



Hydrogen Separation Using Co-doped MOF-5/Polyimide Mixed Matrix Membrane for Energy Application

Hülya Aykaç Özen^{1*}, Bahtiyar Öztürk²

¹Ondokuz Mayıs University, Engineering Faculty, Environmental Engineering Department, Samsun, Turkey (ORCID: 0000-0003-4990-6682)

²Ondokuz Mayıs University, Engineering Faculty, Environmental Engineering Department, Samsun, Turkey (ORCID: 0000-0002-3385-0701)

(First received 31 August 2018 and in final form 28 February 2019)

(DOI:10.31590/ejosat.456464)

REFERENCE: Özen, H. A. & Öztürk, B. (2019). Hydrogen Separation Using Co-doped MOF-5/Polyimide Mixed Matrix Membrane for Energy Application. *European Journal of Science and Technology*, (15), 1-9.

Abstract

Hydrogen is the most abundant element in the universe, can be produced by water, stored easily, converted into thermal, mechanical and electrical energy. Because of these properties, it can be considered as the energy carrier of the future. In order to use hydrogen as energy carrier, it must be separated from the gas mixture. Hydrogen separation using membrane method has the advantage over other separation methods due to its less energy intensive and environmental friendly properties. Mixed matrix membrane (MMM) has been developed so as to membrane properties become better and increase the performance of gas separation membranes. MOFs as a new fillers in MMM with high surface area and pore volume, enhance the H₂ gas separation properties. In this study, MOF-5 and Co-doped MOF-5 particles were synthesized, characterized and incorporated into polyimide to investigate the effect of filler on the H₂ gas permeation. Co-doped MOF-5/PI MMMs with different loading rate (5wt.%, 10wt.%, 15wt.%) were fabricated. The characterization was performed by different analysis techniques. The gas analyses results showed that permeability of H₂ gas in mixed matrix membrane including MOF-5 and Co-doped MOF-5 particules were enhanced with increasing the loading rate (5wt.%, 10wt.%, 15wt.%) at room temperature and pressure of 500 kPa. Furthermore, metal doped MOFs/PI is the highest gas permeation properties compared to pure PI and MOF-5/PI.

Key words: Hydrogen Energy, Mixed Matrix Membrane, Metal Organic Framework.

Enerji Uygulamasında Co katkılı MOF-5/Poliimit Karışık Matriksli Membranlar Kullanarak Hidrojen Ayırımı

Öz

Evrende bol miktarda bulunan hidrojen; su tarafından üretilebilmesi, kolayca depolanabilmesi, termal, mekanik ve elektrik enerjisine dönüşebilmesi özelliklerinden dolayı geleceğin enerji taşıyıcısı olarak düşünülebilmektedir. Hidrojenin enerji taşıyıcısı olarak kullanılabilmesi için içinde bulunduğu gaz karışımından ayrılması gerekmektedir. Membran yöntemi kullanılarak hidrojen ayırma, diğer ayırma yöntemlerine göre daha az enerji yoğunluğuna sahiptir ve çevre dostudur. Gaz ayırma membranlarının performansının artırılması ve membran özelliklerinin daha iyi hale gelmesi için karışık matriksli membranlar geliştirilmiştir. Karışık matriksli membranlarda dolgu maddesi olarak kullanılabilen, yüksek yüzey alanı ve gözenek hacmine sahip metal organik kafesler (MOF), H₂ gazı ayırma özelliklerini iyileştirmektedir. Bu çalışmada, MOF-5 ve Co katkılı MOF-5 partikülleri sentezlenmiş, karakterize edilmiş ve dolgu maddesinin H₂ gaz geçirgenliği üzerindeki etkisini araştırmak için poliimit(PI) içine ilave edilmiştir. Farklı yüklem oranlarına sahip katkılı MOF-5/PI karışık matriksli membranlar (ağırlıkça %5, %10 ve %15) üretilmiştir ve karakterizasyonları farklı analiz teknikleriyle gerçekleştirilmiştir. Gaz analiz sonuçları, MOF-5 ve Co katkılı MOF-5 dahil olmak üzere karışık matriksli membranda H₂ gazının geçirgenliğinin, oda sıcaklığında ve 500 kPa'lık basınç altında farklı yüklem oranlarında (ağırlıkça% 5,% 10,% 15) arttığını göstermiştir. Ayrıca, metal katkılı MOF/PI'in, saf PI ve MOF-5/PI ile karşılaştırıldığında en yüksek gaz geçirgenlik özelliklerine sahip olduğu görülmüştür.

Key words: Hidrojen Enerjisi, Karışık Matriksli Membran, Metal Organik Kafes

*Corresponding Author: Ondokuz Mayıs University, Engineering Faculty, Environmental Engineering Department, Samsun, Turkey (ORCID: 0000-0003-4990-6682), hulya.aykac@omu.edu.tr

1. Introduction

Hydrogen is considered as a possible solution for future energy economy because of its light weight and high energy. Furthermore, it produces only water and is converted into electrical energy easily (Dincer, 2002; Jain, 2009; van den Berg & Areal, 2008; Züttel, 2003). There are mainly three different ways that hydrogen separation can be carried out namely, pressure swing adsorption, cryogenic distillation and membrane processes. Although pressure swing adsorption and cryogenic systems supply high purity of H₂, they have some drawback such as high capital and operational cost, use of special adsorbents and considerable amount of energy consumption (Adhikari & Fernando, 2006; Shao et al., 2009). On the contrary, membranes have been competitive with other technologies in terms of ease of operation, low investment cost, low energy consumption and cost effectiveness (Adatoz, et al., 2015; Adhikari & Fernando, 2006). However, there is a tradeoff between permeability and selectivity which is why cannot obtain high selectivity and permeability for these membranes. The selectivity of the gases increases while their permeability decreases or vice versa. Mixed matrix membranes (MMMs) composed of inorganic filler and polymer matrix are promising way to overcome inverse relationship between permeability and selectivity (Feijani et al., 2015). However, their cost, fragility and voids at the polymer–filler interface remain important challenges (Shu, Husain, & Koros, 2007). Recently, metal organic frameworks (MOFs) were found to be good candidates to fabricate MMMs, because MOFs are flexible in structure variability, could change pore size and adjustable internal surface properties and also enhance MMM's performance (Li et al., 2012). Thanks to these unique features, MOFs have been synthesized and investigated frequently in recent years. MOF-5 consist of four [Zn₄O]⁺⁶ clusters in octahedral subunits that are connected to each other by benzene-1,4-dicarboxylate (BDC) groups, to form a porous cubic framework is one of the most popular frameworks of these materials (Li et al., 2009).

Many scientific researches have been studied with mixed matrix membranes prepared with MOF-5 and the gas separation performance of MMM has been investigated. Perez et al. (2009) have increased gas permeabilities of mixed matrix membranes by 120% by adding MOF-5 to Matrimid membranes. In another study reported that H₂ permeability of the MOF-5/PEI mixed matrix membrane was increased by 40% compared to pure PEI membrane (Arjmandi & Pakizeh, 2014). However, MOF-5 is sensitive to moisture and causes structure collapse. To solve this issue, researchers focused on the enhancement of hydrostability of MOF-5 and found that doping metals into MOF-5 improve these drawbacks (Botas et al., 2010; Li et al., 2012; Yang et al., 2014b). There are only a few works reported on the enhancement of hydrostability for MOF-5. Yang and co-workers demonstrated that Ni-doped MOF-5 microcrystals have higher Langmuir specific surface areas and larger pore volume, they enhance the structural stability of MOFs towards moisture and hydrogen adsorption properties (Yang et al., 2014b). Li and co-workers found that Ni-doped MOF-5s not only exhibit larger Langmuir specific surface areas and larger pores than the undoped MOF-5, but also significantly enhance water resistance of the framework. The H₂ uptake capacity of undoped MOF-5 drops rapidly when exposed to the ambient air, whereas the H₂ adsorptions of the Ni-doped MOF-5s remain stable for 4 days (Li et al., 2012).

The objective of this paper is to synthesize and characterize MOF-5 and Cobalt-doped MOF-5 and incorporate into polyimide matrix to investigate the effect of filler on the single gas permeation. MOF-5 has been chosen due to its uniform microporous structure and good thermal stability. Cobalt transition metal has been used in order to understand metal's effect on gas permeation.

2. Material and Method

In this study, MOF synthesis, pure polymeric and mixed matrix membranes fabrication, characterization and permeation test were carried out.

2.1. Reagents

The polyimide resin (C₈O₂N)_n was purchased from Alfa Aesar. The physical properties of the polyimide are given in Table 1.

Table 1. Polyimide properties used in this study.

Polyimide Properties		
Molecular weight	Mw	588,60 g/mol
Glass transition temperature	Tg	305°C
Melting point	Mp	>300°C
Density	ρ	1,2 g/mL
Flash point	-	>93°C

Zinc (II) nitrate tetrahydrate (Zn(NO₃)₂·4H₂O), Cobalt (II) nitrate hexahydrate (Co(NO₃)₂·6H₂O), 1-methyl-2-pyrrolidone (C₅H₉NO), Terephthalic acid and Ethanol (C₂H₅OH) were obtained from Merck. N-N-dimethylformamide (DMF, 98% purity) was

provided from Carlo Erba. All chemicals and solvents were used without further purification. Permeability experiments were carried out using H₂ gas with purity is greater than 99.99 %.

2.2. Synthesis of MOF-5

MOF-5s were synthesized by solvothermal method. In a typical synthesis, 5.1 mmol of Zn(NO₃)₂·4H₂O and 1.7 mmol terephthalic acid were dissolved in 16mL of DMF in a glass tube. Then the prepared solution was placed in an oven (105°C for 24h). After that, glass tube was allowed to be cooled to room temperature. The white solution was filtered and then washed three times with 5mL aliquots of DMF to obtain MOF-5 crystals. The white crystals were placed (24h at 60°C) in a vacuum oven to get dry MOF-5. It was stored in moisture proof glass bottle (Figure 1a).

2.3. Synthesis of Co-doped MOF-5

Co-doped MOF-5 was synthesized by procedure published previously (Yang et al., 2014a). Equimolar quantities (0.05 mmol) of Zn(NO₃)₂·4H₂O, Co(NO₃)₂·6H₂O and terephthalic acid were dissolved in 16mL of DMF in a glass tube under strong agitation. Then the prepared solution was placed in an oven (105°C for 24h). After ensuring sample to be cooled down room temperature, particles were derived from the solution by filtration. The particles were retained (60°C for 24h) in a vacuum oven in order to get dry particles. Finally, Co-doped MOF-5 particles were stored in a capped vial (Figure 1b).



Figure 1. Picture of MOFs a) MOF-5, b)Co-doped MOF-5

2.4. Fabrication of Pure Polyimide Membrane

Membrane was prepared using the solution casting method as mentioned previous study (Ozturk & Demirciyeva, 2013). Figure 2 shows the flow diagram of membrane preparation.

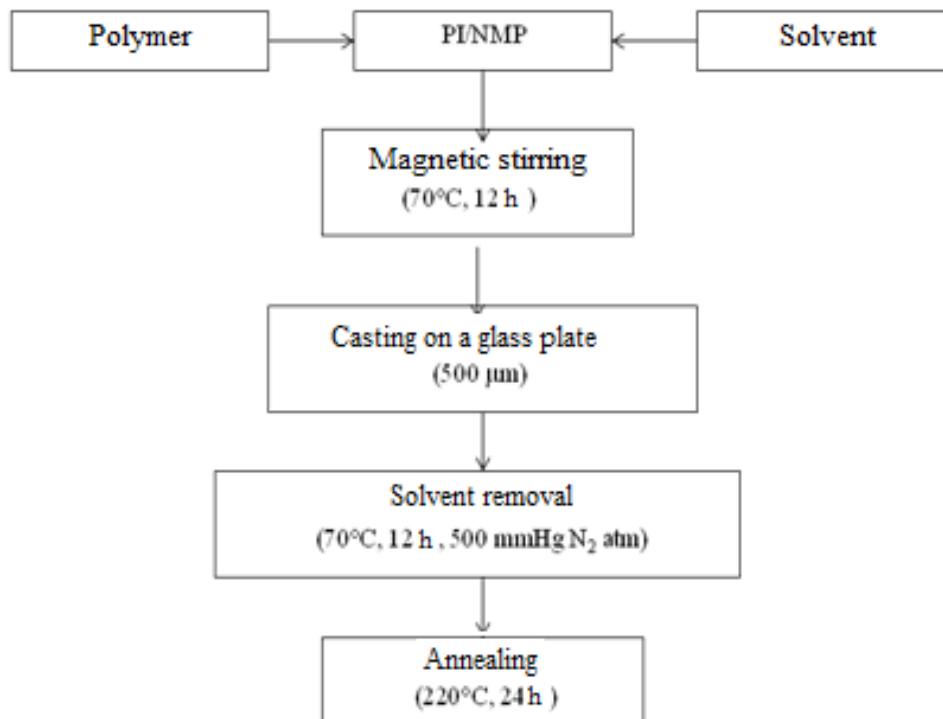


Figure 2. The Flow Diagram of Pure Polymer Membrane Preparation.

Firstly, PI (0.5 g) was dissolved in 4.5 g of 1-methyl-2-pyrrolidone (NMP) and stirred for 12h at 70°C until a clear uniform viscous solution was obtained. Then solution was casted on a clean glass plate using a casting rod. The glass plate was placed in a vacuum oven at 70°C and low pressure for 12h to allow the solvent to evaporate completely. The glass plate was immersed into a water bath to separate membrane from glass plate. After that, the membrane was annealed in a vacuum oven at 220°C for 24h. The average membrane thickness was 40 μm .

2.5. Fabrication of MMMs

Flow diagram of preparation of MMMs have been shown in Figure 3. Initially, MOF-5 containing 5, 10 and 15wt.% particles were dispersed the NMP in separate beakers. PI polymer and NMP solvent mixed in same separate beaker for each percentage. After getting uniform mixing MOF-5/NMP solutions poured into PI/NMP solutions, then sonicated in a ultrasonic bath and stirred (12h at 70°C) to get homogeneous solution. After getting thorough uniform solution, they were casted on a clean glass surface and got thin films using casting rod. Then, they were placed in a vacuum oven at 70°C for 12h to allow the solvent to evaporate completely. After that, the membranes were immersed into a water bath to separate the membrane from glass surface. Finally, the membranes were kept in a vacuum oven at 220°C for 24h. Similar procedure was carried out preparing Co-doped MOF-5/PI membranes. Finally, six different MMMs have been manufactured to be used permeation tests.

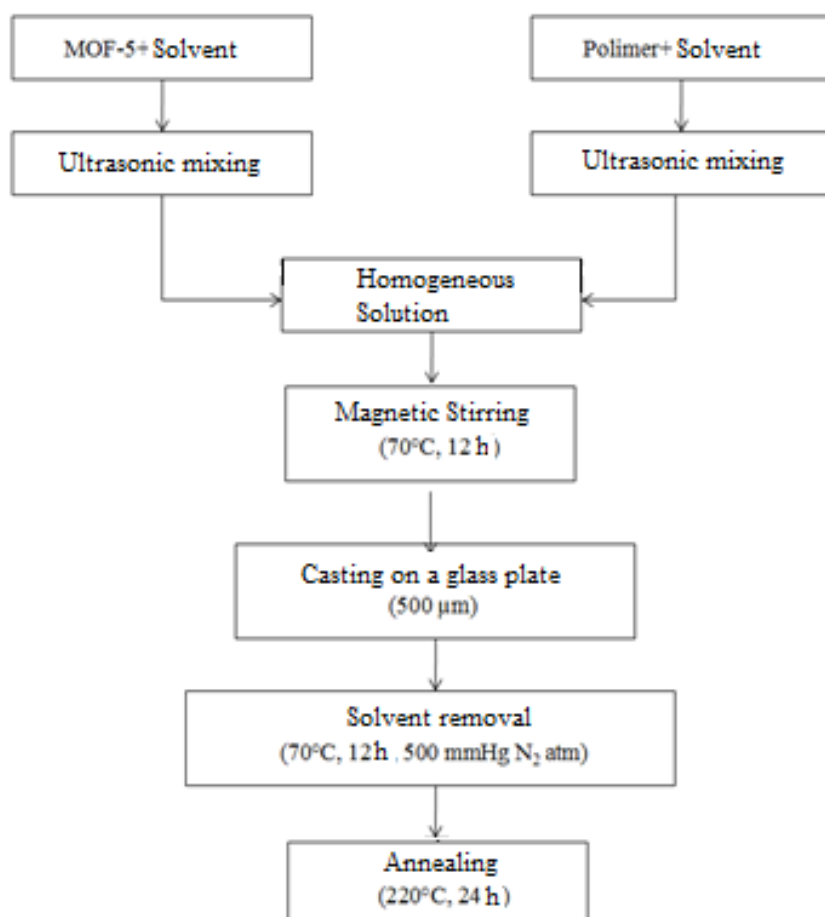


Figure 3. The Flow Diagram of Mixed Matrix Membrane Preparation

2.6. Permeability experiment

To perform permeability analysis, variable pressure-constant volume method was used. The gas separation system consists of membrane cell, pressure transducer, vacuum pump, temperature gauge and gas tank (Figure 4). The typical membrane module is shown in Figure 5. Membrane area located at test cell was 49.2 cm^2 and permeate side volume was 30.2 mL. Membrane was placed in permeation apparatus and held under vacuum to remove residual gases. All measurements were performed at room temperature and pressure of 500 kPa. Single gas permeabilities of the prepared membranes were determined for H_2 gas.

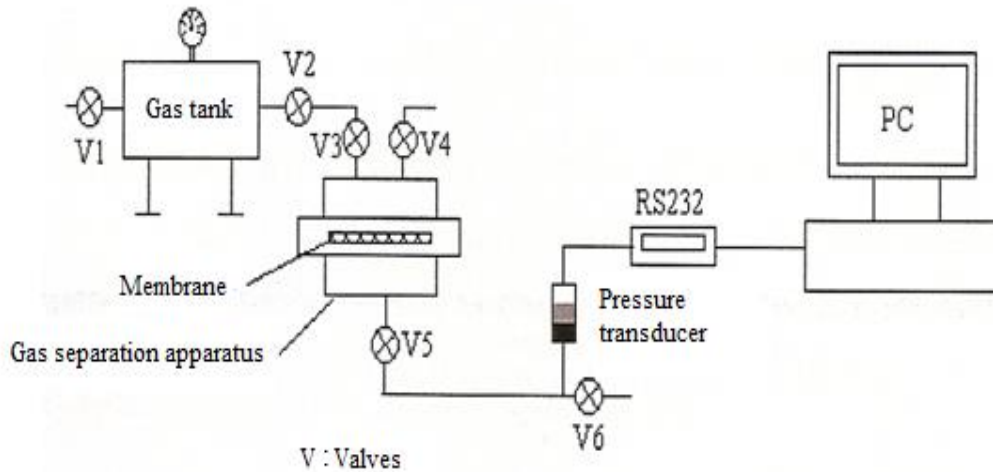


Figure 4. Gas Separation System

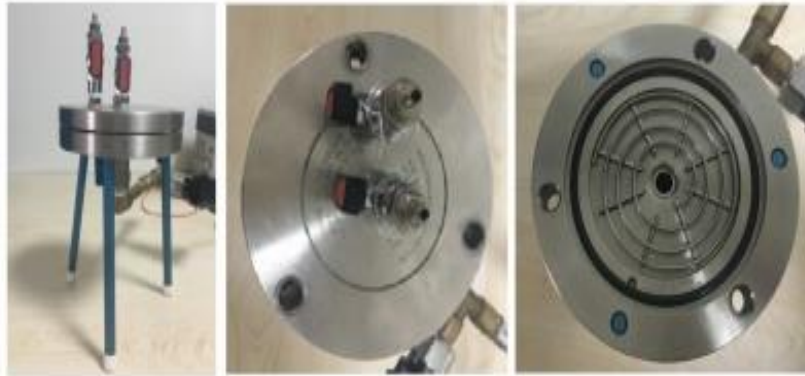


Figure 5. Membrane module

The gas permeability (P) was calculated by the slope of curve of permeate pressure vs. time (dp/dt) using the Daynes-Barrier time lag equation as follows (Weng et al., 2010):

$$P = \left(\frac{dp}{dt} \right) \frac{V T_0}{A \Delta P} \times \frac{L}{T P_0} \quad (1)$$

where P is the permeability coefficient expressed in Barrer [1 Barrer = $1 \times 10^{-10} \text{ cm}^3 \text{ cm (STP) cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ cmHg}^{-1}$], (dp/dt) is the slope of the straight line in the steady-state region at which permeation pressure increases with time on the downstream side, V (cm^3) is the calibrated downstream volume, ΔP (cmHg) is the trans membrane pressure difference between the two sides, A (cm^2) is the effective area of the membrane, L (cm) is the membrane thickness, T (K) is the measure temperature, and T_0 and P_0 are the standard temperature and pressure, respectively

2.7. Characterization of MOF-5s and MMMs

The spectrum of MOF-5 and Co-doped MOF-5 obtained by Fourier transformed infrared spectroscopy (FTIR) were recorded at room temperature using a Perkin-Elmer MIRacle. FTIR spectra were collected at wave-number between 650 cm^{-1} and 4000 cm^{-1} . Scanning electron microscopy (SEM) images of MOFs were taken using a JSM-7001F Field Emission Scanning Electron Microscope. Thermal analyses were performed to determine weigh loss of samples by temperature using a Shimadzu DTG-60 instrument under the nitrogen atmosphere with a heating rate of $20 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$.

3. Results and Discussion

3.1. MOF-5 and Co-doped MOF-5 characterization

Characterization of MOF-5 and Co-doped MOF-5 were examined by FT IR, TGA and SEM methods. FTIR spectrum of MOF-5 and Co-doped MOF-5 were shown in Figure 6.

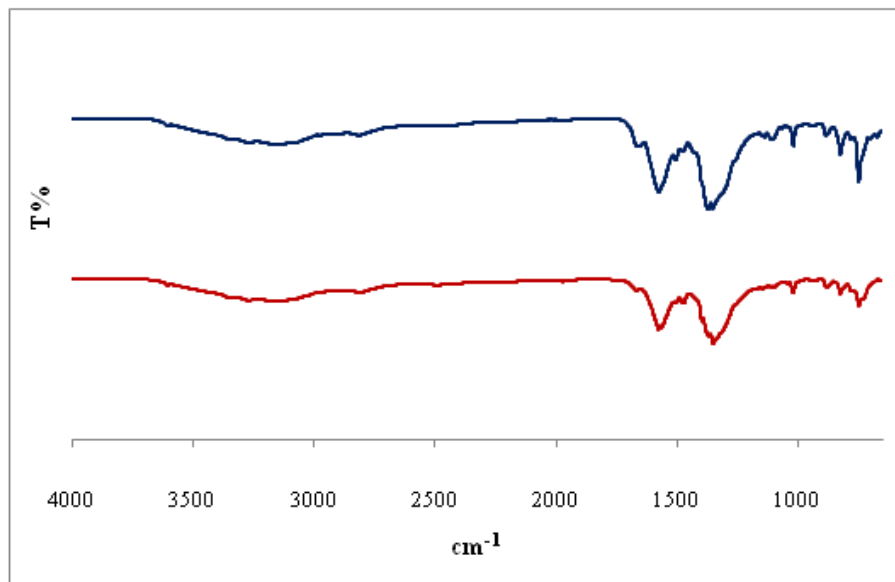


Figure 6. FTIR spectra of MOF-5 and Co-doped MOF-5 crystals.

FTIR spectra of MOF-5 exhibited characteristic peaks at 1580-1500 cm^{-1} corresponds to asymmetric stretching of COO groups and at 1400-1300 cm^{-1} corresponds to the symmetric stretching of COO groups in BDC²⁻ (Huang et al., 2003) The peaks indicating terephthalate compounds were shown 700–1200 cm^{-1} (Sabouni et al., 2010). The peaks in the range of 1250–1010 cm^{-1} assigned to the C–H group present in the benzene ring (Arjmandi & Pakizeh, 2014). The broad band at 2800–3600 cm^{-1} demonstrates the presence of water in structure. These results show consistency with the literature (Huang et al., 2003). FTIR spectra of Co-doped MOF-5 showed similar trends with FTIR spectra of MOF-5 indicating isostructure has not change doping metal into MOF structure.

Thermo gravimetric analysis (TGA) curve of MOF-5 display two main steps of weight loss (Figure 7). The first step of weight loss in the temperature below 250°C can be attributed to the loss of guest molecules (water vapour and solvent). The second weight loss occurred in the endothermic process between 398-601°C correspond to the decomposition of organic linkers.

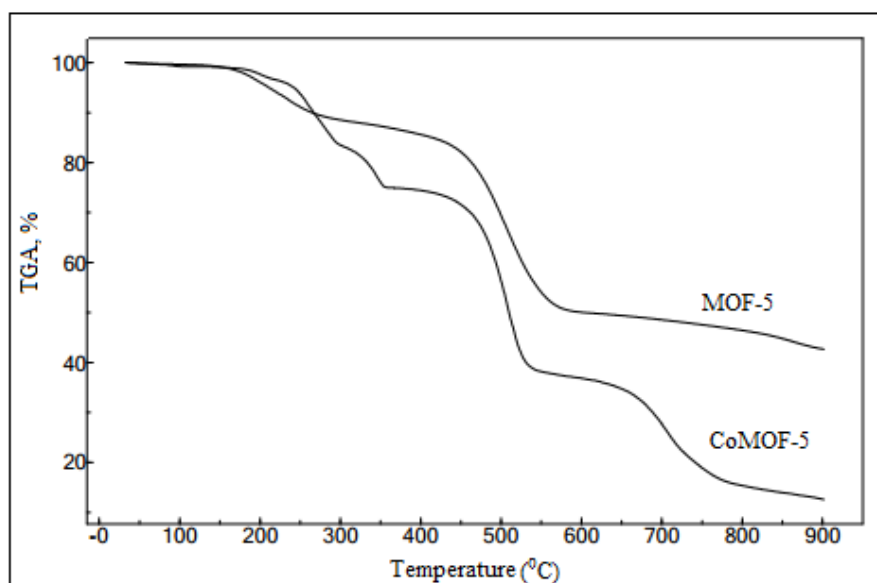


Figure 7. TGA plots of MOF-5 and Co-doped MOF-5.

Since the MOF-5 structure degrades at this temperature range, the initial value (398°C) of this step determine the thermal stability of structure. This mechanism of degradation of step is due to the breakage of the bridges between carboxylate ZnO₄ clusters and benzene rings. The weight loss values obtained in the first and second stages of the curve are in agreement with the values reported in the literature (Liu et al., 2009).

The thermal analysis curve of the Co-doped MOF-5 structure exhibits a three-stage weight loss. The initial weight loss (below 370°C) corresponds to the removal of water and solvent molecules in the pores. The decomposition of the Co-doped MOF-5 structure and ZnO/CoO formation are associated with the removal of the organic ligands in the second step between 408-559°C. The mass loss between 628-800°C is the third stage, the carbon based species remaining from the degradation of the ligand and the low boiling point zinc metal are removed in this step. The residue considered to be cobalt oxide or cobalt oxide-zinc oxide

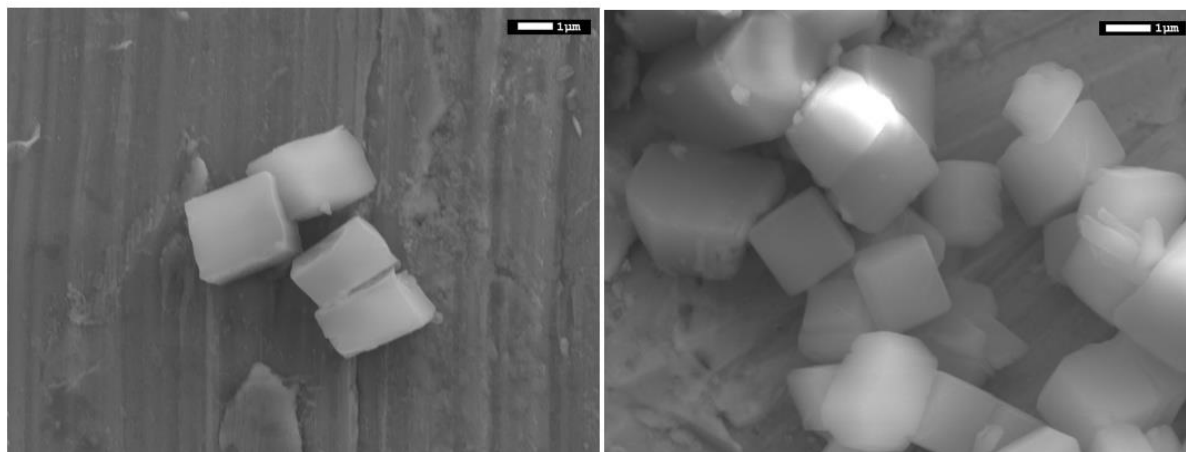


Figure 8. SEM pictures of MOF-5 and Co-doped MOF-5

3.2. H₂ permeation measurement

Gas permeation measurements for pure polymeric membrane and MMMs were conducted using a constant volume-variable pressure. All measurements were carried out at room temperature and 500 kPa of pressure.

The gas permeation performances of MMMs were measured by single gas permeation test of H₂. Table 2 indicates that H₂ permeation of MOF-5/PI and Co-doped MOF-5/PI mixed matrix membranes results. The results showed that permeabilities of MOF-5/PI membranes for H₂ gas increased with increasing the loading (5wt.%, 10wt.%, 15wt.% MOF-5) at room temperature and pressure of 500 kPa. The average pore size of MOF-5 is approximately 8.67 Å which is greater than H₂ molecular diameter (2.9 Å). Thus, it can be expected that the MOF-5 crystals increase the gas permeation through the MMMs relative to dense pure PI membrane.

Table 2. H₂ permeability with different MOF-5 and Co doped MOF-5 loadings in PI at room temperature and 500 kPa.

Membrane	MOF loading, %			
	0	5%	10%	15%
	Permeability (barrer)			
PI	12.18	-	-	-
MOF-5/PI	-	12.75	14.65	15.48
Co-doped MOF-5/PI	-	17.98	19.59	20.39

In gas permeability analysis, permeability of pure polyimide was found 12.18 barrer at 500 kPa and room temperature. Incorporation of 5wt.% MOF-5 into polyimide changed the results as 12.75 barrer. At 10 wt% and %15 wt% loading rate, permeabilities were found 14.65 and 15.48 barrer. In other words, incorporation of 5wt.%, 10wt.%, 15wt.% MOF-5 into pure PI resulted in 4.68%, 20.28%, 27.09% increase in H₂ permeability compared to pure polymer, respectively. Recently, Perez and coworkers found permeability results that support this study, they synthesized MOF-5 crystal and added matrimid membrane to form MMM and reported the permeability of H₂ gas increased with different MOF-5 loading rate (Perez et al., 2009). Another study explained that incorporation of 5 wt.% of MOF-5 into pure polyetherimide concluded in 40% increase in H₂ permeability (Arjmandi & Pakizeh, 2014).

Single gas permeability results clarified that MOF-5 doped with Co metal enhance the permeability of H₂ compared to pure polymer. For instance, incorporation of 5 wt.% of Co-doped MOF-5, 10 wt.% of Co-doped MOF-5 and 15 wt.% of Co-doped MOF-5 to polyimide increase H₂ permeability as 17.98, 19.59 and 20.39 barrer. The results showed that permeability of H₂ gas increased with mixed matrix membrane including Co-doped MOF-5 crystals relative to pure polyimide.

In comparison Co-doped MOF-5/PI with MOF-5/PI, permeability results represent that Co metal doped MOF-5 into polyimide showed better permeability values than undoped MOF-5. Indeed, 5 wt% of Co-doped MOF-5, 10 wt.% of Co-doped MOF-5/PI and 15 wt.% of Co-doped MOF-5/PI were enhance H₂ permeation results by 41.02%, 33.7% and 31.72% respectively, when compared to MOF-5 polyimide. Because the atomic diameter of cobalt is greater than the atomic diameter of zinc, has influenced result of H₂ permeability. This consequence implies that the MMM containing Co-doped MOF-5/PI produced highest permeability suggesting that the Co-doped MOF-5 crystals were facilitating gas transport tested under the same conditions.

4. Conclusion

In order to improve gas permeability of MOF/PI membranes, in this work metal doped MOF-5 was synthesized and its effect was investigated on permeation of H₂. First of all, MOF-5 and MOF-5 doped with Co metal were successfully synthesized. Then, the structure of MOF-5 and Co-doped MOF-5 were characterized by FTIR, TGA and SEM analyses. Characterization results displayed that doping metal into MOF-5 structure does not change its morphology, and determined same functional groups. Afterwards, mixed matrix membranes containing MOF-5 and Co-doped MOF-5 were fabricated successfully via casting solution method. MMMs were performed for the permeation of H₂ as a function of various filler loadings at room temperature and 500 kPa of pressure. The experimental gas permeation exhibited that H₂ permeability increased with increasing filler loading compared to unfilled membrane. Furthermore, metal doped MOF-5 increase permeability of H₂ and ease the gas transport when compared to undoped MOF-5. The differences in permeability can be better realized by the contributions of atomic diameter of Co metal. In conclusion, polymer membrane with metal doped MOF-5 encourage in gas separation and are said to be promising candidates to separate H₂ for energy application.

5. Acknowledgements

The authors wish to thank the Ondokuz Mayıs Universitesi for its financial support through project PYO.MUH. 1901.14.003.

6. References

- Adatoz, E., Avci, A. K., & Keskin, S. (2015). Opportunities and challenges of MOF-based membranes in gas separations. *Separation and Purification Technology*, 152(Supplement C), 207-237.
- Adhikari, S., & Fernando, S. (2006). Hydrogen Membrane Separation Techniques. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 45(3), 875-881.
- Arjmandi, M., & Pakizeh, M. (2014). Mixed matrix membranes incorporated with cubic-MOF-5 for improved polyetherimide gas separation membranes: Theory and experiment. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(5), 3857-3868.
- Botas, J. A., Calleja, G., Sánchez-Sánchez, M., & Orcajo, M. G. (2010). Cobalt Doping of the MOF-5 Framework and Its Effect on Gas-Adsorption Properties. *Langmuir*, 26(8), 5300-5303.
- Dincer, I. (2002). Technical, environmental and exergetic aspects of hydrogen energy systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 27(3), 265-285.
- Feijani, E. A., Mahdavi, H., & Tavasoli, A. (2015). Poly(vinylidene fluoride) based mixed matrix membranes comprising metal organic frameworks for gas separation applications. *Chemical Engineering Research and Design*, 96(Supplement C), 87-102.
- Huang, L., Wang, H., Chen, J., Wang, Z., Sun, J., Zhao, D., & Yan, Y. (2003). Synthesis, morphology control, and properties of porous metal-organic coordination polymers. *Microporous and Mesoporous Materials*, 58(2), 105-114.
- Jain, I. P. (2009). Hydrogen the fuel for 21st century. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(17), 7368-7378.
- Li, H., Shi, W., Zhao, K., Li, H., Bing, Y., & Cheng, P. (2012). Enhanced Hydrostability in Ni-Doped MOF-5. *Inorganic Chemistry*, 51(17), 9200-9207. doi:10.1021/ic3002898
- Li, J., Cheng, S., Zhao, Q., Long, P., & Dong, J. (2009). Synthesis and hydrogen-storage behavior of metal-organic framework MOF-5. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(3), 1377-1382.
- Liu, Y., Ng, Z., Khan, E. A., Jeong, H.-K., Ching, C.-b., & Lai, Z. (2009). Synthesis of continuous MOF-5 membranes on porous α -alumina substrates. *Microporous and Mesoporous Materials*, 118(1-3), 296-301.
- Ozturk, B., & Demirciyeva, F. (2013). Comparison of biogas upgrading performances of different mixed matrix membranes. *Chemical Engineering Journal*, 222, 209-217.
- Perez, E. V., Balkus, K. J., Ferraris, J. P., & Musselman, I. H. (2009). Mixed-matrix membranes containing MOF-5 for gas separations. *Journal of Membrane Science*, 328(1), 165-173.
- Sabouni, R., Kazemian, H., & Rohani, S. (2010). A novel combined manufacturing technique for rapid production of IRMOF-1 using ultrasound and microwave energies. *Chemical Engineering Journal*, 165(3), 966-973.
- Shao, L., Low, B. T., Chung, T.-S., & Greenberg, A. R. (2009). Polymeric membranes for the hydrogen economy: Contemporary approaches and prospects for the future. *Journal of Membrane Science*, 327(1), 18-31.
- Shu, Husain, S., & Koros, W. J. (2007). A General Strategy for Adhesion Enhancement in Polymeric Composites by Formation of Nanostructured Particle Surfaces. *The Journal of Physical Chemistry C*, 111(2), 652-657.
- van den Berg, A. W. C., & Arian, C. O. (2008). Materials for hydrogen storage: current research trends and perspectives. *Chemical Communications*(6), 668-681.
- Weng, T. H., Tseng, H. H., & Wey, M. Y. (2010). Fabrication and characterization of poly(phenylene oxide)/SBA-15/carbon molecule sieve multilayer mixed matrix membrane for gas separation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(13), 6971-6983.
- Yang, J.-M., Liu, Q., & Sun, W.-Y. (2014a). Co(II)-doped MOF-5 nano/microcrystals: Solvatochromic behaviour, sensing solvent molecules and gas sorption property. *Journal of Solid State Chemistry*, 218(Supplement C), 50-55.
- Yang, J.-M., Liu, Q., & Sun, W.-Y. (2014b). Shape and size control and gas adsorption of Ni(II)-doped MOF-5 nano/microcrystals. *Microporous and Mesoporous Materials*, 190(Supplement C), 26-31.
- Züttel, A. (2003). Materials for hydrogen storage. *Materials Today*, 6(9), 24-33.



Bulanık Çokamaçlı Linear Kesirli Programlama Problemlerinin Çözümleri için Q- Taylor Seri Metodu

Adem C. Cevikel^{1*}

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik Eğitimi Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7359-3156)

(First received 22 December 2018 ve Kabul Tarihi 21 January 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.500930)

REFERENCE: Cevikel, A. (2019). Q-Taylor Series Method for Solving Fuzzy Multiobjective Linear Fractional Programming Problem. *European Journal of Science and Technology*, (15), 10-17.

Özet

Bu çalışmada, bulanık çok amaçlı lineer kesirli programlama problemlerinin (BÇALPP) çözümleri için q -Taylor seri metodu sunulmuştur. Q-Analizde, q -Taylor serisi q -Türevlerine göre bir fonksiyonun q -Serisine genişlemesidir. Önerilen yaklaşımda, üyelik fonksiyonları parçalı lineer fonksiyonlar olarak tanımlanmaktadır. Q-Taylor serileri kullanılarak dönüştürülen bulanık çok amaçlı lineer kesirli programlama problemleri üyelik fonksiyonları ile birleştirilmiştir. Böylece problem tek bir amaca indirgenmiştir. q -Taylor seri metodunun etkinliğini göstermek için birkaç problemler çözülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Programlama, Bulanık amaçlı hedefler, Çok amaçlı lineer kesirli programlama, Bulanık çok amaçlı lineer kesirli programlama, Q-Analiz, Q-Taylor serisi.

Q-Taylor Series Method for Solving Fuzzy Multiobjective Linear Fractional Programming Problem

Abstract

In this work, we present a q -Taylor series method for fuzzy multiobjective linear fractional programming problems (FMOLFPPs). In q -calculus, q -Taylor series is a q -series expansion of a function with respect to q -derivatives. In the proposed approach, membership functions are defined to be piecewise linear. Membership functions associated with each objective of fuzzy multiobjective linear fractional programming problem transformed by using q -Taylor series are unified. Thus, the problem is reduced to a single objective. To show the efficiency of the q -Taylor series method, we applied the method to some problems.

Key words: Fuzzy Programming, Fuzzy objective goals, Multiobjective linear fractional programming, Fuzzy multiobjective linear fractional programming, Q-Calculus, Q-Taylor series.

* Corresponding Author: Yıldız Teknik Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik Eğitimi Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-7359-3156, acevikel@yildiz.edu.tr

1. Introduction

The linear fractional programming problem (LFPP), which has been used as an important planning tool in recent years, is applied to different disciplines such as engineering, business, finance, economics, etc. LFPP is generally used for modeling real life problems with one or more objectives such as profit/cost, inventory/sales, actual cost/ standart cost, output/employee etc.

The multiobjective linear fractional programming problem (MOLFPP) is considered in the literature, cf.[11, 12, 16, 18, 21] etc. MOLFPPs pose some computational difficulties, so they are converted into single objective LFPPs and then solved using the metod of Bitran and Novaes [2] or Charnes and Cooper [4]. Uncertainty is an attribute of information [26], and fuzzy set theory has been used for all forms of uncertainty. The model of MOLFPP is reconstructed with fuzzy data. Bellman and Zadeh [1] introduce fuzzy decision-making models in mathematical programming. Luhandjula [17] proposed a linguistic approach to MOLFPP by introducing linguistic variables. A fuzzy approach for solving MOLFPP was presented by Sakawa and Kato [22]. Dutta et al. [8, 9] and Hitosi and Takahashi [14] also studied solutions to FMOLFPPs. A goal programming procedure for fuzzy multiobjective linear fractional programming problem was studied by Pal et al. [19]. On the other hand, many methods of solving fuzzy multiobjective linear programming problems (FMOLFPPs) are available in the literature [3, 7, 13, 24, 25]. They are effective and robust approaches. In [7], polynomial memberships, which are equivalent to fractional membership functions associated with each objective, are obtained by the first order Taylor series.

In this paper, we proposed a new method, the first order q-Taylor series method, for obtaining polynomial membership functions, which are associated with each objective of FMOLFPP.

2. Preliminaries

Definition: If the numerator and denominator in the objective function as well as the constraints are linear, we have a linear fractional programming problem (LFPP) as follows:

$$\text{Optimize } \frac{cx + \alpha}{dx + \beta}, \tag{2.1}$$

$$\text{s.t. : } x \in S = \left\{ x \mid Ax \begin{pmatrix} \leq \\ = \\ \geq \end{pmatrix} b, x \geq 0 \right\}$$

where A is a real $m \times n$ matrix, $b \in R^m$, $x \in R^n$ and S is a nonempty and bounded set. For some values of x , $dx + \beta$ may be equal to zero. To avoid such cases, is generally set to be greater than zero.

Charnes and Cooper [4] showed that if the denominator is constant in sign on the feasible region, the LFPP can be optimized by solving a linear programming problem. Craven [5], Schaible [23], Dinkelbach [6], Gilmore and Gomory [10] and others presented methods for solving LFPPs. However, in many applications, there are two or more conflicting objective functions which are relevant, and some compromise must be sought between them. For example, a management problem may require the profit/cost, quality/cost, and other ratios to be maximized and these conflict. Such types of problems are inherently multiobjective linear fractional programming problems and can be written as:

$$\text{Optimize } f_k(x) = \frac{c_k x + \alpha_k}{d_k x + \beta_k}, k = 1, \dots, K \tag{2.2}$$

$$\text{s.t. : } x \in S = \left\{ x \mid Ax \begin{pmatrix} \leq \\ = \\ \geq \end{pmatrix} b, x \geq 0 \right\}$$

where S, A, b and x are as defined in problem (2.1), and $\forall x \in S, d_k x + \beta_k > 0$ ($k=1, \dots, K$).

In MOLFPP, if an imprecise aspiration level is introduced to each of the objectives then, these fuzzy objectives are termed as fuzzy goals. Let g_k be the aspiration level assigned to the k th objective $Z_k(x)$. Then, the fuzzy goals appear as:

- (a) $Z_k(x) \square g_k$ for maximizing $Z_k(x)$,
- (b) $Z_k(x) \square g_k$ for minimizing $Z_k(x)$,

where \square and \square indicate the fuzziness of the aspiration levels, and is to be understood as “essentially more than” and “essentially less than” in the sense of Zimmermann [27].

Hence, the fuzzy multiobjective linear fractional programming problem can be stated as follows:

$$\begin{aligned} & \text{Find } x, \\ & \text{so as to satisfy } Z_k(x) \square g_k, \quad k = 1, 2, \dots, k_l \\ & Z_k(x) \square g_k, \quad k = k_{l+1}, k_{l+2}, \dots, K \end{aligned} \tag{2.3}$$

$$s.t.: x \in S = \left\{ x \mid Ax \begin{pmatrix} \leq \\ = \\ \geq \end{pmatrix} b, x \geq 0 \right\}$$

Now, in the field of fuzzy programming, the fuzzy goals are characterized by their associated membership functions. The membership function μ_k for the kth fuzzy goal $Z_k(x) \square g_k$ can be expressed algebraically according to Tiwari et al. [24] as:

$$\mu_k(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } Z_k(x) \leq l_k \\ \frac{Z_k(x) - l_k}{g_k - l_k} & \text{if } l_k \leq Z_k(x) \leq g_k \\ 1 & \text{if } g_k \leq Z_k(x) \end{cases} \tag{2.4}$$

Where l_k is the lower tolerance limit for the kth fuzzy goal.

On the other hand, the membership function μ_k for the kth fuzzy goal $Z_k(x) \square g_k$ can be defined as:

$$\mu_k(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } u_k \leq Z_k(x) \\ \frac{u_k - Z_k(x)}{u_k - g_k} & \text{if } g_k \leq Z_k(x) \leq u_k \\ 1 & \text{if } Z_k(x) \leq g_k \end{cases} \tag{2.5}$$

where u_k is the upper tolerance limit.

Now, in a fuzzy decision environment, the achievement of the objective goals to their aspired levels to the extent possible is actually represented by the possible achievement of their respective membership values to the highest degree.

The relationship between constraints and the objective function(s) in the fuzzy environment is fully symmetric, that is, there is no longer a difference between the former and the latter [28]. This guarantees the maximization of both objectives' membership values simultaneously. Now we need some basic definitions about q-Taylor series.

Definition: Let $q \in (0, 1)$. A q -natural number $[n]_q$ is given by

$$[n]_q := \frac{1 - q^n}{1 - q}, \quad n \in \mathbb{N} \tag{2.6}$$

The factorial of a q -number $[n]_q$ is defined by

$$[0]_q! := 1, \quad [n]_q! := [n]_q \cdot [n-1]_q \cdots [1]_q \tag{2.7}$$

q -Pachhammer symbol is:

$$(z - a)^{(0)} := 1, \quad (z - a)^{(k)} := \prod_{i=0}^{k-1} (z - aq^i), \quad k \in \mathbb{N} \tag{2.8}$$

Definition: Let $f : D \subset \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ be a continuous function. In q -calculus [15], the q -derivative of f is defined by the operator

$$D_q(f(x)) := \frac{f(q.x) - f(x)}{(q-1).x}, \quad x \neq 0, \quad q \neq 1, \quad (2.9)$$

$$D_q(f(0)) := \lim_{x \rightarrow 0} (D_q(f(x))). \quad (2.10)$$

Notice that f should be continuous at the point $q.x$ for all $x \in D$ and $q \in (0,1)$.

