i=1,2,\dots,k),(j=1,2,\dots,l)$. k is the number of alternatives and l is the number of criteria at the lowest level of the decision hierarchy.

3.2.2. Normalizing the Fuzzy Assessment Matrix

The Normalized value $\tilde{n}_{ij} = (n_{ij,l}, n_{ij,m}, n_{ij,u})$ is calculated as;

$$\tilde{n}_{ij} = \frac{\tilde{x}_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (s(\tilde{x}_{ij}, 0))^2}}, j = 1, n$$

where; $s(\tilde{x}_{ij}, 0) = \frac{1}{4}(x_{ij,l} + 2x_{ij,m} + x_{ij,u})$

(7)

3.2.3. Calculating the Weighted Normalized Decision Matrix

The weights found in section 3.1 are used while calculating \tilde{v}_{ij} . The weighted matrix

$\tilde{v}_{ij} = (v_{ij,l}, v_{ij,m}, v_{ij,u})$ is calculated as;

$$\tilde{v}_{ij} = w_j * \tilde{n}_{ij}$$

(8)

3.2.4. Determining the Positive Ideal Solutions and Negative Ideal Solutions

The set of positive ideal solutions and negative ideal solutions are given as follows;

$$A^+ = \{\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+ = (\tilde{v}_{uj} | j \in J), (\tilde{v}_{dj} | j \in J')\}$$

$$A^- = \{\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-\} = \{(\tilde{v}_{dj} | j \in J), (\tilde{v}_{uj} | j \in J')\} \quad (9)$$

Where J is associated with the positive criteria while J' is associated with the negative criteria.

3.2.5. Positive and Negative Distance Calculations of Alternatives

Each distance is calculated according to the following equations;

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (s(\tilde{v}_j^+, \tilde{v}_{ij})^2)}, i = 1, 2, \dots, m ;$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (s(\tilde{v}_j^-, \tilde{v}_{ij})^2)}, i = 1, 2, \dots, m$$

(10)

3.2.6. Calculating the Relative Distances and Alternative Ranking

Relative distances are computed according to the following equations;

$$cl_i^+ = \frac{d_i^+}{d_i^+ + d_i^-}, i = 1, 2, \dots, k$$

$$cl_i^- = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, i = 1, 2, \dots, k$$

(11)

As mentioned before, in the classical TOPSIS method the most preferred alternative should simultaneously have the shortest distance from the positive ideal solution and the farthest distance from the negative ideal solution, which also certainly reflects the rational of human choice. Finally, the best alternative could be determined by using cl_i^+ and cl_i^- parameters.

4. Application of the Proposed Hybrid Model to the Marketplace Vendor Selection Problem in E- Commerce

Surveys were created for this stage and the surveys were designed to reveal what customers pay attention to when choosing a vendor. The purpose of this application is to determine customer satisfaction levels.

4.1. Stage 1: The Goal of the Study is that Criteria and Hierarchy Determination

In this stage, the criteria and their hierarchy were determined. The goal definition for the proposed selection problem was given as; “A Fuzzy Hybrid Approach to The Marketplace Vendor Selection Problem in E-Commerce”. In order to gather the necessary information regarding the selection problem, customer reviews of Turkish E-Commerce Sites, and customer satisfaction surveys on websites and expert opinions were used. As a result of this researches, evaluation criteria were determined.

Based on the expert’s experience, three main criteria (M) were determined for the marketplace vendor selection problem in e- commerce (see Table 2), (General characteristics of the vendor (M1), properties of the product (M2), delivery and shipment (M3)).

Table 2. List of main criteria used in this problem

1. General Features of Seller
2. Product Features
3. Delivery and Shipment

4.2. Stage 2: Finding Main Criteria Weights

After determining main criteria, the evaluation table was created after a series of meetings with the experts, where they outlined their opinions about criteria based on the scale given in Table 3 (see Table 4).

Table 3. Pair wise comparison scale

Linguistic expression	Triangular Fuzzy Numbers	
	Number	Equivalent of the number
Equally important	(1,1,1)	(1,1,1)
Poorly more important	(2/3, 1, 3/2)	(2/3, 1, 3/2)
Fairly more important	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
Highly more important	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)
Extremely more important	(7/2, 4, 9/2)	(2/9, 1/4, 2/7)

Table 4. Evaluation of port selection main criteria

	M1	M2	M3
M1	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(5/2, 3, 7/2)
M2	(2/3, 1, 3/2)	(1, 1, 1)	(2/3, 1, 3/2)
M3	(2/7, 1/3, 2/5)	(2/3, 1, 3/2)	(1, 1, 1)

M*: Main criteria

After applying the Step-1 procedures of Chang's methodology to Table 4, the following fuzzy synthetic extent values (S) for each of main criteria were calculated accordingly.

S_{M1}	(4.17, 5.00, 6.00)	(1/12.9, 1/10.33, 1/8.45) =	(0.32, 0.48, 0.71)
S_{M2}	(2.33, 3.00, 4.00)	(1/12.9, 1/10.33, 1/8.45) =	(0.18, 0.29, 0.47)
S_{M3}	(1.95, 2.33, 2.90)	(1/12.9, 1/10.33, 1/8.45) =	(0.15, 0.23, 0.34)

Based on the previously calculated fuzzy synthetic extent values and Step-3 procedures, the following $V(S_i > S_j)$ values were obtained. The values were found as explained in step two of Chang's methodology.

Table 5. Degree of possibility fuzzy number assessment

$V(S_i > S_j)$	S_{M1}	S_{M2}	S_{M3}
S_{M1}	-	0.40	0.07
S_{M2}	1.00	-	0.70
S_{M3}	1.00	1.00	-

Next, the weight for each criterion was calculated by applying the following equation to Table 5; $d(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$. Therefore, the minimum values of rows were used for calculating W_G . Then, W_G values were normalized to between 0 and 1.

$$W_G = (1.00, 0.40, 0.07)$$

$$\text{Normalized } W_G = (0.68, 0.27, 0.05)$$

4.3. Stage 2: Finding Sub-criteria Weights

After sub-criteria for the general characteristics of the vendor have been determined, (G), the evaluation table was created after a series of meetings with the experts where they outlined their opinions about the criteria based on the scale given in Table 6. (Ensuring communication with the vendor (G1), after-sales support service (G2), careful rigorous sales policy (G3), checking the products for damage (G4), vendor's product (G5), vendor's star rating (G6), vendor's positive comments (G7), vendor's negative comments (G8)).

Table 6. Sub criteria for the general characteristic of the seller

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
G1	(1, 1, 1)	(5/2, 3, 7/2)	(5/2, 3, 7/2)	(7/2,4, 9/2)	(7/2, 4, 9/2)	(5/2, 3, 7/2)	(5/2, 3, 7/2)	(7/2,4, 9/2)
G2	(2/7,1/3,25)	(1, 1, 1)	(7/2, 4, 9/2)	(5/2,3, 7/2)	(5/2, 3, 7/2)	(3/2, 2, 5/2)	(5/2, 3, 7/2)	(5/2,3, 7/2)
G3	(2/7,1/3, 2/5)	(2/3, 1,3/2)	(1, 1, 1)	(5/2,3, 7/2)	(5/2, 3, 7/2)	(2/3, 1, 3/2)	(5/2, 3, 7/2)	(5/2,3, 7/2)
G4	(2/9,1/4, 2/7)	(2/9,1/4,2/7)	(2/9,1/4, 2/7)	(1, 1, 1)	(7/2, 4, 9/2)	(3/2, 2, 5/2)	(5/2, 3, 7/2)	(5/2,3, 7/2)
G5	(2/9,1/4,27)	(2/9,1/4,2/7)	(2/9,1/4, 2/7)	(5/2,3, 7/2)	(1, 1, 1)	(2/3, 1, 3/2)	(5/2, 3, 7/2)	(7/2,4, 9/2)
G6	(5/2,3,7/2)	(2/9,1/4,2/7)	(2/9,1/4, 2/7)	(3/2,2, 5/2)	(2/9, 1/4,2/7)	(1, 1, 1)	(3/2, 2, 5/2)	(1, 1, 1)
G7	(2/7,1/3, 2/5)	(2/9,1/4,2/7)	(2/9,1/4, 2/7)	(5/2,3, 7/2)	(2/7,1/3, 2/5)	(2/5,1/2, 2/3)	(1, 1, 1)	(3/2,2, 5/2)
G8	(2/7,1/3, 2/5)	(2/9,1/4,2/7)	(2/9,1/4, 2/7)	(2/3,1, 3/2)	(2/9, 1/4,2/7)	(1, 1, 1)	(2/5,1/2, 2/3)	(1, 1, 1)

After applying the Step-1 procedures of Chang’s methodology to Table 6, the following fuzzy synthetic extent values (S) for each of the sub criteria were calculated accordingly.

S_{G1}	(21.50	25.00	28.50)	(1/28.5,	1/25,	1/21.5) =	(0.18	0.23	0.31)
S_{G2}	(18.28	21.33	24.40)	(1/28.5,	1/25,	1/21.5) =	(0.15	0.20	0.27)
S_{G3}	(14.00	16.58	19.18)	(1/28.5,	1/25,	1/21.5) =	(0.11	0.16	0.21)
S_{G4}	(13.78	15.91	18.08)	(1/28.5,	1/25,	1/21.5) =	(0.11	0.15	0.20)
S_{G5}	(11.50	13.16	14.86)	(1/28.5,	1/25,	1/21.5) =	(0.09	0.12	0.16)
S_{G6}	(4.84	5.57	6.38)	(1/28.5,	1/25,	1/21.5) =	(0.04	0.05	0.07)
S_{G7}	(4.24	5.07	6.04)	(1/28.5,	1/25,	1/21.5) =	(0.03	0.05	0.07)
S_{G8}	(3.68	3.99	4.42)	(1/28.5,	1/25,	1/21.5) =	(0.03	0.04	0.05)

Based on the previously calculated fuzzy synthetic extent values and Step-3 procedures, the following $V(S_i > S_j)$ values were obtained. Values were found as explained in step two of Chang’s methodology.

Table 7. Degree of possibility fuzzy number assessment

$V(S_i > S_j)$	S_{G1}	S_{G1}	S_{G1}	S_{G1}	S_{G1}	S_{G1}	S_{G1}	S_{G1}
S_{G1}	-	0.75	0.30	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
S_{G2}	1.00	-	0.60	0.50	1.00	0.00	0.00	0.00
S_{G3}	1.00	1.00	-	0.64	0.55	0.00	0.00	0.00
S_{G4}	1.00	1.00	1.00	-	0.00	0.00	0.00	0.00
S_{G5}	1.00	1.00	1.00	1.00	-	0.00	0.00	0.00
S_{G6}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	1.00	0.50
S_{G7}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	0.66
S_{G8}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-

Next, the weight for each criterion was calculated by applying the following equation to Table 7; $d(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$. Therefore, the minimum values of rows were used for calculating W_G . Then, W_G values were normalized between 0 and 1.

$$W_G = (1.00 \ 0.75 \ 0.30 \ 0.20 \ 0.00 \ 0.00 \ 0.00 \ 0.00)$$

$$\text{Normalized } W_G = (0.44 \ 0.33 \ 0.13 \ 0.09 \ 0.00 \ 0.00 \ 0.00 \ 0.00)$$

After determining the sub-criteria of the properties of the product (U), the evaluation table was created after a series of meetings with the experts where they outlined their opinions about criteria based on the scale given in Table 8. (Warranty of the product (U1), return of the product (U2), free installation of the product (U3), compliance of the product with the description (U4), ease of payment of the product (U5)).

Table 8. Properties of the product sub criteria

	U1	U2	U3	U4	U5
U1	(1, 1, 1)	(7/2, 4, 9/2)	(7/2, 4, 9/2)	(7/2, 4, 9/2)	(7/2, 4, 9/2)
U2	(2/9, 1/4, 2/7)	(1, 1, 1)	(7/2, 4, 9/2)	(5/2, 3, 7/2)	(7/2, 4, 9/2)
U3	(2/9, 1/4, 2/7)	(2/9, 1/4, 2/7)	(1, 1, 1)	(7/2, 4, 9/2)	(5/2, 3, 7/2)
U4	(2/9, 1/4, 2/7)	(2/7, 1/3, 2/5)	(2/9, 1/4, 2/7)	(1, 1, 1)	(5/2, 3, 7/2)
U5	(2/9, 1/4, 2/7)	(2/9, 1/4, 2/7)	(2/7, 1/3, 2/5)	(2/7, 1/3, 2/5)	(1, 1, 1)

U*: Properties of the product sub criteria

After applying the Step-1 procedures of Chang's methodology to Table 8, the following fuzzy synthetic extent values (S) for each of sub criteria were calculated accordingly.

$$S_{U1} \ (15.00, \ 17.00, \ 19.00) \ (1/50.16, \ 1/44.74, \ 1/39.38) = \ (0.30, \ 0.38, \ 0.48)$$

$$S_{U2} \ (10.72, \ 12.25, \ 13.78) \ (1/50.16, \ 1/44.74, \ 1/39.38) = \ (0.21, \ 0.27, \ 0.35)$$

$$S_{U3} \ (7.44, \ 8.50, \ 9.56) \ (1/50.16, \ 1/44.74, \ 1/39.38) = \ (0.15, \ 0.19, \ 0.24)$$

$$S_{U4} \ (4.22, \ 4.83, \ 5.46) \ (1/50.16, \ 1/44.74, \ 1/39.38) = \ (0.08, \ 0.11, \ 0.14)$$

$$S_{U5} \ (2.00, \ 2.16, \ 2.36) \ (1/50.16, \ 1/44.74, \ 1/39.38) = \ (0.04, \ 0.05, \ 0.06)$$

Based on the previously calculated fuzzy synthetic extent values and Step-3 procedures, the following $V(S_i > S_j)$ values were obtained. The values were found as explained in step two of Chang's methodology.

Table 9. Degree of possibility fuzzy number assessment

$V(S_i > S_j)$	S_{U1}	S_{U2}	S_{U3}	S_{U4}	S_{U5}
S_{U1}	-	0.31	0.00	0.00	0.00
S_{U2}	1.00	-	0.27	0.00	1.00
S_{U3}	1.00	1.00	-	0.00	0.00
S_{U4}	1.00	1.00	1.00	-	0.00
S_{U5}	1.00	1.00	1.00	1.00	-

Next, the weight for each criterion was calculated by applying the following equation to Table 9; $d(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$. Therefore, the minimum values of rows were used for calculating W_G . Then, W_G values were normalized between 0 and 1.

$$W_G = (1.00 \ 0.31 \ 0.00 \ 0.00 \ 0.00)$$

$$\text{Normalized } W_G = (0.76 \ 0.24 \ 0.00 \ 0.00 \ 0.00)$$

After sub-criteria of delivery and shipment (T) are determined, the evaluation table was created after a series of meetings with the experts where they outlined their opinions about criteria based on the scale given in Table 10. (Delivery fee (T1), product stock status (T2), product lead time (T3), good packaging during shipment (T4)).

Table 10. Delivery and shipment sub criteria

	T1	T2	T3	T4
T1	(1, 1, 1)	(7/2, 4, 9/2)	(5/2, 3, 7/2)	(5/2, 3, 7/2)
T2	(2/9, 1/4, 2/7)	(1, 1, 1)	(5/2, 3, 7/2)	(5/2, 3, 7/2)
T3	(2/7, 1/3, 2/5)	(2/7, 1/3, 2/5)	(1, 1, 1)	(5/2, 3, 7/2)
T4	(2/7, 1/3, 2/5)	(2/7, 1/3, 2/5)	(2/7, 1/3, 2/5)	(1, 1, 1)

T*: Delivery and shipment sub criteria

After applying Step-1 procedures of Chang's methodology to Table 10, the following fuzzy synthetic extent values (S) for each of sub criteria were calculated accordingly.

$$S_{T1} \ (9.50 \ 11.00 \ 12.50) \ (1/28.28, \ 1/24.90, \ 1/21.62) = \ (0.34 \ 0.44 \ 0.58)$$

$$S_{T2} \ (6.22 \ 7.25 \ 8.28) \ (1/28.28, \ 1/24.90, \ 1/21.62) = \ (0.22 \ 0.29 \ 0.38)$$

$$S_{T3} \ (4.06 \ 4.66 \ 5.30) \ (1/28.28, \ 1/24.90, \ 1/21.62) = \ (0.14 \ 0.19 \ 0.25)$$

$$S_{T4} \ (1.84 \ 1.99 \ 2.20) \ (1/28.28, \ 1/24.90, \ 1/21.62) = \ (0.07 \ 0.08 \ 0.10)$$

Based on the previously calculated fuzzy synthetic extent values and Step-3 procedures, the following $V(S_i > S_j)$ values were obtained. The values were found as explained in step two of Chang's methodology.

Table 11. Degree of possibility fuzzy number assessment

$V(S_i > S_j)$	S_{T1}	S_{T2}	S_{T3}	S_{T4}
S_{T1}	-	0.21	0.00	1.00
S_{T2}	1.00	-	0.23	1.00
S_{T3}	1.00	1.00	-	1.00
S_{T4}	1.00	1.00	1.00	-

Next, the weight for each criterion was calculated by applying the following equation to Table 11; $d(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$. Therefore, the minimum values of rows were used for calculating W_G . Then, W_G values were normalized between 0 and 1.

$$W_G = \begin{matrix} (1.00 & 0.21 & 0.00 & 1.00) \\ \text{Normalized } W_G = & (0.452 & 0.095 & 0.00 & 0.452) \end{matrix}$$

Table 12 summarizes the interactions between the weights of the main criteria and the sub-criteria.

Table 12. Integration of Weight of Main Criteria and Sub-Criteria

Main Criteria	Main Criteria's Weight	Sub-Criteria	Sub-Criteria's Weight	Integration of Weight of Main Criteria and Sub-Criteria
M1	0,68	G1	0.44	0.30
		G2	0.33	0.22
		G3	0.13	0.09
		G4	0.09	0.06
		G5	0.00	0.00
		G6	0.00	0.00
		G7	0.00	0.00
		G8	0.00	0.00
M2	0,27	U1	0.76	0.21
		U2	0.24	0.06
		U3	0.00	0.00
		U4	0.00	0.00
		U5	0.00	0.00
M3	0,05	T1	0.45	0.02
		T2	0.09	0.00
		T3	0.00	0.00
		T4	0.45	0.02

4.4. Stage 3: Applying Fuzzy TOPSIS

At this stage of the study, the fuzzy TOPSIS method was used to rank vendor alternatives. Alternative vendors are designated A1, A2 and A3 respectively. The experts evaluated three alternative vendor with regards to the evaluation criteria using linguistic terms (see Table 13). The linguistic terms were converted to fuzzy values using Table 1 as seen in Table 14. After getting fuzzy values for the market place vendor selection problem in the E-commerce problem, the normalized fuzzy assessment table was derived (see Table 15).

Table 13. Linguistic port site evaluation

Criterion	Alternative1 (A1)	Alternative2 (A2)	Alternative3 (A3)
G1. Contact the seller	Fairly	Weak	Very strong
G2. Support after sale	Fairly strong	Weak	Very strong
G3. Attentive and rigorous sales policy	Equal	Weak	Fairly strong
G4. Checks whether products are broken, broken or defective	Equal	Weak	Fairly strong
G5. Seller invoices the product and submits the original	Equal	Fairly strong	Fairly strong
G6. Seller's Star Rating	Equal	Weak	Fairly strong
G7. Seller's Positive Number of reviews	Weak	Weak	Weak
G8. Seller's Negative comments count	Weak	Weak	Weak
U1. Product warranty	Fairly strong	Fairly strong	Fairly strong
U2. Right of return and exchange of the product	Equal	Equal	Equal
U3. Free installation of the product	Weak	Weak	Equal
U4. The product complies with the specifications stated in the descriptions	Weak	Equal	Weak
U5. Ease of Payment for Products	Equal	Equal	Equal
T1. Delivery Fee	Equal	Equal	Equal
T2. Availability of Product	Fairly strong	Fairly strong	Abloute
T3. Product Supply Time	Weak	Weak	Weak
T4. Good packaging during shipment	Very strong	Fairly strong	Fairly strong

Table 14. Fuzzy values of port site evaluation

Criteria	A1	A2	A3
G1. Contact the seller	(3/2, 2, 5/2)	(2/3,1, 3/2)	(5/2,3,7/2)
G2. Support after sale	(3/2, 2, 5/2)	(2/3,1, 3/2)	(5/2,3,7/2)
G3. Attentive and rigorous sales policy	(1, 1, 1)	(2/3,1, 3/2)	(3/2,2,5/2)
G4. Checks whether products are broken, broken or defective	(1, 1, 1)	(2/3,1, 3/2)	(3/2,2,5/2)
G5. Seller invoices the product and submits the original	(1, 1, 1)	(2/3,1, 3/2)	(3/2,2,5/2)
G6. Seller's Star Rating	(1, 1, 1)	(2/3, 1,3/2)	(3/2,2,5/2)
G7. Seller's Positive Number of reviews	(2/3, 1, 3/2)	(2/3,1, 3/2)	(2/3,1,3/2)
G8. Seller's Negative comments count	(2/3, 1, 3/2)	(2/3 1, 3/2)	(2/3,1,3/2)

U1. Product warranty	(3/2, 2, 5/2)	(3/2, 2, 5/2)	(3/2, 2, 5/2)
U2. Right of return and exchange of the product	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
U3. Free installation of the product	(2/3, 1, 3/2)	(2/3, 1, 3/2)	(1, 1, 1)
U4. The product complies with the specifications stated in the descriptions	(2/3, 1, 3/2)	(1, 1, 1)	(2/3, 1, 3/2)
U5. Ease of Payment for Products	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
T1. Delivery Fee	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
T2. Availability of Product	(3/2, 2, 5/2)	(3/2, 2, 5/2)	(7/2, 4, 9/2)
T3. Product Supply Time	(2/3, 1, 3/2)	(2/3, 1, 3/2)	(2/3, 1, 3/2)
T4. Good packaging during shipment	(5/2, 13, 7/2)	(3/2, 2, 5/2)	(3/2, 2, 5/2)

Table 15. Normalized Fuzzy Assessment

Criterion	A1	A2	A3
G1	(0.4, 0.5, 0.7)	(0.2, 0.3, 0.4)	(0.7, 0.8, 0.9)
G2	(0.4, 0.5, 0.7)	(0.2, 0.3, 0.4)	(0.7, 0.8, 0.9)
G3	(0.4, 0.4, 0.4)	(0.3, 0.4, 0.6)	(0.6, 0.8, 1.0)
G4	(0.4, 0.4, 0.4)	(0.3, 0.4, 0.6)	(0.6, 0.8, 1.0)
G5	(0.3, 0.3, 0.3)	(0.5, 0.7, 0.8)	(0.5, 0.7, 0.8)
G6	(0.4, 0.4, 0.4)	(0.3, 0.4, 0.6)	(0.6, 0.8, 1.0)
G7	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.4, 0.6, 0.8)
G8	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.4, 0.6, 0.8)
U1	(0.4, 0.6, 0.7)	(0.4, 0.6, 0.7)	(0.4, 0.6, 0.7)
U2	(0.6, 0.6, 0.6)	(0.6, 0.6, 0.6)	(0.6, 0.6, 0.6)
U3	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.6, 0.6, 0.6)
U4	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.6, 0.6, 0.6)	(0.4, 0.6, 0.8)
U5	(0.6, 0.6, 0.6)	(0.6, 0.6, 0.6)	(0.6, 0.6, 0.6)
T1	(0.6, 0.6, 0.6)	(0.6, 0.6, 0.6)	(0.6, 0.6, 0.6)
T2	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.7, 0.8, 0.9)
T3	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.4, 0.6, 0.8)
T4	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.4, 0.5, 0.6)	(0.4, 0.5, 0.6)

Weights obtained at the end of section 4.2 were used in order to find the weighted normalized decision matrix, given in Table 16.

Table 16. Weighted normalized decision matrix

Criterion	A1	A2	A3
G1	(0.0, 0.1, 0.1)	(0.0, 0.0, 0.)	(0.1, 0.1, 0.1)
G2	(0.0, 0.0, 0.1)	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.1, 0.1, 0.1)
G3	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)
G4	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)

G5	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)
G6	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)
G7	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)
U1	(0.3, 0.4, 0.6)	(0.3, 0.4, 0.6)	(0.3, 0.4, 0.6)
U2	(0.1, 0.1, 0.1)	(0.1, 0.1, 0.1)	(0.1, 0.1, 0.1)
U3	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)
U4	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)
U5	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)
T1	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)
T2	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)
T3	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)
T4	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0)

Positive and negative ideal solutions were found after finding the weighted normalized matrix. A^+ and A^- sets were found as follows;

$A^+ = \{(0.01, 0.01, 0.01), (0.00, 0.00, 0.00), (0.00, 0.00, 0.00), (0.01, 0.01, 0.01), (0.05, 0.06, 0.08), \dots, (0.00, 0.00, 0.00)\}$

$A^- = \{(0.01, 0.01, 0.01), (0.00, 0.00, 0.00), (0.00, 0.00, 0.00), (0.01, 0.01, 0.01), (0.01, 0.01, 0.01), \dots, (0.00, 0.00, 0.00)\}$

Table 17 presents the positive and negative distances to the ideal solution based on the TOPSIS method.

Table 17. Distance values of each alternative from the positive and negative ideal solutions

Alternative	d^+	d^-
A1	0.02449	0.04293
A2	0.055952	0.008567
A3	0.036405	0.080376

Based on the positive and negative distances to the ideal solution, relative distances were calculated by using the equations given in section 3.2.6. Table 18 shows the relative distances to the ideal solution for the three given alternative vendors and show which vendor is the best choice. After we examined the results, we could conclude that A2 is the best vendor with a cl^+ value of 0.867224 and a cl^- value of 0.132776. A1 takes second place in the preferred order and A3 is the last choice.

Table 18. Relative distances

Alternative	cl^+	cl^-
A1	0.363252	0.636748
A2	0.867224	0.132776
A3	0.311738	0.688262

5. Conclusions

After the emergence of the Covid-19 epidemic, internet selling entered a period when it reached its peak, and in this period, everything from food to drink, from clothing to health began to be sold over the internet. Having to shop online has become an inevitable situation brought together by people's fear of pandemics and pandemic restrictions. This situation directly affected internet sellers as well, making it difficult for consumers to decide which shopping site to choose. At this point, the question of which seller in the selected site is more reliable arose. Thus, with the aim of increasing the efficiency of national shopping sites; preventing customers from turning to international shopping sites, and finding the shortcomings of national shopping sites will be financially valuable for our country. For this reason, in this study what customers pay attention to when choosing shopping sites, vendors and products was investigated. At the same time, customer satisfaction surveys and customer comments on shopping sites were examined in detail.

In this paper, we have seen a vendor may be selected using the alternative approach of a new hybrid model. After following the steps of the proposed model, the best vendor alternative can be selected. The main criterion (M) that the customers attach most importance to is the general characteristics of the vendor (M1) with 0.68, while the most important sub-criterion is the ability to communicate with the vendor (G1) with a value of 0.30. It is seen that they prefer A2 with 0.86 in vendor selection. Thus, it has been proved that the results of these research are in parallel with the results of the applied methods. Further research could benefit from the application of the other multi-attribute evaluation methods, such as fuzzy PROMETHEE and fuzzy DEMATEL, to the present selection problem and the comparison of the results.

Statement of Conflict of Interest

Author has declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the author is 100%.

References

- Abdel-Basset M., Gunasekaran M., Mohamed M., Chilamkurti N. A framework for risk assessment, management and evaluation: Economic tool for quantifying risks in supply chain. *Future Generation Computer Systems* 2019; 90: 489-502.
- Akkaya G., Turanoğlu B., Öztaş S. An integrated fuzzy AHP and fuzzy MOORA approach to the problem of industrial engineering sector choosing. *Expert Systems with Applications* 2015; 42(24): 9565-9573.

- Alizadeh S., Ra MMS., Bazzazi AA. Alunite processing method selection using the AHP and TOPSIS approaches under fuzzy environment. *International Journal of Mining Science and Technology* 2016; 26(6): 1017-1023.
- Amiri MP. Project selection for oil-fields development by using the AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert Systems with Applications* 2010; 37(9): 6218-6224.
- Hasgül Z., Aytöre C. Road selection for autonomous trucks in Turkey with Fuzzy AHP. In *International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems 2020*; 582-590; Springer, Cham.
- Beşikçi EB., Kececi T., Arslan O., Turan O. An application of fuzzy-AHP to ship operational energy efficiency measures. *Ocean Engineering* 2016; 12: 392-402.
- Buckley JJ. Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Set Systems* 1985; 17(3): 233-247.
- Calabrese A., Costa R., Leviaidi N., Menichini T. Integrating sustainability into strategic decision-making: A fuzzy AHP method for the selection of relevant sustainability issues. *Technological Forecasting and Social Change* 2018; 139: 155-168.
- Chan B., Al-Hawamdeh S. The development of e-commerce in Singapore: The impact of government initiatives. *Business Process Management Journal* 2002; 8(3): 278-288.
- Chang DY. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research* 1996; 95(3): 649-655.
- Dožić S., Lutovac T., Kalić M. Fuzzy AHP approach to passenger aircraft type selection. *Journal of Air Transport Management* 2018; 68: 165-175.
- Gupta H. Assessing organizations performance on the basis of GHRM practices using BWM and Fuzzy TOPSIS. *Journal of Environmental Management* 2018; 226: 201-216.
- Güler ME. Prioritization of revenue management factors: A synthetic extent analysis approach/ prioritization of yield management factors: Synthetic Scope Analysis Approach. *Ege Academic Perspective* 2012; 12(2): 161-170.
- Heo E., Kim J., Boo KJ. Analysis of the assessment factors for renewable energy dissemination program evaluation using fuzzy AHP. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2010; 14 (8): 2214-2220.
- Hwang CL., Yoon K. *Multiple attributes decision making methods and applications*. Springer, 1981, Berlin Heidelberg.
- Junior FRL., Osiro L., Carpinetti LCR. A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. *Applied Soft Computing* 2014; 21: 194-209.
- Li P., Zhang L., Dai L., Zou Y., Li X. An assessment method of operator's situation awareness reliability based on fuzzy logic-AHP. *Safety Science* 2018; 119: 330-343.
- Li S., Wei Z. A hybrid approach based on the analytic hierarchy process and 2-tuple hybrid ordered weighted averaging for location selection of distribution centers. *PloS one* 2018; 13: 11.

- Ligus M., Peternek P. Determination of most suitable low-emission energy technologies development in Poland using integrated fuzzy AHP-TOPSIS methods. *Energy Procedia* 2018; 153: 101-106.
- Ly PTM., Lai WH., Hsu CW., Shih FY. Fuzzy AHP analysis of internet of things (IoT) in enterprises. *Technological Forecasting and Social Change* 2018; 136: 1-13.
- Mandic K., Delibasic B., Knezevic S., Benkovic S. Analysis of the financial parameters of Serbian banks through the application of the fuzzy AHP and TOPSIS methods. *Economic Modelling* 2014; 43: 30-37.
- Mardani A., Jusoh A., Zavadskas EK. Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications—Two decades review from 1994 to 2014. *Expert Systems with Applications* 2015; 42(8): 4126-4148.
- Ordu M., Kirli Akin H., Demir E. Healthcare systems and Covid19: Lessons to be learnt from efficient countries. *The International Journal of Health Planning and Management* 2021; 36: 1476–1485.
- Ordu M., Fedai Y. A novel decision support system based on fuzzy multi criteria decision making for optimizing machining parameters. *Journal of Engineering Research* 2021; <https://kuwaitjournals.org/jer/index.php/JER/article/view/13567>
- Pandey A., Kumar A. Commentary on evaluating the criteria for human resource for science and technology (HRST) based on an integrated fuzzy AHP and fuzzy DEMATEL approach. *Applied Soft Computing* 2017; 51: 351-352.
- Saaty T. Hierarchical-multiobjective systems. *Control-Theory and Advanced Technology* 1989; 5(4): 485-489.
- Sharma YK., Yadav AK., Mangla SK., Patil PP. Ranking the success factors to improve safety and security in sustainable food supply chain management using Fuzzy AHP. *Materials Today: Proceedings* 2018; 5(5): 12187-12196.
- Sirisawat P., Kiatcharoenpol T. Fuzzy AHP-TOPSIS approaches to prioritizing solutions for reverse logistics barriers. *Computers & Industrial Engineering* 2018; 117: 303-318.
- Taylan O., Bafail AO., Abdulaal RM., Kabli MR. Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies. *Applied Soft Computing* 2014; 17: 105-116.
- Wichapa N., Khokhajaikiat P. Solving multi-objective facility location problem using the fuzzy analytical hierarchy process and goal programming: a case study on infectious waste disposal centers. *Operations Research Perspectives* 2017; 4: 39-48.
- Zadeh LA. Fuzzy sets. *Information and Control* 1965; 8(3): 338-353.
- Zile M. Occupational safety risk assessment analysis modeling and software development with fuzzy logic. *Çukurova University Journal of Faculty of Engineering and Architecture* 2015; 30(2): 267-274.

The Effect of Maturation Status on Fatty Acid Profile of *Xanthium strumarium* L. Fruits Oil

Mozhgan ZARIFIKHOSROSHAHI^{1*}, Zeynep ERGUN²

¹Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Cukurova, Adana, Turkey

²Department of Bioengineering, Faculty of Engineering, Adana Alparslan Turkes Science and Technology University, Adana, Turkey

¹<https://orcid.org/0000-0001-5491-1430>

²<https://orcid.org/0000-0002-9868-9488>

*Sorumlu yazar: mn_zarifi@yahoo.com

Research Article

Article History:

Received: 13.06.2022

Accepted: 27.06.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Xanthium strumarium L.

Fatty acids

Maturation status

Biodiesel

ABSTRACT

Cocklebur is a very precious medicinal plant due to its biochemical contents with antioxidant, antimicrobial, and antioxidants. It can also be evaluated as a source of energy. Cocklebur seeds and seed oil is not edible and contains 67% more biomass than cotton. Therefore, it can be evaluated as a sustainable energy source. Recently, the use of cocklebur as biodiesel makes this plant a point of interest for researchers. However, more studies are needed to evaluate factors that affect the quality of this kind of oil for the desired application. The fatty acid profile of matured and immature oil of Cocklebur whole fruits including seeds from Osmaniye province in Turkey was investigated in this study. Although the main fatty acid in the immature sample was oleic acid with 50.17%, its amount (25.96%) decreased in mature sample oil, converting linoleic acid, which is the major fatty acid of cocklebur seed oil. Mature fruit oil had a higher amount of USFA (81.34%) than immature fruit oil (56.09%). These results showed that maturation status significantly affected the concentration and rates of fatty acids in studied Cocklebur. This study will help international researchers evaluate qualified seed oils for application in industry and biodiesel production.

Pıtrak (*Xanthium strumarium* L.) Meyve Olgunluk Seviyesinin Meyve Yağ Asitlerinin Üzerinde Etkisinin Belirlenmesi

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 13.06.2022

Kabul tarihi: 27.06.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Xanthium strumarium L.

Yağ asitleri

Olgunlaşma durumu

Biyodizel

ÖZ

Pıtrak biyokimyasal içeriği ile çok değerli bir tıbbi bitki olup, enerji kaynağı olarak da değerlendirilmektedir. Son zamanlarda pıtrağın biyodizel olarak kullanılması bu bitkiyi araştırmacıların ilgi odağı haline getirmiştir. Bununla birlikte, amaca doğru uygulaması için bu tür yağların kalitesini etkileyen faktörleri değerlendirmek için daha fazla çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, Türkiye'nin Osmaniye ilinden tohumları da dahil olmak üzere bütün meyvelerinin olgun ve olgunlaşmamış yağının yağ asidi profili araştırılmıştır. Olgunlaşmamış örnekte %50,17 ile oleik asit en fazla yağ asidi olmasına rağmen, olgun örnekte miktarı (%25,96) daha az bulunmuştur. Olgun meyveler olgunlaşmamış meyvelere nazaran (%56,09) daha yüksek miktarda doymamış yağ oranına (%81,34) sahiptir. Bu sonuçlar, olgunlaşma durumunun pıtrak meyve yağ asitlerinin konsantrasyonunu ve oranlarını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Bu çalışma, hem endüstride hem de biyodizel üretiminde uygulama için nitelikli tohum yağlarının değerlendirilmesi konusunda uluslararası araştırmacılara ışık tutacaktır.

To Cite: Zarifikhosroshahi M., Ergun Z. The Effect of Maturation Status on Fatty Acid Profile of *Xanthium strumarium* L. Fruits Oil. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 998-1007.

1. Introduction

Increasing population growth and demands for fuels encounter the humans being with significant challenges. About 86.7% of the basic energy in the world is obtained by fossil fuels (Genel et al., 2016). Therefore, the damage caused by fossil fuels is of concern. On the other hand, it is estimated that fossil fuels will run out in the near future. Besides, fossil fuels increase the quantity of CO₂ by approximately 40% (Hook and Tang, 2013). Therefore, discovering plant species with agroindustrial and bioenergetic potential and renewable energy sources has attracted great attention worldwide. Although some edible oils such as soybean, safflower, corn, and canola have been used as biodiesel, the application of these oils caused imbalance and deficiencies in human food supplies, especially in some countries (Chang et al., 2013). Evaluating the plants with unfavorable use for human consumption may be a good solution for overcoming deficiencies in edible oils (Hasheminejad et al., 2011). Therefore, countries with rich ecological diversity play a significant role in the assessment of suitable plant species which cover these criteria. By replacing renewable energy sources with fossil fuels, a range of environmental damages such as erosion, landslide, and flood can be prevented besides the improvement of dam basins and increased biodiversity (Nagel et al., 2005; Wei-He and Jiang, 2010; Cheng-Jiang et al., 2012; Genel et al., 2016). Cocklebur is among plant species that can meet these criteria. Cocklebur (*Xanthium strumarium* L.) is a self-fertilizing annual weed with approximate 20-90 cm height belonging to the Asteraceae family of which all parts of the plant including stem, leaves, roots, fruits, and seeds, are used in folk medicine for the treatment of a wide range of disease worldwide (Kamboj and Saluja, 2010; Romero et al., 2015). Previous studies have proven that phytochemicals isolated from cocklebur have high antibacterial, antifungal, antileishmanial, antitrypanosomal, and antioxidant activity and also have anthelmintic, antiulcerogenic, diuretic and anticancer, antitumor, antitussive, anti-inflammatory, analgesic, antimutagenic, and very strong hypoglycemic effects (Kamboj and Saluja, 2010; Kumar and Raj Kapoor, 2010; Patil et al., 2012; Aranjani et al., 2013). Glycosides and phytosterols compounds present in cocklebur fruits are also used to treat diseases such as allergic rhinitis, sinusitis, urticaria, catarrh, rheumatism, rheumatoid arthritis, constipation, diarrhea, lumbago, leprosy, pruritis, and smallpox. The extraction of the seeds remedies the bladder disorders and open sores (Kamboj and Saluja, 2010).

Xanthium strumarium is located between 53° north and 33° south latitude (Eymirli and Torun, 2015). Although it is prevalent in temperate regions, it is also found in regions where subtropical and tropical climates prevail (Holm et al., 1991). The plant originates in the North American continent but the south of Canada to the United States, into Mexico, is also accepted as its field homeland. Cocklebur is distributed all over the world, from America to Europe and Asia, including Russia, Iran, India, North Korea, and Japan to the Far East (Lee, 1996; Kim et al., 2003). The genus *Xanthium* has 30 species worldwide, but only three species (*X. orientale* L., *X. spinosum* L. and *X. strumarium* L.) are common in Turkey (Uskutoglu et al., 2018).

Cocklebur has a round, stout, white-hairy stem with purple spots. The leaves are alternate and triangular-ovate with a light green color, 5-20 cm long, and three-lobed with prominent veins. The leaves have long petiole and strigose hairs on both surfaces. The capitula are in axillary racemes. The female capitula are elliptic, 2–5 mm in diameter; the male capitula are saucer-shaped, 3–5 mm in diameter. The achenes are black and oblong enclosed hooked bristles. The flowering time ranges from July to October, and the fruit ripening period may last from September to October. The monoecious flowers are white or pale green. Fruits are 1-3.5 cm in length with needle-like protrusions on the surface and have two seeds (Kamboj and Saluja, 2010; Fan et al., 2019).

The seed oil of cocklebur ranges from 20.4% to 42% based on reports from previous studies which contains about 90% unsaturated fatty acids. The most abundant fatty acid in the seed oil of cocklebur is Linoleic acid, followed by oleic acid (Chang et al., 2013; Cesur et al., 2017; 2018). Linoleic acid is the essential fatty acid that the human body cannot synthesize and has great importance in the heart's health and adjusting the cholesterol balance (Arslan, 2007). The seeds contain 35% protein (Uskutoglu et al., 2018). Therefore, the seeds of cocklebur could be evaluated as a good source of edible oil. On the other hand, erucic acid (C22: 1), which is harmful in terms of edible oil, is not observed in the fatty acid distribution of the cocklebur plant. However, the cotyledon stages and seeds (inside the bur) of cocklebur contain a toxic substance, carboxyatractyloside (CAT), which is fatal for animals and humans (Scherer and Godoy, 2014). CAT is a plant growth inhibitor, and being higher in one of two seeds causes the delay in one of the seeds dormancy. However, CAT has not been reported in adult leaves and the shell of the bur makes these organs more usable for human use. This aspect of Cocklebur seed oil makes it unfavorable for human use and makes it to be a good source for biodiesel. Pawar et al., (2022) reported that biodiesel produced from *Xanthium strumarium* L. seed oil has properties similar to other biodiesel fuels and is as per ASTM standards. However, the amount of oil and the distribution of fatty acids in the oil are the main identifiers of oil quality for biodiesel. Previous studies have proved that the profile of fatty acids may enormously change during the maturation stages (Karaca and Aytac, 2007). Canvin (1963) reported that the immature seed oil of castor beans does not contain ricinoleic acid (which is the main fatty acid of mature seed oil with more than 80%). Baydar and Erbaş (2014) also reported that during the seed maturation process in sunflower, oleic acid decreases significantly while linoleic acid increases notably. Therefore, it was aimed to investigate the fatty acid profile of mature and immature cocklebur seed oil to evaluate it as biodiesel. To our knowledge, there is no study on the profile of whole fruit oil of mature and immature cocklebur fruit.

2. Materials and Methods

2.1. Plant Material

Xanthium strumarium L. fruits were collected from Osmaniye: Çona Village, Bozkele Hill, 217 m, 37°06'03"N, 36°19'38"E, on the 25 of October 2019. Fifteen fruits per mature and immature fruits

were collected from a single tree accidentally based on maturation status. Then collected fruits were washed to remove dust and dried at 65°C for 8 h.

2.2. Methods

Oil Extraction

The oils of all samples were extracted immediately after harvest. The oil of samples was extracted via an automatic soxhlet device (Gerhardt GmbH & Co. KG). Ten grams of dried seeds were used for oil extraction. Hexane (Merck KGaA, Darmstadt, Germany) was used as a solvent, and extracted oil was weighted to determine the oil percent in the samples. The oil content of seeds was expressed as g/100g-1 of dry samples. Obtained fresh oil was analyzed determination of fatty acids composition.

Determination of Fatty Acids

Fatty acid methyl esters were determined according to the method ISO 12966- 2 (2011). One hundred milligrams of cocklebur fruit oil was mixed with 5 mL heptane and 0.5 mL of 2.0 N KOH and then vortexed. To dry, anhydrous sodium sulfate was added and left to stand for one min. The solution was used directly for gas chromatography (GC, Perkin Elmer, Auto system GLX, Shelton, USA). A Supelco SPTM-2380 (30 m 0.25 mm inner diameter, 0.25 mm film thickness) column equipped with a flame ionization detector (FID) was used for FAMES separation. The carrier gas was helium with a 0.5 mL/min flow rate. The injector temperature and detector temperature were set as 280 °C and 260 °C, respectively. The initial oven temperature was 120 °C for 2 min; increased at 58C/min to 220 °C, and held for 10 min. Data was collected and quantified with a TotalChrom Navigator, and the results were expressed as percent concentration.

2.3. Statistical Analysis

The experiment was conducted as a completely randomized design using three replications from one tree with the independent sample. The results were expressed as average and standard deviation. Mann-Whitney U test was performed to reveal statistical differences between samples.

3. Results and Discussion

The fatty acid profile of immature and mature cocklebur whole fruit oil is presented in Table 1. The distribution of fatty acids in cocklebur fruit oil was statistically different in some fatty acids while was insignificant in others in mature and immature fruit oil, explaining the process of converting fatty acids to each other in biosynthesis pathways during seed maturation.

The fruit oil content was obtained as 5.11 and 3.64 g/100 gram in mature and immature fruit oil, respectively. Previous studies reported that oil content in different species of the Xanthium genus as %25 (Cesur et al., 2016), %42 (Chang et al., 2013), and %35 (Cesur et al., 2018), which were higher than reported in this study. The less quantity of oil obtained in this study may be due to using whole

fruit instead of only seeds in oil extraction. However, previous studies emphasized that the oil content of seeds is tremendously affected by species and environmental conditions, especially during the seed-filling stage (Salimon et al., 2010; Onemli, 2012). Studies reported that adequate water during the growing period leads to efficient flowering and pollination, causing an increase in the number of seeds, seed weight, and oil content. In contrast, a dry environment with insufficient water may reduce the concentration of linolenic and linoleic acid but increases the concentration of oleic acid in oilseed crops (Alyari et al., 2000). Osmaniye is located in the eastern part of the Mediterranean Region and has hot and dry summers and warm and rainy winters in which its ecological conditions dramatically affect the profile of fatty acid in both mature and immature fruit oil. Therefore, water deficit stress during seed maturation in September and October may be responsible for the low oil content obtained in this study. In agreement with previous reports, the predominant fatty acid in cocklebur ripens fruit oil was detected as linoleic acid in this study (Cesur et al., 2016; 2017; 2018) while oleic acid was in the highest concentration in immature fruit oil. However, the amount of linoleic acid in cocklebur seed oil was reported higher (Approximately %70) compared to its concentration in this study (%55) (Cesur et al., 2017; 2018). The differences may be caused by different ecological conditions mentioned above, leading to a lower concentration of linolenic acid during the dry setting fruit period besides using whole fruit for oil extraction.

The oil contents of mature cocklebur fruit oil contained 81.34% unsaturated fatty acids which is in accordance with what was reported by Cesur et al. (2017) while the concentration of UFA was much less in immature fruit oil (56.09%) with a higher concentration of saturated fatty acids (43.33%). Palmitic acid was obtained at twice higher concentrations (27.38%) in immature seed oil than in mature oil (11.11%). Besides, immature fruit oil contained heneicosanoic acid (3.18%) which was detected in minute concentration (0.05%) in mature fruit oil. Heneicosanoic acid is used in the production of foams, paints, and related viscous materials. The content of PUFA was also higher in mature fruit oil derived from high linoleic acid than in immature fruit oil which had a higher amount of oleic acid. However, the composition of fatty acids in the oil is influenced by genetic, ecological, morphological, physiological, and cultural factors. In addition, fatty acids are continuously changing during the periods from seed formation to maturity and the positions of the seeds in the plant (Karaca and Aytac, 2007) (Table 1).

Mann-Whitney U test was performed to reveal if any difference has occurred between the fatty acid levels of immature and mature cocklebur seeds (Table 2). In each individual fatty acid, significant differences were observed, excluding behenic acid (C22:0), tricosanoic acid (C23:0), Σ SFA, oleic acid (C18:1n9c) ω -9, eicosenoic acid (C20:1n9c) ω -9, linoleic acid (C18:2n6c) ω -6. Besides, the changes in the total oil content and individual fatty acids by maturity can be seen in Figure 1.

Table 1. The fatty acid composition of Cocklebure mature and immature fruits oils [%]

Compound	Mature	Immature
Total Fat	5.11	3.64
Capric acid (C10:0)	0.143±0.0058	0.857±0.0493
Caprylic acid (C8:0)	0.103±0.0115	0.787±0.0611
Undecanoic acid (C11:0)	0.033±0.0058	0.32±0.0346
Myristic Acid (C14:0)	0.117±0.0058	0.215±0.005
Pentadecanoic acid (C15:0)	0.063±0.0058	0.095±0.005
Palmitic acid (C16:0)	11.117±0.0231	27.387±0.0907
Margaric Acid (C17:0)	0,080±0.000	0,187±0.0058
Stearic acid (C18:0)	4.187±0.0231	9.367±0.0252
Arachidic acid (C20:0)	0.333±0.0289	0.61±0.020
Heneicosanoic acid (C21:0)	0.047±0.0058	3.175±0.005
Behenic acid (C22:0)	1.420±0.0173	0.106±0.0151
Tricosanoic acid (C23:0)	0.247±0.0115	0.25±0.010
Σ SFA	17.870±0.03	43.33±0.1453
Palmitoleic acid (C16:1)ω-7	0.137±0.0153	0.247±0.0231
Oleic acid (C18:1n9c)ω-9	25.970±0.03	50.173±0.0902
Elaidic acid (C18:1n9t)	0.027±0.0058	0.12±0.020
Eicosenoic acid (C20:1n9c)ω-9	0.210±0.010	0.26±0.0361
Σ MUFA	26.347±0.0462	50.773±0.1124
Linoleic acid (C18:2n6c) ω-6	55.373±0.0306	5.417±0.0611
γ-Linolenic Acid (C18:3n6) ω-6	0.023±0.0058	0.41±0.020
α-Linolenic acid (C18:3n3) ω-3	0.447±0.0115	0.113±0.0115
Σ PUFA	55.83±0.0173	5.927±0.0416

SFA: Saturated Fatty Acid, MUFA: Mono Unsaturated Fatty Acid,
PUFA: Poly Unsaturated Fatty Acid

Table 2. Mann-Whitney U test results

Fatty Acids	Mann-Whitney U	Wilcoxon W	Z	Asymp. Sig. (2-tailed)
Capric acid (C10:0)	0.000	6.000	-1.993	0.046
Caprylic acid (C8:0)	0.000	6.000	-1.993	0.046
Undecanoic acid (C11:0)	0.000	6.000	-2.023	0.043
Myristic Acid (C14:0)	0.000	6.000	-1.993	0.046
Pentadecanoic acid (C15:0)	0.000	6.000	-1.993	0.046
Palmitic acid (C16:0)	0.000	6.000	-1.993	0.046
Margaric Acid (C17:0)	0.000	6.000	-2.121	0.034

Stearic acid (C18:0)	0.000	6.000	-1.993	0.046
Arachidic acid (C20:0)	0.000	6.000	-1.993	0.046
Heneicosanoic acid (C21:0)	0.000	6.000	-1.993	0.046
Behenic acid (C22:0)	0.000	6.000	-1.993	0.046
Tricosanoic acid (C23:0)	3.500	9.500	-0.471	0.637
Σ SFA	0.000	6.000	-1.964	0.050
Palmitoleic acid (C16:1)ω-7	0.000	6.000	-1.993	0.046
Oleic acid (C18:1n9c)ω-9	0.000	6.000	-1.964	0.050
Elaidic acid (C18:1n9t)	0.000	6.000	-1.993	0.046
Eicosenoic acid (C20:1n9c)ω-9	0.000	6.000	-1.964	0.050
Σ MUFA	0.000	6.000	-1.993	0.046
Linoleic acid (C18:2n6c) ω-6	0.000	6.000	-1.964	0.050
γ-Linolenic Acid (C18:3n6) ω-6	0.000	6.000	-1.993	0.046
α-Linolenic acid (C18:3n3) ω-3	0.000	6.000	-2.023	0.043
Σ PUFA	0.000	6.000	-1.993	0.046

Grouping Variable: immature and mature seeds

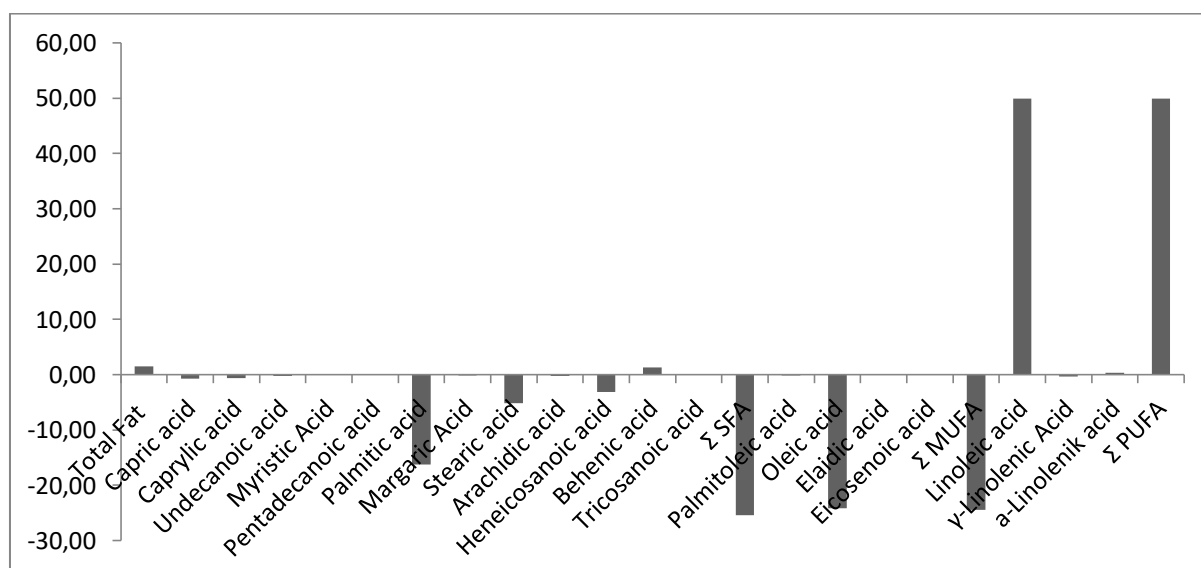


Figure 1. % changes of the total oil content and individual fatty acids (mature-immature).

4. Conclusion

Cocklebur is a precious plant in terms of medicinal application and suitable oil quality for considering as biodiesel and grows almost everywhere in the world because it has high competitive power and endurance to various climate and soil conditions. The oil content had a high concentration of linoleic acid. Mature and immature fruit oil exhibited considerable differences in fatty acid profile. Although studies have been done on seed oil of cocklebur, there is neither a study on the fatty acid profile of whole fruit nor a comparison of the fatty acids in different maturation stages. Therefore, this study will help international researchers evaluate qualified oils from Cocklebur whole fruit for application in industry and biodiesel production.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Authors' contributions

MZ and ZE contributed to the project idea, design and trials and laboratory analysis. MZ wrote the study. The article was reviewed by all authors.

References

- Alyari H., Shekari F., Shekari FM. Oil seed crops (Agronomy and physiology). Amidi Press, 2000, Tabriz, Iran.
- Aranjani JM., Manuel A., Mallikarjuna Rao C., Udupa N., Rao JV., Joy AM., Gandhi P., Radhakrishnan EK. Preliminary evaluation of *in vitro* cytotoxicity and *in vivo* antitumor activity of *Xanthium strumarium* in transplantable tumors in mice. The American Journal of Chinese Medicine 2013; 41: 145-162.
- Arslan B. The determination of oil content and fatty acid compositions of domestic and exotic safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Genotypes and their interactions. Journal of Agronomy 2007; 6(3): 415-420.
- Baydar H., Erbaş S. Yağ bitkileri bilimi ve teknolojisi. S.D.Ü. Ziraat Fakültesi Yay. No. 97, Isparta, 2014.
- Canvin DT. Formation of oil in the seed of *Ricinus communis* L. Canadian Journal of Biochemistry and Physiology 1963; 41(9): 1879-1885.
- Cesur C., Şenkal BÇ. Pıtrak (*Xanthium strumarium* L.) bitkisinin kültüre alınma potansiyelinin incelenmesi. KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi 2016; 19(1): 72-75.
- Cesur C., Şenkal BC., Uskutoğlu T., Yaman C., Yurteri T. Pıtrak (*Xanthium strumarium* L.) tohumlarının en uygun çimlendirme metotlarının belirlenmesi üzerine bir araştırma. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi 2017; 4(2): 124-130.
- Cesur C., Eryılmaz T., Uskutoğlu T., Doğan H., Şenkal BC. Cocklebur (*Xanthium strumarium* L.) seed oil and its properties as an alternative biodiesel source. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 2018; 42(1): 29-37.
- Chang F., Hanna MA., Zhang DJ., Li H., Zhou Q., Song BA., Yang S. Production of biodiesel from non-edible herbaceous vegetable oil: *Xanthium sibiricum* Patr. Bioresource Technology 2013; 14: 435-438.
- Cheng-Jiang R., Wei-He X., Silva JAT. Potential of five plants growing on unproductive agricultural lands as biodiesel resources. Renewable Energy 2012; 41(1): 191-199.
- Eymirli S., Torun H. Distribution area of *Xanthium strumarium* L. in Çukurova region. Türkiye Herboloji Dergisi 2015; 18(3): 44-45.

- Fan W., Fan L., Peng C., Zhang Q., Wang L., Li L., Wang J., Zhang D., Peng W., Wu C. Traditional uses, botany, phytochemistry, pharmacology, pharmacokinetics and toxicology of *Xanthium strumarium* L.: a review. *Molecules* 2019; 24(2): 359
- Genel Y., Durak H., Aysu T., Genel I. Effect of process parameters on supercritical liquefaction of *Xanthium strumarium* for bio-oil production. *The Journal of Supercritical Fluids* 2016; 115: 42-53.
- Hasheminejad M., Tabatabaei M., Mansourpanah Y., Khatami Far M., Javani A. Upstream and downstream strategies to economize biodiesel production. *Bioresour Technol* 2011; 102: 461-468.
- Holm LG., Pancho JV., Herberger JP., Plucknett DL. A geographic atlas of world weeds. Malabar, Florida, USA: Krieger Publishing Company, 1991.
- Hook M., Tang X. Depletion of fossil fuels and anthropogenic climate change-A review. *Energy Policy* 2013; 52: 797-809.
- ISO 12966-2. Animal and vegetable fats and oils – Gas chromatography of fatty acid methyl esters – Part 2: Preparation of methyl esters of fatty acids, 2011.
- Kamboj A., Saluja AK. Phytopharmacological review of *Xanthium strumarium* L. (Cocklebur). *International Journal of Green Pharmacy* 2010; 4(3): 129-139.
- Karaca E., Aytac S. Yağ bitkilerinde yağ asitleri kompozisyonu üzerine etki eden faktörler. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi* 2007; 22(1): 123-131.
- Kim YS., Kim JS., Park SH., Choi SU., Lee CO., Kim SK., Kim YK., Kim SH., Ryu SY. Two cytotoxic sesquiterpene lactones from the leaves of *Xanthium strumarium* and their *in vitro* inhibitory activity on farnesyltransferase. *Planta Med* 2003; 69: 375-377.
- Kumar S., Rajkapoor B. Effect of *Xanthium strumarium* L. extracts on antioxidant enzymes levels in rat brain after induction of epilepsy. *Pharmacology Online* 2010; 2: 883-888.
- Lee JM. Common cocklebur (*Xanthium strumarium* L.). Iowa State University, The ISU Weed Biology Library, Agronomy No: 517, USA, 1996.
- Nagel JM., Wang X., Lewis JD., Fung HA., Tissue DT., Griffin KL. Atmospheric CO₂ enrichment alters energy assimilation, investment and allocation in *Xanthium strumarium*. *New Phytologist* 2005; 166(2): 513-523.
- Onemli F. Impact of climate change on oil fatty acid composition of peanut (*Arachis hypogaea* L.) in three market classes. *Chilean Journal of Agricultural Research* 2012; 72(4): 483.
- Patil MVK., Kandhare AD., Bhise SD. Anti-arthritic and anti-inflammatory activity of *Xanthium strumarium* L. ethanolic extract in Freund's complete adjuvant induced arthritis. *Biomedicine & Aging Pathology* 2012; 2(1): 6-15.
- Pawar S., Hole J., Bankar M., Channapattana S., Srinidhi C. Studies on *Xanthium strumarium* L. seed oil: Biodiesel synthesis and process optimization. *Materials Today: Proceedings*. 2022.

- Piloto Ferrer J., Cozzi R., Cornetta T., Stano P., Fiore M., Degrassi F., Sánchez-Lamar A. *Xanthium strumarium* L. extracts produce DNA damage mediated by cytotoxicity in in vitro assays but does not induce micronucleus in mice. *BioMed Research International* 2014; <https://doi.org/10.1155/2014/575197>.
- Romero M., Zanuy M., Rosell E., Cascante M., Piulats J., Font-Bardia M., Balzarini J., Clerq ED., Pujol MD. Optimization of xanthatin extraction from *Xanthium spinosum* L. and its cytotoxic, anti-angiogenesis and antiviral properties. *Eur J Med Chem* 2015; 90: 491-496.
- Salimon J., Noor DAM., Nazrizawati A., Noraishah A. Fatty acid composition and physicochemical properties of Malaysian castor bean *Ricinus communis* L. seed oil. *Sains Malaysiana* 2010; 39.
- Scherer R., Godoy HT. Effects of extraction methods of phenolic compounds from *Xanthium strumarium* L. and their antioxidant activity. *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s 2014; 16(1): 41-46.
- Uskutoğlu T., Cesur C., Şenkal BC., Duygu A. Pıtrak (*Xanthium strumarium* L.) Bitkisinin farklı açılardan değerlendirilmesi. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi* 2018; 28(1): 113-118.
- Wei-He X., Cheng-Jiang R. Oil contents and relative components of fatty acid in the seeds of five energy plants. *Renewable Energy Resources* 2010; 28(2): 62-66.

Nozul Mesafesinin Çarpan Jet Isı Transferi ve Akışkan Akışı Üzerindeki Etkileri

Ferhat KOCA^{1*}, Mustafa ZABUN²

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

²Yeditepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0001-8849-5295>

²<https://orcid.org/0000-0003-0420-4134>

*Sorumlu yazar: ferhatkoca@cumhuriyet.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 14.02.2022

Kabul tarihi: 18.04.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Jet akışı

Jet çarpması

Nozul

Isı transferi

Bu çalışmada dikey düz bir plaka yüzeyine çarpan jet akışı için nozul uzunluğunun ısı transferi ve akış alanı üzerindeki etkileri sayısal olarak araştırılmıştır. Çalışmanın temel amacı, sabit ısı akısına ($q''=1500 \text{ W/m}^2$) sahip bir yüzeydeki ısı transferini etkileyen nozul uzunluğuna bağlı jet çarpmasının akış özellikleri üzerindeki etkilerini göstermektir. Analizler bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) uygulaması olan Ansys/Fluent kullanılarak elde edilmiştir. Nozul çıkışındaki akış, tam gelişmiş bir hız profiline sahiptir. Analizler, nozul ile plaka yüzeyi arasında 0,5; 1 ve 1,5 L/W boyutsuz mesafeleri ile 1300, 2600 ve 4000 jet Reynolds sayısı (Re) için gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, durma noktası bölgesinde azalan nozul mesafesi ile yerel Nusselt sayılarının arttığını göstermektedir. Bu durum, ısı transferinin artmasıyla sonuçlanan daha düşük nozul mesafesi çapı ile jet momentumu ve türbülans yoğunluğu seviyesindeki bir artışa ve ısı sınır tabaka incelmeye bağlanabilir. Ayrıca zamana bağlı yapılan çözümlemelerde, hız ve sıcaklık konturları verilmiş, Nusselt sayısı ile sıcaklık değişim grafikleri sunulmuş ve modeller birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

The Effects of Nozzle Distance on Impinging Jet Heat Transfer and Fluid Flow

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 14.02.2022

Accepted: 18.04.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Jet flow

Jet impingement

Nozzle

Heat transfer

In this study, the effects of nozzle length on heat transfer and flow area for jet flow impinging on a vertical flat plate surface were investigated numerically. The main purpose of the study is to show the effects of jet impingement on the flow properties, depending on the nozzle length, which affects the heat transfer on a surface with a constant heat flux ($q''=1500 \text{ W/m}^2$). Analyzes were obtained using Ansys/Fluent, a Computational Fluid Dynamics (CFD) application. The flow at the nozzle outlet has a fully developed velocity profile. Analyzes were performed for 1300, 2600 and 4000 jet Reynolds numbers (Re) with dimensionless distances of 0.5, 1 and 1.5 L/W between the nozzle and the plate surface. The results show that local Nusselt numbers increase with decreasing nozzle distance in the stagnation point region. This can be attributed to an increase in jet momentum, turbulence intensity and thermal boundary layer thinning with the smaller nozzle distance diameter resulting in increased heat transfer. In addition, time-dependent velocity and temperature contours are given, Nusselt number and temperature change graphs are presented along the vertical plate and the models are compared with each other.

To Cite: Koca F., Zabun M. Nozul Mesafesinin Çarpan Jet Isı Transferi ve Akışkan Akışı Üzerindeki Etkileri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 1008-1021.

1. Giriş

Çarpan jetler, ısı ve kütle transferini büyük ölçüde artırır ve bu nedenle, sıcak çelik levhaların soğutulması, camın temperlenmesi, kağıt ve filmlerin kurutulması, türbin kanatlarının ve elektronik bileşenlerin soğutulması ve ince film transistör üretimi gibi çeşitli mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Çarpan jetler üzerine önceki çalışmalar, çoklu jetlerin ve Reynolds sayısının (Yan ve ark., 2004; Xing ve ark., 2010; Culun ve ark., 2018), nozulun plakaya mesafesinin (Wae-Hayee ve ark., 2014; Shukla ve ark., 2019), nozul geometrisinin (Çelik, 2020), jet sıcaklığının (Krueger ve ark., 2019), hedef şekil oryantasyonunun (Ravanji ve ark., 2020), çapraz akışın (Javadi, 2020), yüzey şeklinin vb. etkilerini dikkate almıştır.

Her bir değişkenin etkisini anlamak için onları ayrı ayrı incelemek önemlidir. Reflow lehimleme gibi hava jeti çarpması ile zorlanmış konveksiyon kullanan endüstriyel uygulamalarda, akış yapısının doğru analizi ve hedef yüzey üzerindeki ısı transferini etkileyen değişken değerlerinin doğru tanımlanması proses performansının artmasına neden olur. Maliyetleri ve zamanı azaltmak için sayısal yöntemlerin kullanılması önem kazanmıştır. Bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı kullanılarak deneylerin sayısı oldukça azaltılır, böylece çalışmanın amacı ile ilgili olan fenomenlere odaklanmak mümkün olur. Son yıllarda yapılan çalışmalar bu yöndedir (Karabulut ve ark., 2019; Alnak ve Karabulut, 2021; Koca, 2022).

Çarpan hava jetlerinde temel amaç yüzeye oldukça kütleli bir hava gönderip yerel ısı transfer katsayısını yeteri kadar yükseltmektir. Bunun sebebi akışkanın yüzeye çarpması ile çarpma bölgesinde termal dirence sebep olan sınır tabaka incilmesi ve oradaki ısı taşınım katsayısının artmasıdır. Bu da nozuldan çıkan havanın yüzeye en optimize edilmiş şekilde çarpması ile elde edilir. Çarpan hava jetlerinin optimizasyonu yapılırken birçok etken parametre göz önüne alınır. Bunların ana başlıkları geometri, ekonomiklik ve verimlilik olarak göz önüne alınabilir.

Garimella ve Nenaydykh (1996), erken tarihli yaptıkları deneysel çalışmada jet çarpmasının ısı transferi üzerinde nozul geometrisi etkilerini incelemişlerdir. 0,79-5,35 mm aralığında nozul çaplarına ve 0,25-12 aralığında yedi farklı nozul en boy oranına sahip tek bir jeti, 4000 ila 23 000 arasındaki türbülanslı jet Reynolds sayılarında ve nozul ısı kaynağı aralıkları 1-14'te test etmişlerdir. Sonuç olarak, nozul girişindeki akış ayrımı ve bunun çıkış hızı profilleri ile nozul çapının ısı transfer katsayıları üzerinde kesin bir etkisi olduğunu vurgulamışlardır. Aminzadeha ve ark. (2020), ısıtılmış bir oyukta türbülanslı çarpan salınımlı bir jetin soğutma performansı üzerindeki nozul genişliği etkisini sayısal olarak sunmuşlardır. Sonlu hacim tabanlı çözümleme aracı OpenFOAM ile farklı giriş debilerinde ve çarpma mesafelerinde nozul genişliğinin akış yapısı ve ısı transferi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Nozul genişliğinin azaltılmasının, sabit bir akış hızında salınım frekansını arttırdığını göstermişlerdir. Ayrıca, çarpma duvarındaki Nusselt sayısı, nozul genişliğinin azalmasıyla doğrusal olarak artmıştır. Akış salınımlının sistemin soğutma performansını arttırdığını belirtmişlerdir. Chu ve ark., (2019), elektronik modüller için jet çarpmalı soğutma üzerine deneysel ve sayısal araştırmalar yapmıştır. Ele alınan geometriler Z tipi, iki taraflı ve U tipi olmak üzere üç farklı çıkış ve kısmen

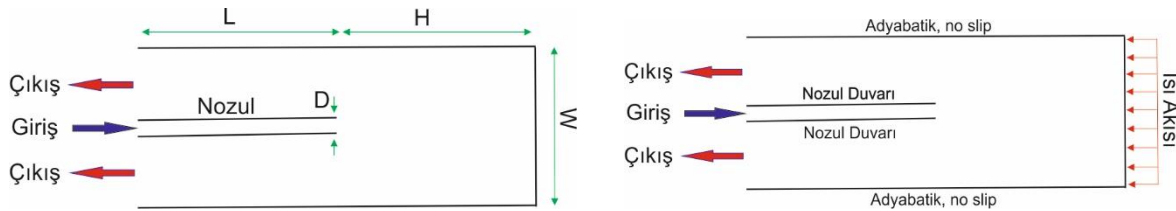
eğimli, tam eğimli ve kademeli plenum konfigürasyon yerleşimleri içermektedir. Sonuç olarak, U tipi çıkış veya kademeli plenum kullanılması, daha düşük pompalama gücüne sahip hedef plakalarda çarpmalı soğutma performansını belirgin şekilde tehlikeye atabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca hedef plaka üzerindeki termal direncin tepe değeri, jet dizisinin orta bölgesinde ve ön kısmında %21,8 ve %16,0 oranında azaltılabilir olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Lak ve ark., (2020), düz yüzey üzerine çarpan eğik jet akışının ısı transferi ve akış karakteristiği üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında, farklı Reynolds sayıları ($1500 < Re < 30000$) için boyutsuz jet-plaka mesafeleri ($2 < H/D < 8$) ve jet eğim açıları ($45^\circ < \alpha < 90^\circ$) ele alarak simülasyonlar gerçekleştirmişlerdir. Jet eğim açısının küçülmesiyle birlikte ısı transferi değerlerinde azalmanın olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ek olarak jet eğim açısının küçülmesiyle maksimum Nusselt sayısının durma noktası Nusselt sayısına oranının azaldığını belirtmişlerdir. Öztürk ve ark. (2022) sabit ısı akısına sahip elektronik bir elemanın çarpan hava jeti ve çapraz akış kombinasyonu ile soğutulmasını sayısal olarak incelemiştir. Farklı jet giriş hızının kanal giriş hızına oranı $V_j/V_k=0,1,2,3$ ve farklı kanatçık açısı (α) değerleri $0^\circ, 22,5^\circ, 45^\circ, 67,5^\circ$ ve 90° için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yardımı ile sayısal analizler yapmışlardır. Bütün parametrelerin sabit tutulmasıyla kanatçık açısının (α) veya V_j/V_k oranının artması ile elektronik elemanın yüzeylerinde gerçekleşen ısı transferinin genel olarak arttığı sonucuna varmışlardır. Çalışmada maksimum ısı transferine $V_j/V_k=3$ ve $\alpha=90^\circ$ durumunda ulaşmışlardır. Kaya (2021), ikili çarpan jet ile soğutulan bir sıcak plakada yüzey şeklinin ısı transferine etkisini sayısal olarak araştırmıştır. Çalışmada ısıtılmış plaka ile aynı yüksekliğe sahip düz, yamuk, zikzak ve dikdörtgen kesitli geometrileri kullanılarak ikili nozul sistemi ile türbülanslı çarpan jet akış yöntemiyle soğutulması durumu için hidrolik ve ısı transfer performansları karşılaştırılmıştır. En yüksek ısı performansına sahip geometrinin yamuk kesitli plaka olduğunu ve aynı şartlar için taşınımın gerçekleşen ısı transfer hızının düz plakadan yaklaşık %52,2 daha yüksek çıktığını belirlemiştir. Ayrıca Nusselt sayısı/pompalama gücü oranına göre en düşük performansın dikdörtgen kesit için oluştuğunu gözlemlemiş bunu da basınç farkının bu geometride yüksek olmasına bağlamıştır. Martin (1977) endüstriyel kurutma prosesleriyle ilgili tek jetli ve çok jetli çarpma akışının ısı ve kütle transferi için mevcut deneysel sonuçları derlemiştir. Jambunathan ve ark. (1992) tek jet çarpmasında çok çeşitli parametrelerin ısı transferi üzerindeki etkisi ile ilgili çalışmalarını sunmuştur. Han ve ark. (2001) gaz türbini sistemleriyle ilgili jet çarpma ısı transferini incelemiştir. Sarkar ve ark. (2004), farklı gıda ürünlerinin hava çarpması ile sıvı akışı ve ısı transfer özelliklerini derlemiştir. Son olarak Anupam Dewan ve ark. (2012), türbülanslı jet çarpan ısı transferinin hesaplanmasında son eğilimleri ele almıştır.

Literatürde jet nozullar kullanılarak ısı transferini iyileştirmeye yönelik birçok çalışma bulunmaktadır fakat U tip bir kanalda farklı yapıda nozul kullanımı çok kısıtlıdır. Bu çalışmada farklı Reynolds sayıları için nozul uzunluğunun (dolayısıyla nozul-çarpma yüzeyi mesafesinin) jet akışı için ısı transferindeki etkisi zamana bağlı olarak incelenmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Böylece U tip

kanallar için nozul yapısındaki değişikliklerin ısı transferi üzerindeki etkileri sunularak literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Jet akış şematik diyagramı ve uygulanan sınır şartları Şekil 1'de gösterilmektedir. Aminzadeha ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışma için kullanılan temel yüzey geometrisi referans olarak alınmıştır. Tablo 1'de geometrik ölçüler ve çalışılan parametreler verilmiştir. $L=W$ temel eşitliği ana geometri olarak kabul edildiği için, nozul uzunluğuna göre modeller $L/2$, L ve $1,5L$ olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 1. Model geometrisi ve sınır şartlarının görünümü

Tablo 1. Mevcut sayısal simülasyon için geometrik parametreler (boyutlar cm olarak verilmiştir)

D (cm)	L (cm)	H (cm)	W (cm)	L/W (nozul uzunluğu değişimi)	Parametre tanımı
2	20	20	20	0,5; 1; 1,5	L/2; L; 1,5L

Akışkan hava bir nozuldan, çalışmada ele alınan Reynolds sayılarına bağlı olan belirli bir hızda ve yaklaşık 300 K sabit sıcaklıkta akmaktadır. Mach sayısı 0,3'ün altında olduğu için hava jeti akışı sıkıştırılmaz kabul edilmiştir. Çarpmadan sonra hava akımı nozulun iki yanında ve jet akışının tersi yönünde bulunan çıkış kesitine yönelmektedir. Kullanılan geometri ve akışkan parametreleri göz önüne alındığında, incelenen Reynolds sayısı 1300, 2600 ve 4000 değerleri için nozul jet akış hızı belirlenmiştir. Viskanta (1993) 'ya göre, bu akış geçiş bölgesinde yer alır, çünkü $Re < 1.000$ 'de akış alanı laminer bir akış davranışı sergiler ve $Re > 3.000$ 'de tamamen türbülanslı bir davranış sergiler. Bu düşük Reynolds sayıları çarpan jetleri tahmin etmek için türbülans modellerini uygulayan sayısal simülasyonlarda bir zorluğu temsil eder. Bu noktada analizler bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı olan Ansys/Fluent ile çözümlenmiştir. Çözümleme metodu olarak $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılmış, 10^{-6} hassasiyette çalışılmıştır.

Jet çarpma sistemi iki boyutta incelenmiştir. Bu anlamda, sorunu tanımlayan denklemler şunlardır:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + g\beta(T - T_o) \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (4)$$

Bu denklemler, sıkıştırılamaz bir akış için basitleştirilmiştir. Denk. (1) süreklilik denklemini temsil eder, Denk. (2) ve Denk. (3) sırasıyla 2D, x-momentum ve y-momentumdaki Navier-Stokes denklemleridir, Denk. (4) enerji denklemdir. Denklemler göz önüne alındığında bilinmeyen ve bilinen değişkenleri belirlemek mümkündür.

Jet akışı ısı transfer performansını önemli ölçüde etkileyen Reynolds sayısı, Denk. (5)'te verilen hesaplanabilen bir formülle tanımlanır:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{\rho \dot{m} D}{\mu A} \quad (5)$$

Burada ρ , akışkan havanın debisi, D , jet nozul hidrolik çapı, μ , havanın dinamik viskozitesi ve V , nozul girişinden verilen ortalama jet hızıdır. \dot{m} nozul plakasından çıkan havanın toplam kütle akış debisi, A nozul plakasının kesit alanıdır.

Elde edilen sonuçlardan boyutsuz ısı transfer sayısı Nusselt hesaplanmıştır. Hesaplama yapılırken çarpma plakası yüzey sıcaklığı kullanılarak çarpma plakası üzerindeki ortalama Nusselt sayısı değerleri Denk. (6) ile hesaplanmıştır.

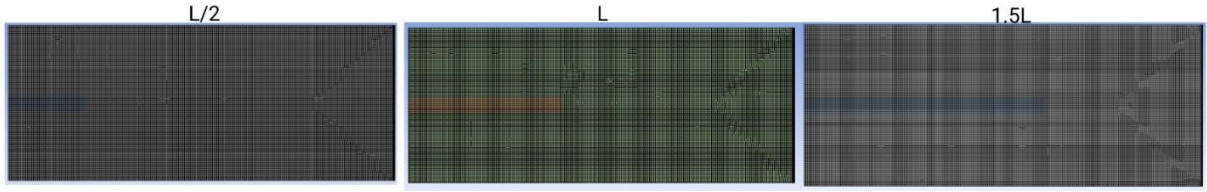
$$Nu = \frac{h W}{k} = \frac{\nabla T W}{T - T_o} \quad (6)$$

Burada h , ısı transfer katsayısı, W , çarpma plakasının genişliği ve k , havanın ısıl iletkenliğidir. h ve k şunlardır: $h = q'' / (T - T_o)$ ve $k = q'' / \nabla T$, burada, T_o hava giriş sıcaklığıdır. Nusselt sayısı çarpma duvarında analiz edilmiştir, çünkü bu makalenin asıl amacı havayı ısıtmak değil, çarpma plakasını soğutmaktır.

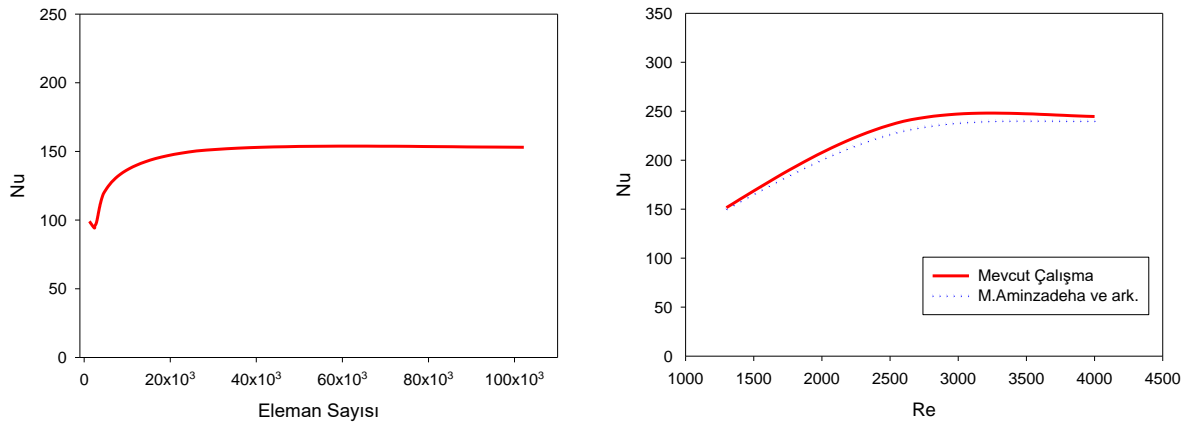
Nozul girişinden itibaren üniform V hızına ve sabit $T_o = 300$ K sıcaklığına sahip hava, soğutulması amaçlanan çarpma plakası yüzeyine dik bir şekilde püskürtülmektedir. Püskürtülen bu havanın kanal içerisine farklı hızlarda ($V=1,568$ m/s, $3,136$ m/s, $6,712$ m/s) girdiği ve yalnızca yatay x eksen yönünde bir bileşene ($u=V$) sahip olduğu kabul edilmiştir. Kanal çıkışının nozul her iki yanından ve atmosfere açıldığı kabul edilmiştir. Bu nedenle kanal çıkış kesiti basıncı atmosfer basıncına eşit ($P_{out}=P_{atm}$) olarak tanımlanmıştır. Nozul ve kanal yüzeylerinde kaymama sınır şartı olduğu, bu nedenle tüm hız bileşen değerlerinin bu yüzeylerde sıfır olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca kanal duvarlarından herhangi bir ısı geçişi olmadığı ($\partial T / \partial n = 0$) varsayılmış ve adyabatik olarak tanımlanmıştır. Literatürdeki çalışmalar ışığında çarpma plakası yüzeyine sabit 1500 W/m² ısı akısı uygulanmıştır.

Modeller için kullanılan mesh ağ yapıları Şekil 2'de görülmektedir. Mesh bağımsızlığı, ağ kalitesinin bir fonksiyonu olarak sonuçların doğruluğunu belirlemek için son derece önemlidir. Çıkış parametresi olarak ortalama Nusselt sayısı seçilmiş ve farklı eleman sayılarında sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 3'te eleman sayısı ile Nusselt değişim grafiği verilmiştir. 40000 ve üzeri mesh eleman sayısı için elde

edilen Nu sayıları birbirine oldukça yakındır. Bu durum 40000 mesh eleman sayısı ve üzeri için ağ yağısının kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Çalışmada ek olarak yüzeylere katman (inflation) uygulanmış ve yaklaşık 50000 mesh eleman sayısı ile analizlere geçilmiştir. Şekil 3'te ayrıca referans olarak alınan Aminzadeha ve ark., (2020) çalışması ile uyum içerisinde olduğu gösterilmiştir.



Şekil 2. Farklı uzunluklara sahip nozul ve kanal geometrilerindeki mesh yapılarının görünümü



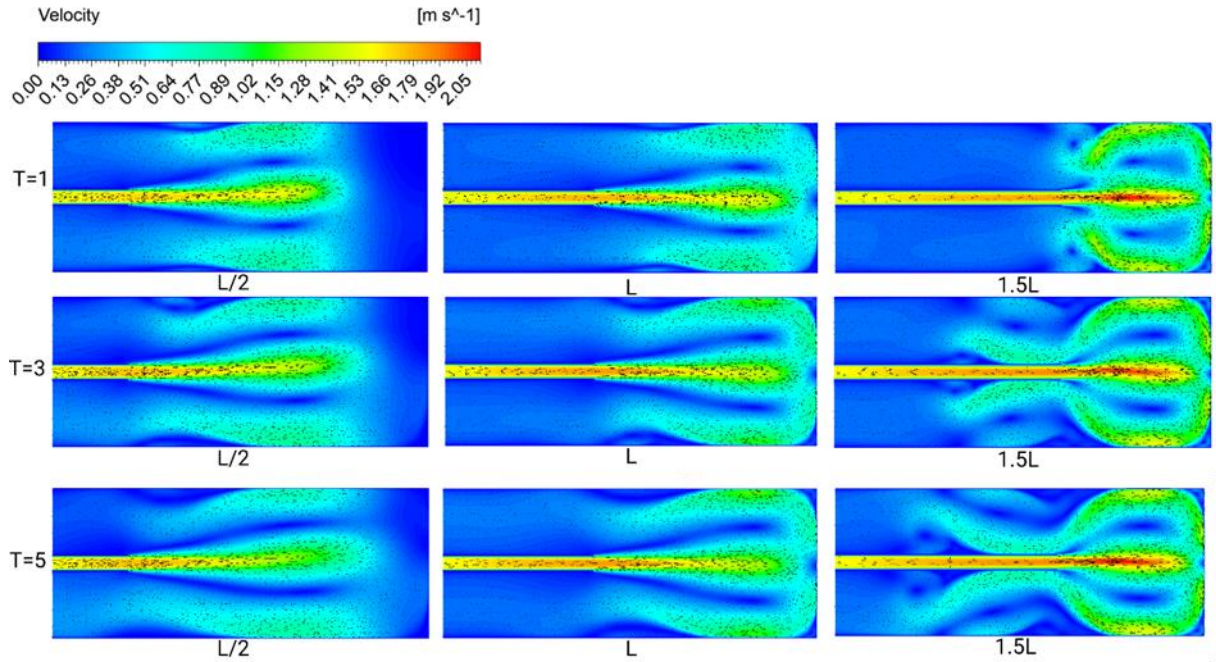
Şekil 3. Mesh bağımsızlığı için eleman sayısı ile Nu değişimi ve sonuçların literatürle karşılaştırılması

3. Bulgular ve Tartışma

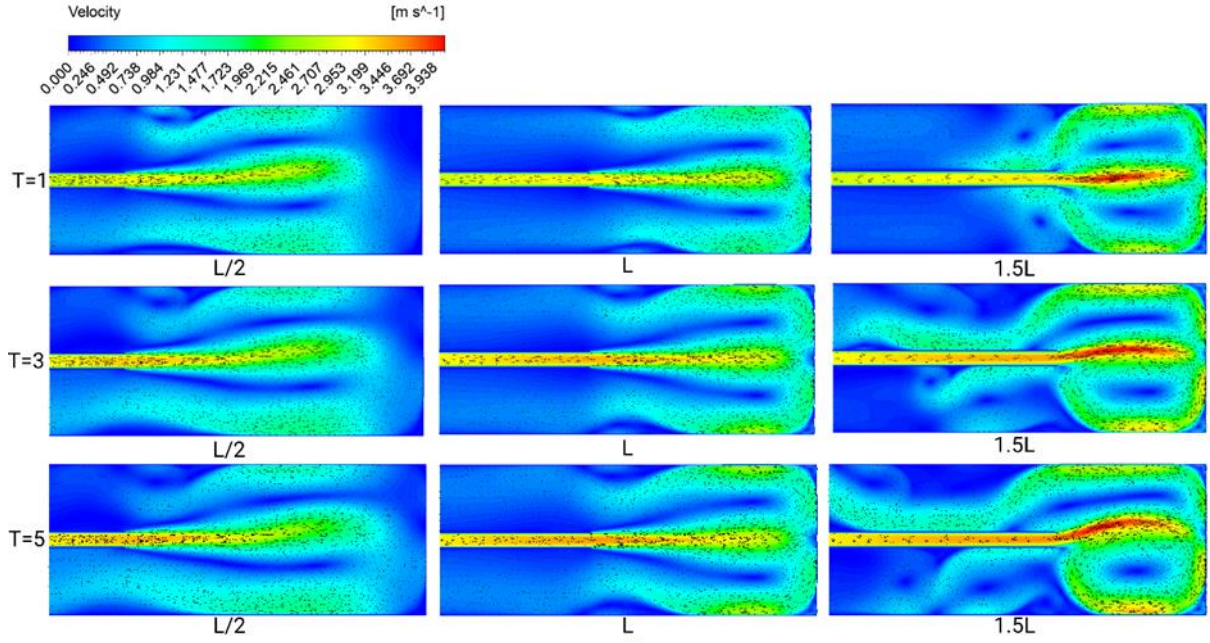
Bu bölümde, ısı kaynağı üzerindeki ısı transfer katsayısının dağılımı ile ilgili olarak, Reynolds sayısının ve jet-plaka mesafelerinin ısı transferi ve akış özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Isı kaynağı olarak jet akışı çarpma yüzeyi olan dikey plakaya $q''=1500 \text{ W/m}^2$ ısı akısı uygulanmıştır. 20 mm'lik bir nozul çapı, 1300, 2300 ve 4000 Re sayıları, 0,5; 1 ve 1,5 nozul-çarpma yüzeyi (W/H) mesafesi (L/2, L ve 1,5L nozul uzunluğu) için incelemeler yapılmıştır. Zamana bağlı çözümleme yapılarak farklı zaman dilimleri için hız ve sıcaklık konturları sunulmuştur. Şekil 4'te Re=1300 için L/2, L ve 1,5L nozul uzunluklarındaki jet akışının T=1, T=3 ve T=5 sn'deki anlık hız konturları gösterilmektedir. Kanal çıkış kesiti, jet nozulunun her iki yanından ters yönde olduğu için, çarpma yüzey teması sonrası ters akış etkisi ortaya çıkmaktadır. Nozul uzunluğunun artması, dolayısıyla jet-plaka mesafesinin azalmasıyla çarpma yüzeyine temas eden akışkan etkisi artmaktadır. Bu durum ısıl sınır tabakayı etkilemektedir. Bütün nozul uzunlukları için zamana bağlı olarak aksel kontur dalgalanması olmamakta, nozul merkez eksenine göre simetrik bir vektörel görüntü oluşmaktadır.

Şekil 5'te $Re=2600$ için $L/2$, L ve $1,5L$ nozul uzunluklarındaki jet akışının $T=1$, $T=3$ ve $T=5$ sn'deki anlık hız konturları hız vektörleri ile birlikte gösterilmektedir. Reynolds sayısının artmasıyla birlikte çarpma yüzeyine temas eden akışkan tabakası artmıştır. Bu durum özellikle nozul uzunluğunun fazla olduğu $1,5L$ modelde vorteks oluşumlarının başlamasına neden olmuştur. $T=1$ sn zamanında nozul merkezine göre simetrik ters akış meydana gelirken, $T=3$ sn ve $T=5$ sn zaman dilimlerinde vorteks oluşumlarının etkisi kontur görüntülerinde açıkça görülmektedir.

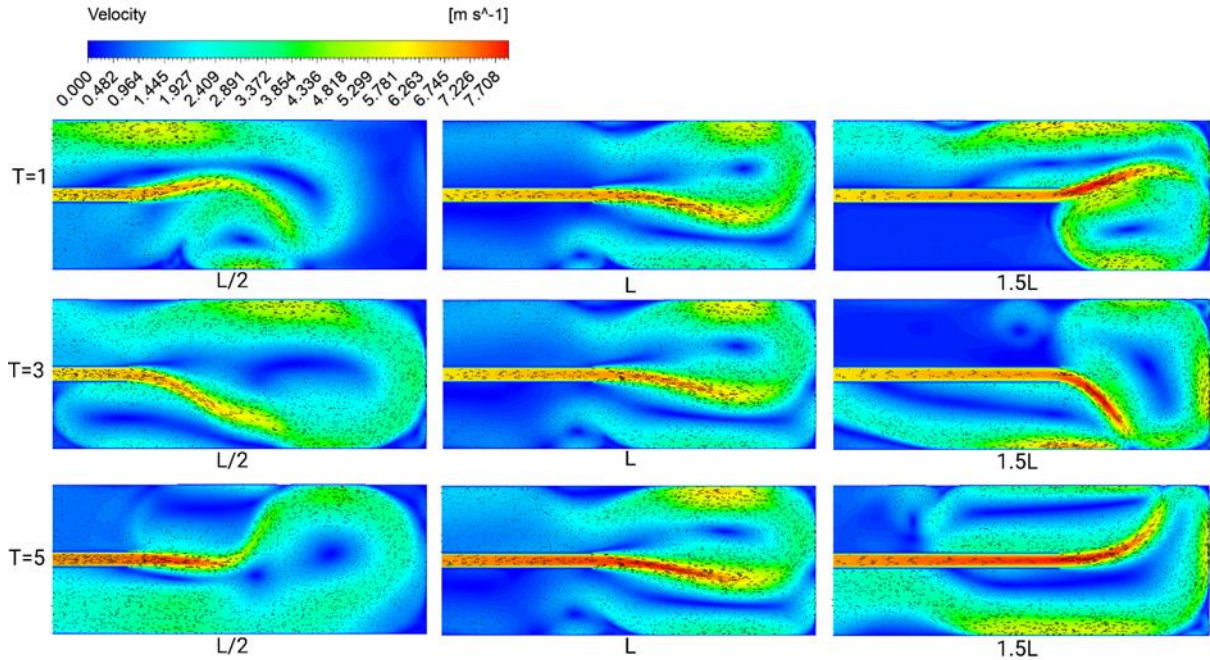
Şekil 6'da $Re=4000$ için $L/2$, L ve $1,5L$ nozul uzunluklarındaki jet akışının $T=1$, $T=3$ ve $T=5$ sn'deki anlık hız konturları hız vektörleri ile birlikte gösterilmektedir. Bütün modellerde Re sayısının artmasıyla $T=1$ sn anından itibaren akış dalgalanmaları meydana gelmiştir. Bu durum kanal içi türbülans etkisinin artmasına dolayısıyla sıcak çarpma yüzeyi üzerinden ısı transferinin artmasına neden olan en önemli göstergedir. $L/2$ ve L nozul uzunluğuna sahip modellerde nozul merkez ekseninde yukarı yönlü vorteks oluşumları daha etkin görülürken, $1,5L$ nozul uzunluğuna sahip modelde her bir farklı anlık hız konturunda bu etkin girdap yönü değişmektedir.



Şekil 4. $Re=1300$ için $L/2$, L ve $1,5L$ nozul uzunluklarındaki jet akışının $T=1$, $T=3$ ve $T=5$ sn'deki anlık hız konturları ve vektörleri



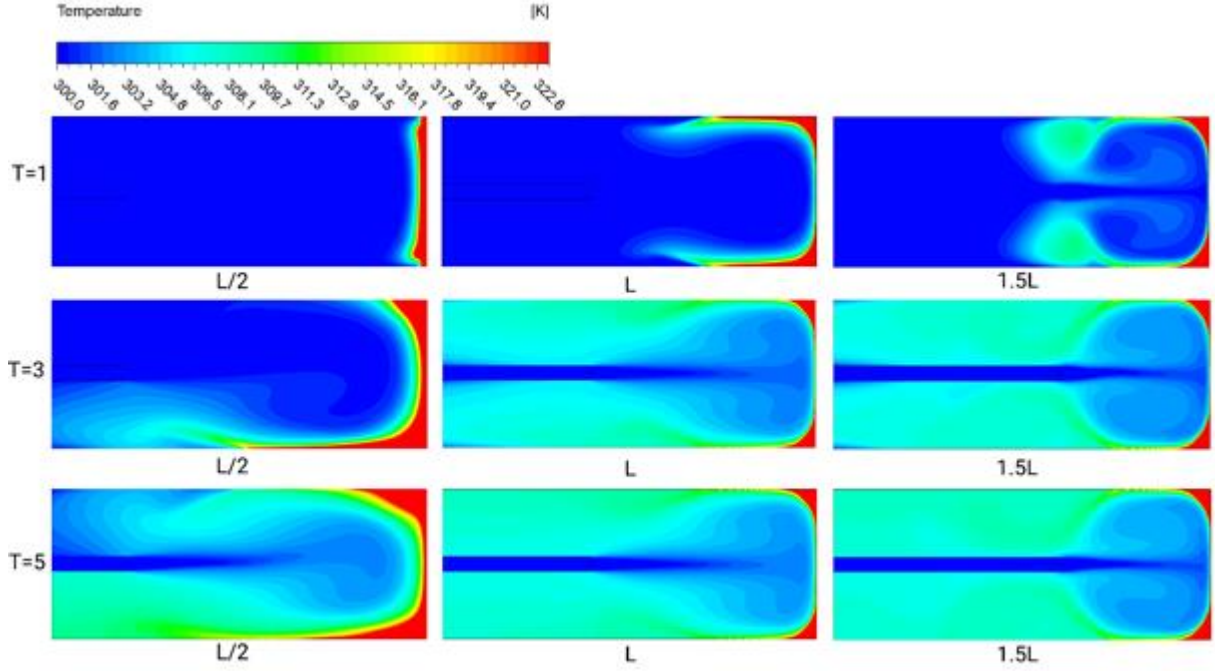
Şekil 5. $Re=2600$ için $L/2$, L ve $1.5L$ nozul uzunluklarındaki jet akışının $T=1$, $T=3$ ve $T=5$ sn'deki anlık hız konturları ve vektörleri



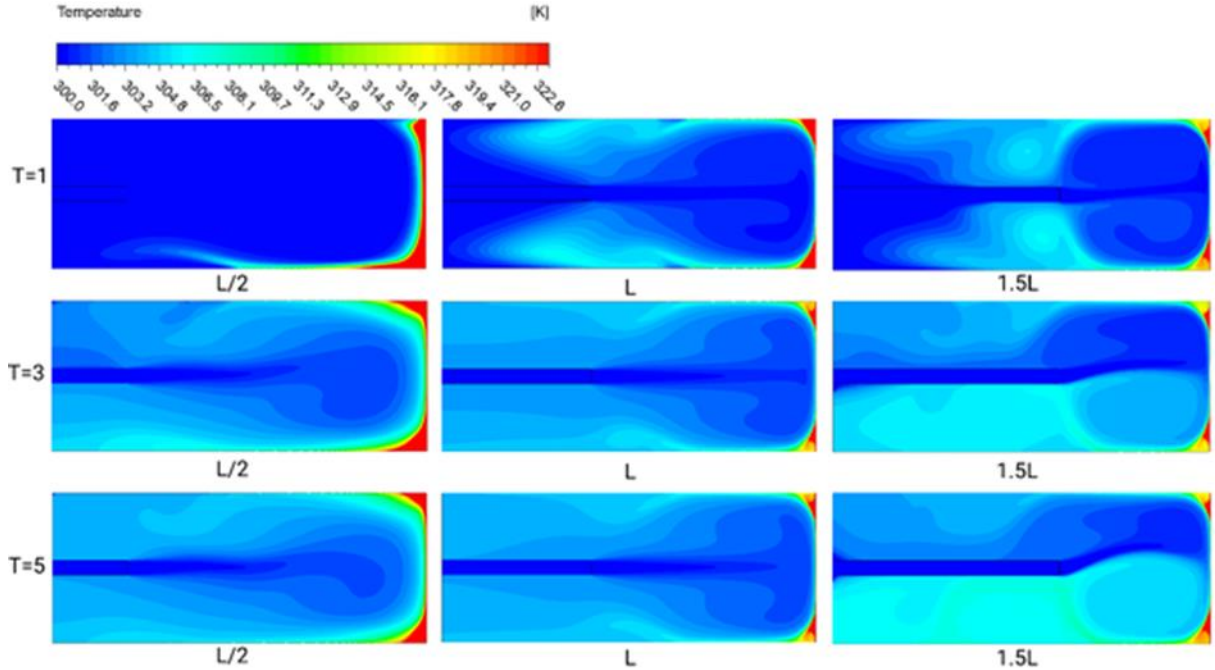
Şekil 6. $Re=4000$ için $L/2$, L ve $1.5L$ nozul uzunluklarındaki jet akışının $T=1$, $T=3$ ve $T=5$ sn'deki anlık hız konturları ve vektörleri

Jet nozul-plaka aralığı için Şekil 7'de $Re=1300$ için, Şekil 8'de $Re=2600$ için ve Şekil 9'da $Re=4000$ için zamana bağlı sıcaklık konturları verilmiştir. Nozul-çarpma yüzeyi arasındaki mesafenin azalması ısıl sınır tabakanın incelmeye neden olmakta ve bu durum da doğrudan ısı transferini etkilemektedir. $L/2$ uzunluğunda nozula sahip modelde ısıl tabaka en kalın, $1.5L$ uzunluğunda nozula sahip modelde ise en ince ısıl tabaka oluşmuştur. Ayrıca ısıl tabaka Reynolds sayısının artmasıyla da incelmekte, bu

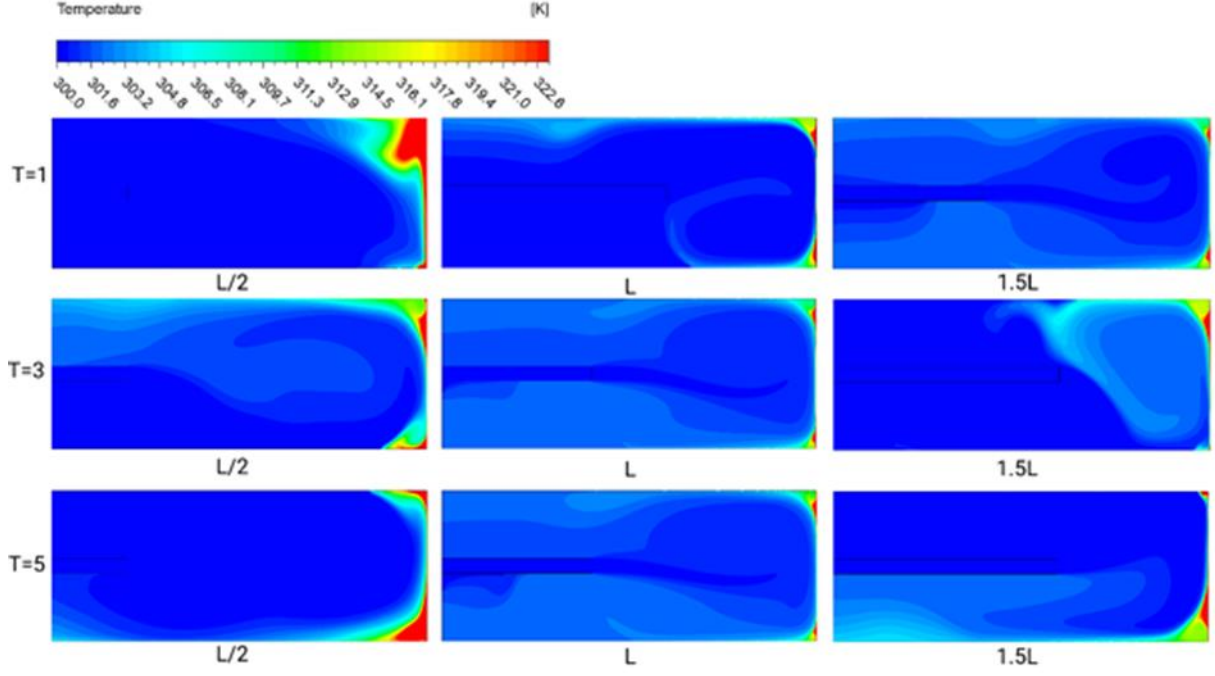
durum Şekil 7’de $Re=1300$ için gösterilen akış için en düşük, Şekil 9’ da $Re=4000$ için gösterilen akış için en yüksektir. Bunlara ek olarak sıcaklık konturlarında ısıl dalgalanma nozul merkez ekseninden kanal duvarlarına doğru meydana gelmektedir. Durma noktası olarak isimlendirilen nozul merkez eksenini çapma yüzeyi noktasında en fazla soğutmanın sağlandığı kısım olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 7. $Re=1300$ için $L/2$, L ve $1.5L$ nozul uzunluklarındaki jet akışının $T=1$, $T=3$ ve $T=5$ sn’deki sıcaklık konturları

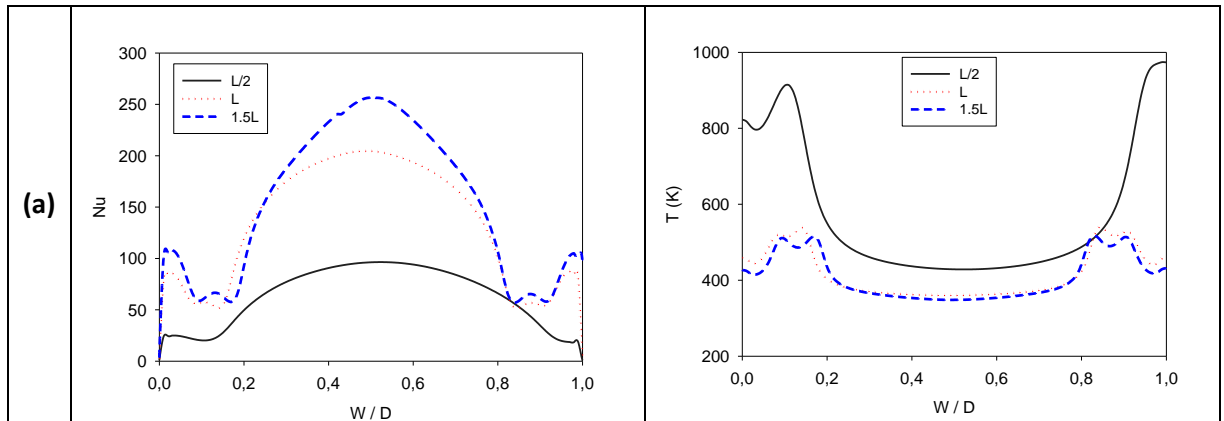


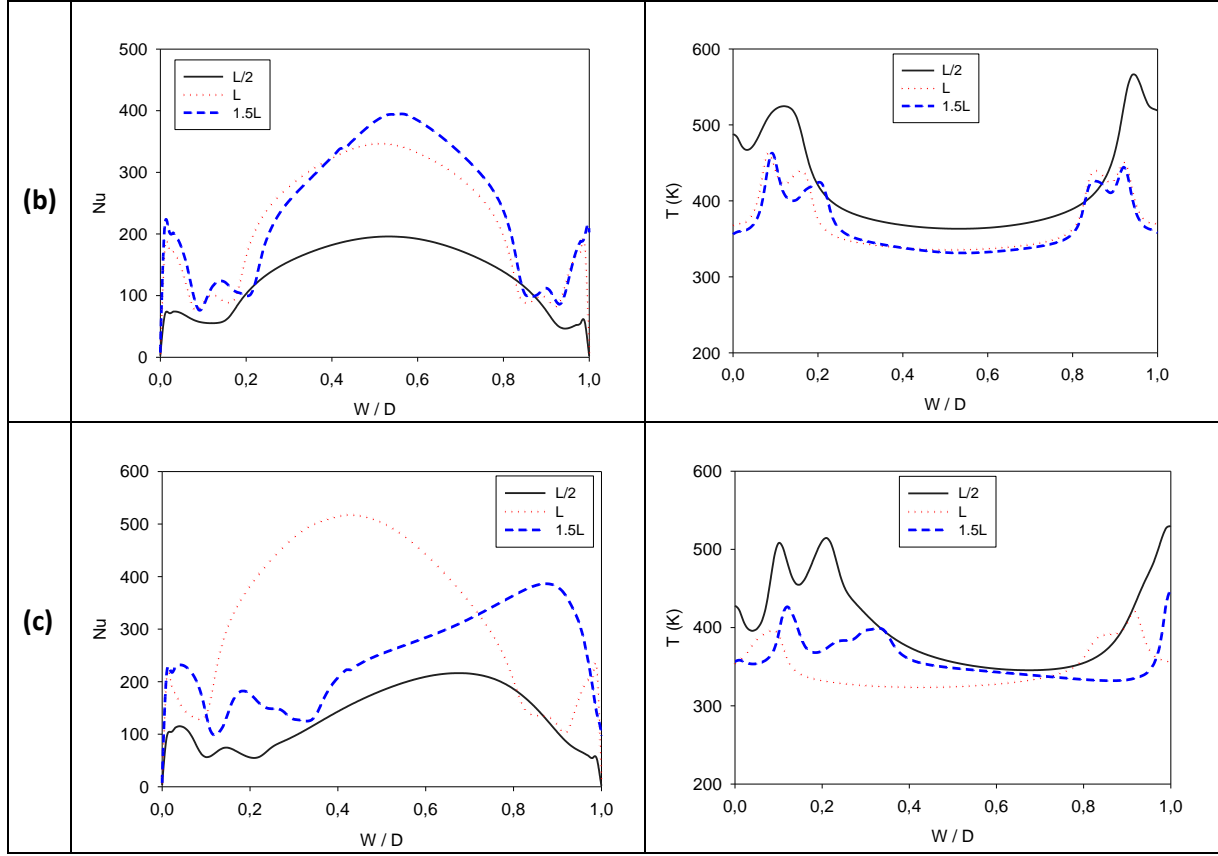
Şekil 8. $Re=2600$ için $L/2$, L ve $1.5L$ nozul uzunluklarındaki jet akışının $T=1$, $T=3$ ve $T=5$ sn’deki sıcaklık konturları



Şekil 9. $Re=4000$ için $L/2$, L ve $1.5L$ nozul uzunluklarındaki jet akışının $T=1$, $T=3$ ve $T=5$ sn'deki sıcaklık konturları

Nozul çapı ile normalize edilmiş kanal yüksekliği W/D boyunca yerel Nusselts dağılımları Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekil 10(a) $Re=1300$ değeri, Şekil 10(b) $Re=2600$ değeri ve Şekil 10(c) $Re=4000$ değeri için elde edilmiştir. Jet akış hızının en yüksek olduğu nozul ekseninde eğriler bir tepe noktası ile çan şeklindedir. Durma noktasından uzaklaştıkça ısı transfer katsayısı azalır. Bu durum 1300 ve 2600 Reynolds sayısındaki eğrilerde net bir şekilde görülmektedir. Bu iki Re değeri için en yüksek yerel Nu sayısı nozul-çarpma yüzeyi mesafesi en düşük olan $1.5L$ geometrisinde elde edilmiştir. $0.5L$ nozul uzunluğuna sahip model her durumda en düşük Nu değeri sonucunu vermektedir. $Re=4000$ için verilen Şekil 10(c) grafiği incelendiğinde nozul mesafesi L olan geometri ön plana çıkmakta, $1.5L$ nozul uzunluğuna sahip modelde $T=5$ sn anında büyük çaplı girdap oluşumuyla en yüksek Nu değerinin elde edildiği W/D mesafesi hem durma noktasından kaymış hem de L uzunluğuna sahip modele göre daha düşük çıkmıştır.