Definition: Let $f : D \subset R \rightarrow R$ be a multivariable continuous function, the q -partial derivative of f is given by

$$D_{q x_i} f(x) := \frac{f(Q_i(x)) - f(x)}{(q-1).x_i}, \quad x_i \neq 0, \quad (2.11)$$

$$x := (x_1, x_2, \dots, x_n) \in D, \quad i = 1, \dots, n$$

$$D_{q x_i} f(x) |_{x_i=0} = \lim_{x_i \rightarrow 0} (D_{q x_i} f(x)) \quad (2.12)$$

Where Q_i acting on R^n is an operator defined by

$$Q_i(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n) := (x_1, x_2, \dots, q.x_i, \dots, x_n) \quad (2.13)$$

Lemma: Operators $D_{q x_i}$, $i = 1, 2, \dots, n$ are R -linear operators.

Definition: Higher order q -partial operator is defined by

$$D_{q x_i^m x_j^n}^{m+n} f(x) := D_{q x_i^m}^m (D_{q x_j^n}^n f(x)) \quad (2.14)$$

where

$$D_{q x_i^m x_j^n}^{m+n} = D_{q x_j^n x_i^m}^{m+n}, \quad m, n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.15)$$

Definition: Let $a = (a_1, a_2, \dots, a_n) \in R^n$ be a arbitrary, but fixed and $f : D \subseteq R^n \rightarrow R$ be a continuous. If f has all the q -partial derivations at a , then the q -differential corresponding to a is defined by

$$d_q f(x, a) = ((x_1 - a_1).D_{q x_1} + (x_2 - a_2).D_{q x_2} + \dots + (x_n - a_n).D_{q x_n}) f(a) \quad (2.16)$$

and higher order the q -differential:

$$\begin{aligned} d_q^{(k)} f(x, a) &= ((x_1 - a_1).D_{q x_1} + (x_2 - a_2).D_{q x_2} + \dots + (x_n - a_n).D_{q x_n})^{(k)} f(a) \\ &= \sum_{\substack{i_1 + \dots + i_n = k \\ i_j \in \mathbb{N}}} \left(\frac{[k]_q!}{[i_1]_q! [i_2]_q! \dots [i_n]_q!} \right) D_{q x_1^{i_1} \dots x_n^{i_n}}^k f(a) \prod_{j=0}^n (x_j - a_j)^{(i_j)} \end{aligned} \quad (2.17)$$

Notice that a continuous function $f(x)$ in a neighborhood of a that does not include any point with a zero coordinate, has also continuous q -partial derivatives.

Lemma: Let $f : D \subset R^n \rightarrow R$ be a function having all q -differentials in some neighborhood of $a \in D$. Then q -Taylor expansion of f at a is given by

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{d_q^k f(x, a)}{[k]_q!} \quad (2.18)$$

Proof: See the proof from [20]

3. Linearization Membership Function Using a Q-Taylor Series Approach

In the FMOLFPP, membership functions associated with each objective are transformed by using q -Taylor series at first, and then a satisfactory values for the variables of the model is obtained by solving the fuzzy model, which has a single objective function. Here, q -Taylor series obtained polynomial membership functions which are equivalent to fractional membership functions associated with each objective. Then, the FMOLFPP can be reduced into a single objective.

The proposed approach can be explained in three steps:

Step 1: Determine $x_k^* = (x_{k1}^*, \dots, x_{kn}^*)$ which is the value that is used to maximize the k th membership function $\mu_k(x)$ associated with k th objective $Z_k(x)$ ($k = 1, \dots, K$) and n is the number of the variables.

Step 2: Transform membership functions by using first-order q -Taylor polynomial series

$$\begin{aligned} \mu_k(x) &\cong \hat{\mu}_k(x) = \sum_{m=0}^1 \frac{d_q^m \mu_k(x, x_k^*)}{[m]_q!} \\ &= \mu_k(x_k^*) + \left[(x_1 - x_{k1}^*) D_{q_{x_1}} \mu_k(x_k^*) + \dots + (x_n - x_{kn}^*) D_{q_{x_n}} \mu_k(x_k^*) \right] \\ &= \mu_k(x_k^*) + \sum_{j=1}^n (x_j - x_{kj}^*) D_{q_{x_j}} \mu_k(x_k^*) \end{aligned} \tag{3.1}$$

Step 3: Find satisfactory $x^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)$ by solving the reduced problem to a single objective. Note that problem is solved by assuming that weights of the objective are equal. Thus, the problem is written as follows

$$P(x) = \sum_{k=1}^K \hat{\mu}_k(x) \tag{3.2}$$

FMOLFPP is converted into a new mathematical model. This model is as follows:

$$\begin{aligned} &\max P(x) \\ \text{s.t } x \in S &= \left\{ x \mid Ax \begin{pmatrix} \leq \\ = \\ \geq \end{pmatrix} b, x \geq 0 \right\} \end{aligned} \tag{3.3}$$

where

$$\mu_k(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } Z_k(x) \leq l_k \\ \frac{Z_k(x) - l_k}{g_k - l_k} & \text{if } l_k \leq Z_k(x) \leq g_k \\ 1 & \text{if } g_k \leq Z_k(x) \end{cases} \tag{3.4}$$

or

$$\mu_k(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } u_k \leq Z_k(x) \\ \frac{u_k - Z_k(x)}{u_k - g_k} & \text{if } g_k \leq Z_k(x) \leq u_k \\ 1 & \text{if } Z_k(x) \leq g_k \end{cases} \tag{3.5}$$

3.1. Numerical Example

Example: We consider the example studied by Luhandjula and Duran

$$\begin{aligned} \text{Maximize } Z_1(x) &= \frac{x_1 - 4}{-x_2 + 3} \\ \text{Maximize } Z_2(x) &= \frac{-x_1 + 4}{x_2 + 1} \\ \text{Subject to } & -x_1 + 3x_2 \leq 0 \\ & x_1 \leq 6 \\ & x_1, x_2 \geq 0 \end{aligned}$$

fuzzy aspiration levels of the two objectives and the lower tolerance limits of the two fuzzy objective goals are $(g_1, g_2) = (2, 4)$, $(l_1, l_2) = (-1, -2)$, respectively, [17, 7]. Find x in order to satisfy the following fuzzy goals:

$$\begin{aligned} Z_1(x) &= \frac{x_1 - 4}{-x_2 + 3} \square 2 \\ Z_2(x) &= \frac{-x_1 + 4}{x_2 + 1} \square 4 \\ \text{Subject to } & -x_1 + 3x_2 \leq 0 \\ & x_1 \leq 6 \\ & x_1, x_2 \geq 0 \end{aligned} \tag{3.6}$$

The membership functions of the goals are as follows:

$$\mu_1(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } Z_1(x) \leq l_1 \\ \frac{Z_1(x) - l_1}{g_1 - l_1} & \text{if } l_1 \leq Z_1(x) \leq g_1 \\ 1 & \text{if } g_1 \leq Z_1(x) \end{cases} = \begin{cases} 0 & \text{if } Z_1(x) \leq -1 \\ \frac{x_1 - x_2 - 1}{-3x_2 + 9} & \text{if } -1 \leq Z_1(x) \leq 2 \\ 1 & \text{if } 2 \leq Z_1(x) \end{cases}$$

$$\mu_2(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } Z_2(x) \leq l_2 \\ \frac{Z_2(x) - l_2}{g_2 - l_2} & \text{if } l_2 \leq Z_2(x) \leq g_2 \\ 1 & \text{if } g_2 \leq Z_2(x) \end{cases} = \begin{cases} 0 & \text{if } Z_2(x) \leq -2 \\ \frac{-x_1 + 2x_2 + 6}{6(x_2 + 1)} & \text{if } -2 \leq Z_2(x) \leq 4 \\ 1 & \text{if } 4 \leq Z_2(x) \end{cases}$$

If the problem is solved for each of the membership functions one by one then $\mu_1^*(6, 2)$ and $\mu_2^*(0, 0)$. Then membership functions are transformed by using first-order q -Taylor polynomial series for $q = 0.98$:

$$\mu_1(x) \cong \hat{\mu}_1(x) = \mu_1(6, 2) + \left[(x_1 - 6)D_{q_{x_1}}\mu_1(6, 2) + (x_2 - 2)D_{q_{x_2}}\mu_1(6, 2) \right]$$

$$\mu_1(x) \cong \hat{\mu}_1(x) = 0.33x_1 + 0.641x_2 - 2.282$$

$$\mu_2(x) \cong \hat{\mu}_2(x) = \mu_2(0, 0) + \left[(x_1 - 0)D_{q_{x_1}}\mu_2(0, 0) + (x_2 - 0)D_{q_{x_2}}\mu_2(0, 0) \right]$$

where from (2.12)

$$D_{q_{x_1}}\mu_2(0, 0) = \lim_{(x_1, x_2) \rightarrow (0, 0)} (D_{q_{x_1}}\mu_2(x_1, x_2)) = 1$$

$$D_{qx_2} \mu_2(0,0) = \lim_{(x_1, x_2) \rightarrow (0,0)} (D_{qx_2} \mu_2(x_1, x_2)) = 4$$

we get

$$\mu_2(x) \cong x_1 + 4x_2$$

$$P(x) = \hat{\mu}_1(x) + \hat{\mu}_2(x) = 1.33x_1 + 4.641x_2 - 2.282.$$

Thus, the final form of the FMOLFPP problem is obtained as follows:

Find $x(x_1, x_2)$ so as to

Maximize $P(x)$

Subject to: $-x_1 + 3x_2 \leq 0$

$$x_1 \leq 6$$

$$x_1, x_2 \geq 0.$$

The problem is solved and the solution of the above problem is as follows:

$$x_1 = 6, x_2 = 2 \text{ and } Z_1(x) = 2, Z_2(x) = -2/3$$

Notice that the values of Z_1 and Z_2 above are consistent with (3.6) and membership values are as follows:

$$\mu_1 = 1, \mu_2 = 0.22$$

The membership function values indicate that goals Z_1 and Z_2 are satisfied 100% and 22% respectively, for the obtained solution, which is

$$x_1 = 6, x_2 = 2.$$

4. Conclusions

In this paper we computed the solutions of FMOLFPP using an efficient method which is based on q -calculus theories (in particular, first-order q -Taylor series). Membership functions associated with each objective of the problem are transformed using first-order q -Taylor series.

Actually, FMOLFPP is reduced to MOLPP by first-order q -Taylor series. We assumed that the weights of the objective are equal. Then, the proposed solution method was applied to a numerical example to test the effect of first-order q -Taylor series method with respect to changes in fuzzy aspiration levels, the tolerance limits of problems and q -parameter in q -Taylor series method. The results show that the proposed method is more effective.

References

- [1] Bellmann R.E., Zadeh L.A. (1970). Decision making in a fuzzy environment, *Manag. Sci.*, (17), 141-164.
- [2] Bitran G.R., Novaes A.G. (1973). Linear programming with a fractional objective function, *Operation Research* (21) 22–29.
- [3] Chakraborty M., Gupta S. (2002). Fuzzy mathematical programming for multi objective linear fractional programming problem, *Fuzzy Sets and Systems* (125) 335–342.
- [4] Charnes A., Cooper W. (1962). Programming with linear fractional functions, *Naval Research Logistics Quarterly* (9) 181-186.
- [5] Craven B.D. (1988). *Fractional Programming*, Heldermann Verlag, Berlin,
- [6] Dinkelbach W. (1967). On nonlinear fractional programming, *Manage. Sci.* (13) 492–498.
- [7] Toksari, M. D. (2008). Taylor series approach to fuzzy multiobjective linear fractional programming, *Information Sciences* (178) 1189–1204
- [8] Dutta D., Tiwari R.N., Rao J.R. (1993). Fuzzy approaches for multiple criteria linear fractional optimization: a comment, *Fuzzy Sets and Systems* (54) 347–349.
- [9] Dutta D., Tiwari R.N., Rao J.R. (1992). Multiple objective linear fractional programming a fuzzy set theoretic approach, *Fuzzy Sets and Systems* (52) 39–45.
- [10] Gilmore P.C., Gomory R.E., (1963). A linear programming approach to the cutting stock problem. *Oper. Res.* (11) 863–888.
- [11] Gupta P., Bhatia D. (2001). Sensitivity analysis in fuzzy multiobjective linear fractional programming problem, *Fuzzy Sets and Systems* (122) 229–236.
- [12] Guzel N., Sivri M. (2005). Taylor series solution of multiobjective linear fractional programming problem, *Trakya University Journal Science* (6) 80–87.
- [13] Hannan E.L., (1981). Linear programming with multiple fuzzy goals, *Fuzzy Sets and Systems* (6) 235–248.
- [14] Hitosi M.S., Takahashi Y.J. (1992). Pareto optimality for multiobjective linear fractional programming problems with fuzzy parameters, *Information Sciences* (63) 33–53.
- [15] Kac V., Cheung P. (2002). *Quantum Calculus*, Springer, New York,
- [16] Kornbluth J.S.H., Steuer R.E. (1981). Multiple objective linear fractional programming, *Management Science* (27) 1024–1039.
- [17] Luhandjula M.K. (1984). Fuzzy approaches for multiple objective linear fractional optimization, *Fuzzy Sets and Systems* (13) 11–23.
- [18] Nykowski I., Zolkiski Z. (1985). A compromise procedure for the multiple objective linear fractional programming problem, *European Journal of Operational Research* (19) 91–97.
- [19] Pal B.B., Moitra B.N., Maulik U. (2003). A goal programming procedure for fuzzy multiobjective linear fractional programming problem, *Fuzzy Sets and Systems* (139) 395–405.
- [20] Rajkovic P.M., Stankovic M.S., Marinkovic S.D. (2003). On q-iterative methods for solving equations and systems. *Novi Sad J.Math* (33) 127-137.
- [21] Saad O. (2007). On stability of proper efficient solutions in multiobjective fractional programming problems under fuzziness, *Mathematical and Computer Modelling* (45) 221–231.
- [22] Sakawa M., Kato K. (1988). Interactive decision-making for multiobjective linear fractional programming problems with block angular structure involving fuzzy numbers, *Fuzzy Sets and Systems* (97) 19–31.
- [23] Schaible S. (1976). Fractional programming I: duality, *Manage. Sci.* (22) 658–667.
- [24] Tiwari R.N., Dharmar S., Rao J.R. (1987). Fuzzy goal programming an additive model, *Fuzzy Sets and Systems* (24) 27–34.
- [25] Cevikel A. C., Ahlatcioglu M. (2010). Solutions for fuzzy matrix games, *Computer & Mathematics with Applications*, (60) 399-410.
- [26] Zadeh L. (2005). Toward a generalized theory of uncertainty (GTU) an outline, *Information Sciences* (172) 1–40.
- [27] Zimmermann H.J. (1978). Fuzzy programming and linear programming with several objective functions, *Fuzzy Sets and Systems* (1) 45–55.
- [28] Zimmermann H.J. (1987). *Fuzzy Set Theory and its Applications*, Kluwer Academic Publishers, Boston.



An Evaluation on the Circular Economy Model and the Loops Design in the Context of Waste Management

Evren Sapmaz Veral*

¹ Ankara Üniversitesi, Sosyal Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7936-7416)

(First received 6 November 2018 and in final form 25 February 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.479333)

ATIF/REFERENCE: Sapmaz Veral, E. (2019). An Evaluation on the Circular Economy Model and the Loops Design in the Context of Waste Management. *European Journal of Science and Technology*, (15), 18-27.

Abstract

The linear economy, which has grown further with the technological, social and economic developments after the first two industrial revolutions, had irreversible negative consequences on the environment. While the global resource use has increased rapidly, our disposable lifestyles have transformed the planet into a 'take-make-use and throw' world and waste generation has become one of the prominent problems of this economy. It is now much clearer that the business as usual linear economy model is not sustainable; besides, increasing population along with the demand on resources makes this model even more unsustainable. Current estimates show that total global consumption has already exceeded 50% of the planet's self-renewal capacity. If nothing is done to rationalize the use of natural resources and to change those unsustainable production and consumption patterns, the situation that is already critical will continue to deteriorate further. To turn the society into a one that can create more value with less natural resource input, a new economic system based on the sustainable use of raw materials, resources and renewable energy is almost a necessity. In this respect, a recent paradigm, 'Circular Economy', is viewed as a promising approach to help to reduce our global sustainability pressures. Based on a narrative literature review, this study focuses on the circular economy, examines the model and the loops underlying the system, then analyses the respective product design strategies under the model within the scope of waste management. In its attempt to provide an analysis of the design strategies for slowing and closing the loops, the models and strategies proposed by some key earlier studies are utilized. Based on the studies, it is evident that the circular economy model would be an effective tool for waste and resource management. However, in general, it is seen that closing loops through recycling is more prominent compared to slowing loops. In the waste management hierarchy, preventing waste before it is generated has the highest priority, accordingly it is concluded that slowing loops is even more important than closing loops. Furthermore, changing only the production patterns would not be enough, it is imperative to change the consumption patterns as well.

Keywords: Circular Economy, Closed Loops, Circular Product Design Strategies, Waste Management.

Döngüsel Ekonomi Modeli ve Atık Yönetiminde Döngülerin Tasarımına İlişkin Bir Değerlendirme

Öz

İlk iki sanayi devriminden sonra teknolojik, sosyal ve ekonomik gelişmelerle hızla ilerleyen lineer ekonominin çevre üzerinde geri dönüşü olmayan olumsuz sonuçları olmuştur. Küresel kaynak kullanım hızlı bir oranda artarken, tek kullanımlık yaşam tarzlarımız gezegeni al, yap, kullan, at dünyası haline getirmiş ve atık oluşumu lineer ekonominin en belirgin sorunlarından olmuştur. Mevcut lineer ekonomi modelinin sürdürülebilir olmadığı daha da açık hale gelmektedir, bunun yanında artan nüfus ve kaynaklar üzerindeki talep bu modeli daha da sürdürülemez kılmaktadır. Mevcut tahminler, toplam küresel tüketimin gezegenin kendini yenileme kapasitesini şimdiden %50 oranında aştığını göstermektedir. Doğal kaynakların kullanımının rasyonelleşmesi ve sürdürülebilir olmayan üretim ve tüketim kalıplarının değiştirilmesi için bir şey yapılmadığı takdirde, zaten kritik olan bu durum giderek daha da

* Corresponding Author: Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sosyal Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye, ORCID: 0000-0002-7936-7416, esveral@gmail.com

kötüleştirmeye devam edecektir. Toplumunu, daha az doğal kaynak girdisiyle daha fazla değer yarabilen bir topluma geçirmek amacıyla, hammadde, kaynak ve yenilenebilir enerji kullanımlarını esas alan yeni bir ekonomik sistemin ortaya çıkması neredeyse bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu bağlamda, güncel bir paradigma olan 'Döngüsel Ekonomi', küresel sürdürülebilirlik baskılarının azaltmaya yardımcı olacak umut verici bir yaklaşım olarak görülmektedir. Literatür araştırmasına dayalı bu çalışma, döngüsel ekonomi modeline odaklanmakta, modeli ve sistemin temelini oluşturan döngüleri incelemekte, model altında önerilen ilgili ürün tasarım stratejilerini atık yönetimi kapsamında değerlendirmektedir. Döngülerin kapatılması ve yavaşlatılması için tasarım stratejilerinin incelenmesi girişimi temelinde, öncü temel çalışmalar kapsamında önerilen modeller ve stratejiler kullanılmıştır. Çalışmalara dayanarak, döngüsel ekonominin atık ve kaynak yönetimi için etkili bir araç olacağı açıktır. Ancak, genel olarak geri dönüşümün, yani döngülerin kapatılmasının döngülerin yavaşlatılmasıyla karşılaştırıldığında daha fazla öne çıktığı görülmektedir. Atık yönetimi hiyerarşisinde, atıkların oluşumundan önce oluşmadan önlenmesi önceliklidir; bu doğrultuda döngülerin yavaşlatılmasının döngülerin kapatılmasından daha önemli olduğu değerlendirilmektedir. Diğer taraftan, yalnızca üretim kalıplarının değiştirilmesi yeterli olmayacaktır, tüketim kalıplarının da mutlaka değiştirilmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Döngüsel Ekonomi, Kapalı Döngü, Döngüsel Ürün Tasarım Stratejileri, Atık Yönetimi.

1. Introduction

The most problematic environmental problems such as climate change, chemical emissions, and hazardous wastes have transboundary effects. Another common point of these problems is that they are closely linked to the production and consumption of products and services. As a result of our disposable lifestyles, it is much more evident that the level of human resource metabolism is not sustainable and needs to be reduced (Schaffartzik et al., 2014). A recent UN forecast suggests that the global population, currently at 7.3 billion, will grow in the coming decades to 9 billion is likely to exceed 11 billion by the end of 21st century (UN DESA, 2015), further draining the planet's already strained natural resources. Such a dramatic growth in population, purchasing power and consumption are already having and unprecedented impact on demand for many resources, moreover demand is expected to increase. (Andrews, 2015: 308). Over the last four decades, the global use of materials almost tripled, from 26.7 billion tonnes in 1970, to 84.4 billion tons in 2015. Not only has material use been increasing but it has been accelerating; resource extraction increased 12-fold between 1900 and 2015, with further doubling forecast for the next 30 years to 2050 (Circularity Gap Report, 2018: 4).

On the global scale, more pollution and waste are generated each day and the pressure on the ecosystem is increasing. It is envisaged that this amount will increase in line with the population growth, increasing income and urbanization simultaneously. Annual waste generation is estimated at 3.4-4 billion m³, and according to a OECD (2011) study, these figures indicate that about a fifth of raw materials extracted worldwide ends up as waste. In addition, a World Bank study points out that the current amount of domestic waste of 1.3 billion tons would reach 2.2 billion tons by 2025 (Wilson et al., 2012). Similarly, hazardous waste is rapidly increasing in the domestic waste composition, while new types of waste such as e-wastes are also of concern.

Waste management is an issue that concerns many aspects of society and the economy, with close relationships with health, climate change, poverty prevention, food and resource security, sustainable production and consumption. On 25 September 2015, the UN General Assembly adopted the 2030 Development Agenda titled "Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development", including 17 Sustainable Development Goals (SDGs) to end poverty, combat inequality and injustice and overcome climate change by 2030. Under the SDGs, it is seen that waste management is referred both directly and indirectly. The objectives of the Goal 11 "Making cities inclusive, safe, resilient and sustainable", Goal 3 "Ensuring healthy lives and promote well-being for all at all ages" and Goal 12 "Ensuring sustainable consumption and production patterns" are directly linked to waste management.

With its rise to political prominence, 'Circular Economy' is viewed as a promising approach to help to reduce our global sustainability pressures, and it is an alternative to current and predominant linear model (Andrews, 2015: 305). Through the circular economy, focusing on waste and resource management while setting and monitoring global targets for waste management will contribute significantly to attain SDGs. The model is promoted by many governments, business advocacy bodies and international organisations. China enacted a law for the promotion of the circular economy in 2008, while in the European Union (EU), the Circular Economy Package including a comprehensive action plan and legislative proposals for waste was adopted by the European Commission on December 2, 2015 line with the objective of transition towards a resource-efficient, green and competitive low-carbon economy (Sapmaz Veral, 2018: 463). This study focuses on the circular economy model, examines the model and the loops underlying the system, then discusses the product design strategies for closing and slowing the loops within the context of waste management.

2. Material and Method

Based on narrative review, this paper reviews the literature on circular economy with the aim of improving our understanding of the loops underlying the system as well as the importance of loops design in the context of waste management. Literature and the relevant documents were searched by using "circular economy", and the search resulted in collection of both academic and non-academic literature, then through snowball sampling the reference lists of key documentation were examined. The selected studies were summarized respectively.

This paper has the following structure: After a brief introduction with the waste concept and waste management approaches, the circular economy model and the loops underlying the model were described. For the description of the model, the reports of Ellen Mac Arthur Foundation (EMF) and European Environment Agency (EEA) were taken as a starting point, since these reports have

been responsible for the increased attention of business, government and other actors for the circular economy concept across Europe and worldwide. Notwithstanding, other studies which have defined the circular economy concept were regarded as well. Then, in its attempt to provide an analysis of the relevant design strategies for slowing and closing the loops in the context of waste management, the product design strategies proposed by Bocken et al., which builds on the works by Stahel and Braungart et al., were utilized. Finally, the effects of slowing and closing loops were discussed and evaluated in the context of waste management.

3. Literature Review

3.1. 'Waste' Concept and Waste Management Approaches

Although "waste" is a very broad concept, it can be defined as unwanted or discarded materials, rejected as useless, unnecessary or excess (GWMO, 2015: 23). Barles (2014: 199-226) point out that wastes that we define today emerge from three different terms in the past; in the first category there are terms related to themes of loss and uselessness (dechet in French, garbage in English, residuo in Spanish and abfall in German). The second category consists of terms that emphasize pollution (immondice in French, horridus in Latin). The last category describes the materials that make up the waste (boues in French, rubbish in English, spazzatura in Italian). Waste could also be defined as a combination of the four wrongs: a wrong substance, in a wrong quality, in a wrong place at a wrong time (Huda cited in GWMO, 2015). Although this use of the term waste is very wide, it includes undesirable outputs of human activities such as gases, liquids and solids, as well as discharges to air, water and soil (GWMO, 2015).

The Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal includes an internationally accepted, narrower definition of waste: 'substances or objects which are disposed of or are intended to be disposed of or are required to be disposed of by the provisions of national law' (Basel Convention). In the EU Waste Framework Directive 2008/98/EC, waste is defined as 'any substance or object which the holder discards or intends or is required to discard'(EC,2008).

When the waste management approaches of the different countries are examined, it is seen that the approaches and the capacities differ according to the development levels. When its historical development is examined, it is seen that periodic conditions have shaped waste management approaches. Public health, environmental concerns and resource value of waste have been the main factors shaping waste management.

Wilson et al. (2012) identifies 6 main factors driving the development of waste management. Public health problems as cholera epidemics in the 19th century have led to the development of waste collection systems, in the 1970s, the prominent environmental protection movement tackled the uncontrolled disposal issue and led to tighter technical standards. The resource value of the waste, which has been a historically important factor supporting especially the poor's livelihood in the past, still remains as an important factor. Currently, in developed countries, owing to its resource value, transition from waste management to a more integrated waste and resource management is becoming more common. Other important factors include social awareness along with corporate responsibility issues. It is also underlined that one single factor does not determine the development of waste management; it will vary among the countries in line with their conditions and perspectives. Increased disposal costs from the 1980s and increased public opposition to new sites have led developed countries to rediscover recycling for their wastes. Furthermore, with the increasing concerns related to the depletion of natural raw materials and resource scarcity, a focus on waste prevention and resource efficiency has begun.

A more recent factor shaping waste management policies is the significant negative impacts on the global environment, that is, human-induced climate change. IPCC (2013) predicts that methane emissions from solid waste management, particularly from landfill facilities, account for about 3% of global greenhouse gas emissions in 2010. Better waste and resource management will contribute much to combat climate change. Similarly, recycling replaces raw materials with a much lower cost of carbon and reduces emissions. It is stated that focusing on waste and resource management for many sectors has the potential to reduce greenhouse gases by 15-20% in the short term in combating climate change. In Germany, for example, 24% of the reduction in greenhouse gas emissions from 1990-2006 stems from solid waste management (GWMO, 2015: 8).

Consequently, while the initial focus was on waste after it had been discarded, at present, attention has moved upstream, addressing the problem at its source through, such as, designing out waste, preventing its generation, reducing both the quantities and the uses of hazardous substances, minimizing and reusing, and, where residuals do occur, keeping them concentrated and separate to preserve their intrinsic value for recycling and recovery and prevent them from contaminating other waste that still has economic value for recovery (GWMO, 2015).

Today, in developed countries, a transition from waste management to resource management is realized with complementary policy initiatives such as sustainable consumption and production, circular economy and green economy that are embodied by the UN summits.

3.2. The Circular Economy Model

The circular economy model is defined as a model of clean production enabling reuse of products and raw materials with almost zero waste generation, in which energy and all resources are used efficiently and waste is recycled through a holistic process. Haas et al. (2015: 765) describes the circular economy, as a simple, but convincing strategy, which aims at reducing both input of virgin materials and output of wastes by closing economic and ecological loops of resource flows. UNEP (2006) defines the circular economy as a model that balances economic development with the protection of the environment and resources. Circular economy means reuse, repair, refurbishing, and recycling of the existing materials and products; what was earlier considered to be waste becomes a resource (Jurgilevich et al., 2016), while the central point of circular economy is to create value through material retention (Buruzs and Torma, 2016).

Circular economy focuses on natural systems; where, nature becomes the source of inspiration for resource efficiency, and the model mirrors natural life cycles (Andrews, 2015: 305). Circular economy is also related to the concept of cycles, including biological-chemical cycles and the recycling of products (Bocken et al., 2016). The system is not only about recycling; it focuses on the use of sustainable energy sources such as solar, wind, biomass and waste from energy; along with increase in the reuse, repair, recycling and recovery of existing materials and products (Korhonen et al., 2018: 545). Preston (2012: 3) emphasizes that in a Circular Economy, large volumes of finite resources (metals and minerals, for example) are captured and reused by closing the resource loop; other products can be made from plant-based materials, which will eventually biodegrade into fertilizers at the end of their product life. The redesign of the industry at the system level will also enable energy efficiency, while the remaining energy will be provided by renewable energy sources. At this point, as Preston (2012) underlines, spreading the logic to the whole economy requires profound changes in the basic structures of industrial systems.

The circular economy model seeks to maximize the value of natural resources. It is regenerative and restorative in terms of design; aims to eliminate waste generation through the design of materials, products, systems and business models (EASAC, 2015). The redesign of manufacturing and service supply systems in circular economy focuses on value creation (Murray, 2017: 373). In the circular economy, focusing on the lifecycle approach from the cradle to the cradle in the whole product chain, the resources are kept in use for the longest possible time, and their maximum values are attained, unlike the traditional take-make-use-throw model of the linear economy. Murray et al. (2017: 1) also states that the Circular Economy places emphasis on the redesign of materials and the cycling of materials, hence may contribute to a sustainable business model, but they criticize the lack of social dimension in most of the definitions. Korhonen et al. (2018) points out that circular economy aims not only to promote sustainable production, but it also aims to promote sustainable consumption.

A study by the EEA shows a simplified model of circular economy (Figure 1). The basic idea is to minimize waste generation and material inputs through eco-design, recycling and reuse of products. Thus, while the dependence on extraction and imports will be reduced, both economic and environmental benefits will be attained.

The outer circle represents the overall energy flows. Relevant parameters are the share of renewables and total energy efficiency, which are expected to be much higher compared to the linear model. Although the energy recovered from incineration can compensate for fuel use, the incineration should also be minimized, because the energy obtained from the incineration can only be used once and removes materials from the loop.

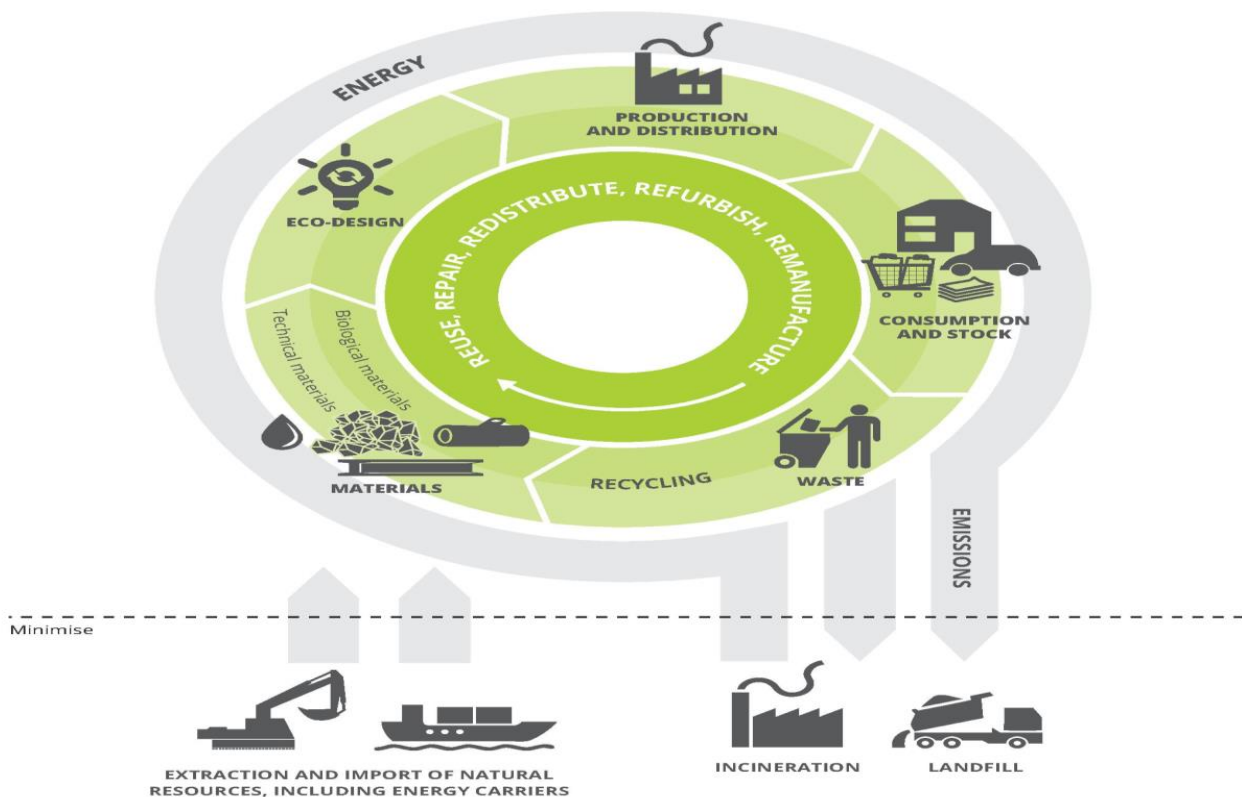


Figure 1. EEA's Circular Economy Model Outline (EEA, 2016: 10)

The middle circle represents the material flows in the recycling loop and distinguishes between abiotic technical materials such as metals and minerals and biological materials. Since they are completely renewable, it would be beneficial to increase the share of

biological materials. In practice, technical and biological materials are often mixed, which has consequences for biodegradability and reversibility. On the other hand, with the use of more biological materials, there is a risk of exerting additional pressure on natural capital, with impacts on ecosystem resilience.

The inner circle represents reuse, redistribution, repair, remanufacture and refurbishment, bypassing waste generation and recycling, so that the minimum amount of resource input is possible. With these approaches, it is possible to retain the value of products, components and materials at the highest possible level (EEA, 2016: 9).

Ellen MacArthur Foundation (EMF), which advocates and supports the move to a circular economy model with business world in Europe in particular, defines the circular economy as an industrial system that is restorative or regenerative by design replacing the end-of-life concept with restoration, shifts towards the use of renewable energy, eliminates the use of toxic chemicals, which impair reuse. At its core, a circular economy aims to design-out waste (EMF, 2015b:3). Thus, in this economy, resource extraction, emission and environmental pressures associated with waste are reduced, while the need for virgin materials and energy input is minimized. This system requires more efficient and sustainable management of natural resources throughout life cycles. As a result, it provides opportunities to create welfare, growth and new jobs while reducing environmental pressures. Eco-design, repair, reuse, renewal, remanufacturing, product sharing, waste prevention and waste recycling are all important in the circular economy. At the same time, if inevitable, the energy recovery from non-recyclable waste; landfills and incineration will be deployed, but their share will be minimized, and material losses will be reduced.

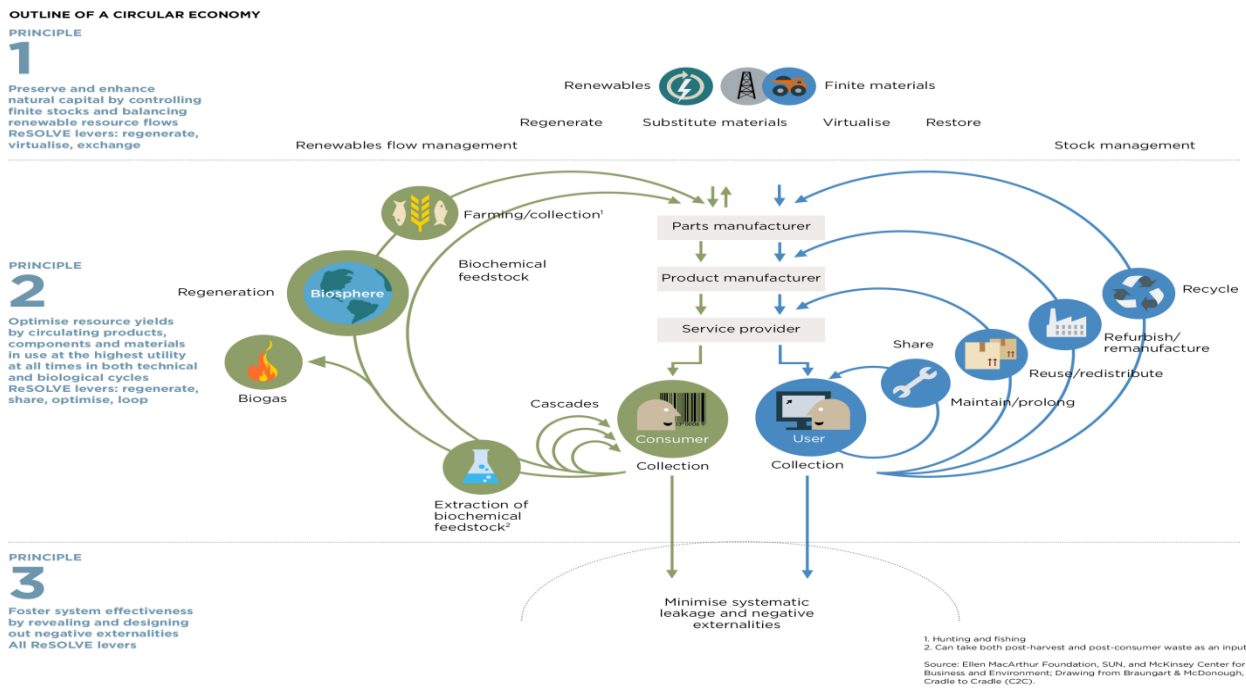


Figure 2. EMF's Circular Economy Model Outline (EMF, 2015a: 24)

3.3. The Loops under the Circular Economy Model

Although there are different definitions regarding the circular economy, it is seen that cyclical, closed-loops are widely in common (Murray et al., 2017), and there is a distinction between technical and biological cycles of resources. In the circular economy, material flows are made up either of biological materials, which after discard are available for ecological cycles; or of materials designed to circulate within the socioeconomic system with reuse and technical recycling (Haas et al, 2015: 765). As for waste materials, there are only two possible long-run fates: either recycling and reuse, or dissipative loss (Bocken et al., 2016: 308).

EMF (2015a) identifies four key elements as the sources of value creation in the circular economy with the loops (Figure 3).

- The power of the inner circle (lower cost in production): A tighter circle allows the product to return to use faster and has higher potential savings on the shares of material, labor, energy and capital embedded in the product.

- The power of circling longer (extending the life of the products): Keeping the circling longer means maximizing the number of consecutive cycles (repair, reuse, remanufacturing or recycling) and / or maximizing the time in each cycle. As a result, more material, energy and labor use necessary to create a new product or component would be avoided.
- The power of cascaded use (waste is food): This refers to diversifying reuse across the value chain, for instance, the use of cotton clothing as second-hand apparel first, then re-use of it as fiber-fill in upholstery in the furniture industry, later for reuse in stone wool insulation for construction and so on... This substitute for an inflow of virgin materials, providing important advantages.
- The power of pure circles: Uncontaminated material streams increase collection and redistribution efficiency while maintaining quality, which, in turn extends product longevity and material productivity (EMF, 2015a)

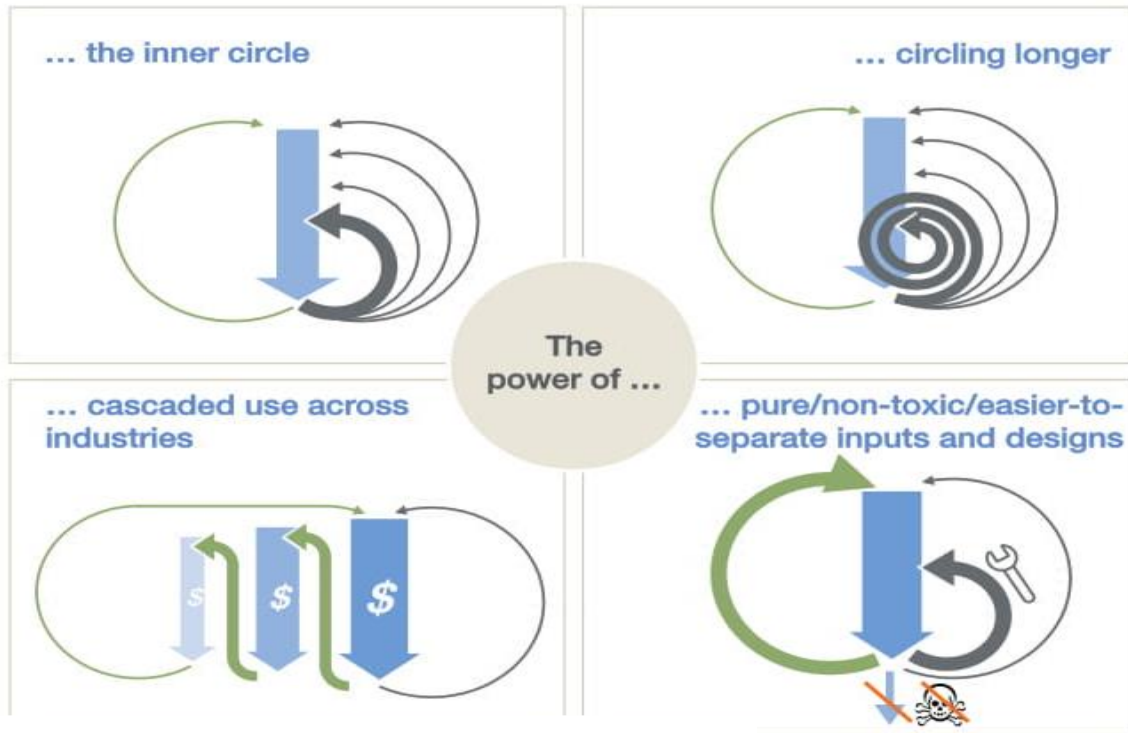


Figure 3. Sources of Value Creation for the Circular Economy (EMF, 2015a: 13)

In the closed-loop system, Stahel distinguishes between the reuse of goods and the recycling of materials in the technical loops. Recycling closes the cycle between post-waste utilization and production but does not affect the flow rate of materials or goods in the economy. Building on Stahel's work, McDonough and Braungart propose two fundamental strategies: (i) slowing resource loops and (ii) closing resource loops. In the former strategy, the utilization period of products is extended or intensified, resulting in a slowdown of the flow of resources. Rather, in the latter strategy of closing resource loops, through recycling, the loop between post-use and production is closed, resulting in a circular flow of resources (Bocken et al., 2016).

As a third approach, in the efficient use of resources or resource efficiency, it is aimed to use less primary/virgin resources; where efficiency is associated with the concept of cleaner production (Rizos, 2017: 10). At this point, Bocken et al. (2016: 310) notes that resource efficiency implies a constant flow of materials independent of time, and hence may result in further accelerating the linear flow of resources.

3.4. Product Design Strategies

It is agreed that circular economy offers significant advantages including economic, environmental and social benefits. However, the transition to a circular economy requires an entirely new way of thinking, as well as a new approach to process and product design. Whilst major strides have been made in improving resource efficiency and exploring new forms of energy, it is stressed that less thought has been given to systematically designing out material leakage and disposal (EMF, 2015a). In the concept of the circular economy, preserving the value of products for as long as possible plays a central role, and products centre-stage in the transition process (EEA, 2017: 6). Andrews (2015) argues that just as designers facilitated the development of the linear economy, they have the potential to facilitate and even lead the development of a circular economy. McDonough (1993), defines *good design* as the one in

which the things we made must not only rise from the ground but return to it, so everything that is received from the earth can be freely given back without causing harm to any living system.

Circular economy necessitates eco-friendly design of products providing the same service with less material input that increases life-times, facilitating repair and resale, product upgrades, modularity and remanufacturing, component reuse and finally facilitating recycling at the end of product life (Haas et al., 2015: 774). Bocken et al. (2016: 310) stress that it is important to make process design at the early stages of the product design process, as it is difficult to make changes after resources, processes, infrastructures and activities are associated with a specific product design. In this design for future, a systematic perspective during the design process should be adopted and the right materials should be employed for appropriate lifetime and extended future use (Circularity Gap Report, 2018).

Table 1 presents the design strategies for closing and slowing loops as proposed in the study of Bocken et al. (2016), their proposed strategies are then summarized afterwards.

Table 1. Design Strategies to Slow and Close Loops

Design Strategies to slow loops	Design strategies to close loops
Designing long-life products	Design for a technological cycle
Design for attachment and trust	Design for a biological cycle
Design for reliability and durability	Design for dis- and reassembly
Design for product-life extension	
Design for ease of maintenance and repair	
Design for upgradability and adaptability	
Design for standardization and compability	
Design for dis- and reassembly	

Reference: Bocken et al., 2016: 310

Under slowing resource loops, the first major design strategy is to design long-life products. This is to ensure longer use of products. Design for attachment and trust is concerned with the creation of products that will be loved, liked and trusted for longer periods of time. This is also referred to as the design for emotional durability. Design for durability is related to the development of products with physical durability, which take wear and tear without breaking down and in which material selection for durability is the most important part of the design process. In the design for reliability, a product will operate throughout a specified period without experiencing a chargeable failure, in which product testing to mimic normal use can help test the reliability of the product (Bocken et al., 2016: 311).