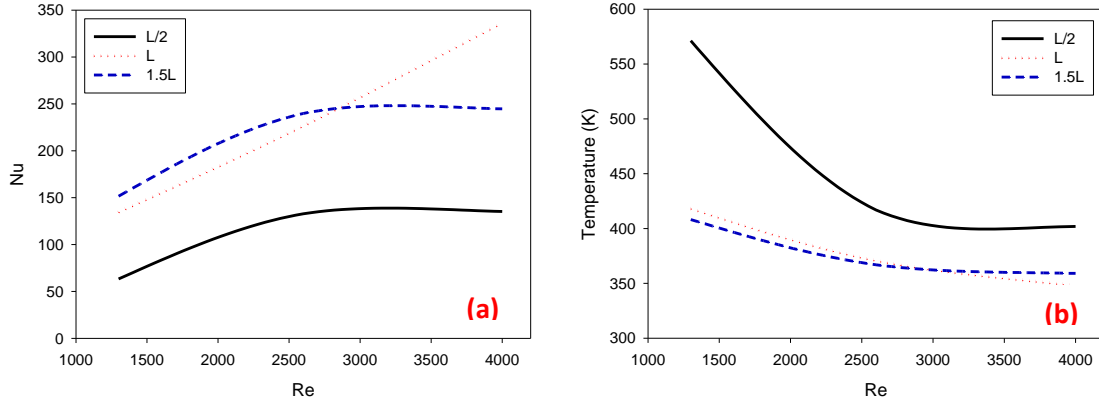




Şekil 10. Farklı nozul uzunlukları için a) $Re=1300$, b) $Re=2600$ ve c) $Re=4000$ değerlerinde çarpma yüzeyi boyutsuz W/D boyunca Nusselt sayısı ve sıcaklık değişimleri

Şekil 10'da ayrıca W/D boyunca çarpma yüzeyi sıcaklık değişimleri verilmiştir. En yüksek ısı transferinin gerçekleştiği durma noktasında en düşük sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Bu değerler L ve $1.5L$ nozul uzunluğuna sahip modellerde $L/2$ nozul uzunluğuna sahip modele göre daha düşüktür. Durma noktasından uzaklaştıkça sıcaklık değerleri artmış, akışkan hareketinin en az olduğu kanal köşelerinde ısı birikmeleri nedeniyle en yüksek sıcaklık değerleri elde edilmiştir.

Şekil 11'de Reynolds sayısı değişimiyle analiz sonucu elde edilen ortalama Nusselt sayısı grafiği ile çarpma yüzey sıcaklığı verilmiştir. Şekil 11(a) Nusselt sayısı değişimini, Şekil 11(b) çarpma yüzey sıcaklık değişimini göstermektedir. $L/2$ ile en kısa nozul uzunluğuna sahip modelde Nu sayısı en diğer modellere göre daha düşük, çarpma yüzey sıcaklığı daha yüksek elde edilmiştir. Düşük Re sayılarında nozulun kısalığı ile çarpma yüzeyine olan akışkan temasının önemli ölçüde azalması bu durumun sonucu olarak açıklanabilir. L ve $1.5L$ nozul uzunluğuna sahip modellerde düşük Re sayılarında benzer eğimler söz konusu iken $Re=2600$ sonrası L uzunluğuna sahip modelde Nu artışı devam etmiş $1.5L$ nozul uzunluğundaki modelde çok az değişiklik ortaya çıkmıştır. Bu durum çarpma yüzeyine yaklaşan nozul ile ters akış sonrası oluşan büyük girdapların nozul çıkışındaki akışkan hareketini etkilemesinden kaynaklandığı söylenebilir. Grafikler incelendiğinde $Re=2600$ 'e kadar en etkin nozul uzunluğu $1.5L$, $Re=2600$ 'den büyük değerler için ise L 'dir.



Şekil 11. Farklı nozul uzunlukları için Reynolds sayısı değişiminin a) ortalama Nusselt sayısı ve b) sıcaklık değişimine etkisi

4. Sonuç

Bu makalede, dikey yüzey üzerinde tek yuvalı hava jetinin ısı transfer özellikleri sayısal olarak incelenmiştir. Analizler 2 cm sabit nozul genişliği ile gerçekleştirilmiştir. Testte değişken parametreler nozul uzunluğu (0,5L, 1L, 1,5L) ve Reynolds sayısı (1300, 2600, 4000) olarak ele alınmıştır. Başlıca sonuçlar şunlardır:

- Dikey bir yüzeydeki ısı transfer katsayısı, Reynolds sayısıyla artmaktadır.
- Jet akış hızının en yüksek olduğu nozul ekseninde Nu değerleri bir tepe noktası ile çan şeklinde merkezden kanal köşelerine doğru düşmektedir.
- Re=2600'e kadar en etkin nozul uzunluğu 1,5L, Re=2600'den büyük değerler için ise L'dir.
- Re sayısının artmasıyla sıcak plaka üzerinden ısı atılımı 570K'den 420K seviyelerine düşen 0,5L nozul uzunluğuna sahip modelde gerçekleşmiştir. Buna rağmen 430K den 350 K sıcaklık seviyelerine düşen L uzunluğundaki modelde en düşük sıcaklık değerleri elde edilmiştir.
- Nu sayılarında 0,5L ve 1,5L benzer eğilim gösterirken L nozul uzunluğuna sahip model için Re=2600 sonrası artış devam etmektedir. Bu durum zamana bağlı çözümler sunan mevcut çalışmada plaka teması sonrası ters akış girdabının 1,5L modelde nozul çıkışını etkilemesinden ve yüzey ısı aktarımının bu zaman diliminde yeterince olmamasından kaynaklanırken L modelde bu durumlar incelenen Re sayılarında gözlenmemiştir.
- Sonuç olarak nozul-plaka aralığı, jet akışı için Nu'da önemli bir rol oynar. Nozul-plaka mesafesi ($W/H=0,5$ yani 1,5L model) için Nu, nozul uzunluğunun güçlü bir fonksiyonudur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarların makaleye katkıları eşittir.

Kaynakça

- Alnak DE., Karabulut K. Jet giriş genişliğinin ısı transferi ve akış yapısına olan etkisinin araştırılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi 2021; 36(2): 331-345.
- Aminzadeha M., Khadema J., Zolfagharia SA., Omidvarb A. Numerical study of nozzle width effect on cooling performance of a turbulent impinging oscillating jet in a heated cavity. International Communications in Heat and Mass Transfer 2020; 118: 104899.
- Chu W., Huang K., Amer M., Wang C. Experimental and numerical investigations on jet impingement cooling for electronic modules. ASME. J. Heat Transfer 2019; 141(10): 102201.
- Culun P., Celik N., Pihtili K. Effects of design parameters on a multi jet impinging heat transfer. Alexandria Engineering Journal 2018; 57(4): 4255-4266.
- Çelik N. Effects of dimples' arrangement style of rough surface and jet geometry on impinging jet heat transfer. Heat Mass Transfer 2020; 56: 339–354.
- Dewan A., Dutta R., Srinivasan B. Recent trends in computation of turbulent jet impingement heat transfer. Heat Transfer Engineering 2012; 33(4-5): 447-460.
- Garimella SV., Nenaydykh B. Nozzle-geometry effects in liquid jet impingement heat transfer. Int. J. Heat Mass Transfer 1996; 39(14): 2915-2923.
- Han B., Goldstein, RJ. Jet-impingement heat transfer in gas turbine systems. Annals of the New York Academy of Science 2001; 934: 147–161.
- Jambunathan K., Lai E., Moss MA., Button BL. A review of heat transfer data for single circular jet impingement. International Journal of Heat and Fluid Flow 1992; 13: 106–115.
- Javadi A. Numerical study of an impinging jet in cross-flow within and without influence of vortex generator structures on heat transfer. Heat Mass Transfer 2020; 56: 797–810.
- Kaya H. İkili çarpan jet ile soğutulan sıcak plakanın yüzey şeklinin ısı transferine etkisinin sayısal analizi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 2021; 9: 152-163.
- Karabulut K., Alnak DE., Koca F. Investigation of heat transfer from heated square patterned surfaces in a rectangular channel with an air jet impingement. European Journal of Engineering and Natural Sciences 2019; 3(1): 78-86.
- Koca F. Numerical investigation of corrugated channel with backward-facing step in terms of fluid flow and heat transfer. J. Engin. Thermophys 2022; 31: 187–199.
- Krueger J., Uddin N., Ali M. Numerical study of heat transfer by impinging jet with inlet temperature-field excitations using a pseudo-sinusoidal function. Numerical Heat Transfer, Part A: Applications 2019; 76(9): 724-736.

- Lak A., Çalışır T., Başkaya Ş. Flow and heat transfer characteristics of inclined jet impingement on a flat plate. *Politeknik Dergisi* 2020; 23(3): 697-706.
- Martin H. Heat and mass transfer between impinging gas jets and solid surfaces. *Advances in Heat Transfer* 1977; 13: 1–60.
- Öztürk MS., Demircan T. Numerical analysis of the effects of fin angle on flow and heat transfer characteristics for cooling an electronic component with impinging jet and cross-flow combination. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 2022; 37(1): 57-74.
- Ravanji A., Zargarabadi MR. Effects of elliptical pin-fins on heat transfer characteristics of a single impinging jet on a concave surface. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2020; 152: 119532.
- Sarkar A., Nitin N., Karwe MV., Singh RP. Fluid flow and heat transfer in air jet impingement in food processing. *J. Food Sci.* 2004; 69(4): 113–122.
- Shukla AK., Dewan A. Flow and thermal characteristics of jet impingement on a flat plate for small nozzle to plate spacing using LES. *International Journal of Thermal Sciences* 2019; 145.
- Viskanta R. Nusselt-Reynolds prize paper - Heat transfer to impinging isothermal gas and flame jets. *Exp. Therm. Fluid Sci.* 1993; 6: 111–134.
- Wae-Hayee M., Tekasakul P., Eiamsa-ard S., Nuntadusit C. Effect of cross-flow velocity on flow and heat transfer characteristics of impinging jet with low jet-to-plate distance. *Journal of Mechanical Science and Technology* 2014; 28(6): 2909-2917.
- Xing Y., Spring S., Weigand B. Experimental and numerical investigation of heat transfer characteristics of inline and staggered arrays of impinging jets. *ASME. J. Heat Transfer* 2010; 132(9): 092201.
- Yan WM., Mei SC., Liu HC., Soong CY., Yang WJ. Measurement of detailed heat transfer on a surface under arrays of impinging elliptic jets by a transient liquid crystal technique. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2004; 47(24): 5235-5245.

Parabolik Oluk Güneş Kolektörü Isı Transferi Özelliklerinin Alıcı Boruya Kanatçık İlavesi ile İyileştirilmesi

Sezer SEVİM^{1*}, Abdulkadir BEKTAŞ², Ali YURDDAŞ³

^{1,3}Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 45140, Yunusmre, Manisa

²Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 06530, Çankaya, Ankara

¹<https://orcid.org/0000-0003-1535-5392>

²<https://orcid.org/0000-0003-0199-2251>

³<https://orcid.org/0000-0002-4683-142X>

*Sorumlu yazar: sezersevim035@gmail.com

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 13.06.2022

Kabul tarihi:28.06.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Güneş Enerjisi
Parabolik Kolektör
Kanatçık
Alıcı Boru
Isı Transferi İyileştirilmesi

Parabolik oluk güneş kolektörleri güneş enerjisi uygulama alanında oldukça geniş yer tutmaktadır. Düz tip ve vakum tüp kolektörlere göre yüksek odaklanma oranı sayesinde alıcı boru içerisinde geçen ısı transferi akışkanında daha yüksek çıkış sıcaklıkları elde edilebilmekte ve bu yüzden elektrik üretimi vb. yüksek sıcaklık prosesi gerektiren alanlarda kullanılmaktadır. Alıcı boru içerisine kanatçık, türbülötör ilavesi veya alıcı borunun oluklu imal edilmesi ile ısı transferi özelliklerinde ciddi iyileştirmeler elde edilmektedir. Bu çalışmada alıcı boru içerisinde eğrisel kanatçık ilavesi ile akışkana ısı transferi özelliklerinin artışı hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizi ile incelenmiştir. Analizde kullanılan Reynoldss sayı aralığı 3000 ile 21000 arası olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre düz boruya göre altı kanatçıklı boruda Nusselt sayısı en fazla 1,34 kat, oniki kanatçıklı boruda 3,06 kat artış göstermiştir.

Enhancement of Parabolic Trough Solar Collector Heat Transfer Properties by Insert Fins to the Receiver Pipe

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 13.06.2022

Accepted: 28.06.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Solar energy
Parabolic collector
Fin
Receiver Pipe
Enhancement heat transfer

Parabolic trough solar collectors occupy a very large place in the field of solar energy application. Thanks to the higher focusing ratio compared to flat type and vacuum tube collectors, higher outlet temperatures can be obtained in the heat transfer fluid passing through the receiver pipe, and therefore electricity generation etc. It is used in areas that require high temperature processing. Significant improvements in heat transfer properties are achieved by adding fins, turbulators, or corrugated receiving pipe into the receiving pipe. In this study, the increase in heat transfer properties to the fluid with the addition of curvilinear fins in the receiver pipe was investigated by computational fluid dynamics (CFD) analysis. The Reynoldss number range used in the analysis was determined as between 3000 and 21000. According to the results obtained, the Nusselt number increased by 1,34 times in the six-finned pipe and 3,06 times in the twelve-finned pipe compared to the straight pipe.

To Cite: Sevım S., Bektaş A., Yurddaş A. Parabolik Oluk Güneş Kolektörü Isı Transferi Özelliklerinin Alıcı Boruya Kanatçık İlavesi ile İyileştirilmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 1022-1040.

1. Giriş

Dünya üzerinde yaşayanlar olarak ihtiyacımız olan enerjiyi imkan dahilinde üretmekte ve bunun için de genellikle var olan fosil yakıtları kullanmaktayız. Fosil yakıt rezervlerin tükenme tehlikesiyle karşı karşıya olması ve aşırı kullanılması sebebiyle sera gazı emisyonlarını artmasına ve dolayısıyla küresel

küresel ısınmaya sebep olması bizleri çevre açısından en uygun ve karbon ayak izi çok düşük seviyelerde olan yenilenebilir enerjiyi kullanmaya yönlendirmektedir.

Günümüzde modern sanayi ülkeleri, yenilenemeyen enerjinin gün geçtikçe tükeniyor olmasından dolayı ısıtma, soğutma, tuzdan arındırma, küçük veya büyük ölçekli elektrik üretimi gibi farklı uygulamalar için yenilenebilir enerji kullanımına yönelmişlerdir (Jebasingh ve ark., 2016).

Yenilenebilir enerji uygulamaları arasında güneş enerjisi oldukça popüler hale gelmiştir. Güneş enerjisinden termal olarak faydalanabilmek için farklı sıcaklık aralıkları için farklı tipte kolektörler modellenmiş, dizayn edilmiş, üretilmiş ve test edilmiştir. Düşük sıcaklık kolektörleri olarak düz tip kolektörde 30-80 °C, boşaltılmış vakum tüp kolektörde 50–200 °C, birleşik parabolik kolektörde 60–240 °C, orta sıcaklık aralığında fresnel tipi kolektörde 60–250 °C, silindirik oluk tipinde 60–300 °C, parabolik oluk tipinde 60–400 °C ve yüksek sıcaklık aralığında parabolik çanak tipinde 100–1500 °C, heliostat tipi kolektörde 150–2000 °C sıcaklıklara erişilmiştir. Termal enerji elde edilmesi ve buhar üretimi için güneş kolektörleri arasında parabolik oluk tipi en popüler kolektördür (Manikandan ve ark., 2019).

Parabolik oluk tipi kolektörün odak noktasında bulunan alıcı boruda ısı transferi iyileştirmesi için başlıca üç teknik kullanılır: 1) Aktif metot, 2) Pasif metot ve 3) Birleşik metot.

Aktif metotta manyetik alan ve yüzey titreşimi gibi bir dış kuvvet uygulanır. Pasif metotta ısı transferini arttırmak için harici bir dış kuvvet uygulanmaz. Isı transferi özelliklerini arttırmak için alıcı boru içerisine özel olarak tasarlanmış disk, tel şerit, bükülmüş bant şerit, metal sünger vb. yapılar eklenerek ısı sınır tabaka kalınlığı azaltılarak boru iç duvarına yakın bölgede türbülans ve hız gradyanı artırılır. Birleşik metotta ise hem aktif hem de pasif metot birlikte kullanılır (Akbarzadeh ve ark., 2018).

Bahsedilen yöntemler haricinde alıcı borudaki ısı transferi özelliklerinin artırılması için başka yöntemler de uygulanmaktadır. Bu yöntemler arasında en çok kullanılan iyileştirme yöntemleri sırasıyla ısı transferi akışkanına nano partikül ilavesiyle elde edilen nano akışkanların kullanılması, alıcı boru yüzeyine farklı kaplama yöntemleri ile yüzey emiciliğinin artırılması denilebilir (Chekifi ve ark., 2022).

Konuyla ilgili literatür araştırıldığında parabolik oluklu güneş kolektörlerinde ısı transferi özelliklerinin artırılması için yapılan çalışmalar oldukça fazla sayıdadır. Bu çalışmalarda boru içi kanatçık tasarımları, farklı geometrilere miller kullanılması ve akışkan üzerinde iyileştirmeler gibi başlıca çalışmalar hem deneysel hem de nümerik olarak ele alınmıştır. Çalışmalarda ısı transfer kabiliyeti, basınç farkları ve sürtünme faktörleri gibi başlıca durumların karşılaştırmaları yapılmıştır.

Bellos ve ark. (2016)'nın yaptıkları çalışmada oluşturulan boru içi yeni geometri ile ortalama verimde %4,55 lik bir artış sağlanırken termal yağ akışkana Al₂O₃ nanopartikül ilavesi ile elde edilen nano akışkan ile %4,25 ortalama verim artışı basınçlandırılmış suda %6,34 ortalama verim artışı elde edilmiştir. Şahin ve ark.(2015)'in yaptıkları çalışmada 3000-17000 Reynolds sayısı aralığında adım sayısı 15mm, 30mm ve 45mm olacak şekilde montajlanan türbülantör sayesinde ısı transferi değerleri düz tipe göre

sırasıyla 2,28, 2,07 ve 1,95 kat daha iyi sonuç elde edilmiştir. Nazir ve ark. (2021)'in yaptıkları çalışmada oluşturulan yeni geometri ile düz boruya göre ortalama Nusselt sayısı oranı önerilen yeni geometride 15,43, referans alınan Chang ve ark. (2018)'in çalıştığı geometriye göre 13, Liu ve ark. (2019)'un çalıştığı geometriye göre ise 6,30 dur. Düz boruya göre sürtünme faktörü oranı ise önceki sırasıyla 11,34 ,10 ve 10,80 dir. Düz boruya göre PEC (hidrotermal performans belirleme kriteri) değeri ise yine önceki sırasıyla 6,87, 6,03 ve 2,85 dir.

Al-Rashed ve ark. (2021)'in yaptıkları çalışmada termal yağ-Al₂O₃-MWCNT (%20-%80) hibrit nano akışkan ve türbülötör ihtiva eden tasarım ile parabolik kolektör dizaynında %14 daha az malzeme kullanılacağı görülmüştür. Bellos ve ark. (2018)'in yaptıkları çalışmada parabolik güneş kolektöründe termal verimde artış termal yağ kullanımına karşılık %6 CuO nanoakışkan ilavesi %0,76, kare kanatçıklar ile boru içi oluşturulan kanallar ile olan artış %1,54, her iki tekniğin de beraber kullanıldığı kombine sistemde verim artışı %1,54 olarak belirlenmiştir. Isı transferi iyileşmesine karşılık pompa gücünde meydana gelen artış sadece nano akışkan ilavesinde %31-%48, sadece kanatçık kullanımında %69-%100, hem nanoakışkan ilavesi hem de kanatçık kullanımında ise %143-%179 değerleri arasında artış göstermiştir.

Saedodin ve ark. (2021)'in yaptıkları çalışmada 0,32m/s hızında boruya giren akışkan ile yapılan analizde iki oluklu borudan 8 oluklu boruya doğru elde edilen termal verimlilik düz boruya oranla sırasıyla %6,6, %13,2, %20,6 ve %27,6 daha iyi sonuç vermiştir. Ghasemi ve ark. (2017)'nin yaptıkları çalışmada alıcı boru içerisine delikli flanş parçalar yerleştirilen parabolik güneş kollektöründe flanş parçaların iç çapı küçüldükçe Nusselt sayılarında artış olduğu en iyi ısıl performansın boru iç çapının flanş iç çapına oranı olan 0,8 ve Reynolds sayısı 30000 değerinde elde edilmiştir. Varun ve ark. (2020)'nin yaptıkları çalışmada boru içi orta yoğunluk sarımlı tel örgü türbülötör kullanımında elde edilen termal verim (%35-%133), yüksek yoğunluk sarımlıda elde edilen termal verim (%20-%97) değerlerindedir. Bükülmüş şerit çubuk türbülötör kullanımında elde edilen termal verim bükme oranı 3,37 olduğunda %2-%56, bükme oranı 7,86 iken %11-%91 olarak elde edilmiştir. Orta yoğunluktaki tel örgü tip türbülötör kullanımında Nusselt sayısındaki 2,7 kat artış için pompalama gücünde 1,05 kat artış meydana gelmektedir (192 W ısı verimi artışına karşılık 6 W ek pompalama gücü artışı). Xiangtao ve ark. (2017)'nin yaptıkları çalışmada boru içi yeni geometri eklentileri ile düz boruya oranla ortalama Nusselt sayısında %9'a, ortalama ısı transfer performans faktöründe %12'ye varan bir artış meydana gelmiştir.

Chang ve ark. (2018)'in yaptıkları çalışmada alıcı boru içerisine farklı geometrilerde eksantrik ve konsantrik mil yerleştirilerek yapılan analizlerde PEC sayısının 1,12'den 3,38'e yükseldiği ayrıca eksantrik dizaynda konsantrik dizayna göre daha iyi ısı transfer performansı sergilediği belirtilmiştir. Akbarzadeh ve ark. (2021)'in yaptıkları çalışmada helisel oluklu alıcı boruya sahip parabolik güneş kolektöründe en büyük ısı transferi artışı Reynolds sayısı 2000 değerinde, maksimum PEC değeri 2,76 olarak Reynolds sayısı 2061 iken elde edilmiştir. Rashidi ve ark. (2017)'nin yaptıkları çalışmada boru içerisine helisel bükülmüş şerit çubuğun boru ekseninden kaçık olacak şekilde yerleştirilmesiyle

oluşturulan yeni modelin incelenmesi yapılmış olup farklı Reynolds sayılarında performans değerlendirme kriterinde (PEC) eksantriklik değeri arttırıldığında sırasıyla %33, %16,94, %8,45 ve %7,3 iyileştirmeler elde edilmiştir. Ghadirijafarbeigloo ve ark. (2014)'ün yaptıkları çalışmada bükülmüş kanatçıklı türbülator kullanımı sonucunda Nusselt sayısında farklı Reynolds sayılarına göre düz tip boruya göre %150 ve sadece bükme türbülator kullanımına göre %37 lik bir artış elde edilmiştir. Liu ve ark. (2019)'un yaptıkları çalışmada nervürlü yapılar ile beraber düz boruya göre Nusselt sayısındaki en yüksek artış 1,04 ila 3,21 arasında, alıcı borudaki sıcaklık düşüşü maksimum 177 °C ve boru ısı kaybındaki maksimum artış %80,1 olarak hesaplanmıştır. Farklı Reynolds sayılarına göre elde edilen maksimum PEC sayısı 1,56 ve elde edilen ortalama en iyi ısı verim artışı %1,9 olarak gerçekleşmiştir. Bahiraei ve ark. (2020)'nin yaptıkları çalışmada boru içerisinde eksenel mil üzerine belirli mesafelerde, açılı şekilde yerleştirilmiş konik kanatlar ile elde edilen modelin farklı Reynoldss sayılarında Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü deneysel olarak incelenmiş olup en yüksek Nusselt sayısı artışı bükme açısı 5° ve bükme adım sayısı 2,27 iken elde edilmiş, en yüksek PEC sayısının Reynolds sayısı 460, bükme açısı 5° ve adım sayısı 3 iken elde edilmiştir. Yılmaz ve ark. (2020)'nin yapmış oldukları çalışmada oluşturulan yeni türbülatorlü boruda düz tip boru ile karşılaştırıldığında akışkan debisi 13m³/h den düşük değerlerde 450 K akışkan sıcaklığı girişinde termal verim artışı %1,2, 650K akışkan girişinde termal verim artışı %1,4 olarak görülmüştür. PEC değeri 0,68 ile 0,82 arasında ve ısı transfer performansı artışı da %183 oranında gerçekleşmiştir. Kurşun (2001)'in yapmış olduğu çalışmada düz tip ve sinüzoidal kanatçık ile sırasıyla Nusselt sayısında %28 ve %78 artış elde edilmiştir.

Liu ve ark. (2019)'un yaptıkları çalışmada farklı Reynolds sayılarında ısı kaybındaki azalma maksimum %82,1, Nusselt sayısındaki artış aralığı %45 ila %203, sürtünme faktöründeki artış aralığı 6,17 kat ila 17,44 kat, ortalama termal-hidrolik performans artış aralığı 0,70 ila 1,3 ve termal verimdeki artış aralığı %0,02 ila %5,04, entropi üretimindeki maksimum azalma %74,2 ve ekserji veriminde ulaşılabilecek maksimum iyileştirme %5,7 olarak tespit edilmiştir. Saha ve ark. (2013)'ün yaptıkları çalışmada düz boru ile kıyaslandığında; sabit pompa gücüne karşılık ısı transferindeki artış %32-49 aralığında gerçekleşmiştir.

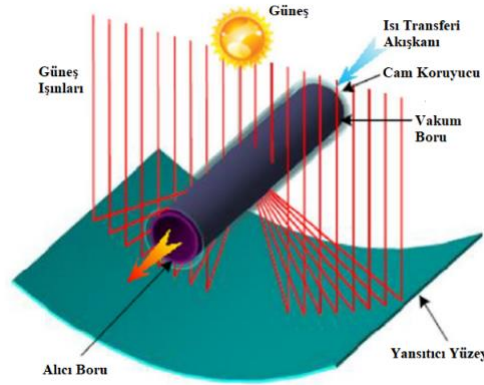
Feizabadia ve ark. (2019)'un yaptıkları çalışmada boru içi eklentiler ile Nusselt sayısında %122,4 ve sürtünme faktöründe %78,4 değerinde artış meydana gelmiştir. Saha ve ark. (2012)'nin yaptıkları çalışmada sürtünme faktöründeki artış %40-%50 aralığında, Nusselt sayısındaki artış ise %80-%100 aralığında gerçekleşmiştir.

Bu çalışmada; alıcı boru içerisine önce sadece güneş ışınlarının toplandığı yansıtıcı yüzeye bakan boru yüzeyinin iç tarafına eşit aralıklar ile altı adet kanatçık ilavesiyle oluşan model ve borunun tüm iç yüzeyine eşit aralıklar ile on iki adet eğrisel kanatçık ilavesi ile meydana gelen model üzerinde oluşan ısı transferi özelliklerinin değişimleri HAD yöntemi ile incelenmiştir. Yapılan analizlerde yeni oluşturulan alıcı boru modellerinde elde edilen Nusselt sayıları, basınç düşümü değerleri ve sürtünme faktörleri değerlerinin düz tip alıcı boruya göre değişimleri araştırılmıştır. Bu çalışmanın diğer

çalışmalardan farkı parabolik oluk güneş kolektöründe bulunan düz tip alıcı borunun farklı bir geometride tasarımı yapılarak boruya ait ısı transferi özelliklerinin iyileştirilmesidir. Yapılan analizlerde boru içi ısı transferi alanlarının arttırılması ile Nusselt sayılarında artış olduğu ve akışkana daha çok ısı aktarıldığı, boru içi sıcaklık dağılımının daha üniform hale geldiği görülmüştür.

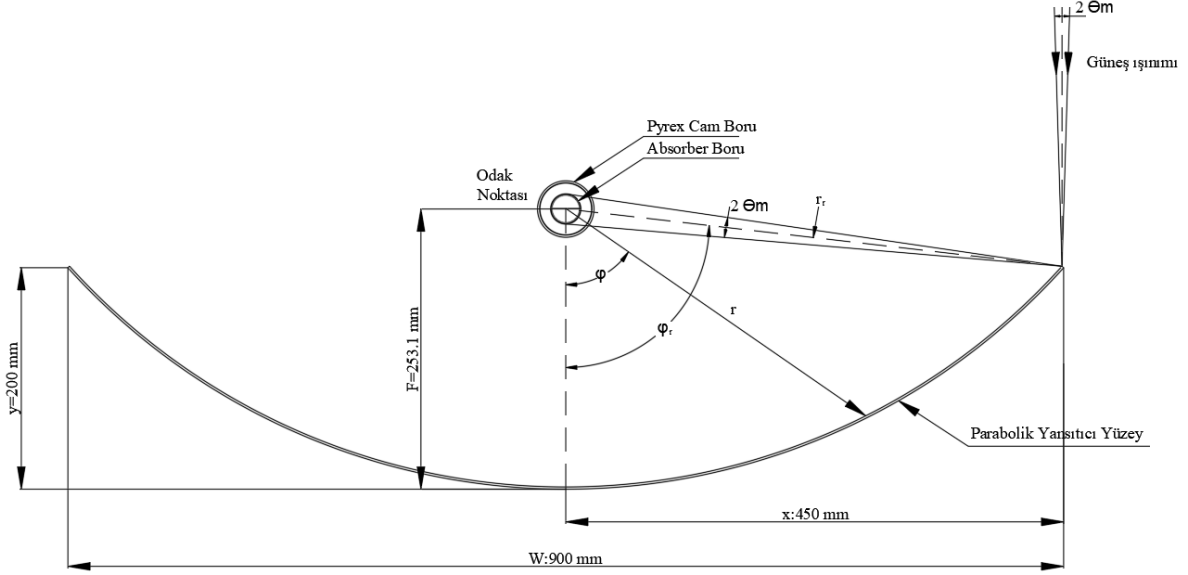
2. Materyal ve Metot

Bir parabolik oluk tipi güneş kolektörü parabolik şekilde bükülmüş sac yansıtıcı malzemeden imal edilir. Güneş ışınlarına doğru yönlendirilen parabolik yansıtıcı yüzey gelen güneş ışınlarını odak noktasındaki alıcı boruya yansıtır. Alıcı boruda toplanan güneş enerjisi alıcı boru içerisindeki ısı transfer akışkanına aktarılır böylece güneş enerjisi faydalı enerjiye dönüştürülmüş olur. (Kalogirou, 2012). Bir parabolik oluk tipi kolektörün şematik görünümü şekil 1’de gösterilmektedir (Qiu ve ark., 2017).



Şekil 1. Parabolik oluk güneş kolektörü şematik görünümü (Qiu ve ark., 2017)

Şekil 2’de görüldüğü üzere güneş ışınları $0,534^\circ$ genişlik açısına sahip konidir ve parabolik kolektöre yarım kabul açısı θ_m $0,267^\circ$ alınmış olup kolektör kenar açısı $83,2^\circ$ bulunmuştur. Böylelikle yansıtıcıdan alıcı boruya yansıyan güneş ışınlarının boruyu kestiği kenar çizgisi bulunmuştur. Çizginin oluşturduğu düzlem boruyu iki parçaya bölmekte ve güneş ışınları yansıtıcı yüzeye bakan boru alt yüzeyinde toplanmaktadır. Bahsedilen düzlem boru merkez düzleminden $0,46$ mm yukarıdadır. Şekil 2’de görülen kolektör belirtilen ölçülerde katı model programında modellenmiş ve iç akış hacmi oluşturulmuştur (Ercöşkun ve ark., 2013).



Şekil 2. Parabolik güneş kolektörü kesiti (Ercoşkun ve ark., 2013)

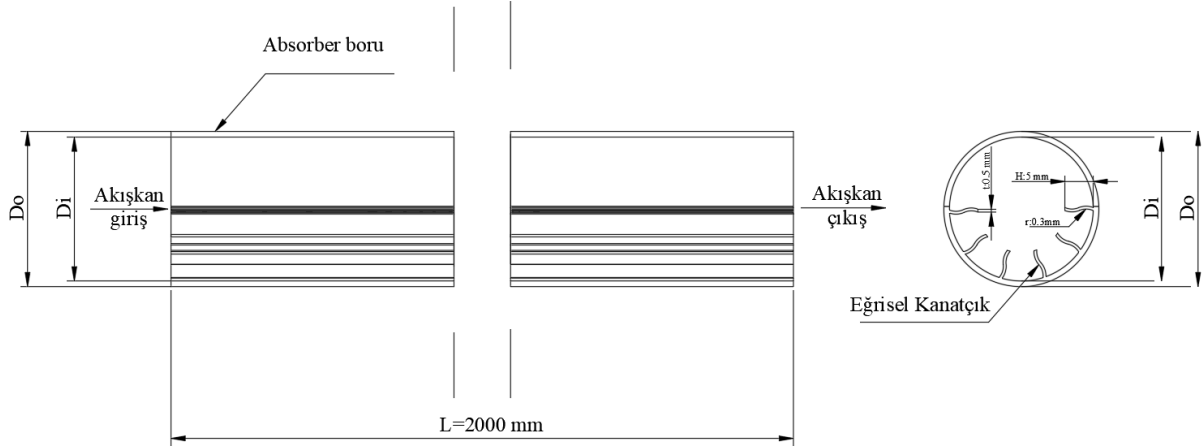
Bu analizde kullanılacak olan parabolik kolektöre ait kesit Şekil 2’de fiziksel özellikler ise Tablo 1’de gösterilmektedir. Yansıtıcı yüzey paslanmaz çelik üzerine yüksek yansıtıcı oranına sahip yüzeyi parlatılmış alüminyum kaplanmıştır. Alıcı boru olarak yüksek termal iletkenliğe sahip bakır boru kullanılmış, üzeri ise yüksek yutucu değerine sahip selektif yüzey kaplanmıştır. Boru ve cam boru arası vakum altına alınmıştır. Kolektör güneşi takip sistemine sahip olup bir saatlik güneş ışınımının tamamını dik olarak almaktadır.

Tablo 1. İncelenen parabolik kolektör fiziksel özellikleri

Yansıtıcı yüzey yay uzunluğu	1250 mm
Yansıtıcı yüzey genişlik (W)	900 mm
Yansıtıcı yüzey uzunluğu (L)	2000 mm
Yansıtıcı yüzey et kalınlığı	2 mm
Kolektör odak noktası	253,1 mm
Alıcı boru iç çapı	25 mm
Alıcı boru dış çapı (D_{bd})	27 mm
Alıcı boru malzemesi	Bakır boru (selektif yüzey kaplı)
Pyrex cam boru iç çapı	47 mm (Et kalınlığı 2 mm)
Alıcı boru malzemesi	Bakır boru (selektif yüzey kaplı)
Yansıtıcı yüzey malzemesi	Paslanmaz çelik sac üzeri yüzeyi parlatılmış alüminyum

Yapılacak olan HAD analizlerinde üç farklı model kullanılmıştır. İlk model düz tip alıcı boruya sahip parabolik kolektör, ikinci model boru içerisinde sadece güneş ışınlarının toplandığı yüzeyin iç kısmına farklı açılarla yerleştirilmiş 6 adet eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulmuş yeni model en son

olarak da alıcı borunun tüm iç yüzeyine eşit mesafelerde 12 adet eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulmuş yeni model. Şekil 3'te altı adet eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulmuş model gösterilmektedir.



Şekil 3. Altı adet eğrisel kanatçık ilavesi ile oluşan alıcı boru modeli

Tablo 2'de analizi yapılacak üç farklı durumun fiziki şartları gösterilmektedir. 1.Durum düz tip alıcı boru, 2.durum altı eğrisel kanatçık ilaveli alıcı boru, 3.durum ise oniki kanatçık ilaveli alıcı boru modelidir.

Tablo 2. Analizde incelenecek model bilgisi

	1.Durum	2.Durum	3.Durum
Boru iç çap (D_i)	25,4 mm	25,4 mm	25,4 mm
Boru dış çap (D_o)	27,4 mm	27,4 mm	27,4 mm
Kanatçık sayısı (n)	-	6 adet	12adet
Kanatçık yüksekliği (H)	-	5 mm	5 mm
Kanatçık et kalınlığı (t)	-	0,5 mm	0,5 mm
Kanatçık eğrisel yarıçap (r)	-	0,3 mm	0,3 mm
Boru uzunluk(L)	2000 mm	2000 mm	2000 mm
Kanatçık uzunluk(L)	2000 mm	2000 mm	2000 mm

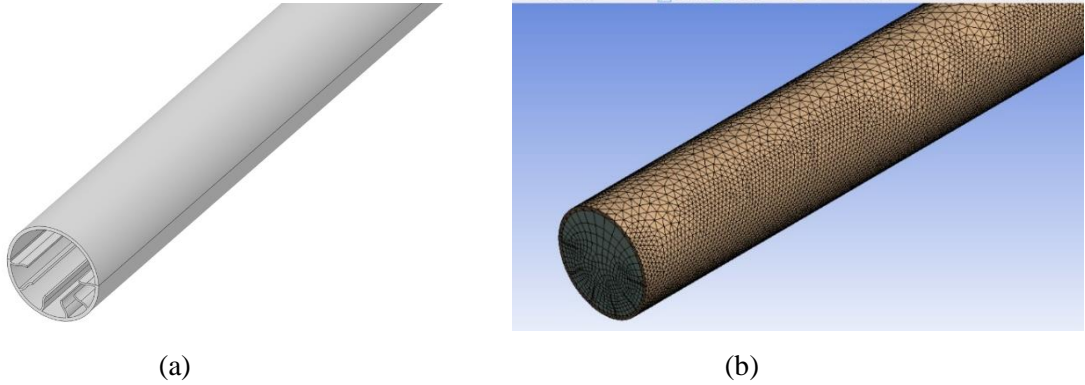
Tablo 3'te analizde kullanılacak olan akışkan ve boru malzemesine ait termofiziksel özellikler, Tablo 4'te de cam boru fiziki özellikleri görülebilir.

Tablo 3. Malzemelerin termofiziksel özellikleri (30 °C)

	Akışkan (su)	Boru (Bakır)
Özgül Isı (j/kgK)	4178,37	383
Termal iletkenlik (W/mK)	0,61741	386
Yoğunluk(kg/m ³)	995,74	8954
Kinematik Viskozite ν (m ² /s)	0,80145x10 ⁻⁶	-
Dinamik Viskozite μ (kg/ms)	0,00080082	

Tablo 4. Pyrex cam boru fiziksel özellikleri

Doğrusal Genleşme Katsayısı (20-300 °C)	3,3 x 10e-6
En yüksek çalışma sıcaklığı	500 °C
Fiziksel deformasyon limit sıcaklığı	530 °C

**Şekil 4.** Kanatçık İleveli 3D Model (a) ve Mesh Görüntüsü (b)

Yansıtıcı yüzeyde 430 2BA paslanmaz çelik sac ve üzeri yüzeyi parlatılmış alüminyum sac kullanılmıştır. Güneşten elde edilebilecek enerji aşağıdaki eşitlik ile belirlenebilir;

$$Q_g = A_a \times I_d \quad (1)$$

Kolektör Açıklık Alanı;

$$A_a = (W - D_{bd}) \times L \quad (2)$$

Alıcı boru tarafından kazanılan enerji;

$$Q_{abs} = Q_g \times \eta_{opt} \quad (3)$$

Kolektör optik verimi η_{opt} aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\eta_{opt} = \gamma_{yans} \times \gamma_{cam} \times \gamma_b \times \gamma_{kol} \times \gamma_{\theta} \quad (4)$$

Tablo 5’de parabolik oluk güneş kolektörünü oluşturan parçalara ait optik verimler belirtilmiştir.

Tablo 5. Kolektöre ait optik verimler

Simge	γ_{yans}	γ_{cam}	γ_b	γ_{kol}	γ_{θ}	η_{opt}
Değer	0,9	0,9	0,93	0,95	0,999	0,7149

Optik verim hesabında kullanılan diğer alt verimler aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

γ_{yans} : Yansıtıcı yansıtma oranı

γ_{cam} : Cam örtü geçirgenlik oranı

γ_b : Alıcı boru absorblanması

γ_{kol} : Kesişme faktörü

γ_{θ} : Geliş açısı niteleyici

Analizi yapılacak olan parabolik güneş kolektörü konumuna ait coğrafik koordinat bilgileri 38,49178 Kuzey Enlemi, 27,70625 Doğu Boylamı olarak belirlenmiştir. Analiz, belirtilen konum için 21 Temmuz günü direkt güneş radyasyonunun maksimum olduğu saat 13:00'deki güneş ışınım değerleri baz alınarak yapılmıştır. Tablo 6'da saatlik güneş ışınım değerleri ile kolektörde elde edilebilecek ve alıcı boru tarafından kazanılan enerji değerleri görülmektedir.

Tablo 6. 21 Temmuz günü için hesaplanan güneş ışınım değerleri

Saat (h)	Direkt güneş Işınımı I_d (W/m ²)	Elde edilebilecek toplam enerji Q_g (W)	Alıcı boru tarafından kazanılan enerji Q_{abs} (W)
07:00	319,918	558,5768	399,3266
08:00	610,093	1065,2224	761,5275
09:00	739,826	1291,7362	923,4622
10:00	807,17	1409,3188	1007,5220
11:00	844,548	1474,5808	1054,1778
12:00	864,518	1509,4484	1079,1047
13:00	872,366	1523,1510	1088,9007
14:00	869,916	1518,8733	1085,8425
15:00	856,609	1495,6393	1069,2325
16:00	829,188	1447,7622	1035,0052
17:00	779,608	1361,1956	973,1187
18:00	688,301	1201,7735	859,1479
19:00	500,434	873,7578	624,6494
20:00	77,5618	132,4229	96,8138

Saat 13:00 için güneş ışıınım değeri 1088,9007 W/ m²'dir. Güneş ışınlarının yansıtıcı yüzeye gelerek buradan alıcı boru üzerine toplandığı alan büyüklüğü 0,08792 m² olup HAD programına 1 m² için girilmesi gereken ısı transferi değeri 12385,1308 W olarak hesap edilebilir.

Su akışkanına ortalama akışkan sıcaklığı aşağıdaki gibi belirlenmiştir;

$$T_m = (T_o + T_i)/2 \quad (5)$$

Boru iç yüzeyine ait sıcaklık T_w HAD analiz sonucunda her bir farklı Reynolds sayısında farklı bir değer bulunup kaydedilmiştir. Isı taşınım katsayısı aşağıdaki eşitlikten bulunmuştur;

$$h = \frac{Q}{A(T_m - T_w)} \quad (6)$$

Reynolds sayısı hidrolik çap D_h = $\frac{4A_c}{S}$ dikkate alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$Re = \frac{uD_h}{\nu} \quad (7)$$

Nusselt sayısı h bilindiğinden dolayı aşağıdaki eşitlikten hesaplanır;

$$Nu = \frac{hD_h}{k} \quad (8)$$

Zorlanmış akışta Nusselt sayısı Reynolds sayısı, sürtünme faktörü (f) ve Prandtl (Pr) cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

Burada Prandtl sayısı 5,2 alınmış olup Nusselt sayısı yukarıdaki eşitlikten bulunduğu için sürtünme faktörü aşağıdaki eşitlikten sürtünme faktörü hesap edilmiştir.

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right)(Re_D - 1000)Pr}{1 + 12.7 \left(\frac{f}{8}\right)^{\frac{1}{2}} (Pr^{\frac{2}{3}} - 1)} \quad (9)$$

Basınç düşümü aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

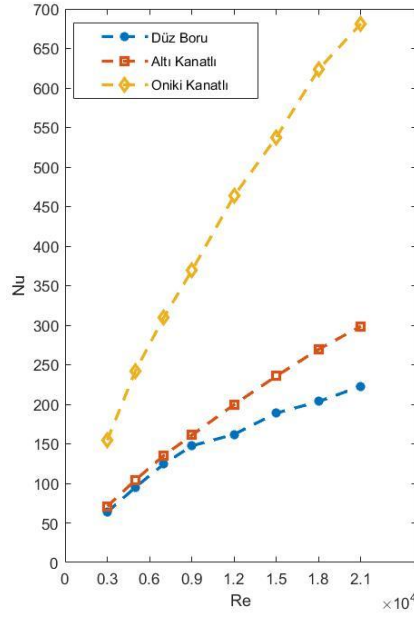
$$\Delta P = f \left(\frac{L}{D_h} \right) \left(\frac{\rho u^2}{2} \right) \quad (10)$$

Analizde yapılan kabuller sırasıyla;

- Sistem sürekli denge halinde ve akış tam gelişmiş türbülanslıdır.
- Türbülans modeli olarak k-epsilon-Relizable-Enhancement Wall Treatment modeli seçilmiştir.
- Akışkan sıkıştırılmaz su akışkanıdır.
- Suyun termofiziksel özellikleri sabittir.
- Bakır alıcı borunun termofiziksel özellikleri sabittir.
- Alıcı borudan çevreye taşınım veya ışıınım yoluyla herhangi bir ısı kaybı yoktur.

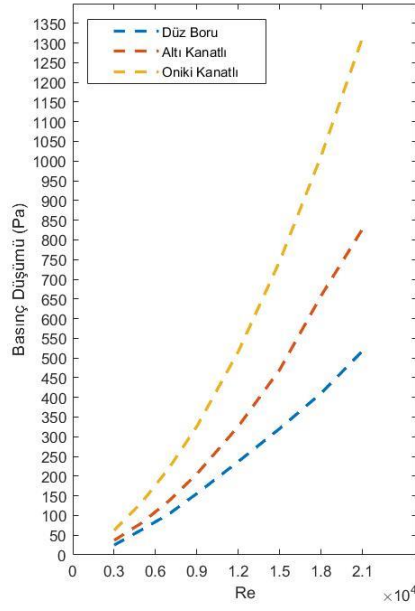
3. Bulgular ve Tartışma

Düz alıcı boru model, altı kanatçık ilaveli alıcı boru model ve oniki kanatçık ilaveli alıcı boru model Reynolds sayısı 3000 ila 21000 arasında ANSYS Fluent analiz programı aracılığıyla Sonlu Hacimler Metodu kullanılarak analizler yapılmış ve her bir Reynolds sayısı için farklı Nusselt sayısı, basınç düşümü ve sürtünme faktörü değerleri elde edilmiştir. Kanatçık ilavesi ile elde edilen yeni Nusselt sayıları Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. Artan Reynolds sayılarına karşılık elde edilen Nusselt sayılarının karşılaştırılması

Düz boruya karşılık altı adet eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulan yeni modelde elde edilebilecek maksimum Nusselt sayısı değeri Reynolds sayısı 21000 iken 1,34 kat, oniki adet eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulan yeni modelde elde edilebilecek maksimum Nusselt sayısı değeri ise Reynolds sayısı 18000 iken 3,057 kat olarak gerçekleşmiştir. Kanatçık ilavesi ile elde edilen basınç düşümü değerleri Şekil 6'da görülmektedir.

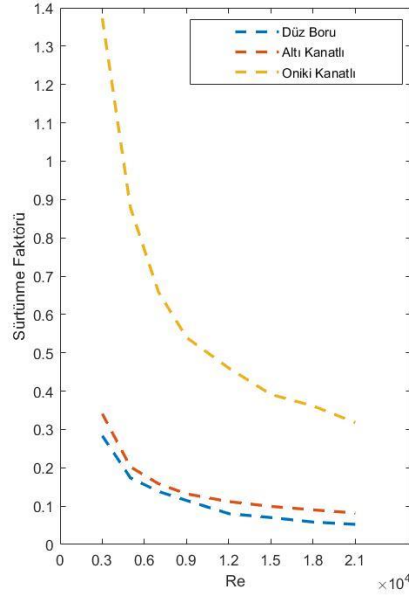


Şekil 6. Artan Reynolds sayılarına karşılık elde edilen basınç düşümü değerlerinin karşılaştırılması

Düz boruya karşılık altı adet eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulan yeni modelde meydana gelen maksimum basınç düşümü değeri Reynolds sayısı 18000 iken 1,6 kat, oniki adet eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulan yeni modelde meydana gelen maksimum basınç düşümü değeri ise Reynolds sayısı 21000 iken 2,53 kat olarak gerçekleşmiştir.

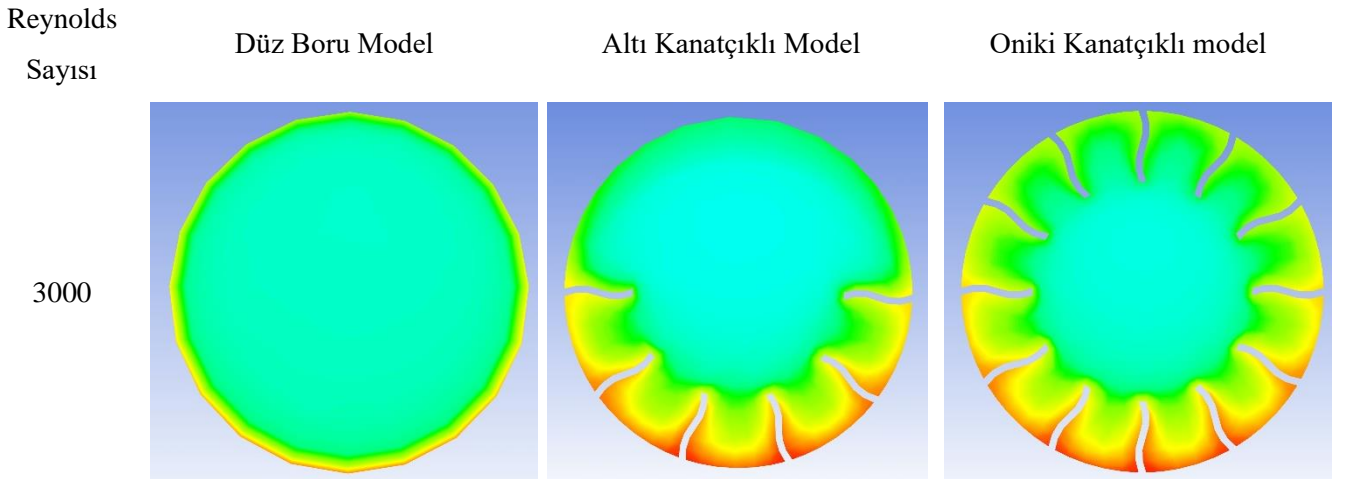
Maksimum Nusselt sayılarının elde edildiği durumlarda düz boruya oranla basınç düşümü artışı sırasıyla altı kanatçıklı alıcı boruda 1,598 kat, oniki kanatçıklı boruda 2,46 kat olarak gerçekleşmiştir.

Boru içerisine eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulan yeni modellerde basınç düşümünde meydana gelen artış sebebiyle akışkanın pompalanması için gereken güçte artış olacak bu da pompanın harcayacağı elektrik tüketim maliyetini artıracaktır. Ancak akışkan çıkış sıcaklığında elde edilen sıcaklık artışı ve Nusselt sayısındaki azımsanmayacak olan artış dikkate alındığında bu durum göz ardı edilebilir. Parabolik kolektör sisteminin imalatından önce sistemin termo-ekonomik analizinin yapılması, pompalama gücünde meydana gelen artış sebebiyle harcanacak ilave elektrik bedelinin elde edilebilecek ısı transferi artışıyla kıyaslanması gerekmektedir. Kanatçık ilavesi ile elde edilen sürtünme faktörü değerleri Şekil 7’de görülmektedir.

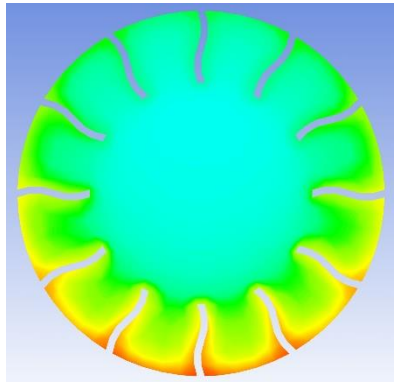
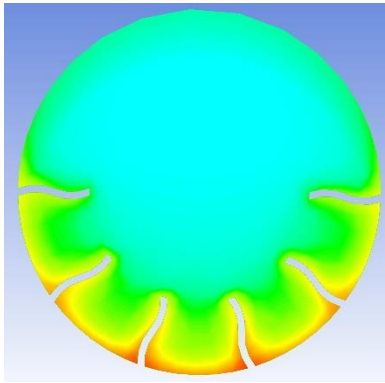
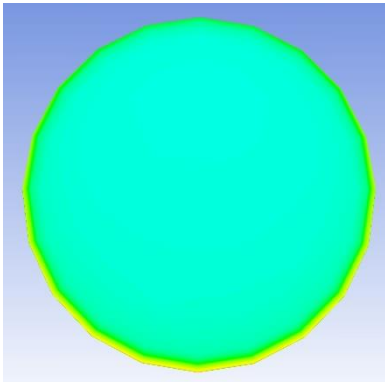


Şekil 7. Artan Reynolds sayılarına karşılık elde edilen sürtünme faktörü değerlerinin karşılaştırılması

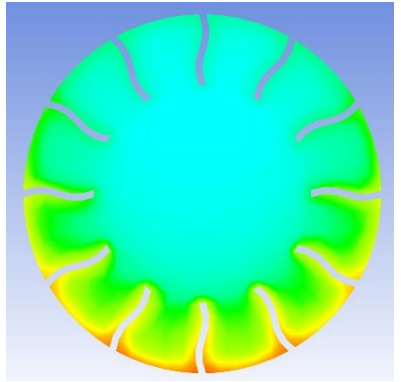
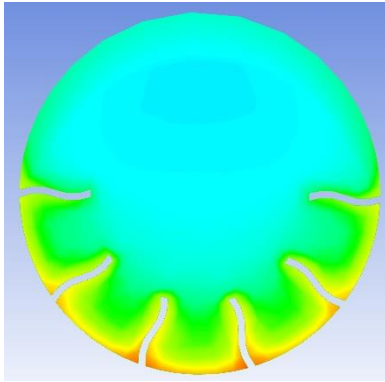
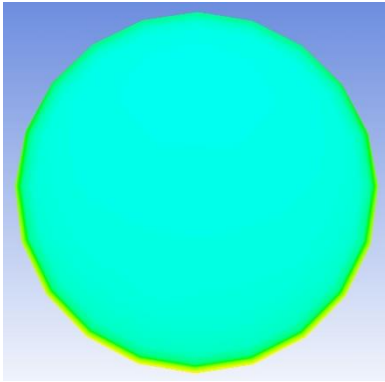
Düz boruya karşılık altı adet eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulan yeni modelde elde meydana gelen maksimum sürtünme faktörü değeri Reynolds sayısı 18000 iken 1,582 kat, oniki adet eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulan yeni modelde meydana gelen sürtünme faktörü değeri ise Reynolds sayısı 18000 iken 6,18 kat olarak gerçekleşmiştir. Maksimum Nusselt sayılarının elde edildiği durumlarda düz boruya oranla sürtünme faktörü artışı sırasıyla altı kanatçıklı alıcı boruda 1,56 kat, oniki kanatçıklı boruda 6,18 kat olarak gerçekleşmiştir. Artan Reynolds sayılarına göre akışkan boru çıkış sıcaklıklarının değişimi Şekil 8’de görülebilir.



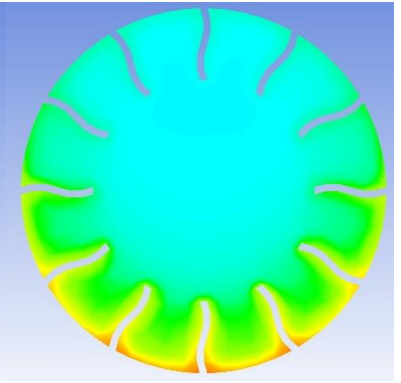
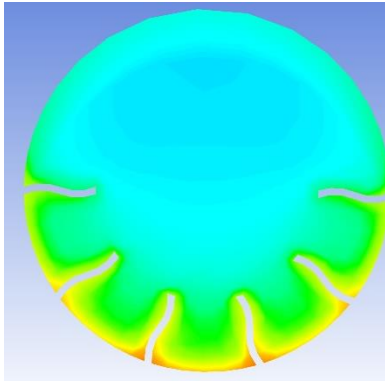
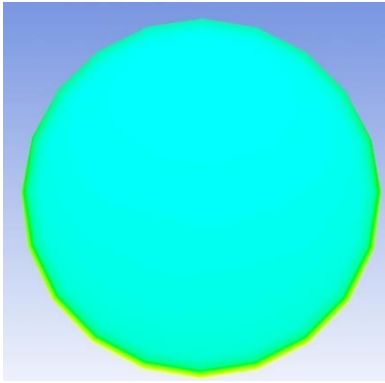
5000



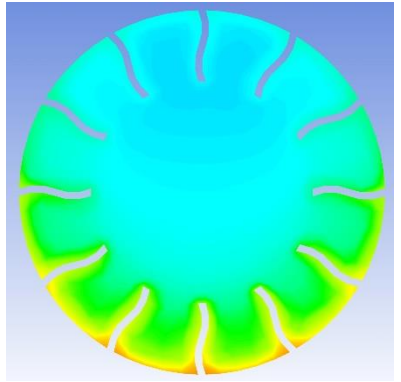
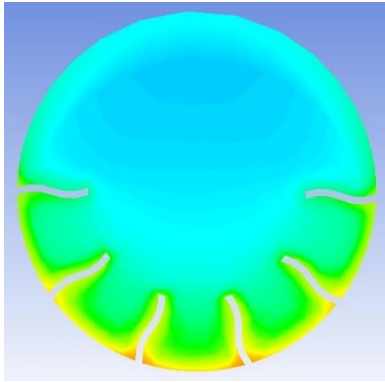
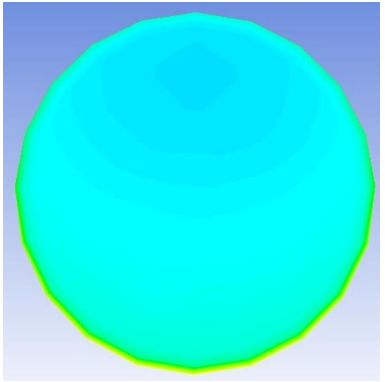
7000

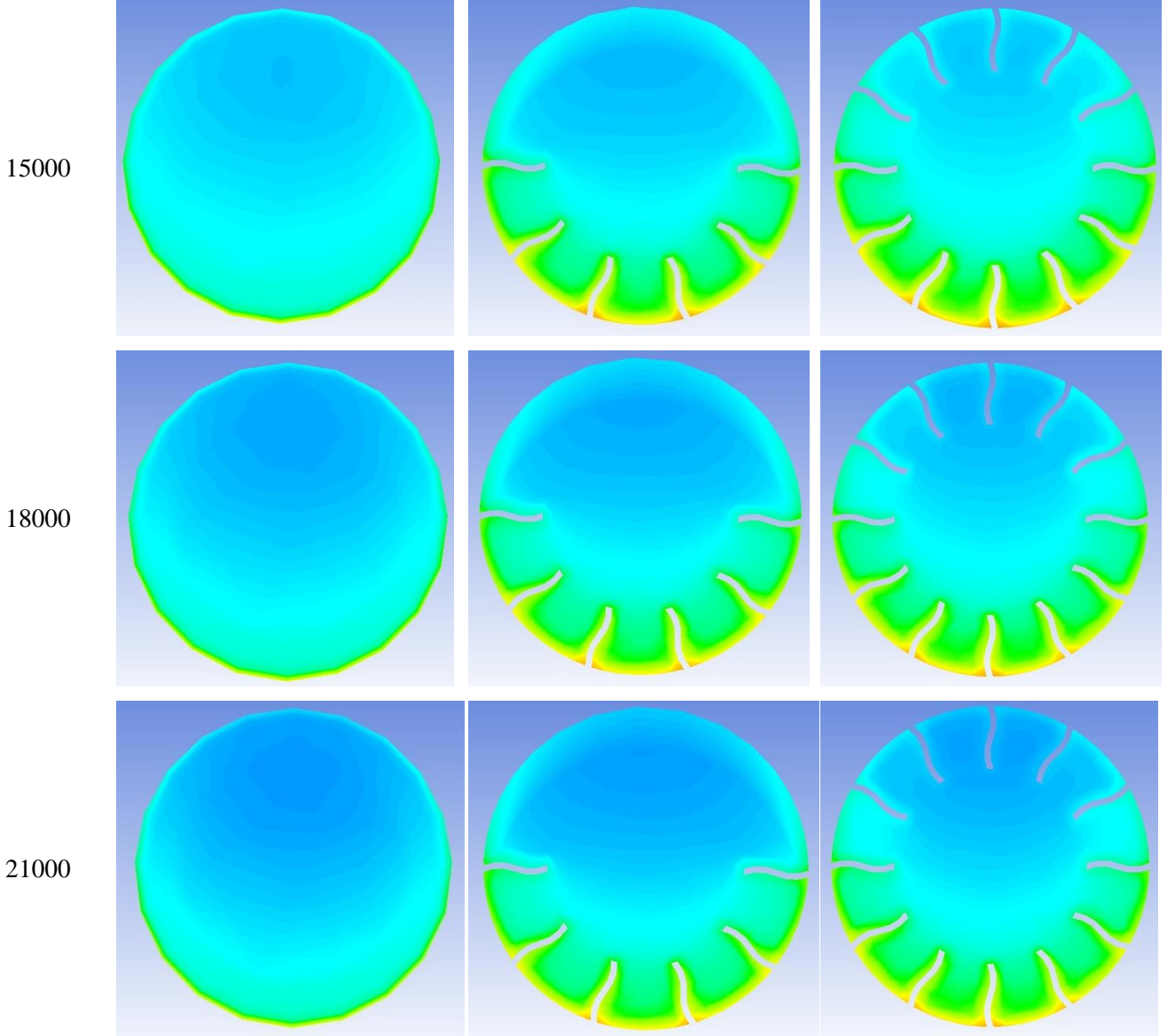


9000



12000





Şekil 8. Reynolds sayılarına göre akışkanın alıcı boru çıkışındaki sıcaklık karşılaştırılması

4. Sonuç

Yapılan analizler neticesinde düz alıcı boru içerisine eğrisel kanatçık ilavesiyle Nusselt sayısında ve akışkan çıkış sıcaklığında artış elde edilmiştir. Ancak ısı transferi değerlerindeki bu artışın elde edilmesine karşılık basınç düşümünde ve sürtünme faktöründe artış olduğu görülmüştür. Isı taşınım katsayısındaki artışa karşılık basınç düşümünde de meydana gelen bu artış beklenen bir durum olup, sistemin imalatından önce HAD yöntemleri ile analiz edilmesi büyük avantajlar sağlamaktadır. Yapılan HAD analiz ile gereksiz maliyet ve zaman kaybından tasarruf elde edilmiştir.

Düz boruya karşılık altı adet eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulan yeni modelde elde edilebilecek maksimum Nusselt sayısı değeri Reynolds sayısı 21000 iken 1,34 kat ve buna karşılık basınç düşümü 1,598 kat gerçekleşmiştir. Düz boruya oniki adet eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulan yeni modelde

elde edilebilecek maksimum Nusselt sayısı değeri ise Reynolds sayısı 18000 iken 3,057 kat ve buna karşılık basınç düşümü 2,46 kat olarak gerçekleşmiştir. İlave edilen kanatçıklar neticesinde Nusselt sayılarında artış olmakla birlikte artan türbülans ile basınç düşümü artmakta ve akışkanı sirküle edebilmek için pompaya verilmesi gereken güçte de artış meydana gelmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Tüm yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Akbarzadeh S., Valipour MS. Heat transfer enhancement in parabolic trough collectors: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2018; 92: 198-218.
- Akbarzadeh S., Valipour MS. The thermo-hydraulic performance of a parabolic trough collector with helically corrugated tube. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 2021; 44: 101013.
- Al-Rashed AAAA., Alnaqi Abdulwahab A., Alsarraf J. Thermo-hydraulic and economic performance of a parabolic trough solar collector equipped with finned rod turbulator and filled with oil-based hybrid nanofluid. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 2021; 1-13.
- Bahiraie M., Gharagozloo K., Moayedi H. Experimental study on effect of employing twisted conical strip inserts on thermohydraulic performance considering geometrical parameters. *International Journal of Thermal Sciences* 2020; 149: 106178.
- Bellos E., Tzivanidis C., Antonopoulos KA., Gkinis G. Thermal enhancement of solar parabolic trough collectors by using nanofluids and converging-diverging absorber tube. *Renewable Energy* 2016; 94: 213-222.
- Bellos E., Tzivanidis C., Tsimpoukis D. Enhancing the performance of parabolic trough collectors using nanofluids and turbulators. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2018; 91: 358-375.
- Chang C., Sciacovelli A., Wu Z., Li X., Li Y., Zhao M., Deng J., Wang Z., Ding Y. Enhanced heat transfer in a parabolic trough solar receiver by inserting rods and using molten salt as heat transfer fluid. *Applied Energy* 2018; 22: 337-350.
- Chekifi T., Boukraa M. Thermal efficiency enhancement of parabolic trough collectors: a review. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Article in Press, 2022.

- Ercoşkun GT., Keskin A., Gürü M., Altıparmak D. Çift oluklu parabolik oluk tipi güneş kollektörünün tasarımı, imalatı ve performansının incelenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 2013; 28: 855-863.
- Feizabadia A., Khoshvaght-Aliabadib M., Rahimia AB. Experimental evaluation of thermal performance and entropy generation inside a twisted U-tube equipped with twisted-tape inserts. *International Journal of Thermal Sciences* 2019; 145: 106051.
- Ghadirijafarbeiglooa SH., Zamzambianb AH., Yaghoubic M. 3-D numerical simulation of heat transfer and turbulent flow in a receiver tube of solar parabolic trough concentrator with louvered twisted-tape inserts. *Energy Procedia* 2014; 49: 373-380.
- Ghasemi SE., Ranjbar AA. Numerical thermal study on effect of porous rings on performance of solar parabolic trough collector. *Applied Thermal Engineering* 2017; 118: 807-816.
- Jebasingh VK., Herbert GMJ. A review of solar parabolic trough collector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2016; 54: 1085-1091.
- Kalogirou SA. A detailed thermal model of a parabolic trough collector receiver. *Energy* 2012, 48: 298-306.
- Kurşun B. Thermal performance assessment of internal longitudinal fins with sinusoidal lateral surfaces in parabolic trough receiver tubes. *Renewable Energy* 2019; 140: 816-827.
- Liu P., Lv J., Shan F., Liu Z., Liu W. Effects of rib arrangements on the performance of a parabolic trough receiver with ribbed absorber tube. *Applied Thermal Engineering* 2019; 156: 1-13.
- Liu P., Zheng N., Liu Z., Liu W. Thermal-hydraulic performance and entropy generation analysis of a parabolic trough receiver with conical strip inserts. *Energy Conversion and Management* 2019; 179: 30-45.
- Manikandan GK., Iniyana S., Goic R. Enhancing the optical and thermal efficiency of a parabolic trough collector – A review. *Applied Energy* 2019; 235: 1524-154.
- Nazir MS., Shahsavari A., Afrand M., Arıcı M., Nižetić S., Ma Z., Öztop HF. A comprehensive review of parabolic trough solar collectors with turbulators and numerical evaluation of hydrothermal performance of a novel model. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 2021; 45: 101103.
- Qiu Y., Li M., He Y., Tao W. Thermal performance analysis of a parabolic trough solar collector using supercritical CO₂ as heat transfer fluid under non-uniform solar flux. *Applied Thermal Engineering* 2017; 115: 1255-1265.
- Saedodin S., Zaboli M., Ajarostaghi SSM. Hydrothermal analysis of heat transfer and thermal performance characteristics in a parabolic trough solar collector with Turbulence-Inducing elements. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 2021; 46: 101266.
- Saha SK., Bhattacharyya S., Pal PK. Thermohydraulics of laminar flow of viscous oil through a circular tube having integral axial rib roughness and fitted with center-cleared twisted-tape. *Experimental Thermal and Fluid Science* 2012; 41: 121-129.

- Saha S., Saha SK. Enhancement of heat transfer of laminar flow of viscous oil through a circular tube having integral helical rib roughness and fitted with helical screw-tapes. *Experimental Thermal and Fluid Science* 2013; 47: 81-89.
- Şahin HM., Baysal E., Dal AR., Şahin N. Investigation of heat transfer enhancement in a new type heat exchanger using solar parabolic trough systems. *International Journal of Hydrogen Energy* 2015; 40: 15254-15266.
- Rashidi S., Zade NM., Esfahani JA. Thermo-fluid performance and entropy generation analysis for a new eccentric helical screw tape insert in a 3D tube. *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification* 2017; 117: 27-37.
- Varun K., Arunachala UC., Elton DN. Trade-off between wire matrix and twisted tape: SOLTRACE® based indoor study of parabolic trough collector. *Renewable Energy* 2020; 156: 478-492.
- Xiangtao G., Fuqiang W., Haiyan W., Jianyu T., Qingzhi L., Huaizhi H. Heat transfer enhancement analysis of tube receiver for parabolic trough solar collector with pin fin arrays inserting. *Solar Energy* 2017; 144:185-202.
- Yılmaz İH., Mwesigye A., Göksu TT. Enhancing the overall thermal performance of a large aperture parabolic trough solar collector using wire coil inserts. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 2020; 39: 100696.

Kısaltmalar

HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
A	ısı transfer alanı, m ²
c_p	sabit basınç özgül ısı, j/kgK
D_h	hidrolik çap, m
F	odak noktası
ΔP	basınç düşümü, Pa
f	sürtünme faktörü
h	ısı taşınım katsayısı, W/m ² K
k	termal iletkenlik, W/mK
L	karakteristik uzunluk, m
\dot{m}	kütle akış debisi, kg/s
\dot{Q}	ısı transferi değeri, W
S	ıslak çevre, m
t	kalınlık, m
u	ortalama hız, m/s
Nu	Nusselt sayısı
Pr	Prandtl sayısı
Re	Reynolds sayısı

ρ	yoğunluk, kg/m ³
μ	dinamik viskozite, kg/ms
ν	kinematik viskozite, m ² /s
x	Parabolik yayın orjinden yatay uzaklığı
y	Parabolik yayın orjinden dikey uzunluğu

Alt Simgeler

a	alan
abs	absorbe edilen
bd	boru dış yüzeyi
d	direkt
c	enine kesit
con	taşınm
h	hidrolik
i	giriş
m	ortalama
o	çıkış
s	yüzey
w	duvar

A General Evaluation on Current Global Threat of Coronavirus (Covid-19) Immuno Responsibilities

Seda BEYAZ^{1*}, Özlem GÖK², Abdullah ASLAN³

^{1,2,3}Fırat University, Faculty of Science, Department of Biology, Molecular Biology and Genetics Program, 23119, Elazığ, Turkey

¹<http://orcid.org/0000-0003-0436-8112>

²<http://orcid.org/0000-0001-8521-6369>

³<http://orcid.org/0000-0002-6243-4221>

*Correspondence author: beyazseda23@gmail.com

Review Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 25.10.2021

Accepted: 16.02.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

ACE2 reseptör

Coronavirus

Covid-19

Spike protein

Treatment vaccine

Covid-19 SARS-CoV-2 (severe acute respiratory syndrome-coronavirus-2) is a new type of coronavirus known as an infectious upper respiratory tract infection disease. The coronavirus, which poses a great threat to human health worldwide, emerged in Wuhan, China in December 2019. The most important reason for coronavirus epidemics to become a pandemic that the disease was easily transmitted by droplets in close proximity with infected people. The disease spread rapidly all over the world within a few months and it was declared a worldwide epidemic by the World Health Organization in March 2020. It poses a risk for severe diseases such as hypertension, diabetes, cardiovascular disease, cancer, chronic lung disease and chronic kidney disease in the advanced age group. Considering the mortality rates to date, great efforts have been made both worldwide and in our country to manufacture successful drugs and vaccines against Covid-19 infection. The main purpose of this review is to assist in an immune response and preventive work for Covid-19, thanks to the available information about the coronavirus epidemic that deeply affects humanity and the diseases it causes.

Mevcut Küresel Koronavirüs Tehdidinin (Covid-19) İmmün Sorumlulukları Hakkında Genel Bir Değerlendirme

Derleme

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 25.10.2021

Kabul tarihi: 16.02.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

ACE2 reseptörü

Coronavirüs

Covid-19

Spike proteini

Aşı tedavisi

Covid-19 SARS-CoV-2 (şiddetli akut solunum sendromu-koronavirüs-2), bulaşıcı bir üst solunum yolu enfeksiyonu hastalığı olarak bilinen yeni bir koronavirüs türüdür. Dünya genelinde insan sağlığı için büyük bir tehdit oluşturan koronavirüs, Aralık 2019'da Çin'in Wuhan kentinde ortaya çıkmıştır. Koronavirüs salgınlarının pandemi haline gelmesinin en önemli nedeni, hastalığın enfekte kişilerin yakınında bulunan damlacıklar yoluyla kolayca bulaşmasıdır. Birkaç ay içinde hızla tüm dünyaya yayılan hastalık, Mart 2020'de Dünya Sağlık Örgütü tarafından dünya çapında bir salgın olarak ilan edilmiştir. İleri yaş grubunda hipertansiyon, diyabet, kardiyovasküler hastalık, kanser, kronik akciğer hastalığı ve kronik böbrek hastalığı gibi ağır hastalık tablosu için risk oluşturmaktadır. Bugüne kadar ölüm oranları göz önüne alındığında, Covid-19 enfeksiyonuna karşı başarılı ilaçlar ve aşılar üretmek için hem dünya çapında hem de ülkemizde büyük çabalar sarf edilmektedir. Bu derlemenin temel amacı, insanlığı derinden etkileyen koronavirüs salgını ve neden olduğu hastalıklar hakkında elde edilen mevcut bilgiler sayesinde Covid-19 için bir bağışıklık müdahalesine ve önleyici çalışmalara yardımcı olmaktır.

To Cite: Beyaz S., Gök Ö., Aslan A. A General Evaluation on Current Global Threat of Coronavirus (Covid-19) Immuno Responsibilities. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 1041-1052.

1. Introduction

Sars-Coronavirus (Covid-19) is a coronavirus that was first seen in China in February 2003 and causes severe acute respiratory failure. This family of viruses is zoonotic and they can infect humans from animals (Yücel and Görmez, 2019; Akpınar and Üstün, 2020). It is thought to be of bat resource. Direct contact with wild animal hosts and respiratory droplets of infected patients are the main sources of transmission of the disease Coronaviridae family. Coronaviruses are viruses with the largest genome known as an RNA virus. They are single-stranded, enveloped viruses with positive-sense RNA genome, approximately 26-32 kilobase in size. The term 'coronavirus' was given the name 'corona', which means crown in Latin, because of the sharp protrusions formed from the virus membrane resembles a crown when observed under the electron microscope (Figure 1).

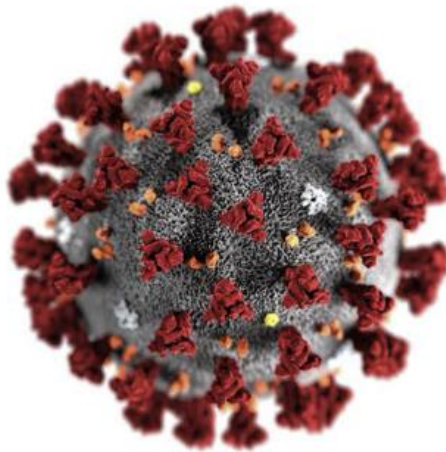


Figure 1. SARS-CoV-2 virus (Sohrabi et al., 2020)

In the observations made so far, it has been revealed that the incubation period of SARS-CoV-2 is on average 5,2 days (4,1-14) (Alimoğlu and Erol, 2020; Buruk and Özlü, 2020; Esakandari et al., 2020). Common symptoms of Covid-19 at the end of the incubation period are respiratory distress, cough and fever. It is also contagious through droplet infection and close person-to-person contact. It can also be made through sweat, feces, urine and respiratory secretions (Prajapat et al., 2020). The agent may be symptom-free or manifest with mild symptoms or severe respiratory distress (Alkan Çeviker and Dindar Demiray, 2020). Severe illness occurs in 14% of viral pneumonia cases. Some patients' respiratory distress progress to worsen gradually and develop acute respiratory distress syndrome (ARDS), which usually requires mechanical ventilation support that extends to the third week (İnal İnce et al., 2020; Örs, 2020). At the beginning of the epidemic, it was observed that the first cases detected were linked to the marketplace where live animals were sold in Wuhan and later closed, considering it could be a source of disease. However, as time passed, it was understood that the disease spread from person to person. Although it is seen in all age groups, in people with underlying

systemic diseases, both the clinical picture worsens and the mortality rates increase in the population over 65 (Su et al., 2016; Uğraş Dikmen et al.,2020; Yılmaz, 2020; Shi et al., 2020).

Covid-19, which has been widely seen around the world in the last few years, is one of the major pandemics. There is a need for much more information and documents regarding the unknown aspects and treatment, especially day by day. In this review, it is aimed to contribute to future studies by providing the necessary information about the general characteristics and treatment possibilities of Covid-19, which has become a relentless disease.

2. General Information

2.1. Virology of Coronavirus

Coronaviruses are capsid structured viruses with helical symmetry single-stranded positive-polar RNA genome. Their genomes are among the largest RNA genomes. It is approximately 26-32 kb in size. The spike protein, envelope and membrane on the surface of the coronavirus are embedded in the host membrane derived lipid bilayer surrounding the helical nucleocapsid containing viral RNA. Four structural proteins make up the outer structure of the coronavirus. In this way, it protects the RNA inside. Spike protein, namely homotrimers of S proteins, form distinct crown-like spike structures on the surface of the virus. S protein is a viral fusion protein containing S₁ and S₂ subunits. The main function of the S₁ protein is to bind to the host cell receptor. The S₂ subunit of the S protein is mainly responsible for membrane fusion. In addition to having three transmembrane domains, the M protein is responsible for attaching to the nucleocapsid by shaping virions. The E protein known as the envelope protein, is responsible for the assembly of the virus in viral pathogenesis. Hemagglutinin esterase protein, on the other hand, is the protein on the envelope and enables the virus to attach to the receptors containing sialic acid (Figure 2). Coronaviruses use the ACE2 receptor (angiotensin converting enzyme) to bind to the host cell membrane. The ACE2 receptor is highly expressed in type 2 alveolar cells and goblet cells, which are the gateway to the virus and synthesize surfactants. ACE2 is also found in high concentrations in intestinal epithelium and heart cells, while low levels in monocytes and macrophages. This shows how the coronavirus can enter immune cells (Kurtuluş and Pirim, 2020; Tanrıverdi et al., 2020).

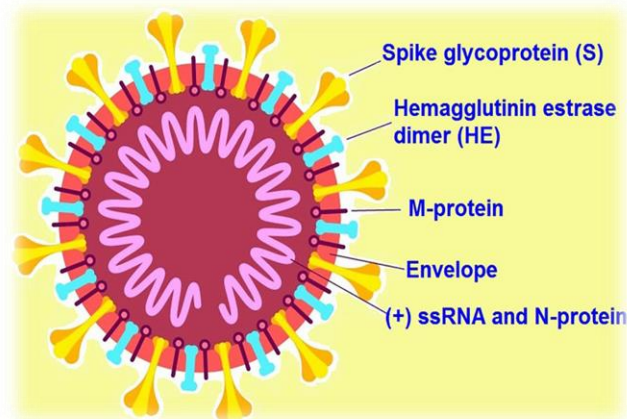


Figure 2. 2019-nCoV'n structure (Esakandari et al., 2020)

3. Coronavirus Symptoms and Incubation Times

It is a respiratory disease caused by Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) infection with severe acute respiratory syndrome. The incubation time of SARS-CoV infection is among 2 and 10 days. It reports mild symptoms (fever, coughing, shortness of breath), severe illness or death in cases infected with SARS-CoV-2. Early symptoms are flu-like symptoms such as fever, chills, cough, myalgia and headache. However, some infected patients died due to various fatal complications such as organ failure, pulmonary edema, septic shock, Respiratory Distress Syndrome (ARDS) and severe pneumonia. Acute in particular, patients in need of intensive care have been reported to have advanced age and comorbid diseases (related to cardiovascular, endocrine, cerebrovascular, respiratory systems and digestive). It has been reported that the high fever is sometimes absent in the elderly or has improved by the time respiratory symptoms appear. After that starting of the respiratory phase, a febrile phase lasted for about 3 days, patients experienced dry cough, shortness of breath and hypoxemia. The case fatality rate is between 3 and 16%. The incubation period in MERS-CoV infection is between 3-14 days. After the incubation period, symptoms of high fever, sore throat, dry cough, respiratory failure, headache, muscle and joint pain were observed. Infections have been reported to cause lower respiratory tract involvement, especially in elderly patients who are considered to be a risk group or those with underlying chronic heart, lung and kidney disease. Disease progression is similar for SARS and MERS. However, the case fatality rate of MERS is higher than SARS. According to World Health Organization (WHO), although the incubation period from the time the new virus is infected until the symptoms are seen has been reported for about 14 days, today the contagious period and the duration of the external environment of SARS-CoV-2 are not clearly known. The course of the disease ranged from mild symptoms to severe death and illness for cases of SARS-CoV-2 infected. Symptoms of fever, cough and shortness of breath may occur 2-14 days after exposure (Figure 3). Until now, it has been reported that the transmission route of the disease is through droplets (Baloch et al., 2020; Sohrabi et al., 2020; Uludağ, 2020).

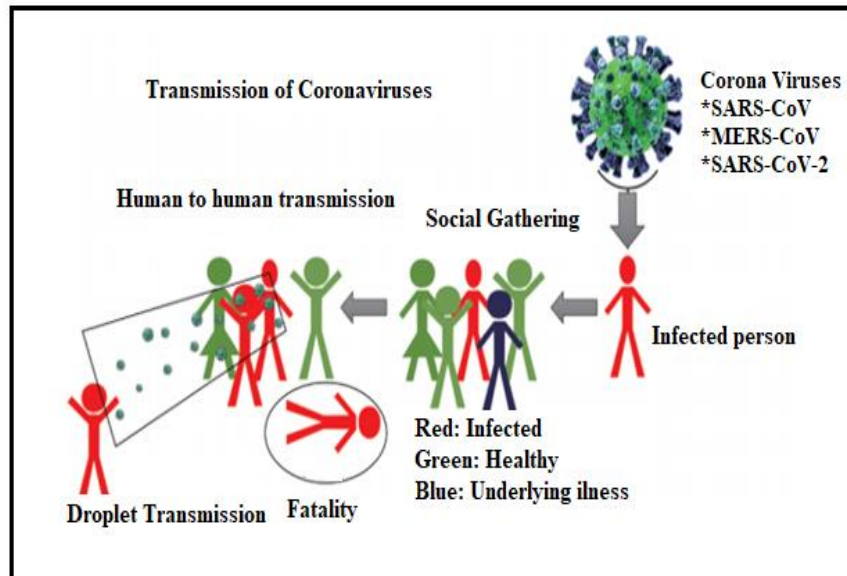


Figure 3. Coronavirus (Covid-19) spread (Baloch et al., 2020)

4. Detection Methods of Coronavirus

Nucleic acid amplification tests (NAAT) for coronaviruses are based on the detection of specific sequences of virus RNA and it necessary, verification by nucleic acid sequence analysis method. Current detection for coronaviruses involves the quantitative polymerase chain reaction (qPCR) technique that identifies viral nucleic acids when present in sufficient quantities (Figure 4). Three specific viral genes [ORF1a/b, nucleocapsid protein (N) and envelope protein (E) genes] are searched in samples using qPCR technology. These genes are identified using their fluorescence intensity. Serological tests such as enzyme linked immunosorbent assay (ELISA) or immunoglobulin M (IgM) and IgG detecting antibody tests are also used to support the diagnosis in order to show antigen antibody reactions in serum samples (Uludağ, 2020).

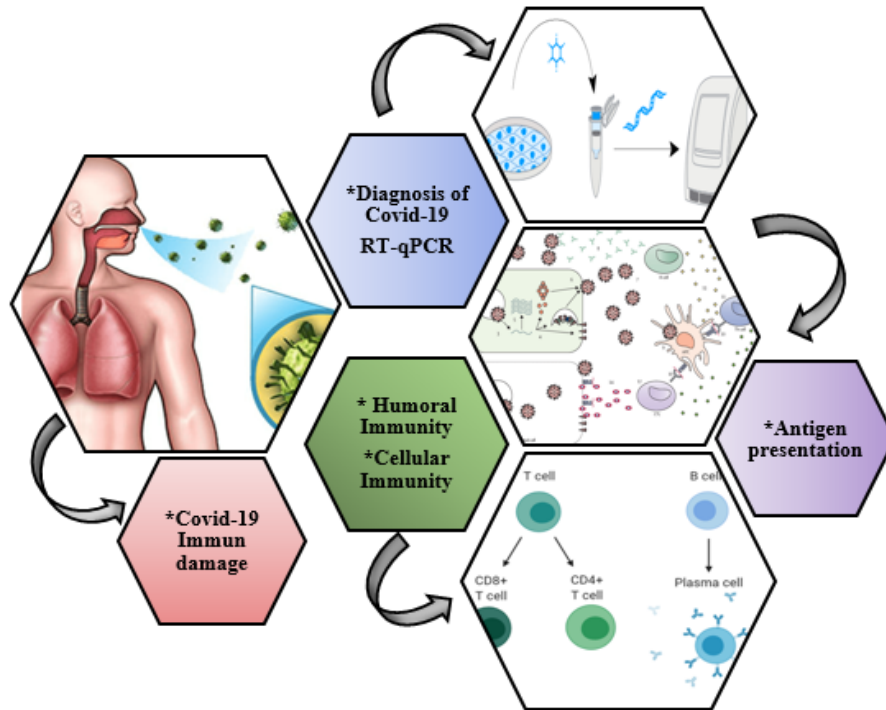


Figure 4. Coronavirus (Covid-19) treatment approaches

5. Coronavirus Treatment Methods and Precautions

Radiological evaluations are of great importance in patients with suspected Covid-19 infection. Early diagnosis of the disease is also vital for timely treatment. Typical computer tomography (CT) findings in Covid-19 diagnoses include peripherally distributed multifocal ground glass opacities. The increase in the number and density of ground glass opacities in computer tomographs indicates that the disease has progressed. Especially computed tomography (CT) plays an important role in the diagnosis of the disease. In addition, travel ban applications are one of the most effective tools to prevent the effect of the virus (Bernheim et al., 2020). Recent research has found that many medicinal herbs also provide antiviral protection. Especially with the studies in the literature, ellagic acid, turmeric and epigallocatechin 3-gallate has preservative effect against viruses such as coronavirus, human immunodeficiency virus (HIV), hepatitis B virus (HBV), hepatitis C virus (HCV), enterovirus 71 (EV71), ebola virus (EBOV). It has been found that they provides antiviral protection by inhibiting the infectivity and function of many viruses, including influenza A virus and Zika virus function (Dai et al., 2018; Aslan et al., 2020a; Aslan et al., 2020b).

5.1. Antimicrobial Treatment

Empirical antimicrobial agents are recommended for patients with definitive diagnosis of Covid-19. Before antibiotic treatment, blood cultures and samples should be taken from both the upper and lower airways. In patients diagnosed with Covid-19 or with an involvement consistent with viral pneumonia on chest X-ray or chest computed tomography, it is recommended to initiate antiviral therapy in the

early period. Therapeutic drug levels should be monitored in antiviral and antibiotic drugs. Lopinavir and ritonavir are antiretroviral drugs belonging to the group of drugs called protease inhibitors. They act by slowing down the spread of the infection in the body by removing the protease enzyme since viruses need to reproduce. It is recommended to use lopinavir 200 mg or ritonavir 50 mg tablets orally at a 2x2 dose for 10-14 days instead of favipiravir in pregnant patients with definite diagnosis (Uludağ, 2020; Zhu et al., 2020).

5.2. Vasoactive Agents

Norepinephrine is the leading vasoactive agent used in the treatment of Covid-19. It is recommended to use vasopressin or epinephrine, especially if norepinephrine is not available. If the target mean arterial pressure cannot be achieved with norepinephrine alone, it is recommended to add vasopressin as a second-line agent rather than titrate the norepinephrine dose. It is stated that it is more appropriate to titrate the vasoactive agent to target an arterial pressure of 60-65 mm-Hg rather than high arterial pressure targets. For patients with cardiac dysfunction and persistent hypoperfusion despite fluid resuscitation and norepinephrine, the addition of dobutamine is recommended instead of increasing the dose of norepinephrine, and the use of dopamine is not recommended (Rollas and Şenoğlu, 2020; Uludağ, 2020).

5.3. Corticosteroids

While Covid-19 is mild in some patients, it progresses to respiratory failure requiring ventilation in others. This event starts with the activation of the immune response in response to the proliferation of the Covid-19 virus and the foreign particles reaching the lower respiratory tract due to the virus inactivating the signals. The proliferating virus binds to the ACE2 receptor and causes widespread inflammation in the alveoli within the cell. (Akyar, 2020). Although incidence data are limited, a large case series of 1300 patients with Covid-19, especially in Italy, showed that 88% of critically ill patients required mechanical ventilation. A severe, hyper-inflammatory, cytokine-mediated lung injury plays a role in Covid-19. With the excessive release of cytokines, it causes damage to the alveolar epithelial tissue, capillary tissue destruction, increased capillary permeability and therefore fluid leakage into the alveoli. All these processes lead to the development of respiratory failure. Drugs such as proinflammatory cytokines may interfere with the normal adaptive response. (Akyar, 2020; Lentz et al., 2020). In addition, the use of corticosteroids as an adjunct pharmacological treatment in the treatment of Covid-19 was evaluated. Routine use of systemic corticosteroids is not recommended in adults with COVID-19 and respiratory failure. (Uludağ, 2020; Zhu et al., 2020) Steroids are widely used in addition to other drugs during the Covid-19 pandemic. Steroid therapy is known to have a good efficacy in stabilizing hemodynamics, shortening the length of stay in the intensive care unit and mechanical ventilation (Mattos-Silva et al., 2020).

5.4. Coagulopathy Treatment

In the first case reports reported from China, more frequent deaths were observed in patients who developed coagulopathy. It has been observed that coagulopathy becomes evident on the 7th day of viremia. Plasma tissue factor and plasminogen activator inhibitor-1 were found to be higher in patients with acute respiratory distress syndrome in the lungs than in patients without acute respiratory distress syndrome in the lungs. It has been stated that in the management of coagulopathy associated with Covid-19, initiation of heparin in case of elevated D-Dimer reduces mortality. In addition to the anticoagulant effect of heparin, it has been determined that it is a very effective method by binding inflammatory cytokines, inhibiting neutrophil chemotaxis and leukocyte migration. Serum fibrinogen level in Covid-19 patients decreases especially from the 7th day. High D-Dimer and fibrin degradation products should suggest the development of disseminated intravascular coagulation (DIC). If there is major bleeding with the diagnosis of DIC, blood product replacement should be performed. It has been reported to be inappropriate in patients without bleeding unless coagulation factor replacement is required (Rollas and Senoğlu, 2020; Uludağ, 2020).

5.5. Vaccine Treatment

When the human body encounters pathogens, the immune system kicks in. The innate immune system consists of neutrophils, macrophages, natural killer cells and dendritic cells that are not antigen-specific and act to destroy the pathogen. When the antigen level in the body exceeds a certain threshold, the antigen-specific adaptive immune system consisting of humoral and cellular immunity comes into play. Acquired immunity is acquired through vaccines (Zinkernagel, 2003; Duran, 2021). Studies on vaccine research and development against the treatment of Covid-19 continue at an unprecedented pace around the world. The fact that SARS-CoV-1's genome sequencing analyzes have been performed previously and that the S glycoprotein and nucleocapsid proteins on the virus surface are known to be the appropriate antigenic regions for the vaccine has accelerated the studies on vaccine development. Some Covid-19 vaccines that have received Emergency Use Approval are now being implemented all over the world. Among these vaccines, Pfizer/BioNTech (BNT162b2) vaccine is an mRNA-based vaccine. Its effectiveness against symptomatic Covid-19 has been observed to be 95%. According to these results, it has been shown that the humoral immune response that develops after SARS-CoV-2 infection continues for at least one year. It has been reported that the humoral immune response of individuals who received mRNA vaccines after contracting the disease was significantly enhanced, including variants of SARS-CoV-2. Sinovac vaccine, on the other hand, is an inactivated whole virus vaccine. It has been determined that the efficacy of two doses of Sinovac vaccine administered between the ages of 18-59 in Turkey against symptomatic Covid-19 is 83%. AstraZeneca/University of Oxford/Serum Institute of India vaccine is a vector vaccine using nonreplicative chimpanzee adenovirus. Turcovac vaccine, which has been approved for emergency use, has been started to be implemented in Turkey (Topçu and Nasuhbeyoğlu, 2020; Dayan, 2021).

5.6. Measures to be Taken against Coronavirus

The measures needed to reduce the transmission of Covid-19 were outlined in WHO's 72nd report on coronavirus. Within the scope of this report, individual and environmental measures, isolation of cases, collective meetings, quarantine and travel measures, vaccinations and treatments are among the necessary measures. Physical and social distancing measures slow the spread of the disease by preventing the risk of transmission of Covid-19 and the emergence of new cases. While these measures reduce the physical distance between people and contact with contaminated surfaces, they increase the virtual and social connection in the society. These measures, often taken for public health, include distance education, remote and flexible working, crowd reduction and closure of unnecessary facilities and services. In particular, frequent hand washing rules against Covid-19 and the rules to be considered when coughing are of great importance in terms of individual precautions (WHO, 2019; Samancı, 2020).

6. Conclusion

The corona viruses spreads day by day, particularly as a result of close contact. Fast and effective diagnosis is vital in avoid the spread of Covid-19. Because it is necessary to stop the spread of Covid-19, isolate infected people earlier and start treatment of patients who need treatment immediately. For this reason, it is of great significant to take protective measures to prevent infection. To reduce the risk of contamination, washing hands frequently with water and soap using an alcohol-based hand sanitizer regularly, maintaining social distance, avoiding touching, nose, eyes and mouth, applying respiratory hygiene, using face masks in social areas, such as not being in crowded environments unless necessary. Precautions are of great importance. It is thought that this review may assist researchers and clinicians in the classification, diagnosis, prognosis and treatment of coronavirus illness. Since there is no effective antiviral drug in the treatment of Covid-19 caused by SARS-CoV-2, vaccination has become the most effective method in combating the disease. The interest in vaccination is increasing day by day due to the pandemic process we have experienced in the last few years and the emergence of new variants. Vaccines are one of the most important methods developed to protect people and prevent the development of variants, as well as to stop the pandemic. The aim of vaccination is to gain immunity by the society in a short time and to provide it at an equal level all over the world. In a short period of one year, Covid-19 vaccines were developed and started to be used on a global scale with emergency use approval. If enough attention is not given to vaccination, new variants and mutations will continue to emerge.

Acknowledgements

I would like to express my gratitude to all other institutions, especially healthcare professionals, who have struggled with this epidemic in our country and to the Turkish people who followed the call to "stay at home". Some results of this article were presented as an oral presentation at the 5th International Marmara Sciences Congress Imascon 2020-Autumn held on 4-5 December 2020 in Kocaeli, Turkey.

Statement of Conflict of Interest

Authors have declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

References

- Akpınar F., Üstün Y. Current information about SARS-COV-2 (Covid-19) infection in obstetrics and gynecology practice. *Turk Journal of Womens Health Neonatology* 2020; 2(1): 13-16.
- Akyar I. Nursing management of acute respiratory distress syndrome (ARDS) in Covid-19 patients. *Huhemfad-Johufon* 2020; 7: 8-14.
- Alimoğlu O., Erol CI. Approach to general surgery practice during Covid-19 pandemic. *Anatolian Clinic Journal of Medical Sciences* 2020; 25(1): 102-110.
- Alkan Çeviker S., Dindar Demiray EK. Other respiratory viruses for differential diagnosis of SARS-CoV-2 (Covid-19) infection. *Journal Biotechnology and Strategic Health Research* 2020; 1: 45-49.
- Aslan A., Hussein YT., Gök O., Beyaz S., Erman O., Başpınar S. Ellagic acid ameliorates lung damage in rats via modulating antioxidant activities, inhibitory effects on inflammatory mediators and apoptosis-inducing activities. *Environmental Science and Pollution Research* 2020a; 27(7): 7526-7537.
- Aslan A., Beyaz S., Gök O., Erman O. The effect of ellagic acid on Caspase-3/bcl-2/Nrf-2/NF-κB/TNF-α/COX-2 gene expression product apoptosis pathway: A new approach for muscle damage therapy. *Molecular Biology Reports* 2020b; 47(4): 2573–2582.
- Baloch S., Baloch MA., Zheng T., Pei X. The coronavirus disease 2019 (Covid-19) pandemic. *The Tohoku Journal of Experimental Medicine* 2020; 250(4): 271-278.
- Bernheim A., Mei X., Huang M., Yang Y., Fayad ZA., Zhang N., Diao K., Lin B., Zhu X., Li K., Li S., Shan H., Jacobi A., Chung M. Chest CT findings in coronavirus disease-19 (Covid-19): Relationship to duration of infection. *RSNA Radiology* 2020; 295(3): 685-691.
- Buruk K., Özlü T. New coronavirus: SARS-CoV-2. *Mucosa* 2020; 3(1): 1-4.

- Dai J., Gu L., Su Y., Wang Q., Zhao Y., Chen X., Deng H., Li W., Wang G., Li K. Inhibition of Curcumin on influenza a virus infection and influenzal pneumonia via oxidative stress, TLR2/4, p38/JNK MAPK and NF- κ B pathways. *International Immunopharmacology* 2018; 54: 177-187.
- Dayan S. Covid-19 and vaccine. *Dicle Medical Journal* 2021; 48: 98-113.
- Esakandari H., Nabi-Afjadi M., Fakkari-Afjadi J., Farahmandian N., Miresmaeili SM., Bahreini EA. Comprehensive review of Covid-19 characteristics. *Biologic Procedure* 2020; 22: 1-10.
- İnal İnce D., Vardar Yağlı N., Sağlam M., Kütükçü E. Acute and postacute physiotherapy and rehabilitation in Covid-19 infection. *Turk Journal of Physiotherapy Rehabilitation* 2020; 31(1): 81-93.
- Kurtuluş M., Pirim I. Covid-19 and cytokine storm. *Forbes Journal of Medicine* 2020; 1(3): 55-60.
- Lentz S., Roginski MA., Montrief T., Ramzy M., Gottlieb M., Long B. Initial emergency department mechanical ventilation strategies for Covid-19 hypoxemic respiratory failure and ARDS. *The American Journal of Emergency Medicine* 2020; 38(10): 2194-2202.
- Mattos-Silva P., Felix, NS., Silva PL., Robba C., Battaglini D., Pelosi P., Rocco PRM., Cruz FF. Pros and cons of corticosteroid therapy for Covid-19 patients. *Respiratory Physiology & Neurobiology* 2020; 280: 103492.
- Örs I. Covid-19 and skin. *Konya Karatay University Journal of Health Sciences* 2020; 3: 26-29.
- Prajapat M., Sarma P., Shekhar N., Avti P., Sinha S., Kaur H., Kumar S., Bhattacharyya A., Kumar H., Bansal S., Medhi, B. Drug targets for corona virus: A systematic review. *Indian Journal of Pharmacology* 2020; 52(1): 56.
- Rollas K., Şenoğlu N. Management of covid-19 patients in intensive care unit. *Journal of Tepecik Education and Research Hospital* 2020; 30: 142-155.
- Samancı M.A. Global outbreak: Covid-19. *Journal of Samsun Health Sciences* 2020; 5(1): 6-11.
- Shi Y., Wang G., Cai X.P., Deng J.W., Zheng L., Zhu H.H., Zheng M., Yang B., Chen Z. An overview of Covid-19. *Zhejiang Univ-Sci B (Biomedical & Biotechnology)* 2020; 21(5): 343-360.
- Sohrabi C., Alsafib Z., O'Neill N., Khanb M., Kerwanc A., Al-Jabir A., Iosifidis C., Agha R. World health organization declares global emergency: A review of the 2019 novel coronavirus (Covid-19). *International Journal of Surgery* 2020; 76: 71-76.
- Su S., Wong G., Shi W., Liu J., Lai AC., Zhou J., Liu W., Bi Y., Gao GF. Epidemiology, genetic recombination and pathogenesis of coronaviruses. *Trends in Microbiology* 2016; 24(6): 490-502.
- Tanrıverdi ES., Yakupoğulları Y., Otlu B. Features of Covid-19 agent. *Turkey Clinical Microbiology* 2020; 7-14.
- Topçu I., Nasuhbeyoğlu N. Covid-19 vaccine research and ethical issues in the context of gene-editing technologies. *Anatolian Clinic Journal of Medical Science* 2020; 25(3): 274-284.

- Uğraş Dikmen A., Kına HM., Özkan S., İlhan MN. Epidemiology of Covid-19: What we learn from pandemic. *Journal of Biotechnology and Strategic Health Research* 2020; 1: 29-36.
- Uludağ O. Coronavirus infections and new enemy: Covid-19. *Adıyaman University Journal of Health Sciences* 2020; 6(1): 118-127.
- WHO. World Human Organization Coronavirus disease (Covid-19) Weekly Epidemiological Update and Weekly Operational Update. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports/>. Available: 08.05.2021.
- Yılmaz D. Infection in terms of dentistry and dental clinics. *Journal of Biotechnology and Strategic Health Research* 2020; 1: 22-28.
- Yücel B., Görmez A. SARS- corona virus overview. *Turk Journal Applied Science Technology* 2019; 2(1): 32-39.
- Zhu N., Zhang D., Wang W., Yang Y., Fayad ZA., Zhang N., Diao K., Lin B., Zhu X., Li K., Li S., Shan H., Jacobi A., Chung MA. Novel coronavirus from patients with pneumonia in China. *New England Journal of Medicine* 2020; 382(8): 727-733.
- Zinkernagel RM. On natural and artificial vaccinations. *Annual Review of Immunology* 2003; 21: 515-546.

Exopolysaccharides from Lactic Acid Bacteria: Functional Properties and Effects on Yogurt

Texture

Nurullah Zekeriya AKAR^{1*}

¹Istanbul Gelisim University, Istanbul Gelisim Vocational School, Food Technonology Department, Istanbul

¹<https://orcid.org/0000-0003-2485-2382>

*Corresponding author: nzakar@gelisim.edu.tr

Review Article

Article History:

Received: 28.10.2021

Accepted: 02.03.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Exopolysaccharide
Gelation
Yogurt
Lactic acid bacteria
Biopolymer

ABSTRACT

Exopolysaccharides (EPSs) are polysaccharides synthesized extracellularly by microorganisms and have positive effects on health. EPSs produced even at low concentrations have the effect of improving the structure of food products. Thus, it is possible to meet the needs and demands of consumers by developing the textural feature of the final product as desired without using any additives, as well as positive benefits for human health. The number of studies on the use of EPS-producing microorganisms in the production of fermented milk products is continuously increasing. However, the literature does not include sufficient number of studies that explains the interaction between caseins and EPSs in fermented milk products. In this review, EPSs, their functional properties and caseins and EPSs interaction that is critical factor for the formation of yogurt texture, and correspondingly their effects on some problems such as serum separation and poor texture have been handled.