The second design strategy for slowing resource loops is designing for product-life extension. This strategy is related with the extension of the use period of goods through the introduction of service loops, including reuse of the product itself, maintenance, repair and technical upgrading, and combination of these. Users can easily repair and replace the broken parts. Another strategy for slowing the loops is design for maintenance and repair. In the design for upgradability and adaptability, products are designed in an upgradeable way allowing future expansion and modification. The third strategy, design for standardization and compliance, is about creating products that can be compatible with other products. Fourth, design for dis and reassembly is about ensuring that products and parts can be separated and reassembled easily. This strategy is essential to separate materials that will enter different biological or technological cycles (Bocken et al., 2016: 311).

Bocken et al. (2016) also emphasize that the Cradle-to-Cradle design philosophy, created by McDonough and Braungart to close loops, has inspired many companies and designers to apply an ambitious strong circular approach to product design. McDonough and Braungart developed two strategies for product design, similar to the work of Ayres. According to Ayres, there are only two possible long-run fates for waste materials: either recycling and reuse, or dissipative loss. Hence, dissipative losses are to be made compatible with biological systems, fit for the biological cycle; whereas other materials are to be completely recycled, fitting a technological cycle. Design strategy for a technological cycle is suitable for service products rather than products for consumption. When designing a technological cycle, designers aim to develop products that can be recycled into new materials or products continuously and safely.

Design for a biological cycle is suitable for products of consumption that are consumed or wear during use and results in a dissipative loss of resources. With this strategy, products for consumption are designed with so-called “biological nutrients”, safe and healthy materials, which create food for natural systems across their life cycle and biodegrade to start a new cycle. Design for dis and re-assembly, which also exists under the strategy for slowing loops, is a strategy that contributes to design for a technological and biological cycle. This strategy is fundamental to separate materials that are biologically and technologically diverse (Bocken et al., 2016).

4. Results and Discussion

In this study, it is intended to contribute to the debate for the impacts foreseen for a circular economy in the context of waste management. The literature on circular economy model is reviewed with a focus on the loops underlying the system, and the relevant design strategies for slowing and closing the loops are examined. As emphasized by Rizos et al. (2017), circular economy is a complex concept and it is unlikely that in the short term there can be an international consensus on its meaning. While there are many different definitions regarding the circular economy model, cyclical, closed-loops are widely in common.

In contrast with the dominant paradigm of traditional ‘take-make-use and throw’ linear flow of resources, in this closed-loop system, resources are kept in use for as long as possible while preserving the value of products plays a central role. For this reason, a new approach to process and product design is essential. This eco-friendly design would systematically design out material leakage and disposal, while providing the same service with less material input. The system works to reduce waste before it is produced and treats waste as a resource after it is produced. As for the proposed product design strategies, in the strategy of slowing loops, the utilization period of products is extended or intensified, resulting in a slowdown of the flow of resources; while in closing resource loops, through recycling, the loop between post-use and production is closed.

All these design strategies support a circular approach and minimize waste generation while minimizing the need for the extraction of the virgin raw-materials. As far as the waste management hierarchy is concerned, preventing waste before its generation has the highest priority. Likewise, the design strategies should follow the hierarchy as well, with the highest priority to be given to waste prevention and designing-out waste. Consequently, while closing resource loops through recycling is of vital importance, slowing loops through designing for long-life products and designing for product-life extension, facilitating repair and reuse, thus, preventing new waste generation is as important as, even more important than closing resource loops. As noted by Haas et al. (2015), circularity cannot be achieved on the basis of recycling alone, and achieving a reversal of the trend of global growth in resource consumption into a dynamic of reduction, or at least a steady-state physical economy, remains the greatest challenge of all. This would require fundamental changes not only in the production patterns but also in the consumption patterns respectively.

5. Conclusions and Recommendations

It is clear that the circular economy is promising in terms of waste and resource management. Nevertheless, as stated in an EEA report (2016), current work on indicators that track progress towards a circular economy has been driven, to a large extent, by developments in material resource efficiency and waste management but these statistics fall short of providing a basis for material losses and the qualitative aspects of recycling, while more robust data are needed on new business trends and sustainable consumption.

Regarding sustainable consumption, generally, as it is the “wants” rather than the “needs” which underlines the overconsumption in most of the developed countries, in the past, it has been assumed that it would be sustainable enough if their waste is recycled. However, circularity cannot be achieved based on recycling alone and in order to be an important tool in terms of sustainability, the system should be effective in changing the consumption patterns as well as the production patterns. In a world of increasing population and per capita consumption where planetary boundaries are at risk, rather than discarding products before their value are fully utilized, consumers should use and re-use them. In this sense, in this study, it is argued that in the product design strategies, while closing resource loops through recycling is of vital importance, slowing loops through designing for long-life products and designing for product-life extension, facilitating repair and reuse, thus, preventing new waste generation is as important as, even more important than closing resource loops. Future work and adequate number case studies will be necessary to assess the environmental, social and economic impacts of each separate product design strategies and to explore the most efficient regulatory frameworks and incentives to alter the consumers’ preferences in that sense.

References

- Andrews, D., (2015), The Circular Economy, Design Thinking and Education for Sustainability, *Local Economy*, 30(3), 305-315.
- Anonymous (2018), Basel Convention. www.basel.int, Accessed: 21.05.2008.
- Bocken, N. M., de Pauw, I., Bakker, C., & Van der Grinten, B., (2016), Product Design and Business Model Strategies for a Circular Economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308-320.
- Buruzs, A., & Torma, A., (2016), A Review on the Outlook of the Circular Economy in the Automotive Industry, [https://www.waset.org/downloads/15/papers/17ae060075\[6\].pdf](https://www.waset.org/downloads/15/papers/17ae060075[6].pdf), Erişim Tarihi: 11.12.2018.
- The Circularity Gap Report, (2018), <https://www.circle-economy.com/the-circularity-gap-report-our-world-is-only-9-circular/> Erişim: 24 Şubat 2018
- European Academies Science Advisory Council (EASAC) (2015), *Circular Economy: A Commentary from the Perspectives of the Natural and Social Sciences*. http://www.easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/EASAC_Circular_Economy_Web.pdf, Accessed: 20.10.2017.
- European Commission (EC) (2008), Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing Certain Directives. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0098>, Accessed: 21.05.2008.
- European Environment Agency- EEA (2014), *Waste Prevention Report*, <https://www.eea.europa.eu/publications/waste-prevention-in-europe-2014>, Accessed: 03.11.2017.
- EEA (2016), *Circular Economy in Europe- Developing the Knowledge Base*, <https://www.eea.europa.eu/publications/circular-economy-in-europe>, Accessed: 04.02.2017
- EEA (2017), *Circular by Design – Products in the Circular Economy*, EEA Report No 6/2017, European Environment Agency, Copenhagen.
- Ellen MacArthur Foundation- EMF (2015a), *Towards the circular economy. Economic and business rationale for an accelerated transition*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition>, Accessed: 20.12.2017.
- EMF (2015b), *Delivering the Circular Economy – A Toolkit for Policymakers*. <https://tinyurl.com/ztd4f2u>, Accessed: 11.12. 2017.
- Haas, W., Krausmann, F., Wiedenhofer, D., & Heinz, M.,(2015), How circular is the global economy?: An Assessment of Material Flows, Waste Production, and Recycling in the European Union and the World in 2005, *Journal of Industrial Ecology*, 19(5), 765-777.
- Huda, K. M. N., (2008), *Municipal Solid Waste Management - Bangladesh Perspective*. Dhaka: Academic Press and Publishers Library.
- IPCC (2013), *Fifth Assessment Report - Climate Change 2013 - IPCC*.
- Jurgilevich, A.et al., (2016), Transition towards Circular Economy in the Food System, *Sustainability*, Vol. 8, No. 1.
- Korhonen, J., Nuur, C., Feldmann, A., & Birkie, S. E., (2018), Circular Economy as an Essentially Contested concept. *Journal of Cleaner Production*, 175, 544-552.
- McDonough, W., (1993), *Design, ecology, ethics and the making of things: centennial sermon on the 100th anniversary of the Cathedral of St. John the Divine, New York City*, Retrieved 7 February, 2010.
- McDonough, W. and Braungart M., (2002), *Cradle to Cradle: Remaking the way we make things*, New York, NY: North Point Press.
- Murray, A., Skene K. and Haynes. K., (2017), The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and its Application in a Global Context, *Journal of Business Ethics*, Vol. 140, No.3, pp. 369-380.
- Murray, S. J., Foster, P. N., & Prentice, I. C., (2012), Future Global Water Resources with respect to Climate Change and Water Withdrawals as Estimated by a Dynamic Global Vegetation Model, *Journal of Hydrology*, 448, 14-29.
- OECD (2011), *Indicators. Towards Green Growth Monitoring progress*.

- Preston, F. *A Global Redesign? Shaping the Circular Economy Briefing Paper*. London: Chatham House (2012): 1-20. Erişim Tarihi: Ağustos 2, 2018. <https://www.chathamhouse.org/publications/papers/view/182376>.
- Rizos, V., Tuokko, K. & Behrens, A. (2017), *The Circular Economy: A review of definitions, processes and impacts*. CEPS Research Report No 2017/8, April 2017.
- Sapmaz Veral, E. (2019), The Recent Measures and The Strategies of The EU Member States Towards Circular Economy Transition, *Ankara Review of European Studies*, 17 (2), 463-488. DOI: 10.32450/aacd.511998
- Schaffartzik, A., Mayer, A., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Loy, C., & Krausmann, F., (2014), The Global Metabolic Transition: Regional Patterns and Trends of Global Material Flows, 1950–2010. *Global Environmental Change*, 26, 87-97.
- Stahel, W. R., (1998), From Products to Services: Selling performance instead of goods, *IPTS Report*, 27.
- UN DESA (2015), *World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables*, Working Paper No 5ESA/P/WP.241, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York.
- UNEP (2006), *Circular Economy: An Alternative for Economic Development*.
- Wilson, D.C., L. Rodic, A. Scheinberg et al., (2012), Comparative Analysis of Solid Waste Management in 20 Cities, *Waste Management & Research*, 30(3), 237-254
- Wilson, D. C., Rodic, L., Modak, P., Soos, R., Carpintero Rogero, A., Velis, C. & Simonett, O., (2015), *Global Waste Management Outlook (GWMO)*; Prepared for United Nations Environment Programme (UNEP) and International Solid Waste Association (ISWA); Wilson, DC, Ed. UNEP International Environment Technology Centre (IETC): Osaka, Japan.



Gamma-Ray Attenuation Properties of Flexible Silicone Rubber Materials while using Cs-137 as Radioactive Source

Bulent BUYUK^{1*}

¹ Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Engineering Sciences Department, 10200, Bandırma/Balıkesir (ORCID: 0000-0001-5967-6855)

(First received 26 December 2018 and in final form 21 January 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.501475)

REFERENCE: Buyuk, B. (2019). Gamma-Ray Attenuation Properties of Flexible Silicone Rubber Materials while using Cs-137 as Radioactive Source. *European Journal of Science and Technology*, (15), 28-35.

Abstract

In this study, pure silicone rubber and iron ore concentrate added silicone rubber materials were performed against Cs-137 gamma source. Cs-137 is accepted intermediate energy level gamma source in nuclear technology because of its energy peak at 0.662 MeV. Up to 67 wt. % iron ore concentrate added into silicone rubber materials were used in the experiments. Linear attenuation curves were carried out for the studied samples against Cs-137 gamma energy. Increasing iron ore ratio in the materials caused the higher radiation shielding performance for Cs-137 gamma energy. In addition, increasing iron ore ratio decrease the total volume air bubbles in the samples. Decreasing air bubbles in the samples has contributed to gamma ray shielding. 0.5 mmPbE and 1 mmPbE Lead equivalent (PbE) values were determined for the samples. 0.5mmPbE standard has been provided by using 2.83 mm thick of 67 wt. % iron ore concentrate imbedded silicone rubber at 0.662 MeV gamma energy. In conclusion, iron ore concentrate imbedded silicone rubber materials are among the promising economic radiation shielding materials which could be alternative to lead.

Keywords: Cs-137; Silicone rubber; Gamma attenuation; Lead equivalent thickness; Iron ore concentrate.

1. Introduction

Radiation sources have been used for many years in nuclear technology applications from medicine to nuclear energy. In nuclear technology, protection from the unnecessary radiation is essential and should be provided by some protective materials [1-3]. Lead is the most used material for gamma and x-ray shielding thanks to its properties such as easy and cheap production and high density [4]. Therefore, usually radiation shielding standards were used to provide same attenuation ratio of pure lead and mixed materials [5]. For example, 0.5mmPbE means the equivalent attenuation ratio of pure lead which has thickness of 0.5 mm for a specific radiation energy. However, lead is highly toxic and hazardous materials for environment. Therefore, there were remarkable studies to get lead-free materials for radiation shielding applications. Tungsten, bismuth, antimony, iron and barium was among the candidate materials for radiation shielding instead of lead [4-15]. On the other hand, some of the alternative materials have more expensive production costs whereas some of them have bigger lead equivalent thickness and weight. Although tungsten has bigger linear attenuation coefficients [8] than lead, the price of tungsten prevents to use it widely in commercial applications. In addition, producing the radiation shielding garments with light-weight, easy to use, comfortable and effective cost properties will help using these materials in applications, widely.

Flexible materials with some additives are used to produce radiation protective garments, collars, caps, curtains etc. [8-11, 13]. Usually rubbers, polymers, vinyl are used as matrix materials to get flexible radiation protective materials whereas lead, antimony, tungsten and bismuth powders are used for additives. Silicone rubbers are one of the matrix materials which has good elasticity properties [16, 17]. In addition, iron is one of the good radiation attenuators. It has relatively cheap production cost when the ore form of iron is used [13].

Cs-137 is a gamma source which has been used in many applications [18]. It is accepted as medium energy level gamma source which has unique gamma peak at 0.662 MeV. The Compton scattering effect is dominant when the gamma rays of Cs-137 interact with

¹ Corresponding Author: Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Engineering Sciences Department, 10200, Bandırma/Balıkesir, ORCID: 0000-0001-5967-6855, bbuyuk@bandirma.edu.tr

the materials atoms. Also photo electric events are possible in interactions whereas no pair production event takes place because of the gamma energy under 1.02 MeV.

The Cs-137 gamma attenuation properties of pure silicone rubber and iron ore concentrate added silicone rubber materials were carried out. The lead equivalent thicknesses of the samples were determined at 0.662 MeV. The possible uses of the samples were evaluated for nuclear technology applications.

2. Experimental Methods

Room temperature vulcanized (RTV-2) silicone rubber was used as flexible matrix material. Polydimethylsiloxane (PDMS) is the most common form of silicone and it is originally liquid. PDMS polymers are transformed elastomeric solid structure by means of catalyzed cross-linking reactions [16]. About 5 wt. % stiffener was added to silicone rubber liquid to get catalyzed cross-linking reactions. These reactions create chemical bonds between neighboring chains. The homogenous mixtures (liquid silicone rubber + stiffener) poured to cylinder molds which have 5 cm diameter and 0.5 cm thickness. After waiting 24 hours the materials become elastomeric solid structure. The main properties of the silicone rubber were given on Fig 1 and Table 1.

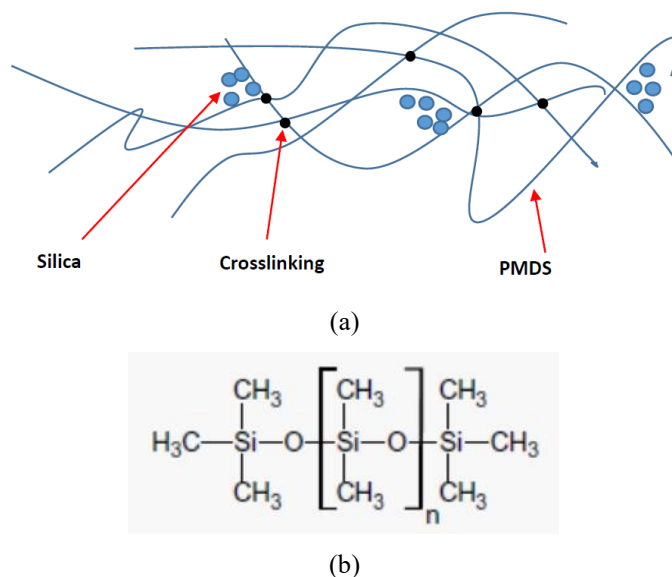


Figure 1. Schematic view of crosslinking process (a) and chain structure(b) for silicone rubber [16].

Table 1. General properties of the matrix material [17]

RTV-2 Silicone Rubber	
Specific Gravity (g/ml)	1.14
Mixing Ratio, by weight	10:1
Elongation (%)	350
Pot Life (h)	2
Cure Time (h)	24

In addition, Magnetite (Fe_3O_4) iron ore concentrate (~63 wt.% Fe content) powders were added to silicone rubbers for radiation attenuation tests. Iron ore powders which have about 500 μm average particle size were put into the silicone rubbers after adding stiffener in solidification process. Different iron ore concentrate ratios from 5 wt. % to 67 wt. % were imbedded to silicone rubbers successfully without losing significant elasticity. The samples were coded according to iron ore ratio in the sample. For example, 10 wt. % iron ore concentrate imbedded silicone rubber sample coded as SDT-10. Figure 2 and Table 2 shows the produced samples.

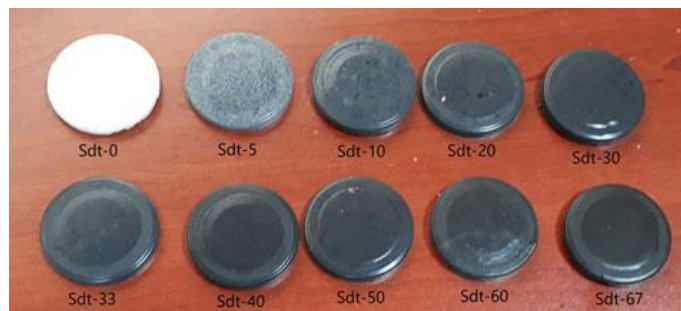


Figure 2. Produced pure silicone rubber and iron ore concentrate added silicone rubber samples.

Table 2. Produced pure silicone rubber and iron ore concentrate-silicone rubber materials.

Code	Iron Ore (wt%)	Silicone Rubber (wt%)
Sdt-0	0	100
Sdt-5	5	95
Sdt-10	10	90
Sdt-20	20	80
Sdt-30	30	70
Sdt-33	33	67
Sdt-40	40	60
Sdt-50	50	50
Sdt-60	60	40
Sdt-67	67	33

The homogeneity of the samples was figured out by X-ray radiograph films (Portable digital radiography system). The view of the x-ray radiograph system was shown in Figure 3. The x-ray radiography films were taken by 10 pulses of the machine at 250 kV operating voltage.



Figure 3. View of X-ray radiography system

In addition, radiation shielding properties of the samples were investigated by gamma transmission technique (Figure 4). Cs-137 gamma radiation source was used in the experiments which has unique energy peak at 0.662 MeV. This energy level was accepted in intermediate energy region which Compton scattering interaction is dominant. NaI Scintillation detector has been used to detect gamma radiation. Two lead blocks with 0.7 mm holes were used to get narrow beam conditions as well as biological shielding. The distance between the source and detector is 35 cm.

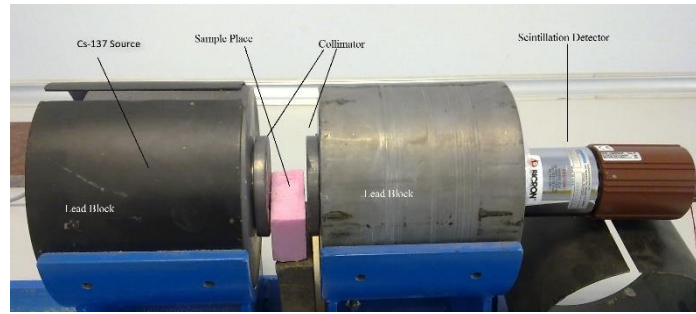


Figure 4. View of Gamma transmission technique for Cs-137 gamma source.

At first initial radiation intensity was measured without material in the sample place. Then samples were put in the place with different thickness and counted to get transmitted radiation intensity. Each experiment was applied by 300 s. The Relative intensity values of the samples at different thicknesses were carried out and graphed. The graphs were fitted exponentially to get linear attenuation coefficients of the samples according to Beer Lambert's Equation:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

Where I and I₀ were transmitted and incident radiation intensity, respectively. μ is the linear attenuation coefficient at 0.662 MeV gamma ray energy and x is the material thickness in cm. The linear attenuation coefficient could be derived from Beer Lambert's equation as;

$$\mu = [-(1/x)] \ln [I/I_0] \quad (2)$$

The linear attenuation coefficient is sum of three main interaction mechanisms between gamma rays and materials atoms. These are photoelectric event (pe), Compton scattering (cs) and pair production (pp) events.

$$\mu = \mu_{pe} + \mu_{cs} + \mu_{pp} \quad (3)$$

On the other hand, pair production event doesn't occur for gamma energies under 1.02 MeV. Therefore, there is no pair production event for Cs-137 gamma source which has gamma energy 0.662 MeV. The linear attenuation coefficients of the samples were evaluated by the view of radiation shielding capability and compared to each other. In addition, the results were carried out according to iron ore concentrate ratio and discussed.

Radiation shielding properties were figured out for each sample and compared with the 0.5 mm and 1 mm lead equivalent (PbE) radiation shielding for Cs-137 gamma source. The attenuation ratios of 0.5 mmPbE and 1 mmPbE were determined by using XCOM computer code which is widely used in the literature [19].

3. Results and Discussion

3.1. Homogeneity of produced silicone rubbers

The radiographic film of the pure silicone (Sdt-0) sample was given on Figure 5. Pure silicon has uniform distribution whereas just some air bubbles occurred at edge (red circles in Figure 5). The air bubbles could be reasoned of pouring liquid silicone mix to mold with non-uniformly. The pure silicone has also good elasticity and doesn't wear when folded on its own.

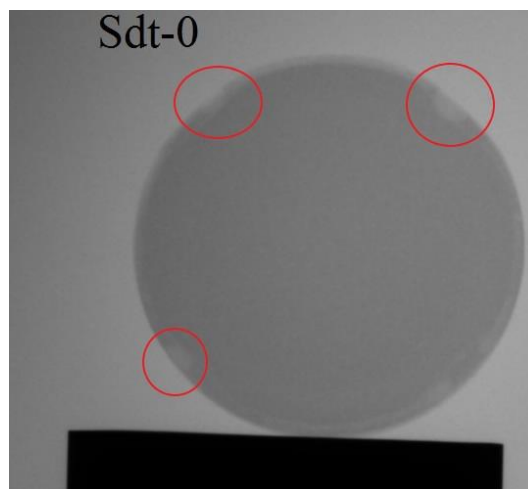


Figure 5. Radiographic film of pure silicone (Sdt-0) sample.

The radiography films of Sdt-50 and Sdt-60 were given in Figure 6. Sdt-50 and Sdt-60 have uniform distribution. The darkness of the samples almost same in every part of the samples. It shows that the iron ore powders were spread uniformly and the sample has homogenous structure. On the other hand, the air bubbles in the samples were spread all over the materials unlike Sdt-0. The air bubbles in Sdt-60 were less and smaller than in Sdt-50 (red circles in Figure 6). Iron ore particles much more take place in the silicone rubber

than air bubbles as increasing iron ore percentage. The iron ore added silicone rubbers have also enough elasticity and don't wear when folded on their own.

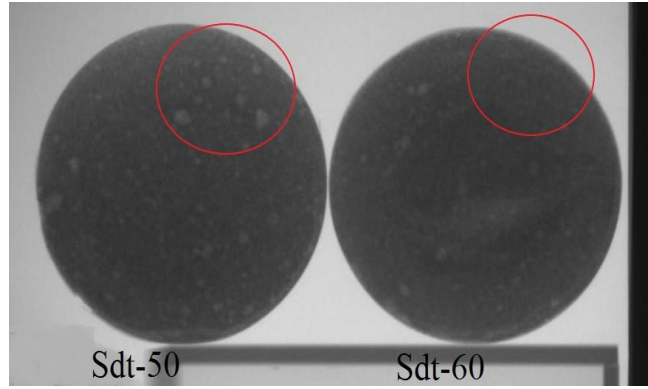


Figure 6. The radiography films of Sdt-50 and Sdt-60 samples.

3.2. Gamma attenuation properties of produced silicone rubbers

Relative intensity values were carried out for pure silicone rubber and iron ore concentrate added silicone rubber samples at different thicknesses. Relative Intensity- thickness curves were drawn and given in Figure 7.

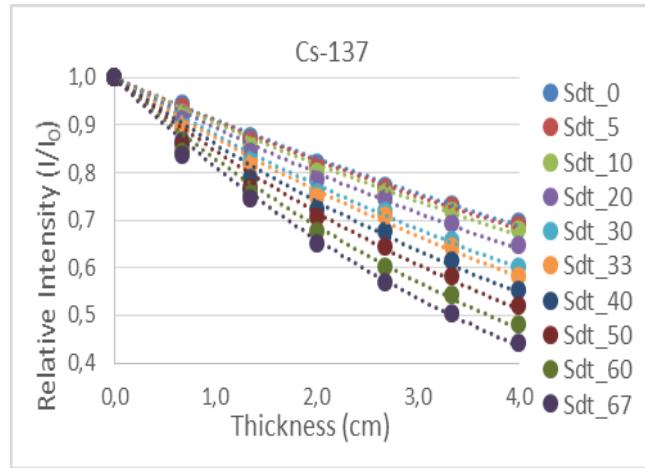


Figure 7. Relative Intensity values of pure silicone and iron ore concentrate added silicone rubber materials at different thicknesses for Cs-137 gamma source.

Pure silicone rubber has the biggest relative intensity values. Iron ore concentrate added silicone rubbers have smaller relative intensities. Increasing iron ore percentage caused to lower relative intensity values which mean having greater radiation shielding capabilities. The graphs on Figure 7 were fitted to exponential distribution in compliance with Beer Lambert's formula. The linear attenuation coefficients were carried out for Cs-137 gamma energy and given in Table 3. In addition, the linear attenuation coefficient changes due to iron ore percentages in the samples were given in Figure 8.

Table 3. Linear attenuation coefficients of the samples for Cs-137 Gamma source.

Sample (Code)	Linear Attenuation Coefficient, μ (cm ⁻¹)
Sdt-0	0,093
Sdt-5	0,096
Sdt-10	0,101
Sdt-20	0,112
Sdt-30	0,128
Sdt-33	0,135
Sdt-40	0,150
Sdt-50	0,166
Sdt-60	0,187
Sdt-67	0,207

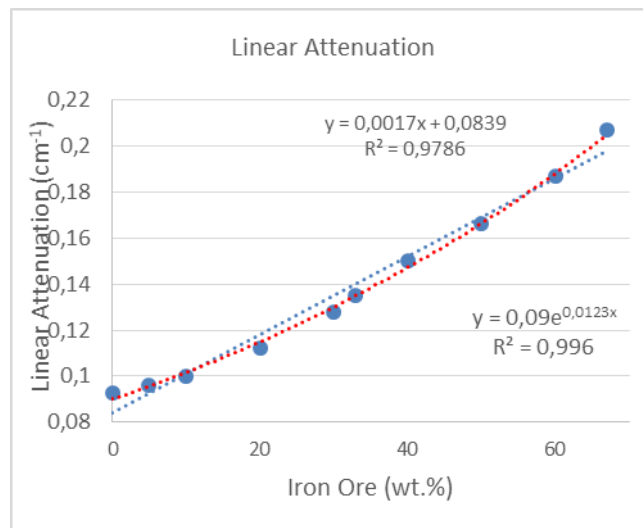


Figure 8. Linear attenuation coefficients of pure silicone and iron ore concentrate added silicone rubber samples for Cs-137 gamma energy.

Pure silicone has the smallest linear attenuation coefficient as shown on Figure 8. Iron ore concentrate added silicone rubber materials have higher linear attenuation coefficients than pure silicone. Linear attenuation coefficients were increased with higher iron ore concentrate ratios. The distribution of the linear attenuation values has two possible fitting which are the linear and exponential. Both linear (blue) and exponential (red) trend lines were given in Figure 8. When the R-square values of the lines investigated they were closed to each other just exponential one is much closer to 1. The air bubbles in Sdt-60 were less and smaller than in Sdt-50. Iron ore particles much more take place in the silicone rubber than air bubbles as increasing iron ore percentage. Therefore, the linear attenuation values increased with not only increasing ratio but also decreasing air bubbles. So this was the reason of exponential increasing of linear attenuation coefficients.

Lead equivalent thicknesses (0.5 mmPbE and 1 mmPbE) of pure silicone rubber and Iron ore concentrate added silicone rubber materials were determined by using XCOM computer code and given in Figure 9. Pure silicone sample has the biggest lead equivalent thickness values. Iron ore concentrate added silicone rubbers have smaller led equivalent thickness values than pure silicone rubber. In addition, lead equivalent thickness values were decreased by increasing iron ore ratio. For Sdt-67, 0.5 mmPbE is provided by 2.83 mm which means 0.5 mm pure lead and 2.83 mm Sdt-67 have same radiation attenuation ratios for Cs-137 gamma source. Common used commercial radiation protective garments have 1.5-2.0 mm in thickness (for 0.5 mmPbE). Although, Sdt-67 has greater thickness than commercial products, it has still could be an alternative radiation protection material because of its cheap cost [13]. Also its possible to decrease the lead equivalent thickness of Sdt-67 by increasing iron ore ratio and/or adding extra economic additives such as antimony concentrate. Moreover, iron ore concentrate imbedded silicone rubber materials could be accepted as green materials according to lead.

Furthermore, these materials have lower cost than lead and non-lead ones. Therefore, iron ore concentrate imbedded silicone rubber materials are among the candidate materials for using radiation shielding applications instead of lead.

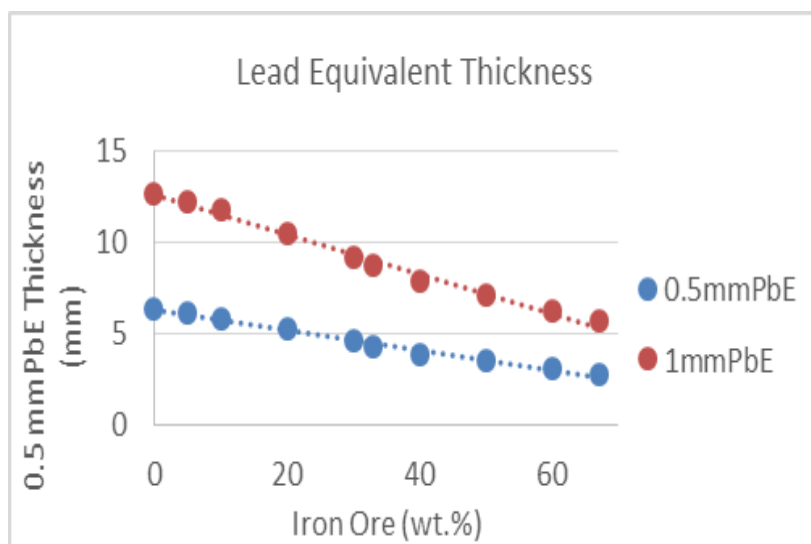


Figure 9. 0.5mmPbE and 1 mmPbE lead equivalent thicknesses of pure silicone rubber and iron ore concentrate added silicone rubber materials for Cs-137 gamma source.

4. Conclusions and recommendations

Pure silicone rubber and iron ore concentrate imbedded silicone rubber materials were produced in order to observe the linear attenuation coefficient and radiation shielding while gamma-ray source is selected as Cs-137. Pure silicone rubber has uniform distribution and there were some air bubbles on the edges. Pure silicone rubber material has the smallest linear attenuation coefficient which means the lowest radiation shielding capability. On the other hand, iron ore concentrate added silicone rubbers have also uniform distribution with some air bubbles all over the samples. Iron ore concentrate added silicones have greater linear attenuation coefficients than pure silicone rubber. In addition, increasing iron ore ratio causes the higher radiation attenuation capability. Moreover, increasing iron ore ratio provides the lower air bubbles ratio which makes contribution to radiation shielding effect. Lead equivalent values of the samples were determined for common commercial used standards of 0.5 mmPbE and 1 mm PbE. 0.5 mm PbE standard has been achieved by 2.83 mm Sdt-67 sample for Cs-137 gamma source. The energy of radiation and contents of the materials affect the lead equivalent thickness values.

0.5 mmPbE value of Sdt-60 was determined as 2.06 mm for Co-60 gamma source in the previous study [13]. Sdt-67 has 2.83 mm thickness for 0.5 mmPbE in this study which is higher than previous study. It is known that Co-60 has two gamma peaks at 1.17 MeV and 1.33 MeV which average energy of 1.25 MeV. As, the gamma energies of Co-60 are over 1.02 MeV, the pair production event takes place in radiation-materials atoms interactions whereas Cs-137 doesn't have. Therefore, pair production event could help the decreasing value of lead equivalent thickness for iron ore added silicone rubbers. In addition, it shows that the lead equivalent thickness values of the samples depend on the material content and energy of radiation.

The produced samples could be accepted as green materials due to their being lead-free. Also the production cost of the samples were lower than commercial lead and lead-free products. Even though, lead equivalent thickness values are bigger than commercial ones, they have still potential to be used in applications with some improving materials such as antimony. In conclusion, an experimental study was realized to produce flexible radiation protective materials and to investigate using potentials in applications.

Acknowledgements

This work was supported by Scientific Research Projects Coordination Unit of Bandirma Onyedi Eylul University with BAP-18-MF-1009-109 project number.

References

- [1] Shultis J.K., R.E. Faw R.E. "Fundamentals of Nuclear Science and Engineering", ISBN: 0-8247-0834-2, Marcel-Dekker Inc., New York, USA, 2002.
- [2] Zhou R.F., Zhou X.J., Li X.B., Li P., 2016. "Radiation protection in the design of γ -ray industrial computed tomography systems," Nuclear Science and Techniques, vol. 27, 100, 2016.
- [3] Powsner R.A., Powsner E.R., 2006. "Essential Nuclear Medicine Physics," 2nd Ed., ISBN: 978-1-4051-0484-5, Blackwell Pub., Massachusetts, USA, 2006.
- [4] McCaffery J.P., Tessier F., Shen H., 2012. "Radiation shielding materials and radiation scatter effects for interventional radiology (IR) physicians," Medical Physics, 39(7), pp4537-4546, 2012.
- [5] Eder H., Schlattl H., 2018. IEC 61331-1: A new setup for testing lead free X-ray protective clothing. Phys Med. 45:6-11.

- [6] Mori H., Koshida K., Ishigamori O., Matsubara K., 2014. "Evaluation of the effectiveness of X-ray protective aprons in experimental and practical fields," *Radiological Physics and Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 158–166, 2014.
- [7] Kacal M.R., Akman F., Sayyed M.I., 2018. Investigation of radiation shielding properties for some ceramics. *Radiochimica Acta*, 20183030.
- [8] Li R., Gu Y., Yang Z., Li M., Hou Y., Zhang Z., 2017. Gamma ray shielding property, shielding mechanism and predicting model of continuous basalt fiber reinforced polymer matrix composite containing functional filler. *Materials & Design*, 124. 121-130.
- [9] Bagheri N., 2013. "Comparing the Effect of Different Metal Plates and Lead Apron for Reducing the Dose Rate from Cs-137 and Ba-133 Gamma Ray," *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 3(4), pp. 965-969, 2013.
- [10] Azeez A.B., Kahtan S., Mohammed K.S., Al Bakri Abdullah M.M., Zulkepli N.N., Sandu A.V., Hussin K., Rahmat A., 2014. "Design of Flexible Green Anti Radiation Shielding Material against Gamma-ray," *Materiale Plastice*, 51(3), pp300-308, 2014.
- [11] McCaffrey J.P., Shen H., Downton B., Mainegra-Hing E., 2007. "Radiation attenuation by lead and nonlead materials used in radiation shielding garments," *Medical Physics*, 34(2), pp530-537, 2007.
- [12] Singh V.P., Badiger N.M., Kothan S., Kaewjaeng S., Korkut T., Kim H. J., Kaewkhao J., 2016. "Gamma-ray and neutron shielding efficiency of Pb-free gadolinium-based glasses," *Nuclear Science and Techniques*, vol. 27, 103, 2016.
- [13] Buyuk B., 2018. "Preparation and characterization of iron-ore-imbedded silicone rubber materials for radiation protection," *Nuclear Science and Techniques*, vol. 29, 135, 2018.
- [14] Tekin H.O., Manici T., 2017. "Simulations of mass attenuation coefficients for shielding materials using the MCNP-X code," *Nuclear Science and Techniques*, vol. 28, 95, 2017.
- [15] Gungor A., Akbay I.K., Yasar D., Ozdemir T., 2018. "Flexible X/Gamma ray shielding composite material of EPDM rubber with bismuth trioxide: Mechanical, thermal investigations and attenuation tests", *Progress in Nuclear Energy*, 106, 262-269.
- [16] Colas A., Curtis J., 2004. "Silicone Biomaterials: History and Chemistry & Medical Applications Of Silicones," *Biomaterials Science*, 2nd Ed. Elsevier Academic Publishing. ISBN: 0-12-582463-7, 2004.
- [17] <https://www.xiameter.com/EN/Products/Pages/ProductDetail.aspx?pid=01004875&lir=X23#characteristicsAnchor> , Accessed 01.11.2018.
- [18] Zaim N., Bayhatun O., 2018. A Study on the Gamma-Ray Attenuation Coefficients of Al₂O₃ and Al₂O₃.TiO₂ Compounds. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences Volume 22 (2018), Special Issue*, 312-318, 2018.
- [19] Berger M.J., Hubbell J.H., Seltzer S.M., Chang J., Coursey J.S., Sukumar R., Zucker D.S., Olsen K., 2014. <http://www.nist.gov/pml/data/xcom/> , XCOM: photon crosssection database, USA, 2014.



A Survey on Security Threats and Solutions in the Age of IoT

Cihan Atac^{1*}, Sedat Akleylek²

¹ Ondokuz Mayıs University, Department of Intelligent Systems Engineering, Samsun/Turkey (ORCID: 0000-0001-7385-4902)

² Ondokuz Mayıs University, Department of Computer Engineering, Samsun/Turkey (ORCID: 0000-0001-7005-6489)

(First received 9 December 2018 and in final form 17 February 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.494066)

REFERENCE: Atac, C., & Akleylek, S. (2019). A Survey on Security Threats and Solutions in the Age of IoT. *European Journal of Science and Technology*, (15), 36-42.

Abstract

Internet of Things (IoT) is rapidly developing and glamorous technology in which machines and devices are connected and interacted with each other via Internet anywhere anytime. This technology, which brings advantages, facilities and efficiency in many areas from city management to smart buildings, from health-care to industry, from energy to agriculture, etc. has also brought numerous challenges in terms of security. IoT is vulnerable to various types of attacks, malfunctions and misuses due to these challenges reasoning such as resource limitations, heterogeneity, lack of standardization, mobility, architecture. In this paper, we present the state of art for cyber security issues in IoT. We provide a comparison for IoT security in different perspectives including threats, vulnerabilities and some countermeasures. We give some recommendations on the precautions and countermeasures for cyber security issues in IoT.

Keywords: cyber security, IoT security, threats, vulnerabilities.

IoT Çağında Güvenlik Tehditleri ve Çözümleri Üzerine Bir Araştırma

Öz

Nesnelerin İnterneti (IoT) makine ve cihazların her yerde ve her zaman internet üzerinden birbirleriyle bağlantılı ve etkileşimli olduğu, hızla gelişmekte olan göz alıcı bir teknolojidir. Şehir yönetiminden akıllı binalara, sağlık sektöründen sanayiye, enerjiden tarıma vb. birçok alanda avantajlar, kolaylıklar ve verimlilik sağlayan bu teknoloji, güvenlik açısından da birçok zorluğu beraberinde getirmiştir. IoT, kaynak kısıtlamaları, çeşitlilik, standardizasyon eksikliği, mobilite, mimari vb. nedenlerden kaynaklanan zorluklardan dolayı çeşitli saldırılara, arızalara ve kötüye kullanıma açıktır. Bu makalede, IoT siber güvenlik sorunları açısından en son ve en gelişmiş fikirleri sunuyoruz. IoT güvenliği açısından tehditleri, güvenlik açıkları ve önlemleri içeren bir karşılaştırma sağlıyoruz. Birçok siber güvenlik sorunu için tedbirler ve önlemler konusunda bazı öneriler veriyoruz.

Anahtar Kelimeler: siber güvenlik, IoT güvenliği, tehditler, güvenlik açıkları.

* Corresponding Author: Ondokuz Mayıs University, Department of Intelligent Systems Engineering, Samsun/Turkey, ORCID: 0000-0001-7385-4902, cihan.atac@gmail.com

1. Introduction

Internet of Things (IoT) that are currently in infancy and which are developing at a dizzying pace, are changing and shaping our daily lives. The IoT is integrated and connected physical objects or things via network that is embedded with software, electronics, sensors for gaining greater value and service by exchanging data with manufacturers, operators and some other connected devices without human intervention [1]. There are plenty of IoT applications in various areas such as healthcare, automation and industrial manufacturing, electricity, smart city, agriculture, logistics, vehicular technology, retail, security, business management etc. IoT also serves for social needs such as surgery monitoring, weather condition detection, animal identification [2]. By collecting and analyzing data coming from IoT devices, it is possible to increase the efficiency of the entire system [2].

When we examine the architectural structure of IoT we can divide it into 3 main parts [1]:

1. The “things” (objects): Sensors, RFID tags and readers, BLE devices,
2. The communication networks that connect them: Cloud internetwork, WLAN, WSNs,
3. Data transfers from and to objects by using computer systems: Big Data applications.

The number of devices that are expected to be connected to Internet according to Gartner by 2020 is 50 billion. And this number is rising to 500 billion by 2030, according to Cisco. By 2020, IoT technology will be in 95% of electronics for new product designs [3].

Along with this rising, large amount of devices integrated and connected to internet and enormous data associated with it, issues about the security are mounting up with increasing momentum. For example, when we look at the number of malware samples for IoT devices in KasperskyLab’s collection, we see that it increases from 3.219 in 2016 to 121.588 in 2018.

Security issues reasoning from some factors in IoT can be listed as follows:

- A great deal of various devices and objects are connected and interacted together in a complicated way [4].
- Variation in technologies and standards are defined as one of the significant challenges in the development of IoT applications, since standardization of IoT architecture and communication technologies are basis for the IoT development [5].
- Because of lack in power, storage capacity, bandwidth and microprocessor, security countermeasures like public key encryption algorithm and frequency leaping communication cannot be applied [6].
- Security threats like abuse of resources, user and root compromise, virus, social engineering, trojan, worm, denial of services [5].
- The scale of the processed data is too large [6].
- Smart devices grow in extremely dynamic surroundings, where changes in the network topology are made often. This makes the deployment of security solutions very challenging [7].
- The servers for IoT are organized with cloud computing, and cloud computing has risks such as data security and privacy, data integrity, management, bandwidth, and data transfer [8].
- The fact that the cyber security solutions are not embedded in systems with the ‘security by design’ approach can make the solution of problems difficult, expensive and even impossible [21].
- Human factor is the most important factor in IoT security.

In this study, we provide a brief survey on the cyber security issues in IoT. Our aim is to give the state of the art with a different perspective. This includes the layers of IoT. We also focus on future directions and recommendations for the cyber security issues in IoT.

The organization of this paper is as follows: In Section 2, IoT security requirements and studies in literature are summarized. In Section 3, details for IoT vulnerabilities, caused threats and related solutions are given. In Section 4, conclusion with future works is presented.

2. Security Requirements for IoT

In this section, security requirements like availability, confidentiality and integrity etc. are discussed and then various approaches proposed in the literature to categorize vulnerabilities of IoT are evaluated.

There are apparently competing, complicated security requirements to be deployed on a platform with probably restricted resources [9].

Most important security and privacy requirements with cryptographic point of view are summarized in Figure 1.

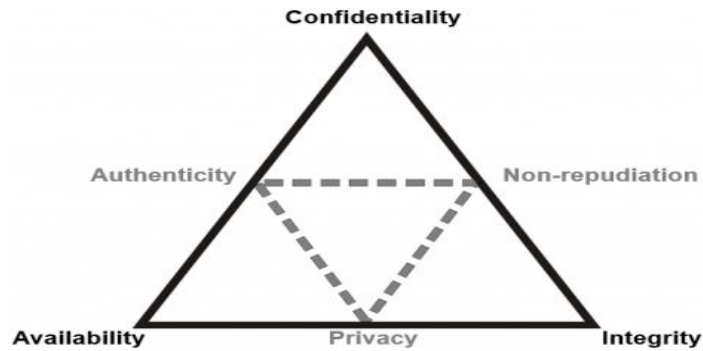


Figure 1. Security requirements

- *Availability*: It can be described as the system can continue to work even in the most critical conditions [7].
- *Authenticity*: Intrusion to the system or reaching delicate data by illegal users are not allowed [6].
- *Confidentiality*: Confidentiality provide that information is made obscure to unauthorized individuals, entities, and processes [7].
- *Integrity*: Integrity ensures that data has not been modified by a third party (accidentally or intentionally) [7].
- *Non-repudiation*: It assures that the sender of the message can not refuse having sent the message in the future [7].
- *Privacy*: It ensures that users' identities should not be identifiable nor observable from their actions and their movements in the system [7].

Many studies have been carried out to explain the security risks, weaknesses and challenges on IoT. Various approaches have been proposed in the literature to categorize the vulnerabilities of IoT.

The main focus of these works is the layers of IoT architecture centric security classification. On the basis of IoT architecture there are four layers. These are application layer, support (middle-ware) layer, network layer, perception layer and most of the studies discuss security threats and the solutions on these layers [6,22,23,24]. Apart from this, some studies approach security architecture model for IoT as three layered; endpoint and devices, network, data and applications and establish the security model on these [25,26]. Another approach classifies security concerns as human, process, data and object [4,27]. Separately, some studies look at major security challenges that exist in IoT environments by categorizing them as authentication, authorization and access control, privacy and secure architecture [10]. One common approach is classifying vulnerabilities and related solutions as insecure web interface, insufficient authentication/authorization, insecure network services, lack of transport encryption/integrity verification, privacy concerns, insecure cloud interface, insecure mobile interface, insufficient security configurability, insecure software/firmware, poor physical security [28].

3. Threats, Vulnerabilities And Related Solutions of IoT

In this section, new categorization including the vulnerabilities, threats of IoT and their solutions is presented. A detailed comparison is provided.

In the light of the previous studies, vulnerabilities of IoT and their solutions can be grouped as follows:

1. Insufficient authentication/authorisation mechanisms
2. Not using suitable cryptographic techniques
3. Cyber attacks
4. Privacy
5. Software/firmware related issues
6. Human factor

3.1. Insufficient Authentication/Authorisation Mechanisms

Authentication is the process of identifying users and devices in a network and confirming entry to authorized persons and reliable devices. Authentication is now the most popular method (60%) to grant access to the user at the application layer and also give access to the device in the IoT network [11].

Transport Layer Security (TLS) is broadly used for communication authentication and encryption. Specifically, for restricted devices, TLS offers TLS-PSK, which uses pre-shared keys, and TLS-DHE-RSA authentication method which uses RSA and Diffie-Hellman (DH) key exchange, which are public key and cryptographic protocols. Currently, there are three types of authentication protocols designed for IoT: asymmetric-cryptosystem based protocols, symmetric-cryptosystem based protocols, and hybrid protocols. Lately, there has been enormous demand for lightweight authentication and encryption [11].

It is about ineffective/poor mechanisms to authenticate or authorisation to IoT user interface whereby a user can gain higher levels of access [28].

Some countermeasures to protect the IoT system against the threats reasoning from related issue:

- ✓ Changing default passwords and usernames during initial setup [28].
- ✓ Assuring that web interface is not sensitive to XSS, SQLi or CSRF [28].
- ✓ Account lockout mechanism must step in after 3 -5 failed login attempts [28].
- ✓ Providing using the strong passwords [28].
- ✓ Making sure that password recovery mechanisms are trustworthy [28].
- ✓ Guarantee that the credentials are properly protected [28].
- ✓ Applying two factor authentication if reasonable [28].
- ✓ Providing that only required ports are exposed and available [28].
- ✓ Guarantee that user accounts cannot be enumerated using functionality such as password reset mechanisms [28].
- ✓ Underwriting network ports or services are not subject to internet via UPnP for example [28].

3.2. Not Using Suitable Cryptographic Techniques

The security of IoT is receiving great attention as the low power constraints and complexity features of many IoT devices are restricting the use of traditional cryptographic techniques [12].

Succeeding end to end security, the nodes are encrypted. However, due to the heterogeneity of the IoT systems, some nodes might be able to embed general purpose microprocessors. Nevertheless, low resources and constrained devices can only embed application-specific systems. Hence, traditional cryptographic primitives are not suitable for low-resource smart devices due to their low computation power, limited battery life, small size, small memory, and limited power supply. So, lightweight cryptography may be an efficient encryption for these devices [11].

Since the target for IoT encryption is to arrive efficient end to end communication with low power consumption, symmetric and asymmetric lightweight algorithms for IoT are designed to meet the requirements [11].

Some important countermeasures that should be taken are given below about the issue:

- ✓ Use of other industry-standard encryption techniques to protect data during migration if SSL/TLS is not available [6,28].
- ✓ Make sure that only the accepted encryption standards are used and that special encryption protocols are avoided [28].
- ✓ Securely encrypting the collected data [6,28].
- ✓ Guarantee IPsec (Internet Protocol Security) [6].

3.3. Cyber Attacks

IoT continues to grow as a primary target for cybercriminals to take advantage of, in step with a replacement threat report from security firm Symantec. The quantity of IoT attacks inflated from regarding 6,000 in 2016 to 50,000 in 2017 - a 600% rise in exactly one year, the report found [13].

- *DoS*: A denial-of-service (DoS) is any variety of attack wherever the attackers try and stop legitimate users from accessing the service by flooding servers, systems or networks with traffic in order to overwhelm the victim's resources [14].
- *DDoS*: A distributed denial-of-service (DDoS) attack is a malicious initiative to break normal traffic of a purposed server, service or network by crushing the target or its ambient infrastructure with a flood of internet traffic [15]. From many perspectives, it resembles a DoS attack, but the results are very different. In place of one computer and one internet connection the DDoS attack employs many computers and many connections. The computers behind such an attack are often deployed around the whole world and will be part of botnet [29].
- *Malicious code*: Malicious code is the sort of destructive computer code or web script intended to create system vulnerabilities causing to back doors, security breaches, information and data theft, and other possible damages to files and computing systems [16].
- *Eavesdropping*: Eavesdropping is defined as electronic attack wherever digital communications are intercepted by a private whom they're not supposed. This is wiped out 2 main ways: Directly taking note of digital or analogue speech communication or the interception or sniffing of information regarding any kind of communication [17].
- *Smurf*: A Smurf attack could be a variety of a distributed denial of service (DDoS) attack that renders pc networks inoperable. The Smurf program accomplishes this by exploiting vulnerabilities of the Internet Protocol (IP) and Internet Control Message Protocols (ICMP) [18].
- *Spoofing*: Spoofing, in general, could be a dishonourable or malicious observe within which communication is distributed from an unknown supply disguised as a supply best-known to the receiver. Spoofing is most current in communication mechanisms that lack a high level of security [19].

Leading solutions to these threats are presented below:

- ✓ Using effective antivirus and firewall [6,8].
- ✓ Utilize data encryption [6,8,28].
- ✓ Running powerful authentication, authorization and access control mechanisms [6,8,28].
- ✓ Operating well IPS (Intrusion Prevention System) and IDS (Intrusion Detection System) [6,8].

3.4. Privacy

Privacy represents the stress evoked by the interaction between person and technological scheme. Information being protected is essentially associated with persons, therefore their privacy may be an obligatory objective of the IoT. Also, misuse of technology may be an explanation for privacy violation [20]. Privacy issues are generated by the gathering of non-public information additionally to the shortage of correct protection of that information [28].

- ✓ Gathering only data that is critical to the functionality of device [28].
- ✓ Securely encrypting the collected data [28].
- ✓ Correct protection of the device and all its components [28].
- ✓ Guarantee that only authorized persons have access to personal information gathered [28].
- ✓ Assure that storage limits are set for the gathered data [28].

3.5. Software/Firmware Related Issues

Software/firmware updates for devices can be insecure when the updated files themselves and the network connection they are delivered on are not protected [28]. Important threats can be classified as follows:

- Problems on update issues
- Firmware contains sensitive information [28].

Solutions to these issues are pointed out as follows:

- ✓ Providing the ability to update the device [28].
- ✓ Encrypting the update file using accepted encryption methods and transmitting it via an encrypted connection [28].
- ✓ Guarantee that firmware include no susceptible information [28].
- ✓ Providing that the update file is transmitted over an encrypted connection [28].
- ✓ Make sure that the update server is secure [28].
- ✓ Guarantee that firmware includes no susceptible data [28].

3.6. Human Factor

IoT has diverse and extensive structure, so security limitations and threats are more probable. Because of this, large numbers of persons with different security background levels according to respective characters are influenced from the issue. According to respective roles, consumers, end users, and service or technology providers are involved in IoT context [4].

The user information of the IOT device or application can be captured by e-mail fraud, phishing, spam or session hijack methods and used for malicious purposes.

For example, smart tv may be captured by malicious persons and its sources can be used for bad purposes. When detecting spam and phishing e-mail cases of 75 million using smart tv or refrigerator connected to the Internet, it is found that zombie home appliances were real like zombie PC [30].

Also in military, using replay or session hijacking attack techniques, incorrect information may be inserted on target device. By doing so, it is possible to delay the friendly operations or cause the confusion [30].

There are head weaknesses and threats reasoning from or taking aim to people. These are:

- *Not acting over a security management rules* [20].
- *Social Engineering*: It is type of attack that is performed by deceiving people, in order to get information about the person in the target system [8].
- *E-mail fraud*: It is a type of attack that is performed by showing the fake e-mail address as reliable [8].
- *Web forgery*: It is type of attack that is performed using the fake of a trusted website [8].
- *Session hijack*: It is type of attack performed between the client and the server to capture the user's session [8].
- *Phishing*: It is type of attack to capture personal information by e-mail [8].
- *Spam*: It is attack sort that the messages come to e-mails of the target system for any purpose [8].

The countermeasures to be taken against these threats and weaknesses are listed as follows:

- ✓ Examine and control security practices and rules to develop effective security policy documentation [20].
- ✓ Organizing awareness raising education programs and activities.
- ✓ Using effective antivirus and firewall [6,8].
- ✓ Use of single-use password and encryption algorithm [6,28].
- ✓ Secure protocols usage [8].

IoT-related vulnerabilities, threats and the countermeasures are summarized in Table 1. In this table, the IoT vulnerabilities are taken over 6 groups, the main threats that these weaknesses can be caused and the countermeasures to be taken against these threats are presented.

4. Conclusion and Recommendations

IoT, which develops at a fast pace and connects many and various objects to internet by its nature, brings many security challenges along with the opportunities it offers. In this study, after giving brief information about the IoT and its structure, the reasons of the challenges of IoT cyber security were emphasized, then security requirements to be provided were mentioned and vulnerabilities were grouped with a different perspective and the related solutions were discussed. By using IoT components by attackers, it has been seen that the main elements of information security can be targeted and serious threats can be created on a personal, institutional or national basis. It has been understood that considerable effort is needed to minimize vulnerabilities and threats mentioned in the study.

In order to improve IoT security, there are several countermeasures to enhance it. Systems should be structured according to security policies and standards from the design stage. IoT endpoint devices are often the weakest link in the systems of security. Therefore, to ensure safety of these devices, it is necessary to detect all abnormalities by monitoring all Internet traffic instead of restricting Internet, and in this case, warning and blocking mechanisms should be activated. Optimized asymmetric cryptography solutions can solve problems such as complexity and scalability. With regard to privacy, IoT data can be

collected and analysed, and then potential threats can be identified and resolved. Efficient work on new generation wireless network technologies and protocol design can lead to increased security.

Acknowledgments

This research is partially supported by OMÜ under grant no. PYO.MUH. 1906. 17.003.

The authors would like to express their gratitude to the anonymous reviewers for their invaluable suggestions in putting the present study into its final form.

Table 1. IoT vulnerabilities, threats and their solutions

Vulnerabilities	Threats	Solutions
<i>Insufficient authentication /authorization mechanisms</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gaining unauthorized or high level access to the data or device ▪ SQL Injection ▪ XSS or CSRF 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Changing default passwords and usernames during initial setup [28]. ✓ Assuring that web interface is not sensitive to XSS, SQLi or CSRF [28]. ✓ Providing using strong passwords [28]. ✓ Guarantee that credentials are properly protected [28]. ✓ Applying two factor authentication if reasonable [28]. ✓ Providing that only required ports are exposed and available [28].
<i>Not using suitable cryptographic techniques</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sniffing or capturing data or compromising the device by an intruder ▪ Man in the middle ▪ Sybil ▪ Replay attack 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Use of other industry-standard encryption techniques to protect data during migration if SSL or TLS is not available [6,28]. ✓ Make sure that only accepted encryption standards are used and that special encryption protocols are avoided [28]. ✓ Securely encrypting the collected data [6,28]. ✓ Guarantee IPsec (Internet Protocol Security) [6].
<i>Cyber attacks</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dos ▪ DDos ▪ Malicious code ▪ Eavesdropping ▪ Smurf ▪ Spoofing 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Using effective antivirus and firewall [6,8]. ✓ Utilize data encryption [6,8,28]. ✓ Running powerful authentication, authorization and access control mechanisms [6,8,28]. ✓ Operating well IPS (Intrusion Prevention System) and IDS (Intrusion Detection System) [6,8].
<i>Privacy</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Collection of unnecessary personnel information ▪ Lack of proper protection of data 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Gathering only data that is critical to the functionality of the device [28]. ✓ Securely encrypting the collected data [28]. ✓ Correct protection of the device and all its components [28].
<i>Software / firmware related issues</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Problems on update issues ▪ Firmware contains sensitive information 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Providing ability to update the device [28]. ✓ Encrypting the update file using accepted encryption methods and transmitting it via an encrypted connection [28]. ✓ Guarantee that firmware include no susceptible information [28].
<i>Human factor</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Not acting over a security management rules ▪ Social Engineering ▪ E-mail fraud ▪ Web forgery ▪ Session hijack ▪ Phishing ▪ Spam 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Examine and control security practices and rules to develop effective security policy documentation [20]. ✓ Organizing awareness raising education programs and activities ✓ Using effective antivirus and firewall [6,8]. ✓ Use of single-use password and encryption algorithm [6,28]. ✓ Secure protocols usage [8].

References

- [1] Stergiou, C., Psannis, K.E., Kim, B., Gupta, B., (2018). Secure integration of IoT and Cloud Computing. *Future Generation Computer Systems*, 78, 964–975.
- [2] Khan, M.A., Salah, K., (2018). IoT security: Review, blockchain solutions, and open challenges. *Future Generation Computer Systems*, 82, 395–411.
- [3] Panetta, K. (03.11.2017). *Gartner Top Strategic Predictions for 2018 and Beyond*. Retrieved from <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-strategic-predictions-for-2018-and-beyond/>, on (02.11.2018).
- [4] Sfar, A.R., Natalizio E., Challal, Y., Chtourou, Z., (2018). A roadmap for security challenges in the Internet of Things. *Digital Communications and Networks*, 4, 118–137.
- [5] Colaković, A., Hadžialić, M., (2018). Internet of Things (IoT): A review of enabling technologies, challenges, and open research issues. *Computer Networks*, 144, 17–39.
- [6] Jaychand, Behar N., (2017). A Survey on IoT Security Threats and Solutions. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, Vol. 5, Issue 3.
- [7] Kouicem, D.E., Bouabdallah, A., Lakhlef, H., (2018). Internet of things security: A top-down survey. *Computer Networks*, 141, 199–221.
- [8] Ülker, M., Canbay, Y. Sağıroğlu, Ş., (2017). Examination of Internet of Things in Terms of Personal, Enterprise and National Information Security. *Journal of Turkey Informatics Foundation of Computer Science and Engineering*, 10.
- [9] Xu, L.D., Li, S., (2017). *Securing the Internet of Things*. Syngress.
- [10] Conti, M., Dehghantaha, A., Franke, K., Watson, S., (2018). Internet of Things security and forensics: Challenges and opportunities. *Future Generation Computer Systems*, 78 544–546.
- [11] Noor, M.M., Hassan, W.H., (2018). Current research on Internet of Things (IoT) security: A survey. *Computer Networks*.
- [12] Zhang, J., Duong, T., Woods, R., Marshall, A., (2017). Securing Wireless Communications of the Internet of Things from the Physical Layer, An Overview. *Entropy*, 19, 420.
- [13] Rayome, A.D. (21.03.2018). *As IoT attacks increase 600% in one year, businesses need to up their security*. Retrieved from (<https://www.techrepublic.com/article/as-iot-attacks-increase-600-in-one-year-businesses-need-to-up-their-security/>), on (26.09.2018)
- [14] Denial-of-Service Attack (DoS). Retrieved from (<https://www.techopedia.com/definition/24841/denial-of-service-attack-dos>), on (02.11.2018)
- [15] What is a DDoS Attack . Retrieved from (<https://www.cloudflare.com/learning/ddos/what-is-a-ddos-attack/>), on (03.11.2018).
- [16] What is Malicious Code?. Retrieved from (<https://www.kaspersky.com/resource-center/definitions/malicious-code>), on (03.11.2018).
- [17] Eavesdropping. Retrieved from (<https://www.techopedia.com/definition/13612/eavesdropping>), on (03.11.2018).
- [18] What is a Smurf Attack?. Retrieved from (<https://usa.kaspersky.com/resource-center/definitions/smurf-attack>), on (04.11.2018).
- [19] Spoofing. Retrieved from (<https://www.techopedia.com/definition/5398/spoofing>), on (07.11.2018)
- [20] Riahi, A., Natalizio, E., (2014). A systemic and cognitive approach for IoT security. International Conference on Computing, Networking and Communications.
- [21] Cha, S., Baek, S., Kang, S., Kim, S., (2018). Security Evaluation Framework for Military IoT Devices. *Security and Communication Networks*, Volume 2018, Article ID 6135845, 12 Pages.
- [22] Cvitić, I., Vujić, M., Husnjak, S., (October 2015). Classification of Security Risks in the IoT Environment. 26th Daaam International Symposium On Intelligent Manufacturing And Automation.
- [23] Kumar, S.A., Vealey, T., Srivastava, H., (2016). Security in Internet of Things: Challenges, Solutions and Future Directions. 49th Hawaii International Conference on System Sciences.
- [24] Alabaa, F.A., Othmana, M., Hashema, I.A.T., Alotaibib, F., (2017). Internet of Things security: A survey, *Journal of Network and Computer Applications*, 88, 10-28.
- [25] How to Overcome IoT Security Concerns, (May, 2017). A report in the IoT. InfoBrief Series, Sponsored by Bell.
- [26] Sedrati, A., Mezrioui, A., (2018). A Survey of Security Challenges in Internet of Things. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal* Vol. 3, No. 1, 274-280.
- [27] Gündüz, M.Z., Daş, R., (2018). Internet of things (IoT): Evolution, components and application fields. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 24(2), 327-335.
- [28] Internet of Things Top Ten. Retrieved from https://www.owasp.org/images/7/71/Internet_of_Things_Top_Ten_2014-OWASP.pdf, on (25.09.2018)



Betonarme Bir Yapıda Geleneksel Yöntem ve Taban İzolatörü Kullanımının Karşılaştırmalı Analizi

Halil İbrahim Polat^{1*}

¹ İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4369-4343)

(İlk Geliş Tarihi 12 Aralık 2018 ve Kabul Tarihi 22 Ocak 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.495856)

ATIF: Polat, H. İ., (2019). Betonarme Bir Yapıda Geleneksel Yöntem ve Taban İzolatörü Kullanımının Karşılaştırmalı Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 43-54.

Öz

Taban izolasyonu, yapıların, deprem gibi yanal yüklere karşı mukavemetini arttırmaktan ziyade, bu yüklerin yapıya olan etkisini düşürmeye, yükün yönünü çevirmeye ya da sönmülemeye çalışan bir tür yapı elemanıdır. Bu tasarım yönteminde, temel üstündeki yapı bölümlerinin, temelden ayrı bir çalışma biçimi edinerek deprem dalgası esnasında, katlar arası rölatif yer değiştirmenin minimuma indirmesi amaçlanmaktadır. Bu makalede; çerçevelerden müteşekkil mevcut olan bir okul yapısı öncelikle geleneksel ankastre mesnetli temel sistemiyle çözümlenmiş, mod şekilleri bulunmuş, yapı periyotları elde edilmiştir. Bunun için öncelikle statik eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak deprem yükleri kat yükseklikleri boyunca dağıtılmış ve kapasite problemi yaşayan yapı elemanları bulunmuştur. Ardından, 1999 Marmara depreminin Düzce meteoroloji istasyonunda kaydedilmiş, 0,005 s. zaman aralığına sahip ivme kayıtları yansıtılarak lineer olmayan zaman tanım alanı yöntemiyle analizler tekrarlanmış ve her iki yöntemin mukayesesi yapılmıştır. İkinci aşamada söz konusu yapıya, kurşun çekirdekli kauçuk taban izolatörlerinin eklenmesiyle zaman tanım alanı metodu kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Böylece, klasik yöntem ile taban izolatörlü sistemin mod şekilleri ve değişen periyotları arasında kıyaslamalar yapılmış olup izolasyon sistemli yapının periyotlarında kayda değer bir artışın meydana geldiği, spektral ivmelerin ve yapıya gelen kesme kuvvetlerinin azaldığı gözlenerek, ilk durumda var olan kesit yetersizliklerinin ortadan kalktığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Taban İzolatörü, Zaman Tanım Alanı, Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör.

Comparative Analysis of a Concrete Structure Constructed with Conventional Technique and with Base Isolation

Abstract

Base isolation is a type of building element that tries to reduce the effects of seismic lateral loads on the structure, rather than increasing the strength against these loads. In this design method, it is aimed to minimize the relative displacement between the floors during the earthquake wave by obtaining a separate working form of the building sections over the foundation. In this article; an existing school structure consisting of frames is firstly solved by the traditional built-in foundation based system, the mode shapes are found and the building periods are obtained. For this, earthquake loads are distributed along floor heights using the static equivalent earthquake load method, so structural elements with capacity problems are found. Then, 0,005 second time-history acceleration which is recorded at 1999 Marmara earthquake in Düzce meteorology station, is reflected and analyzes are repeated with the non-linear time-history method and the two methods are compared. In the second stage, the structure is analyzed by using the time-history method with the addition of lead-core rubber base isolators. Thus, the comparison of the mode shapes and the changing periods of the base isolator system with the conventional method is made. As a result, a significant increase in the period of the isolation system construction and the decrease of

* Sorumlu Yazar: İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-4369-4343, halilibrahimpolat34@gmail.com

the spectral accelerations and the shear forces coming to the structure are observed, and it is seen that the sectional deficiencies that existed in the first case are removed.

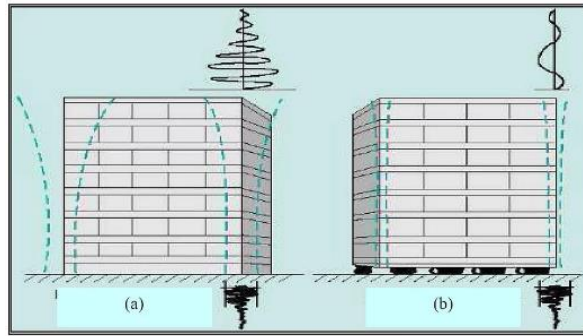
(Minimum 250 - Maximum of 400 words and content should be written in a way to include material, method, findings and results.)

Keywords: Base Isolation, Time History Method, Lead Core Rubber Isolation.

1. Giriş

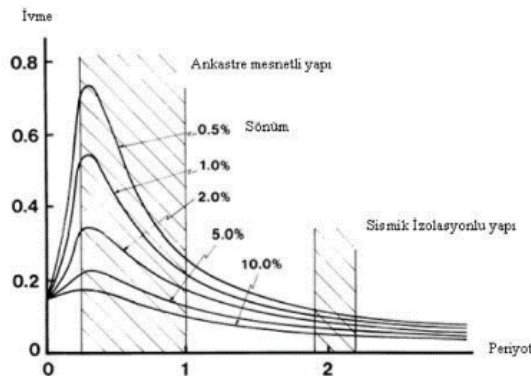
Klasik yapı tasarımında, bir binaya sismik performans kazandırmak için başta kolon, kiriş, perde gibi taşıyıcı elemanların kesitlerini büyüterek ve yatay düzlemde sayısını çoğaltarak mukavemetini arttırmak, yapının kayda değer bir rijit davranış göstermesiyle sonuçlanmaktadır. Böyle bir taşıyıcı sistem seçimi dolayısıyla, yapıların daha fazla yatay kuvvet almasına ve üst katlardan tabana doğru geometrik artışı bir kesme yüküne maruz kalmasına yol açmaktadır. Rijit cisim davranışı ve mukavemetin, temel nüans olarak alınıldığı bir taşıyıcı sistem yaklaşımında yapıya zeminden gelen sismik enerjinin tüketilmesi/sönümlemesi için plastik mafsallaşma öngörülmektedir. Bu yaklaşım yapının hasar görmesini (minimal ölçeklerde ve kabul edilebilir derecede olsa dahi) kabul etmek anlamına gelmektedir. Son yıllarda plastik mafsallar ile yapısal hasarın nisbi olarak kabullenilmesi yoluyla sismik enerjinin tüketilmesi yaklaşımı yerine, sönüm elemanları vasıtasıyla söz konusu enerjinin tüketilmesi ve kat ivmeleri ile kat ötelemelerinin aynı anda düşürülmesi anlayışının taraftar bulduğu ve adına taban izolasyonu adı verilen bu sistemin uygulama sahasının genişlediği görülmektedir.

Deprem sırasında, yeryüzünde bir hareket meydana gelir. Bu hareket bir dalga şeklinde her doğrultuda yayılır ve bir yapıya eriştiğinde temellerini sallamaya başlar. Temeller de kendisine bağlı olan taşıyıcı sistemi sallar ve sistem elemanlarının kesitlerinde atalet kuvvetlerinin oluşturduğu etkiler meydana gelir. Yapı temelinin taşıyıcı sistemden ayrılarak titreşimin yapıya ulaşmasının önlenmesi, depremde taban yalıtımının ana fikrini oluşturur (Celep ve Kumbasar, 2004). Klasik ankastre temelli yapı tasarımında, yapıya nitelikli bir sismik performans kazandırmak adına taşıyıcı sistemi sağlamlaştırmak; yapının rijitliğini arttırmakta ve daha fazla kuvveti karşılaması ile sonuçlanmaktadır. Taban yalıtımı ise, yapının depreme karşı koyma kapasitesini arttırmaktan ziyade, onun depreme karşı tepkisini azaltma esasına odaklı bir tür depreme dayanıklı yapı tasarımı yaklaşımıdır. Yani, yapıların özellikle büyük magnitudlü depremler esnasında rijit cisim davranışı göstermesini ve yapısal zorlanmaların elastik sınırlar içinde kalmasını sağlamaktadır. Böylece deprem enerjisinin çok büyük bir kısmı yalıtım (izolasyon) seviyesinde sismik izolatör sistemi ve ek sönümleyici aygıtlar vasıtasıyla harcanmakta, deprem enerjisinin küçük bir bölümü yapıya iletilmektedir (Polat, 2007) (Şekil 1).



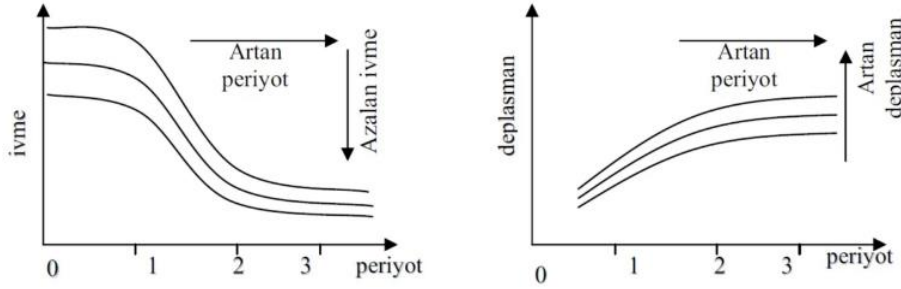
Şekil 1. Ankastre Tabanlı ve Sismik Yalıtımlı Yapıların Davranışı (Web 1, 2017)

Şekil 2'deki ivme-periyot değişim grafiğinde gösterildiği üzere, ankastre mesnetli yapıda %0,5 – 1,0 – 2,0 – 5,0 ve %10 sönüm oranlarında periyotların 1,0 s'nin altında olduğu buna karşın ivme değerlerinin bilhassa düşük sönüm oranlarında en yüksek mertebeye yükselmiş olduğu görülmektedir. Sismik izolatörün etkinleştirildiği durumda ise periyotların arttığı, ivme değerinin de arzu edilen düşük seviyelere çekildiği gözlemlenmektedir.



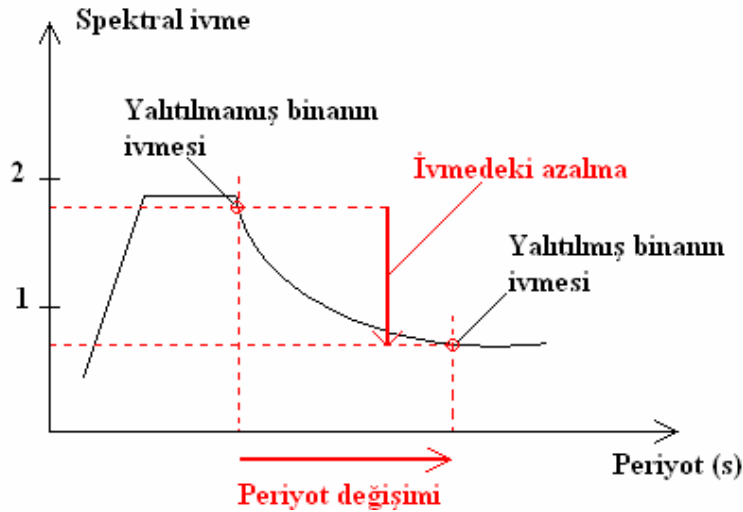
Şekil 2. Taban İzolasyonlu ve Ankastre Mesnetli Yapı Arasındaki İvme-periyot İlişkisi (Soyluk, 2010)

Şekil 3'te ise ivme - periyot arasındaki ve deplasman – periyot ilişkisi irdelenmektedir. Buna göre Şekil 3'de ivme ile periyodun ters orantılı olduğu, periyot artışları ile ivme değerlerinin küçüldüğü buna karşın periyotların artışı ile birlikte kat yükseklikleri ile doğru orantılı olarak yer değiştirmenin de arttığı gözlemlenmektedir. Ancak bu yer değiştirme bilhassa yatay yönde olmakta ve katlar arası yer değiştirmenin minimal seviyede olduğu duruma işaret etmektedir.



Şekil 3. İvme-Periyot ve Deplasman-periyot İlişkisi (Web 2, 2017)

İzolasyon seviyesindeki olası büyük yer değiştirmelerin önlenmesi amacıyla yüksek sönümlü malzemelerin kullanılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir. Bir yapının etkin rezonans periyodu genellikle 0,1 ile 1,0 saniye aralığındadır. Bu periyot aralığı aynı zamanda pek çok şiddetli depremin baskın periyot aralığını da kapsar. Sismik taban yalıtımlı yapıların elastik birinci titreşim periyotlarının sabit tabanlı yapılara göre oldukça büyük olmasından dolayı Şekil 4'te gösterildiği gibi elastik birinci titreşim periyotları büyütülerek, depremin yapılar için tehlikeli olan rezonans bölgesinden uzaklaşması sağlanmakta, böylece yer ivmelerinin yapı tarafından büyütülmesi önlenmiş olmaktadır (Pekgökgöz, 2005).



Şekil 4. Tıpkı Bir Tasarım Spektrumu

Eğer sismik izolasyonlu bir yapının doğal frekansı, eşleniği olan ankastre temelli yapının frekansına ve zemin hareketlerinin baskın frekansına kıyasla çok daha küçük olursa, yapının davranışı üstyapının hemen hemen rijit kaldığı ve sadece izolasyon sisteminin deformasyona uğradığı birinci dinamik modu tarafından belirlenir. Üstyapıda deformasyona neden olan daha yüksek modlar harekete katılmayacakları için bu yüksek modların içerdiği yüksek enerji de üstyapıya aktarılmayacaktır. Çoğu zaman depremlerin yatay bileşenleri düşey bileşenlerine göre daha şiddetlidir. Bundan dolayıdır ki, depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılan sismik izolatörler genellikle düşük yatay rijitlikle birlikte yüksek düşey rijitliğe sahip olacak şekilde tasarlanırlar. Yüksek düşey rijitlik ile düşük yatay rijitliğe sahip sismik izolatörlerle yalıtılmış bir yapı yatay yönde tek serbestlik dereceli sarkaç gibi davranır. Tek serbestlik dereceli sistemlerdeki kütle-rijitlik-frekans ilişkisi göz önünde bulundurularak, dikkatli bir tasarımla, belirli bir kütleyle sahip temel izolasyonlu bir yapı, zemin hareketlerinin baskın frekanslarından yeterince uzak bir doğal frekansa sahip olacak şekilde tasarlanabilir (Aydın ve Ercan, 2004).

Sismik yalıtım elemanları, bodrum katın olmadığı yapılarda temel üstüne konulmakta olup bodrumlu yapılarda, kolon ve perde elemanlarının alt, orta veya üst kesitlerine yerleştirilmektedirler (Şekil 5-6).

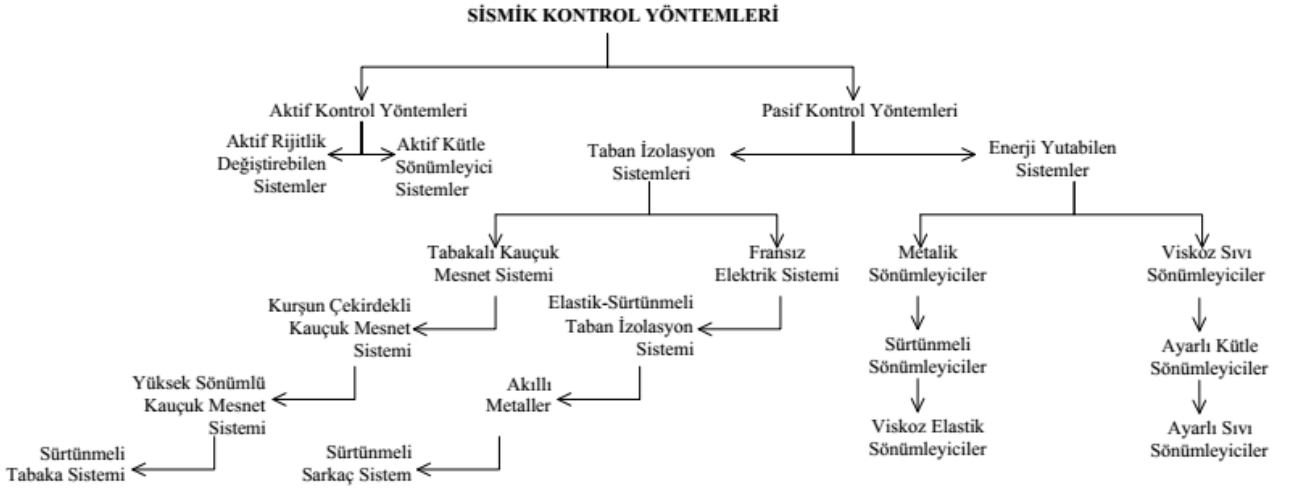


Şekil 5. Temelde Yalıtım Sistemi (Web 3, 2017)



Şekil 6. Kolon Orta Bölgesinde Yalıtım Sistemi (Web 4, 2017)

Sismik izolasyon uygulanmış yapı yatay yönde belli bir miktar deplasman yaptığından dolayı yapının etrafında izolatörlerin yer değiştirme kapasitesi kadar boşluk olmalıdır. Örneğin; deprem derzine sahip olmayan bitişik nizam yapılarda, taban izolasyonu tekniğini uygulamak mümkün değildir. Çünkü bu tür yapılarda deprem enerjisini sönmüleyecek boşluk olmadığı (yapının salınımına izin verilmediği) için izolasyon uygulamak da mümkün olamamaktadır. Depremler sırasında yapının dışarıyla bağlantısını sağlayan elemanların, elektrik, telefon, içme suyu, kanalizasyon, doğalgaz vs. bağlantıların yapının deprem hareketiyle yapacağı yer değiştirme sonrasında herhangi bir tahribat göstermemeleri gerektiğinden söz konusu tesisat bağlantıları da önceden kontrol edilmeli, eksikleri tamamlanmalı ve tesisat ekipmanlarının tamamının deplasman için bırakılan boşluk kadar esneme kapasitesine sahip olması gerekmektedir (Komodromos, 2000).



Şekil 7. Sismik Kontrol Yöntemleri (Robinson, 2000)

Aktif kontrol sistemleri, yapıya uygulanması düşünülen kontrol kuvvetinin deprem esnasında düzenlenmesi ilkesine dayanmaktadır. Pasif kontrol sistemleri ise bahse konu bölgede olası en büyük magnitüde sahip depremin meydana gelmesi ihtimali yörüngesinde tasarlanmaktadır (Şekil 7).

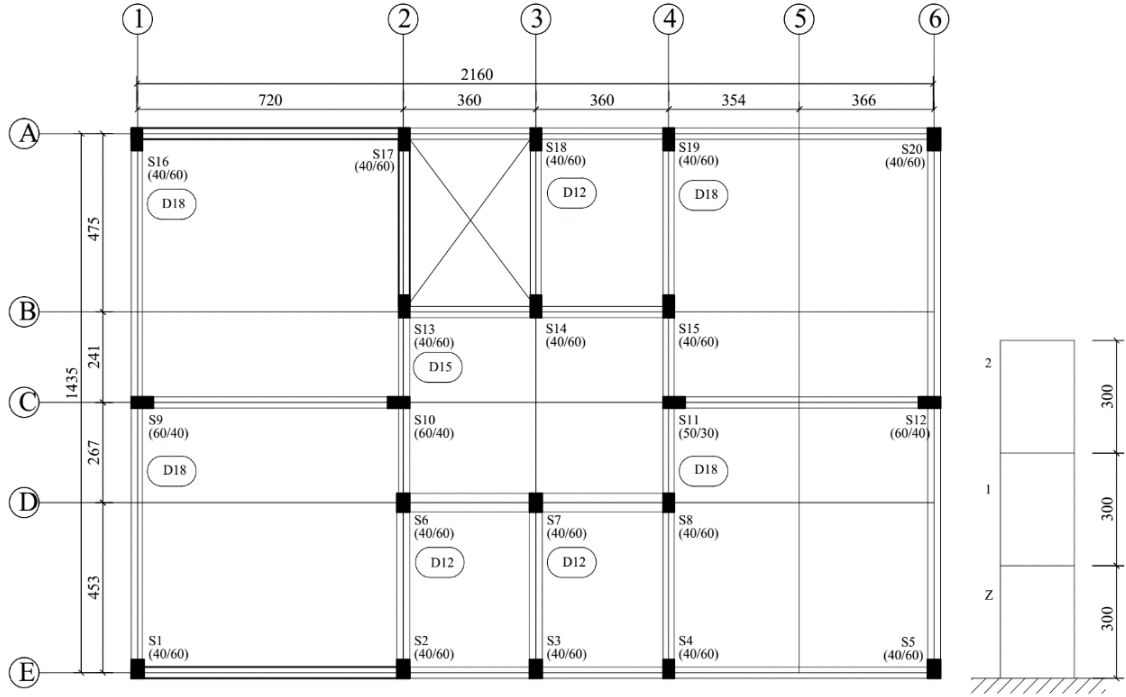
Bu çalışmada; kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kullanılmış olduğundan, söz konusu bu izolatör türüne ait karakteristikler üzerine yoğunlaşmıştır. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör, düşük sönmüme sahip doğal kauçuk tabakaların çelik takviye plakaları yardımıyla birleştirilmesi ve ortasına silindir biçiminde kurşun çekirdeğin yerleştirilmesi ile meydana getirilmektedir. Kurşun malzemesi, akma

noktasının altındaki şekil değiştirmelerde, formunu geçici olarak değiştirebilen kristalize bir malzemedir. Kauçuk ise yapısında var olan düzeltme kuvvetinin etkisiyle sistemin ilk haline dönmesini ve elastik özelliklerini korumasını sağlamaktadır. Kurşun çekirdek; çelik plakalar vasıtasıyla aktarılan kesme kuvvetleri etkisiyle plastik şekil değiştirmeye zorlanmaktadır. Bu bağlamda; kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin enerji harcama mekanizması, kauçuk ile kurşunun elasto-plastik davranışa sahip olmaları ile ilgilidir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Geleneksel Ankastre Sistemli Bir Yapı Analizi

Bu makalede; Etabs bilgisayar programı yardımıyla Şekil 8'deki planda gösterilen 3 katlı (zemin+2 normal kattan müteşekkil) 21,60 x 14,35 cm. boyutlarında, kat yüksekliği 3.00 m. olan betonarme çerçevesi bir taşıyıcı sisteme sahip hali hazırda mevcut bir okul binasının analizleri yapılarak sonuçları değerlendirilmeye çalışılmıştır (Polat, 2007).



Şekil 8. Çerçeveden Oluşan Yapının Kat Planı

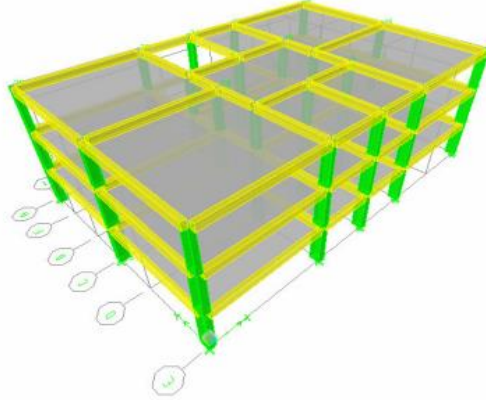
Yapıda; 30x50, 50x30, 40x60, 60x30 ve 60x40 cm olarak beş tip kolon kesiti bulunmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Kolon Kesitleri

Kat	S1-S2-S3-S4-S5-S6-S7-S8-S13-S14-S15-S16-S17-S18-S19-S20	S9-S10-S11-S12
Zemin	40 x 60	60 x 40
1. Normal	40 x 60	60 x 30
2. Normal	30 x 50	50 x 30

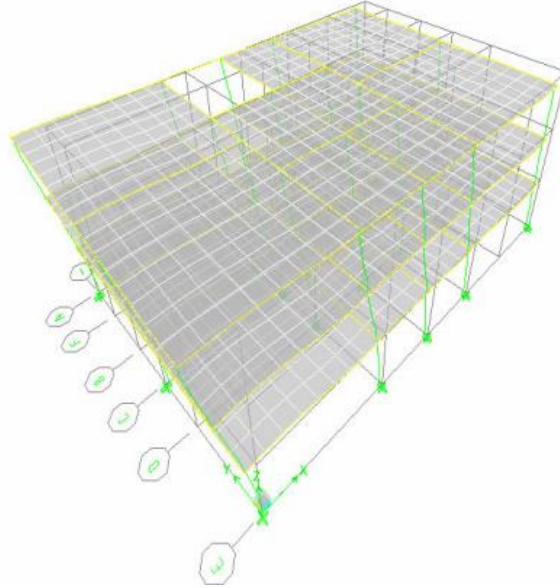
Yapıdaki tüm kiriş boyutları 25x50 cm'dir. 12, 15 ve 18 cm'lik üç tip döşeme kesiti mevcuttur. Yapıda kullanılmış olan malzeme; beton için C20, çelik için ise BÇIII'tür.

Mevcut aks sistemine göre tasarlanan, tüm yapı elemanlarının kesit ve malzeme seçimleri yapılan, hareketli ve sabit yük dağılımları sağlanan, mesnetleri tanımlanan ve bu sayede Şekil 9'da gösterildiği gibi plan ve üç boyutta tasarımı tamamlanmış olan yapı, analize hazır hale getirilmiştir.



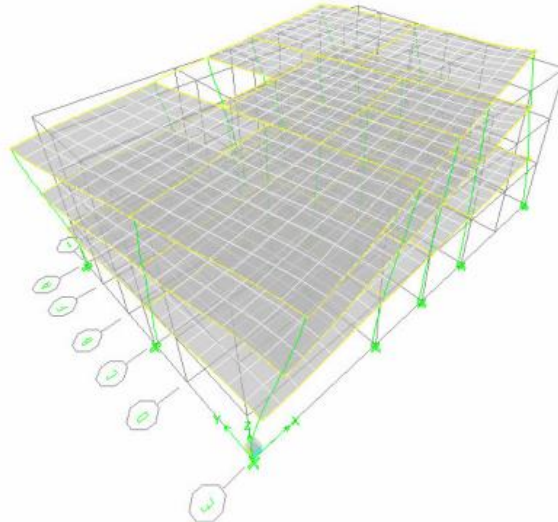
Şekil 9. Yapının Üç Boyutlu Görünümü

Analiz sonucunda; yapının doğal titreşim periyotları belirlenmiştir. Buna göre; binanın 1. modu X doğrultusunda ve 0,5687 s. olarak hesap edilmiştir (Şekil 10).

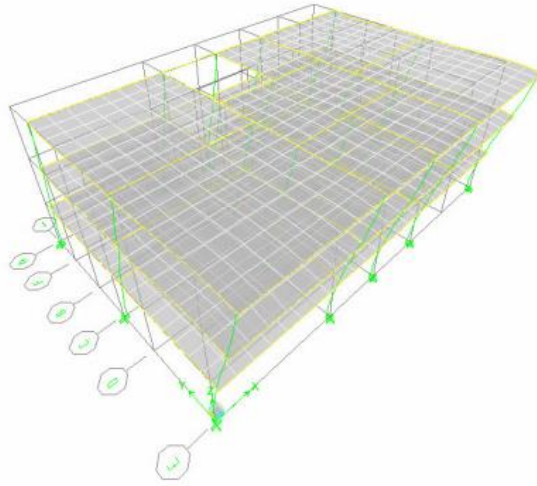


Şekil 10. 1. Mod Şekli (T1X=0,5687 s.)

Yapının ikinci modu Z yönünde ve 0,5625 s. , üçüncü modu ise Y doğrultusunda 0,5003 s. olarak elde edilmiştir (Şekil 11 ve 12).



Şekil 11. 2. Mod Şekli (T1Z=0,5625 s.)



Şekil 12. 3. Mod Şekli (T1Y=0,5003 s.)

Mod şekilleri elde edildikten sonra; çerçeve sistem için doğrusal eşdeğer deprem yükü yöntemi analizine geçilmiş ve ardından 1999 Marmara depreminin Düzce meteoroloji istasyonunda kaydedilmiş doğu-batı ve kuzey-güney doğrultusu bileşenlerini içeren verilerden oluşan deprem ivme kaydı sisteme yansıtılarak zaman tanım alanında nonlineer analiz yapılmıştır. Bu iki analiz tamamlandıktan sonra, ankastre mesnetli sisteme taban izolatörü eklenerek aynı deprem ivme kaydı kullanılarak zaman tanım alanında sistemin yeniden çözümü sağlanmış ve her üç durumun mukayesesi (kesit yetersizlikleri, periyot, mod şekilleri, vb.) yapılmıştır. Bu işlemler aşağıda sırasıyla gösterilmektedir.

2.1.1. Doğrusal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile deprem analizi (mevcut sistem)

Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi (EDYY) ile yatay deprem yükleri $\pm 0,05$ dış merkezliklerle kat hizalarına tanımlanmaktadır. Yapının deprem parametreleri aşağıdaki gibidir (DBYYHY, 2007):

- Etkin yer ivme katsayısı: $A_0=0,40$ (1. derece deprem bölgesi)
- Yapı önem katsayısı: $I=1,4$ (Okul binası)
- Spektrum karakteristik periyodu: $T_A=0,15$, $T_B=0,60$ (Z3 zemin sınıfı)
- Taşıyıcı sistem davranış katsayısı: $R=4$ (Süneklik düzeyi normal sistem)

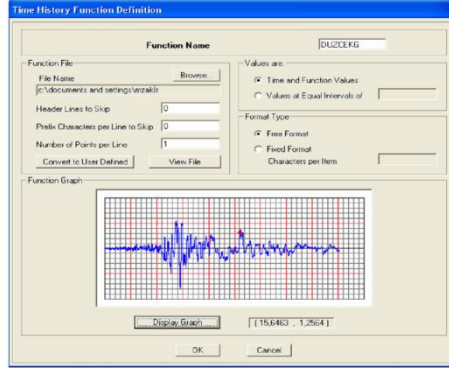
Boyutlandırmada kullanılan toplam 21 adet yüklem kombinasyonu programa tanımlanmıştır. EDYY'nin parametreleri yansıtılarak yapılan analize göre yapıya ait kolon ve kirişlerin hiçbirinde kesit yetersizliğine rastlanılmamıştır. Şekil 13'de, EXTP yüklemesi altında yapının şekil değiştirmiş durumu görülmekte olup en büyük yerdeğiştirmenin olduğu 22 numaralı noktadaki deplasman ve dönmeler görülmektedir. Buna göre en büyük yer değiştirme X doğrultusunda 0,047525 m., en büyük dönme ise Y doğrultusunda 0,004525 m.'dir.