Laktik Asit Bakterileri Tarafından Üretilen Ekzopolisakkaritler: Fonksiyonel Özellikleri ve Yoğurt Dokusu Üzerine Etkileri

Derleme Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 28.10.2021

Kabul tarihi: 02.03.2022

Online yayınlanma: 18. 07.2022

Anahtar Kelimeler:

Ekzopolisakkarit
Jelleşme
Yoğurt
Laktik asit bakterisi
Biyopolimer

ÖZ

Ekzopolisakkarit (EPS)'ler, mikroorganizmalar tarafından hücre dışı olarak sentezlenen ve sağlık üzerinde olumlu etkileri olan polisakkaritlerdir. Düşük konsantrasyonlarda bile sentezlenen EPS, gıda ürünlerinin yapısını iyileştirme etkisine sahiptir. Böylece nihai ürünün dokusal özelliğini herhangi bir katkı maddesi kullanmadan istenilen şekilde geliştirerek, tüketicilerin ihtiyaç ve taleplerini karşılamakla birlikte insan sağlığına da çeşitli faydalar sağlamaktadır. EPS üreten mikroorganizmaların fermente süt ürünleri üretiminde kullanımına yönelik çalışmaların sayısı giderek artmaktadır. Ancak fermente süt ürünlerinde kazeinler ile EPS arasındaki etkileşimi açıklayan yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu derlemede, ekzopolisakkaritler, fonksiyonel özellikleri ve yoğurt dokusunun oluşumunda kritik faktör olan kazein ile EPS etkileşimi ve buna bağlı olarak serum ayrılması, gevşek yapı gibi istenmeyen sorunlara karşı etkileri ele alınmıştır.

To Cite: Akar NZ. Exopolysaccharides from Lactic Acid Bacteria: Functional Properties and Effects on Yogurt Texture. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 1053-1068.

1. Introduction

Polysaccharides are used in foods as stabilizers, emulsifiers, gelling agents or water-binding agents. Polysaccharides obtained from plants and algae such as starch, galactomannan, pectin, carrageenan and alginate constitute the majority of the polysaccharides used in the food industry (Freitas et al.,

2011). Exopolysaccharides (EPSs) have been used to identify compounds known as extracellular polymeric substances (Rana and Upadhyay, 2020). EPSs are recyclable polymers with high molecular weight monosaccharides secreted extracellularly by microorganisms (Gupta and Diwan, 2017). In recent years, as an alternative to polysaccharides produced from plants and algae, interest on the use of microbial EPSs has increased as they form viscous solutions even at very low concentrations with their pseudoplastic structure (Andhare et al., 2014).

EPSs are essentially straight or branched, soluble ionic or non-ionic biopolymers in which monosaccharides are bound by glycosidic bonds and hexose and pentoses constitute the majority of their structures (Zhou et al., 2018; Moradi et al., 2021). Although EPSs can also be synthesized by plants, yeast, molds and archaea species, the use of bacteria is more preferred in quantity and variety as bacteria provides faster production without affection by geographic or seasonal conditions as there is no need for solar energy for microbial production. Additionally, bacterias can use a wide variety of organic sources as a fermentation sources (Ergene and Avcı, 2016). Among these microbial polysaccharides, EPS produced by lactic acid bacteria (LAB) is preferred for wide-ranging applications (Angelin and Kavitha, 2020). In addition, optimization of fermentation conditions and development of strains producing new biopolymers in high quantities with genetic arrangements can be brought in new starters in the dairy industry (Zhang et al., 2021a).

Microbial sourced EPSs are classified into two separate groups, demonstrated in Figure 1 (Angelin and Kavitha, 2020; Tiwari et al., 2021), as homopolysaccharides (HoPs) and heteropolysaccharides (HePs) in terms of chemical composition, biosynthesis mechanism, and molecular size according to simple sugars in their structures (Saadat et al., 2019). While HePs are synthesized in the cell, HoPs are synthesized by extracellular enzymes using sucrose (Minervini et al., 2011). HoPs are divided into two types: plain neutral glucans, containing a single type of bond, polyanionic homopolymers containing acyl groups, and cyclerglucans containing repeating 1,6- α -D-glycosyl (Korcz and Varga, 2021). HePs refer to long-chain polysaccharides produced by repeating units containing D-glucose, D-galactose, L-rhamnose, or rarely N-acetylglucosamine, N-acetylgalactosamine, and glucuronic acid or derivatives thereof (Kumari et al., 2020). HePs mostly used in the industry can exist in two different forms: capsular (associated with the bacterial cell surface) and ropy or slimy (Abarquero et al., 2021). EPS produced from different LAB: It varies in terms of many properties such as chemical composition, electrical charge, three-dimensional structure, coagulation stability, and ability to interact with proteins (Ruas-Madiedo and De Los Reyes-Gavilán, 2005). In addition to its physical characteristics, the interactions between EPS and various structures contribute to the development of the final product (Werning et al., 2012).

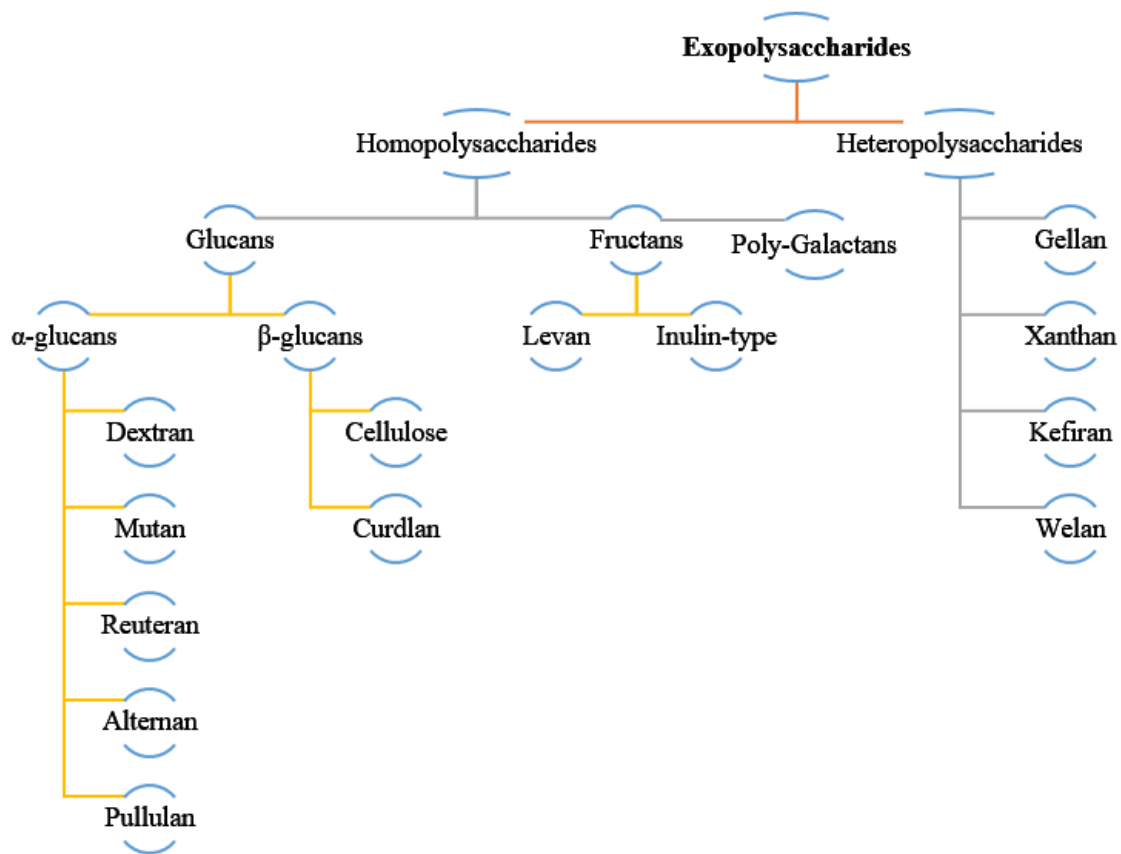


Figure 1. Classification of EPSs

LAB stand out among EPS-producing bacteria in the human diet because of their generally recognized as safe (GRAS) status, ability of producing antimicrobial substances, resistance to acid and bile, and ability to produce EPSs that can be involved in probiotic activity (Ayyash et al., 2020; Rajoka et al., 2020). In Table 1, various LAB capable of producing EPSs have been shown (Angelin and Kavitha, 2020; Kavitate et al., 2020; Patel et al., 2021; Jurášková et al., 2022). Since the use of stabilizers is prohibited in most of the European Union (EU) countries, the use of thickener culture is quite common. In the dairy industry, starter cultures containing thickener LAB are sold in the market as commercial cultures in EU countries and US. Consumer demands for foods with low fat-sugar contents and without inorganic food additives have led manufacturers to foods with high EPS content (Ergene and Avci, 2016; Das et al., 2019).

Table 1. LAB that can produce EPS

EPS	Monomer Units	Species
Dextran	Glucose	<i>Lactobacillus reuteri</i> , <i>Lactobacillus casei</i> , <i>Lactobacillus sakei</i> , <i>Lactobacillus parabuchneri</i> , <i>Lactobacillus fermentum</i> , <i>Lactobacillus curvatus</i> , <i>Leuconostoc mesenteroides</i> , <i>Leuconostoc mesenteroides subsp. dextrtanicum</i> , <i>Streptococcus mutans</i> , <i>Streptococcus downei</i> , <i>Streptococcus sobrinus</i> , <i>Streptococcus salivarius</i> , <i>Streptococcus gordonii</i> , <i>Weissella cibaria</i> , <i>Leuconostoc pseudomesenteroides</i> , <i>Leuconostoc citreum</i>
Mutan	Glucose	<i>Streptococcus mutans</i> , <i>Streptococcus downei</i> , <i>Streptococcus sobrinus</i> , <i>Lactobacillus reuteri</i>
Alteran	Glucose	<i>Leuconostoc mesenteroides</i> , <i>Leuconostoc citreum</i>
Reuteran	Glucose	<i>Limosilactobacillus reuteri</i>
β-glukan	Glucose	<i>Pediococcus damnosus</i> , <i>Pediococcus parvulus</i> , <i>Lactobacillus diolivorans</i>
Poly-galactans	Galactose	<i>Lactococcus lactis</i> , <i>Lactobacillus delbruecki</i>
Levan	Fructose	<i>Lactobacillus reuteri</i> , <i>Lactobacillus frumenti</i> , <i>Lactobacillus sanfranciscensis</i> , <i>Leuconostoc mesenteroides</i> , <i>Streptococcus sobrinus</i> , <i>Streptococcus salivarius</i>
Inulin	Fructose	<i>Lactobacillus reuteri</i> , <i>Leuconostoc citreum</i> , <i>Streptococcus mutans</i> , <i>Lactobacillus johnsonii</i>
Kefiran	D-Glucose, D-Galactose	<i>Lactobacillus kefiranofaciens</i> , <i>Lactobacillus kefirgranum</i> , <i>Lactobacillus parakefir</i> , <i>Lactobacillus kefir</i> , <i>Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus</i>

1.1. Biosynthesis of EPSs

Numerous enzymes and regulatory proteins are involved in the biosynthesis of microbial EPS. EPS-producing microorganisms use sugars as energy sources, ammonium salts and amino acids as nitrogen sources. The production of EPS by the microorganism mainly depends on the ratio of carbon and nitrogen availability in the environment. Although low nitrogen concentration leads to high EPS production, optimal C/N ratio for maximum EPS production is 10:1 (Wu et al., 2012). The production of HePs is different and somewhat more complex than the production of HoPs. Their production requires precursors or intermediates (such as lipid phosphate esters and isoprenoid alcohols). After the synthesis of the side groups is made in the cell wall, they are transported to the intercellular environment with the help of the mentioned intermediates, and combined enzymatically and synthesized. Glucosyl transferase, galactosyl transferase, 1,2 glucuronic acid transferase and polymerase enzymes are involved in this synthesis (Ruas-Madiedo et al., 2002). EPS derived from LAB can be formed ex situ as an additive in food after purification or in situ by LAB, which generate EPS in the food matrix. Compared to ex situ production and use of EPS, in situ synthesis process is less controllable, and the food matrix and optimum conditions in which EPS-producing microorganisms grow affect the quality and yield of EPS. Among these factors, carbon and nitrogen

sources, mineral salts, trace elements, microorganism type, temperature, pH and oxygen concentration are important (Hundscheil and Wagemans, 2019).

1.2. Challenges Associated with Biosynthesis of EPSs

The biosynthesis of EPS is highly affected by the ambient and growth conditions (Gientka et al., 2016). There may be challenges limiting the growth of LAB and the production of EPS. Caused by the conditions of production and microorganism itself; high temperature, drying, freezing, high pressure, acidic or alkaline media, anaerobic growth conditions, rich nutrient requirement, oxygen, pH, inhibitors and competitive microorganisms are the factors preventing the growth of LAB (Farnworth, 2008). EPS production is increased by protect microbial cells under stress conditions. In a study in which different concentrations of NaCl were added to the bacterial growth medium, all strains showed good growth in the presence of NaCl at 28 °C. However, it was determined that LAB strains produced more EPS at different NaCl concentrations than under optimal conditions (Grosu-Tudor and Zamfir, 2014). Various carbon sources such as sucrose, glucose, lactose, maltose, mannitol, sorbitol, starch, fructose, ribose, arabinose, raffinose, methanol are used in EPS production. EPS biosynthesis yield and molecular size may vary depending on the carbon source. For example, it has been reported that alginate is produced from fructose and glucose at a molecular weight of 500 kDa and 276 kDa, respectively, after 48 hours of incubation (Conti et al., 1994). Most bacterial EPS production takes place under aerobic conditions, so aeration is required for maximum EPS production. However, some EPS, such as bacterial alginate, occur under microaerobic conditions (Freitas et al., 2011). Bensmira et al. (2010) in the study of the effect of different process conditions on the rheological properties of kefir and the production of EPSs have determined that the combination of homogenization pressure of 19 MPa, incubation temperature of 24 °C and incubation period of 18 hours gives better results than other combinations in terms of rheological properties of kefir and EPS production in kefir. In a study it is reported that *Lactobacillus lactis* can produce the maximum amount of EPSs in the presence of nitrogen sources such as maltose, ammonium sulfate, casein, skimmed milk, and 1 % (w/v) oatmeal added (Almalki, 2020).

2. Interaction between EPSs and Milk Proteins

Microstructures of cheese, yoghurt, ice cream, cream and dairy desserts affect quality parameters such as texture, solubility, flow, visco-elasticity and brittleness. The microstructure is generally shaped by the common interaction of proteins, carbohydrates, lipids and other structural components at the micro scale. Milk proteins, which are the basic microstructure components and have high nutritional value, are widely used in foods with their functional properties; improving the textural properties of foods, increasing the consistency, strengthening the gel formation, forming emulsion, preventing water-retention, serum separation, aroma formation and heat stability (Ramirez-Santiago et al., 2010; Xiao et al., 2020). The properties of the gel in the structure of fermented milk can be determined by

examining the microstructure and microscopic images. Evaluation is mostly characterized by protein bindings, their amounts and pore size distribution (Hassan et al., 1995). It is stated that the interaction between EPSs and milk proteins is an important factor for the formation of yogurt texture. The interaction between EPSs and milk proteins can produce a dense network structure with higher elasticity through Van der Waals force and electrostatic repulsion. EPS does not interact with casein if it is neutral but may interact depending on pH if it is charged. In addition, EPS may interfere with the association between the casein micelles and result in a less firm coagulum (Ruas-Madiedo et al., 2002). EPS synthesis increases protein network aggregation and interaction between EPS and casein matrix in yoghurts, whereas it potentially prevents protein-protein interaction (Yilmaz et al., 2015). As the incubation temperature increases, the hydrophobic interactions between the casein molecules increase and a denser structure is formed. With the decrease in incubation temperature, the hemholtz activation energy required for gelation in yogurt increases. Since the Hemholtz activation energy is desired to be at a minimum level for gel formation with suitable physical properties, the decrease in incubation temperature weakens the curd stability in yogurt (Lee and Lucey, 2003). Birch et al. (2017) reported that with the increase of pH from 4.0 to 5.5, the ability of HePs to bind milk proteins decreases, while HoPs cause a decrease in syneresis, increase in viscosity and a brighter surface in cream and fermented milk products. In another study, EPS-casein complex was formed by adding EPS at different rates (0%, 0,25%, 0,50%, 0,75%, and 1%) into 20 mL of simulated milk ultrafiltrate containing 3% casein. According to the results of the analysis, it was observed that the textural properties of yoghurt improved as the EPS concentration increased (Zhang et al., 2021b).

2.1. Applications of EPS in Dairy Product

EPSs produced by LAB strains are used as natural ingredients as viscosity and thickener, syneresis reducing, stability and emulsifier, and excess water binder in fermented dairy products such as yogurt, cheese, kefir and low-fat cheese to increase the desired sensory features (Mende et al., 2016). In a study it has also been reported that *Weissella cibaria* CH2 isolated from Western Himalayan cheese shows maximum EPS production (81.3%) with sucrose at 20°C. It also shows β -galactosidase production, vitamin and essential amino acid biosynthesis, and antimicrobial activity against pathogenic bacteria in the gastrointestinal tract. Therefore, it can be used as an important probiotic source in fermented dairy products (Kumari et al., 2020). Abushelaibi et al. (2017) have also reported that *Lactobacillus plantarum* KX881772 and KX881779 strains isolated from camel milk had the best EPS production and can be used as probiotics. The first study to determine the microbial diversity and EPS production capacity in Thai milk kefir states that 24 out of 85 isolates are *Bacillus* species and they can produce EPS on 8% glucose, sucrose, and lactose but the appearance of EPS varies depending on the bacteria and sugar type. This study of the components of the Thai milk kefir community and its EPS-producing bacteria suggests that it may be important for the development of

new kefir grains or starter cultures with desired properties as functional foods or probiotic products (Luang-In and Deeseenthum, 2016). In a different study, it is stated that the EPS (Kefiran) isolated from *Lactobacillus kefiranofaciens* has strong potential, advantageous biological, physicochemical and rheological properties for agro-food and biomedical industries (Tan et al., 2020). The EPS-producing starter culture *Streptococcus thermophilus* MYE92 is used to improve the texture properties of low-fat Turkishcheese (Şanlı et al., 2013).

2.2. Functional Properties of EPSs

In recent years, with the awareness of consumers, the tendency of human health protection through nutrition has increased. The positive results of studies examining the effects of yogurt on health have made yogurt production and consumption increasingly widespread all over the world, especially in Europe (Kızılaslan and Solak, 2016; Bilginer and Çetin 2019). In addition, new concepts related to probiotics such as postbiotics and para-probiotics have been used to describe non-viable microorganisms or cell-free extracts that may benefit the host by offering additional bioactivities to probiotics. EPSs are examples of these metabolites (Barros et al., 2020; Amiri et al., 2021). Fermentation is the most common source of postbiotics in food technology. Some foods that are naturally rich in postbiotics, such as yogurt, kefir, pickled vegetables, sauerkraut, kimchi, are rich in postbiotics (Tomasik and Tomasik, 2020). In this context, the multifunctional effect of EPSs has increased the interest of functional properties of yogurt. Generally, functional properties of EPSs are shown in Figure 2 (Korc et al., 2018). EPSs belonging to lactic acid bacterial strains isolated from different products have also been shown to be used as a substitute for antitumor drugs that damage cytotoxicity and the nervous system since they are products obtained from natural sources with low toxicity and minimal side effects (Di et al., 2017). A study shows that *Lactobacillus rhamnosus* ZFM231, which is part of the gut microflora of healthy people and can produce large amounts of EPSs, can be used as effective ingredients in foods to prevent diseases due to its positive effects on human and health (Zhu et al., 2020). Xu et al. (2011) has reported that EPS derived from *B. animalis* RH increase the antioxidant capacity in the blood and Glutathione S-transferase in the liver. In addition, Guo et al. (2013) have reported that EPS derived from *Lactococcus lactis subsp. lactis* reduces lipid peroxidation in blood and liver. A study emphasized that EPS produced by *Lactobacillus kefir* MSR101 isolated from Chinese kefir grains can be used as natural anti-tumor agents in various functional food products (Rajoka et al., 2020). Another study reports that EPS produced with *Lactobacillus plantarum* C70 isolated from camel milk has anticancer, antidiabetic, and antioxidant activity (Ayyash et al., 2020). It has been reported that *Lactobacillus paracasei* M7 isolated from breast milk is an important potential source for EPS production and the EPS produced exhibits versatile biological activities such as ipcholesterolemic, antioxidant and antibiofilm, and also has significant potential on versatile industrial applications for emulsification and polymer film formation (Bhat and Bajaj, 2019). Ale et al. (2019) reports that when EPS from *Lactobacillus fermentum* Lf2 is

added as a food ingredient to yogurts, it plays a prebiotic role by causing an increase in the levels of bacterial groups known to produce health-beneficial short-chain fatty acids. In a study on yogurt, it was determined that EPS produced by *Lactobacillus plantarum* RS20D strain isolated from a homemade Sichuan paocai sample improved the texture of yogurt and in vitro regulated the immune system (Zhu et al., 2019).

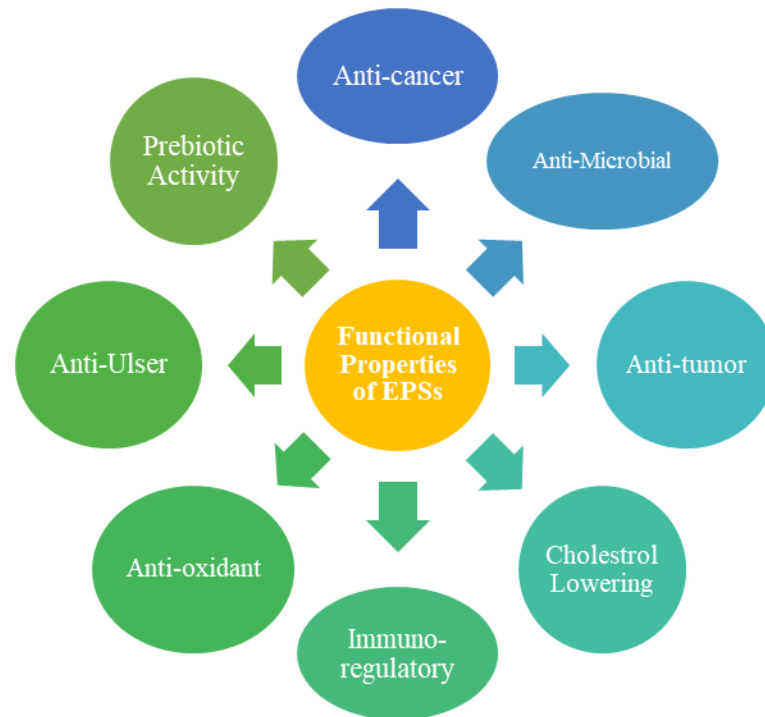


Figure 2. Functional Properties of EPSs

2.3. Effect of EPSs on Textural Properties of Yoghurt

Yogurt is a fermented dairy product preferred by consumers due to its nutritional, sensory, and health benefits. The fermentation conditions and the fermentation strains used are important for the quality of yogurt. Undesirable problems such as serum separation, poor texture may be encountered in yogurt production (Lee and Lucey, 2010). In industry, stabilizers such as gelatin and pectin are often added to fermented milk as additives to prevent syneresis and improve texture in yoghurts (Girard and Schaffer-Lequart, 2008). As an alternative to food additives, starter cultures that produce EPS are used during fermentation to maintain fermentation conditions and improve the textural properties of yogurt. Thus, it can eliminate the need for additional stabilizers (Tiwari et al., 2021). Various positive effects of EPSs on the structural properties of yoghurt are shown in Figure 3 (Han et al., 2016). Depending on the strain combination and hence the types of EPS, yogurt texture and structure will change. Combining the *Lactobacillus* CHCC-10935 strain with the *Streptococcus thermophilus* CHCC-13140 strain that produces negligible amounts of EPS increases the water holding capacity in yogurt in fermentation after a moderate mechanical treatment. For this reason, *Streptococcus thermophilus* strain

selection (CHCC-13140) is important in determining the rheological properties of yogurt produced. Because the incompatibility between the existing EPS and milk protein reduces the water holding capacity and exhibits a more porous structure. In addition, while extracellular type EPS of *Lactobacillus* CHCC-10935 strain increases serum viscosity, capsule type EPS increases gel hardness (Zhang et al., 2016). In a study, *Lactobacillus paracasei* was used as a starter to prepare yogurt under optimum fermentation conditions. It was determined that the viscosity of yogurt increased with EPS production, and to clarify this phenomenon, the binding of EPS-S11 extracted and purified from yogurt to casein was evaluated by turbidity and particle size analysis, zeta potential study, and confocal laser scanning microscopy. According to the results of the study, with the addition of EPS-S11, the turbidity and particle size of the casein solution decreased in a dose-dependent manner, while the zeta potential increased depending on the dose, suggesting that EPS-S11 might inhibit the aggregation of casein and thus increase its effect (Li et al., 2020). In a different study investigating the effects of EPSs produced in-situ on the textural properties of yoghurt produced from goat milk, it was observed that EPS production significantly improved the quality properties of goat milk yoghurt. In situ EPS production of the starter cultures resulted in goat milk yogurt with low syneresis, high viscosity and improved sensory qualities. During this study, the lowest syneresis values were observed in the starters producing medium EPS, while the highest value was observed in the starters producing high EPS. It was determined that the viscosity values increased in direct proportion with the amount of EPS (Madhubasani et al., 2020). In a study by Gentès et al. (2011) the effect of fermented milk on gel formation and rheological/physical properties (hardness, apparent viscosity, elastic modulus, syneresis) was compared with different EPS structures produced in situ. As a result of the study, it was determined that the gel formation and physical properties of fermented milk were changed by the structural properties of EPS, especially negative charge, flexibility, degree of branching and molecular weight. In the study conducted by Hassan et al. (2001) a decrease in the water release rate of yoghurts produced with gelling cultures was observed. In addition to commercial culture (1.5%), EPS production was detected. Higher EPS production was determined in yoghurts produced with *Lactobacillus bulgaricus* B3 and *Streptococcus thermophilus* W22 strains. In terms of viscosity values, it was stated that yoghurts using these strains were more viscous. In a study examining the effect of 0.01% to 0.03% EPSs on the texture and microstructure of buffalo yoghurt, it was stated that while the casein micelles were denser with the addition of EPS, a better stability was demonstrated when 0.01% EPS was added on water holding capacity, viscosity, hardness and gumminess properties (Yang et al., 2014). It was stated that ropy type EPSs were synthesized higher in yoghurt samples than non-ropy type EPSs and samples produced with ropy type EPS producing strain had the lowest whey separation and the highest density and viscosity (Güler-Akın et al., 2009).

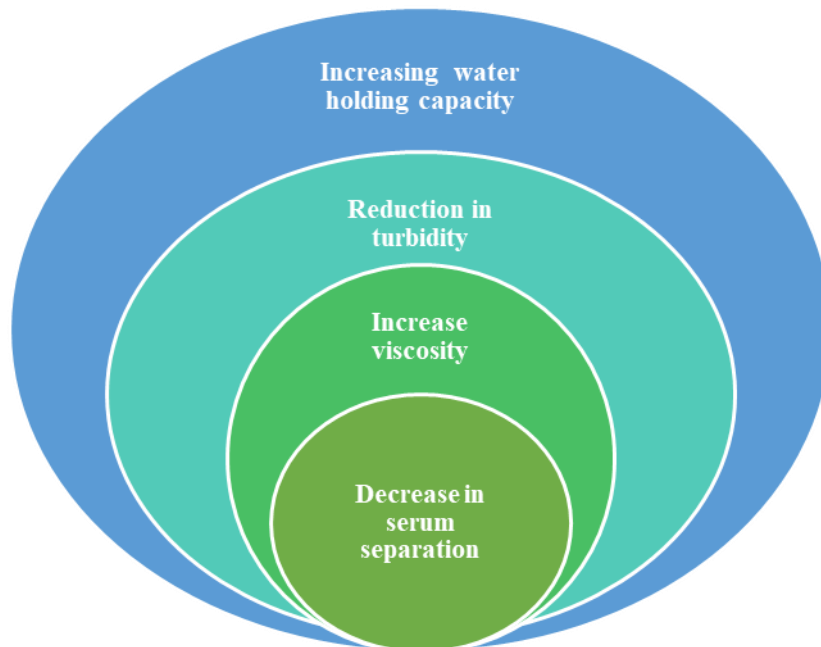


Figure 3. Various improve structure in yogurt provided by EPS

3. Conclusions

LAB have an important role in the fermented food industry. They are especially important for yogurt production. LAB in yogurt improves structure, viscosity and water holding capacity. LAB producing EPS is important in the dairy industry as it contributes to the consistency and rheological properties of fermented milk products. EPS produced by LAB and with GRAS status are applied on an industrial scale in the fermentation of raw food products such as meat and vegetables, especially in the dairy industry. While EPS increases the functional properties and quality of fermented milk products, they also protect bacteria against toxic compounds, phage attacks, and osmotic stress. However, the mechanism of positive effect of EPS on the quality of yogurt has not been clearly defined. The most suitable synthesis for the physical structure of yoghurt should be optimized according to the ambient conditions of the EPS efficiency and interaction with the casein micelles. As a result, the interaction of casein and EPSs is directly effective in improving the rheological properties of yogurt produced in in situ conditions, and it should focus on studies that will determine the optimum conditions according to various processes, challenges and characteristics of milk. In this way, the positive effects of EPSs, which are included in the postbiotic group, which has recently entered the literature and whose research topic is increasing, will be provided both on the structural properties of yogurt and on the health of the consumer.

Statement of Conflict of Interest

Author has declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the author is 100%.

References

- Abarquero D., Renes E., Fresno JM., Tornadijo, ME. Study of exopolysaccharides from lactic acid bacteria and their industrial applications: a review. *International Journal of Food Science & Technology* 2021; 57(1): 16-26.
- Abushelaibi A., Al-Mahadin S., El-Tarabily K., Shah NP., Ayyash M. Characterization of potential probiotic lactic acid bacteria isolated from camel milk. *LWT-Food Science and Technology* 2017; 79: 316-325.
- Ale EC., Bourin MJB., Peralta GH., Burns PG., Ávila OB., Contini L., Binetti AG. Functional properties of exopolysaccharide (EPS) extract from *Lactobacillus fermentum* Lf2 and its impact when combined with *Bifidobacterium animalis* INL1 in yoghurt. *International Dairy Journal* 2019; 96: 114-125.
- Almalki MA. Exopolysaccharide production by a new *Lactobacillus lactis* isolated from the fermented milk and its antioxidant properties. *Journal of King Saud University-Science* 2020; 32(2): 1272-1277.
- Amiri S., Rezazadeh-Bari M., Alizadeh-Khaledabad M., Rezaei-Mokarram R., Sowti-Khiabani M. Fermentation optimization for co-production of postbiotics by *Bifidobacterium lactis* BB12 in cheese whey. *Waste and Biomass Valorization* 2021; 12: 1-16.
- Andhare P., Chauhan K., Dave M., Pathak H. Microbial exopolysaccharides: advances in applications and future prospects. *Microbial Biotechnology* 2014; 3: 1-25.
- Angelin J., Kavitha M. Exopolysaccharides from probiotic bacteria and their health potential. *International Journal of Biological Macromolecules* 2020; 162: 853-865.
- Ayyash M., Abu-Jdayil B., Itsaranuwat P., Galiwango E., Tamiello-Rosa C., Abdullah H., Hamed F. Characterization, bioactivities, and rheological properties of exopolysaccharide produced by novel probiotic *Lactobacillus plantarum* C70 isolated from camel milk. *International Journal of Biological Macromolecules* 2020; 144: 938-946.
- Barros CP., Guimarães JT., Esmerino EA., Duarte MCK., Silva MC., Silva R., Cruz AG. Paraprobiotics and postbiotics: concepts and potential applications in dairy products. *Current Opinion in Food Science* 2020; 32: 1-8.
- Bensmira M., Nsabimana C., Jiang B. Effects of fermentation conditions and homogenization pressure on the rheological properties of Kefir. *LWT-Food Science and Technology* 2010; 43(8): 1180-1184.
- Bhat B., Bajaj BK. Hypocholesterolemic potential and bioactivity spectrum of an exopolysaccharide from a probiotic isolate *Lactobacillus paracasei* M7. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre* 2019; 19: 100191.

- Bilginer H., Çetin B. Probiotics and in vitro tests used for their determination. Atatürk University Journal of Agricultural Faculty 2019; 50(3): 312-325.
- Birch J., Harðarson HK., Khan S., Van Calsteren MR., Ipsen R., Garrigues C., Svensson B. Effect of repeat unit structure and molecular mass of lactic acid bacteria hetero-exopolysaccharides on binding to milk proteins. Carbohydrate Polymers 2017; 177: 406-414.
- Conti E., Flaibani A., O'Regan M., Sutherland IW. Alginate from *Pseudomonas fluorescens* and *P. putida*: production and properties. Microbiology 1994; 140(5): 1125-1132.
- Das K., Choudhary R., Thompson-Witrick KA. Effects of new technology on the current manufacturing process of yogurt-to increase the overall marketability of yogurt. LWT 2019; 108: 69-80.
- Di W., Zhang L., Wang S., Yi H., Han X., Fan R., Zhang Y. Physicochemical characterization and antitumour activity of exopolysaccharides produced by *Lactobacillus casei* SB27 from yak milk. Carbohydrate Polymers 2017; 171: 307-315.
- Ergene E., Avcı A. Microbial exopolisaccharides. Sakarya University Journal of Science 2016; 20(2): 193-202.
- Farnworth ERT. Handbook of fermented functional foods. London: CRC press; 2008.
- Freitas F., Alves VD., Reis MA. Advances in bacterial exopolysaccharides: from production to biotechnological applications. Trends in Biotechnology 2011; 29(8): 388-398.
- Gentès MC., St-Gelais D., Turgeon SL. Gel formation and rheological properties of fermented milk with in situ exopolysaccharide production by lactic acid bacteria. Dairy Science & Technology 2011; 91(5): 645.
- Gientka I., Bzducha-Wróbel A., Stasiak-Różańska L., Bednarska AA., Błażej S. The exopolysaccharides biosynthesis by *Candida* yeast depends on carbon sources. Electronic Journal of Biotechnology 2016; 22: 31-37.
- Girard M., Schaffer-Lequart C. Attractive interactions between selected anionic exopolysaccharides and milk proteins. Food Hydrocolloids 2008; 22(8): 1425-1434.
- Grosu-Tudor SS., Zamfir M. Exopolysaccharide production by selected lactic acid bacteria isolated from fermented vegetables. Scientific Bulletin Series F. Biotechnologies 2014; 18: 2285-1364.
- Güler-Akın MB., Serdar Akin M., Korkmaz A. Influence of different exopolysaccharide-producing strains on the physicochemical, sensory and syneresis characteristics of reduced-fat stirred yoghurt. International Journal of Dairy Technology 2009; 62(3): 422-430.
- Guo Y., Pan D., Li H., Sun Y., Zeng X., Yan B. Antioxidant and immunomodulatory activity of selenium exopolysaccharide produced by *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*. Food Chemistry 2013; 138(1): 84-89.
- Gupta P., Diwan B. Bacterial exopolysaccharide mediated heavy metal removal: a review on biosynthesis, mechanism and remediation strategies. Biotechnology Reports 2017; 13: 58-71.

- Han X., Yang Z., Jing X., Yu P., Zhang Y., Yi H., Zhang, L. Improvement of the texture of yogurt by use of exopolysaccharide producing lactic acid bacteria. *BioMed Research International* 2016; 2016: 1-46.
- Hassan AN., Corredig M., Frank JF. Viscoelastic properties of yogurt made with ropy and non-ropy exopolysaccharides producing cultures. *Milchwissenschaft* 2001; 56(12): 684-686.
- Hassan AN., Frank JF., Farmer MA., Schmidt KA., Shalabi SI. Formation of yogurt microstructure and three-dimensional visualization as determined by confocal scanning laser microscopy. *Journal of Dairy Science* 1995; 78(12): 2629-2636.
- Hundschell CS., Wagemans AM. Rheology of common uncharged exopolysaccharides for food applications. *Current Opinion in Food Science* 2019; 27: 1-7.
- Jurášková D., Ribeiro SC., Silva CC. Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria: from biosynthesis to health-promoting properties. *Foods* 2022; 11(2): 156.
- Kavitake D., Devi PB., Shetty PH. Overview of an exopolysaccharides produced by *Weissella* genus—A review. *International Journal of Biological Macromolecules* 2020; 164: 2964-2973.
- Kızılaslan N., Solak İ. Yoghurt and effects on human health. *Journal of Gaziosmanpasa Scientific Research* 2016; 12: 52-59.
- Korcz E., Varga L. Exopolysaccharides from lactic acid bacteria: Techno-functional application in the food industry. *Trends in Food Science & Technology* 2021; 110: 375-384.
- Korcz E., Kerényi Z., Varga L. Dietary fibers, prebiotics, and exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria: potential health benefits with special regard to cholesterol-lowering effects. *Food & Function* 2018; 9(6): 3057-3068.
- Kumari M., Kumar R., Singh D., Bhatt S., Gupta M. Physiological and genomic characterization of an exopolysaccharide-producing *Weissella cibaria* CH2 from cheese of the western Himalayas. *Food Bioscience* 2020; 35: 100570.
- Lee WJ., Lucey JA. Rheological properties, whey separation, and microstructure in set-style yogurt: Effects of heating temperature and incubation temperature. *Journal of Texture Studies* 2003; 34(5-6): 515-536.
- Lee WJ., Lucey JA. Formation and physical properties of yogurt. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 2010; 23(9): 1127-1136.
- Li XW., Lv S., Shi TT., Liu K., Li QM., Pan LH., Luo JP. Exopolysaccharides from yoghurt fermented by *Lactobacillus paracasei*: Production, purification and its binding to sodium caseinate. *Food Hydrocolloids* 2020; 102: 105635.
- Luang-In V., Deeseenthum S. Exopolysaccharide-producing isolates from Thai milk kefir and their antioxidant activities. *LWT* 2016; 73: 592-601.
- Madhubasani GBL., Prasanna PHP., Chandrasekara A., Gunasekara DCS., Senadeera P., Chandramali DVP., Vidanarachchi JK. Exopolysaccharide producing starter cultures positively influence on

- microbiological, physicochemical, and sensory properties of probiotic goats' milk set-yoghurt. *Journal of Food Processing and Preservation* 2020; 44(3): e14361.
- Mende S., Rohm H., Jaros D. Influence of exopolysaccharides on the structure, texture, stability and sensory properties of yoghurt and related products. *International Dairy Journal* 2016; 52: 57-71.
- Minervini F., De Angelis M., Surico RF., Di Cagno R., Gänzle M., Gobbetti M. Highly efficient synthesis of exopolysaccharides by *Lactobacillus curvatus* DPPMA10 during growth in hydrolyzed wheat flour agar. *International Journal of Food Microbiology* 2010, 141(1-2): 130-135.
- Moradi M., Guimarães JT., Sahin S. Current applications of exopolysaccharides from lactic acid bacteria in the development of food active edible packaging. *Current Opinion in Food Science* 2021; 40: 33-39.
- Patel M., Prasad W., Naithani H., Nataraj BH., Arora S., Behare PV. Comparative evaluation of in situ and ex-situ iron-complexing ability of exopolysaccharides producing lactic acid bacteria in whey medium. *LWT* 2021; 147: 111598.
- Rajoka MSR., Wu Y., Mehwish HM., Bansal M., Zhao L. *Lactobacillus* exopolysaccharides: New perspectives on engineering strategies, physiochemical functions, and immunomodulatory effects on host health. *Trends in Food Science & Technology* 2020; 103: 36-48.
- Ramirez-Santiago C., Ramos-Solis L., Lobato-Calleros C., Peña-Valdivia C., Vernon-Carter EJ., Alvarez-Ramírez J. Enrichment of stirred yogurt with soluble dietary fiber from *Pachyrhizus erosus* L. Urban: Effect on syneresis, microstructure and rheological properties. *Journal of Food Engineering* 2010; 101(3): 229-235.
- Rana S., Upadhyay LSB. Microbial exopolysaccharides: Synthesis pathways, types and their commercial applications. *International Journal of Biological Macromolecules* 2020; 157: 577-583.
- Ruas-Madiedo P., De Los Reyes-Gavilán CG. Invited review: methods for the screening, isolation, and characterization of exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria. *Journal of Dairy Science* 2005; 88(3): 843-856.
- Ruas-Madiedo P., Hugenholtz J., Zoon P. An overview of the functionality of exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria. *International Dairy Journal* 2002, 12(2-3): 163-171.
- Saadat YR., Khosroushahi AY., Gargari BP. A comprehensive review of anticancer, immunomodulatory and health beneficial effects of the lactic acid bacteria exopolysaccharides. *Carbohydrate Polymers* 2019; 217: 79-89.
- Şanlı T., Gursel A., Şanlı E., Acar E., Benli M. The effect of using an exopolysaccharide-producing culture on the physicochemical properties of low-fat and reduced-fat Kasar cheeses. *International Journal of Dairy Technology* 2013; 66(4): 535-542.
- Suresh Kumar A., Mody K., Jha B. Bacterial exopolysaccharides—a perception. *Journal of Basic Microbiology* 2007; 47(2): 103-117.

- Tan KX., Chamundeswari VN., Loo SCJ. Prospects of kefir as a food-derived biopolymer for agri-food and biomedical applications. *RSC Advances* 2020; 10(42): 25339-25351.
- Tiwari S., Kavitate D., Devi PB., Halad PS. Bacterial exopolysaccharides for improvement of technological, functional and rheological properties of yoghurt. *International Journal of Biological Macromolecules* 2021; 183: 1585-1595.
- Tomasik P., Tomasik P. Probiotics, non-dairy prebiotics and postbiotics in nutrition. *Applied Sciences* 2020; 10(4): 1470.
- Werning ML., Notararigo S., Nácher M., Fernández de Palencia P., Aznar R., López P. Food additive. Croatia: InTech; 2012.
- Wu X., Xu R., Ren Q., Bai J., Zhao J. Factors affecting extracellular and intracellular polysaccharide production in submerged cultivation of *Tricholoma Mongolicum*. *African Journal of Microbiology Research* 2012; 6(5): 909-916.
- Xiao Y., Liu Y., Wang Y., Jin Y., Guo X., Liu Y., Xu H. Heat-induced whey protein isolate gels improved by cellulose nanocrystals: Gelling properties and microstructure. *Carbohydrate Polymers* 2020; 231: 115749.
- Xu R., Shang N., Li P. In vitro and in vivo antioxidant activity of exopolysaccharide fractions from *Bifidobacterium animalis* RH. *Anaerobe* 2011; 17(5): 226-231.
- Yang T., Wu K., Wang F., Liang X., Liu Q., Li G., Li Q. Effect of exopolysaccharides from lactic acid bacteria on the texture and microstructure of buffalo yoghurt. *International Dairy Journal* 2014; 34(2): 252-256.
- Yilmaz MT., Dertli E., Toker OS., Tatlisu NB., Sagdic O., Arici M. Effect of in situ exopolysaccharide production on physicochemical, rheological, sensory, and microstructural properties of the yogurt drink ayran: an optimization study based on fermentation kinetics. *Journal of Dairy Science* 2015, 98(3): 1604-1624.
- Younes E. Structural properties of casein micelles in milk; the effect of salt, temperature, and pH. *International Journal of Biotechnology and Bioengineering* 2017; 3: 202-215.
- Zhang L., Folkenberg DM., Amigo JM., Ipsen R. Effect of exopolysaccharide-producing starter cultures and post-fermentation mechanical treatment on textural properties and microstructure of low fat yoghurt. *International Dairy Journal* 2016; 53: 10-19.
- Zhang M., Fan S., Hao M., Hou H., Zheng H., Darwesh OM. Improving the production of fungal exopolysaccharides with application of repeated batch fermentation technology coupling with foam separation in the presence of surfactant. *Process Biochemistry* 2021a; 100: 82-89.
- Zhang M., Lai T., Yao M., Zhang M., Yang Z. Interaction of the exopolysaccharide from *Lactobacillus plantarum* YW11 with casein and bioactivities of the polymer complex. *Foods* 2021b; 10(6): 1153.

- Zhou Q., Feng F., Yang Y., Zhao F., Du R., Zhou Z., Han Y. Characterization of a dextran produced by *Leuconostoc pseudomesenteroides* XG5 from homemade wine. *International Journal of Biological Macromolecules* 2018; 107: 2234-2241.
- Zhu Y., Zhou JM., Liu W., Pi X., Zhou Q., Li P., Gu Q. Effects of exopolysaccharide from *Lactobacillus rhamnosus* on human gut microbiota in in vitro fermentation model. *LWT* 2020; 139: 110524.
- Zhu Y., Wang X., Pan W., Shen X., He Y., Yin H., Liu S. Exopolysaccharides produced by yogurt-texture improving *Lactobacillus plantarum* RS20D and the immunoregulatory activity. *International Journal of Biological Macromolecules* 2019; 121: 342-349.

Stres, Hayvan Sağlığı, Ürün Kalitesi ve Helal Gıda Üretim Süreci Arasındaki İlişkiler

Ramazan DEMİREL¹, Dilek Şentürk DEMİREL^{2*}

^{1,2}Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, 21280, Diyarbakır

¹<https://orcid.org/0000-0003-0816-4125>

²<https://orcid.org/0000-0003-4142-2632>

*Sorumlu yazar: e-mail: senturk.dicle.edu.tr

Derleme

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 25.10.2021

Kabul tarihi: 10.02.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Gıda kalitesi

Hayvansal üretim

Sağlık

Stres

Verim

ÖZ

Günümüzde modern üretim sürecinde evcilleştirilen, ıslah edilerek sürekli verimleri artırılan çiftlik hayvanları değişen çevre koşullarına ve hastalıklara karşı hassas hale gelmişlerdir. Hayvanlardan beklenen yüksek verimin alınabilmesi için ihtiyaç duydukları besin maddelerini iyi kaliteli yemlerle uygun miktar ve oranlarda alabilmeleri, barınak koşullarının iyileştirilerek üzerlerindeki stres yükünün azaltılması gerekir. Stres, canlıların yeryüzünde karşılaştıkları çeşitli sorunlarla baş edebilmesi için gösterdikleri tepkidir. Hayvanlar doğada ve çiftlik koşullarında her türlü değişikliklere uyum sağlama yeteneğine sahiptirler. Hayvanların alışkanlıkları dışındaki her değişiklik üzerlerinde stres oluşturur. Yem değişiklikleri, içinde buldukları fizyolojik durum (gebelik, laktasyon vb), bakım idarededeki farklılıklar, aşı uygulamaları hatta bakıcının elbise rengi vb. önemli stres kaynaklarıdır. Hayvanları stressiz bir ortamda yetiştirmek neredeyse olanaksızken, stres faktörlerinin zamana yayılmasıyla kayıplar azaltılabilir. Stres halinde vücut salgılarının (enzimler, hormonlar vb.) miktarları değişmektedir. Uzun süren stres faktörleri hayvanın verimi ve sağlığı üzerine doğrudan etki ederken, diğer yandan ürün kalitesini de olumsuz etkilemektedir. Helal gıda üretiminin, insan sağlığı için en uygun gıda üretimini amaçlaması nedeniyle çiftlik hayvanlarının çeşitli stres etmenlerinden korunarak yetiştirilmesi günümüzde uluslararası pazarda rekabet avantajı da sağlayacaktır.

Relationships Between Stress, Animal Health, Product Quality and Halal Food Production

Review Article

Article History:

Received: 25.10.2021

Accepted: 10.02.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Food quality

Animal production

Health

Stress

Production

ABSTRACT

After domestication of livestock animals, their production performances were constantly increased by breeding. However, this situation may lead animals to become more susceptible to changing environmental conditions and diseases. In order to get higher production level, good quality feeds should be supplied to meet nutritional requirements of animals. In addition, housing conditions need to be improved and stress conditions should be decreased. Stress is a kind of reaction of animals to cope with the various problems they face to in the World. Animals have the ability to adapt to any changes in nature or farm conditions. Each changes can be a potential stress factor for animals rather than their routines. Health and productivity levels of animals should be; changes in feed, physiological condition (pregnancy, lactation etc.), management, vaccination, even colour of the caregiver's clothes, etc. are major sources of stress. While it is almost impossible to keep livestock animals in a stress-free environment, the effects of stress can be reduced by spreading stress factors over times. The amount of body secretions of animals like enzymes and hormones changes in the case of stress. In long-term stress conditions, animal health and productivity can be affected negatively, likewise food product quality. Since halal food production aims to produce the most suitable food for

human health, raising farm animals by protecting them from various stress factors will also provide a competitive advantage in the international market today.

To Cite: Demirel R., Şentürk Demirel D. Stres, Hayvan Sağlığı, Ürün Kalitesi ve Helal Gıda Üretim Süreci Arasındaki İlişkiler. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 1069-1081.

1. Giriş

Stres, insan ve hayvanların doğada aniden gelişen olaylarla baş edilebilmesi için gereken çok eski zamanlardan kalma önemli bir mirastır. Stres altında vücudun salgı çeşitleri ve miktarları değişmektedir. Tehlike, korku ve heyecanlanma anında stres hormonu olarak değerlendirilen adrenalın ve kortizol hormonları salgılanır. Kalp atışları hızlanır, solunum sıklığı artar, kaslar kasılır, değişen yeni koşullara karşı canlı vücudu mücadeleye hazır hale gelir. Kandaki adrenalinin artması sonucu canlıda olağanüstü değişimler (kuvvet, cesaret, vb) meydana gelmektedir. Sorunla mücadele etmek veya kaçmak için gereken enerji, glukagon hormonu yardımıyla karaciğer ve kaslarda depolanmış olan glikojenden sağlanır. Böbreküstü bezlerinden salgılanan kortikoid hormonları stres sürecinde ve besin maddelerinin metabolizmasında görev alırlar. Stresin düşük dozları canlılara sorunlarla baş edebilme kabiliyeti kazandırırken, uzun sürmesi canlının metabolizmasını ve biyokimyasını olumsuz etkilemesi nedeniyle sağlığa zararlı hale gelerek, yıkıcı etkileri söz konusu olmaktadır. Çiftlik hayvanlarının stresi; çevresel, genetik, ruhsal, davranışsal, yönetimsel, fizyolojik ve metabolik faaliyetlerden kaynaklanmaktadır (Pehlivan ve Dellal, 2014).

Uzun süreli stres altında yetiştirilen çiftlik hayvanları, yetersiz beslenme nedeniyle bağışıklık sistemleri zayıflamakta ve dolayısı ile kolay hastalanmaktadır. Hastalanan hayvanların tedavisinde kullanılan ilaçlar gıdalarda kalıntı nedeniyle insan sağlığı açısından da risk oluşturmaktadır. Gıda güvenliğinin sağlanması için hayvanlarda strese neden olan etmenlerin tespit edilerek ortadan kaldırılmaları gerekmektedir (Öziş Altınçekiç ve Koyuncu, 2012; Öziş Altınçekiç, 2016).

Stres halinde anormal olarak değişen vücut salgıları sadece sağlığı etkilemekle kalmaz, üretilen hayvansal ürünlerin miktarı, kalitesi ve albenisi (tat, koku, renk vb.) üzerinde de olumsuz etkileri olduğu bildirilmiştir (Schneider, 2004; Singh ve ark., 2013; Dokmanovic ve ark., 2015; Das ve ark., 2016; Mishra ve Jha, 2019; Anonim, 2020). Ekonomik hayvansal üretim için çiftlik hayvanlarının stres koşullarının en aza indirilmesi ve stres etmenlerinin zamana yayılarak olumsuz etkilerinin azaltılması gerekmektedir. Stres halinde bağışıklık sistemi bozulur, sindirim problemleri başlar, gelişen olaylar karşısında sağlıklı karar vermek zorlaşır. Hayvanların tamamen stressiz koşullarda hayatlarını sürdürmeleri neredeyse olanaksızken, stresin yönetilebilir hale getirilerek sağlık ve verim üzerine olan olumsuz etkileri azaltılabilir. Çiftlik hayvanlarına yapılan zorunlu uygulamalar (aşılama, gaga kesimi, kastrasyon, süttten kesme, yer değiştirme vb.) zamana yayılarak stres yükü azaltılabilir. Genotip olarak stresten çabuk etkilenen asabi mizaca sahip bazı tavuk hatlarının (Hy-line) ve Jersey gibi süt sığırlarının ürkütülmemesi için daha dikkatli davranılmalı, bu olumsuz özelliklerinin ıslahına yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

Helal gıda üretimi, insan sağlığı için en uygun ve sağlıklı gıdanın üretimini amaçlamaktadır. Bu nedenle hayvansal ürünlerden beklenen faydanın sağlanabilmesi için mümkün olduğu kadar doğal ritimlerine uygun şekilde barındırılıp, beslenmeleri gerekmektedir. Böylece çiftlik hayvanlarının çeşitli stres etmenlerinden kurtulmasıyla et, süt, yumurta vb. hayvansal ürünlerin daha sağlıklı olması beklenmektedir. Helal gıda üretiminin sadece dini saiklerle hayvansal üretim, kesim ve ürün işlenmesi ile sınırlanması yeterli değildir. Hayvanların bakım ve besleme şartlarının iyileştirilmesiyle gıda zincirinin ilk basamağı olan yemlerin içerikleri ve formülasyonlarıyla başlayıp, hayvansal üretim süreci, kesim öncesi bekletme süresi, şartları, nakliyesi, bakıcı davranışları ile hayvansal ürün kalitesinin değişimini de kapsamaları gerekmektedir. Ayrıca son yıllarda dünyada giderek yaygınlaşan “helal gıda üretim süreci”ne uygun olarak beslenip, büyütülen hayvanların ürünleri global pazardan kolaylıkla pay alabilmeleri nedeniyle uluslararası rekabet avantajına da sahip olacaktır.