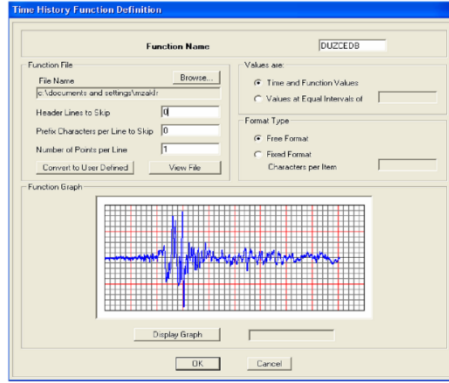
Şekil 13. EXTP Yüklemesi Altında Yapıdaki Şekil Değiştirme ve Noktasal Yer Değiştirme

2.2.1. Doğrusal olmayan zaman tanım alanı ile deprem analizi (mevcut sistem)

Mevcut sistem modeli için, malzeme karakteristiklerinde ve kesitlerde hiçbir değişiklik yapılmadan zaman tanım alanında (time-history) çözümü yapılmıştır. 1999 Marmara depreminin Düzce meteoroloji istasyonunda kaydedilmiş, 0,005 s. zaman aralığına sahip, en büyük ivme değeri doğu-batı bileşeni için 3,73 m/s², kuzey-güney bileşeni için ise 3,14 m/s² ivme kayıtları kullanılmıştır (Şekil 14 ve 15).



Şekil 14. Düzce Kuzey-Güney Bileşeni İvme Kaydı Grafiği



Şekil 15. Düzce Doğu-Batı Bileşeni İvme Kaydı Grafiği

Analiz sonuçlarına göre; maksimum donatı oranının sınırı aşıldığı yapı elemanları aşağıdaki gibidir (Tablo 2). Bu tabloya göre özellikle zemin katta tüm kolonlarda donatı sınırın aşıldığı ve gevrek kırılmanın yaşanabileceği ihtimali göz önünde bulundurulmalıdır.

Tablo 2. Maksimum Donatı Oranının Aşıldığı Yapı Elemanları
(Reinforcing required exceeds maximum allowed)

Zemin	Kolonlar	
	Kat 1	Kat 2
SZ01	-	-
SZ02	S102	S202
SZ03	S103	S203
SZ04	S104	S204
SZ05	-	-
SZ06	S106	S206
SZ07	S107	S207
SZ08	S108	S208
SZ09	S109	-
SZ10	S110	S210
SZ11	S111	S211
SZ12	S112	-
SZ13	S113	S213
SZ14	S114	S214
SZ15	S115	S215
SZ16	-	-
SZ17	S117	S217
SZ18	S118	S218
SZ19	S119	S219
SZ20	-	-

Kesme gerilmesinin maksimum sınırı aştığı yapı elemanları da aşağıda gösterilmiştir (Tablo 3). Burada; 3, 7, 14 ve 18 nolu kolonların en büyük kesme kuvvetlerini aldığı ve tüm katlar boyunca kesme gerilmelerinin maksimum gerilmeyi aştığı hesap edilmiştir. Kesme gerilmesinin düşey düzlemde kapasiteyi aşmadığı herhangi bir eleman bulunmamaktadır.

Tablo 3. Kesme Gerilmesinin Maksimum Sınırı Aştığı Yapı Elemanları
(Shear stress exceeds maximum allowed)

Kolonlar		
Kat 1	Kat 2	Kat 3
SZ03	S103	S203
-	S104	-
-	S106	S206
SZ07	S107	S207
-	S108	S208
SZ09	-	-
SZ10	-	S210
SZ11	-	S211
SZ12	-	-
-	S113	S213
SZ14	S114	S214
-	S115	S215
-	S117	-
SZ18	S118	S218
-	S119	-

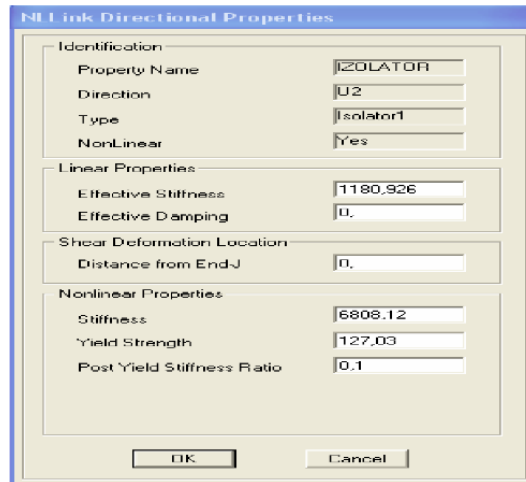
3. Taban İzolatörlü Sistem Analizi

Çerçevelerden müteşekkil mevcut okul binasının temel-kolon birleşim bölgesine taban izolatörü konulmasıyla analizler yenilenmiştir. Taban yalıtım malzemesi için Dynamic Isolation Systems, Inc. firması tarafından üretilmiş olan DIS B türü kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kullanılmıştır. Bu izolatörün karakteristiği Tablo 4'deki gibidir.

Tablo 4. DIS B Türü İzolatörün Karakteristik Özellikleri

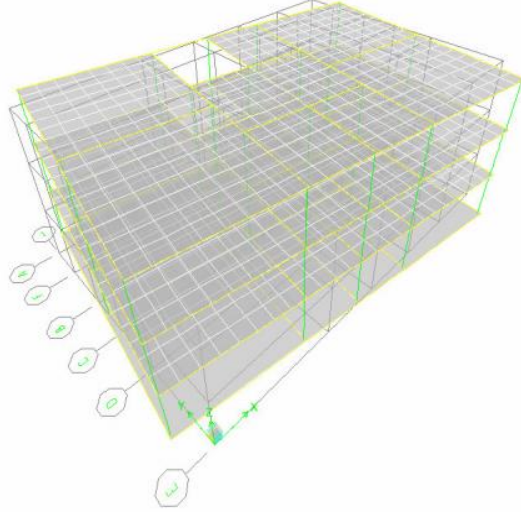
İzolatör elemanın toplam ağırlığı	8.3404 kN
Düşey yön için etkili rijitlik	2.468.654,085 kN/m (lineer)
Yatay yön için etkili rijitlik	1.180,926 kN/m (lineer)
Yatay yön için etkili rijitlik	6.808,12 kN/m (nonlineer)
Akma dayanımı	127,03 kN
Akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı	0,1

İzolatörün lineer ve nonlineer sönüm, akma, rijitlik değerlerinin atama işlemi Etabs programı yardımıyla Şekil 16'daki gibi yapılmış ve analize geçilmiştir (Özmen vd., 2005).



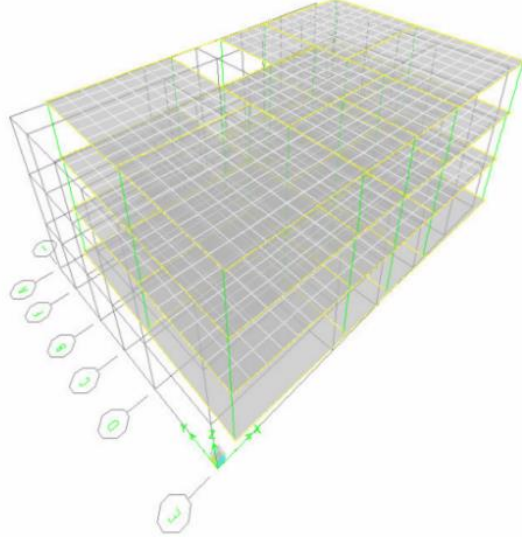
Şekil 16. DIS B Türü İzolatör Karakteristikleri Atama Ekranı

Analizler sonucunda; izolatörlü yapının doğal titreşim periyotları belirlenmiştir. Buna göre; binanın 1. modu Z doğrultusunda (burulma yönü) ve 1,7108 s. olarak hesap edilmiştir (Şekil 17).

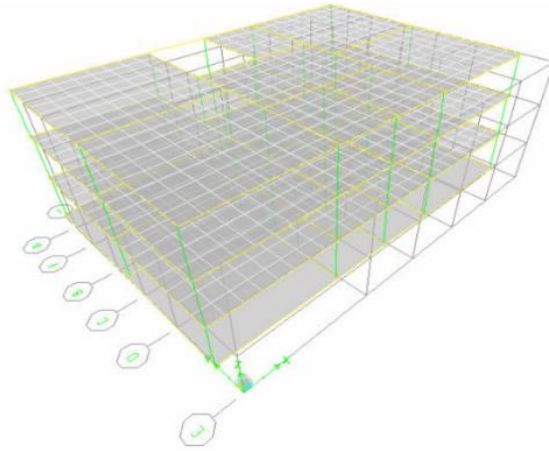


Şekil 17. İzolatörlü Sistemin 1. Mod Şekli (T1Z=1,7108 s.)

İkinci modu X doğrultusunda ve 1,6971 s., üçüncü modu ise Y doğrultusunda 1,6810 s. olarak hesaplanmıştır (Şekil 18 ve 19).



Şekil 18. İzolatörlü Sistemin 2. Mod Şekli (T1X=1,6971s.)



Şekil 19. İzolatörlü Sistemin 3. Mod Şekli (T1Y=1,6810s.)

Taban izolatörü atanmış mevcut sistemin; nonlinear zaman tanım alanında (time-history) çözümü gerçekleştirilmiştir. Şekil 14 ve 15'deki ivme kayıtları baz alınarak yapılan analiz sonucunda ise mevcut durumun aksine maksimum donatı sınırını aşan yapı elemanlarının kalmadığı, kesme gerilme kontrollerin sağlandığı, tüm kesitlerin yeterli olduğu, herhangi bir kapasite sorununa

rastlanmadığı görülmüştür. Klasik analizin 1. periyodu X doğrultusunda ve 0,5687 s. iken taban izolatörlü sistemin 1. periyodu ise Z (burulma yönü) doğrultusunda ve 1,7108 s. olarak elde edilmiştir.

4. Sonuç ve Değerlendirme

Çerçevelerden oluşan mevcut bir sistemin analizleri yapılmış, mod şekilleri ve periyotları belirlenmiş olup eşdeğer deprem yükü ve zaman tanım alanında deprem hesapları gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre lineer olmayan zaman tanım alanı yöntemi kullanıldığında kesit yetersizliğinin EDYY'ye oranla daha fazla olduğu görülmüştür. Bu nedenle taban izolasyonu uygulaması zaman tanım alanı yöntemi esas alınarak yapılmıştır. Böylece, DIS B türü kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün atanmasıyla analizler yenilenmiş ve Tablo 5'de gösterildiği gibi mukayeseler yapılmıştır. Buna göre; taban yalıtımı uygulaması kullanılarak doğal periyotların ankastre mesnetli sisteme nazaran her üç doğrultu için yaklaşık 3 ile 4 kat arası arttığı görülmüştür. Bunun sonucu olarak taban yalıtımlı sistemde spektral ivmeler düşmüş, etkililen deprem kaydı esnasında yapıya gelen kesme kuvvetlerinde azalma görülmüştür. Ayrıca yansıtılan deprem sırasında yapıda katlar arasında çok küçük ötelenme olduğundan rijit cisim davranışı görülmüş, şekil değiştirmeler özellikle izolatör seviyesinde kalmıştır.

Tablo 5. Periyotların Karşılaştırılması (Birim: saniye)

Çerçeve Sistem			
	T_{Ix}	T_{Iy}	T_{Iz}
Ankastre mesnetli sistem	0.5687	0.5003	0.5625
Taban izolatörlü sistem	1.6971	1.6810	1.7108

Meydana getirilmiş olan sistemle ilgili olarak yapılan analizler sonucu Tablo 6 ve Tablo 7'de bir araya getirilmiştir. Buna göre; klasik ankastre mesnetli sistemin EDYY ile çözümünde yaşanmamış olan kapasite sorunları, nonlineer zaman tanım alanı yönteminin kullanılmasıyla ortaya çıkmış neredeyse bütün kolon kesitlerinde maksimum donatı oranının aşıldığı ve gevrek kırılma tehlikesinin olduğu görülmüştür. Ayrıca; ankastre mesnetli sistemde kesme kuvvetinin tüm düşey elemanlarda maksimum sınırın üzerinde bir gerilmeye sebep olarak kapasite sorunu yaratmasıyla birlikte yapıya taban izolatörü atanarak kapasite sorununun aşıldığı görülmüştür.

Tablo 6. Karşılaştırmalı Kapasite Tablosu

Maksimum donatı oranının aşıldığı yapı elemanları								
Ankastre mesnetli eşdeğer deprem yükü yöntemi ile çözümde			Ankastre mesnetli zaman tanım alanı yöntemi ile çözümde			Taban izolatörlü zaman tanım alanı yöntemi ile çözümde		
Kat 1	Kat 2	Kat 3	Kat 1	Kat 2	Kat 3	Kat 1	Kat 2	Kat 3
-	-	-	SZ01	-	-	-	-	-
-	-	-	SZ02	S102	S202	-	-	-
-	-	-	SZ03	S103	S203	-	-	-
-	-	-	SZ04	S104	S204	-	-	-
-	-	-	SZ05	-	-	-	-	-
-	-	-	SZ06	S106	S206	-	-	-
-	-	-	SZ07	S107	S207	-	-	-
-	-	-	SZ08	S108	S208	-	-	-
-	-	-	SZ09	S109	-	-	-	-
-	-	-	SZ10	S110	S210	-	-	-
-	-	-	SZ11	S111	S211	-	-	-
-	-	-	SZ12	S112	-	-	-	-
-	-	-	SZ13	S113	S213	-	-	-
-	-	-	SZ14	S114	S214	-	-	-
-	-	-	SZ15	S115	S215	-	-	-
-	-	-	SZ16	-	-	-	-	-
-	-	-	SZ17	S117	S217	-	-	-
-	-	-	SZ18	S118	S218	-	-	-
-	-	-	SZ19	S119	S219	-	-	-
-	-	-	SZ20	-	-	-	-	-

Tablo 7. Karşılaştırmalı Kapasite Tablosu

Kesme gerilmesinin maksimum sınırı aştığı yapı elemanları								
Ankastre mesnetli eşdeğer deprem yükü yöntemi ile çözümde			Ankastre mesnetli zaman tanım alanı yöntemi ile çözümde			Taban izolatörlü zaman tanım alanı yöntemi ile çözümde		
Kat 1	Kat 2	Kat 3	Kat 1	Kat 2	Kat 3	Kat 1	Kat 2	Kat 3
-	-	-	SZ03	S103	S203	-	-	-
-	-	-	-	S104	-	-	-	-
-	-	-	-	S106	S206	-	-	-
-	-	-	SZ07	S107	S207	-	-	-
-	-	-	-	S108	S208	-	-	-
-	-	-	SZ09	-	-	-	-	-
-	-	-	SZ10	-	S210	-	-	-
-	-	-	SZ11	-	S211	-	-	-
-	-	-	SZ12	-	-	-	-	-
-	-	-	-	S113	S213	-	-	-
-	-	-	SZ14	S114	S214	-	-	-
-	-	-	-	S115	S215	-	-	-
-	-	-	-	S117	-	-	-	-
-	-	-	SZ18	S118	S218	-	-	-
-	-	-	-	S119	-	-	-	-

Kaynakça

- Aydın, H. ve Ercan, E. 2004. Yapısal Kontrol Sistemleri. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Haber Bülteni, İzmir, 118, 28-32.
- Celep, Z. ve Kumbasar. N. 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. Beta Dağıtım, İstanbul.
- DBYYHY – 2000. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- Komodromos, P. 2000. Seismic Isolation For Earthquake- Resistant Structures. Witpress, 10-30, 62-85, 98-109, Boston.
- Özmen, G., Orakdöğen E. ve Darılmaz K. 2005. Örneklerle ETABS. Birsen Dağıtım, İstanbul.
- Pekgökgöz, R. 2005. Deprem Yükleri Altındaki Yapı Davranışının Yarı-Aktif Akışkanlı Sönümleyiciler ve Sismik Taban Yalıtım Sistemleri Kullanılarak Bulanık Mantık Yöntemi ile Kontrolü. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Polat, H. İ. 2007. Perde-Çerçeve ve Çerçevelerden Oluşan Yapıların Taban İzolatörleri Kullanılarak Analizi ve Değerlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Robinson, W. H. 2000. Seismic Isolation of Civil Buildings in New Zealand. Progress In Structural Engineering And Materials, 2: 328-324.
- Soyluk, A. 2010. Sismik Taban İzolatörü Kullanımının Mimari Tasarıma Etkisi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- Web 1, (2017), <http://www.artyapiproje.com/tabanimzolasyonu>, 14.05.2017.
- Web 2, (2017), <http://www.artyapiproje.com/tabanimzolasyonu>, 25.06.2017.
- Web 3, (2017), <http://www.ulusyapi.com/Urun.aspx?Sub=23>, 23.02.2017.
- Web 4, (2017), <http://santiyedefteri.com/index.php/2015/07/16/deprem-izalatoru-nedir>, 17.03.2017.



Balıkesir Bölgesine ait jips(alçıtaşı) örneğinin karakteristik özellikleri ve kullanım alanları

Öykü Bilgin^{1*}

¹ Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Şırnak-TÜRKİYE, (ORCID: 0000-0002-1276-5751)

(İlk Geliş Tarihi 12 Aralık 2018 ve Kabul Tarihi 16 Şubat 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.495916)

ATIF/REFERENCE: Bilgin, Ö. (2019). Balıkesir Bölgesine ait jips(alçıtaşı) örneğinin karakteristik özellikleri ve kullanım alanları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 55-60.

Öz

Jips(Alçıtaşı) kimyasal bileşimi kalsiyum sülfat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) olan bir mineral çeşididir. Türkiye' nin çeşitli illerinde jips yatakları milyonlarca ton rezervlerde bulunmaktadır. Başlıca maden yataklarından birisi de Balıkesir-Susurluk Jips sahası olup, yaklaşık 1.000.000 ton rezerve sahip olduğu bilinmektedir. Jipsin kullanım alanları oldukça geniştir. Bunların en önemlileri arasında; beyaz boya ve dolgu malzemesi yapımı, çimento sanayi, tıp, dişçilik, kimya sanayi ve tarımda toprak düzenleyicisi olarak kullanımı yer almaktadır. Alçı taşı üretimi ele alınırsa, açık işletme veya kuyu-galeri şeklinde yapılmaktadır. Ocaktan gelen ham cevher genellikle kırıcılarda istenilen boyuta indirildikten sonra fırında maksimum $160\text{ }^\circ\text{C}$ ' de 2-3 saat ısıtılma tabii tutulduktan sonra yakılan alçı taşı soğutulup, öğütülür ve torbalanarak satışa sunulmaktadır. Bu çalışmada; Balıkesir bölgesine ait Jips(Alçıtaşı) örneğinin kimyasal analizleri, yoğunluk analizleri, ince kesit analizleri, SEM görüntüleri ve X-Ray analizleri yapılarak karakteristik özellikleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Jips, alçıtaşı, karakterizasyon, Balıkesir

Characteristic properties of gypsum sample of Balıkesir Region and its usage areas

Abstract

The gypsum (plaster) chemical compound is a mineral variety with calcium sulphate ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). In Turkey, there are reserves millions of tons of gypsum deposits in various provinces. One of the major mineral deposits is Balıkesir-Susurluk Gypsum and it is known that it has about 1.000.000 tons reserves. The fields of use of gypsum are quite extensive. Among the most important ones are; white paint and filling materials, cement industry, medicine, dentistry, chemical industry and agriculture as soil regulator. If gypsum production is considered, it is constructed as open pit or well-gallery. The raw ore coming from the quarry is usually crushed at the desired size in the crushers. Then it is heat treated for 2-3 hours at maximum $160\text{ }^\circ\text{C}$ in the oven. The burned gypsum is cooled, milled and bagged for sale. In this study; the sample of gypsum (Balıkesir-gypsum) has been determined chemical analysis, density analysis, thin section analysis, SEM images and X-ray analyzes.

Keywords: Gypsum, plaster, characterization, Balıkesir

* Sorumlu Yazar: Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Şırnak-TÜRKİYE, ORCID: 0000-0002-1276-5751, ykbilgin@yahoo.com

1. Giriş

Jips(Alçıtaşı)'nın kimyasal olarak iki molekül kristal suyu bulunan türü kalsiyum sülfat (CaSO₄.2H₂O) olarak tanımlanmaktadır[1,2]. Alçıtaşı doğada altı türde bulunmaktadır. Bunlar; Jips, Anhidrit, İpek Jipsi Bassanit, Albatr, ve Selenit'tir. Alçı taşı büyük oranda anhidrit (CaSO₄) susuz veya dihidrat (CaSO₄.2H₂O) şeklinde ayrılmaktadır[3]. Diğer bir tanımla alçı; CaSO₄.1/2H₂O (yarım hidrat) formülü ile ifade edilmektedir ve jipsin 120°C civarında yakılmasıyla elde edilmektedir[4]. Jips; bünyesinde 2 molekül su içermesi ve genellikle kayaç halinde masif bir şekilde bulunması sebebiyle anhidritten kolayca ayırt edilebilir, çünkü anhidrite göre çok yumuşaktır ve tırnakla kolayca çizilebilir. Jipsin mohs cetveline göre sertliği 2 civarında olmasına karşın Anhidritin sertliği 3-3,5 arasında değişir. Yine Jipsin özgül ağırlığı 2,2-2,4 arasında olduğu halde Anhidritin özgül ağırlığı 2,7-3,0 arasında değişmektedir. Jipsin rengi genelde beyaz veya beyazımsı kül rengindedir. Jipsin içindeki yabancı maddeler jipse ve ondan elde edilecek alçıya da renk verirler[3].

Alçı taşı dünya çapında çok geniş yataklara sahiptir. Dünyada büyük miktarlarda jips rezervine sahip olan ülkeler ABD, Fransa, Rusya, İngiltere, Kanada ve Türkiye'dir. Türkiye'deki jips yataklarında bulunan jipslerin saflığı batı ülkelerine nazaran çok iyidir. Batı ülkelerinde % 70 saflıkta jipsler kullanılırken bu oran Türkiye'de % 95-99 civarındadır[3]. Tablo 1' de Türkiye'de bilinen jips(alçıtaşı) potansiyeli bulunan illerin listesi gösterilmektedir.

Tablo 1. Türkiye'de jips(alçıtaşı) potansiyeli bulunan iller[5,6]

Ankara	Ayaş-Beypazarı, Bala-Aşıkoğlu, Polatlı-Sazılar, Bahçe-Karadalak, Şereflikoçhisar-B.Kışla, Kurultepe, Bala-Sarıpınar, Çığdemli, Emirdağ-Gülçayır, Çayırhan Termik Santrali(sentetik)
Bolu	Bakacak
Balıkesir	Susurluk
Bandırma	Bağfaş Gübre Fabrikası(sentetik)
Amasya	Vezirköprü-Adatepe, Akören
Bursa	Gemlik-Adliye, Hamidiye, Orhaneli Termik Santrali (Sentetik)
Aydın	Yazıkent-Karaahmetler
İzmit	Fürsarı Gübre Fabrikası(sentetik)
Karabük	Ovacık-Pürçükören
Muğla	Yatağan Termik Santrali (sentetik)
Adana	Yumurtalık Toros Gübre Fabrikası (sentetik)
Çorum	Çukurköy Bayat-Emirhalil, Üçdam, Tuğlu
Erzurum	Aşkale
Siirt	Kurtalan
Sivas	Ulaş-Çiftağlar
Niğde	Ulukışla-Emirler, Darboğaz
Kütahya	Gediz-Akcaalan, Yayla, Gökler
Eskişehir	Sivrihisar-Biçer
Kırıkkale	Keskin-Halitli, Delice-Tavaözü, Delice-Akboğaz, Kuzucak
Denizli	Sarayköy-Yeşilyurt, Buldan-Derbent, Alacaoğlu, Güney-Aksaz, Honaz-Kızılyer
Mersin	Tarsus-Dadalı, Karayayla, Tepeçaylak
Adana	Solbaş
Hatay	Arsuz

Türkiye'nin jips rezervi milyonlarca tondur. Başlıca rezerv sahaları; Beypazarı Havzası, Tuzgölü havzası, Çankırı Çorum-Yozgat havzası, Karabük-Pürçükören, Sivas havzası, Güneydoğu Anadolu havzası, Kars Kağızman-Tuzluca, Erzurum çevresi, Denizli çevresi, Balıkesir susurluk sahası ve Kütahya-Gediz sahasıdır [3]. Türkiye'de yer alan alçıtaşı maden işletmeleri genel olarak, Ankara(Beypazarı, Şereflikoçhisar, Ayaş ilçeleri) Balıkesir-Susurluk, Niğde-Ulukışla, Eskişehir-

Sivrihisar, Denizli-Honaz ve Erzurum-Aşkale şeklinde sıralanabilir[7]. Alçıtaşı rezervleri ayrıca Güney, İç Anadolu, ve Güney Doğu Anadolu'da yaygın bir şekilde mevcuttur[8].Yapılan kaynak araştırmalarına göre Balıkesir-Susurluk-Demirkapı yaklaşık 1.000.000 ton civarında jips rezervleri gözlenmiştir[9]. Ankara-Beypazarı havzasında 1 milyar tondan fazla alçıtaşı rezervlerinin olduğu yapılan araştırmalara göre tahmin edilmektedir [10,2]. VI. Beş Yıllık Kalkınma Planı Alçı Özel İhtisas Komisyon raporuna göre; MTA' nın tahmini verilerinde alçıtaşı görünür rezervinin yaklaşık 165 milyon ton ve muhtemel rezervi de 1.8 milyar ton olduğu belirtilmiştir[5]. Bu çalışmada Balıkesir-Susurluk sahasından alınan Jips örneğinin karakteristik özellikleri ve kullanım alanları araştırılmaktadır.

2. Materyal ve Method

2.1. Balıkesir-Susurluk jips oluşumlarının jeolojisi

Balıkesir-Susurluk bölgesinde jips yatakları, kalın tabakalı ve geniş bir alanda yayılmış olduklarından bu neojen evaporit havzası "Sultançayır Boratlı Jips Havzası" olarak adlandırılmaktadır. Batı Anadolu'da yer alan diğer borat havzalarına benzer şekilde bu havza da kuzey-güney uzanımlıdır. Kestelek-Sultançayır borat havzasının, mineral oluşumları incelendiğinde jips, kireçtaşı, kıltaşı, ve tüfler ile ardalanmalı pandemit minerallerinin, nadir olarak kolemanit ve havlit minerallerinin bulunduğu tespit edilmiştir[11]. Alt kireçtaşı birimi, yanal yönde kumlu kıltaşı birimine geçiş gösterirken, kumlu kıltaşı birimi, alttan üste doğru sırasıyla kumlu kıltaşı, kıltaşı, boratlı jipsler, tüftüfit, kumlu kıltaşı ve karbonatlı kıltaşılarından oluşan volkano-sedimenter bir oluşum meydana getirmektedir. Ayrıca

Demirkapı'nın doğusundan başlayan Hasantepe sırtlarında boratlı jipslerin varlığı görülmüştür. Jipsler, alttan üste doğru, tabakalı boratlı jips, jipsli boratlar, boratlar, tabakalı jips, grimsi yeşil kilttaşları, tüf-tüfit ve en üstte tabakalı jipsler şeklinde sıralanarak oluşum göstermektedir. Diğer taraftan yaklaşık 1-1,5 m kalınlığındaki jipsli killer; jipsleri alt ve üst olmak üzere iki zon halinde ayrılmaktadır. Boratlı jipslerin içerisinde tüf - tüfit ara katmanları yer yer gözlenirken, evaporasyon boyunca volkanizmanın aktif söylenebilir. Tabanı gözlenemeyen görünür jipslerin kalınlıkları yaklaşık 10 - 15 m arasındadır. Masif jipsler içerisinde gözlenen boratlar, merceksele ve nodüler şekilli beyaz renkli pandermite ve nodüler havlit mineralleri halinde oluşum sağlamıştır. Kumlu kilttaşı birimi içerisinde kalınlığı 10-15 m civarında boratlı jipsler yer almaktadır. Söz konusu jipslerin içerisinde nodüller şekilli pandermite ve havlit mineralleri mevcuttur. Yapılan çalışmalara göre, tespit edilen jipslerin yaklaşık 300 milyon ton rezerve sahip olabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca SO₃ oranları % 34'ün üzerinde olan bu jipslerin, çimento sektöründe kullanıma uygun değerlerde olduğu sonucuna varılmıştır[12].

2.2. Jips(alçıtaşı)nın kullanım alanları

Jips(alçıtaşı) genellikle %80-85 yapı alçısı üretimi, %10-15 endüstriyel kullanım (çimento üretimi, sondaj, kalıpcılık, cam, hayvan yemi, böcek ilacı, tutkal, boya, plastik üretimi, gıda, eczacılık vb.) ve %25 zirai amaçlı olarak kullanılmaktadır[3]. Toprak düzenleyici olarak kullanılan doğal jips; toprak ıslah edici, toprağı düzenleyici, toprak kalitesini artırıcı özelliktedir. Diğer bir deyişle jips kullanılan toprakların tuz ve kireç oranları azalarak yıpranmış topraklar ıslah edilmektedir. Böylece toprak gevşeyerek, su tutma özelliğı artırır ve pH dengesi ayarlanır, kalsiyum ve kükürt oranı da zenginleşir. Ayrıca faydalı mikroorganizmaların çoğalmasına ortam hazırlar, iyon alışverişini artırır, bitki besin maddelerinin kaybını ve yeraltı sularına karışmasını önleyerek, suları toksik etkilerden korumaktadır[13,14]. Jips; beyaz boya ve dolgu maddesi olarak kağıt ve pamuklu tekstil maddelerinde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Çimento sektöründe jips kullanımı prizlenmeyi geciktirmesi, nikel izabesinde eritmeyi kolaylaştırması şeklinde sıralanabilir. Alçı, tıp alanında cerrahi ve dişçilik uygulamalarında, porselen, vitrifiye malzemeler ve kiremit üretiminde kullanılmaktadır. Diğer taraftan kimyasal reaktiflerin (amonyum sülfat, kükürt, kükürt okside ve sülfat asidi vs.) eldesinde, inşaat ve prefabrik malzemelerin, bira yapımında mayalandırma işlemlerinde, sıcak-soğuk yalıtım malzemesi, ses izolatörü ve rutubeti de ayarlayıcı olarak kullanım alanları mevcuttur[6]. Termik santraller ve gübre fabrikalarında bulunan baca gazı arındırma ünitelerinden sentetik alçı üretimi yapılmaktadır[8]. Türkiye' de üretilen pek çok alçıtaşı ürünleri T.S.E. tarafından uluslararası standartlarda Dünya' da yerini almıştır. Üretilen alçı ürünleri başlıca kalıp alçıları (teksir, porselen, seramik, kiremit), tıp alanında (diş, ortopedik), inşaat sektöründe (inşaat, saten perdah, kartonpiyer, makine sıva, perlitli sıva, dolu gövdeli duval blok, derz dolgu, iki yüzü kartonlu alçı plaka) ve alçıtaşı (mikronize, tüvenan, vb.) dir [6,15].

2.3. Jips(alçıtaşı) üretim ve teknolojisi

Alçıtaşı madencilik yöntemleri olarak genellikle açık işletme veya kuyu-galeri şeklinde yapılmaktadır. Ocaktan gelen ham cevher elle veya mekanik kırıcılar yardımı ile kırıldıktan sonra kullanılacak fırının özelliğine göre istenilen tane boyutuna indirgenir. Daha sonra numuneler 3x4 m. silindir şekilli torbaların içerisinde ortalama 2-2,5 saat süre ile maksimum 160°C sıcaklıkta ısıl işleme tabi tutulur. Yakılan alçı taşı soğutulup, öğütüldükten sonra uygun şekilde torbalanmaktadır[4]. Türkiye'de birçok alçı üretim teknolojileri uygulanmaktadır. Örneğin inşaat sektöründe kullanılan yapı alçısı üretimi açık atmosfer ortamında kalsinasyon yöntemi ile yapılmaktadır. Bu yöntem için özellikle dikey fırın ve döner fırın teknolojileri kullanılmaktadır. Alçı, alçı taşının (kalsiyum sülfat dihidrat) öğütülüp 192 °C sıcaklıkta suyunun % 76 oranında atılmasıyla elde edilmektedir. Tüvenan alçı taşı 0-50 cm, kırılmış alçıtaşı 0-16 cm aralığında veya isteğe göre değişik boyutlarda kırılabilir. Öğütülmüş mikronize alçı taşı boyutları 0-100 Mikron yada 200- 800 Mikron ya da istenen tane boyutlarında elde edilebilmektedir[16].

Sıcaklık artışına bağlı olarak alçıtaşının kristal suyu kaybı oranını ve elde edilen ürünler aşağıdaki şekilde gerçekleşmektedir:

- Alçıtaşı 95-165 °C arasındaki sıcaklıklarda bünyesinde bulunan kristal suyunun yaklaşık %75'ini kaybetmektedir ve buna bağlı olarak ağırlığı %15,68 oranında azalmaktadır. $CaSO_4 \cdot 2H_2O = CaSO_4 + 1/2H_2O + 3/2H_2O$ formülünde elde edilen ürün kalsiyum sülfat yarım hidrattır ve alçının ham maddesini oluşturur.
- Alçıtaşı 190-210 °C ısıtıldığında bünyesindeki kristal suyunun tamamını kaybetmektedir ve ağırlığı da yaklaşık %20.90 oranında azalmaktadır. $CaSO_4 \cdot 1/2H_2O = CaSO_4 + 1/2H_2O$ formülünde elde edilen ürüne Anhidrit III veya Çözünür Anhidrit adı verilmektedir. Anhidrit neme karşı duyarlı olduğundan sanayide kurutucu şeklinde kullanılmaktadır.
- 340-480 °C arasındaki sıcaklıkta ekzotermik bir reaksiyon gelişmektedir ve Anhidrit III, Anhidrit II veya Çözünemez Anhidrit adı verilen bir maddeye dönüşmektedir. Bu madde çimento üretiminde kullanılan bir katkı malzemesidir.
- Anhidrit II maddesi ısıtılmaya devam edildiğinde 900-1200 °C arasındaki sıcaklıklarda Anhidrit F' ye dönüşmektedir. Bu sıcaklıklarda malzeme akkor hale gelmektedir, kalsiyum sülfat ayrışmaktadır ve içeriğinde yer alan sülfür SO₂ gazı olarak serbest bırakılmaktadır. Böylece malzeme içeriğindeki kalsiyum oksit oranı artmaktadır. Anhidrit I, suyla karışığında alçıtaşı, diğer ürünlere göre daha yavaş katılaşmaktadır. Katılaşan malzeme daha sert, yoğun ve mukavemetli bir kütle haline gelmektedir [2,17].

3. Araştırma Bulguları

Deneysel Çalışmalar; Balıkesir yöresinden getirilen jips örneğinin karakteristik özelliklerini belirlemek amacıyla MTA(Maden Tetkik Arama) Laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Tablo 2'de Jips örneğinin kimyasal analiz sonuçları gösterilmektedir. Kimyasal analiz sonuçlarına göre; SO₃ miktarının %46,3 ve CaO miktarının %32,3 olduğu tespit edilmiştir. Buna göre SO₃ ve CaO değerinin yüksek olduğu söylenebilir. Tablo 3' de Jips örneğinin gerçek yoğunluk analizleri Accupyc 1330 Hc Piknometre Cihazı kullanılarak 2,59 g/cm³ olarak hesaplanmıştır.

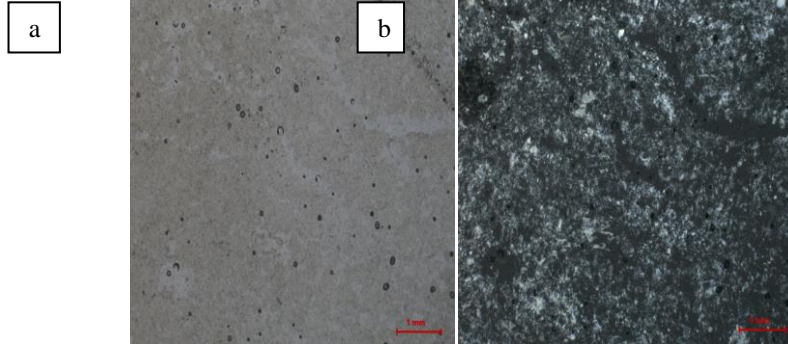
Tablo 2. Jips numunesinin kimyasal analizi(%)

Na ₂ O	<0,1
MgO	0,1

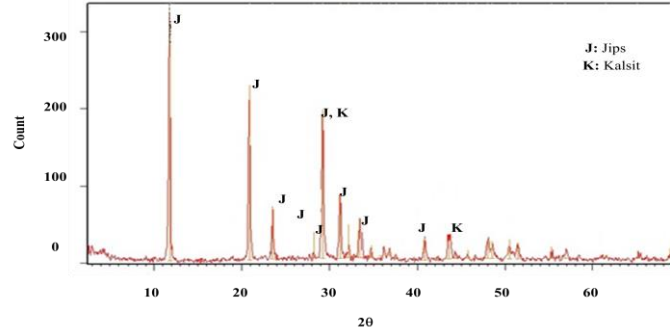
Al ₂ O ₃	<0,1
SiO ₂	0,2
P ₂ O ₅	<0,1
K ₂ O	<0,1
SO ₃	46,3
CaO	32,3
TiO ₂	<0,1
MnO	<0,1
Fe ₂ O ₃	<0,1
A.Za. (1050°C)	H ₂ O:19,1

Tablo 3. Jips numunesinin gerçek yoğunluk analizi

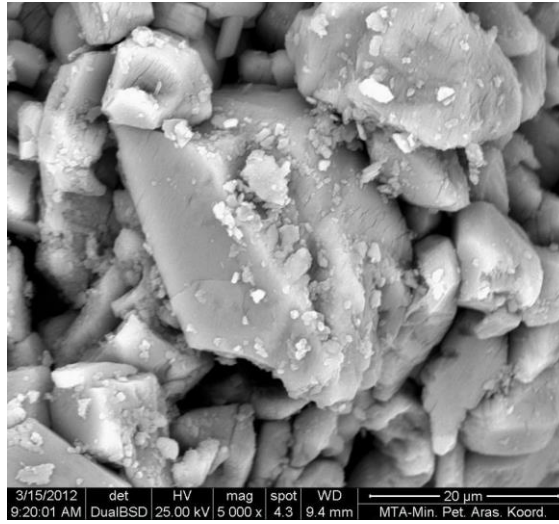
Numune İşareti	Jips
Numunenin Geliş Şekli	Kayaç halinde
Numunenin Kuruma Sıcaklığı (°C)	110,0
Numune Kütlesi (g)	4,12
Numune Hacmi (cm ³)	1,59
Gerçek Yoğunluk (g/cm ³)	2,59



Şekil 1. Jips numunesinin a)tek nikol ve b)çift nikol incekesit görüntüleri

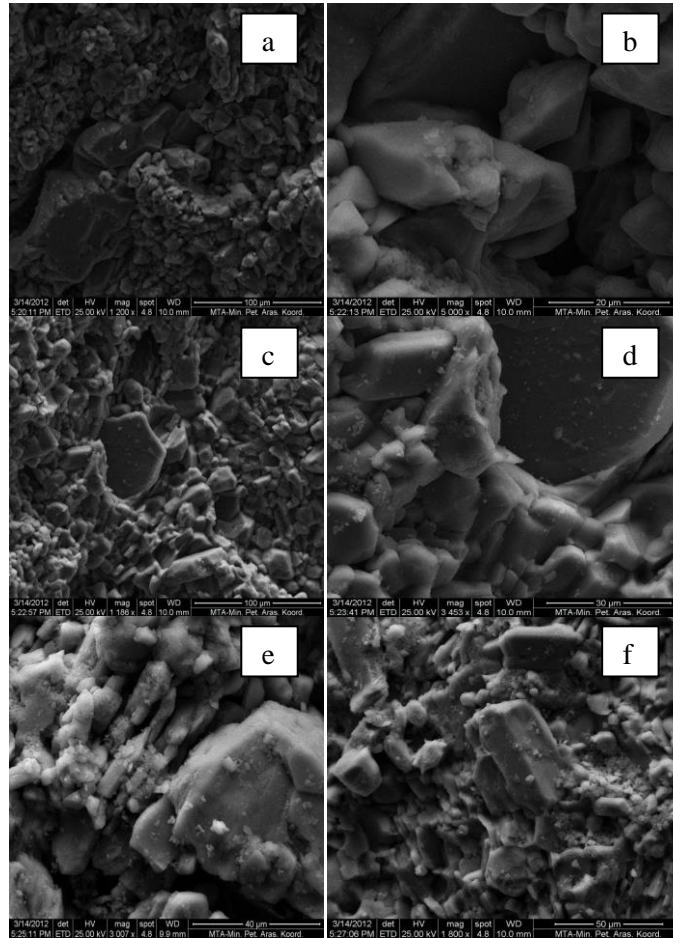


Şekil 2. Jips numunesinin X-Ray difraktometre paterni



Şekil 3. Jips numunesinin BSE(geri saçılmış elektron mikroskobu) görüntüsü

Şekil 2' de jips numunesinin X-Ray difraktometre paterni gösterilmektedir. Jips örneğinin mineralojik bileşimleri Cu X-ışın tüplü Philips PW 3710/1830 XRD analiz cihazı ile 2-70° arasında gerçekleştirilen XRD(X-ışını difraktometresi) analiz cihazı ile belirlenmiştir. Cevher X-ışınları çekimlerinde ASTM No:33-267 standartlarına göre başlıca jips ve çok az kalsit mineralleri tespit edilmiştir. Şekil 3' te Jips örneğinin BSE(geri saçılmış elektron mikroskobu) görüntüsü ve Şekil 4' te jips örneğinin SEM(taramalı elektron mikroskobu analizleri) analiz görüntüleri verilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde; jips minerallerinin ve az miktarda kalsit mineralinin olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. Jips numunesi genel doku SEM(taramalı elektron mikroskobu analizleri) analiz görüntüleri

4. Sonuç ve Öneriler

Çimento yapımı sırasında katkı maddesi olarak erken prizlenmesini önlemek için %2-6 arasındaki oranlarda jips(alçıtaşı) kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında araştırılan jipslerin SO₃ oranlarının % 34'ün üstünde olduğu ve çimento sanayi için aranan özelliklere uygun olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanında yayımları belirlenmiş olan jipslerin yaklaşık 300 milyon ton rezervi olduğu önceki çalışmalarda belirtilmektedir. Yapılan araştırmalara göre kumlu kilaşı içerisinde, 10-15 metre kalınlık arasında yer alan boratlı jipslerin olduğu tespit edilmiştir. Jips veya jips-anhidrit karışımlarının farklı oranlardaki sülfat mineralleri; son öğütme

sürecinde portland çimentosu klinkeri içerisine katılmaktadır. Sülfat minerallerinin eklenmesi ile çimentonun donma zamanının kontrolü daha rahat bir şekilde sağlanmaktadır. Çimentonun öğütülmesi sırasında kullanılan bu mineraller % 3-5 oranlarında kullanılmaktadır. Bu çalışmada araştırılan jips numunelerinin örneğin traslı çimento ve yüksek fırın cürufu çimento yapımında kullanımına elverişli olduğu sonucuna varılmıştır.

Traslı çimento (ağırlık olarak 20-40'lık tras ile 80-60'lık portland çimento klinkeri bir miktar alçı taşı ile öğütülerek hidrolik bağlayıcı elde edilir) tuzlu, alkali ve agresif sulara karşı dayanıklı olması nedeni ile temel ve tünel inşaatlarında, baraj inşaatlarında, kütle beton inşaatlarında, zirai ve sanayi tesis inşaatlarında kullanılmaktadır. Yine yüksek fırın cürufu çimento (ağırlıkça 20-80' lik portland çimento klinkeri 80-20' lik yüksek fırın cürufu ve bir miktar alçıtaşı ile öğütülmesi ile hidrolik bağlayıcı elde edilir.) çok etkili korozyonların olmadığı yerlerde kullanılmaktadır[18].

Kaynaklar

- [1]. Bates, R. L., 1969. "Geology of the Industrial Rocks And Minerals", Dover Publications, New York, 459 s.
- [2]. İstanbulluoğlu, Y. S., 1997. "Alçıtaşı ve Anhidrit Üzerine Bir Çalışma" Madencilik Dergisi, Haziran-Eylül, 36, 2-3.
- [3].<http://bilimkentmadencilik.com.tr/urunlerimiz.html>(erişim:01.10.2018)
- [4].http://cevherhazirlama.com/belgeler/endustriyel_hammaddeler.pdf (erişim tarihi 01.10.2018)
- [5].<http://www.maden.org.tr/meslegimiz/oik626.pdf>(erişim:10.10.2018)
- [6].<http://www.marbleport.com/dogal-kaynaklar/89/alitasi-jips> (erişim:10.10.2018)
- [7].<https://www.gelgez.net/alci-nedir-alci-nasil-olusur-ozellikleri-nelerdir-nerelerde-kullanilir>(erişim: 10.10.2018)
- [8]. <http://alcitasijps.blogspot.com/>(erişim:10.10.2018)
- [9].<http://www.balikesir.gov.tr/madencilik> (erişim:10.10.2018)
- [10]. Çayırılı, H., 1991. "Alçıtaşı ve Türkiye Alçıtaşı Yatakları", Ulusal Alçı Kongresi Bildiriler Kitabı, İstanbul, s. 7 -14.
- [11]. Helvacı, C, "Kestelek ve Sultançayır Borat Yataklarının Mineral Toplulukları ve Oluşumları", Ahmet Acar Jeolojisi Sempozyumu. Ç.Ü. Müh. Mim. Fak.Jeo.Müh.Böl., Adana, 1989.
- [12]. Gündoğan İ., Helvacı C., 1993, "Sultançayır (Susurluk-Balıkesir) Boratlı Jips Havzasının Jeolojisi, Mineralojisi Ve Ekonomik Potansiyeli" Türkiye Jeoloji Bülteni, C. 36,159-172, Geological Bulletin of Turkey, V. 36, 159-172.
- [13]. <http://www.jips.info.tr/>(erişim tarihi 10.10.2018)
- [14].[http://www.naturpa.com/?newUrun=1&Id=1113607&CatId=bs417595&Fstate=&/Toprakd%C3%BCzenleyici-\(Bereket-Jips\)](http://www.naturpa.com/?newUrun=1&Id=1113607&CatId=bs417595&Fstate=&/Toprakd%C3%BCzenleyici-(Bereket-Jips)) (erişim tarihi 08.10.2018)
- [15]. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/alci-tasi> (erişim tarihi 10.10.2018)
- [16]. <http://www.hccmaden.net/jips-alci-tasi/>(erişim:10.10.2018)
- [17]. Appleyard, F. C., 1975. "Gypsum and Anhydrite", Industrial Minerals and Rocks, New York, s. 185-199.
- [18].<http://www.mabetas.com.tr/p42-hazir-beton-bilesenleri> (erişim: 12.10.2018)



CAVE Sanal Gerçeklik Teknolojisinin Üniversite-Sanayi İşbirliği Açısından Değerlendirilmesi ve Örnek bir Durum Çalışması

Cagatay Catal^{1*}, Akhan Akbulut²

¹ Wageningen Üniversitesi, Bilişim Teknolojileri Grubu, 6706KN, Wageningen, Hollanda (ORCID: 0000-0003-0959-2930)

² İstanbul Kültür Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 34156, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9789-5012)

(İlk Geliş Tarihi 8 Ocak 2019 ve Kabul Tarihi 1 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.510001)

ATIF/REFERENCE: Catal, C. & Akbulut, A. (2019). CAVE Sanal Gerçeklik Teknolojisinin Üniversite-Sanayi İşbirliği Açısından Değerlendirilmesi ve Örnek bir Durum Çalışması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 61-69.

Öz

CAVE (CAVE Automatic Virtual Environment) sanal gerçeklik teknoloji altyapısı, yurt dışındaki üniversiteler ve araştırma kurumları tarafından, son dönemde farklı fonlarla kurulmaya başlanmış ancak Türkiye'de henüz bir üniversitede, yüksek yatırım maliyeti nedeniyle bu tür bir altyapı kurulamamıştır. Bu çalışmada bu tür bir merkezin kurulması durumunda hem üniversitelerin hem Türkiye'deki sanayinin ayrı ayrı kazanımları değerlendirilerek oluşabilecek sinerji ortaya konulmuştur. Bu merkezin belirli zaman dilimlerinde diğer eğitim kurumlarının kullanımına açılması, eğitime farklı bir boyut getirerek, anlaşılması güç olan kavramların, görsel ve üç boyutlu sanal gerçeklik ortamında kolaylıkla anlaşılması sağlanabilecektir. Eğitime sunulacak katkılarının yanı sıra, endüstriyel boyutta henüz ürünlerin ilk prototipleri yapılmadan, üç boyutlu modellerinin CAVE ortamına taşınarak ergonomi ve kullanıcı deneyim testlerinin yapılması mümkün olacaktır. Bu yönüyle, altyapının üzerinden ilgili kurum ve kuruluşlara ulaşılması, yeni AR-GE projelerinin geliştirilmesi sağlanabilecektir. Çalışmada sunulan örnek durum senaryosunda 130 metrekarelik bir alanda kurulabilecek bir CAVE altyapısı tanıtılmış olup gereken materyaller ve ekipmanlar aktarılmış, bu teknolojinin ayrıntılı değerlendirilmesi farklı boyutlarıyla ortaya konulmuştur. Bu tür bir merkez kurmak isteyen üniversiteler ve şirketler için Mantıksal Çerçeve Matrisi sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sanal gerçeklik, CAVE, Sanal ortam.

The Evaluation of CAVE Virtual Reality Technology for the University-Industry Collaboration and a Case Study

Abstract

The CAVE Automatic Virtual Environment (CAVE) virtual reality technology infrastructure has recently started to be built by different universities and research institutes using different funds, but according to our analysis, we did not encounter such an infrastructure in any university in Turkey due to the high investment costs. In this study, we present the benefits of universities and industry in Turkey and also provide synergistic artefacts. By opening this centre to the use of other educational institutions in certain time periods, it will present a different perspective for the education and make it easier to understand difficult concepts in a visual and 3-dimensional virtual reality environment. In addition to the contributions to the education, ergonomics analysis and user experience tests will be performed by moving 3D models to the CAVE environment before the first prototypes of products at the industrial scale are manufactured. It is possible to develop new R&D projects to reach relevant institutions and organizations through this infrastructure. In the Case Study, a CAVE infrastructure to be installed in 130 square-meter area is introduced, necessary materials and equipment are introduced, and in-depth evaluation of this technology is presented. We introduce a Logical Frame Matrix for the universities and companies.

* Sorumlu Yazar: Wageningen Üniversitesi, Bilişim Teknolojileri Grubu, 6706KN, Wageningen, Hollanda, cagatay.catal@wur.nl

Keywords: Virtual Reality, CAVE, Virtual Environment.

1. Giriş

Sayısal modellerin sanal ortamda yaşayan hale getirilmesi ve bunların üç boyutlu görüntüler ve gözlükler ile kullanıcılara sunulmasını sağlayan interaktif görselleştirme sistemlerinin üniversitemizde hayata geçirilmesi kritik öneme sahiptir. Bu tür sistemlere *CAVE (CAVE Automatic Virtual Environment)* ismi verilmektedir. Yurt dışında birçok üniversite, sanayi kuruluşu ve araştırma merkezi, bu tür sistemleri son dönemde altyapı olarak kullanmaya başlamış ve bu yönde üniversite-sanayi işbirliğini sağlamaya dönük önemli adımlar atmıştır. Bu ve benzeri sistemler sayesinde kullanıcılar, incelemek istedikleri modelleri CAVE sistemi içerisinde alarak bunları gerçek dünyadaki gibi inceleyebilmektedir. Modellerin üç boyutlu görüntüleri ilgili sistem sayesinde oluşturulabilmekte, özel tasarlanmış gözlükler yardımıyla üç boyutlu olarak kullanıcıların kullanımına sunulabilmektedir. Aynı zamanda modeller üzerine, hareket takip cihazları sayesinde gerçek kullanıcıların pozisyon bilgileri, el hareketleri ve baş-boyun hareketleri aktararak sanal model içerisinde insan etkileşimi sağlanabilmektedir. ABD Ulusal Mühendislik Akademisinin (National Academy of Engineering) belirlemiş olduğu 21.yüzyılın büyük mühendislik hedeflerine bakıldığında bu hedeflerinden birisinin de Sanal Gerçekliğin geliştirilmesi olduğu görülmektedir [1]. Bu yönüyle bakıldığında bu tür altyapıların kurularak bu kapsamda projeler geliştirilmesi 21.yüzyılın büyük mühendislik hedeflerinden biriyle doğrudan ilişkilidir.

Sanayi kuruluşlarının; CAVE sanal gerçeklik sistemi için gerekli olan altyapı yatırımına, ekonomik olarak güçlerinin yetmediği durumda, üniversitemizde kurulacak olan bu merkezleri kullanması alternatif bir çözüm olacaktır. Bu tür projelerle disiplinler arası projeler yapılabileceği gibi farklı sektörlerle işbirliği tesis edilebilecektir. Ülkemizde henüz bahsi geçen nitelikte bir altyapı olmadığından, yurt dışında bu konularda çalışmak üzere gençlerimiz farklı ülkelere gitmek durumunda kalmayacaktır. Belediye ve kamu kurumlarının sanal gerçeklik ihtiyaçları, acil durum senaryoları gibi çok sayıda pratikte katkısı olabilecek uygulama sahalarını dikkate aldığımızda, bu tür altyapıların ülkemiz açısından önemli kazanımlar sağlayacağı görülmektedir. Gençler arasında bilimin sevdirmesi, lise öğrencilerine belirli dönemlerde özel çalıştaylar düzenleyerek biyoloji, kimya, fizik gibi derslerin sanal gerçeklik ortamında farklı örneklerle gösterilmesi mümkün olabilecektir. Diğer önemli katkılarında bir diğeri de prototipleme maliyetlerinin düşürülmesidir. Ürünlerin ilk prototiplerinin üretilmeden, modellerin CAVE ortamında konumlandırılarak gerekli analizlerin ve ergonomi testlerinin yapılabilmesi mümkün olmaktadır. Sanal Gerçeklik konusunda uzman personel yetiştirilmesi, bu konularda çalışan akademisyenlerin belirli merkezler etrafında toplanması uzun vadede ülkeye fayda sağlayacak diğer hususlardır.

CAVE sistemlerinin alternatifi sistemler ise daha sınırlı destekler ve kazanımlar sunmaktadır. Örneğin başa monteli ekranlar (Head Mounted Display-HMD) ile sanal gerçekliğin sağlanmaya çalışıldığı Oculus Rift gibi cihazlar ile küçük çaplı uygulamalar geliştirilebilmektedir. Çok sayıda kısıtlaması olan bu tür HMD cihazlarla bile, ne yazık ki ülkemizde birçok bilgisayar mühendisliği öğrencisi eğitimleri sırasında tanışmamakta ve bu platformlar için uygulama geliştirmeden mezun olmaktadır. University of Illinois at Chicago gibi ABD merkezli üniversitelerde, mevcut durumda CAVE konusunda önemli projeler yürütülmektedir. Üniversiteler içerisindeki farklı bölümlerin katılımıyla disiplinler arası araştırmaların önünün açılması ve endüstri ihtiyacını karşılamaya yönelik projelerin geliştirilmesi bu tür merkezlerle mümkündür. Ülkemizde sadece Ford Otosan firması; bu tür bir CAVE sistemini geçtiğimiz yıllarda, kendi ürünlerinin ergonomi testleri için kurmayı hedeflemiş ve bu tür bir laboratuvarı kullanıma açmıştır. Yatırım maliyetinin yüksek oluşu nedeniyle tüm sanayi kuruluşlarının bu tür merkezler açması mümkün görünmemektedir. Bu ihtiyacı karşılayabilmek üzere, üniversitemizde bir CAVE merkezinin kurulması, bu konuda uzman personel yetiştirilmesi, lisans bitirme ve yüksek lisans tezleri yaptırılarak sonrasında disiplinler arası bir doktora programı olacak olan Simulasyon ve Modelleme doktora programlarının açılması, bu konuda Avrupa Birliği proje çağrılarında katılarak yeni işbirliklerinin tesis edilmesi diğer faydalar olarak sıralanabilir.

Sonraki bölümlerde CAVE teknolojisi konusunda genel bilgiler ve ilişkili çalışmalar sunulmaktadır. Bölüm 5’de üniversite ve sanayi kazanımları sunulmaktadır bu tür bir merkez kurmak isteyen organizasyonlar için ilgili Mantıksal Çerçeve Matrisi ortaya konulmuştur. Bu matrisler proje planlama izleme ve değerlendirme için değerli araçlardır. Bölüm 6’de bu tür merkez kurmak isteyenler için örnek çizimlerle sistemin genel görüntüsü sunulmakta, 130 metrekarelik bir alan için yapılan tasarımla resmedilmektedir. Bölüm 7’de sonuçlar ortaya konulmaktadır.

2. Genel Bilgi ve İlişkili Çalışmalar

CAVE platformları; yeni nesil tiyatral sanallaştırma uygulamalarının görselleştirilmesinde rol almaktadır. Kullanıcıların içerisine girebileceği sanal gerçeklik tecrübeleri için bünyesinde yüksek çözünürlüklü projeksiyon, perde ve takip kameraları kullanılmaktadır. CAVE platformlarının tercih edilme nedenleri aşağıda sıralanmaktadır:

- Yüksek çözünürlüklü renkli görüntüleri geometrik bozulma olmadan çevresel gözlemleyebilme,
- Baş hareketi kaynaklı hataların daha az hassasiyetle değerlendirilebilmesi,
- Çoklu kullanıcı oturumlarında yapay ortamların analiz ve öğretimini sağlaması,
- Bilimsel verilerin görsel sunumları ile anlamlarının zenginleştirilmesinin sağlanması,
- Kendisine bağlanabilen süper bilgisayarlar ile paralel veri işleyerek yüksek performanslı gösterimle yapılabilmesidir.

CAVE teknolojisi ilk kez University of Illinois at Chicago (UIC) üniversitesinde ortaya konulmuş bir fikir olup, 1992 yılında SIGGRAPH konferansında sunulmuştur [2]. UIC üniversitesi, geliştirmekte olduğu CAVE teknolojisinin satışını şu anda MechDyne firması üzerinden gerçekleştirmektedir. CAVE2 ürününün [3] bedeli yaklaşık olarak 2 milyon dolar olduğundan, LCD bazlı olan CAVE2

ürünü yerine projeksiyon bazlı CAVE sistemlerinin maliyet-etkin olduğu değerlendirilmektedir. Bu nedenle, maliyet-etkin olması istendiği durumda görselleştirme kalitesinden bir nebze ödün vererek, projeksiyon bazlı sistemler referans alınarak tasarımların yapılması mümkün görünmektedir. Genellikle bu tür projektör bazlı yaklaşımlar tercih edilmektedir.

Ürün tasarım doğrulaması, şehir planlama, maden sahaları, tarihsel mekanların üç boyutlu görüntülenmesi, tıbbi araştırma, sanal eğitim, pazarlama ve ürün tanıtım gibi çok çeşitli uygulama alanları bulunmaktadır. 4 duvar yansımali gerçek zamanlı sanal gerçeklik sistemleri sayesinde, mühendislik tasarımlarının doğrulaması mümkün olmakta ve bu analizlerin haricinde eğitim amaçlı da sistemler kullanılabilir. Havacılık ve savunma sektöründe kokpit personelinin eğitimi, maliyet açısından daha ucuz olabilmektedir. Yurt dışında CAVE teknolojileri konusunda ön plana çıkan firmalar VisBox [4] ve MechDyne [5] firmaları olup, yurt içinde infoTRON [6] firması bu konuda çalışmaktadır. CAVE sistemi için genellikle, 4 adet aktif stereo projektör, 4 adet ön yüzey aynası, stereo emitörler, 10 kadar stereo shutter gözlük tedarik edilerek sistemler kurulabilmektedir. Yan duvarlar, karşı duvar ve yer yüzeyine görüntülerin aktarılabilmesi için 4 adet özel projektöre ihtiyaç bulunmaktadır. Aynı zamanda, gerçek zamanda eğitmeni takip edebilmek için genellikle 4 kameralı optik takip sistemi tedarik edilmesi gerekmektedir. Modellerle etkileşebilmek için ise *wand* ismi verilen işaretçi/fare cihazları kullanılabilir. Bu tür optik takip sistemlerinin performansı yüksek olduğundan CAVE sistemlerinde tercih edilmektedirler. CAVE sisteminde sanal gerçeklik hissini sağlayabilmek üzere 5.1 çevresel ses sistemi ayrıca kurulabilmektedir. Ürün tedarikleri yurt dışından yapıldığı durumda, tedarik süreleri zaman almakta ve bu sürede, gerekli yazılım geliştirme ortamları ve geliştirme teknolojileri konusunda grupların bilgi edinmesi faydalı olmaktadır. Ürünler tedarik edildikten sonra, mekanik ve donanımsal kurulumlar gerçekleştirilmekte, yazılımlar bu platformların üzerine kurulmakta, platformun kalibrasyonunun yapılması amacıyla farklı yazılımlardan yararlanılmaktadır. Bunların ardından, ilgili eğitimler gerçekleştirilerek sistemin kullanıma açılması sağlanmaktadır.

Muhanna [7] derleme çalışmasında, farklı sanal gerçeklik sistemlerini CAVE ile birlikte karşılaştırmış, sanal gerçeklik sistemleri için bir taksonomi önermiştir. Ip ve arkadaşları [8], otizm spektrum bozukluğu bulunan yaşları 6 ile 12 arasında olan 94 çocuğun, duygusal ve sosyal yeteneklerini geliştirmek üzere sanal gerçeklik ortamında (yarım CAVE olarak adlandırabileceğimiz bir ortam) 6 öğrenme senaryosu üzerinde çalışmış ve olumlu katkılarının bulunduğunu raporlamıştır. Fabrika ve arkadaşları [9], CAVE içerisinde bir ormanın görselleştirmesini yapmış ve sanal ortamla etkileşimde olan bir seyreltme uzmanının eğitimini sağlamaya çalışmıştır. Fernández ve Alonso [10], gemi inşası alanında CAVE teknolojisini sağlayacağı yararları ayrıntılandırmıştır. Limniou ve arkadaşları [11], kimya eğitiminde 2 boyutlu masaüstü simülasyon uygulamalarının kullanımıyla CAVE teknolojisini uygulandığı durumu karşılaştırmış ve CAVE teknolojisini öğrenciler arasında daha olumlu etkiler oluşturduğunu raporlamıştır. Sinitski ve arkadaşları [12], Kanada Silahlı Kuvvetleri personelinin deneylerde olduğu bir çalışmada, CAVE gibi simülasyon ortamlarının simülatör kaynaklı rahatsızlıklara (örneğin, baş dönmesi) yol açıp açmadığını araştırmıştır.

3. CAVE Teknolojisi

Birçok CAVE uygulamasında, yüzeyler (duvarlar, zemin ve tavan) büyük boyutlu ekran ekipmanlarıyla donatılır. CAVE'ler için kullanıcının fiziksel yönelimini ve hareketlerini takip etmesi, bunlara cevap vermesini sağlayan araçlar kullanılmaktadır. Tercih edilen yüzey sayısına bağlı olarak kurulum maliyeti değişiklik göstermektedir. Örneğin tek bir yüzeyin kullanıldığı *Wall* sistemleri en temel form olarak değerlendirilmektedir. Yüzey sayısının artırıldığı konfigürasyonlarda sanal gerçeklik hissi de beraberinde artmaktadır. Bir CAVE sistemi temel olarak aşağıdaki bileşenlerden oluşur [13]:

- **Görüntü Sistemi:** CAVE video sistemi, yüzeylerde pencere sunumu kullanarak, sanal gerçeklik ortamları yaratmaktadır. Kullanılan gözlükler üzerindeki pozisyon sensörlerinin ölçümleri vasıtasıyla, doğru perspektif açısı hesaplanmaktadır. Gözlük camları, her bir göze farklı görüntülerin gösterilmesini sağlayarak üç boyut hissi sağlar.
- **Ses Sistemi:** Genel olarak, üç boyutlu görsellerin temsiline uygun ses sistemlerinin kullanımı için geliştirilmiş projeler (Creative EAX gibi) tercih edilmektedir. Bu sistemler; CAVE ortamı için çok kanallı mekansal ses çözümleri sunarak, CAVE içinde birden fazla kullanıcıya görsel ve işitsel kullanım deneyimi sağlamaktadır.
- **Takip Sistemi:** CAVE'ler içerisinde farklı takip sistemleri kullanılabilir. Kameralar ve görüntü işleme yöntemleri kullanılarak gözlük üzerindeki işaretçilerin yeri tespit edilerek kullanıcı hareketleri takip edilebilir. Bu çözüm için ARToolkit [14] açık kaynak kodlu platformun kullanımı yaygındır. İdeal çözüm denilebilecek çözüm ise en yüksek doğruluk sunabilen, birden çok bakış açısı kullanan aktif işaretleyicilerle optik izleme sistemlerinin kullanılmasıdır.
- **Grafik Motoru:** CAVE platformları için 3D grafik yazılımı oldukça sınırlıdır. Birçok proje, standart oyun motorlarını (Unity3D gibi) bir CAVE kurulumunda kullanabilmek üzere uyarlamıştır [15]. CAVE'e özel geliştirilmiş en bilindik grafik motoru CAVELib'dir.
- **Stereografik Sahneleme Sistemi:** Stereografik görüntülemenin temel gereksinimi olan iki görüntü ve bunların aynı anda görüntülenmesi, sağ göz ve sol göz için hesaplanarak sunulmaktadır. Yüksek yenileme hızına sahip CRT projektörler kullanılarak 3 boyut hissi verilmektedir. Sahneleme için yüksek performanslı grafik kartları kullanılmaktadır. Çok sayıda kullanıcı için sahneleme gecikmelere sebebiyet verebilir. Sahneleme verecek sistemin gereksinimleri planlanırken, kullanıcı sayısına bağlı olarak grafik kartlarının çoğaltılması gerekebilir.

4. CAVE ve Başa Takılan Ekranlar

Günümüzde sanal gerçeklik denilince ilk akla gelen ürünler başa monteli ekranlardır (Head Mounted Display-HMD). En bilindik ürünler arasında Oculus Rift [16], Microsoft HoloLens [17], HTC Vive [18] ve Samsung Gear VR [19] sayılabilir. CAVE sistemlerinin başa takılan ekranlardan farkları, son kullanıcılar tarafından henüz bilinmemektedir. Bu bölümde CAVE ve HMD cihazlar arasındaki

farklılıklara değinilecek ve HMD ürünler arasındaki öncü sayılabilecek Oculus Rift ile kıyaslama yapılacaktır. Bir HMD sistemi, etkileşimli kontrol cihazları ve stere ekran ile gerçek zamanlı kafa perspektifi esaslı görüntü sağlar. CAVE sistemlerinin geliştirilmesindeki temel amaç, bu ürünlerin kısıtlamalarından kurtulmaktır. Özellikle geniş açılardan bakışın gerektiği mühendislik uygulamalarında, CAVE sistemleri prototip geliştirmede önemli rol oynamaktadır. Bir diğer temel fark, aynı oturumda birden fazla kullanıcının sanal gerçeklikle etkileşime girebilmesidir. Sanal Gerçeklik kullanımı sırasında gerçek dünyadan izole olma, beyin üzerinde olumsuz etkiler yapmakta ve kullanıcılarda baş dönmesi ve bulantı gibi istenmeyen sonuçlar doğurmaktadır. CAVE sistemlerinde kullanıcılar, HMD ürünlerindeki aksine, gerçek dünyadan tam anlamıyla izole edilmezler ve bunun sonucu olarak daha uzun süreli kullanımlar mümkün olabilmektedir. Ayrıca, kullanıcı hareketlerini izleyen donanımın çokluğu sayesinde, sanal gerçeklik ile olan etkileşim daha yoğundur ve takip hataları daha azdır. Tablo 1’de Oculus Rift ile yapılan kıyaslama sunulmaktadır.

Tablo 1. CAVE ve HMD Kıyaslaması.

Kıyaslama Kriteri	CAVE	Oculus Rift
Kullanıcı Sayısı	1 aktif 15 izleyici kişiye kadar	1 aktif kişi
Çözünürlük	~3-10 MP (tek göz için)	~1 MP (tek göz için)
Bakış Açısı	170°	100°
Hareket Sınırlaması	Yok, Kablosuz Cihazlar	Sınırlı, Kablolü Cihaz
Kullanım Rahatlığı	Uzak ve geniş ekranlarda daha uzun süreli kullanım imkanı	Yakın görüntünün uzun süreli kullanımına bağlı rahatsızlıklar
Kullanıcı Temsili	Kullanıcının Gerçek Vücudu	Sanal Vücut
Konfor	işaretçiler ve gözlük ile rahat	Ağır gözlük yüzünden uzun süreli kullanımda yorucu
Takip Hassasiyeti	Kusursuz	Yüksek
Kurulum Maliyeti	Çok Pahalı	Ucuz

Her iki sistem kıyaslandığında; Oculus Rift’in taşınabilir, kurulumunun kolay ve düşük maliyetli olması ile son kullanıcılar için önemli bir çözüm olduğu görülmektedir. Özellikle oyun sektörünün bu ve benzeri cihazlar ile kullanımı yaygınlaşmaktadır. Öte yandan; CAVE sistemleri daha yüksek çözünürlük, daha geniş kullanım açısı, gerçek dünyadan kopmama, milimetrik hassasiyet ile kullanıcı takibi yapabilmesi ve çok sayıda kullanıcının aynı anda sistemi kullanabiliyor olması nedenleriyle mühendislik uygulamalarında daha yüksek hister sanal gerçeklik sunmaktadır. Olumsuz yanları ise kurulum maliyetinin daha yüksek ve işletme giderlerinin daha fazla olmasıdır.

5. Üniversite, Sanayi ve Üniversite-Sanayi İş Birliği İçin Değerlendirmeler

5.1. Genel Değerlendirmeler

CAVE altyapılarının üniversitelerde veya şirketlerde kurulmasının, eğitim-öğretim ve sanayi boyutlarında iki farklı hedef grubu mevcuttur. Üniversiteler bünyesinde birçok bölümde; anlaşılması güç ve teorik kavramların görselleştirilmesi sayesinde bu konuların daha kolay algılanması ve akılda kalması mümkün olabilmektedir. Örneğin, çok sayıda sistem ve alt sistemden oluşan bir araç motorunun çalışma prensiplerinin daha rahat açıklanabilmesi ve öğrenilebilmesi için, CAVE üzerinde üç boyutlu bir model kurgulanarak, farklı kesitlerin görselleştirilip tüm parçaların detaylarıyla birlikte gösterilmesi mümkün olabilmektedir. Başka bir örnek olarak; MARS yüzeyinin fotoğraflarını kullanıp o ortamda geziyor hissine kapılmak ve ortamı keşfetmeye çalışmak, oldukça heyecan verici bir duygudur. Fizik bölümlerinde verilen Astronomi derslerinde bu tür görsel modellerin, benzer şekilde Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümlerinde farklı protein yapılarının görselleştirilerek öğrencilere sunulması eğitime yeni bir boyut getirebilecektir. Ayrıca, liselerde öğrenim gören öğrencilerin, farklı çalıştaylarla bu imkanlardan yararlanması gençlerin ufkunu açarak bilimi sevmelerini sağlayacaktır. Bu tür merkezler kurularak, bölgeler arasındaki gelişmişlik farklılığı azaltılabilecek ve bu tür altyapılar ülkemiz gençlerinin kullanımına sunulmuş olacaktır.

Benzer merkezler kurulduktan sonra, izleyen dönemlerde sanayi kuruluşlarının ihtiyaçlarını karşılamak ve kamu kurumları / belediyelerle birlikte ortak projeler üretebilmek için imkanlar oluşabilmektedir. Mühendislik kapsamında; hava kirliliği emisyon çalışmaları, aerodinamik analizleri, hızlı ürün prototipleme, araç içi ve dışı tasarımı gibi alanlarda çalışılabilmektedir. Mimari kapsamında; şehir planlama, iç tasarım, bina tasarımı yapılabilmekte olup bu sayede bina inşa edilmeden önce, binanın içerisinde gezilmesi, bina ergonomisinin değerlendirilmesi, günün çeşitli saatlerinde bina üzerinde güneşin etkisinin incelenmesi, depreme dayanıklılığın belirlenmesi mümkün olabilmektedir. Tıp alanında; sanal kadvralar kullanılarak genç doktorların deneyim kazanması, laparoskopik cerrahide çalışacak olan doktorların eğitimi, insan anatomisinin görselleştirilmesi, psikolojik terapinin sağlanması, moleküler biyoloji eğitimi verilmesi gibi çok sayıda uygulama gerçekleştirilebilmektedir. Bu tür bir merkezin kurulmasıyla birlikte aşağıdaki sonuçlar elde edilebilecektir:

• **Disiplinler arası projeler:** Üniversitelerin Bilgisayar Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği, Elektronik Mühendisliği, Moleküler Biyoloji ve Genetik, Mimarlık ve Fizik gibi Bölümlerinin Öğretim Üyelerinin disiplinler arası projeler geliştirebilmesine katkı sağlamaktadır. Bu tarz disiplinler arası projelerin geliştirilmesi, sanayi kuruluşları ile ortak projeler tasarlanması ve eğitimde farklılık yaratılması mümkündür. Üniversitemiz ve diğer sanayi kuruluşları / kamu kuruluşları ile artık çok daha kolay ortak projeler geliştirilebilecek ve işbirliği üst seviyelere taşınmış olabilecektir. Belediyeler ve kamu kurumları gibi ülkemizin önemli kurumları ile işbirliğine gidilerek, acil durum tatbikatları ve felaket senaryolarının uygulanması, mimari tasarımların analizi, karmaşık cihaz ve sistemleri kullanacak olan teknik personelin eğitimi gibi birçok konuda uygulamalar geliştirilebilmesi söz konusudur. Ülkemizde

arzulanan üniversite-sanayi işbirliğinin sağlanması için doğrudan sanayi kuruluşlarının ihtiyacına dönük olarak modelleme / simülasyon / görselleştirme çalışmalarının CAVE üzerinde yapılması mümkündür. Ürünlerin ilk prototipleri çıkmadan önce, sanal gerçeklik ortamında, 3 boyutlu modeller kullanılarak ürün tasarımının analiz edilmesi ve üretim öncesi ergonomi testlerinin gerçekleştirilmesi mümkündür.

• **Uzman yetiştirilmesi:** Sanal Gerçeklik konusunda uzman yetiştirilmesi, bu konuda teknolojinin geldiği en son nokta olan CAVE sistemi üzerinde doğrudan çalışarak bilgi ve becerilerinin artırılması, bu kapsamda yeterli altyapı ülkemizde henüz olmadığı için yurt dışında doktora yapmak zorunda kalan öğrencilerimizin yeniden ülkemiz altyapısına yönlendirilmesi mümkün olmaktadır. Bilgisayar Mühendisliği öğrencilerinin sanal gerçeklik teknolojileri konusunda doğrudan uygulama geliştirip içerisinde gezebilecekleri bir platform ortaya konulmuş olacaktır. Projektörler, aynalar, stereo gözlükler, işaretçi, gerçek zamanlı takip kameraları, ses sistemleri ve ana bilgisayarıyla bütünleşik bir CAVE ortamı inşa edilerek, kurulumların yapılması ve kalibrasyonlarının tamamlanması neticesinde üç boyutlu modeller ve gerekli yazılımlarla birlikte kullanıma açılacaktır. Sanal Gerçekliğe hakim, simülasyon ve modelleme alanlarında askeri ve sivil uygulama geliştirebilen uzmanlar yetiştirilebilecektir. CAVE sistemi faal duruma getirildikten sonra, bu sisteme içerik sağlayabilecek, gerekli altyapı yazılımlarını ve yazılım geliştirme ortamlarını bilen, bu teknolojilerde uygulama geliştirebilen uzman personeller yetiştirilebilecektir.

• **Bilimin sevdirmesi:** Lise öğrencilerine belirli dönemlerde yapılacak çalıştaylar sayesinde, gençlerimiz arasında bilimin sevdirmesi, bu alanda çalışacak gençlerimizin sayısının artırılması söz konusudur. Toplumda ve gençler arasında bilimin sevdirmesi ve merak uyandırılması sağlanmış olacaktır.

• **Eğitimde sanal gerçeklik:** Eğitimde sanal gerçekliğin doğrudan uygulaması gerçekleştirilerek, farklı bir model oluşturulabilecek ve ülkemiz genelinde yaygınlaştırılabilmesi için çalıştay ve bilgilendirme toplantıları düzenlenerek üst seviye bilgi paylaşımı sağlanabilecektir. Altyapı açısından diğer üniversitelerle benzer altyapıya sahip olarak, rekabet edebilirlik ve ortak proje geliştirilebilirlik açısından büyük bir ivme sağlanabilecektir. Başa monteli ekranlar ile sanal gerçekliğin sağlanmaya çalışıldığı Oculus Rift gibi cihazların neden olduğu kısıtlamaların ortadan kaldırılarak, eğitmen ve öğrenci rolünde birden fazla kişinin sanal gerçeklik deneyimini aynı anda paylaşmasına imkan tanıyan olacaktır.

• **Uzay / enerji gibi yeni alanlar için yeni projeler:** Sadece güçlü olduğumuz; otomotiv / savunma sanayi / makine-imalat / inşaat / bilgi ve iletişim teknolojileri alanlarında değil, ülke çapında ivme kazanmamız gereken diğer alanlar olan uzay / enerji alanları için de yeni projelerle birlikte güç kazanılabilecektir. CAVE teknolojisinin savunma ve enerji alanında çok sayıda uygulaması yapılabilecektir.

Bu tür altyapılardan uzun vadede yarar sağlayacak olanlar, ülkemizin Bilgisayar Mühendisliği bölümleri ve mezunları, başta otomotiv sektörü ve savunma sanayi olmak üzere birçok sanayi kuruluşu ve önemli bazı kamu kurumları olacaktır. Kurulacak bu tür bir AR-GE merkezinin vizyonlarından birisi de, bulunduğu il sınırları içerisinde sanal gerçeklik konusunda çalışma yapacak olan bölüm ve öğretim üyelerinin sayısını arttırmak, bu alanda çalıştaylar ve konferanslar düzenlemek olabilecektir. Avrupa Birliği'nin Horizon2020 projelerinde CAVE gibi altyapılara sahip olan üniversiteler ve kuruluşların çok sayıda projede kendisine yer bulabilmesi söz konusu olduğundan, uzun vadede Avrupa Birliği fonlarından ülkemize daha fazla desteğin kaydırılabilmesinin önü açılacaktır. Bilimi seven gençler yetiştirerek, uzun vadede bilimin toplumun algısındaki değeri daha da artacak, bilgi ve teknoloji odaklı üretimler gerçekleştirilebilecektir. Karmaşık üç boyutlu modellerin ve yapıların, bu tür sanal gerçeklik sistemleriyle incelenmesi, hem ülkemizdeki sanayi firmaları hem de eğitim kurumları açısından, mevcut sınırları ve sınırlandırmaları aşarak, ilk bakışta mümkün görünmeyen analizleri, eğitimleri ve bilimsel araştırmaları mümkün kılacaktır.

5.2. Sürdürülebilirlik

Bu tür bir merkezin kurulmasıyla birlikte, sanal gerçeklik ve özelinde CAVE teknolojisi konusunda uzman personeller yetiştirilmiş ve gerekli altyapı kurulmuş olduğundan, yeni projelerin Avrupa Birliği fonları, EUREKA ve diğer TÜBİTAK destekleriyle, şirketlerin doğrudan sunacağı finansal desteklerle geliştirilmesi mümkün olacaktır. Sadece yeni projeler çerçevesinde finansal model kurgulanmak durumunda kalınmayacak olup şirketin kurum içi eğitimine dönük olarak da bu sistemler adapte edilebilecektir. Aynı ortamın farklı düzenlemeler ve gerekli yazılımlarla bir simülatör platformuna dönüştürülmesi mümkündür. Örneğin vinç operatörlerinin veya diğer teknik bilgi gerektiren alanlarda çok sayıda eğitimin hem sanal gerçeklik hem de üç boyutlu görselleştirme imkânlarıyla birlikte gerçekleştirilmesi sağlanabilir. Bu tür bir merkezi bünyesine katmayı planlayan üniversiteler ve şirketler, kurumsal açıdan stratejilerini şekillendirebilecek, belirledikleri alanlarda kolaylıkla proje yapabilir duruma gelecektir. Merkezi bu bağlamda kurumsal yapının uygun birimine dahil eden organizasyonlar, sürecin sonunda daha fazla proje üretir konuma gelecektir.

ABD'de Ulusal Mühendislik Akademisi, tüm dünyadan uzmanlara danışarak, 21. Yüzyılda mühendislik disiplinlerinin önündeki 14 zorlu alanı belirlemiş ve bunları 'Grand Challenges for Engineering' başlığı ile yayınlamıştır. Bu 14 kritik ve zorlu alanlardan birisi de Sanal Gerçekliğin geliştirilmesidir. Bilgisayarda oluşturulan sanal ortamlar eğitimden eğlenceye, endüstriyel tasarımdan tıbbi tedaviye kadar, her alanda etkinliği ve verimi arttırmak amacıyla aktif olarak kullanılmaktadır. Günümüzde gelişen teknoloji ile sanal gerçeklik sadece bir görsel yanılsama olmaktan çıkmış, bulunulan yerde olduğu duygusunu verecek ses, dokunma, hareket duygusuyla zenginleştirilmiş durumdadır. Bu konuda ülkemizde yapılacak olan çalışmalar, sanal gerçeklik çalışmalarının önünü açacak, sanayi kuruluşlarının bu alandaki zenginlikleri keşfetmesini sağlayacaktır. Toplum ve gençlerimiz tarafından bilimin hayatın her alanında önemli katma değerler sağladığı daha fazla görülecek, yapılacak çalıştaylarda fen bilimleri ve mühendislik, gençlerin seveceği ve devamında projeler üretebileceği bir boyuta taşınacaktır. Bu tür bir sistemde erken dönemde bulunmuş bir gencin, devamında teknoloji ve fen bilimleri odaklı alanlarda kariyer yapması doğal bir sonuç olacaktır. Bu yönüyle genç nüfusumuzun gerek bu tür çalıştaylar gerekse yazılı ve görsel medya aracılığıyla kurulacak merkez konusunda bilgi sahibi olması mümkün görünmektedir.

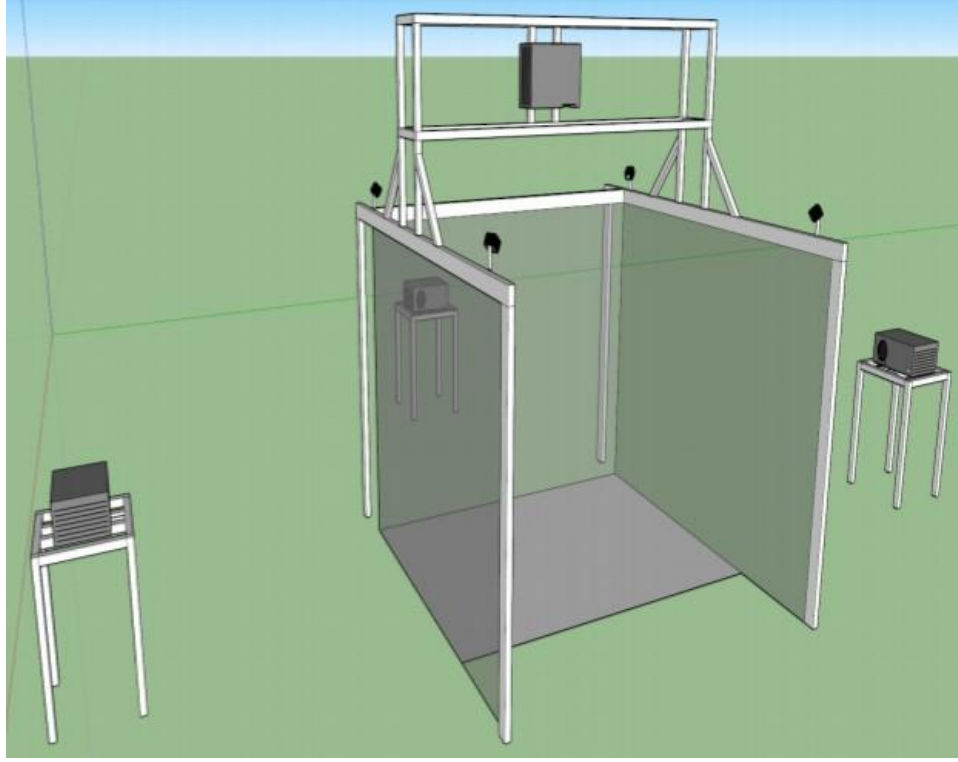
Tablo 2. Mantıksal Çerçeve Matrisi.

Proje Mantığı		Objektif Olarak Doğrulanabilir Başarı Göstergeleri	Doğrulama Kaynakları ve Araçları	Varsayımlar
Genel Amaç	Disiplinler arası çalışmaların yapılabileceği bir AR-GE merkezi kurmak	İlgili ekipmanlar ve yazılımların mevcut olduğu fiziksel ortamın oluşturulmuş olması	Yerinde ziyaret	Yeterli finansal kaynak bulunması veya fonlanması
Özel Amaçlar	Sayısal verilerin ya da modellerin sanal ortamda yaşayan hale getirilmesi, üç boyutlu görüntüler ve gözlükler ile kullanıcılara sunulması, sanal modeller üzerinde insan hareketlerinin hareket takip araçları sayesinde sisteme aktarılmasını sağlayan etkileşimli görselleştirme sisteminin hayata geçirilmesi	Örnek bir üç boyutlu modelin CAVE sisteminde yüklenerek eğitmenin hareketlerini takip kamera sistemleri algılayarak modelle etkileşime geçmesi sağlanmalı, katılımcıların bu modelleri görebilmesi	Kullanıcı deneyiminin video görüntüsü	Sistem kalibrasyonunda problem olması durumunda sanal ortamdaki deneyimin istenilen düzeyde sağlanamama riski
Beklenen Sonuçlar	4 ekranı olan, kenar birleşimlerinde hatasız görüntü veren, 1/1 ölçekte gösterim sunan, hem 3D stereo hem de 2D mono sunabilen, DLP (Digital Light Processing) teknolojisi sayesinde tepki hızı ve renk derinliği benzersiz olan, kamera sistemi, takip sistemi ve kızılotesi teknolojisiyle çalışan, ekranı esnek malzemeden imal edilen bir CAVE sistemi oluşturmak, aynı ortamı kullanabilen farklı yazılımlar bulundurmak	Karmaşık bir sistemin 1/1 ölçekte modellenip sisteme yüklenerek renk ve tepki hızının incelenebilmesi, ekranların modeli hatasız yansıtılması	Ekran üzerindeki model	Tüm ekipman ve yazılımların zamanında ilgili merkeze getirilmesi
Faaliyetler	Sistem gereksinim analizi gerçekleştirildikten sonra, sistem donanım ve yazılım tasarımı gerçekleştirilecek, kurulum ve kalibrasyonun ardından sistem faal hale getirilecektir. Yazılım geliştirme ortamları hazırlanacaktır.	4 adet projektör, görüntü birleştirme ekipmanları, ekran ve izleme sistemleri, bilgisayar donanımı ve ağ birimlerinin mevcut olması	Aylık ilerleme raporlama ve sistem kurulum aşamalarının gösterimsel çıktıları	Donanımların çoğunun yurt dışından tedarik edilmesine bağlı gecikme ve ithalat riski
Ön Koşul	130 metrekarelik alan			

6. Örnek Durum Çalışması

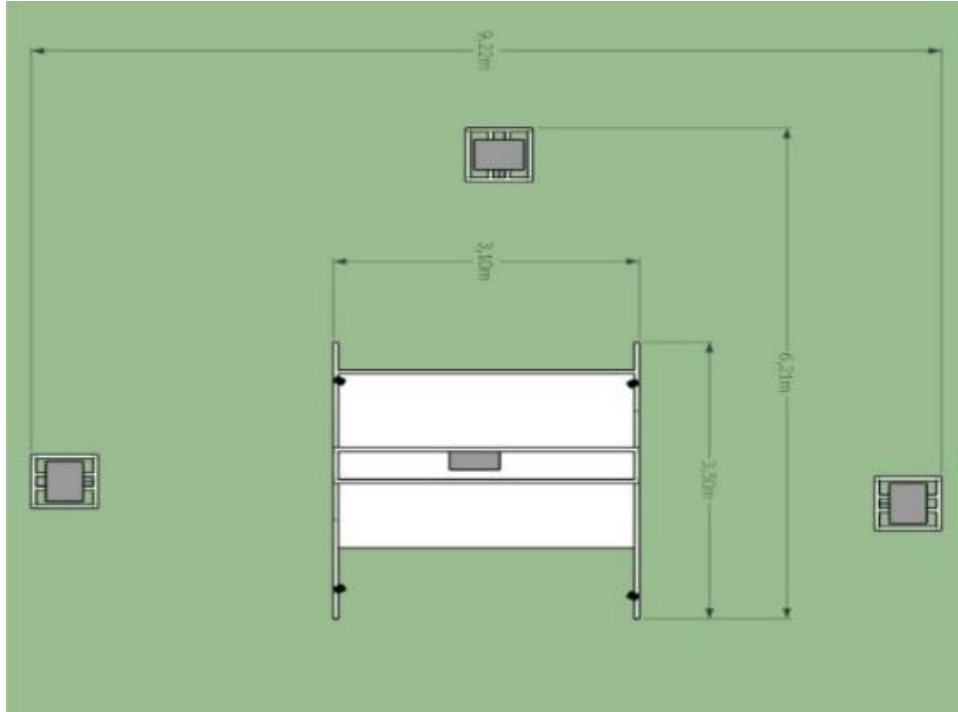
Durum çalışmasında; CAVE sistemi için 4 adet aktif stereo projektör, 4 adet ön yüzey aynası, stereo emitörler, 10 adet stereo shutter gözlük tedarik edilerek sistemin kurulması planlanmıştır. Yan duvarlar, karşı duvar ve yer yüzeyine görüntülerin aktarılabilmesi için 4 adet özel projektöre ihtiyaç bulunmaktadır. Aynı zamanda, gerçek zamanda eğitmeni takip edebilmek için 4 kameralı optik takip sistemi tedarik edilmesi gereklidir. Modellerle etkileşebilmek için 1 adet wand ismi verilen cihaz kullanılması gerekir. Bu tür optik takip sistemlerinin performansı çok yüksek olduğundan, CAVE sistemlerinde kullanılmaktadırlar. CAVE sisteminde sanal gerçeklik hissini sağlayabilmek üzere 5.1 çevresel ses sistemi gereklidir. Yazılımların tedarik edilmesiyle birlikte, CAVE sistemi üzerinde çalışma yapmak mümkün olacaktır. Özetle, ürünler tedarik edildikten sonra, CAVE için tahsis edilen 130 metrekarelik alanda, mekanik ve donanımsal kurulumlar gerçekleştirilerek, yazılımlar bu platformların üzerine kurulabilecek, platformun kalibrasyonunun yapılabilmesi için önceden geliştirilmiş VMD (Visual Molecular Dynamics) gibi yazılımlardan yararlanılabilecektir. Daha sonra, sistemin eğitim ve sanayide uygulama alanları ortaya konularak, bu tür bir yatırım projesinin devamı için yeni projelerin temelleri oluşturulabilecektir.

Şekil 1'de 4 kullanım yüzeyi bulunan (3 duvar ve zemin) sistemin tasarımı sunulmaktadır. Her yüzey için bir yansıtma ekipmanı doğrudan projeksiyon yapabilecek şekilde konumlandırılmıştır.