2. Stres ve Etki Mekanizması

Stres, hayvanlarda “kaç veya mücadele et” olarak isimlendirilen mekanizmanın bir parçası olarak böbreküstü hormonlarının (epinefrin) salınmasına yol açarak, verim ve sağlık üzerine doğrudan etki etmektedir. Bu hormonlar (adrenalin ve kortizol) canlıların metabolizmasını, tehlike olarak gördüğü duruma karşı hazırlanmasını sağlar. Kaçması gereken durumda adrenalin hormonunun etkisiyle verimi azaltıp, üretilen enerjinin önemli bir miktarını kaslarına aktararak kaçmak veya mücadele etmek için gereken enerjinin yönlendirilmesini sağlar (Butcher ve ark., 2013). Hayvanlarda stresle mücadele süreci; stres etmeninin algılanması, stres etmenine karşı biyolojik savunma ve strese verilen cevap olmak üzere üç evrelidir (Akçapınar ve Özbeyaz, 1999). Stres genel olarak çevre şartlarının değişmesinden, bakım- idareden ve metabolizma faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Çiftlik hayvanlarının modern üretim sürecindeki yaygın uygulamaların dışında karşılaştıkları diğer stres koşulları; kızgınlık, doğum, taşınma ile rutin işlemlerin dışına çıkıldığı bakım idare koşullarıdır. Kötü çevre koşullarından kaynaklanan kronik stres, kortizol hormonu salgısının artışıyla birlikte çeşitli metabolik değişikliklere yol açarak; bağışıklık ve üreme sistemlerini olumsuz etkileyebilen uzun dönemli etkilere sahiptir. Kortizol, insülini baskılayıp kan şekerinin depolanması yerine, ihtiyacı birdenbire artan enerji üretiminde kullanılmasını sağlar. Ayrıca atardamarları daraltıp, kan basıncını da artırmaktadır. Oksidatif stres, vücudun antioksidan savunma sistemine bağlı olarak etkileri değişebilen, çevresel veya metabolik faaliyetler sonucu açığa çıkan serbest radikallerin çeşitli doku ve organlara zarar verme süreçleridir. Hayvan vücudundaki prooksidanlarla, antioksidanlar arasındaki dengenin bozulması sonucu hücresel hasarlar meydana gelmektedir (Valko ve ark., 2007). Doku veya hücrelerde meydana gelen oksidatif stres, serbest radikal üretimi ile endojen antioksidan savunması arasındaki dengenin serbest radikaller lehine bozulmasından kaynaklanır. Serbest radikallerin kaynağı, moleküler oksijendir. Lipit peroksidasyonu, proteinlerin nitratlaşması, DNA hasarı ve apoptozise (programlı hücre ölümüne) neden olur. Fizyolojik oksijen metabolizması kaynaklı serbest radikaller nedeniyle hücreler sürekli tehdit altında bulunmaktadır (Estevez, 2015).

Reaktif oksijen (ROS) ve nitrojen (RNS) türleri belirli seviyelerde homeostazisin sağlanmasında görevli sinyal molekülleridir. Normalden fazla üretildiklerinde, oksidatif strese neden olurlar. ROS, antioksidan enzimler (SOD- süperoksit dismutaz, CAT- katalaz ve GPx- glutatyon peroksidaz) tarafından intrasellüler olarak zararsız hale getirilir (Kurutaş, 2016). RNS, nitrik oksit sentezinin yan ürünü olarak barsak mukozasında meydana gelir, fazlası mukozaya zarar verip, besinlerden yararlanmayı azaltan önemli serbest radikallerden birisidir. Çevresel etmenlere ilave olarak mitokondriyal metabolik faaliyetler, yaşlanma ve stres koşulları serbest radikal üretimini artırarak, hayvan sağlığı ve verimini etkilemektedir (Yavaş ve ark., 2020).

2.1. Stresin Kanatlı Kümes Hayvanları Üzerine Etkileri

Stres, ticari olarak yetiştirilen kanatlı kümes hayvanlarının fizyolojik denge ve verimini olumsuz etkileyen en önemli etkenlerden birisidir (Pohle ve Cheng, 2009). Kanatlıların başlıca stres kaynakları; yüksek ve düşük sıcaklık, yırtıcı korkusu, gürültü, aşılama, gaga kesimi, taşınma, ortam değişikliği vb. dir. Kanatlılarda vücut sıcaklığının diğer evcil hayvanlardan yüksek olmasına karşın, ter bezlerinin olmaması onları yüksek sıcaklık karşısında zor durumda bırakmaktadır. Sıcak dönemlerde tüylerini kabartır, ağızlarını açıp solunum hızını artırır, kazdıkları çukur içindeki serinlikten yararlanır, yem tüketimini azaltıp, su tüketimini artırır. Solunumun artmasıyla kandaki asit-baz dengesi olumsuz etkilenerek alkalozis (pH:7.4) oluşur. Hayvanın sağlığı bozulunca iştah azalması sonucu verim azalır, yumurta kabuk kalitesi de düşer. Aşırı su ve idrar atımıyla birlikte mineral kayıpları da artar. Uzun süreli gece aydınlatması göz dokusunda bozulmaya neden olarak kanibalizmi artırır (Akçapınar ve Özbeyaz, 1999; Taşkın ve ark., 2015; Tölu, 2018). Yüksek sıcaklık stresi altındaki çiftlik hayvanlarının yemlerine asit-baz dengeleyici olarak çeşitli preparatlar (CaCO_3 , CaHPO_4 , NaHCO_3) katılmaktadır. Yüksek sıcaklık stresinin etkilerinin azaltılması için çıplak boyunlu tavuk genotipleri geliştirilmiştir. Ayrıca, ıslak yem, serin su, vitamin C uygulamaları, ortam havalandırması ve serinletilmesi gibi seçenekler de kullanılmaktadır (Şentürk Demirel ve Demirel, 2005; Kaplan ve ark., 2006; Kutlu ve Şahin, 2017).

Glukokortikoidler böbreküstü bezinin korteks bölgesinden salgılanan, steroid yapılı, karbonhidrat, lipit ve proteinlerin metabolizmasını etkileyerek, kan glikoz düzeyini artıran, yangıları önleyen kortizol, kortizon ve kortikosteron hormonlarının genel adıdır. Glukokortikoidler çevre koşullarına dair bilginin hipotalamus, pituitary bezi ve gonadlar ekseninde iletiminin sağlanmasıyla enerji tüketimi ve vücuttaki dağılımını değiştirerek, kanatlı kümes hayvanlarında yumurta verimini büyük ölçüde etkiler. Stres şartları altında kanatlılarda salgılanan glukokortikoidlerden baskın hormon kortikosterondur (Blas, 2015). Kortikosteron hormonu kanatlı kümes hayvanlarında foliküler gelişmeyi baskılayıp, enerji metabolizmasına bağlı olarak foliküllerdeki ovulasyona hazırlanan yumurta sayısının azalmasına yol açarak, üreme performansını düşürmektedir. Glukokortikoidler değişen çevre koşullarıyla mücadele edebilmek için tavukların daha fazla enerji almalarını sağlar. Yeterli besin alınmadığı durumda, sınırlı enerjinin hayatta kalabilmek için kullanılması nedeniyle üreme

performansları olumsuz etkilenmektedir. Böylece stres altındaki hayvanın enerji tüketimi artarken, alınan enerjinin doku ve organlara dağılımları da kaçınılmaz olarak değişmektedir (Wang ve ark., 2017). Kanatlılarda kortikosteron seviyesinin artışı, iştahı azaltarak yem tüketiminin azalmasına yol açmaktadır (Liu ve ark., 2014). Stres altında vücuttaki enerji rezervleri dengesinin bozulmasıyla, fizyolojik ve davranışsal değişiklikler meydana gelerek, yumurtacıların üreme döngüsü olumsuz etkilenmektedir. Glikokortikoid hormonlar, genç piliçlerde enerji alımını uyarıp, karaciğerde yağ üretimini ve depolanmasını artırarak enerji kaynaklarının yeniden dağılımını sağlar (Wang ve ark., 2010). Yumurtacılarda kortikosteron abdominal yağ miktarını artırırken, ovidukt ve yumurtalıkta bulunan yağları azaltarak, verim kaybına neden olmaktadır (Schneider, 2004).

Bağırsak epitel hücrelerinde oksijen metabolizması veya kommensal bakteri faaliyetleriyle ortaya çıkan reaktif oksijen (ROS) ve nitrojen (RNS) türleri bağırsak sağlığını olumsuz etkilemektedir. Bununla birlikte artan ROS serbest radikal üretimini artırır, antioksidan rezervlerini hızla tüketerek oksidatif strese neden olur. Kanatlıların sindirim sisteminde meydana gelen oksidatif stres; besinsel, çevresel ve patolojik etmenlerden kaynaklanarak et ve yumurta kalitesiyle verimi de olumsuz etkilemektedir. Vitamin, antioksidan ve bitki ekstraktlarıyla ROS seviyesi ve olumsuz etkileri azaltılabilir (Mishra ve Jha, 2019).

2.2. Stresin Süt Hayvanları Üzerine Etkileri

Hayvan refahındaki en önemli etmen insan ile hayvan arasındaki ilişkilidir. Sağım sırasında hayvanlara iyi davranılmasının süt verimini artırdığı, kalıntı süt miktarını azalttığı ve ineğin haleti ruhiyesini olumlu etkilemesi nedeniyle bakım masraflarının azaldığına dair çalışmalar mevcuttur. İngiltere’de yapılan çalışmalarda iyi davranılan ineklerin süt verimlerinin kötü davranılanlara kıyasla %13 düzeyinde arttığı bildirilmiştir (Gieseke ve ark., 2015). Bir diğer çalışmada daha önce ineğe kötü davranan birisinin sağım yapmasa bile sağım bölmesinde bulunmasının, kalıntı süt miktarının %47 oranında artmasına yol açtığı belirlenmiştir (de Passillé ve Rushen, 1999). Nazik davranılan ineklerinin sağım bölmesine giriş süreleri kötü davranılanlara kıyasla %39 hızlanırken, sağım ünitesinde dışkılama sayısında yaklaşık 6 kat azalma meydana geldiği ve insanlara daha kolay yaklaşmalarıyla sonuçlandığı kaydedilmiştir (Seabrook, 1994).

Yüksek nem ve çevre sıcaklığı evcil hayvanların üremeleri üzerine olumsuz etkiye sahiptir. Sıcaklık stresi altında solunum ve terleme artar, kandaki karbonik asidin azalması sonucu alkolozis oluşur. Bu nedenle karbonik asit seviyesini korumak için idrar yoluyla bikarbonat atımı azalır. İdrarla bikarbonat atımı nedeniyle kandaki karbonik asit / bikarbonat oranı bozularak, kronik hipertermi nedeniyle subklinik ve akut rumen asidozu meydana gelir (Girma ve Gebremariam, 2019). Sıcaklık stresi altında laktasyonun başında ve sonunda mandaların süt veriminde sırasıyla % 14 ve %35 düzeylerinde azaldığı tespit edilmiştir. Süt kalitesi ise sıcak ve nemden olumsuz etkilenmektedir. Yaz döneminde sütün yağ ve protein içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir (Singh ve ark., 2013). Yüksek sıcaklık stresi prolaktin,

tiroit, glukokortikoit, büyüme hormonu, östrojen, progesteron ve oksitosin gibi süt üretimini etkileyen hormonların seviyesini değiştirerek, verimi etkilemektedir (Prathap Pragna ve ark. 2017).

Stres boğalarda sperm miktarı ve kalitesini olumsuz etkilerken; dişilerde fertilité ile embriyo sayısını ve kalitesini düşürerek her iki cinsiyette de etkili olmaktadır. Sıcaklık stresiyle vücut sıcaklığının 40°C'yi aşması halinde östradiol seviyesinin azaldığı, folikül gelişiminin yavaşladığı bildirilmiştir (Wolfenson ve ark., 2000).

İşletmelerde stresin önlenmesiyle çiftlik hayvanlarının sağlığı korunurken, süt ve döl verimi de en yüksek düzeyde gerçekleşir. Stres altında dişilerde fertilité ile embriyo sayısı ve kalitesi olumsuz etkilenirken; erkeklerde sperm miktarı ve kalitesi olumsuz etkilenmektedir. Büyüme dönemindeki yavruların metabolizmasını bozarak gelişmelerini yavaşlatmaktadır. Süt sığırlarında vücut ısısı 35°C'nin üzerine çıktığında, yem tüketiminin düşmesi ve ortaya çıkan metabolik problemlerden dolayı süt verimi azalır. Günlük kuru madde tüketiminde ve rumendeki fermentasyon faaliyetlerinin azalması sonucu fiziksel aktivitelerde azalma, asidoz ve laminitis (topallık) meydana gelmektedir (Girma ve Gebremariam, 2019).

Olumsuz çevre şartlarından kaynaklanan stresin süt sığırlarında hormonları etkilemesi nedeniyle kızgınlık döngüsünü ve davranışlarını değiştirdiği veya hiç görülmediği, embriyonik ölümleri artırdığı, döl veriminde azalmaya neden olduğu ifade edilmiştir. Çevre sıcaklığının yüksek olduğu aylarda hayvanlarda görülen sakinlikle beraber kızgınlığın da azaldığı tespit edilmiştir (Bülbül ve Ataman, 2009). Ayrıca servis periyodu, iki buzağılama arası süresi ile ilk tohumlama süresinde de arttığı belirlenmiştir (Soydan, 2002). Yüksek sıcaklığın ovulasyon öncesi etkili olan lüteinleştirici (LH) ve luteal progesteron hormonlarını azaltarak, folikül ve embriyonun gelişimini de olumsuz etkilediği belirtilmektedir (Willard ve ark., 2003). Yüksek çevre sıcaklığının kızgınlık döngüsünü bozduğu, gebelik oranını azalttığı, gebelik başına tohumlama sayısını artırdığı ifade edilmektedir (Alnimer ve ark., 2002). Sıcaklık stresinin sütün bileşenlerinden olan; protein, yağ, laktoz ve yağ harici katı madde düzeylerini düşürdüğü tespit edilmiştir (Das ve ark., 2016).

Tıpkı insanlarda olduğu gibi uzun süreli stres halinde, süt sığırlarında metabolik değişiklikler sonucu hayvanların sağlığı ve verimleri olumsuz etkilenmektedir. Sığırların kaba davranım ve kötü barınak koşulları kaynaklı stresle doğrudan ilişkili olarak, sağlıkları bozulmakta ve verimleri azalmaktadır. Bağışıklık sisteminin baskılanması mastitis ve somatik hücre sayısında artışa yol açarak hayvan sağlığını, süt miktarını ve süt kalitesini düşürmektedir. Sağım esnasındaki akut stres sonucu salgılanan adrenalin nedeniyle indirilen süt miktarı azalırken, kalıntı süt miktarı artmakta ve dolayısıyla sağılan süt miktarının azalmasına yol açmaktadır. Kronik stres altındaki süt sığırları enfeksiyonlara duyarlı hale gelmekte, iştah ve süt verimi azalmakta, ayrıca sütte bulunabilen beyaz kan hücrelerinde artış meydana gelmektedir (Anonim, 2020).

Süt sığırlarında oksidatif stres ile üreme fonksiyonları arasındaki ilişkiyi inceleyen az sayıda çalışma bulunmaktadır. Plasenta atımının gecikmesi, memede ödem ve mastitis gibi doğrudan üremeyi etkileyen semptomlar meydana gelmektedir. Antioksidan yetersizliğinin uterus kasılmasını yavaşlatıp,

oviducta semenin ulaşmasını önlediği tespit edilmiştir. Oksidatif stres ile mastitis arasında yakın ilişki bulunmaktadır. Yangının şiddetine bağlı olarak süt veriminde azalma ve sütün bileşiminde istenilmeyen değişimler meydana gelmektedir (Jozwik ve ark., 2004). Mastitisli ineğin sütünde yağ, kazein ve kalsiyum seviyesi azalırken, peynir altı proteinleri, sodyum ve klor miktarında artış meydana gelmektedir. Ayrıca, sütteki lipaz, proteaz, oksidaz ve plazminojen seviyesinde artış meydana gelerek, süt ürünlerinin kalitesini ve teknolojik özelliklerini olumsuz etkilemektedir (Strzalkowska ve ark., 2010). Süt ve ürünlerindeki bakteriyel endotoksin riski de artmaktadır. Sütteki somatik hücre ve bakteri sayısındaki artış, meme bezindeki yangının sonucudur ve süt kalitesi için önemli belirteçlerdir (Bagnicka ve ark., 2011).

Metabolik stres corpus luteum fonksiyonlarını bozabilmektedir. Oksidatif stres ile embriyo ölümleri ilişkisi hakkında sınırlı bilgi mevcuttur. Yumurtalık fonksiyonlarını etkileyen çevresel stres kaynaklarının etkileri, hayvanın üreme davranışları ve gonadotropik hormonun salgılanma düzeylerinde bozulmalara veya yumurtalıklarda oositlerin zarar görmelerine yol açarak üreme fonksiyonlarının bozulmasına yol açabilir (Armstrong, 1986).

Normal embriyo metabolizması sırasında ROS (reaktif oksijen türleri) meydana gelmektedir. Mastitisli sığırların meme ve diğer dokularında üretilen sitokinlerin (enfeksiyon habercileri) artması, embriyo ölümlerinin ana nedenidir. Sitokinlerin artmasıyla bağışıklık sisteminin diğer elemanları da devreye girerek, embriyo üzerine zararlı etkiler meydana gelmektedir (Hansen ve ark., 2004). Sıcaklık stresi embriyodaki serbest radikalleri artırarak, gelişimini geciktirmekte veya engellemektedir (Sakatami ve ark., 2008). Yaz mevsiminde beslenen keçilerin kanlarında, ilkbahar mevsimine göre daha fazla ROS bulunduğu tespit edilmiştir (Di Trana ve ark., 2006).

Barınak koşullarının iyileştirilmesiyle süt sığırlarında verim artışı günlük ortalama 7.5 kg olarak tespit edilirken, stok yoğunluğunun azaltılması etkisiz bulunmuştur (Bach ve ark., 2008). Diğer yandan yerleşim sıklığı arttıkça, süt kalitesinin düştüğü belirlenmiştir (Hill ve ark., 2007). Yerleşim sıklığının, normal kapasiteye göre %42 artırılmasıyla süt yağının %0,2 oranında azaldığı, somatik hücre sayısının ise %113 oranında arttığı (klinik mastitis) tespit edilmiştir. Stok yoğunluğundaki artışla klinik mastitisin yaklaşık 2.5 kat arttığını belirten çalışmalar da bulunmaktadır (Krawczel ve ark., 2008). Sağım sırasında hayvanların iştahla tükettiği bir miktar karma yem verilmesi, özellikle yerli ırkların buzağularının sağım öncesi bir süre annelerinden süt emmelerine izin verilmesi stresi azaltarak sütün indirilmesini kolaylaştıracak pratik uygulamalardır.

2.3. Stresin Karkas ve Et Kalitesi Üzerine Etkileri

Sağlıklı ve kesim öncesi iyi dinlenen hayvanların kaslarında depolanan glikojen düzeyi yüksektir. Kesimden sonra glikojen, laktik aside dönüşerek rigor mortise (ölüm sertliği) neden olur. Etin kalite unsurları olan tat, yumuşaklık, renk vb. için dokularda yeterli miktarda laktik asit gereklidir. Kesim sırasındaki stresle glikojen tüketimi artar ve etteki laktik asit miktarı azalarak et kalitesinin düşmesine yol açar. Kesim öncesi nakliye, korku, kötü davranım, kavga vb. stres etmenleri kaslardaki glikojenin

parçalanması sonucu meydana gelen biyokimyasal işlemlerin etkisiyle etin rengi solgunlaşır, asitlik artar (pH 5,4-5,6) ve tat bozularak tüketicinin istemediği özellikler meydana gelir. Kesim öncesi iyi dinlenen çiftlik hayvanların etlerindeki yüksek glikojen rezervleri, karkasta yeterli miktarda laktik asit oluşumu nedeniyle et kalitesini olumlu etkilemektedir. Kaliteli etteki pH düzeyi 6,2'den az olmalıdır. Hayvanların kesim öncesi stresi, pH'ı bu değer üzerine taşımaktadır. Uygun düzeydeki laktik asit, etin bakteriler tarafından bozulmasını (ekşime, kokuşma, renk değişikliği, yapışkanlık) engellemektedir. Stres hayvanların acı çekmesine ilave olarak, et kalitesini, raf ömrünü ve potansiyel bakteri üremesiyle de tüketicilerin hastalanmasına neden olmaktadır (Gebregeziabhear ve Ameha, 2015).

Kesim öncesi stresle birlikte artan kan laktat düzeyinin, karkas kalitesini olumsuz etkilediği kaydedilmiştir (Edwards ve ark., 2010). Ayrıca her bir hayvanın bireysel özelliğine göre değişen kortizol seviyesinin vücuttaki yağ miktarı ile et özelliklerini ve dolayısıyla karkas kalitesini etkilediği ifade edilmektedir (Škrlep ve ark., 2009). Domuzların barınakta kalış süresinin uzamasının stresi artırdığı ve et kalitesini olumsuz etkilediği, kandaki asetat miktarının arttığı, et renginin koyulaştığı ve su kaybının azaldığı tespit edilmiştir. Yüksek laktat miktarının etin pH değerini düşürdüğü, sıcaklığı, derideki lekelenmeyi ve rigor mortisi artırdığı tespit edilmiştir. Kesim öncesi stresle artan kortizolün sıcak karkas ağırlığını, sırt ve kuyruk sokumu bölgelerindeki yağ kalınlığı ile mermerleşmeyi artırdığı, fakat et özelliklerini olumsuz etkilediği tespit edilmiştir (Dokmanovic ve ark., 2015). Artan fiziksel aktivite ve fizyolojik stres etmenleri kas glikojen düzeyini azaltmaktadır. Kaslarda laktik asit aktivitesi yetersiz olduğunda; etin pH'sı azalarak renk koyulaşır, kuruyup, sertleşerek cazibesini yitirmekte ve bakteriyel kontaminasyon riskini artırarak etin raf ömrünü azaltmaktadır. Kasaplık sığırların uzun süreli nakliyesinden sonra kesim öncesinde mutlaka yeterli dinlenme süresi sağlanması gerektiği, aksi halde kaslardaki glikojen düzeyi ile etin pH'sını düşürerek rengin koyulaşmasına, kurumasına ve sertleşmesine yol açtığı kaydedilmiştir (Çobanbaşı ve Teke, 2019).

2.4. Stresin Helal Gıda Üretimi Üzerine Etkileri

Hayvansal üretimde stres faktörlerinin elimine edilmesiyle hayvanlar acı çekmeden yetiştirilirken, üretilen gıdaların miktar ve kalitesi de yüksek olacaktır. Helal gıda üretim sürecinde hayvanların acı çekmeden doğasına uygun tarzda yetiştirilmesi, kesimi ve işlenmesi hedeflenmektedir. Helal üretim sertifikasına sahip olan gıda işletmelerinin ürünleri, dünya pazarlarında sertifikasız ürünlere oranla daha fazla tercih edilmesi ve yüksek fiyatla satılması nedeniyle avantajlı durumdadır. Ülkemizdeki helal gıda üretim sürecinde genellikle hayvanların yetiştirme koşulları ile beslendikleri yemlerin içerikleri dikkate alınmamaktadır. Helal gıda konusunda ülkemizde etkili ve yetkili olan kurum ve kuruluşların bünyesinde yem ve yem katkı maddeleri konusunda yeterli bilgi ve tecrübeye sahip uzmanların yer almaması da önemli bir eksikliktir. Oysa gerçek anlamda helal gıda üretimi için çiftlik hayvanlarının yetiştirme süreçlerinin de hassasiyetle ele alınması gerekmektedir. Hayvanların yetiştirilmesi ve beslenmesi, kesim, ürün işleme ve dağıtım süreçlerinin de izlenmesi gereklidir. Helal

gıda, insan sağlığı için herhangi bir risk oluşturmayan güvenli, uluslararası standartta gıdadır ve hayvanların yetiştirme dönemini de kapsamalı gerekmektedir. Doğasına uygun olmayan yemlerle beslenen hayvanların ürünlerinin ne kadar helal olacağının da üzerinde düşünülmesi gerekmektedir (Demirel ve Tepe, 2015). Musevi toplumu için üretilen ve “koşer” olarak ifade edilen gıda üretim prosesi, helal gıda üretimi bakımından dünyada kabul gören ilk örneklerdendir. Helal gıda üretim sürecine uygun olarak üretilen hayvansal gıdaların, yeryüzündeki her türlü dni inanca sahip insanlar için kapsayıcı ve uygun olması nedeniyle yıllık bir trilyon dolara ulaşan pazardan pay alması çok daha kolay olacaktır.

3. Sonuç

Çiftlik hayvanlarının sağlığının korunması, beklenen verim ve ürün kalitesinin elde edilebilmesi için; havalandırma, sıcaklık stresi, yerleşim sıklığı, dinlenme, sr hiyerarşisi, ekipman ve zemin temizliği, hijyen ile bakıcı davranışlarının dikkate alınması gerekir. Hayvan refahı uygulamaları işletmelerdeki sr idaresini de kolaylaştıracağı için asabileşen hayvanların neden olduğu çeşitli kaza ve yaralanmalar da nlenebilir. Yem ile suya kolay ve sürekli erişim de stresi azaltacaktır. Strese dayanıklı, sakin tabiatlı yeni ticari genotiplerin geliştirilerek ve yüksek kaliteli yemlerin kullanımıyla verimdeki azalmanın önüne geçilebilir. Hayvanların yer değiştirmesinden kaynaklanan stres sonucu meydana gelen ishal, ülser, düşük verim vb. etkileri azaltmak veya ortadan kaldırmak için tranqlizan adı verilen yem katkı maddeleri, antioksidanlar ve sakinleştirici özelliklere sahip bitki aksamaları ve ekstraktları (yaprak, iek, kök, yumru) bu amaçla kullanılabilir. Mevcut endüstriyel kanatlı yetiştirme sistemleri yerine, hayvan refahı uygulamalarının en iyi uygulandığı zenginleştirilmiş kafes gibi stresi azaltan sistemlerde üretim yapılmasıyla hayvanların acı çekmeden, doğasına uygun tnek, folluk, güneş altında gezinme ve eşinme alanı içeren yetiştirme sistemleri kullanılabilir. Hayvancılık sktrnn önemli paydaşlarından olan Zooteknistlerin ve Veteriner Hekimlerin helal gıda üretim sürecine dahil olmaları, çeşitli kurum ve kuruluşlarda görev almaları gerekmektedir. Hayvan refahı uygulamalarının dikkate alınarak yapılan yetiştiricilikle hayvan sağlığı, verimliliği, ürün kalitesi artırılmakla birlikte, günümüzde giderek artan helal gıda talebine uygun üretim gerçekleştirilerek, hayvansal ürün ithal eden ülkelerin bu yöndeki talepleri karşılanarak, uluslararası piyasada giderek artan rekabet koşullarında pazar avantajı sağlanabilir.

ıkar atışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar atışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan zeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Akçapınar H., Özbeyaz C. Hayvan yetiştiriciliği temel bilgileri. ISBN: 975-96978-0-7, Kariyer Matbaacılık Ltd. Şti. 1999; 148 - 150, Ankara.
- Anonim. Mastitis in dairy cows. <https://dairy.ahdb.org.uk/technical-information/animal-health-welfare/mastitis/symptoms-of-mastitis/stress-health-and-productivity/#.XmXiUKgzaUk> (Erişim Tarihi: 16.08.2021). 2020.
- Alnimer M., De Rosa G., Grasso F., Napolitano F., Bordi A. Effect of climate on the response to three oestrous synchronisation techniques in lactating dairy cows. *Animal Reproduction Science* 2002; 71(3-4): 157-168.
- Armstrong DT. Environmental stress and ovarian function. *Biology of Reproduction* 1986; 34: 29-39.
- Bach A., Valls N., Solans A., Torrent T. Associations between nondietary factors and dairy herd performance. *Journal of Dairy Science* 2008; 91: 3259-3267.
- Bagnicka E., Winnicka A., Jozvik A., Rzewuska M., Strzalkowska N., Kosciuczuk E., Prusak B., Kaba J., Horbanczuk J., Krzyzewski J. Relationship between somatic cell count and bacterial pathogens in goat milk. *Small Ruminant Research* 2011; 100(1): 72-77.
- Blas J. Stress in birds. in: SCANES, C.G. (Eds) *Sturkie's avian physiology*, Academic Press 2015; 6th, pp. 769 - 810 London, UK.
- Butcher JN., Mineka S., Hooley JM. *Anormal psikoloji (Çev. Okhan Gündüz)* 2013. İstanbul: Kaknüs Yayınları.
- Bülbül B., Ataman MB. The effect of some seasonal conditions on oestrus occurrence in cows. *Archiv Fur Tierzucht* 2009; 52(5): 459-465.
- Çobanbaşı Y., Teke B. Kasaplık sığırlarda bazı kesim öncesi stres faktörlerinin et kalite özelliklerine etkileri. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2019; 16(2): 147-153.
- Das R., Sailo L., Verma N., Bharti P., Saikia J., Imtiwati P., Kumar R. Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review. *Veterinary World* 2016; 9: 260-268.
- Demirel R., Tepe İ. Günümüzde helal gıda kavramı ve zootekni açısından önemi. 9. Ulusal Zootekni Bilim Kongresi, 3 - 5 Eylül 2015, Konya.
- de Passillé AMB., Rushen J. Are you a source of stress or comfort for your cows? in *Advances in Dairy Technology*. Vol. 11. Proceedings of Western Canada Dairy Seminar 1999; 347-360, Edmonton, Canada.
- Di Trana A., Celi P., Claps S., Fedele V., Rubino R. The effect of hot season and nutrition on the oxidative status and metabolic profile in dairy goats during mid lactation. *Animal Science* 2006; 82: 717-722.
- Dokmanovic M., Baltic MZ., Duric J., Ivanovic J., Popovic L., Todorovic M., Markovic R., Pantic S. Correlation among stress parameters, meat and carcass quality parameters in pigs. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences* 2015; 28: 435-441.

- Edwards LN., Engle TE., Correa JA., Paradis MA., Grandin T. Anderson DB. The relationship between exsanguination blood lactate concentration and carcass quality in slaughter pigs. *Meat Science* 2010; 85: 435-440.
- Estevez M. Oxidative damage to poultry: from farm to fork. *Poultry Science* 2015; 94: 1368-1378.
- Gebregeziabhear E., Ameha N. The effect of stress on productivity of animals: A review *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare* 2015; 5(3): 165-172.
- Gieseke D., Lambertz C., Gauly M. Effect of milk yield on animal welfare in dairy cattle. Conference: Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP) At: Warsaw, Poland, August 2015.
- Girma F., Gebremariam B. Review on effect of stress on production and reproduction of dairy cattle. *Journal of Scientific and Innovative Research* 2019; 8(1): 29-32.
- Hansen PJ., Soto PD., Natzke RP. Mastitis and fertility in cattle - possible involvement of inflammation or immune activation in embryonic mortality. *American Journal of Reproductive Immunology* 2004; 51: 294-304.
- Hill CT., Krawczel PD., Dann HM., Ballard CS., Hovey RC., Grant RJ. Effect of stocking density on the short-term behavior of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 2007; 90(Abstract): 244.
- Jozwik A., Śliwa-Jozwik A., Strzalkowska N., Krzyzewski J., Kolataj A. Relationship between somatic cell count, level of GSH, milk yield and its chemical composition. *Medycyna Weterynaryjna* 2004; 60(11): 1215-1217.
- Kaplan O., Avcı M., Yertürk M. Sıcaklık stresi altındaki bildircin karma yemlerine sodyum bikarbonat katkısının canlı ağırlık yumurta verimi ve kalitesi ile bazı kan parametreleri üzerine etkileri. *Atatürk Üniversitesi Vet. Bil. Derg* 2006; 1(1-2): 33-38.
- Krawczel PD., Mooney CS., Dann HM., Carter MP., Butzler RE., Ballard CS., Grant RJ. Effect of alternative models for increasing stocking density on the lying behavior, hygiene, and short-term productivity of lactating Holstein dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 2008; 91(Supp. 1): 401.
- Kurutaş EB. The importance of antioxidants which play the role in cellular response against oxidative /nitrosative stress: Current state. *Nutrition Journal* 2016; 15: 1-22.
- Kutlu HR., Şahin A. Kanatlı beslemede güncel çalışmalar ve gelecek için öneriler. *Hayvansal Üretim* 2017; 58(2): 66-79.
- Liu L., Song ZG., Jiao HC., Lin H. Glucocorticoids increase NPY gene expression via hypothalamic AMPK signaling in broiler chicks. *Endocrinology* 2014; 155: 2190-2198.
- Mishra B., Jha R. Oxidative stress in the poultry gut: potential challenges and interventions. *Frontiers in Veterinary Sciences* 2019; 6: 1-5.
- Öziş Altınçekiç Ş., Koyuncu M. Çiftlik hayvanları ve stres. *Hayvansal Üretim* 2012; 53(1): 27-37.
- Öziş Altınçekiç Ş. Stres ve hayvan besleme. *Türkiye Klinikleri* 2016; 2(1): 61-70.
- Pehlivan E., Dellal G. Memeli çiftlik hayvanlarında stres, fizyoloji ve üretim ilişkileri. *Hayvansal*

- Üretim 2014; 55(1): 25-34.
- Prathap Pragna PR., Archana Joy A., Veerasamy S., Govindan K., Madijagan B., Manimaran A., Beena V., Kurien EK., Girish V., Raghavendra B. Heat stress and dairy cow: Impact on both milk yield and composition. *International Journal of Dairy Science* 2017; 12: 1-11.
- Pohle K., Cheng HW. Comparative effects of furnished and battery cages on egg production and physiological parameters in white Leghorn hens. *Poultry Science* 2009; 88: 2042-2051.
- Sakatami M., Yamanaka K., Kobayashi S., Takahasmi M. Heat shock-derived reactive oxygen species induce embryonic mortality in in vitro early stage bovine embryos. *Journal of Reproduction and Development* 2008; 54: 496-501.
- Schneider JE. Energy balance and reproduction. *Physiology and Behavior* 2004; 81: 289-317.
- Seabrook MF. Psychological interaction between the milker and the dairy cow. In *Proceedings of American Society of Agricultural Engineers. 3rd International Dairy Housing Conference on Dairy Systems for the 21st Century* 1994; P: 49-58, Orlando, US.
- Şentürk Demirel D., Demirel R. Broylerlerde yüksek sıcaklık stresi üzerine C vitamininin etkileri. III. Ulusal Hayvan Besleme Kongresi 2005; 141-145.
- Singh M., Chaudhari BK., Singh JK., Singh AK., Maurya PK. Effects of thermal load on buffalo reproductive performance during summer season. *Journal of Biological Science* 2013; 1(1): 1-8.
- Škrlep M., Prevolnik M., Šegula B., Čandek-Potoka M. Association of plasma stress markers at slaughter with carcass or meat quality in pigs. *Slovenian Veterinary Research* 2009; 46(4): 133-142.
- Soydan E. Düşük ve yüksek süt verimli Jersey sığırlarında süt ve bazı döl verim özelliklerinin mevsimsel değişimi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi 2002. (Basılmış).
- Strzalkowska N., Jozwik A., Bagnicka E., Krzyzewski J., Horbanczuk K., Pyzel B., Sloniewska D., Horbanczuk JO. The concentration of free fatty acids in goat milk as related to the stage of lactation, age and somatic cell count. *Animal Science Papers and Reports* 2010; 28(4): 389-395.
- Taşkın A., Şahin A., Camcı Ö., Erener G. Kanatlılarda anti-stres uygulamalarında yeni yaklaşımlar. *Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2015; 3(7): 571-576.
- Tölu C. Kanatlılar neden strese girer? <http://www.dunyagida.com.tr/haber/kanatlılar-neden-strese-girer/8306> (Erişim Tarihi: 20.09.2021), 2018.
- Valko M., Leibfritz D., Moncol J., Cronin MTD., Mazur M., Telser J. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The International Journal of Biochemistry and Cell Biology* 2007; 39: 44-84.
- Wang XJ., Lin H., Song ZG., Jiao HC. Dexamethasone facilitates lipid accumulation and mild feed restriction improves fatty acids oxidation in skeletal muscle of broiler chicks (*Gallus gallus*

- domesticus). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C, Toxicology and Pharmacology* 2010; 151: 447-454.
- Wang XJ., Liu L., Zhao JP., Jiao HC., Lin H. Stress impairs the reproduction of laying hens: An involvement of energy shandong. *World's Poultry Science Journal* 2017; 73: 845-855.
- Willard S., Gandy S., Bowers S., Graves K., Elias A., Whisnant C. The effects of GnRH administration postinsemination on serum concentrations of progesterone and pregnancy rates in dairy cattle exposed to mild summer heat stres. *Theriogenology* 2003; 59: 1799-1810.
- Wolfenson D., Roth Z., Meidan R. Impaired reproduction in heat stressed cattle: basic and applied aspects. *Journal of Animal Reproductive Science* 2000; 60-61: 535-547.
- Yavaş İ., Çınar VM., Ünay A. Reaktif azot türlerinin (RNS) üretimi, fonksiyonu ve stres koşullarındaki durumu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2020; 18: 435-444.

Multidisipliner Bir Bilim Dalı Olarak Biyoinformatiğe Genel Bir Bakış

Gülşah KEKLİK^{1*}, Bahri Devrim ÖZCAN²

^{1,2}Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü Biyometri ve Genetik Anabilim Dalı, Adana

¹<https://orcid.org/0000-0002-1775-2773>

²<https://orcid.org/0000-0002-9198-656X>

*Sorumlu yazar: gulsahkeklik@gmail.com

Derleme

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 26.03.2022

Kabul tarihi: 22.05.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Biyoinformatik

Bilişim teknolojileri

Veri tabanları

Moleküler biyoloji ve genetik

ÖZ

Biyologların, DNA'nın üç boyutlu yapısından yola çıkarak hücre içindeki bilgilerin kromozomlar tarafından kuşaklar arası taşındığını keşfetmelerinin ardından gen projeleri üzerinde çalışmaları ve bunu yaparken bilişim teknolojilerinde kullanılan araçlardan yararlanmaları kaçınılmaz bir hal almıştır. Biyoinformatik, biyolojik sistemlerden elde edilen verilerin analizinin yapılması ve değerlendirilmesi için biyoloji, tıp bilimleri, bilişim teknolojileri, matematik ve biyoistatistiğin birleşiminden doğan multidisipliner bir bilim dalıdır. Biyolojik dizilerin analizi için geliştirilen biyoinformatik bilimi; günümüzde biyoloji, genomik çalışmalar ve gen ekspresyon çalışmaları, tanı ve tedavi ile tanısı konmuş hastalıklara ilişkin ilaçlar geliştirme ve benzeri alanlarda kullanılmakta olup bilişim teknolojileri ve biyoistatistik biliminden oldukça faydalanmaktadır. Bu çalışmanın konusu kapsamında, biyoinformatik biliminin ortaya çıkışı, diğer disiplinler ile ilişkisi, uygulama alanları ve bir bilim dalı olarak gelecekte ne anlam ifade edeceği ele alınarak bu sürece ilişkin bilgiler verilecektir.

An Overview of Bioinformatics as a Multidisciplinary Science

Review

Article History:

Received: 26.03.2022

Accepted: 22.05.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Bioinformatics

Information technologies

Databases

Molecular biology and genetics

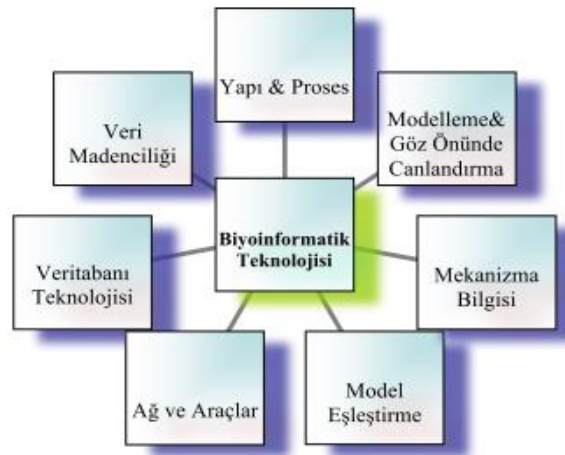
ABSTRACT

After biologists discovered that the information in the cell is carried between generations by chromosomes based on the three-dimensional structure of DNA, it has become inevitable to work on gene projects and to benefit from the tools used in information technologies while doing this. Bioinformatics is a multidisciplinary branch of science arising from the combination of biology, medical sciences, information technologies, mathematics and biostatistics for the analysis and evaluation of data obtained from biological systems. The science of bioinformatics developed for the analysis of biological sequences; today, it is used in biology, genomic studies and gene expression studies, diagnosis and treatment, drug development for diagnosed diseases and similar fields, and it makes great use of information technologies and biostatistics. Within the scope of the subject of this study, the emergence of bioinformatics, its relationship with other disciplines, its application areas and what it will mean in the future as a science will be discussed and information about this process will be given.

To Cite: Keklik G., Özcan BD. Multidisipliner Bir Bilim Dalı Olarak Biyoinformatiğe Genel Bir Bakış. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 1082-1091.

Giriş

Biyoinformatik, büyük ölçekli biyolojik verilerin analizini yapmak üzere birtakım disiplinlerin birleşiminden doğan multidisipliner bir bilim dalı olup bazı algoritmalar ve biyoistatistiksel yöntemler aracılığıyla biyolojik verilere uygulanan bilişim teknikleridir (Akın ve ark., 2014). Bilgisayar bilimi ve moleküler biyolojinin gelişiminin bir sonucu olarak biyoinformatik, biyolojik bilgilerin oluşturulması ve korunması için veri tabanları oluşturulmasıdır. Genomik veri analizinde kullanılan işlemler, veri toplanması ve bilgi oluşturulması da buna dahil, yüksek tekrarlılık ve matematiksel karmaşıklık içerdiğinden analizler yapılırken bilgisayarın etkin kullanımı önemli bir yer tutmaktadır (Tanyolaç ve ark., 2015). Biyoinformatik; bilgisayar bilimi, yazılım mühendisliği, matematik ve moleküler biyoloji disiplinlerini kapsayan bir bilim dalı olarak öne çıkmaktadır (Searls, 2000).



Şekil 1. Biyoinformatik teknolojisi (Chen ve Chang, 1998)

Tıp ve biyoloji alanındaki gelişmeler, bilişim teknolojilerinden faydalanmayı kaçınılmaz kılması ile birlikte genlerin üç boyutlu grafiklerinin çıkarılması ve kısa zaman dilimlerinde yüksek sayılarda veri üretebilen cihazlar aracılığıyla moleküler yapılarla ilişkin veri tabanlarının oluşturulması olanaklı hale gelmiştir (Eser ve Öngel, 2014). Gelişen ve giderek artan bilgiyi toplamak ve yönetmek, ona en pratik yoldan ulaşılmasını sağlamak, karmaşık yapıdaki biyolojik sistemleri inceleyerek onu çözülebilir kılmak biyoinformatiğin hedefleri arasındadır (Kumaresan ve ark., 2014).

Biyoinformatikte büyük verilerden bilgi elde etmek için makine öğrenimi yaygın olarak kullanılan başarılı bir yöntemdir. Makine öğrenimi algoritmaları; temel kalıplar ortaya çıkarmak, modeller oluşturmak ve en uygun modele dayalı tahminler yapmak için ilgili verileri kullanır. İyi bilinen bazı algoritmalar (destek vektör makineleri, gizli Markov modelleri, Bayes ağları, Gauss ağları) genomik, proteomik, sistem biyolojisi ve diğer birçok alanda uygulanmıştır (Min ve ark., 2017).

Biyoinformatiğin Tarihçesi

Tıp alanındaki çalışmaların zamanla gelişmesi, birtakım yeni yöntemlerin kullanılmasını merak konusu haline getirmiştir. Bilim insanları bir süredir birçok organizmanın tüm genom dizisini

oluşturmak için çalışmaktadır. Biyoinformatik ise bu araştırmaların bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır (Kuonen, 2003).

1951 yılında, Pauling ve Corey, proteinlerin sekonder yapılarının doğru tahmini için bir yaklaşım geliştirmiş olup bu yaklaşımın biyoinformatiğin başlangıcı olduğu söylenebilir. 1966 yılında, moleküler grafiklerin bilgisayarla çizimine ilişkin ilk makalenin Scientific American dergisinde yayımlanmasının biyoinformatik biliminin asıl başlangıcı olduğu bilinmektedir. “Biyoinformatik” bir terim olarak 1980’li yılların ortalarından sonra kullanılmış olup moleküler biyoinformatik, computational biology (hesaplamalı biyoloji), biocomputing (biyobilişim) terimleri de biyoinformatik yerine kullanılmaktadır (Gentleman ve ark., 2004).

1988’de, temel ve karmaşık verilerin analizinin ve yorumunun yapılabilmesi için birtakım yeni yöntemlerin geliştirilmesinde bilinen “National Center for Biotechnology Information (NCBI)” kurulmuştur. Ekim 1990’da, bu alandaki en önemli projelerden biri olan İnsan Genom Projesi (İGP) ortaya çıkmıştır. İGP’nin biyoinformatik çalışmaların ilerlemesinde önemi büyüktür. 2003 yılında tamamlanan bu projeye İngiltere, Japonya, Fransa, Almanya gibi bazı ülkeler de katkı sağlamışlardır. 2005 yılında bitirilmesi beklenen bu proje, teknolojik gelişmeler sayesinde beklenenden iki yıl önce bitirilmiş olup proje verilerindeki hataların temizlenmesine ve bu verilere ilişkin analizlere devam edileceği öngörülmüştür (Collins ve ark., 2003; Polat ve Karahan, 2009).

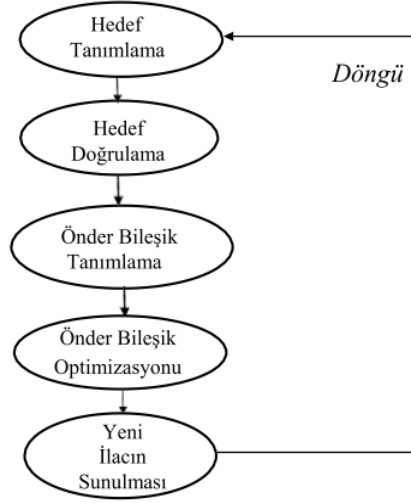
2013 yılında, Dibyajyoti Saha ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, biyoinformatikte ilaç keşfinin maliyetine ilişkin etkiler ele alınmıştır. Maliyeti azaltma, ilacı laboratuvarından hastaya ulaştırmak için gerekli süre, hedef odaklı ve düşük yan etkileri olan ilaçlar üretmenin yollarını keşfetmek için biyoinformatik araçların çalışmalarına değinilmiştir.

Xuhua Xia tarafından yapılmış bir çalışmada, genomik ve proteomik terimlerinden bahsedilmiş ve biyoinformatik analizlerde kullanılan büyük veri yapılarına ilişkin genom mimarisi, epigenetic, genomik, exome sıralama, transkriptomik, ribozom profili, proteomik, protein (RNA) yapıları ve cistromic örnekleri verilmiştir (Xia, 2017).

Biyoinformatiğin Uygulama Alanları

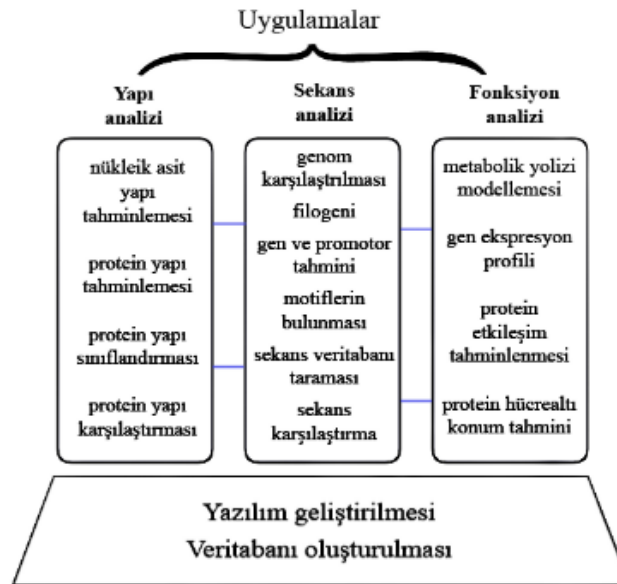
Biyoinformatiğin temelinde farklı biyomoleküller arasındaki benzerlikleri tespit etme durumu söz konusudur. Karakteristiği tam bir biçimde tespit edilememiş bir proteinin homologlarını (türdeşlerini) bulmak, proteinler arasında bilgi aktarımını sağlamak ve bunun sonucunda elde edilen bilgileri değerlendirmek biyoinformatiğin uygulama alanları arasındadır. Biyoinformatiğin tıp alanında uygulanan deneysel çalışmalar, diğer canlılarda insan proteininin yapısını modellemeye yardımcı olur. Dolayısıyla modellenen proteine bağlanabilen moleküllerin tasarlanması sağlanabilmektedir. Çeşitli hastalıklardan etkilenen hücrelerin, sağlıklı hücrelerle karşılaştırılarak aralarındaki farklılıklardan kaynaklanan hastalıkların teşhisi ve bu hastalıklara uygun ilaç tasarımları yapılabilmektedir (Attwood ve Parry-Smith, 1999; Luscombe ve ark., 2001; Tandon ve Bhattacharjee, 2009). Bu anlamda medikal tanı ve tedavi yöntemlerinin geliştirilmesi bakımından önemli kazanımlar elde edilmiştir (Hogue,

2002). Biyoinformatik, ilaç endüstrisinde genomik maddeleri bir ilaç hedefi kaynağı olarak benimsemiştir ve dolayısıyla genom çapında üretilen verileri kullanmak bakımından oldukça önemli bir yer tutmaktadır (Drews, 2000).



Şekil 2. İlaç keşif döngüsü (Blundell ve ark., 2006)

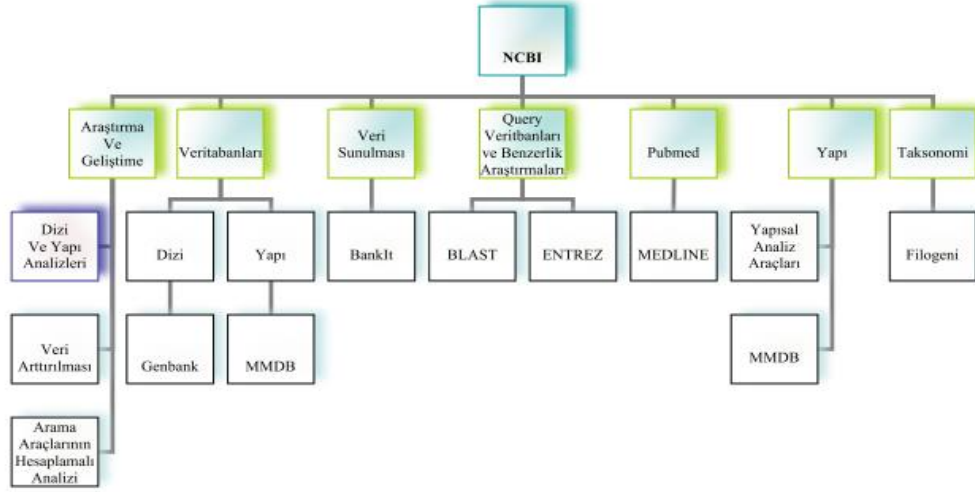
Çoklu veri kaynakları ile oluşturulan bilgilerin bir araya getirilmesi, biyoinformatiğin önemli görevlerinden birisidir. Birden çok verinin kaynağına ulaşabilecek şekilde veri kaynaklarının incelenmesi noktasında iki önemli erişim sisteminden bahsetmek mümkündür. Bunlardan ilki, “Dizi Erişim Sistemi (SRS, Sliding Rail System)” olup bu sistem kullanıcıya nükleik asit, protein dizisi, protein motifi, protein yapısı ve bibliyografik veri tabanlarına bağlantı sağlamaktadır. Diğeri ise DNA’ya, protein dizilerine, genom harita verilerine, 3 boyutlu makromoleküler yapılar ve PubMed bibliyografik veri tabanına ulaşmayı mümkün kılan “Entrez Sistemi”dir (Attwood ve Parry-Smith, 1999; Luscombe ve ark., 2001; Tandon ve Bhattacharjee, 2009).



Şekil 3. Biyoinformatiğin alt çalışma alanları (Xiong ve ark., 2006).