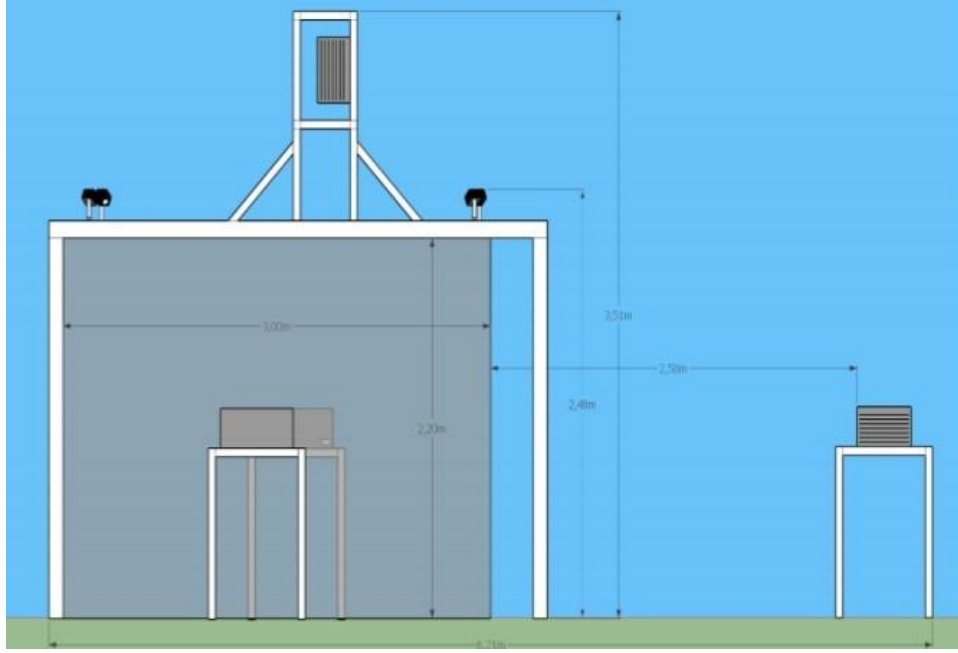
Şekil 1. Dört-Yüzey Konfigürasyonlu CAVE Sistemi.

Önerilen sistemin kurulumu için en az 130m²'lik (12m x 11m) bir alana ihtiyaç duyulmaktadır. Kurulum tasarımında binalardaki taşıyıcı unsur ve kolonların bulunduğu yerler ve kapattığı açılar göz önünde bulundurulmalıdır. Şekil 2'de yansıtım ekipmanlarının yüzeylere ne kadar mesafede yerleştirilmesi gerektiği gösterilmektedir. Kullanılması planlanan projeksiyon sistemleri, eğitim ve sinema sektöründe kullanılanların aksine, ters yüzeyden yansıtma yapmaktadır.



Şekil 2. Kuşbakiş Görünüm.

Kurulum için tercih edilecek alanın en önemli özelliklerinden biri yüksek tavan gereksinimidir. Zemin yüzeyine kullanılacak yansıtıcının en az 3,5 metre yüksekliğe konulması durumu, kurulum tercihinde göz ardı edilmemelidir. Bu mesafe, zemin yüzey alanının büyütülmesi ve kullanılacak yansıtıcı ekipmanın niteliğine göre değişiklik gösterebilir ve daha yüksek tavan mesafesi gerekebilir. Şekil 3'de örnek durum çalışmasında zemin yansıtıcısının ve takip ekipmanlarının konumlandığı yerler gösterilmektedir.



Şekil 3. Zemin Yansıtıcısının ve Takip Ekipmanlarının Görünümü.

Yansıtıcı ekipmanların alternatifi olarak CAVE sistemlerinde ekranların kullanımı da yaygındır. Kurulum maliyeti daha yüksek olan bu yaklaşım, daha fazla sanal gerçeklik hissi vermektedir. Yüksek bütçeli projeler için yansıtıcı yerine büyük ekranların kullanılması alternatifi, alan gereksinimlerini azaltacak ve projeksiyon kullanımından doğan karanlık ve doğrudan güneş almayan yer gereksinimi ihtiyacını ortadan kaldıracaktır.

7. Sonuçlar

CAVE sanal gerçeklik teknolojisi klasik sanal gerçeklik teknolojilerinin üzerinde özellikler barındırdığı için sağladığı yararlar üst düzeydedir ancak yüksek yatırım maliyetleri yaygınlaşmasının önündeki büyük engellerden birisidir. Bu tür altyapıları, farklı fonlarla kurmak isteyen üniversiteler ve şirketler için bu çalışmada, örnek durum çalışmasıyla birlikte elde edilecek kazanımlar farklı açılardan kapsamlı olarak tartışılmıştır. Bu konuda henüz bilgi birikimi ülkemizde yeterli seviyede oluşmadığı için bu çalışmanın, ilgili grup ve kişilere katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir. Elde edilecek çıktılar tek adımda gerçekleşmeyecek olup zaman içerisinde çok sayıda projenin ve işbirliğinin önünü açacağından, bu kapsamda açılacak merkezlerin ülkemiz açısından önemli kazanımlar sunabileceği tespit edilmiştir. Bu konuda altyapı kurmak üzere proje geliştirmek isteyen firmalar ve üniversiteler için Mantıksal Çerçeve Matrisi hazırlanmış ve ek olarak, maliyet-etkin şekilde bir CAVE sisteminin kurulabilmesi için örnek bir durum çalışmasında gerekli çizimler sunulmuştur. Sanal Gerçeklik teknolojisi, önümüzdeki yıllarda büyüyen bir ivmeyle birçok sektörü etkileyeceği için bu aşamada bu tür teknolojilerin üniversitelerin içerisinde açılması, sektörel işbirliklerinin oluşmasına katkı verecektir. Tüm yatırım maliyetinin paylaşılabilmesi için farklı üniversitelerin bir araya gelerek, maliyetleri ilk aşamada paylaşması ve ardından açılacak olan merkezin paylaşımlı kullanıma açılması da dikkate alınabilecek diğer hususlardan birisidir. Bu alanda çalışan araştırmacıların önünün açılması, projeler üretilerek sanayiye katkı verilebilmesi için bu alanda projeler üretilmesi kaçınılmazdır. Bu alandaki fırsatın bu aşamada kaçırılmaması için karar alıcıların stratejik planlamalarında bu alandaki yatırımları dikkate alması gerekmektedir. Fark yaratabilecek projelerin bu tür altyapılarla ortaya çıkarıldığı düşünülürse, ilk başta gerekli olan altyapı yatırımının karşılanabileceği değerlendirilmektedir.

Medikal uygulama alanları, askeri uygulamalar, karmaşık sistemlerin simülörleri, üretim sektörü, güvenliğe dönük senaryolar, uçuş simülörleri bu tür bir sistemle ortaya çıkarılabilecek uygulamalardan sadece birkaçıdır. Tek başına bir simülörün geliştirilme maliyeti dikkate alındığında, CAVE sisteminin bu tür bir simülöre dönüştürülmesi maliyet etkin olabilmektedir. Sadece simülasyon alanında bile çok sayıda proje bu teknoloji kullanılarak üretilmektedir. CAVE sistemlerinin coğrafi olarak farklı yerlerde bulunan kullanıcıları buluşturma ve müşterek çalışmalar gerçekleştirme yönünde iyileştirme çalışmaları devam etmektedir. Yakın gelecekte yapılacak güncellemeler ile konum bağımsız bir şekilde üç boyutlu projelerin ortak yürütülmesi mümkün olacaktır.

CAVE sistemi konusunda tecrübesi bulunmayan ve sadece HMD tip cihazlar üzerinde uygulama geliştirmiş uzmanlar, bu tür sistemlere gerek olmadığını zaman zaman ifade edebilmektedir ancak CAVE sisteminin etkileşimin şeklini değiştiren yönleriyle tanıştıkları anda bu fikirlerinden sıyrılarak CAVE sistemini desteklemeye başlamaktadırlar. Bu çalışmanın yazarları, ilk bakışta mevcut olan zayıf bakış açısının değişimini yakından görmüş oldukları için ilk bakışta gelecek olan tepkilerin, tecrübe eksikliğinden kaynaklandığını değerlendirmekte ve derin kaygısı olan kullanıcılara gerçek bir CAVE sistemiyle tanışmalarını önermektedir. Bu konuda kurulacak merkezlerin ilgili yatırım ajansları tarafından desteklenmesinin kritik öneme sahip olduğu değerlendirilmektedir.

Kaynakça

- [1] 21. Yüzyılda Mühendislik için 14 Büyük Zorluk. <http://engineeringchallenges.org/challenges.aspx/>. (Erişim Tarihi: 07.01.2019)
- [2] Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., DeFanti, T. A., Kenyon, R. V., Hart, J. C. 1992. The cave: audio visual experience automatic virtual environment, *Communications of the ACM*, cilt. 35, no. 6, s. 64–73. DOI: 10.1145/129888.129892
- [3] Febretti, A., Nishimoto, A., Thigpen, T., Talandis, J., Long, L., Pirtle, J., Peterka, T., Verlo, A., Brown, M., Plepys, D. 2013. Cave2: a hybrid reality environment for immersive simulation and information analysis, in *The Engineering Reality of Virtual Reality 2013*, cilt. 8649, p. 864903, International Society for Optics and Photonics, 2013.
- [4] Karkar, A. G., Chowdhury, M. E., Nawaz, N. 2017. Surround-screen mobile based projection: Design and implementation of mobile cave virtual reality, *IEEE Access*, DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2772300
- [5] DeFanti, T., Acevedo, D., Ainsworth, R., Brown, M., Cutchin, S., Dawe, G., Doerr, K. U., Johnson, A., Knox, C., Kooima, R. 2011. The future of the cave, *Open Engineering*, cilt. 1, no. 1, s. 16–37, DOI:<https://doi.org/10.2478/s13531-010-0002-5>
- [6] Infotron elektronik ve bilgisayar sistemleri üretim ve ticaret anonim Şirketi. <http://www.infotron.com.tr/> (Erişim Tarihi: 07.01.2019)
- [7] Muhanna, M. A. 2015. Virtual reality and the cave: Taxonomy, interaction challenges and research directions, *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, cilt. 27, no. 3, s. 344–361, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2014.03.023>
- [8] Ip, H. H., Wong, S. W., Chan, D. F., Byrne, J., Li, C., Yuan, V. S., Lau, K. S., Wong, J. Y. 2018. Enhance emotional and social adaptation skills for children with autism spectrum disorder: A virtual reality enabled approach, *Computers & Education*, cilt. 117, s. 1–15, DOI: 10.1016/j.compedu.2017.09.010
- [9] Fabrika, M., Valent, P., Scheer, L. 2018. Thinning trainer based on forest-growth model, virtual reality and computer-aided virtual environment, *Environmental Modelling & Software*, cilt. 100, s. 11–23, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.11.015>
- [10] Fernandez, R. P., Alonso, V. 2015. Virtual reality in a shipbuilding environment, *Advances in Engineering Software*, cilt. 81, s. 30–40.
- [11] Limniou, M., Roberts, D., Papadopoulos, N. 2008. Full immersive virtual environment CAVETM in chemistry education, *Computers & Education*, cilt. 51, no. 2, s. 584–593, DOI: 10.1016/j.compedu.2007.06.014
- [12] Sinitski, E., Thompson, A., Godsell, P. C., Honey, J. L. N., Besemann, M. 2018. Postural stability and simulator sickness after walking on a treadmill in a virtual environment with a curved display, *Displays*, cilt. 52, DOI: DOI10.1016/j.displa.2018.01.001
- [13] Manjrekar, S., Sandilya, S., Bhosale, D., Kanchi, S., Pitkar, A., Gondhalekar, M. 2014. Cave: An emerging immersive technology–a review, in *Computer Modelling and Simulation (UKSim), 2014 UKSim-AMSS 16th International Conference on*, pp. 131–136, IEEE.
- [14] Kenyon, R. V. 1995. The cave (tm) automatic virtual environment: Characteristics and applications, *Workshop on Human-Computer Interaction and Virtual Environments*, s. 150-167.
- [15] Jacobson, J. 2003. Using caveut to build immersive displays with the unreal tournament engine and a pc cluster, *Proceedings of the 2003 symposium on Interactive 3D graphics*, s. 221–222, ACM.
- [16] Desai, P. R., Desai, P. N., Ajmera, K. D., Mehta, K. 2014. A review paper on oculus rift-a virtual reality headset, *arXiv preprint arXiv:1408.1173*.
- [17] Evans, G., Miller, J., Pena, M. I., MacAllister, A., Winer, E. 2017. Evaluating the microsoft hololens through an augmented reality assembly application, *Degraded Environments: Sensing, Processing, and Display 2017*, vol. 10197, s. 101970V, International Society for Optics and Photonics.
- [18] Dempsey, P. 2016. The teardown: HTC Vive VR headset, *Engineering & Technology*, cilt. 11, no. 7-8, s. 80–81, DOI: 10.1049/et.2016.0731
- [19] Brown, A., Green, T. 2016. Virtual reality: Low-cost tools and resources for the classroom, *TechTrends*, vol. 60, no. 5, s. 517–519. DOI: 10.1007/s11528-016-0102-z



Ders Geçme Notlarının Veri Madenciliği Yöntemleriyle Tahmin Edilmesi

Emrah Aydemir^{1*}

¹ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kırşehir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8380-7891)

(İlk Geliş Tarihi 28 Ocak 2019 ve Kabul Tarihi 1 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.518899)

ATIF/REFERENCE: Aydemir, E. (2019). Ders Geçme Notlarının Veri Madenciliği Yöntemleriyle Tahmin Edilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 70-76.

Öz

Teknolojinin gelişimi ile veritabanlarının boyutları doğru orantılı olarak ilerlemektedir. Bu kadar çok verinin tutulması sonucu çeşitli analizler ile bu veriler arasındaki gizli bağlantıların araştırılması kaçınılmaz olmuştur. Buradaki çalışmada öğrencilerin Yabancı Dil-II dersindeki geçme notları veri madenciliği yöntemleriyle tahmin edilmiştir. Araştırmada Türkiye'deki bir üniversitede Yabancı Dil-II dersini alan 3794 öğrenci verileri kullanılmıştır. Çalışmada 12'si girdi ve biri çıktı olmak üzere toplam 13 adet değişkenin yer aldığı Yapay Sinir Ağları, M5P, DecisionStump, M5Rules, DecisionTable, Bagging yöntemleri ile geliştirilen tahmin modelleri oluşturulmuş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Verilerin eğitim ve test olarak ayrıştırılmasında 10-katlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Modellerde öğrencinin ders geçme notunu etkileyecek öğrenim tipi, fakülte, bölüm, program, program tipi, öğretim elemanı ve unvanı, öğrenci programa giriş türü, giriş puanı ve giriş sıralaması ile bir önceki dönemin not ortalaması dikkate alınmıştır. Modeller arasında Bagging yöntemi ile kurulan modelin en iyi sonuç olan 1.22 ortalama mutlak hata ve 0.80 korelasyon katsayısı ile tahminler ürettiği görülmüştür. Çalışma sonucunda öğrencilerin ders geçme notunu önceden öğrenip önlemler alacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Veri Madenciliği, Akademik Başarı, Tahmin.

Forecasting of The Course Learning Notes by Data Mining Methods

Abstract

With the development of technology, the dimensions of the databases are progressively proportional. It is inevitable to investigate the secret links between these analyzes with various analyzes. In this study, the passing grades of the students in Foreign Language-II course were estimated by data mining methods. In the study at a university in Turkey Foreign Language-II 3794 students taking the course data are used. In this study, the estimation models developed by Artificial Neural Networks, M5P, DecisionStump, M5Rules, DecisionTable and Bagging methods were formed and compared with each other. 10-fold cross-validation method was used for training and testing. In the models, the type of the course, faculty, department, program, program type, teaching staff and title, the type of entry to the program, entry point and entry rank and the average grade of the previous semester were taken into consideration. Among the models, it was seen that the model established with Bagging method produced the best results with 1.21 mean absolute error and 0.81 correlation coefficient. As a result of the study, it is thought that the students will learn the course grade and take precautions in advance.

Keywords: Data Mining, Academic Success, Forecasting.

* Sorumlu Yazar: Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kırşehir, Türkiye, ORCID: 0000-0002-8380-7891, emrah.aydemir@ahievran.edu.tr

1. Giriş

Verilerin elektronik ortamda saklanması ve çeşitli analiz araçlarının ortaya çıkması ile veri ambarlarının işlenmesi sonucu veri madenciliği de günden güne gelişmektedir. Öğrencilere ait bu büyük boyutlu veri ambarlarındaki verilerin işlenmesi sonucu yeni bilgilerin elde edilmesi eğitimde veri madenciliği olarak görülebilir. Fakat eğitimde bu kadar çok veri tutulurken verinin daha etkin ve verimli olarak saklanılmasına odaklanılıp veriler üzerinde yapılabilecek analizler arka planda kalabilmektedir. Verilerin işlenmesi ve bilgi üretilmesi için veri madenciliği tanımlayıcı ve öngörüye yönelik modeller üretmektedir. Karar alma süreçlerinde öngörü yöntemine, başarılı kararların alınmasında yüksek fayda sağlaması nedeniyle ilgi artmakta ve yeni yöntemler ortaya çıkmaktadır (Yurtoğlu, 2005). Bilhassa öğrencilerin hangi alanda başarılı olabileceklerine, başarılarını etkileyen unsurların belirlenmesine, başarı seviyelerine, başarısızlığa neden olan unsurların belirlenmesine olanak sağlayabilir.

Geçmişten beri güncel bir şekilde araştırma konusu olan insan beyninin gösterdiği işlev ve ürettiği tepkileri anlayarak beynin çalışma prensibini çözme (Doğan, 2002) özellikle öğrenmenin ne düzeyde gerçekleştiği ve değiştiğini anlamaya yardımcı olacaktır. Böylece öğrenme sürecindeki davranış değişiklikleri ölçülecek ve öğrenmenin değerlendirilmesi imkânı doğacaktır (Karip, 2012). Öğrenmenin çeşitli ölçme yöntemleri sonucunda not veya puan gibi değerler ile gösterilmesi akademik başarı olarak yorumlanabilir (Turgut ve Baykul, 2013). Öğrenciler akademik başarıları seviyelerini önceden bilmeyi isteyecektir fakat bunun yanı sıra Yükseköğretim Kurumları da bu durumu önceden bilmeyi isteyecektir (Luan, 2002). Bu durum da ancak veri madenciliği yöntemleri ile mümkün olacaktır. Her ne kadar da teknik bilgi, veri madenciliği uzmanı ve bu alana ayrılan finansal kaynakların yetersiz olması nedeniyle eğitim alanında veri madenciliği sınırlı olarak kullanılıyorsa da (Beitel, 2005) bu alan eğitimi geliştirmek için önemini korumaktadır (Siemens ve Baker, 2012).

Literatürdeki eğitim alanında veri madenciliğinin kullanılmasına yönelik çalışmalar incelendiğinde birçok çalışmanın varlığına rastlanmıştır. Veri madenciliği yöntemleri, öğrenci davranışlarını veya başarılarını analiz ederek öğrenci performansını tahmin eden modeller geliştirmek için kullanılmıştır (Sembiring ve ark., 2011; Shovon ve Haque, 2012). Yine benzer şekilde üniversitelerin öğrenci işleri veritabanından elde edilen veriler veri madenciliği yöntemleri ile analiz edilmiş ve öğrenci başarıları irdelenmiştir (İnan, 2003; Erdoğan, 2004; Altınışık, 2006; Kılınc, 2015). Bir başka çalışmada da öğrencilere ait fakülte, not ortalaması, cinsiyeti, giriş tipi, medeni hali, lise not ortalaması, ÖSS puanı, tercih sırası ve yüzdelik dilimi bilgilerinden yararlanılarak öğrenci başarılarını önceden tahmin etmek amaçlanmıştır. Buradaki çalışmada da öğrenim tipi, fakülte, bölüm, program, program tipi, öğretim elemanı ve unvanı, öğrenci programa giriş türü, giriş puanı ve giriş sıralaması ile bir önceki dönemin not ortalaması dikkate alınmış ve çeşitli veri madenciliği yöntemleri ile ders geçme başarıları tahmin edilmiştir.

2. Veri Madenciliği ve Kullanılan Yöntemler

Veri yığınları arasında gizli kalmış, bir kısım analizler sonucu geçerli ve işe yarar bilgi elde edilmesine veri madenciliği denir (Aydemir, 2018). Veri madenciliği büyük miktardaki veriler üzerinde işlem yapması nedeniyle veritabanları ile doğrudan ilişkilidir. Veri madenciliği belirli bir amaca yönelik oluşturulan, hızlı ve etkin bir şekilde erişim olanağı tanıyan veri ambarlarından yararlanır. Veri madenciliği kendi başına çözüm olmayıp problem çözümü için gerekli bilgileri sağlar ve karar verme sürecini destekler (Baykal, 2006). Veri madenciliğinde kullanılan yöntemleri aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür:

2.1. Kümeleme

Sınıfları belli olmayan veriler içerisinde, birbirine belirli ölçülerde benzerlik taşıyan öğelerin bir araya getirilip kümelere ayrılması yöntemlerinden oluşur (Han ve Kamber, 2006). Kümeleme yönteminde küme sayısı verilerin niteliklerinden doğrudan etkilenir.

2.2. Birliktelik

Geçmiş veriler içerisindeki birlikte geçme olma davranışlarının tespit edilerek ortaya çıkarılması yöntemleridir. Bu durumun tespit edilmesinde verilerin birden fazla satırda yer alması gerekir. Veri kümelerinin üyeleri arasındaki ilişkileri ortaya çıkarır ve özellikle pazarlama alanında sık kullanılır (Oğuzlar, 2004).

2.3. Tahminler

Tahminler, sonuçları bilinen veriler ile bir model geliştirip sonuçları bilinmeyen veri kümelerinin sonuç değerlerini tahmin etmenin amaçlandığı yöntemlerdir. Sonuç değerinin sayısal bir değer veya kategorik bir değer olmasına göre kullanılan yöntemler sayısal tahminler ve kategorik tahminler (sınıflandırma) olmak üzere ikiye ayrılabilir.

3. Yöntem

Çalışmada büyük veri kümeleri arasından anlamlı bilgilerin çıkarıldığı veri madenciliği yöntemleri kullanılmıştır. Veri madenciliği eldeki verilerden hareketle sonuçları bilinmeyen verilerin tahmin edilmesi için kullanılır (Akpınar, 2000). Buradaki çalışmada da Türkiye'deki bir üniversitede öğrenim görmekte olan lisans ve önlisans öğrencilerinin 2017-2018 eğitim-öğretim yılının güz ve bahar dönemlerine ait Yabancı Dil-II ders notları diğer detayları ile birlikte veri madenciliği yöntemleri ile analiz edilmiş ve dönem sonu geçme notu tahmin edilmiştir. 3794 adet öğrenciye ait 13 adet nitelik aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

1. Öğrenim Tipi

2. Fakülte
3. Bölüm
4. Program
5. Program Tipi
6. Öğretim Elemanı
7. Öğretim Elemanı Unvanı
8. ÖSS Giriş Türü
9. ÖSS Giriş puanı
10. ÖSS Giriş Sıralaması
11. Bir Önceki Dönemin Not Ortalaması
12. Aktif Dönem Not Ortalaması
13. Ders Geçme Notu

Öğrencinin Yabancı Dil-I dersinin notu Yabancı Dil-II notunun da oluşmasında belirleyici bir unsurdur. Fakat Yabancı Dil-II dersinin notları ile Yabancı Dil-I dersinin notları büyük oranda benzerlik göstermesi nedeniyle oluşturulan modelin olumsuz etkileneyeceği düşünülmüş ve girdi değeri olarak dikkate alınmamıştır. Derse ait geçme notu sistemde harf olarak tutulmuş ve harfler aşağıdaki şekilde sayılara dönüştürülmüştür. Sıfır değeri verinin yokluğunu ifade ettiği için notlar bir değerinden başlatılmıştır.

Tablo 1. Harf Notları ve Sayısal Karşılıkları

Harf Notu	Sayısal Karşılığı
AA	10
BA	9
BB	8
BC	7
CB	6
CC	5
DC	4
DD	3
FD	2
FF	1

Çalışmada ders geçme notlarının sayısal karşılıkları tahmin edilmiştir. Bu nedenle kullanılan veri madenciliği yöntemleri de sayısal veriler üzerinde işlem yapan yöntemlerdir. Kurulan modelin başarısı için ortalama mutlak hata (MAE), korelasyon katsayısı (r) ve hata karelerinin ortalamasının karekökü (RMSE) dikkate alınmıştır. Ortalama mutlak hata için aşağıdaki formül kullanılır.

$$\text{Ortalama mutlak hata} = \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{\theta}_i - \theta_i|}{n}$$

n = örneklem sayısı

θ_i = i sıra numaralı gerçek talep

$\hat{\theta}_i$ = i sıra numaralının tahmin edilen talebi

i = örneklem sırası

Ortalama mutlak hata değeri tahmin edilen veri ile gerçek veri arasındaki farkın mutlak değerlerinin ortalamasıdır. Dolayısıyla bu değer in sıfıra ne kadar yakın olması durumunda tahmin edilen değer in de o kadar doğruya yakınsadığı söylenebilir. Oluşturulan modellerin tümünde eğitim ve test verileri ayrıştırılırken 10-katlı çapraz doğrulama yöntemi seçilmiştir. Bu yöntemde veriler öncelikle 10 ayrı gruba ayrılır ve bir grup test amaçlı kullanılırken geriye kalan diğer dokuz grup da eğitim amaçlı kullanılır. Tüm veriler hem test hem de eğitim amaçlı kullanılması için bu işlem 10 kez tekrarlanır ve gruplar değiştirilir. Veri madenciliği yöntemlerinden Weka programı içerisinde yer alan aşağıdakiler kullanılmış ve tahmin başarıları birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

- Functions
 - GaussianProcess
 - LinearRegression
 - SMOreg
- lazy

- IBk
- KStar
- LWL
- Meta
 - Bagging_DecisionStump
 - Bagging_M5P
 - Bagging_MultiLayerPerception
 - Bagging_RepTree
- Misc
 - InputMappedClassifier
- rules
 - DecisionTable
 - M5Rules
 - ZeroR
- Trees
 - DecisionStump
 - M5P
 - RandomForest
 - RandomTree
 - REPTree

4. Bulgular

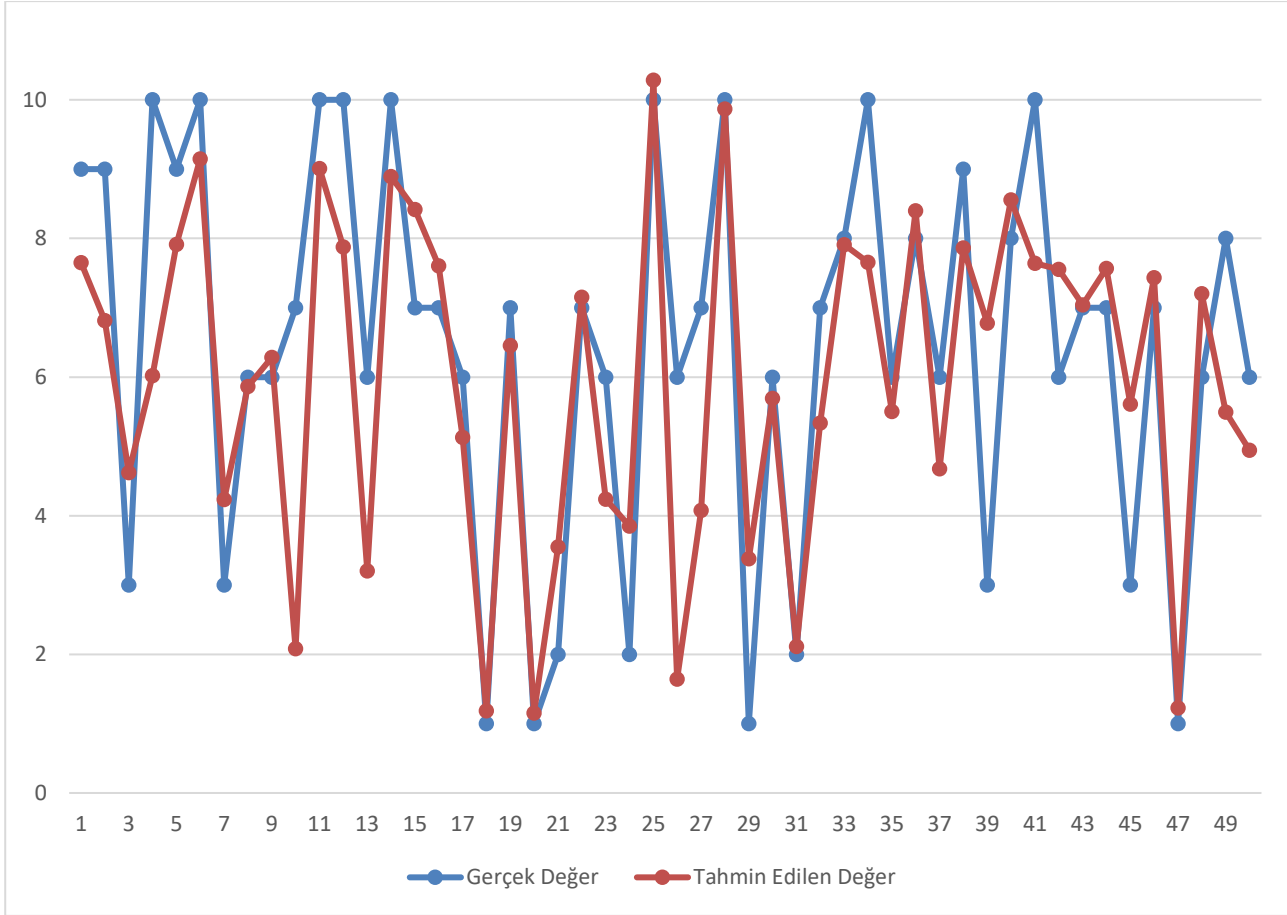
Yabancı Dil-II dersini alan öğrencilerin ders geçme notları birden fazla yöntem ile tahmin edilmiş ve ortalama mutlak hata değerleri, ortalama karesel hatanın karekökü ile korelasyon katsayısı değerleri karşılaştırılmıştır. Aşağıdaki tabloda her bir öğrenme yöntemi ve sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 2. Öğrenme Yöntemi ve Sonuçları

Yöntem Grup Adı	Yöntem Adı	Ortalama Mutlak Hata	Ortalama Karesel Hata Karekökü	Korelasyon Katsayısı
Functions	GaussianProcess	1.3408	1.7463	0.7898
	LinearRegression	1.3453	1.7506	0.7887
	SMOreg	1.3213	1.7666	0.7588
lazy	IBk	1.5756	2.3967	0.6353
	KStar	1.4889	2.0153	0.7102
	LWL	1.6355	2.1971	0.6360
Meta	Bagging (DecisionStump)	1.6990	2.2244	0.6251
	Bagging (M5P)	1.2192	1.6688	0.8102
	Bagging (MultiLayerPerception)	1.7011	2.0989	0.6835
	Bagging (RepTree)	1.3357	1.8222	0.7686
Misc	InputMappedClassifier	2.3480	2.8485	-0.0729
rules	Decision Table	1.2891	1.7578	0.7869
	M5Rules	1.2636	1.7195	0.7972
	ZeroR	2.3480	2.8485	-0.0729
Trees	DecisionStump	1.7037	2.2597	0.6082
	M5P	1.2575	1.7146	0.7985
	RandomForest	1.3813	1.8581	0.7578
	RandomTree	1.6071	2.4369	0.6335
	REPTree	1.4325	1.9841	0.7242

Yukarıdaki Tablo 2 dikkatle incelendiğinde en düşük ortalama mutlak hata değerine sahip modelin Bagging (M5P) yöntemi ile oluşturulduğu görülecektir. DecisionTable, M5P ve M5Rules yöntemleri de bu modele yakın hata değerleri elde etmiştir. Fakat InputMappedClassifier ve ZeroR yöntemleri en yüksek ortalama mutlak hata değerine sahiptir. Ayrıca bu yöntemlerin korelasyon katsayılarına dikkat edilirse negatif bir değerdir.

En iyi tahmin modeli olan Bagging (M5P) için elde edilen tahmin değerleri ve gerçek değerlerin durumunu göstermek için 10 katlı çapraz doğrulamadan birincisi içerisinde ilk 50 adet örnek alınmış ve aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 1. Gerçek Değer ve Tahmin Edilen Değerin Durumu

Yukarıdaki şekil dikkatle incelenirse büyük bir oranda tahmin edilen değerlerin gerçek değerlere yakınsadığı görülecektir. 1-10 arasındaki gerçek değerler için ortalama 1.21 sapma değeri tahminler elde edilmesi modelin başarılı olduğunu göstermektedir.

5. Tartışma ve Sonuç

Çalışma kapsamında 2017-2018 Eğitim-Öğretim yılındaki Yabancı Dil-II dersini alan öğrencilerin ders geçme notu veri madenciliği yöntemleri kullanılarak tahmin edilmiştir. Böylece öğrencinin başarı durumunu önceden öngörerek önlem almasına yardımcı olabileceği düşünülmektedir. Veri madenciliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılan Weka programı aracılığıyla veriler 19 farklı yöntem ile analiz edilmiş ve tahmin başarı oranları karşılaştırılmıştır. Bir ile 10 arasındaki notları yaklaşık 1.21 sapma değeri ile tahminler yapılmıştır. Bu da yaklaşık %12 oranında bir sapmaya karşılık gelmektedir. Buradaki uygulamada en iyi tahmin başarısı Bagging (M5P) ile elde edilmiştir. Alan (2012) ise benzer bir çalışmada başarı notunun sınıflandırılmasını öngörmek için SimpleCART algoritması ile en iyi sonuçları elde etmiştir. Sınıflandırma yöntemleri ile farklı tahmin çalışmaları da vardır (Aydoğan ve Zırhlioğlu, 2018; Akçapınar, Altun ve Aşkar, 2015). Aydemir (2017) de not ortalamasına göre yaptığı tahminlerde SMO algoritması ile mezuniyet yılına göre yaptığı tahminlerde ise J4.8 ve NaiveBayes algoritmaları ile en iyi sonuçları elde etmiştir. Can, Özdil ve Yılmaz (2018) ise öğrencilere uygulanan bir ölçek ile ders başarısını etkileyen unsurları lojistik regresyon yöntemi ile tahmin etmiş ve ders tekrarı sayısı ile yenilikçi uygulamaların etkilediğini belirlemiştir. Kılınç (2015) sınıflandırma algoritmalarından J4.8 ve kNN ile birliktelik algoritmalarından Apriori ve Predictive Apriori kullanarak atılma politikasındaki değişiklik ile öğrencilerin not durumları arasındaki ilişkiyi bulmuştur. Çalışması sonunda eğitim sürelerinin, burs ya da kredi alma durumuna göre değiştiğini ve ayrıca maddi durumları ile annelerinin çalışması arasında bağlantı olduğunu görmüştür. Demir (2015) de öğrencilerin sınavlara yönelik not durumlarını yapay sinir ağları ile tahmin etmeye çalışmış ve 0.63 korelasyon katsayısı elde etmiştir. Fakat buradaki çalışmada ise 0.81 korelasyon katsayısı elde ederek daha iyi tahminler elde edilmiştir. Şengür ve Tekin (2013) ise öğrencilerin mezuniyet notlarını tahmin etmek için yaptıkları çalışmada karar ağaçlarını kullanarak 0.76 korelasyon katsayısı ile tahminler elde ederken, yapay sinir ağları kullanarak korelasyon 0.93 değeri ile tahminler elde etmişlerdir. Bu çalışmada yalnızca birinci ve ikinci sınıf yılsonu not ortalamaları kullanılmıştır. Çalışma yapısı itibarıyla buradaki çalışmadan farklılık göstermesi nedeniyle sonuçların farklı olduğu düşünülmektedir. Çalışma içerisinde

kullanılmayan ve ders başarısına etki eden başka unsurların belirlenmesi ve tekrardan hem buradaki yöntemler ile hem de başka yöntemler ile analizlerin yapılması alana katkı sunması açısından yararlı olacaktır. Ayrıca buradaki çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılması da pozitif ve negatif durumların ortaya çıkarılması açısından önerilmektedir.

Kaynakça

- Akçapınar, G., Altun, A. & Aşkar, P. (2015). Modeling Students' Academic Performance Based on Their Interactions in an Online Learning Environment, *İlköğretim Online*, 14(3), 815-824.
- Akpınar, H. (2000). Veri tabanlarında bilgi keşfi ve veri madenciliği, *İ.Ü. İşletme Fakültesi Dergisi*, 29 (1), 1-22.
- Alan, M. A. (2012). Veri Madenciliği ve Lisansüstü Öğrenci Verileri Üzerine Bir Uygulama. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 33(1), 165-174.
- Altınışik, U. (2006). *Öğrenci bilgi sisteminde veri madenciliğinin uygulanması*, Kocaeli Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aydemir, B. (2017). *Veri Madenciliği Yöntemleri Kullanarak Meslek Yüksekokulu Öğrencilerinin Akademik Başarı Tahmini*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aydemir, E. (2018). *Weka ile Yapay Zekâ*, Seçkin Yayınevi, Ankara.
- Aydoğan, İ. & Zırhhoğlu, G. (2018). Öğrenci Başarılarının Yapay Sinir Ağları ile Kestirilmesi, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 15(1), 577-610.
- Baykal, A. (2006). Veri Madenciliği Uygulama Alanları, *DÜ Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi*, 7 (1), 95-107.
- Beitel, S. E. (2005). *Applying Artificial Intelligence Data Mining Tools to the Challenges of Program Evaluation*, Ph. D. The Sis, University of Connecticut, Connecticut.
- Can, Ş., Özdil, T. & Yılmaz, C. (2018). Üniversite Öğrencilerinin Ders Başarısını Etkileyen Faktörlerin Lojistik Regresyon Analizi İle Tahminlenmesi. *International Review of Economics and Management*, 6 (1), 28-49.
- Demir, M. (2015). Predicting Pre-Service Classroom Teachers' Civil Servant Recruitment Examination's Educational Sciences Test Scores Using Artificial Neural Networks. *Educational Sciences: Theory and Practice*, 15(5), 1169-1177.
- Doğan, A. (2002). *Yapay Zekâ*. İstanbul: Kariyer Yayıncılık.
- Erdoğan, Ş. Z. (2004). *Veri Madenciliği ve Veri Madenciliğinde Kullanılan K-Means Algoritmasının Öğrenci Veri Tabanında Uygulanması*, İstanbul Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Han, J. & Kamber, M. (2006). *Data Mining: Concepts and techniques* (Second edition), San Francisco: Morgan Kaufman
- İnan, O. (2003). *Öğrenci İşleri Veri Tabanı Üzerinde Veri Madenciliği Uygulamaları*, Konya Selçuk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karip, E. (2012). *Ölçme ve Değerlendirme*. Ankara: Pegem Akademi Yayıncılık.
- Kılınç, Ç. (2015). *Üniversite Öğrenci Başarısı Üzerine Etki Eden Faktörlerin Veri Madenciliği Yöntemleri İle İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Luan, J. (2002). *Data Mining and Knowledge Management in Higher Education-Potential Applications*. 42nd Associate of Institutional Research International Conference, Toronto, Canada.
- Oğuzlar, A. (2004). Veri Madenciliğinde Birliktelik Kuralları, *Öneri*, 6 (22), 315-321.
- Sembiring, S., Zarlis, M., Hartama, D., Ramliana, S. & Wani, E. (2011). *Prediction of student academic performance by an application of data mining techniques*. In International Conference on Management and Artificial Intelligence IPEDR, 6 (1), 110-114.
- Shovon, M. H. I. & Haque, M. (2012). Prediction of student academic performance by an application of k-means clustering algorithm. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 2(7), 353-355.
- Siemens, G. & D Baker, R.S.J. (2012). *Learning Analytics and Educational Data Mining: Towards Communication and Collaboration*. 2nd international conference on learning analytics and knowledge, Vancouver, Canada.
- Şengür, D. & Tekin, A. (2013). Öğrencilerin mezuniyet notlarının veri madenciliği metotları ile tahmini. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 6(3), 7-16.
- Turgut, M.F. & Baykul, Y. (2013). *Eğitimde Ölçme ve Değerlendirme*. Ankara: Pegem Akademi.
- Yurtoğlu, H. (2005). *Yapay Sinir Ağları Modellemesi ile Öngörü Modellemesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler için Türkiye Örneği*, Uzmanlık Tezi, DPT, Ankara.



Comparative Study on The Properties of CuInSe₂ and CuGaSe₂ Thin Films

İdris Candan^{1,3*}, Hasan Hüseyin Güllü^{2,3}

¹ Department of Physics, Kocaeli University, 41380, Izmit, Kocaeli, Turkey (ORCID: 0000-0002-9950-713X)

² Department of Electrical and Electronics Engineering, Atılım University, 06836, Ankara, Turkey (ORCID: 0000-0001-8541-5309)

³ The Center for Solar Energy Research and Applications (GUNAM), METU, 06800, Ankara, Turkey

(First received 14 December 2018 and in final form 17 February 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.491331)

REFERENCE: Candan, I. & Gullu, H. H. (2019). Comparative Study on The Properties of CuInSe₂ and CuGaSe₂ Thin Films. *European Journal of Science and Technology*, (15), 77-85.

Abstract

Two edge of Cu(In_{1-x}Ga_x)Se₂ (CIGS) thin film semiconductors for x=0 (CuInSe₂) and x=1 (CuGaSe₂) have been produced onto the soda lime glass substrates at 250 °C by sputtering from Cu, InSe and GaSe targets. The effects of In and Ga ratio and the post-annealing at 350 °C and 400 °C on the properties of CuInSe₂ (CIS) and CuGaSe₂ (CGS) thin film samples have been investigated. The structural properties of the deposited films have been examined by using X-ray diffraction (XRD) and the compositions of samples were analyzed by performing energy dispersive X-ray diffraction analysis (EDXA) techniques. Raman spectra of thin film samples were studied at room temperature to determine the Raman active modes. The most intensive line (A₁ modes) at 178 cm⁻¹ and 185 cm⁻¹ were observed for CIS and CGS thin films annealed at 400 °C, respectively. This is the most active mode detected in the Raman spectra of this type of chalcopyrite structures. For as-grown and annealed CGS thin films at 350 °C, the line 486 cm⁻¹ was observed however intensity of this line decreased with increasing annealing temperature and totally disappeared after annealing at 400 °C. Optic transmission measurements showed that the deposited CIS and CGS thin films have optic band gap values for as grown and annealed (at 400 °C) samples changing from 1.28 eV to 1.45 eV and from 1.68 eV to 1.75 eV respectively. The room temperature electrical conductivities of the samples were measured as 8.6x10⁻³ and 13.6x10⁻² (Ω.cm)⁻¹ for n-type CIS thin film samples; 1.6 and 1.9 (Ω.cm)⁻¹ for p-type CGS thin film samples before and after annealing at 400 °C, respectively.

Keywords: CIS, CGS, Thin films, Sputtering, XRD, Raman Spectroscopy.

CuInSe₂ ve CuGaSe₂ İnce Filmlerin Özellikleri Üzerine Karşılaştırmalı Çalışma

Öz

Cu(In_{1-x}Ga_x)Se₂ (CIGS) yarıiletken ince filmlerin iki kenar noktası olan x=0 (CuInSe₂) ve x=1 (CuGaSe₂) ince filmleri, Cu, InSe ve GaSe hedeflerden saçırma yöntemi ile 250 °C sıcaklıkta soda lime cam alttaşlar üzerine kaplandı. In ve Ga oranı ve üretim sonrası ısıl işlemin CuInSe₂ (CIS) ve CuGaSe₂ (CGS) ince filmlerin özellikleri üzerine etkileri araştırıldı. Üretilmiş filmlerin yapısal özelliklerini

* Corresponding Author: Department of Physics, Kocaeli University, 41380, Izmit, Kocaeli, Turkey, ORCID: 0000-0002-9950-713X, idriscandan@gmail.com

incelemek için X-ışını kırınımı (XRD) ve örneklerin bileşenleri enerji dağılımlı X-ışını kırınımı analizi (EDXA) yöntemi kullanılarak analiz edildi. İnce film örneklerinin Raman aktif modlarının tayini için oda sıcaklığında Raman spektroskopisi ölçümleri yapıldı. 400 °C sıcaklıkta ısıtılmış CIS ve CGS ince film örneklerinin en aktif modları (A_1 modu) en yoğun çizgilerin sırayla 178 cm^{-1} ve 185 cm^{-1} olduğu gözlemlendi. Bu mod kalkopirit yapılarının Raman spektroskopisinde gözlemlenen en güçlü moddur. Isıtılmış ve 350 °C'ta ısıtılmış uygulanmış CGS örneklerinde 486 cm^{-1} çizgisi gözlemlenmiş olmasına rağmen bu çizginin yoğunluğu artan ısıtılmış sıcaklığı ile ters orantılı olarak azaldığı ve 400 °C uygulanan ısıtılmış işlem sonrası tamamen yok olduğu gözlemlenmiştir. Üretilen CIS ve CGS ince filmlerin optik geçirgenlik ölçümleri sonucunda ısıtılmış uygulanmayan filmler ve at 400 °C sıcaklıkta ısıtılmış uygulanan filmler için optik bant aralıklarındaki değişim değerleri CIS için 1.28 eV ile 1.45 eV, CGS için 1.68 eV ile 1.75 eV aralıklarında değiştiği hesaplandı. Numunelerin oda sıcaklığındaki elektriksel iletkenlikleri ısıtılmış öncesi ve 400 °C ısıtılmış işlem sonrasında n-CIS için sırayla 8.6×10^{-3} ve $13.6 \times 10^{-2} (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$, p-CGS için sırayla 1.6 and 1.9 $(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ olarak ölçüldü.

Anahtar Kelimeler: CIS, CGS, İnce Filmler, Saçtırma, XRD, Raman Spektroskopisi.