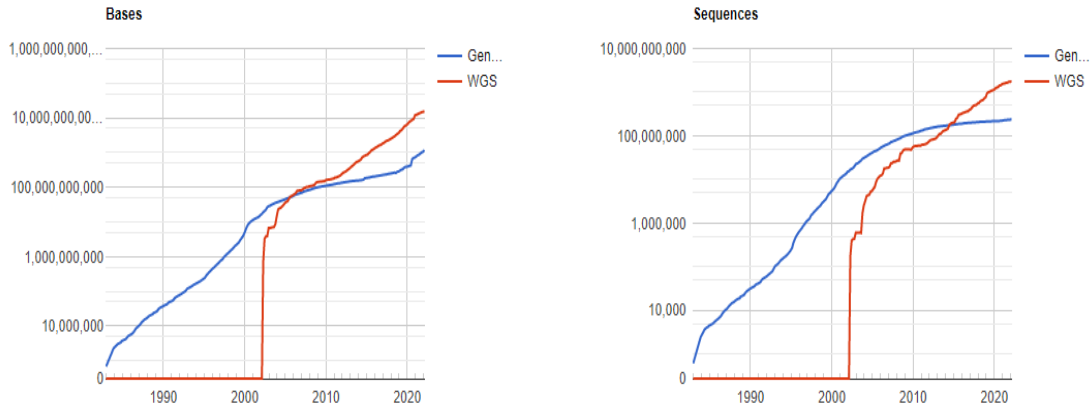
Bilgiye erişimi kolaylaştıran veri tabanlarından bazıları aşağıda belirtilmiştir:

1. Bibliyografik Veri Tabanları: MEDLINE, PUBMED.
2. Taksonomik Veri Tabanları: TÜBİTAK.
3. Nükleotid Dizisi Veri Tabanları: BLASTN, BALSTX.
4. Genomik Veri Tabanları: NCBI, UCSC, ENSEMBL.
5. Protein Dizisi Veri Tabanları: SWISSPROT, PDB.
6. DNA Veri Bankaları: GenBank (USA), EMBL (Europe), DDBJ (Japan)



Şekil 4. NCBI (Rashidi, 1999)

NCBI'dan alınmış Genbank ve Whole Genome Shotgun (WGS) veri tabanlarına ilişkin değerlerin ifade edildiği grafikler, bir örnek olarak aşağıda en güncel şekliyle verilmiştir:

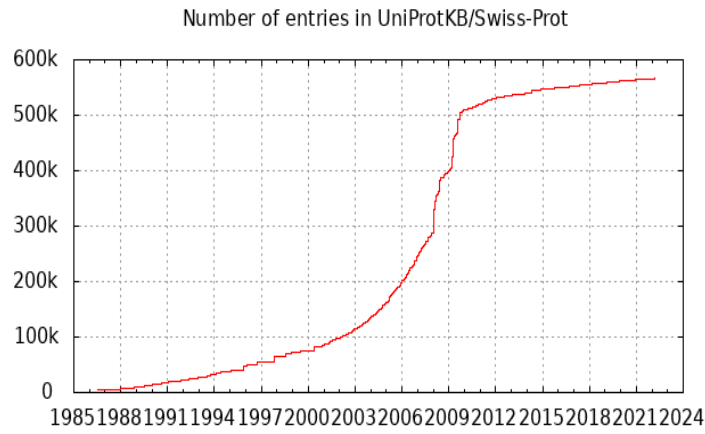


Şekil 5. GenBank ve WGS istatistikleri (www.ncbi.nlm.nih.gov)

UniProt, birçok varyantı bir arada göstermesi bakımından dünyada en yaygın kullanılan protein veri tabanlarından biridir. Bir örnek olarak; The UniProt Knowledgebase (UniProtKB)/Swiss-Prot veri

tabanlarına ilişkin veri girişlerinin yüzdesinin belirtildiği tablo ile bu girdilerin verildiği grafik aşağıda gösterilmiştir:

	Protein Varlığı	Girişler %
Protein düzeyindeki bulgular	109045	19,2
Transkript düzeyindeki bulgular	56025	9,9
Homolojiden çıkarılan sonuçlar	386901	68,2
Tahmin edilenler	13180	2,3
Belirsizler	1845	0,3



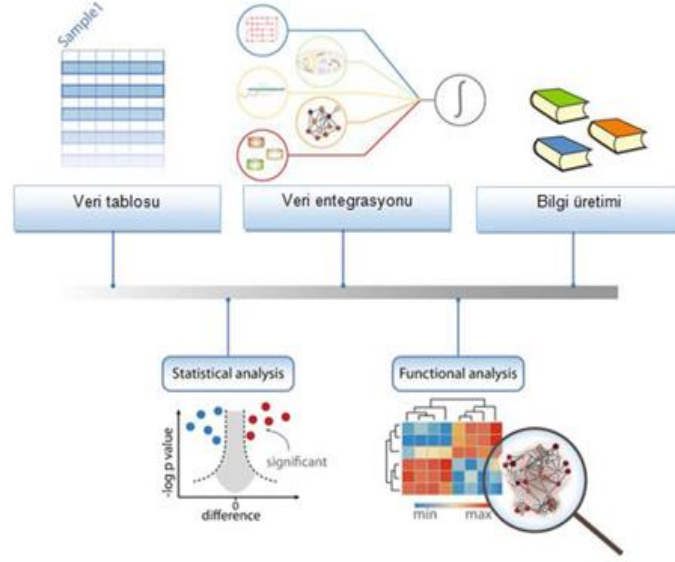
Şekil 6. UniProtKB/Swiss-Prot'taki veri girişlerinin grafiği (www.expasy.org)

Biyoinformatiğin Diğer Disiplinlerle İlişkisi

İstatistik ve bilgisayar bilimleriyle uğraşan araştırmacılar biyoinformatiğe önemli katkılarda bulunmaktadır. Verilerin yönetimi, depolanması, analizi ve yorumlanmasını sağlayan biyoinformatik, biyoistatistikten önemli bir derecede yararlanmaktadır. Fonksiyonel genomik verilerin kullanılabilir bilgi haline dönüştürülmesi biyoistatistik ile gerçekleştirilmektedir (Arhipova, 2006; Karabulut ve Karaağaoğlu, 2010). Elverişli sonuçlar elde edebilmek için moleküler biyoloji, genetik, tıp bilimleri, biyoistatistik ve bilgisayar bilimleri arasında güçlü bir ilişki olması gerekmektedir (Polat ve Karahan, 2009).

Biyoinformatik, moleküler biyolojiden oluşan verilerin analiz edilmesine imkân tanıyan matematik ve mühendislik gibi alanlardaki teori ve uygulamalardan faydalanan multidisipliner bir disiplindir. Örneğin kanser, genetik mutasyonlardan kaynaklanan bir hastalık olup insan kanserinin ilerlemesine neden olan mekanizmaların nasıl bir anlam ifade ettiği anlaşılmalıdır (Stransky ve Galante, 2009). Biyoinformatik, omik teknolojileri ve hesaplamalı biyoloji yardımıyla kanser araştırmalarında teşhis ve tedaviyi kolay bir hale getirmiştir (Wu ve ark., 2012).

Veri analizinin amacı, proteomik veriyi, klinik kararlara rehber olacak şekilde yapılandırarak alana has bilgilere dönüştürmektir. Bir istatistiksel analize başlamadan evvel, farklı örnekleri karşılaştırabilmek ve verilerin hepsini var kılan yöntemleri kullanabilmek için veri temizliği yapılması gerekmektedir (Tyanova ve ark., 2018). Kanser biyoinformatiği olarak proteomik, protein tanımlama, protein seviyelerinin ölçümü, protein-protein etkileşimi ve enzimatik aktivite üzerine araştırmalar yapmaktadır (Stransky ve Galante, 2009).



Şekil 7. Perseus'ta Tipik Bir Analiz İş Akışının Taslağı (Tyanova ve ark., 2018). Perseus, omik verilerin analizine olanak tanıyan bir yazılımdır (Tyanova ve ark., 2016).

Biyoinformatiğin Geleceği

Biyoinformatik çalışmalarının asıl amacı, çeşitli analiz yöntem ve araçlar geliştirerek kitle halindeki dizi verilerinden anlamlı küçük bilgiler elde etmektir. Çok sayıda yapısal bilgi ve evrimsel ipuçları sayesinde biyoinformatiğin önünde aşılması zor fakat imkansız olmayan hedeflere ulaşılmasının, gelecekte biyoinformatik alanında yapılacak çalışmalar açısından önemi büyüktür (Atalay, 2002). Biyoinformatik alanındaki çalışmalar sayesinde elde edilen kazanımların, hastalıklara tanımlar konulması ve bu hastalıklara yönelik tedavi yöntemlerinin geliştirilmesi bakımından kayda değer bir gelişimi söz konusudur. Bilim ve teknolojiadaki gelişmeler, biyoinformatik yazılımların gelişmesinin ve gelecekte uygulama alanlarının artacağına habercisi durumundadır. Günümüzde üniversiteler, bu alanda yetişmiş personellere ihtiyaç duymaktadır ve gelecekte de bu ihtiyacın devamına yönelik sinyaller akademik çevrelerde kendisini hissettirmektedir.

Geniş ölçekli işlevsel genom ve proteom araştırmaları sonucunda, yakın gelecekte hücresel olaylar hakkındaki bilgimiz artacaktır (Gribskov, 1999). Bu verileri depolayacak, birleştirecek ve bu verilere erişimi sağlayacak araçların geliştirilmesi önemli bir ihtiyaçtır. Herhangi bir sinyal yolağının biyolojik açıdan ne anlam ifade ettiğinin tespiti sayesinde ilaçların keşfi, genetik tanı kitleri ve gen tedavi yöntemlerinin geliştirilmesi mümkün olabilecektir (Atalay, 2002).

Sonuç

Teknolojinin günden güne gelişmesiyle birlikte biyoinformatik alanındaki kazanımların genişletilmesi kaçınılmaz bir hal almıştır. Bu sebeple biyoinformatik biliminin geliştirilmesi için yalnızca tıp doktorlarının değil, mühendislerin de katkısına ihtiyaç duyulmaktadır. Bilgisayar mühendislerinin geliştireceği bir yazılım, genler ve işleyiş biçimleri bakımından toplumu bilgilendirebilecektir. DNA haritalarından elde edilen bilgilerin kullanımını sağlayan veri tabanları aracılığıyla birtakım yeni istatistiksel yöntemlerin geliştirilmesi mümkün olacaktır (Eser ve Öngel, 2014).

Son zamanlarda artan veri artışı ile birlikte biyoinformatiğin bilim dünyasındaki yeri çok daha önem kazanmış olup biyolojik çalışmaların gelişmesi açısından (yapısal biyoloji, genomik çalışmalar ve gen ekspresyon çalışmaları, ilaç tasarlama, hastalığın tanı ve tedavisi) ilerleme kaydedilmiştir (Akın ve ark., 2014).

Biyoinformatik alanındaki araştırmalar, genetik bozukluğu olan kişilerin DNA yapılarının saptanmasıyla birlikte hastalığın karakteri hakkında bilgi edinmeyi, DNA özellikleri belirlenmiş genetik bozukluklardaki ailesel geçişlerin incelenmesini ve bu sayede hastalıklı bireylerin doğmasının önüne geçilmesini kolaylaştırmıştır. Kadın doğum kliniklerinde yapılan rutin genetik tarama testleri bu alandaki ilerlemeye iyi bir örnektir (Eser ve Öngel, 2014).

Sonuç olarak biyoinformatik alanındaki gelişmeler, gelecekteki araştırma ve çalışmalara yol gösterici olması açısından büyük bir önem taşımaktadır. Multidisipliner bir bilim dalı olan biyoinformatik, çeşitli yöntem ve yaklaşımların geliştirilmesi bakımından farkındalık oluşturmaya ihtiyaç duymaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

Akın AC., Bürçe B., Çevirici B., Şahin B., Şahin E., Şahin Y. Disiplinler arası bir bilim dalı: biyoinformatik. 2014. <https://paperzz.com/doc/5078763/p12.-disiplinler-aras%C4%B1-bir-bilim-dal%C4%B1--biyoinformatik>

Arhipova I. The role of statistical methods in computer science and bioinformatics. Latvia University of Agriculture, Latvia 2006; ICOTS-7.

Atalay RÇ. Neden biyoinformatik? Avrasya Dosyası. Moleküler Biyoloji ve Gen Teknolojileri Özel 2002; 8(3): 129-141.

Attwood TK. eind Parry-Smith, DJ: Introduction to bioinformatics, 1999.

- Chen JN., Chang JS. Topical clustering of MRD sense based on information retrieval techniques, *Computational Linguistics* 1998; 24(1): 61-95.
- Collins FS., Morgan M., Patrinos A. The human genome project: lessons from large- scale biology. *Science* 2003; 300(5617): 286-290.
- Dibyajyoti S., Bin ET., Swati P. Bioinformatics: The effects on the cost of drug discovery. *Galle Medical Journal* 2013; 18(1): 44-50.
- Drews J. Drug discovery: a historical perspective. *Science* 2000; 287(5460): 1960-1964.
- Eser U., Öngel K. *Güncel Biyoinformatik Yaklaşımlar*, 2014.
- Gentleman RC., Carey VJ., Bates DM., Bolstad B., Dettling M., Dudoit S., Zhang J. Bioconductor: open software development for computational biology and bioinformatics. *Genome Biology* 2004; 5(10): 1-16.
- Gribnikov M. The new biological literature. *Bioinformatics (Oxford, England)* 1999; 15(5): 347-347.
- Hogue CW. Bioinformatics for beginners. *Trends in Biochemical Sciences* 2002; 10(27): 542-543.
- Karabulut E., Karaoğlu E. Biyoinformatik ve biyoistatistik. *Hacettepe Tıp Dergisi* 2010; 41, 162-170.
- Kumaresan V., Bhatt P., Palanisamy R., Gnanam A., Pasupuleti M., Arockiaraj J. A murrel cysteine protease, cathepsin L: bioinformatics characterization, gene expression and proteolytic activity. *Biologia* 2014; 69(3): 395-406.
- Kuonen D. Challenges in bioinformatics for statistical data miners. *Bulletin of the Swiss Statistical Society* 2003; 46, 10-17.
- Luscombe NM., Greenbaum D., Gerstein M. What is bioinformatics? A proposed definition and overview of the field. *Methods of Information in Medicine* 2001; 40(04): 346-358.
- Min S., Lee B., Yoon S. Deep learning in bioinformatics. *Briefings in Bioinformatics* 2017; 18(5): 851-869.
- Polat M., Karahan A. Multidisipliner yeni bir bilim dalı: Biyoinformatik ve tıpta uygulamaları. *SDÜ Tıp Fakültesi Dergisi* 2009; 16(3): 41-50.
- Rashidi HH., Buehler LK. *Bioinformatics basics: Applications in biological science and medicine.* CRC press, 1999.
- Searls DB. Using bioinformatics in gene and drug discovery. *Drug Discovery Today* 2000; 5(4): 135-143.
- Stransky B., Galante P. Application of bioinformatics in cancer research. *An Omics Perspective on Cancer Research* 2009; 211-233. https://doi:10.1007/978-90-481-26750_12
- Tandon P., Bhattacharjee P. *Bioinformatics: An overview.* Plant Tissue Culture and Molecular Markers, 2009.
- Tanyolaç B., Kaya HB., Soya S., Akkale C. *Biyoteknoloji ve biyoinformatik*, 2012.
- Blundell TL., Sibanda BL., Montalvo RW., Brewerton S., Chelliah V., Worth CL., Harmer NJ., Davies O., Burke D. Structural biology and bioinformatics in drug design: opportunities and

challenges for target identification and lead discovery. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 2006; 361(1467): 413-423.

Tyanova S., Temu T., Sinitcyn P., Carlson A., Hein MY., Geiger T., Mann M., Cox J. The perseus computational platform for comprehensive analysis of (prote)omics data. *Nat Methods* 2016; 13(9): 731–740. <https://doi.org/10.1038/nmeth.3901>

Tyanova S., Cox J. Perseus: A bioinformatics platform for integrative analysis of proteomics data in cancer research. *Cancer Systems Biology* 2018; 133148. https://doi:10.1007/978-1-4939-7493-1_7

Wu D., Rice CM., Wang X. Cancer bioinformatics: A new approach to systems clinical medicine. *BMC Bioinformatics* 2012; 13(1): 71. <https://doi:10.1186/1471-2105-13-71>

Xia X. Bioinformatics and drug discovery. *Current Topics in Medicinal Chemistry* 2017; 17(15): 1709-1726.

Xiong J., Rayner S., Luo K., Li Y., Chen S. Genome wide prediction of protein function via a generic knowledge discovery approach based on evidence integration. *BMC Bioinformatics* 2006; 7, 268. <https://doi.org/10.1186/1471-2105-7-268>

www.ncbi.nlm.nih.gov

www.expasy.org

Kenevirde THC ve CBD Faktörlerinin Değerlendirilmesi

Ayşeğül BEŞİR^{1*}, Nurdan YAZICI BEKTAŞ², Mustafa MORTAŞ³, Fehmi YAZICI⁴

^{1,3,4}Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, 55139, Samsun

²Karadeniz Teknik Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Farmakognazi Anabilim Dalı, 61080, Trabzon

¹<https://orcid.org/0000-0002-6442-6807>

²<https://orcid.org/0000-0001-7617-1701>

³<https://orcid.org/0000-0002-0316-7768>

⁴<https://orcid.org/0000-0001-9601-8843>

*Sorumlu yazar: aysegul.besir@omu.edu.tr

Derleme Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 17.03.2022

Kabul tarihi: 05.06.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

CBD

THC

Kenevir

Tetrahidrokannabinol

Kannabidiol

Cannabis

Kenevir geçmişten beri değişik amaçlarla kullanılmış ve günümüzde de kenevire olan ilginin giderek artmasına karşın bir dönem boyunca kenevir bitkisinden uzak kalmıştır. Tüketicinin kenevire karşı olumsuz düşüncesinin sebebi, bitkinin psikoaktif madde içeriğine sahip olmasıdır. Sanılanın aksine, endüstriyel amaçla ekilen kenevir, psikoaktif madde içeriği azaltılmış ve tüketimi destekleyici olarak yasal sınırları belirlenmiş kenevir çeşididir. Kenevir bünyesinde bulunan ve psikoaktif etkiden sorumlu trans- Δ 9-tetrahidrokannabinol (THC), endüstriyel kenevir üretiminde dikkat edilmesi gereken sakıncalı bir bileşen olmasına karşın aynı molekül ağırlığına sahip olan kannabidiol (CBD) ise kronik ve nonkronik ağrılar için analjezik, antiepileptik, antibakteriyel, antiinflamatuvar, antikanserojen, antidiyabetik, antidepresan özellik gösteren ve psikoaktif olmayan bir bileşiktir. Protein kaynağı olarak kullanılan kenevir tohumunda ise THC bileşenine rastlanmamaktadır. Bu çalışma, aynı moleküler özelliğe sahip olan THC ve CBD bileşiklerinin kimyasal özellikleri, sağlık üzerine etkileri, ilgili yasal sınırlar ve bileşikler üzerine yapılan araştırmalar incelenerek derlenmiştir.

Evaluation of THC and CBD Factors in Cannabis

Review Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 17.03.2022

Accepted: 05.06.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

CBD

THC

Hemp

Tetrahydrocannabinol

Cannabidiol

Cannabis

Cannabis has been used for different purposes from past to present, and although the interest in cannabis is increasing day by day, the cannabis plant has been avoided for a while. Underlying the consumer's negative attitude of hemp is the psychoactive substance content of the plant. Contrary to popular belief, cannabis cultivated for industrial purposes is a cannabis variety with reduced psychoactive substance content and legal limits to support consumption. Trans- Δ 9-tetrahydrocannabinol (THC) in cannabis, which is responsible for the psychoactive effect, is an objectionable component that should be considered in industrial cannabis production. Although cannabidiol (CBD) has the same molecular weight with THC, it has analgesic for chronic and non-chronic pain, antiepileptic, antibacterial, anti-inflammatory, anticarcinogenic, antidiabetic, antidepressant properties. THC component is not found in cannabis seeds, which are used as food for protein source. In this study, the chemical properties of THC and CBD compounds, which have the same molecular properties, were reviewed regarding their health effects, applicable legal limits, and studies on these compounds.

To Cite: Beşir A., Bektaş NY., Mortaş M., Yazıcı F. Kenevirde THC ve CBD Faktörlerinin Değerlendirilmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 1092-1104.

1. Giriş

Cannabaceae familyasının üyesi olan *Cannabis*'in menşei Orta Asya olup bitki otsu, tek yıllık, dioik ve çiçeklidir. *Cannabis* cinsi genel anlamda dört tür (*Cannabis sativa*, *C. indica*, *C. ruderalis* ve *C. afghanica*) ile temsil edilmekte olup en fazla araştırmalara konu olan tür ise *Cannabis sativa*'dır (Salami ve ark., 2020). *Cannabis* cinsinde erkek ve dişi çiçekler farklı bireylerde bulunur ve bitkinin gövde uzunluğu altı metreye kadar çıkabilir (Ersoy, 2020; Yıldırım ve Koca-Çalışkan, 2020). Bitkinin çeşitli kısımları binlerce yıldır gıda, yem, ilaç, kozmetik, tekstil, gemicilik, inşaat gibi çok farklı alanlarda çeşitli şekillerde kullanılmaktadır (Yıldırım ve Koca-Çalışkan, 2020).

Literatürde kenevir bitkisi, sahip olduğu uzun liflerden dolayı lif üretiminde veya kannabinoidlerce zengin içeriğinden dolayı medikal amaçlarla kullanılır ve kullanım tiplerine göre 2 ana gruba ayrılır (lifçe zengin tip/kannabinoidlerce zengin tip) (Chen ve ark., 2021) (Şekil 1).



Şekil 1. (A) Lifçe zengin tip (B) Kannabinoidlerce zengin tip (Chen ve Pan, 2021)

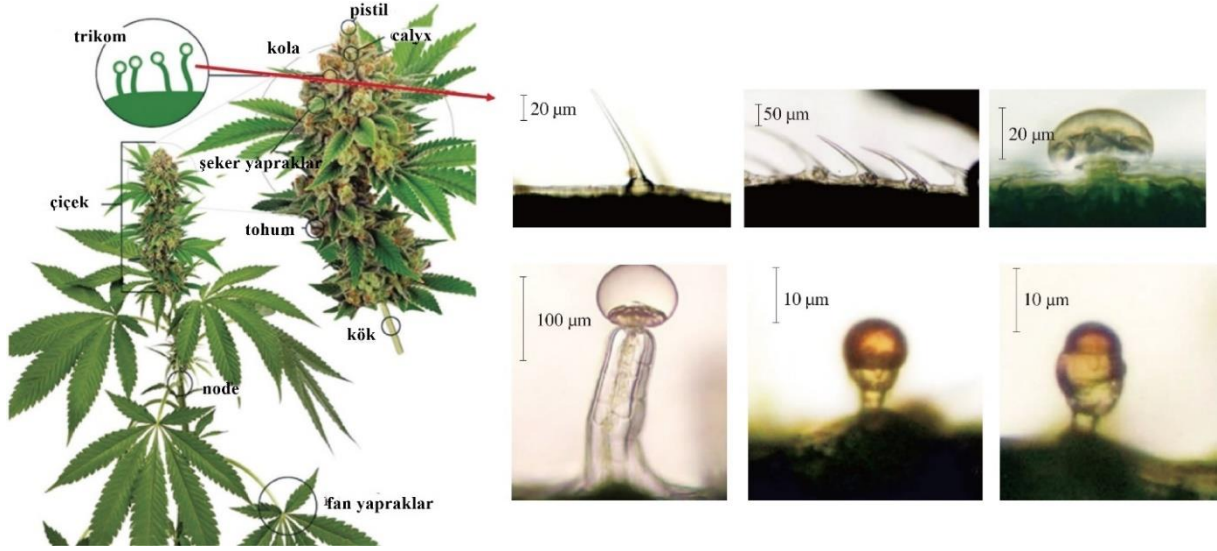
Kenevir bitkisinin bir diğer sınıflandırma biçimi de içeriğindeki THC miktarı dikkate alınarak yapılır. $THC < 0,2-0,3$ ise lif/ticari/endüstriyel tip olarak, $0,3 < THC < 1$ ise orta düzey tip olarak ve $1 < THC < 20$ ise ilaç/uyuşturucu/marihuana olarak adlandırılmaktadır (Tablo 1) (Guo ve ark., 2017; Chen ve Pan, 2021).

Tablo 1. Kenevir bitkisinin genel sınıflandırılması (Chen ve Pan, 2021)

Lif ve kannabinoid içeriğine göre		
(1) Lifçe zengin tip	(2) Kannabinoidlerce zengin tip	
- Boyu uzundur.	- Boyu kısadır.	
- Tohum ve lifi için hasat edilir.	- Kannabinoidler bakımından zengindir (%15).	
- Kannabinoid miktarı düşüktür.		
THC miktarına göre		
(1) $THC < 0,2-0,3$	(2) $0,3 < THC < 1$	(3) $1 < THC < 20$
-Lif/Ticari/Endüstriyel tip	- Orta düzey tip	-İlaç/uyuşturucu/Marihuana

Cannabis bitkisinin kök, gövde, yaprak, çiçek, polen ve tohumları üzerine yapılan çalışmalarda belirtildiği gibi bitkinin ikincil metabolit profilini terpenofenolik yapıdaki fitokannabinoidler,

flavonoidler, stilbenoidler, lignamidler, fenolik amidler, terpenler, alkaloidler ve nonkannabinoid fenoller oluşturmaktadır (Lowe ve ark., 2021). En önemli metabolit grubu ise fitokannabinoidler olup bitkinin esas olarak çiçeklerinde, bunun yanında brakte ve bitki gövdesinde bulunan trikoma adı verilen, glandüler ve glandüler olmayan, şeffaf renkli epidermal salgı tüylerinde depolanan sarı renkli reçinesinde bulunmaktadır (Yıldırım ve Koca-Çalışkan, 2020; Chen ve ark., 2021) (Şekil 2).



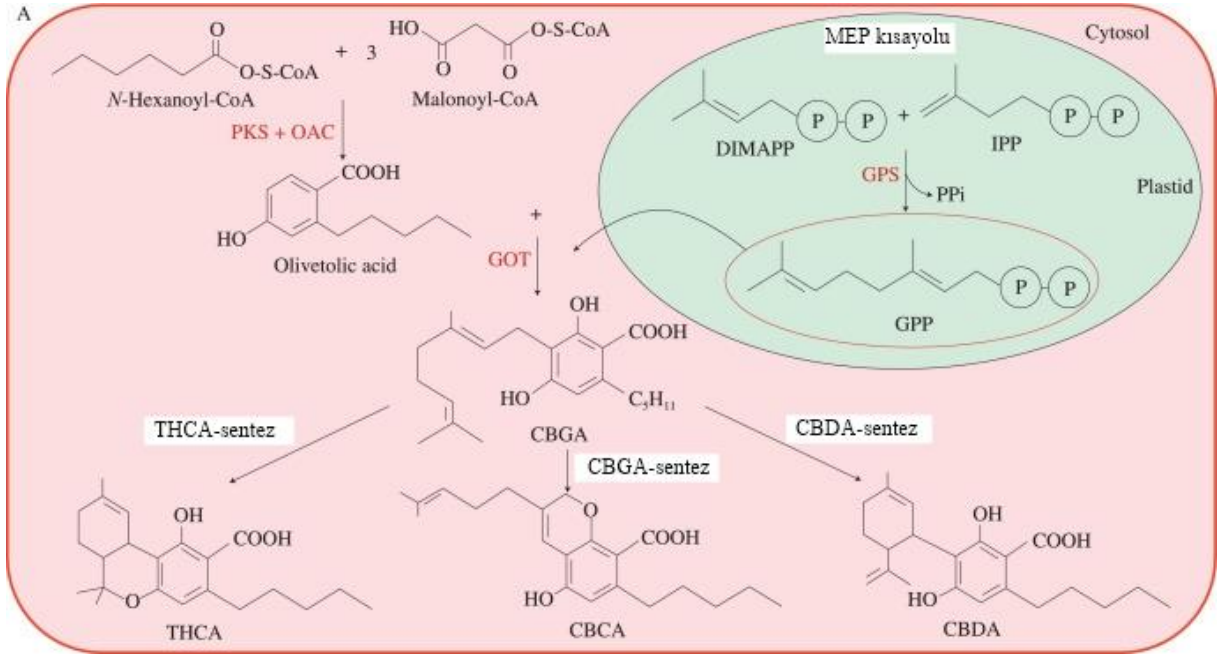
Şekil 2. Kenevir bitkisinin genel kısımları ve trikoma görseli (Chen ve Pan, 2021)

Günümüze kadar yapılarında yüzün üzerinde molekül (21-22 karbonlu) tayin edilmiş ve genel anlamda söz konusu moleküller yapısal olarak on grup altında (Δ^8 -tetrahidrokannabinol, Δ^9 -tetrahidrokannabinol, kannabigerol, kannabikromen, kannabinol, kannabitriol, kannabidiol, kannabinodiol, kannabisiklol, kannabielsoin) incelenmektedir (Salami ve ark., 2020; Yıldırım ve Koca-Çalışkan, 2020). Kuşkusuz fitokannabinoidlerden en çok ilgi çeken moleküller trans- Δ^9 -tetrahidrokannabinol (THC) ve kannabidiol (CBD) bileşikleridir.

Bu çalışma, aynı moleküler özelliğe sahip olan THC ve CBD bileşiklerinin kimyasal özellikleri, sağlık üzerine etkileri, ilgili yasal sınırlar ve bu bileşikler üzerine yapılan araştırmalar incelenerek derlenmiştir.

2. THC ve CBD Bileşiklerinin Kimyasal Özellikleri

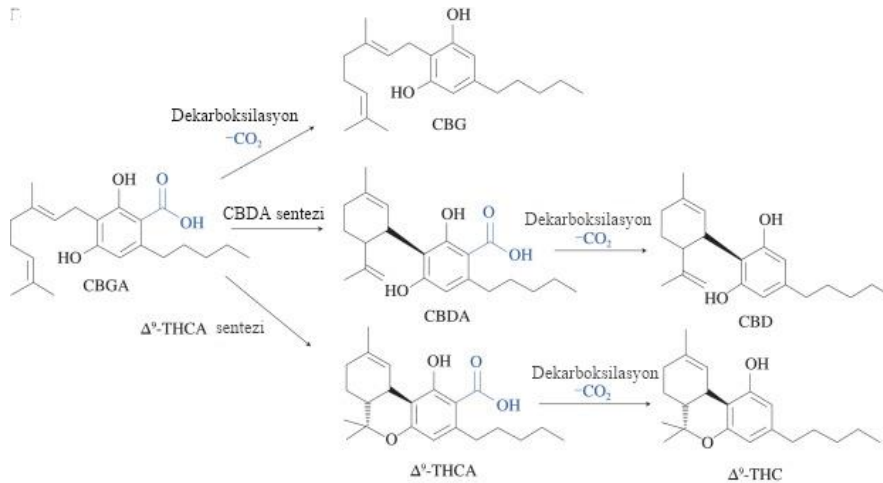
Kimyasal olarak kannabinoidler, terpenoidler ve alisiklik birimler içeren bir molekül türü olup kenevir bitkilerinde 120' den fazla kannabinoid türü tespit edilmiştir. Kannabinoidlerin kenevir bitkisindeki biyosentetik yolu Şekil 3'te gösterilmiştir (Chen ve Pan, 2021).



Şekil 3. Kannabinoidlerin biyosentetik yolu (Chen ve Pan, 2021)

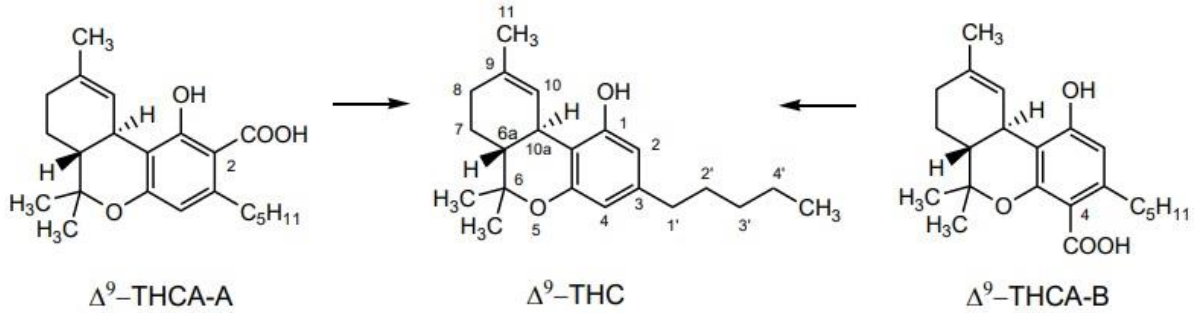
Kenevir bitkisinde doğal olarak sadece asidik kanabinoidler (THCA ve CBDA) bulunmaktadır. Moleküler yapılarına göre kannabinoidler apolardır ve bu nedenle sulu çözeltilerinde düşük çözünürlüğe sahip olup kaynama noktaları 157°C ile 220°C arasında değişmektedir (örneğin, CBD' nin kaynama noktası 180°C civarındadır yani uçucu değildir). Bununla birlikte, CBD termal olarak kararsızdır ve fotolitik reaksiyon ve oksidasyona karşı çok hassastır (Chen ve Pan, 2021).

Asidik formdaki kanabinoidler, insan vücudunun endokannabinoid sistemini nötr formlarla aynı şekilde etkilemediklerinden farmakolojik olarak aktif olarak kabul edilmemektedir. Bu nedenle, CBDA bileşiğini CBD' ye dönüştürmek için genellikle, asidik molekülden bir karboksil grubunun çıkarılmasını ve bir CO₂' nin yüksek sıcaklıkta salınmasını içeren bir dekarboksilasyon işlemine ihtiyaç duyulmaktadır (Chen ve Pan, 2021; Hazekamp, 2018) (Şekil 4).



Şekil 4. Kannabinoidlerin dekarboksilasyonu (EFSA, 2015)

Genel anlamda, THC' nin kapalı formülü $C_{21}H_{30}O_2$ olup moleküler ağırlığı 314,46 g/mol' dür. Δ^9 -THC suda düşük çözünürlüğe sahip (23 °C'de 2,8 mg/L) olmasına karşın çoğu organik çözücünde iyi çözünürlüğe sahiptir. Δ^9 -THC' ün dört stereoisomeri vardır ve (-)-trans- Δ^9 -THC bitkide doğal olarak oluşan tek izomerdir. Büyüyen ve hasat edilen bitkide bulunan Δ^9 -tetrahidrokannabinolik asit, Δ^9 -THC'ün biyosentetik öncüsüdür (Şekil 5). *C. sativa*' nın taze bitki materyalinde, "toplam" Δ^9 -THC'nin %90' a kadarı psikoaktif olmayan öncü Δ^9 -THCA-A olarak mevcuttur ve bitki materyalinde öncü asitlerin Δ^9 -THC'ye dönüşüm hızı ve kapsamı, fiziksel etkilere, özellikle sıcaklığa bağlıdır (EFSA, 2015).



Şekil 5. Δ^9 -tetrahidrokannabinol (Δ^9 -THC) ve öncüleri olan Δ^9 -tetrahidrokannabinolik asit A (Δ^9 -THCA-A), Δ^9 -tetrahidrokannabinolik asit B'nin (Δ^9 -THCA-B) kimyasal yapıları (EFSA, 2015)

Diğer önemli bileşen ise CBD olup kapalı formülü $C_{21}H_{30}O_2$ ve moleküler ağırlığı 314,46 g/mol' dür. CBD suda neredeyse çözünmez (25 °C'de 0.0122 mg/L), ancak metanol, etanol, dietil eter, benzen ve kloroform gibi organik çözücülerde iyi çözünürlüğe sahiptir (EFSA, 2015).

3. THC ve CBD Bileşiklerinin Sağlık Üzerine Etkileri

Kenevir bitkisinin tedavi edici kullanımının M.Ö. 2700 yılına dayandığı; Çin imparatoru Chen Nung tarafından yazılan farmakopede bitkinin romatizmal ağrı, intestinal konstipasyon, kadın hastalıkları ve sıtma tedavisinde kullanıldığı bilinmektedir (Salami ve ark., 2020).

Bitkinin geleneksel olarak uzun sürelerden itibaren tedavi edici olarak kullanılmış olması, fitokimyasal profilinin araştırma konusu olmasına neden olmuş ve bu nedenle literatürde pek çok sayıda içerik profili ile biyolojik aktivite çalışmalarına rastlanabilmektedir. Psikoaktif etkiye ve dolayısıyla bitkinin narkotik kullanımına sebep olan başlıca bileşik THC'dir. THC dışında bitkide düşük miktarlarda bulunan kannabinol ve kannabinidiol fitokannabinoidleri de psikoaktif bileşiklerdir. THC tıbbi olarak anoreksia, glokom, ağrı, kansere bağlı bulantı ve kusma tedavisinde kullanılmıştır (Gökgöz ve Yılmaz-Can, 2021; Salami ve ark., 2020). CBD ise kronik ve nonkronik ağrılar için analjezik, anti epileptik, antibakteriyel, antiinflamatuar, antikanserojen, antidiyabetik, antidepresan özellik göstermektedir ve psikoaktif değildir (Balpınar ve Aytaç, 2021). Bu biyolojik etkinlikleri ile de son zamanlarda bilimsel çalışmalara araştırma konusu olmaktadır (Gökgöz ve Yılmaz-Can, 2021).

THC ve CBD içeren ürünler, çeşitli ülkelerde son yıllarda onay almaya başlamış ve tüketicilerin kullanımına sunulmaya başlanmıştır. Nabilone ve Dronabinol (Sentetik THC) kanser kemoterapisi

kaynaklı bulantı-kusma tedavisi ve AIDS kaynaklı kilo kaybında iştah arttırmak amaçlı; Nabixsimols (1:1 oranında THC ve CBD içeren standardize ekstre) ise Multipl skleroza bağlı spastisite tedavisi için onay almış ticari ürünlerdir (Salami ve ark., 2020; Yıldırım ve Koca-Çalışkan, 2020). Sistemik kullanımları dışında CBD başta olmak üzere fitokannabinoidlerin psoriasis, akne, cilt kanseri, alerjik kontakt/asteatotik/kontakt dermatit, hidradenitis supparativa, Kapasi sarkoma, pruritus ve cilt inflamasyonu gibi çeşitli dermatolojik rahatsızlıklarda da etkili oldukları çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir (Sheriff ve ark., 2020; Mnekin ve ark., 2021).

N02BG10 ATC kodu (Anatomic Therapeutic Chemical Classification - Yapısal Tedavi Edici Kimyasallar Sınıflaması) ile kannabidiol oral solüsyonu, N02BG10 ATC kodu ile tetrahidrokannabidiol ve kannabidiol oromukozal spreyi ilaçları Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu (TİTCK)'nın "Yurt Dışı İlaç Listesi"nde bulunmaktadır. Bu ilaçlar kırmızı reçete ve TİTCK yazılı onayı ile ülkemizde temin edilip kullanılabilir (TİTCK, 2022).

Cannabis sativa'nın tohumları ise bitkinin özellikle gıda hammaddesi olarak kullanılan kısımlarından biridir. Kavrulmuş tohumlarından elde edilen yağın içeriğinde linoleik asit, α -linolenik asit, β -linolenik asit, oleik asit, stearik asit, palmitik asit, araşidik asit, eikosenoik asit ve behenik asit tespit edilmiştir. Drogun yüksek oranda ihtiva ettiği linoleik ve linolenik asit gibi çoklu doymamış yağ asitleri sayesinde tansiyon ve kolesterol düşürücü, antiinflamatuvar, antikanser etki gösterebildiği; ayrıca fitosteroller, A, B, C ve E vitaminleri, karotenoidler, fenolik bileşikler sayesinde kozmetik kullanım için de elverişli olduğu bildirilmektedir (Saini ve ark., 2018; Selvi ve ark., 2019; Salami ve ark., 2020).

4. THC-CBD Konusunda Yasal Sınırlar

Kenevir tohumunda söz konusu iki bileşen (THC ve CBD) bulunmamasına karşın kenevir tohumu tüketimindeki en büyük engel içeriğinde psikoaktif madde varlığının sanılmasıdır. Besinsel içeriği fazla olan bir tohumun, negatif bir algı nedeni ile tüketilmemesinin altında ise tüketim bilinci ve erişebilirlik faktörleri yer almaktadır. Kenevir tohumunun besinsel anlamda genel bileşimine bakıldığında; %25-35 oranında yağ, %20-25 protein, %20-30 karbonhidrat, %10-15 çözünmeyen lifler, E vitamini ve mineralleri (fosfor, potasyum, sodyum, magnezyum, kükürt, kalsiyum, demir ve çinko) içermektedir. Son yıllarda ise kenevir tohumlarının besin içeriğinin yüksek olması, içinde psikoaktif bileşen bulunmaması ve minimum alerjenitesi olması nedeni ile kenevir ürünleri tüketiminde bir artış gözlemlenmiştir (Paul ve ark., 2020). Mevcut tüketim artışının gerçekleşmesinde ise kenevir tohumundan üretilen alternatif gıdaların ortaya çıkması önemli bir rol oynamaktadır.

Kenevirin tohumundan elde edilen kenevir unu ve kenevir yağı gibi türevleri, tüketiciler tarafından gıda ve/veya gıda katkı maddesi olarak kullanılmaya başlanmıştır (King, 2019; Kladar ve ark., 2021). Kenevir tohumu genel itibari ile kabuklu ve kabuğu alınmış kenevir içi/kalbi olarak satışa sunulmakta olup tüketiciler tarafından bütün tohum halde tüketilmesindeki en büyük neden ise tohumda bulunan yağ asitleri ve protein miktarıdır (Callaway, 2004; Kladar ve ark., 2021). Yağlı bir ürün olan kenevir

tohumunun soğuk sıkım işleminden sonra kenevir tohumu yağı elde edilmekte ve ayrıca bu işlem sonrası arda kalan kenevir keki protein ve fenolik bileşik içeriği açısından değerli bir yan üründür (Cassano ve ark., 2013; Liang ve ark., 2018).

Kenevir bazlı ürünlerin tüketimindeki çekincelerin kaynağı olan $\Delta 9$ -tetrahidrokannabinol ($\Delta 9$ -THC) ‘ün yanı sıra psikoaktif özelliği olmayan ve değerli kabul edilen kannabinoidin (CBD) de tespit edilmesi gerekmektedir (EC, 2002; FDA, 2018). Yasal sınırlar hemen hemen her ülkede farklıdır ancak genellikle mg THC /kg ürün (ppm) seviyesindedir (Tablo 2).

Tablo 2. Ülkelere göre kenevir tohumu ve ürünlerinde $\Delta 9$ -THC yasal sınırları (Christinat ve ark., 2020)

Ülke	Kenevir tohumu yağı	Kenevir tohumu	Kenevir proteini
Belçika	10 mg/kg	5 mg/kg	5 mg/kg (kenevir tohumu unu)
İsviçre	20 mg/kg	10 mg/kg	1 mg/kg (bitkisel gıda maddeleri)
Almanya	5 mg/kg	0,15 mg/kg toplam THC ¹ (diğer gıda maddeleri)	0,15 mg/kg toplam THC ¹ (diğer gıda maddeleri)
Danimarka	4 mg/kg $\Delta 9$ -THC + $\Delta 8$ -THC 10 mg/kg toplam THC ²	2 mg/kg $\Delta 9$ -THC + $\Delta 8$ -THC 5 mg/kg toplam THC ²	2 mg/kg $\Delta 9$ -THC + $\Delta 8$ -THC 5 mg/kg toplam THC ²
Avustralya	10 mg/kg toplam THC ¹	5 mg/kg toplam THC ¹	5 mg/kg toplam THC ¹ (tohumdan üretilen gıdalar)
Yeni Zelanda	10 mg/kg toplam THC ¹	5 mg/kg toplam THC ¹	5 mg/kg total THC ¹ (tohumdan üretilen gıdalar)

¹Toplam THC, $\Delta 9$ -THC ve THCA seviyelerinin (Almanya, Avustralya, Yeni Zelanda) toplamını ifade eder.

²Toplam THC, $\Delta 9$ -THC, $\Delta 8$ -THC ve THCA seviyelerinin (Danimarka) toplamını ifade eder.




Bazı ülkeler psikoaktif özelliği nedeniyle özellikle THC bileşenine odaklanmaktadır. Almanya, Avustralya ve Yeni Zelanda THC miktarı olarak $\Delta 9$ -THC ve $\Delta 9$ -tetrahidrokannabinolik asit (THCA-A) bileşenlerinden oluşan ‘toplam THC’ seviyesini dikkate almaktadır. Yalnızca $\Delta 9$ -THC seviyeleri yerine ‘toplam THC’ seviyesini dikkate alınmasındaki sebep, THCA-A’ nın 160°C’nin üzerindeki ısı işlem sonrasında (Citti ve ark., 2019) $\Delta 9$ -THC’ ye dönüşebilme olasılığı olarak gösterilmektedir (Christinat ve ark., 2020). Kannabinoidler doğal olarak asidik formda bulunurken ısı etkisi ile dekarboksilasyona uğrayarak nötr formları olan THC, CBD, CBN formlarına dönüşmektedirler (Kladar ve ark., 2021). Avustralya ve Yeni Zelanda’daki düzenlemeler hariç, yenilebilir ürünlerdeki diğer kannabinoidlerin seviyeleri düzenlenmemiştir (tüm gıda ürünleri için maksimum seviye 75 mg/kg ürün’dür (Christinat ve ark., 2020).

Endüstriyel kenevir, yaygın olarak "marihuana" olarak bilinen ve çok yüksek THC seviyelerine (%20'ye kadar) sahip bir esrar çeşidi olan "ilaç türü" kenevir ile karıştırılmamalıdır. Avrupa Birliği'nde (AB), yetiştirilen ve yem için kullanılan kenevir çeşitleri, AB'nin 'Tarımsal Bitki Türlerinin Ortak Çeşitleri Kataloğu'nda listelenmektedir. (AB) 1307/20137 Sayılı Tüzüğe göre, bu çeşitlerdeki

maksimum THC içeriği %0,2 (w/w) ile sınırlı (EFSA, 2015) iken bu değer Kanada’da < %0,3, İsviçre’de ise <1’dir (Hazekamp, 2018).

2015’te European Food Safety Authority (EFSA) tarafından olumsuz etki düzeyinin gerçekleştiği en düşük doz (Lowest Observed Adverse Effect Level-LOAEL) 2,5 mg THC/gün olarak; günlük akut referans doz (acute reference dose-ARFD) ise 1 µg/kg olarak belirlenmiştir (EFSA, 2015). Gıdanın güvenli gıda olarak tüketilebilmesi için sınır değerler önemlidir. THC bileşeni için limit değerler varken CBD için aynı durum söz konusu değildir. Kannabidiol yakın zamanda Dünya Sağlık Örgütü (WHO) Uyuşturucu Bağımlılığı Uzman Komitesi (ECDD) tarafından “kötüye kullanım potansiyeli ve bağımlılık yaratma potansiyeli olmadığı” yönünde bir açıklamayla değerlendirilmiştir (Hughes ve ark., 2022).

Psikoaktif özellik göstermeyen CBD için genel bir risk değerlendirme kılavuzunun olmaması, tolere edilebilir günlük alım miktarının (tolerable daily intake, TDI) belirlenmesini gerektirmektedir. CBD nadir görülen epileptik bozuklukların (Lennox-Gastaut ve Dravet sendromu) tedavisinde terapötik etkinliği ile tanınmaktadır ve insanlarda terapötik etkilerin gözlenebildiği en düşük oral doz 120 mg/gün olarak belirtilmiştir (Kladar ve ark., 2021). Ancak genel olarak ortak kabul edilen bir kararla belirlenen güvenilir CBD alım miktarı yoktur. Bu nedenle tüketilen ürünleri sağlık açısından bir tehdit oluşturmaması için güvenilir kaynaklardan temin edilen sertifikalı ürünlerin kullanımına özen gösterilmelidir. Sertifikalı ürünlerde ise kannabinoidlerin miktarları açıkça verilmektedir (Şekil 6).

EVIO LABS Certificate of Analysis		RELAX BEARS	Matrix: N/A	Page 1 of 2						
			SAMPLE: D808035-02 METRC/Biotrack # N/A Harvest/Lot ID: BM060118 Batch #: BM060118, Batch Size: 19 - grams Ordered: 8/13/2018 Sample: 8/13/2018 Completed: 8/15/2018 4:36:50 PM Expires: 08/15/19 Sampling Method: SOP SOP Client Method							
Image	Safety	Cannabinoids								
	Pesticides - NT Microbials - NT Mycotoxins - NT Heavy Metals - NT Terpenes - NT Residual Solvents - NT Filtration - Tested Water Activity - NT Moisture - NT	Analyte	Weight(%)	mg/g						
Cannabinoids		D9-THC	ND	ND						
0.00% Total THC		THCa	ND	ND						
0.31% Total CBD		TOTAL THC	ND	ND						
0.00g THC/Gummy		CBD	0.31	3.1						
3.473g CBD/Gummy		CBDa	ND	ND						
		TOTAL CBD	0.31	3.1						
		CBN	0.001	0.01						
		CBDV	0.001	0.01						
		D8-THC	ND	ND						
		THCV	ND	ND						
		CBG	ND	ND						
		CBGA	ND	ND						
		CBC	ND	ND						
		TOTAL CANNABINOIDS	0.312	3.12						
ND	ND	0.31	ND	0.001	ND	ND	ND	ND	ND	
D9-THC	THCa	CBD	CBDa	CBN	CBDV	D8-THC	THCV	CBG	CBGA	CBC
EVIO LABS		4131 SW 47th AVENUE SUITE 1408 DAVIE, FL 33314 1-954-368-7664 info@eviolabsfl.com		Jorge Segredo Lab Director		State License # n/a ISO Accreditation # 97164				
<small>This report shall not be reproduced, unless in its entirety, without written approval from EVIO Labs. This report is an EVIO Labs certification. The results relate only to the material or product analyzed. Test results are confidential unless explicitly waived otherwise. Void after 1 year from test end date. Cannabinoid content of batch material may vary depending on sampling error. IC=In-control QC parameter, NC=Non-controlled QC parameter. ND=Not Detected, NA=Not Analyzed. ppm=Parts Per Million, ppb=Parts Per Billion, Limit of Detection (LoD) and Limit of Quantitation (LoQ) are terms used to describe the smallest concentration that can be reliably measured by an analytical procedure. RPD=Reproducibility of two measurements. Action Levels are State determined thresholds for human safety for consumption and/or inhalation.</small>										

Şekil 6. CBD içeren ürünlerin sertifikalarından bir örnek

Türkiye’de kenevir yetiştiriciliği, 2313 sayılı Uyuşturucu Maddelerin Murakabesi Kanunu’na göre 29 Eylül 2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Kenevir Yetiştiriciliği ve Kontrolü Hakkında Yönetmelik çerçevesinde yapılmaktadır. İzin verilen 19 il (Amasya, Antalya, Bartın, Burdur, Çorum, İzmir, Karabük, Kastamonu, Kayseri, Kütahya, Malatya, Ordu, Rize, Samsun, Sinop, Tokat, Uşak, Yozgat ve Zonguldak) dışında bilimsel araştırma amacıyla kenevir yetiştiriciliği için Tarım ve Orman Bakanlığından izin alınması gerekmektedir. Türkiye’de tohum amaçlı kenevir üretimi 2018 yılında 59 da olan üretim alanı 2019 yılında 536 da’a çıkmış ve 2020 yılında 4 252 da olmuştur (Ugurlu, 2021).

11 Ocak 2019 tarihinde T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sağlık Bakanlığı, TÜBİTAK ve Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi’nin katılımıyla “Türkiye’de Endüstriyel Kenevir Yetiştiriciliği Raporu ve Eylem Planı” hazırlanmıştır. Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi faaliyetlerine başlamış ve Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü ile iş birliğiyle gerçekleştirerek tetrahidrokannabinol (THC) oranı düşük, lif ve sap verimi yüksek Narlısaray kenevir çeşidi geliştirilmiştir (Ordu Ticaret Borsası, 2021).

Türkiye’de kenevir veya ürünlerinin gıda olarak kullanımı konusunda belirlenmiş bir politika yoktur. Yetiştiriciliğine yönelik kısıtlamalar ise esrar olarak kullanımından dolayıdır. Bu konuyla doğrudan veya dolaylı olarak ilgili birçok kanun, yönetmelik ve uluslararası sözleşme varsa da en önemlileri şunlardır: 1- 2313 sayılı Uyuşturucu maddelerin Murakabesi Hakkında Kanun 2- 5237 Sayılı Türk Ceza Kanunu (188-192. maddeler) 3- 1961 TEK (Single Convention on Narcotic) Sözleşmesi. Türkiye bu sözleşmeye 21.12.1966 tarih ve 812 sayılı Kanun’la taraf olmuştur. 4- Kenevir Ekimi ve Kontrolü Hakkında Yönetmelik (1990) (Resmi Gazete, 2016).

5. THC-CBD Üzerine Yapılan Çalışmalar

CBD içeren ürünler genel anlamda ‘gıda takviyesi’ tanımını tam olarak karşılamamakta ancak FDA tarafından bu tanımlamaya izin verilebilecek bazı hususlar ile sınırların belirlenmesi noktasında çalışmalara devam edilmektedir (Walker ve ark., 2020).

Son iki yılda CBD piyasasının hızla yükseldiği gözlemlenmiş ve söz konusu bu yükseliş, FDA' nın 2018 yılında çocuklarda görülen epilepsi nöbetlerini tedavi etmek amacıyla kullanımı onaylanan CBD ilacı (Epidiolex) ve 2018'de ABD' de kabul edilen Farm Bill ile başlamıştır. Tüketiciler, CBD içeren yağlar, losyonlar, sakızlar, çay, kahve, su, patlamış mısır ve tahılları mağaza raflarından ve çevrimiçi olarak satın alabilmekte ancak CBD içeren gıda ürünlerinin statüsü hakkında karışıklık hala devam etmektedir. CBD içeren gıda ve takviyelerin çoğu Gıda, İlaç ve Kozmetik (FDCA) kurumunun "ilaç dışındakiler" yasasına uymamaktadır ancak FDA, birkaç satıcıya uyarı mektupları göndermek dışında henüz bir yaptırım uygulamamıştır (Zettler ve ark., 2020).

Fransa gibi bazı AB üye ülkeleri kısıtlayıcı bir politika uygularken CBD' yi narkotik bir ilaç olarak görmekte; Danimarka, İrlanda ve Almanya ise CBD' yi gıda ürünü olarak kabul etmekte olup gıda yasasının gerekliliklerini uygulamaya çalışmaktadır. Bazı CBD ürünleri ise şu anda herhangi bir narkotik, tıbbi veya gıda yasasına tabii olmamak için şüpheli bir şekilde "gıda dışı" (örneğin CBD oda

kokuları) olarak pazarlanmaktadır (Lachenmeier ve ark., 2020). Tıbbi ürün olarak düzenlemeye tabi olmaksızın, CBD içeren ürünler olarak kabul edilen (Freeman ve ark., 2019) ve tıbbi olmayan CBD ürünlerinin başında CBD yağları (kenevir özütü+yenilebilir yağ) gelmektedir (Lachenmeier ve Walch, 2020).

CBD içeren ürünler ve sınıflandırılması konusunda ortak bir durum söz konusu olmayıp ülkeler arasında kısıtlayıcılık ve yasal prosedürler arasında farklılıklar bulunmaktadır. Söz konusu farklılıklar ise tüketici boyutunda ayrıca değerlendirilmiştir. 340 katılımcı ile yapılan bir anket sonucuna göre katılımcıların %56,30'u yenilebilir (edibles- kahve, çay, şekerleme, kek, bal, şurup, içecek), %54,07'si tentür (tinctures) ve %38,52'si ise vape (vape) şeklinde CBD ürünlerini tüketmektedirler. En önemli kullanım nedenleri arasında stres giderme (%65,39), rahatlama (%54,81) ve uyku iyileştirme (%42,22) yer almıştır (Wheeler ve ark., 2020).

CBD 'nin ilaç etken maddesi olarak kullanımının onaylanmasına paralel olarak başlayan süreç gıda alanında da CBD katkılı ürünler üretebilmek için araştırmaların yapılması ile devam etmektedir. Bu kapsamda CBD katkılı ürünler üzerine yapılan çalışmalar öncü niteliğindedir. Örnek vermek gerekirse Kim ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmada, 3D teknolojisi kullanarak CBD ilaveli yumuşak et üretimi prosesi optimize edilmiştir.

Christinat ve ark. (2020) tarafından sıvı kromatografi tandem kütle spektrometrisi kullanarak 20 örnekte, 15 kannabinoid çeşidinin kantitatif tayini için metod geliştirme ve valide etme çalışması yürütülmüştür. Çalışmada kullanılan örnekler kenevirden türetilen üç ana bileşeni (kenevir tohumu, kenevir yağı ve kenevir proteini) ve İsviçre'deki marketlerde sunulan çay, kahve, çikolata, mayonez, CBD yağı gibi ürünleri kapsamaktadır. Bunlara ek olarak kenevir ile beslenen bir ineğin sütü de analiz edilmiştir. Test edilen tüm kenevir tohumu, kenevir tohumu yağı ve kenevir proteini örnekleri en az üç kannabinoid için pozitif olarak belirlenmiştir. Kannabinoidler kenevir tohumlarında doğal olarak bulunmamakla (Citti ve ark., 2019) birlikte muhtemelen bitkinin diğer kısımlarından yetiştirme veya hasat sırasında çapraz kontaminasyon sonucu aktarılmış olabilir. En yüksek konsantrasyonda bulunan kannabinoidler Δ^9 -THC, THCA, CBD ve CBDA olup herhangi bir kannabinoidin en yüksek miktarı, bir yağ örneğinde ölçülmüş ve 50,63 mg/kg CBDA olarak bildirilmiştir. Örnekler arasında en yüksek CBD oranı ise 15,5 mg/kg ile yine bir kenevir yağında tespit edilmiştir. %10 kenevir tohumu yağı içeren mayonezde hiçbir kannabinoid ölçülemezken (<LOQ:0,6 mg/kg), % 10 kenevir tohumu içeren iki çikolata örneğinden sadece birinde düşük miktarlarda CBDA (0,16 mg/kg) tespit edilmiştir. %7,9 kenevir yaprağı ve tohumu bulunan bir başka çikolata örneğinde kannabinoid konsantrasyonları daha yüksek bulunmuştur. Kenevir yaprakları ve çiçekleri, kenevir tohumlarının aksine, önemli miktarda kannabinoid içerdiği bilindiği için bu sonuç şaşırtıcı olarak nitelendirilmemiştir. Yüksek CBD değerine ise kenevir çiçeği içeren çay ve kahve (63,89 – 222,90 mg/kg) örneklerinde de rastlanmıştır (Christinat ve ark., 2020).

Kladar ve ark. (2021) yerel marketten temin ettikleri ürünlerde toplam Δ^9 -THC, CBD ve cannabinol (CBN) miktarlarını GC-MS ile tespit etmişlerdir. Analiz edilen ürün grupları: soğuk sıkım kenevir

tohumu yağları, kenevir tohumları (soyulmuş ve soyulmamış), kenevir proteinleri, kenevir çayı/çay karışımları, kenevir bazlı şekerlemeler ve kenevir bazlı alkollü içeceklerdir. Yapılan analiz sonucu soyulmuş ve soyulmamış kenevir tohumları, kenevir tohumu yağları, kenevir proteini, şekerlemeler ve alkollü içeceklerde tespit edilen CBD değer aralıkları sırasıyla 0,01-2; 0,01-5; 0,02-0,5; 0,01-0,1 ve 0,1-0,2 mg/gün' dür.

Bunun yanı sıra başka bir çalışmada ise CBD' nin sakız ve nane formülasyonlarına infüzyonu, CBD' nin zamanla vücuda salınımını sürdürmenin yeni bir yoludur ve bu tür ürünler birkaç şirket tarafından pazarlanmaktadır (King, 2019).

Yapılan çalışmalar ve üretilen ürünlere rağmen CBD kullanımının önünde bazı kısıtlayıcı faktörler bulunmaktadır. Söz konusu faktörler (i) CBD'nin herhangi bir gıda, içecek ve gıda takviyesi formülasyonlarında yer alması konusunda küresel yasal düzenlemelerin katı olması ve ülkeden ülkeye göre değişiklik göstermesi, (ii) CBD teriminin tüketiciler için yabancı olması, ayrıca dünyadaki çoğu kültürler için kenevirin yasadışı ve sağlığa zararlı olduğu algısının yerleşmesi, (iii) CBD'nin geleneksel ürünlere nasıl/hangi formda ilave edileceği konusunda yeterli araştırma/çalışmanın olmaması, (iv) Kenevir bitkisinin hasatta yüksek nem içeriğine sahip olması kalite kaybına ve mikrobiyal bozulmaya sebep olmaktadır (Chen ve Pan, 2021).

6. Sonuç

THC bileşeni, psikoaktif özelliklere sahip olmasından ve endüstriyel kenevir ekiminde yasal olarak sınırlandırılmasından dolayı fonksiyonel gıdalarda kullanımı söz konusu olmamaktadır. Diğer bir bileşen olan CBD'nin ise her ne kadar bazı ülkelerde üretim ve ürünlere işlenmesi yasak, bazı ülkelerde de sınırlı olsa da diğerlerinde serbest kullanımına izin verilmiştir. Böylece artan CBD katkılı ürün portföyü ise tüketiciler tarafından ilgi ile karşılanmıştır. Genel itibari ile ortaya konulan yararlı özelliklerinden dolayı CBD katkılı gıdalar fonksiyonel gıda pazarında giderek artan bir ivme kazanacaktır. Bu süreçte ise yasal anlamdaki farklılıkların bir süre sonra ortadan kalkması ile başlayan üretimler yerini yeni ve büyük bir pazara bırakacaktır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

Balpinar Ö., Aytac S. Tıbbi kenevir ve sağlık: farmakolojik bir derleme. Ankara Eczacılık Fakültesi Dergisi 2021; 45(3): 631-651.

Callaway JC. Hempseed as a nutritional resource: An overview. Euphytica 2004; 140: 65-72.

- Cassano R., Trombino S., Ferrarelli T., Nicoletta FP., Mauro MV., Giraldi C., Picci N. Hemp fiber (*Cannabis sativa* L.) derivatives with antibacterial and chelating properties. *Cellulose* 2013; 20(1): 547-557.
- Chen C., Pan Z. Cannabidiol and terpenes from hemp – ingredients for future foods and processing technologies. *Journal of Future Foods* 2021; 1(2): 113-127.
- Christinat N., Savoy MC., Mottier P. Development, validation and application of a LC-MS/MS method for quantification of 15 cannabinoids in food. *Food Chemistry* 2020; 318: 126469.
- Citti C., Linciano P., Panseri S., Vezzalini F., Forni F., Vandelli MA., Cannazza G. Cannabinoid profiling of hemp seed oil by liquid chromatography coupled to high-resolution mass spectrometry. *Front Plant Science* 2019; 10: 120.
- EFSA. Scientific Opinion on the risks for human health related to the presence of tetrahydrocannabinol (THC) in milk and other food of animal origin. *EFSA Journal* 2015; 13(6).
- Ersoy E. Dost mu düşman mı: Her yönüyle cannabis gerçeği. *Havan* 2020; 80: 26-32.
- European Commission (EC). Council Directive 2002/53/EC of 13 June 2002 on the common catalogue of varieties of agricultural plant species. Retrieved from Official Journal of the European Union, L193, 1–11.
- FDA. Food and Drug Administration (FDA) Responds to Three GRAS Notices for Hemp Seed-Derived Ingredients for Use in Human Food 2018; ABD.
- Freeman TP., Hindocha C., Green SF., Bloomfield MAP. Medicinal use of cannabis based products and cannabinoids. *BMJ* 2019; 365: 11141.
- Gökgöz AB., Yılmaz-Can E. Medikal ve endüstriyel açıdan kannabinoidlerin önemi ve Türkiye ekonomisine katkı potansiyeli. *Batı Karadeniz Tıp Dergisi* 2021; 5(3): 315-323.
- Guo TT., Zhang JC., Zhang H., Liu QC., Zhao Y., Hou YF., Bai L., Zhang L., Liu XQ., Liu XY., Zhang SY., Bai NS. Bioactive spirans and other constituents from the leaves of *Cannabis sativa* f. *sativa*. *J Asian Nat Prod Res* 2017; 19(8): 793-802.
- Hazekamp A. The trouble with CBD oil. *Med Cannabis Cannabinoids* 2018; 1(1): 65-72.
- Hughes B., Vandam L., Mounteney J., Griffiths P. Regulatory approaches to cannabidiol in the European Union: are market developments sowing the seeds of confusion? *Addiction* 2022; 117(1): 3-4.
- Kim NP., Aditya A., Kang HJ., Park HD. Unique approach of a telemedicine system for CBD-infused foods. *Processes* 2021; 9(6): 936.
- King JW. The relationship between cannabis/hemp use in foods and processing methodology. *Current Opinion in Food Science* 2019; 28: 32-40.
- Kladar N., Čonić BS., Božin B., Torović L. European hemp-based food products – Health concerning cannabinoids exposure assessment. *Food Control* 2021; 129: 108233.

- Lachenmeier DW., Walch SG. Cannabidiol (CBD): a strong plea for mandatory pre-marketing approval of food supplements. *Journal of Consumer Protection and Food Safety* 2020; 15(2): 97-98.
- Liang J., Zago E., Nandasiri R., Khattab R., Eskin NA., Eck P., Thiyam-Holländer U. Effect of solvent, preheating temperature, and time on the ultrasonic extraction of phenolic compounds from cold-pressed hempseed cake. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 2018; 95(10): 1319-1327.
- Lowe H., Steele B., Bryant J., Toyang N., Ngwa W. Non-cannabinoid metabolites of cannabis sativa L. with therapeutic potential. *Plants (Basel)* 2021; 10(2): 400.
- Mnekin L., Ripoll L. Topical use of cannabis sativa L. *Biochemicals. Cosmetics* 2021; 8(3): 85.
- Ordu Ticaret Borsası. Kenevir (Kendir) Raporu. <https://www.ordutb.org.tr/wp-content/uploads/2021/03/Kenevir-Raporu.pdf> 2021; Erişim Tarihi: 15.05.2022.
- Paul AA., Kumar S., Kumar V., Sharma R. Milk analog: Plant based alternatives to conventional milk, production, potential and health concerns. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2020; 60(18): 3005-3023.
- Resmi Gazete. Kenevir Yetiştiriciliği Ve Kontrolü Hakkında Yönetmelik, Sayı: 29842. <https://resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/09/20160929-3.htm>. Erişim tarihi: 15.05.2022.
- Saini RK., Keum YS. Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: Dietary sources, metabolism, and significance-A review. *Life Sciences* 2018; 203: 255-267.
- Salami SA., Martinelli F., Giovino A., Bachari A., Arad N., Mantri N. It is our turn to get cannabis high: Put cannabinoids in food and health baskets. *Molecules* 2020; 25(18): 4036.
- Selvi S., Temiz NN., Gökyer A., Büyükhelvacıgil S., Büyükhelvacıgil HF., Koparal B. Kenevir tohumu yağı. *Türk Farmakope* 2019; 4(2): 19-23.
- Sheriff T., Lin MJ., Dubin D., Khorasani H. The potential role of cannabinoids in dermatology. *J Dermatolog Treat* 2020; 31(8): 839-845.
- TİTCK. Yurt Dışı İlaç Listesi. <https://www.titck.gov.tr/dinamikmodul/44>. Erişim tarihi: 16.05.2022.
- Uğurlu M. Endüstriyel kenevir tohum üretiminin ekonomik analizi: Vezirköprü örneği. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2021; 3507-3518.
- Walker LA., Koturbash I., Kingston R., ElSohly MA., Yates CR., Gurley BJ., Khan I. Cannabidiol (CBD) in dietary supplements: Perspectives on science, safety, and potential regulatory approaches. *J Diet Suppl* 2020; 17(5): 493-502.
- Wheeler M., Merten JW., Gordon BT., Hamadi H. CBD (Cannabidiol) product attitudes, knowledge, and use among young adults. *Subst Use Misuse* 2020; 55(7): 1138-1145.
- Yıldırım S., Koca-Çalışkan U. Kenevir ve sağlık alanında kullanımı. *Ankara Ecz. Fak. Derg.* 2020; 44(1): 112-136.
- Zettler PJ., Lietzan E. A special exception for CBD in foods and supplements? *Drug Discovery Today* 2020; 25(3): 467-469.

Silajın Aerobik Safha Sorunlarının Çözümünde Biyoteknolojik Yaklaşımlar

Bahri Devrim ÖZCAN^{1*}

¹Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü Biyometri ve Genetik Anabilim Dalı, Adana

¹<https://orcid.org/0000-0002-9198-656X>

*Sorumlu yazar: bdozcan@gmail.com

Derleme Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 27.02.2022

Kabul tarihi: 26.05.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Silaj

Aerobik stabilite

Biyoteknoloji

Rekombinant silaj inokülantı

Silaj, yeşil yem materyallerinin fermantasyona uğratılması ile muhafazasında uygulanan bir yöntemdir. Anaerobik koşullar altında suda çözünür karbonhidratların laktik asit bakterilerince laktik asit ve diğer organik asitlere dönüştürmesi esasına dayanır. Laktik asit bakterileri tarafından üretilen laktik asit ile pH düşer ve böylece siloda bulunan yem materyali zararlı mikroorganizmalardan korunmuş olur. Silaj yapımında ticari silaj inokülantları yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. *Lactobacillus plantarum* hızlı üremesi ve pH'yı çabuk düşürmesi dolayısıyla ticari silaj inokülantları içerisinde önemli bir yere sahiptir. Son yıllarda gerek silajın yem değerinin artırılması gerekse aerobik bozulmanın önüne geçilebilmesi amacıyla yapılan biyoteknolojik çalışmalar önem kazanmıştır. Bu çalışmalar özellikle *L. plantarum* üzerine yoğunlaşmış ve moleküler genetik yöntemleriyle yeni özellikler kazandırılmış rekombinant suşlar geliştirilmiştir.

Biotechnological Approaches in Solving the Aerobic Phase Problems of Silage

Review Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 27.02.2022

Accepted: 26.05.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Silage

Aerobic stability

Biotechnology

Rekombinant silage inoculant

Silage is a method used to preserve fresh forage materials by fermentation. It is based on converting water-soluble carbohydrates into lactic acid and other organic acids by lactic acid bacteria under anaerobic conditions. The pH decreases by lactic acid produced by lactic acid bacteria and thus forage is protected against detrimental microorganisms in the silo. Commercial silage inoculants are widely used in silage making. *Lactobacillus plantarum* is the most important species found in commercial silage inoculants since it grows rapidly and lowers pH quickly. Biotechnological studies have gained importance in recent years, whether to increase the food value of silage or to prevent aerobic spoilage. These studies have mainly focused on *L. plantarum* and new recombinant species that acquired new properties and were developed by molecular genetic methods.

To Cite: Özcan BD. Silajın Aerobik Safha Sorunlarının Çözümünde Biyoteknolojik Yaklaşımlar. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 1105-1115.

1. Giriş

Silaj, yeşil yem bitkilerinin veya bir kısım sanayi artığı sulu kaba yemlerin anaerobik koşullar altında fermente edilerek saklanmasıyla elde edilen, besin madde bakımından oldukça zengin ve hayvanlar tarafından tercih edilebilir bir kaba yem kaynağıdır (Fabiszewska ve ark., 2019). Dünyada özellikle geniş getiren hayvanların beslenmesinde silaj kullanımı her gün daha büyük bir yaygınlık göstermektedir. Yeşil yemlerin diğer bir saklama yöntemi olan kuru ota göre daha düşük besin madde kaybına uğraması, her işletmede daha ucuz bir maliyetle ve kolaylıkla üretilebilmesi, her zaman

kurutma imkânının olmaması, yeşil mısır gibi bazı yemlerin kurutmaya uygun olmaması silaja gösterilen ilginin artmasının en büyük nedenleri olarak kabul edilmektedir (McDonald, 1981; Woolford, 1999; Ergül, 2000). Günümüzde ekonomik ve kârlı bir hayvansal üretim yapabilmek için yüksek kaliteli silajın üretimi ve kullanımı önemli bir önkoşuldur. Ruminantlardan elde edilecek ürünleri artıracak başta enerji düzeyi olmak üzere besleme değeri yüksek iyi kaliteli bir silaj yapımı; silajlık materyal üretimi, hasat, soldurma, parçalama, katkı maddeleri kullanımı, taşıma ve silonun doldurulması, sıkıştırma ve kapatma gibi birçok önemli kriterler ile birlikte fermantasyon kalitesine bağlıdır (Filya, 2000).

1.1. Silajın Mikrobiyolojisi

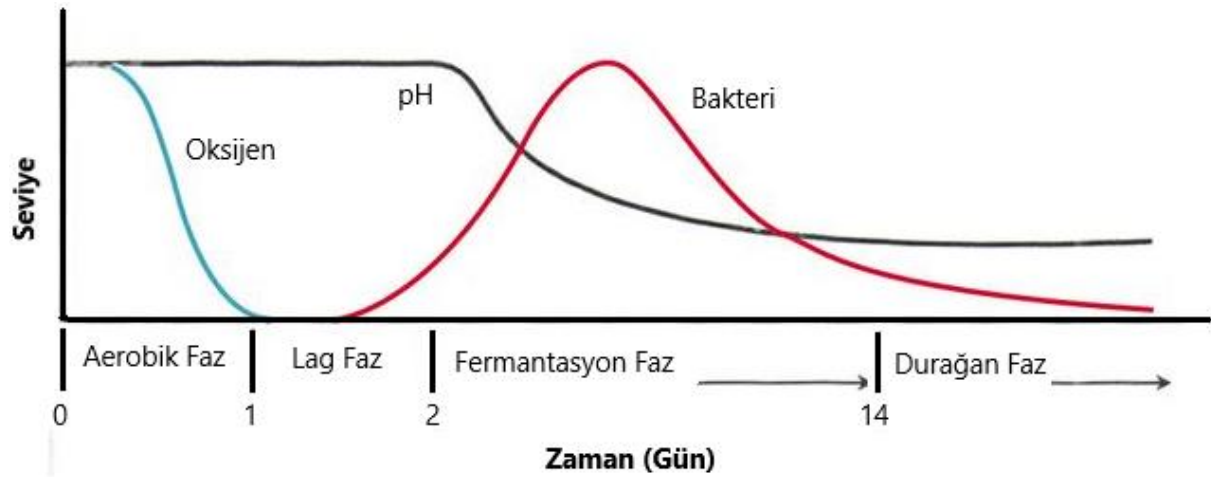
Silajın yapımı bir fermantasyon olayı olup, birçok farklı mikroorganizma grubunun kontrolü altında seyretmektedir. Fakat bu mikroorganizmaların tümünün silaja olumlu katkı sağladığı söylenemez. Zira, bunların bir kısmı silajın oluşumunda olumlu etkiye sahipken, diğer bir kısmının varlığı ve/veya belli ölçüde gelişimi silaj kalitesini olumsuz etkileyeceğinden arzu edilmez. Silaj fermantasyonunda laktik asit bakterileri istenen, buna karşılık *Clostridium*, *Enterobacteriaceae* familyasına ait olanlar, mayalar, asetik asit bakterileri, küf mantarları ve *Listeria* ise istenmeyen mikroorganizmalar grubunda yer alırlar (Çayiroğlu ve ark., 2016). Nitelikli bir silajda laktik asit bakterilerinin etkin olduğu ancak mikrobiyal kaynaklı bozulmaya maruz kalmış silajda ise küf, maya, asetik asit bakterileri gibi istenmeyen mikroorganizmaların yoğun olarak geliştiği görülür. Silajda bulunan laktik asit bakterileri homofermentatif (homolaktikler) ve heterofermentatif (heterolaktikler) olmak üzere 2 grup altında ele alınır. Homofermentatif laktik asit bakterileri glukoz ve fruktoz gibi 6 karbonlu karbonhidratları sadece laktik asite dönüştürürken heterofermentatifler bunlara ek olarak arabinoz ve ksiloz gibi pentozlardan laktik asit yanında asetik asit, etanol ve karbondioksit üretirler. Burada oluşan etanol daha sonra asetik asite okside olur. Bunun da çok az bir kısmı (%0,3-0,5) silajdaki söz konusu bakterilerin etkinliklerinde değerlendirilir (Menke ve Huss, 1975; Basmacıoğlu ve Ergül, 2002). Diğer taraftan heterofermentatif laktik asit bakterilerinin neden oldukları kimyasal reaksiyonun hızı homofermentatif laktik asit bakterilerine göre daha düşüktür. Ayrıca homofermentatif laktik asit bakterileri daha az bir enerji kaybı ile 1 mol glukozdan 2 mol laktik asit oluştururken heterofermentatiflerde laktik asit üretimi 1 mol'e düşer ve bu olaydaki pH'nın düşmesi daha yavaş olur. Buna bağlı olarak da kuru madde ve dolayısıyla enerji kaybı daha yüksektir (Woolford, 1999).

Silaj yapımında sıklıkla kullanılan mikrobiyal inokülantlar, laktik asit fermantasyonunu sağlayabilecek yoğunlukta laktik asit bakterileri ya da bakteri gruplarını içeren ürünler olarak tanımlanmaktadır. Geleneksel katkı maddelerinin dolaylı etkilerine karşın bu tip ürünler, silolanacak kitlede arzu edilen mikroorganizma bileşiminin doğrudan oluşturulması amacı ile kullanılmaktadır (Yurtman ve ark., 1997; Özdüven ve ark., 1999). İnokülant olarak kullanılan Laktik Asit Bakterileri (LAB), silajda laktik asit fermantasyonunu hızlandırarak asiditenin yükselmesine (yaklaşık pH 4) neden olarak bütirik asit bakterilerinin gelişimini de engellemiş olurlar. Zira fermantasyon kalitesi laktik asit ve bütirik asit

içeriğine göre değişiklik göstermektedir. İyi bir silajda fazla miktarda laktik asit istenirken genelde bütirik asit hiç istenmez veya çok az bulunmasına müsaade edilir (Kung, 2005). Silaj materyalinde her bir g taze materyal başına 10^2 ila 10^4 gibi düşük sayıda homofermentatif aside toleranslı laktik asit bakterisi bulunur ve silolama esnasında bu tip çok sayıda laktik asit bakterisinin, özellikle $10^6/g$ dozunda *Lactobacillus plantarum*'un korumaya yardımcı olduğu bildirilmiştir (Fitzsimons ve ark., 1994). Bu nedenle silaj yapımında, homofermentatif LAB'lerinden birisi olan *L. plantarum* en çok kullanılan bakteri konumunda olmakla birlikte *L. acidophilus*, *Pediococcus cerevisiae*, *P. acidilactici* ve *Enterococcus faecium*'da sıklıkla kullanılmaktadır. Bu mikroorganizmaların fermantasyon esnasında pH düşüşünü hızlandırdığı, silaj kuru madde kaybını azalttığı ve birçok durumda hayvanların performansını iyileştirdiği kanıtlanmıştır (Combs ve Hoffman, 2001). Çoğu LAB inokülantları bitki materyallerinden izole edilen *L. plantarum*'dan oluşmaktadır (Ohmomo ve ark., 2002).

1.2. Silaj Oluşumunun Evreleri

Silaj oluşumunun evreleri genel olarak aerobik faz, lag fazı, fermantasyon fazı ve durağan faz olmak üzere dört fazdan meydana gelmektedir (Şekil 1). Bu fazları, silajın açıldığı ve hayvanlara yedirilmeye başlandığı yemleme fazı takip eder.



Şekil 1. Silaj oluşumunun safhaları (Romero ve ark., 2005)

Aerobik fazda, silaj hammaddesi bitkiler kıyıldıktan sonra da solunuma devam eder. Bitkiler ortamdan oksijeni alarak karbondioksiti salarlar. Doğal olarak ortamda bulunan aerobik bakteriler hızla azalmaya başlar. Gerek aerobik bakterilerce gerekse bitkilerin solunumu ile kullanılan oksijen hızla tükenmeye başlar ve kısa bir süre sonra anaerobik evre başlar. Silaj materyali içinde kalan oksijen miktarı lif seviyesine, nem içeriğine, silo dolum oranına ve materyalin kıyılma büyüklüğüne bağlıdır. Oksijenin tamamı karbondioksit dönüşüğü ve ortama oksijen sızıntısı olmadığı takdirde silajda maya ve küf gelişmeyecektir.

Fermentasyon faz, laktik asit bakterilerinin dominant hale geçerek ortam pH'sını 6,5-6,7'den 5,5-5,7'ye düşürdüğü evredir. Laktik asit bakterileri silajda bulunan en önemli mikroflora grubudur. Bu, silaj materyalinin laktik asit tarafından korunmasını sağlamaktadır. Diğer mikroorganizmalar Enterobacteriaceae, clostridial sporlar, mayalar ve küfler silajda negatif etki yapmaktadırlar. İstenmeyen mikroorganizmalar, fermente edilebilir karbonhidratlar için laktik asit bakterileri ile yarışır ve bunların çoğu silaj korunmasında etkili olmamakla birlikte negatif bir etki oluşturmaktadırlar (Avila ve Carvalho, 2019).

Durağan fazda düşük pH bakteriyel faaliyeti durdurur ve silaj dengeye gelir. Eğer yetersiz laktik asit şekillenirse, istenmeyen bakteriler (*clostridia*) bütirik asit üreterek proteinlerde bozulmalara neden olabilir. Yemleme fazı, silajın oluşumu tamamlandıktan sonra hayvanlara yedirilmek üzere açıldığı safhadır ve bu safhanın en büyük sorunu ise maya ve küfün üreyerek silajın aerobik bozulmaya maruz kalmasıdır (Filya 2001).

1.3. Silajın Aerobik Stabilitesi ve Yemleme Safhasının Sorunları

Silo açıldıktan sonra havanın silaj yüzeyi ile temasını engellemek hemen hemen imkânsızdır. Bu safhada kuru madde ve besin madde kaybı en yüksek seviyededir. Çünkü aerobik mikroorganizmalar silajda bulunan şeker, fermentasyon ürünleri (laktik asit ve asetik asit de dahil olmak üzere) ve diğer suda çözünür besin maddelerini kullanmaya başlarlar. Bu suda çözünür bileşenler karbondioksit ve suya dönüşürken silajda ısı yükselmesi de meydana gelir. Maya ve küfler silajın bozulmasında rol oynayan birinci derecede mikroorganizmalardır. Bunların yanı sıra Enterobacteriaceae ve *Bacillus* spp.'da bazı durumlarda bozulmada önemli rol oynamaktadırlar (Woolford, 1990). Silajda, yüksek düzeyde çözülebilir besin madde kaybından başka, bazı küflerce üretilen mikotoksin ve/veya diğer toksik maddeler de gerek hayvan gerekse kontamine hayvansal gıdalarla insan sağlığını ciddi şekilde tehdit etmektedirler.

Silajın aerobik stabilitesi, silaj içi sıcaklığın düşük seviyede seyrettiği ve hava ile teması sonucunda bozulmadan kaldığı sürenin uzunluğu olarak tanımlanmaktadır (Çayıroğlu ve ark., 2016). Silajın aerobik olarak stabil (kararlı) kalması istenen bir durumdur. Genellikle silaj açıldıktan sonra yüksek miktarda mayaya (100,000-1,000,000 maya kolonisi/gr yaş silaj) maruz kalması ile hızla bozulma başlarken, düşük miktarda mayaya (100-10,000 maya kolonisi/gr yaş silaj) maruz kalması durumunda genellikle uzun bir süre stabil kalabilmektedir. Fakat uygun şartlar altında mayanın hücre sayısını 2 saat içinde ikiye katladığı düşünülürse, açıldıktan sonra hava ile temas eden silajın çabucak bozulmaya başlayacağını tahmin etmek zor değildir. Burada rol oynayan başlıca maya türleri *Candida*, *Hansenula*, *Pichia*, *Issatchhenkia* ve *Saccharomyces*'dir (Woolford, 1990). Laktik asitin mayalar tarafından yıkılması ile yükselen pH, fırsatçı bakterilerin (örneğin *Bacilli*) ile küflerin (örneğin *Aspergillus*, *Fusarium* ve *Penicillium*) üremesine zemin hazırlayarak silajın kalitesinde önemli bir düşüşe sebep olur (McDonald ve ark., 1991).

Hayvanların bozulmuş silajı tüketmesi durumunda, zararlı mayalar tarafından üretilen son ürünlerin rumen fermantasyonunu değiştirmesi, performansın düşmesi ile küf ve diğer mikroorganizmalarca üretilen istenmeyen son ürünlerin (örneğin mikotoksinler) sebep olduğu diğer problemler gözlenebilir. Clostridial fermantasyon geçirmiş ve yüksek düzeyde bütirik asit konsantrasyonuna sahip silaj materyali hava ile temas ettiğinde oldukça stabildir. Bununla birlikte clostridial silajlar yüksek düzeyde kuru madde ve besin madde kaybına sebep olduğu için hiç arzu edilmez. Bunun yanında asetik asit konsantrasyonu yüksek silaj materyali de hava ile temas durumunda oldukça stabildir. Çünkü asetik asit mayaya karşı oldukça toksiktir. Fakat yüksek asetik asit konsantrasyonu da heterolaktik fermantasyonunun bir göstergesi olduğu için gene istenmeyen bir durumdur.

1.4. Aerobik Stabilitiyi Artırmaya Yönelik Çalışmalar

Silajın aerobik stabilitesini artırmak için şu ana kadar antifungal özellik taşıyan birçok kimyasal katkı maddeleri kullanılmıştır. Propiyonik asit temelli ürünler gerek korozyona sebep olmaması gerekse kullanımının güvenli olması açısından ön plana çıkmaktadır. Ayrışmamış propiyonik asit güçlü bir antifungal özelliğe sahiptir. Ayrışmamış propiyonik asit hem mikroorganizma yüzeyinde aktif kalarak hem de mikropların hücre geçirgenliğini değiştirerek fonksiyon gösterirler. Fakat propiyonik asitin bileşenlerine ayrışması pH'a bağlı bir özellik göstermekte olup, pH 6 civarlarında yaklaşık %1'i, 4,8'de ise yaklaşık %50'si ayrışmaktadır. Dolayısıyla düşük pH'lı silajda propiyonik asit kullanımından istenen verim alınmamaktadır. Bunun yanında sorbik asit, benzoik asit ve asetik asit içerikli antifungal bileşikler de kullanılmakla birlikte, bunların yüksek konsantrasyonlarda kullanılması oldukça pahalıya mal olmaktadır. Diğerlerine göre daha az kullanılmakla birlikte maya ve fungusu kontrol altında tutan maddelerden birisi de amonyaktır. Fakat amonyak kullanımındaki en önemli dezavantaj, uygulama esnasında kullanan kişinin güvenliğidir. Ayrıca amonyak ile muamele edilmiş silajların oranları rumende sindirilebilen ve sindirilemeyen protein miktarları ile tam olarak ayarlanmalıdır. Üre ise silajın aerobik stabilitesini artırmada amonyağa göre daha az etkilidir (Kung, 2005).

Homofermentatif laktik asit bakterisine dayalı bakteriyel inokülanlar fermantasyonu geliştirmek ve kuru madde içeriğini artırmak için silaja sıklıkla ilave edilmektedirler. Bununla birlikte bu inokülanların birçoğu maya gelişimini düşük düzeyde inhibe etmektedirler. Çünkü bu bakterilerce bol miktarda üretilen laktik asit düşük antifungal etkiye sahiptir ve ayrıca mükemmel bir antifungal etkiye sahip uçucu asitlerin miktarını düşürmektedir (Kung, 2005). Laktik asit bakterileri ve selülaz enzim kombinasyonları silajda aerobik stabiliteyi artırmada etkin bir şekilde kullanılmıştır (Seale, 1987). Fakat bu silaj katkı maddelerinin yüksek maliyeti nedeniyle yaygın bir şekilde kullanımını kısıtlamaktadır (Scheirlinck ve ark., 1989).

Son yıllarda, obligat heterofermentatif laktik asit bakterisi olan *Lactobacillus buchneri* değişik silajlarda aerobik stabiliteyi artırmak için silaj inokülanı olarak kullanılmaya başlanmıştır (Muck, 1996; Driehuis ve ark., 1999; Kung ve Ranjit, 2001; Kleinschmit ve ark., 2005). Silaj ortamında laktik

asit konsantrasyonunu azaltması ve asetik asit konsantrasyonunu artırması *L. buchneri*'nin silaj inokülantı olarak kullanılmasındaki en önemli etken olmuştur. *L. buchneri* kullanılması ile silaj ortamında gelişen maya sayısında 10 kata varan azalmalar gözlenmektedir. Bu da silajın aerobik stabilitesinin artmasını sağlamaktadır. Silajdaki laktik asit:asetik asit oranının 3:1 olması istenen bir durum olmakla birlikte *L. buchneri* kullanılan silajlarda bu orana genellikle ulaşamaz. *L. buchneri* kullanılarak yapılan silajlarda meydana gelen kuru madde kaybı aslında en önemli dezavantaj olarak görülmektedir. Yapılan çalışmalarda, *L. buchneri*'nin kullanıldığı silajlarda meydana gelen kuru madde kaybının kontrol grubuna göre %1-2 daha fazla ortaya çıktığı gözlenmiştir (Holzer ve ark., 2003). Bu olumsuz etkisi, silaj yapımında *L. buchneri* kullanımını kısıtlayan önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Fakat yemleme safhasında bozulmanın büyük boyutlarda olması durumunda, bu olumsuzluk göz ardı edilerek *L. buchneri*'nin kullanılması tavsiye edilen bir durumdur.

1.5. Silajın Aerobik Stabilitesinin Artırılmasına Yönelik Biyoteknolojik Yaklaşımlar

Silajın aerobik stabilitesinin artırılması amacıyla kullanılan ve yukarıda bahsi geçen katkı maddelerinin yüksek maliyet, yeterli etkiye sahip olmaması, kullanıcı sağlığını tehdit etmesi, kuru madde kaybını artırması gibi sebeplerden dolayı kullanımının kısıtlanması, sorunu çözmek amacıyla bilim insanlarını farklı yaklaşımlara yönlendirmektedir. Bu yaklaşımların başında biyoteknoloji ve rekombinant DNA teknolojisi gelmektedir. Laktik asit bakterileri üzerine yapılan çalışmalar genellikle fermantasyonun geliştirilmesi, silajın depolanması ve hayvanlar tarafından sindirilebilirliğinin artırılmasına katkı sağlayacak laktik asit bakterilerinin geliştirilmesini hedeflemiştir (Bates ve ark., 1989; Ozkose ve ark., 2009). Maya ve fungusların ortamda gelişmesini önleyebilecek enzim veya diğer moleküllerin silaj bakterilerinde klonlanması ile bu enzim veya moleküllerin silaj ortamına doğrudan sentezlenmesi, böylece fungus ve maya gibi istenmeyen mikroorganizmaların baskılanarak silajda bozulmanın önüne geçilmesi gibi alternatif arayışlar güncelliğini korumaktadır. Bu arayışlar içerisinde, maya hücre duvarının yapısında bulunan β -1,3-glukanlar, β -1,6-glukanlar, mannopteinler ve kitinler gibi kompleks polimerlerin ilgili enzimlerce hidrolizine yönelik çalışmalar önceliğini korumaktadır. Farklı kaynaklarda *Cellulomonas cellulans*, *Oerskovia xanthineolytica* ve *Arthroacter luteus* gibi sinonim isimlerle de karşımıza çıkan *Cellulosimicrobium cellulans*, maya litik enzimleri olan endo- β -1,3-glukanazların, proteazların ve mannanazların önemli bir üretim kaynağıdır. *C. cellulans* endo- β -1,3-glukanaz enziminin kilit öğelerini ve maya hücre duvarı litik enzimlerini içermektedir. Bu enzim preparasyonlarının büyük kısmını endo- β -1,3-glukanazlar oluşturmaktadır. Farklı *C. cellulans* suşlarından β -1,3-glukanaz genleri diğer mikroorganizmalarda klonlanarak rekombinant olarak üretimi gerçekleştirilmiştir (Doi ve Doi, 1986; Ferrer ve ark., 1996a; Ferrer ve ark., 1996b; Okazaki ve ark., 2007; Özcan ve ark., 2013a). Fakat *C. cellulans* β -1,3-glukanaz geninin *L. plantarum*'da klonlanarak aerobik stabiliteyi artırabilecek rekombinant bir silaj inokülantının geliştirilmiş olması (Özcan ve ark., 2013b) silajın aerobik stabilitesi açısından ayrı bir anlam taşımaktadır. Bilhassa bu mikroorganizmadan elde edilen ve Litikaz, Zimolizaz ve Kantazim ticari

ismiyle piyasada bulunan enzimler maya-litik preparatı olarak kullanıma sunulmuştur. Bu enzimler maya protoplast preparasyonlarında ve maya DNA'sı izolasyonlarında halen yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. *Cellulosimicrobium cellulans* β -1,3-glukanazları maya ve fungus hücre duvarı yapısal analiz çalışmalarında ve temel biyolojik araştırmalarda geniş potansiyel uygulama alanı bulması sebebiyle (Ferrer, 2006) bu konu üzerindeki çalışmalar devam etmektedir. Silajın aerobik stabilitesinin artırılmasına yönelik bir başka yaklaşım, *L. buchneri* bakterisinde β -1,3-glukanaz ve kitinaz gibi maya ve fungus hücre duvarını lize eden enzim genlerinin klonlanarak rekombinant silaj inokülanlarının geliştirilmesi olabilir.

Rekombinant silaj inokülanı geliştirilmesinde bir diğer yaklaşım kitinaz enzimi üreten *L. plantarum* suşunun geliştirilmesi olmuştur (Nguyen ve ark., 2012). Kitin fungal hücre duvarının esansiyel bileşenlerinden birisidir ve kitinaz enzimlerince depolimerize edilebilir. Bu, özellikle silajın aerobik stabilitesinin artırılması için olumlu bir yaklaşım olabilir. Hatta kitinaz ve β -1,3-glukanaz enzimlerini bir arada üreten rekombinant *L. plantarum* bakterisinin geliştirilmesi, aynı anda maya ve fungus kontaminasyonlarına karşı bir koruma sağlayabileceğinden, daha iyi bir yaklaşım olabilir.

1.6. Silajın Kalitesini Artırmak İçin Yapılmış Gen Aktarım Çalışmaları

Silajda kaliteyi artırmak için bazı biyoteknolojik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda vazgeçilmez bir silaj inokülanı olan *L. plantarum* yoğun bir şekilde kullanılmış ve bu mikroorganizmada bazı genler klonlanmıştır (Özcan ve Ayaşan, 2009). β -1,4-glukanaz geni klonlanarak geliştirilmiş *L. plantarum* bu konuda önemli bir adımdır. Çünkü β -1,4-glukanaz hem kuru madde kaybını azaltmakta hem de bitkilerin hücre duvarını yumuşatarak laktik asidin bitki dokularına nüfuzunu hızlandırmaktadır. Yapılan çalışmada endo-1,4- β -glukanaz geni aktarılmış *L. plantarum* suşunun silajda kullanılması ile asitlenme kapasitesinin arttığı da bildirilmiştir (Rossi ve ark., 2001). Yine silajda kaliteyi ve sindirilebilirliği artırmak amacıyla selülaz, ksilanaz ve likenaz genleri de *L. plantarum*'a klonlanarak yeni silaj inokülanları geliştirilmiştir (Scheirlinck ve ark., 1990). Ksilanaz enziminin silaj materyalinden fermente edilebilir karbonhidratları serbest bırakacağından, ksilanaz enzimini rekombinant olarak üreten *L. plantarum* bakterisinin silaj kalitesinin artırılmasında önemli bir rol oynayabileceği bildirilmiştir (Kulkarni ve ark., 1999).

Yoncanın önemli miktarda nişasta içermesi, yonca silajlarında amilolitik aktiviteye sahip silaj inokülanlarının kullanılmasını gerektirebilir. Fakat silaj inokülanı olarak kullanılan birçok laktik asit bakterisi amilolitik aktiviteden yoksundur. Bu sebeple yoncanın materyal olarak kullanıldığı silajlarda kullanılabilme üzere *Lactobacillus amylovorus* α -amilazını rekombinant olarak üreten *L. plantarum* bakterisi geliştirilmiştir (Fitzsimons ve ark., 1994). Benzer bir çalışmada Scheirlinck ve ark. (1989) *Bacillus stearothermophilus* α -amilaz geni ile *Clostridium thermocellum* endoglukanaz genlerinin *L. plantarum* kromozomuna integrasyonunu gerçekleştirerek her iki enzimi de ekstraselüler olarak üreten rekombinant silaj inokülanı geliştirmişlerdir. Bununla birlikte, yonca silajında α -amilaz geni

aktarılmış silaj inokülantının kullanılması çok anlamlı bir yaklaşım olmayabilir. Zira yoncanın sorunu, buffer kapasitesinin (asite dirençliliğinin) yüksekliğidir.

2. Sonuç

Silaj, su içeriği bakımından zengin kaba yemlerin oksijensiz ortamda laktik asit bakterilerince fermantasyona uğratarak elde edilen, besin değeri yüksek ve hayvancılıkta vazgeçilemeyen bir kaba yemdir. Yapımında laktik asit bakterilerinden faydalanılması dolayısıyla gerek yem değerinin gerekse açıldıktan sonra aerobik stabilitesinin artırılması konusunda biyoteknolojinin yoğun ilgisine maruz kalmıştır. Özellikle temel laktik asit bakterisi olan *L. plantarum* bu ilginin odağı haline gelmiş, silajın yem değerinin artırılmasına katkı sağlayacak bazı genler bu bakteride klonlanmıştır. Yine silaj açıldıktan sonra en büyük problem olan aerobik bozulmanın önüne geçebilmek için eklenen bazı katkı maddelerinin tek başına yeterli olmaması, maliyetinin yüksekliği, kullanıcı sağlığını tehdit etmesi, silajda kuru madde kaybına sebep olmaları gibi bazı olumsuzlukları biyoteknologların gözünden kaçmamış ve bu soruna temel çözüm bulma arayışlarına girmişlerdir. Özellikle aerobik bozulmanın en büyük nedenlerinden olan maya ve fungus gibi mikroorganizmaların, silaj açıldıktan sonra ortamda üreme ve gelişmesini önleyecek bazı enzimlere ait genlerin laktik asit bakterilerinde klonlanarak bu enzimlerin silaj ortamına doğrudan sentezlenmesine yönelik çalışmalar güncelliğini korumaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Avila CLS., Carvalho BF. Silage fermentation-updates focusing on the performance of micro-organisms. *Journal of Applied Microbiology* 2019; doi:10.1111/jam.14450.
- Bates EEM., Gilbert HJ., Hazlewood GP., Huckle J., Laurie JL., Mann SP. Expression of a *Clostridium thermocellum* endoglucanase gene in *Lactobacillus plantarum*. *Applied and Environmental Microbiology* 1989; 55: 2095-2097.
- Basmacıoğlu H., Ergül M. Silaj mikrobiyolojisi. *Hayvansal Üretim* 2002; 43(1): 12-24.
- Combs DK., Hoffman PC. *Lactobacillus buchneri* for silage aerobic stability. *Focus on Forage* 2001; 3(14): 1-3.
- Çayıroğlu H., Coşkun İ., Şahin A. Silajın aerobik stabilitesini etkileyen faktörler ve iyileştirme stratejileri. *Alınları* 2016; 31(B): 91-97.
- Doi K., Doi A. Cloning and expression in *Escherichia coli* of the gene for an *Arthrobacter* β -(1 \rightarrow 3)-glucanase. *Journal of Bacteriology* 1986; 168(3): 1272-1276.

- Driehuis F., Oude Elferink SJWH., Spolestra SF. Anaerobic lactic acid degradation during ensilage of whole crop maize inoculated with *Lactobacillus buchneri* inhibits yeast growth and improves aerobic stability. *Journal of Applied Microbiology* 1999; 87: 583-594.
- Ergül M. Yem zararlıları ve etkileri. International Animal Nutrition Congress 2000', 4-6, Eylül 2000, Isparta-Türkiye.
- Fabiszewska AU., Zielinska KJ., Wrobel B. Trends in designing microbial silage quality by biotechnological methods using lactic acid bacteria inoculants: a minireview. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 2019; 35(76): 1-8.
- Ferrer P., Halkier T., Hedegaard L., Savva D., Diers I., Asenjo JA. Nucleotide sequence of a β -1,3-glucanase isoenzyme II_A gene of *Oerskovia xanthineolytica* LL G109 (*Cellulomonas cellulans*) and initial characterization of the recombinant enzyme expressed in *Bacillus subtilis*. *Journal of Bacteriology* 1996a; 178(15): 4751-4757.
- Ferrer P., Hedegaard L., Halkier T., Diers I., Savva D., Asenjo JA. Molecular cloning of a lytic β -1,3-glucanase gene from *Oerskovia xanthineolytica* LL G109: A β -1,3-glucanase able to selectively permeabilize the yeast cell wall. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1996b; 782(1): 555-565.
- Ferrer P. Revisiting the *Cellulosimicrobium cellulans* yeast-lytic β -1,3-glucanases toolbox: A review. *Microbial Cell Factories* 2006; 5(10): 1-8.
- Filya İ. Silaj fermentasyonu. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2001; 32(1): 87-93.
- Fitzsimons A., Hols P., Jore J., Leer RJ., O'connell M., Delcour J. Development of an amylolytic *Lactobacillus plantarum* silage strain expressing the *Lactobacillus amylovorus* α -amylase gene. *Applied and Environmental Microbiology* 1994; 60(10): 3529-3535.
- Holzer M., Mayrhuber E., Dannerr H., Braun R. The role of *Lactobacillus buchneri* in forage preservation. *Trends in Biotechnology* 2003; 21: 282-287.
- Kleinschmit DH., Schmidt RJ., Kung Jr L. The effects of various antifungal additives on the fermentation and aerobic stability of corn silage. *Journal of Dairy Science* 2005; 88: 2130-2139.
- Kulkarni N., Shendye A., Rao M. Molecular and biotechnological aspects of xylanases. *FEMS Microbiology Reviews* 1999; 23: 411-456.
- Kung Jr L., Ranjit NK. The effect of *Lactobacillus buchneri* and other additives on the fermentation and aerobic stability of barley silage. *Journal of Dairy Science* 2001; 84: 1149-1155.
- Kung L. Aerobic stability of silages. *Proceedings of the Silage for Dairy Farms*, Harrisburg, PA, 2005, University of Delaware, Department of Animal and Food Sciences.
- McDonald P., Henderson AR., Heron SJE. *The biochemistry of silage*. 2nd ed. Chalcombe Publ., Church Lane, Kingston, Canterbury, Kent, UK 1991.
- McDonald P. *The biochemistry of silage*. John Wiley and Sons. Chalcome Publications, 226, 1981.
- Menke KH., Huss W. *Tierernährung und Futtermittelkunde*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 1975.
- Muck RE. A lactic acid bacteria strain to improve aerobic stability of silages. In, *Research Summaries*,

- 42-43, U.S. Dairy Forage Research Center, Madison, WI 1996.
- Nguyen HA., Nguyen T-H., Nguyen T-T., Peterbauer CK., Mathiesen G., Haltrich D. Chitinase from *Bacillus licheniformis* DSM13: Expression in *Lactobacillus plantarum* WCFS1 and biochemical characterization. *Protein Expression and Purification* 2012; 81: 166-174.
- Ohmomo S., Tanaka O., Kitamoto HK., Cai Y. Silage and microbial performance, old story but new problems. *Japan Agricultural Research Quarterly* 2002; 36(2): 59–71.
- Okazaki K., Nishimura N., Matsuoka F., Hayakawa S. Cloning and characterization of the gene encoding endo- β -1,3-glucanase from *Arthrobacter* sp. NHB-10. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry* 2007; 71(6): 1568-1571.
- Ozkose E., Akyol I., Kar B., Comlekcioglu U., Ekin MS. Expression of fungal cellulase gene in *Lactococcus lactis* to construct novel recombinant silage inoculants. *Folia Microbiologica (Praha)* 2009; 54: 335–342.
- Özcan BD., Ayaşan T. Hayvan beslemede biyoteknoloji uygulamaları. *Journal of Poultry Research* 2009; 8(1): 58-64.
- Özcan BD., Özcan N., Baylan M., Güzel Aİ. Cloning and expression of β -1,3-glucanase gene from *Cellulosimicrobium cellulans* in *Escherichia coli* DH5 α . *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2013a; 19(3): 523-528.
- Özcan BD., Özcan N., Baylan M., Güzel Aİ. Cloning and expression of *Cellulosimicrobium cellulans* β -1,3-glucanase gene in *Lactobacillus plantarum* to create new silage inoculant for aerobic stability. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2013b; 19(4): 575-581.
- Özdüven ML., Koç F., Yurtman İY. Mikrobiyal katkı maddelerinin mısır silajında kalite ve aerobik dayanıklılık üzerindeki etkileri. *Tarım Bilimleri Dergisi* 1999; 5(3): 7-12.
- Romero J., Castillo M., Burns J. Forage Conservation Techniques: Silage and Haylage Production Introduction. *North Carolina Cooperative Extension Resources* 2005; 1-8.
- Rossi F., Rudella A., Marzotto M., Dellaglio F. Vector-free cloning of a bacterial endo-1,4- β -glucanase in *Lactobacillus plantarum* and its effect on the acidifying activity in silage: Use of recombinant cellulolytic *Lactobacillus plantarum* as silage inoculant. *Antonie Leeuwenhoek* 2001; 80(2): 139-147.
- Scheirlinck T., Mahillon J., Joos H., Dhaese P., Michiels F. Integration and expression of α -amylase and endoglucanase genes in the *Lactobacillus plantarum* chromosome. *Applied and Environmental Microbiology* 1989; 55(9): 2130-2137.
- Scheirlinck T., Meutter JD., Arnaut G., Joos H., Claeysens M., Michiels F. Cloning and expression of cellulase and xylanase genes in *Lactobacillus plantarum*. *Applied Microbiology and Biotechnology* 1990; 33(5): 534-541.
- Seale DR. Bacteria and enzyme as products to improve silage preservation. In, Wilkinson JM, Stark BA (Eds): *Developments in Silage*. 47-61, Chalcombe Publications, Marlow, United Kingdom 1987.

Woolford MK. The detrimental effects of air on silage. *Journal of Applied Microbiology* 1990; 68: 101-116.

Woolford MK. *The Science and Technology of Silage Making*. Alltech Technical Publications, 1999.

Yurtman İY., Koç F., Özdüven ML., Erman MS. Silaj üretiminde mikrobiyal katkı maddelerinin kullanımı. *Trakya Bölgesi II. Hayvancılık Sempozyumu*, 9-10 Ocak 1997, s. 346-351, Tekirdağ.