1. Introduction

Polycrystalline chalcopyrite $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ (CIGS) thin film is one of the appropriate materials for high-efficiency photovoltaic (PV) devices because of desirable band gap for solar cell applications. The recorded laboratory efficiency of CIGS polycrystalline thin film based solar cells has exceeded 22.9 % (K.K. 2015). The structural, optic and electrical properties of CIGS thin film changes with various parameters such as the proportions of $\text{Cu}/(\text{In}+\text{Ga})$ and $\text{Ga}/(\text{In}+\text{Ga})$ or $\text{In}/(\text{In}+\text{Ga})$ and/or film thickness (Zhang et al. 1998; Caballero & Guillen 2003). It was detected that with increasing contribution of Ga, the conduction band minimum increases as a result of enlargement of the band gap of CIGS thin film, while the valence band maximum of it decreases marginally (Chaure et al. 2005). It is possible to adjust the band gap values by scanning $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ compound as a function of x in the range of 0-1 (Fan et al. 1982). The quaternary CIGS compound materials have been grown on various substrates by different methods such as electron beam evaporation (e-beam evaporation) (Venkatachalam et al. 2008; Ramanathan et al. 2005; Li et al. 2011), reactive magnetron sputtering (Gillespie et al. 1997), thermal evaporation (Klenk et al. 2002; F. Smaili et al. 2008), thermal co-evaporation (Niemi et al. 1996; Basol et al. 2000; Kushiya et al. 1995), flash evaporation (Ahmed et al. 1998), pulsed laser deposition (PLD) (Levoska et al. 1994; Matsubara et al. 2003) and physical vapor transport (Bhattacharya et al. 1999). Furthermore, thin layers of CIGS are regarded as the most encouraging material for high-efficiency and low-priced solar cells, due to their stability against photo-erosion and high absorptivity ($>10^5 \text{ cm}^{-1}$) (Chaure et al. 2005). Additionally, The CuInSe_2 (CIS) and CuGaSe_2 (CGS) compounds are of special interest because of their suitability for near infra-red region (NIR), solar cell applications, non-linear optics in IR, sensors, detectors (Shay & Wernick 1975; Chichibu et al. 2004; Botha et al. 2003).

The focus of this research is to examine the changes in the structural, optic and electrical properties of chalcopyrite $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ (CIGS) thin film samples for $x=0$ (CIS) and $x=1$ (CGS), produced by the sputtering method and the effects of the post-heat treatment procedure at different temperatures on the film properties.

2. Experimental Details

CIS and CGS chalcopyrite thin films have been produced onto the chemically cleaned soda-lime glass substrates by the sequential sputtering growth method using the Cu, InSe and GaSe targets. During production, the substrate temperature was kept at 250 oC and Inficon XTM/2 thickness controller was used to follow the thickness of the deposited films. Following to the depositions, Dektak 6M profilometer was used to check the thickness of the samples electromechanically and the values were measured around 500 nm (± 10 nm) for CIS and CGS samples. In order to find out the effects of post annealing process on the deposited samples, the thin films were annealed at the temperature of 350 oC and 400 oC for 30 minutes under the atmosphere of nitrogen. Rigaku Miniflex XRD system equipped with radiation source of $\text{CuK}\alpha$ was used to measure X-ray diffraction (XRD) profiles of produced CIS and CGS samples. The compounds of the deposited film samples were measured by using JSM-6400 Scanning Electron Microscope (SEM) equipped with NORAN 6 X-ray Microanalysis System. The measurements of confocal Raman spectra were performed by Jobin Yvon Horiba confocal Raman and excitation source provided by 532 nm Nd:YAG laser at room temperature. Peltier cooled CCD detector and double monochromator were used to designate Raman shifts. Optic characterizations of the thin films were performed by transmittance measurements using a Shimadzu UV-1201 spectrophotometer in the wavelength region 350-1100 nm. For the electrical measurements, high-purity indium (In) was evaporated to apply the ohmic contacts on the thin films by evaporation technique through the copper masks in cloverleaf geometry. The temperature dependent dark- and photo-conductivity measurements of the deposited thin films were done in a Janis liquid nitrogen cryostat under vacuum and the temperature of samples was followed and controlled by using Lake-Shore 331 temperature controller in between 100 - 400 K.

3. Results and Discussion

3.1. Compositional Analysis

The elemental compositions of deposited CIS and CGS thin films were determined by EDXA measurements taken from different part of the sample surfaces and average values were listed in Table 1. As observed from Table 1, annealing processes resulted in the systematic decrease in Se, increase in Cu, and In (or Ga) compositions for CIS and CGS thin film samples. This can be accepted as the indication of re-evaporation or segregation of Se with the post annealing process (De Blasi et al. 1989).

Table 1. EDXA results of as-grown and annealed CIS and CGS samples.

Sample	Cu (%)	In (%)	Ga (%)	Se (%)
CIS As-grown	20.7	31.4	-	47.9
CIS A 400 °C	23.5	36.8	-	39.7
CGS As-grown	24.7	-	30.6	44.7
CGS A 400 °C	26.7	-	35.6	37.7

3.2. Structural Analysis

Figure 1 (a) and **Figure 1 (b)** show the XRD patterns of CIS and CGS thin film samples, respectively. Both as-grown CIS and CGS thin film samples were observed to have amorphous structure. However, after annealing at 400 °C for CIS and at 350 °C for CGS under nitrogen atmosphere, they showed polycrystalline behavior as observed in **Figure 1 (a)** and **(b)**. XRD diffractograms indicate that the most intense peaks of the deposited CIS and CGS films were around 26.6° and 27.4° respectively and the preferred orientation direction was along (112) plane (Klenk et al. 2002; Chichibu et al. 1998; Steichen et al. 2011). The crystallinity of the thin film samples increased with increasing annealing temperature as seen from the **Figure 1 (a)** and **(b)**. Structural analyses with XRD showed that CIS and CGS films had the tetragonal zinc-blende structure with the lattice constants of a, b : 5.8 Å, c : 11.6 Å and a, b : 5.6 Å, c : 11.2 Å, respectively (Jaffe & Zunger 1983; Fearheiley et al. 1985; Abrahams & Bernstein 1974).

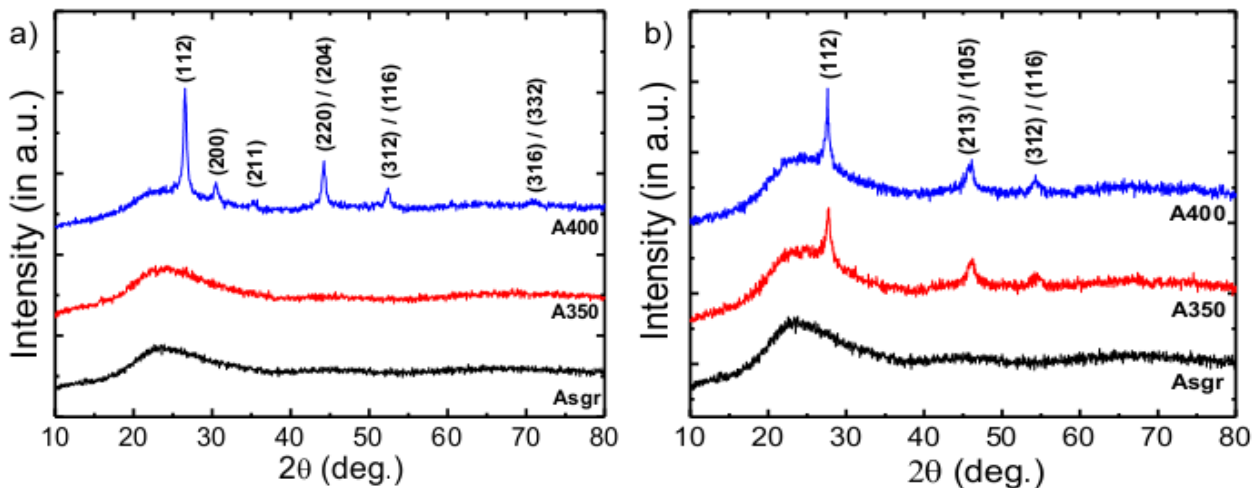


Figure 1. X-ray diffraction patterns of as-grown and annealed (a) CIS and (b) CGS thin films at 350 and 400 °C.

Although the as-grown CIS and CGS samples were observed to have amorphous structure, the switch to the polycrystalline phase from the amorphous took place with annealing. The reason for the switch the amorphous structure to polycrystalline phase might be the production of samples at low temperature, since the impinged atoms prefer to place at constant location because of the nucleation processes during the production and deficient thermal energy for the movement, and the transition to the polycrystalline phase might be triggered by thermal heating process (De Blasi et al. 1989).

On the other hand, the observed peaks at $2\theta \sim 44.1^\circ$ and 45.6° were identified as the main peaks of Cu_{2-x}Se phase along (220)/(204) and (213)/(105) directions. The enhancement of crystallinity was observed with increasing annealing temperature because of the decreasing in structural disarrangement with ascending annealing temperature. In addition, the weakly bounded selenium atoms in the structure were possibly freed and separated to the surface of samples with increasing annealing temperatures (see **Table 1**) (Julien et al. 1990; Thomas & Kutty 1990). The Scherrer's formula was used to calculate the by using the value of main XRD peak's full width half maximum (FWHM) (Langford & Wilson 1978). The values of grain size were detected to be in between 160 and 205 nm for CGS thin films increasing with ascending annealing temperature. The enlargement in the grain size is the confirmation of the advance of the crystallinity with the annealing procedure as detected in X-ray diffraction pattern of CGS thin films. However, the grain size of the CIS thin film annealed at 400°C was calculated as 206 nm since below this annealing temperature it showed amorphous behavior as observed from XRD patterns.

3.3. Raman Analysis

The crystal structure of chalcopyrite CIGS is related to the space group, $\bar{1}42d$, i.e. to the point group D_{2d}^{12} (Choi 2011; Roy et al. 2002). In the naturel vibration for group D_{2d} , the primitive cell's oscillations containing acoustic modes and optic modes are split as follows;

$$\Gamma_\alpha = A_1 + 2A_2 + 3B_1 + 4B_2 + 7E \quad (1)$$

The number of Raman active modes $A_1 + 2A_2 + 3B_1 + 3B_2 + 6E$ is 19 and the symmetry of acoustic modes is B_2+E (Rincón & Ramírez 1992). The tetragonal ternary (I-III-VI₂) composition can be imagined as two permeate face centered cubic (fcc) lattice, the initial anion lattice takes place group VI atoms and the other being an ordered draw up group I and group III cations. Accordingly, super lattice structure cuts down the cubic zinc blende (sphalerite) symmetry to that of a tetragonal chalcopyrite structure ($A_{\text{I}} B_{\text{III}} C_{\text{IV}}$) (Albin et al. 1988). Two structural differences are in existence between the chalcopyrite and sphalerite structures. These differences are;

- The tetragonal deformation (c/a ratio) is not equivalent to 2.0.
- The group VI atoms displacement of from their ideal value of $u=25$, here u being the tetrahedral deformation (Roy et al. 2002).

In this work, Raman spectra of samples were performed at room temperature to find out the active modes of Raman in CIS and CGS the thin film samples.

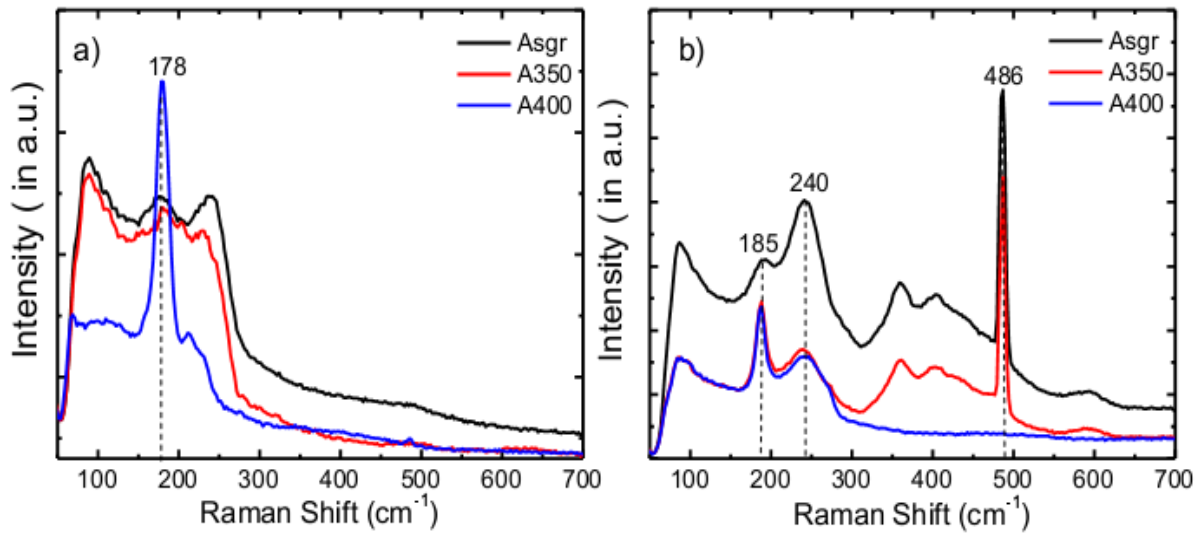


Figure 2. Raman spectra of as-grown and annealed (a) CIS and (b) CGS samples at 350 and 400 °C.

Figure 2 (a) and **Figure 2 (b)** show the Raman spectra of CIS and CGS thin films recorded at room temperature, respectively. For 400 °C annealed CIS thin films, the most concentrated line at 178 cm^{-1} might be allocated to the A_1 mode, that is the most powerful

mode, detected in the Raman spectra of chalcopyrite structure (Tanino et al. 1992). Moreover, as-grown and annealed CGS thin film sample at 350 °C has the most intensive line at 486 cm⁻¹. **Figure 2 (b)** exhibits that the intensity of peak at 486 cm⁻¹ decreases with annealing and disappears. After annealing at 400 °C, CGS sample has a strong peak at 185 cm⁻¹. This peak is the powerful line of A1 mode that might be the result of the separation of Se atom in the structure (De Blasi et al. 1989). The existence of the phase of Cu_{2-x}Se at 240 cm⁻¹ was observed in as-deposited and annealed CGS films at 350 °C. However, this phase totally disappeared after annealing at 400 °C. Apparently, the heat treatment has the significant effect on the crystallinity and the component of the deposited films. The results of Raman spectra were coherent with the results of XRD as shown in the previous part.

3.4. Optical Analysis

In order to find out the optic properties of the thin film samples, transmittance measurements were performed at room temperature in the wavelength value of 350-1100 nm and absorption coefficient was computed by using the equation;

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln \left(\frac{I_0}{I} \right) \quad (2)$$

here d being the film thickness, I being the transmitted light intensity, and I₀ being the incident light vertical to the sample surface. After computing the absorption coefficient in the analyzed spectral domain, Tauc plot (Tauc 1974) was used to compute the optic band gap, E_g, values in accordance with the following relation;

$$(\alpha h\nu) = A(h\nu - E_g)^n \quad (3)$$

here A being a constant and n being the power exponent that varies with regard to the types of transition, as for direct transition n = 1/2, and for indirect transition n = 2 (Pankove 1971). One may decide the type of direct or indirect transition by plotting (αhν)^{1/n} versus hν. In order to obtain the E_g values of CIS and CGS thin film samples, (αhν)² versus hν were plotted due to CIS and CGS thin films have direct optic transition (Jaffe & Zunger 1983). **Figure 3 (a)** and **Figure 3 (b)** illustrate the typical plot of transmission versus wavelength for CIS and CGS thin film samples, respectively.

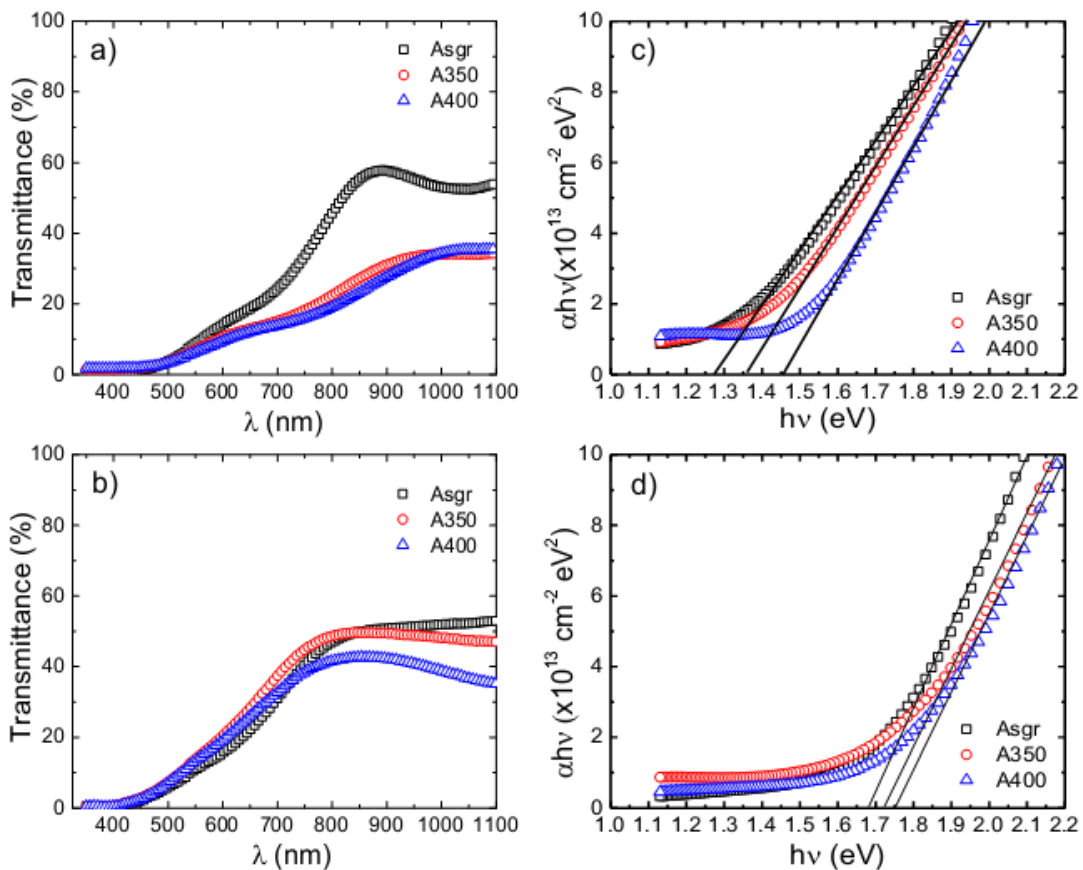


Figure 3. Transmission spectra for as-grown and annealed (a) CIS and (b) CGS thin films at 350 and 400 °C. The variation of (αhν)² as a function of incident photon energy for as-grown and annealed (c) CIS and (d) CGS thin films at 350 and 400 °C.
e-ISSN: 2148-2683

As shown in **Figure 3 (a)**, there is significant change in transmission with the annealing temperature. Transmittance value significantly increases following the annealing at 400 °C for CIS thin film sample. On the other hand, there is not significant change in transmission values of CGS thin film sample. **Figure 3 (c)** and **Figure 3 (d)** show the plot of $(\alpha hv)^2$ versus (hv) for the as-grown and annealed CIS and CGS thin film samples at 350 and 400 °C, respectively. The band gap values were calculated from the linear regression of the least squares fit to the plot of $(\alpha hv)^2$ versus (hv) on the energy axis (hv) and were tabulated in **Table 2** for the as-grown and annealed CIS and CGS thin films.

Table 2. The calculated band gap values for the as-grown and annealed CIS and CGS thin films at 350 and 400 °C.

Sample	E_g (eV)		
	As-grown	A 350 °C	A 400 °C
CIS	1.28	1.36	1.45
CGS	1.68	1.72	1.75

As seen from **Table 2**, the band gap values are lying in between 1.28 eV and 1.45 eV for as grown and annealed CIS thin films and between 1.68 eV and 1.75 eV for as-deposited and annealed CGS thin films. There is a considerable enlargement in the band gap values of CIS samples during the conversion from amorphous phase to polycrystalline phase occurs with annealing between 350 and 400 °C. The optic band gap value of CIS firstly increases from 1.28 to 1.34 eV with annealing at 350 °C, and then demonstrates a similar step up to 1.45 eV with annealing at 400 °C. The same kind of increasing behavior was also observed in CGS samples. Such as, initially, the band gap energy was 1.68 eV for as-grown sample, and then it increased slightly from 1.72 to 1.75 eV with increasing annealing temperature from 350 °C to 400 °C. In the amorphous form of CIS samples, the density of defects and the degree of disorder are more prominent than in polycrystalline phase (Mott & Davis 1971). Generally, the defect density and the decrease in disorder in the structure lead to a raise in the optic band gap energy. Additionally, other possible reason for observing enhance in band gap with increasing annealing temperature might be the impregnation of suspended bonds in the amorphous structure (Mott & Davis 1971). Therefore, the behavior of shifting of band gap to the higher energy edge found while the phase alteration from amorphous to crystalline phase may also be associated with CIS and CGS thin films crystallization. C. Julien et al. (Julien et al. 1990) and B. Thomas et al. (Thomas & Kutty 1990) informed a similar event for InSe thin films. The increase in optic band gap value with increasing annealing temperature was assigned to the loss of Se at high temperatures along with the creation of different phases (De Blasi et al. 1989; Thomas & Kutty 1990; Julien et al. 1990). The optic absorption coefficient was computed from the transmission data (**Figure 3 (a)** and **(b)**) and the room temperature absorption coefficient values for all samples were found to be about $10^5 - 10^6 \text{ cm}^{-1}$ for the incident light in the range of 350-1100 nm (Kazmerski et al. 1983).

3.5. Electrical Analysis

The hot probe measurements indicated that CIS films have n-type and CGS thin films have p-type electrical conductivity (Chichibu et al. 2004; Neumann et al. 1978). The temperature dependent conductivity measurements for as-deposited and annealed CIS and CGS samples at 400 °C were performed in between 100-400 K. In order to eliminate the finite contact effects, a Cu-mask in the geometry of van der Pauw was used to deposit the thin film samples. I-V measurements were measured for the films to check the ohmicity of In contacts before the electrical measurements.

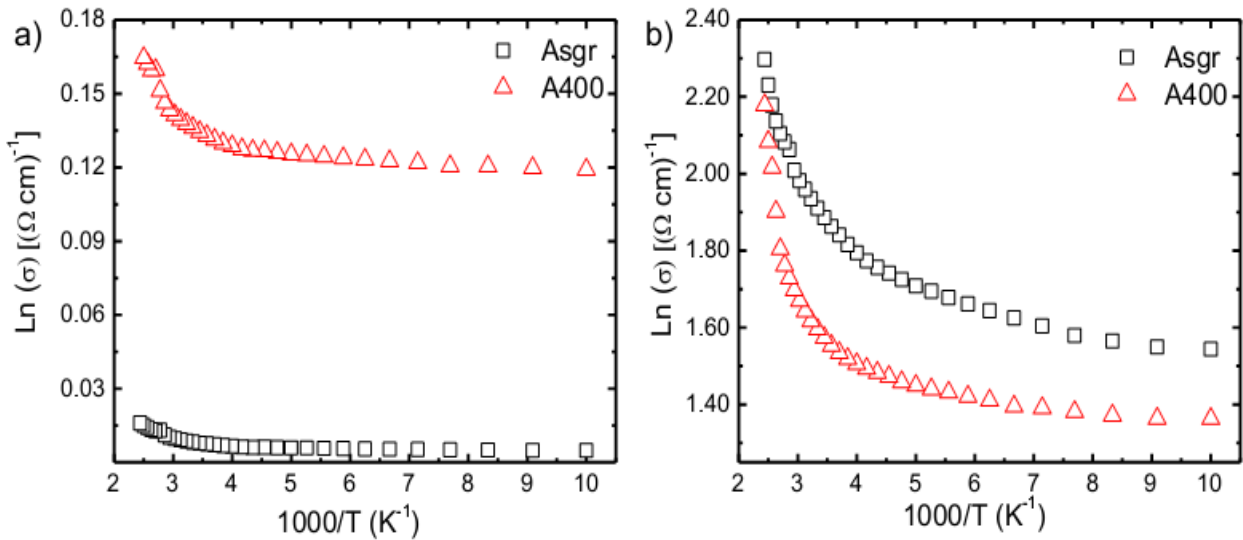


Figure 4. Deviation of conductivity with reverse temperature for as-grown and annealed (a) CIS and (b) CGS thin films at 400 °C.

As shown in **Figure 4 (a)** and **Figure 4 (b)**, the room temperature electrical conductivity values of both CIS and CGS films increase systematically with increasing annealing temperature. The room temperature conductivity values were 8.6×10^{-3} and 13.6×10^{-2} $(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ for CIS films; 1.6 and $1.9 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ for CGS films before and after post-annealing process, respectively. The variation of conductivity with the absolute temperature in between 100-400 K, for both CIS and CGS thin film samples does not show any sharp behavior. The reason for this type of electrical conductivity-temperature variation could be related to the metal rich composition of the films consistent with the results obtained from the compositional analysis which showed that the samples had Se-deficient and Cu_2In (or Ga)-rich compositions.

4. Conclusions

Thin films of $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ (CIGS) with $x=0$ (CIS) and $x=1$ (CGS), were deposited by sputtering onto glass substrates and the structural, optic, electrical properties of the deposited films were investigated as a function of the post annealing temperatures. The compositional analyses showed that Se content of the samples decreases with increasing annealing temperature and Se-deficient and Cu, In (or Ga)-rich thin film structures were detected. XRD measurements indicated that as-grown CIS and CGS thin films had an amorphous structure and the conversion from the amorphous to the polycrystalline phase was seen following the annealing at 350 °C and 400 °C with the preferred crystalline orientation in the direction of (112) plane for both structures. The grain sizes of all samples were increased with annealing. The room temperature Raman measurements of the samples indicated that the main Raman peaks were at 178 cm^{-1} and 185 cm^{-1} for CIS and CGS, respectively. In as-grown and annealed CGS films at 350 °C, the peak at 240 cm^{-1} because of the vibration mode of Cu_{2-x}Se phase was observed and disappeared after annealing at 400 °C. The band gap values were found as 1.28 eV for as-grown and 1.45 eV for annealed CIS; and 1.68 eV for as-grown and 1.75 eV for annealed CGS thin film samples. The optic and electrical properties of the samples showed different behavior depending on the advancement in the crystallinity and modification of the films structure. Electrical measurements indicated that the room temperature electrical conductivity values of both n-CIS and p-CGS films increase systematically with increasing annealing temperatures.

Acknowledgements

We would like to acknowledge the collaboration of this research with Middle East Technical University (METU) via The Center for Solar Energy Research and Application (GUNAM). We would like to acknowledge Prof. Dr. Çiğdem Erçelebi, Prof. Dr. Mehmet Parlak and Dr. Özge Bayraklı for the invaluable discussion during this research.

References

- Abrahams, S.C. & Bernstein, J.L., 1974. Piezoelectric nonlinear optic CuGaSe₂ and CdGeAs₂: Crystal structure, chalcopyrite microhardness, and sublattice distortion. *The Journal of Chemical Physics*, 61(3), pp.1140–1146.
- Ahmed, E. et al., 1998. Significance of substrate temperature on the properties of flash evaporated CuIn_{0.75}Ga_{0.25}Se₂ thin films. *Thin Solid Films*, 335(1–2), pp.54–58.
- Albin, D. et al., 1988. Composition-structure relationships for multisource evaporated CuGaSe₂ thin films. *Journal of Applied Physics*, 64(10), pp.4903–4908.
- Basol, B.M. et al., 2000. Studies on sulfur diffusion into Cu(In,Ga)Se₂ thin films. *Progress in Photovoltaics*, 8(2), pp.227–235.
- Bhattacharya, R.N. et al., 1999. Thin-film CuIn_{1-x}Ga_xSe₂ photovoltaic cells from solution-based precursor layers. *Applied Physics Letters*, 75(10), pp.1431–1433.
- De Blasi, C. et al., 1989. Optical absorption and structure of thermally annealed gallium selenide thin films. *Journal of Applied Physics*, 65(3), pp.1164–1167.
- Botha, J.R., Branch, M.S. & Weber, J., 2003. Steady state and time-resolved photoluminescence characterisation of copper gallium disulphide. *Thin Solid Films*, 431–432(03), pp.210–213.
- Caballero, R. & Guillen, C., 2003. Optical and electrical properties of CuIn_{1-x}Ga_xSe₂ thin films obtained by selenization of sequentially evaporated metallic layers. *Thin Solid Films*, 431(03), pp.200–204.
- Chaure, N.B. et al., 2005. Electrodeposition of p⁺, p, i, n and n⁺-type copper indium gallium diselenide for development of multilayer thin film solar cells. *Thin Solid Films*, 472(1–2), pp.212–216.
- Chichibu, S. et al., 1998. Band gap energies of bulk, thin-film, and epitaxial layers of CuInSe₂ and CuGaSe₂ band gap energies of bulk, thin-film, and epitaxial layers of. *Journal of Applied Physics*, 83(7), p.3678.
- Chichibu, S.F. et al., 2004. Greenish-white electroluminescence from p-type CuGaS₂ heterojunction diodes using n-type ZnO as an electron injector. *Applied Physics Letters*, 85(19), p.4403.
- Choi, I.H., 2011. Raman spectroscopy of CuIn_{1-x}Ga_xSe₂ for in-situ monitoring of the composition ratio. *Thin Solid Films*, 519, pp.4390–4393.
- F. Smaïli, Kanzari, M. & Rezig, B., 2008. Characterization of CuIn_{1-x}Al_xS₂ thin films prepared by thermal evaporation. *Materials Science and Engineering C*, 28(5–6), pp.954–958.
- Fan, J.C.C., Tsaur, B.Y. & Palm, B.J., 1982. Optimal design of high-efficiency tandem cells. In 16th Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA (IEEE, New York). pp. 692–701.
- Fearheiley, M.L. et al., 1985. The lattice constants of CuInSe₂. *Journal of Electronic Materials*, 14(6), pp.677–678.
- Gillespie, T.J., Miles, A. & del Cueto, J.A., 1997. Reactive magnetron sputtering of transparent and conductive zinc oxide films deposited at high rates onto CIS/CIGS photovoltaic devices. In 26th PVSC, Anaheim, CA. pp. 3–6.
- Jaffe, J. & Zunger, A., 1983. Electronic structure of the ternary chalcopyrite semiconductors CuAlS₂, CuGaS₂, CuInS₂, CuAlSe₂, CuGaSe₂, and CuInSe₂. *Physical Review B*, 28(10), pp.5822–5847.
- Julien, C., Benramdane, N. & Guesdon, J.P., 1990. Transformation steps of structure in flash-deposited films of a-InSe. *Semiconductor Science and Technology*, 5, pp.905–910.
- Kazmerski, L.L. et al., 1983. Optical properties and grain boundary effects in CuInSe₂ Optical properties and grain boundary effects in CuInSe₂. *Journal of Vacuum Science & Technology A*, 1(2), p.395.
- Klenk, M. et al., 2002. Preparation of device quality chalcopyrite thin films by thermal evaporation of compound materials. *Semiconductor Science and Technology*, 17(5), pp.435–439.
- Kushiya, K. et al., 1995. Development of High-Efficiency CuIn_xGa_{1-x}Se₂ Thin-Film Solar Cells by Selenization with Elemental Se Vapor in Vacuum. ”. *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 34, pp. 54-60, 1995, 34, pp.54–60.
- Langford, J.I. & Wilson, A.J.C., 1978. Scherrer after sixty years: A survey and some new results in the determination of crystallite size. *Journal of Applied Crystallography*, 11(2), pp.102–113.
- Levoska, J. et al., 1994. Pulsed laser ablation deposition of CuInSe₂ and CuIn_{1-x}Ga_xSe₂ thin films. *Physica Scripta*, T54, pp.244–247.
- Li, Z.H., Cho, E.S. & Kwon, S.J., 2011. Properties of the Cu(In,Ga)Se₂ absorbers deposited by electron-beam evaporation method for solar cells. *Current Applied Physics*, 11(1), pp.28–33.

- Matsubara, K. et al., 2003. ZnO transparent conducting films deposited by pulsed laser deposition for solar cell applications. *Thin Solid Films*, 431–432(03), pp.369–372.
- Mott, N.F. & Davis, E.A., 1971. *Electronic Processes in Non-Crystalline Materials*, Oxford University Press, London.
- Neumann, H. et al., 1978. Electrical properties of n-type CuInSe₂ single crystals. *Solid State Communications*, 25, pp.899–902.
- Niemi, E. et al., 1996. Small- and large-area CIGS modules by co-evaporation. In *Conference Record of the Twenty Fifth IEEE Photovoltaic Specialists Conference - 1996*. IEEE, pp. 801–804.
- Pankove, J.I., 1971. *Optical Processes in Semiconductors*, Dover Publications Inc., New York.
- Ramanathan, K. et al., 2005. Properties of high-efficiency CuInGaSe₂ thin film solar cells. *Thin Solid Films*, 480–481, pp.499–502.
- Rincón, C. & Ramírez, F.J., 1992. Lattice vibrations of CuInSe₂ and CuGaSe₂ by Raman microspectrometry. *Journal of Applied Physics*, 72(9), pp.4321–4324.
- Roy, S. et al., 2002. Characterization of Cu (In, Ga)Se₂ films by Raman scattering. *Materials Chemistry and Physics*, 73, pp.24–30.
- Satoshi Yoshida, 2017. Solar Frontier Achieves World Record Thin-Film Solar Cell Efficiency of 22.9%. *Online*, pp.2–3. Available at: <http://www.solar-frontier.com/eng/news/2015/C051171.html>.
- Shay, J.L. & Wernick, J.H., 1975. *Ternary chalcopyrite semiconductors*, Pergamon, Oxford.
- Steichen, M., Thomassey, M. & Dale, P.J., 2011. Controlled electrodeposition of Cu – Ga from a deep eutectic solvent for low cost fabrication of CuGaSe₂ thin film solar cells. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 13, pp.4292–4302.
- Tanino, H. et al., 1992. Raman spectra of CuInSe₂. *Physical Review B*, 45(23), pp.13323–13330.
- Thomas, B. & Kutty, T.R.N., 1990. Formation of Single-Phase Indium Selenide Thin Films by Elemental Evaporation. *Physica Status Solidi (a)*, 119(1), pp.127–138.
- Touc, J., 1974. *Amorphous and Liquid Semiconductors*, Springer, New York.
- Venkatachalam, M. et al., 2008. Effect of annealing on the structural properties of electron beam deposited CIGS thin films. *Thin Solid Films*, 516(20), pp.6848–6852.
- Zhang, S.B. et al., 1998. Defect physics of the CuInSe₂ chalcopyrite semiconductor. *Physical Review B*, 57(16), pp.9642–9656.

[0000-0001-8541-5309](http://dx.doi.org/10.1515/ejst-2015-0001)



Farklı Bitki Ekstraktlarıyla Kaplamanın Kaşar Peynirlerinin Mikrobiyolojik ve Duyusal Kaliteleri Üzerine Etkileri

Oktay Tomar^{1*}, Gökhan Akarca²

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5761-7157)

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5055-2722)

(İlk Geliş Tarihi 26 Aralık 2018 ve Kabul Tarihi 16 Şubat 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.502693)

ATIF/REFERENCE: Tomar, O. & Akarca, G. (2019). Farklı Bitki Ekstraktlarıyla Kaplamanın Kaşar Peynirlerinin Mikrobiyolojik ve Duyusal Kaliteleri Üzerine Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 86-95.

Öz

Bu çalışmada beş farklı baharatın etanol ekstraktları keçiboynuzu çekirdeğinden elde edilen gamla kaplanmış kaşar peynirleri 28 gün boyunca depolanmış ve bu süre boyunca örneklerin mikrobiyolojik ve duyusal değerlerindeki değişimleri incelenmiştir. Depolama süresi sonunda tüm örneklerin mikroorganizma sayıları artış göstermiştir ($P<0.05$). Farklı bitki ekstraktları ilavesi ile kaplanan örneklerin toplam aerobik mezofil bakteri ve psikrofilik bakteri sayılarının, kontrol numunesine kıyasla, ortalama 1 log, maya küf sayılarının ise, ortalama 3.5 log daha düşük olduğu tespit edilmiştir ($P<0.05$). Depolama sonunda en düşük toplam aerobik mezofilik bakteri (4.98 log kob/g), psikrofilik bakteri (2.81 log kob/g) ve maya küf sayısının (4.59 log kob/g) tarçın ekstraktı içeren gamla kaplanmış kaşar peynir numunelerinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca depolama süresi boyunca örneklerimizin hiç birisinde toplam koliform grup ve *Staphylococcus aureus* türü bakteri gelişimi tespit edilmemiştir. Yapılan duyusal analiz sonuçlarına göre kontrol numunesi hariç tüm örneklerin genel beğeni puanları, ilk 15 gün süresince artış göstermesine karşın, depolama sonunda azalmıştır ($P<0.05$). 28 günlük depolama süresi sonucunda en fazla beğenilen örnekler 6.80 genel beğeni puanı ile biberiye ekstraktı ile kaplanan peynir numuneleri olmuştur ($P<0.05$).

Anahtar Kelimeler: Kaşar, Bitki ekstraktı, Mikrobiyolojik kalite, Biberiye, Tarçın.

The Effects of Coating with Different Plant Extracts on Microbiological and Sensory Attributes of Fresh Kashar Cheese

Abstract

In this study, the kashar cheeses coated with the locust bean gum that contained ethanol extracts of five different plants. The changes in microbiological and sensory attributes of the samples were examined during the 28 days storage periods. Microorganism numbers of all samples increased at the end of storage period ($P < 0.05$). The total number of aerobic mesophilic bacteria and psychrophilic bacteria in the coated with plant extracts samples were found to be 1 log and the number of yeast molds was 3.5 log lower than the control sample (P

* Sorumlu Yazar: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5761-7157, oktomar@aku.edu.tr

<0.05). At the end of storage, it was determined that the lowest total aerobic mesophilic bacteria (4.98 log cfu / g), psychrophilic bacteria (2.81 log cfu / g) and yeast mold count (4.59 log cfu / g) were in the coated cheese samples produced with cinnamon extract. In addition, total coliform group and *Staphylococcus aureus* bacterial growth were not detected in any of our samples during storage period. According to the results of sensory analysis, the overall acceptability scores of all samples except the control sample increased during the first 15 days but decreased at the end of storage (P <0.05). As a result of 28 days of storage period, the most admired samples were cheese samples coated with rosemary extract with an overall rating of 6.80 (P <0.05).

Keywords: Kashar, Plant extract, Microbiological quality, Rosemary, Cinnamon.

1. Giriş

Kaşar; Türkiye’de en çok tüketilen üç peynir çeşidinden birisidir (Çakır & Çakmakçı, 2018). Benzer peynirler Balkan ülkelerinde de Kaskaval adıyla bol miktarlarda üretilmektedir (Öksüz ve ark, 2001). Peynir, telemesi ısıtıldığında esnek yapı kazanan ve gerildiğinde uzayan bir yapıya sahip olan ısıl işlem görmüş /pasta filata ailesine mensuptur. Bu özellikleri nedeniyle de Caciocavalle, Provalon, Mozzarella ve Kashkaval ile aynı grupta sınıflandırılır (Çelik ve ark, 2018). Geleneksel üretim prosesi, maya ilavesi ve mayalanma, pıhtı oluşumu, fermentasyon, tuzlu suda (en az 72 °C derecede) pişirme ve yoğurma, kalıplama ve olgunlaştırma aşamalarından oluşur (Hayaloğlu, 2009).

Türkiye’de kaşar peyniri taze ve olgunlaştırılmış olarak iki farklı şekilde üretilmektedir (Öksüztepe ve ark, 2009). Bu iki kaşar arasındaki en önemli fark süte uygulanan ısıl işlemlerde ve olgunlaştırma sürelerindedir. Olgunlaştırılmış kaşar peyniri, hammadde olarak çiğ sütün kullanılabilmesi, üretiminde geleneksel yöntemlerin (makine yerine insan gücü ile üretim) kullanılması ve en az 120 gün süre ile olgunlaştırıldıktan sonra satışa sunulmasına karşın, taze kaşar peyniri ise; pastörize inek sütünden üretilen ve olgunlaştırılmadan ya da çok kısa (1- 2 gün) bir olgunlaştırma işleminden sonra satışa sunulmasıdır (Anonim, 2015).

Taze olarak tüketilen kaşar peynirlerindeki en büyük problemlerden birisi, peynirin ambalajı açıldıktan çok kısa süre sonra yüzeyde meydana gelen küf gelişmesidir. Taze kaşar peynirinin su aktivitesi küf gelişmesi için ideal sınırlar içerisinde olduğundan ve kaşar üretiminde küf gelişimini engelleyici katkı kullanımının yasak olması nedeniyle üretilen kaşarların büyük bir kısmı küfler tarafından tüketilemez hale getirilmektedir.

20 yüzyılın sonlarından itibaren baharatların gıdalarda kullanım amaçları dışındaki etkileri üzerinde yapılan çalışmalar önem kazanmıştır. Bu amaçla yapılan pek çok araştırma sonucunda baharatların pek çoğunun antibakteriyel, antifungal ve antiviral etkiye sahip oldukları ortaya konulmuştur (Grădinaru ve ark, 2018; Vijayan & Mazumder, 2018; İbrahim ve ark, 2017; Boyraz & Ozcan, 2005).

Adaçayı (*Salvia officinalis* L.) *Labiatae* / *Lamiaceae* familyasına ait bitkidir. Bugün bütün Dünya çapında yetişmesine karşın orijini Orta Doğu ve Akdeniz bölgelerine özgüdür (Garcia ve ark, 2016). Adaçayı Esansiyel yağının bileşiminde başlıca; borneol, kafur, karyofilen, sineol, elemen, humulen, leden, pinen ve thujon yer almaktadır (Hayouni ve ark, 2008). Biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) ise, *Laminaceae* familyasına aittir. Dünyanın birçok yerinde, bu bitki gıda, içecek ve kozmetik sanayisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Mohamed ve ark, 2016). Bitkinin bilinen farmakolojik etkilerinin, bileşiminde bulunan rosmarinik asit, karnosik asit ve karnosol gibi fenolik bileşenlerden geldiği belirtilmektedir (Mara ve ark, 2014). Aynı Biberiye gibi kekik’de (*Tymus vulgaris* L.) *Laminaceae* familyasına ait bir bitkidir. Esansiyel yağının başlıca bileşenleri, Thymol (%48,9) ve p-cymene (%19,0) den oluşmaktadır (Sokovic ve ark, 2009). Tarçın ise, (*Cinnamomum zeylanicum* L.) insanlık tarihinin bilinen en eski baharatlarından birisi olup, *Lauraceae* familyasına aittir. Ana vatanı Güney Asya olan bitkinin majör bileşenleri; sinemaldehit (%61) ve eugenol (%30)’dur (Cabello ve ark, 2009; Kahraman ve ark, 2014). *Zingiberaceae* familyasının bir üyesi olan Zencefil ise; bugün Afrika ve diğer tropik bölgelerde de yetişmesine karşın anavatanı Asya olan bir bitkidir (Singletary, 2010). Zencefil, kalın köklere sahip, dik gövdeli, çok yıllık bir bitkidir. Esansiyel yağında başlıca monoterpene ve seskiterpenoidlerden oluşan 50’den fazla bileşen tanımlanmıştır (Arablou & Aryaeian, 2014).

Bu çalışmada; beş farklı baharatın (Adaçayı, Biberiye, Kekik, Tarçın ve Zencefil) etanol ekstraktları keçiyoynuzu çekirdeğinden elde edilen gama ilavesiyle edilen karışımla kaplandıktan sonra depolanan taze kaşar peynirlerinin mikrobiyolojik ve duyu kalitelerindeki değişiminin incelenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

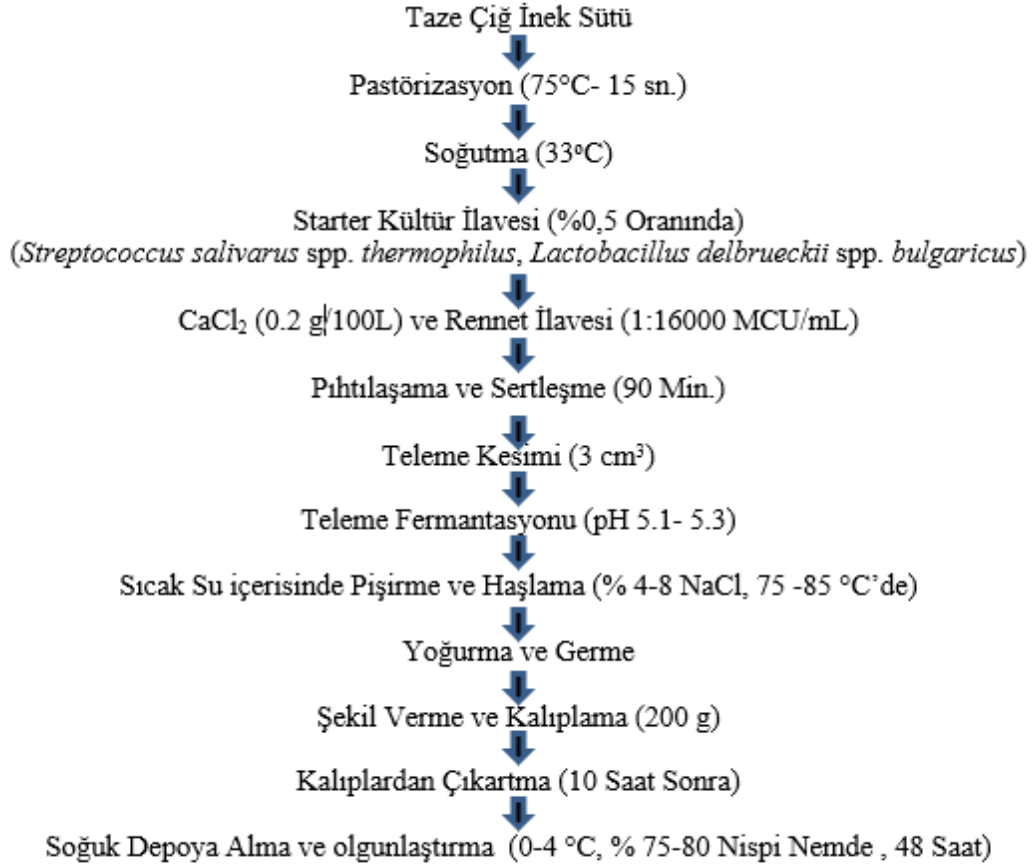
Kaşar peynirlerinin üretiminde holstein cinsi ineklerin sütleri (Kuru madde %12.24, Protein %3.06, Yağ % 3,32 ve pH 6.26) kullanılmıştır. Sütler Afyonkarahisar ilinde faaliyet gösteren bir süt üreticisinden sağlanarak, soğuk zincir altında Afyonkarahisar ilinde bulunan bir süt fabrikasına getirilmiştir. Peynirlerin üretimi yine aynı fabrikada Çakmakçı’nın (2011) belirttiği proses aşamaları modifiye edilerek (Şekil 1.) gerçekleştirilmiştir.

2.2. Kaplama Materyali

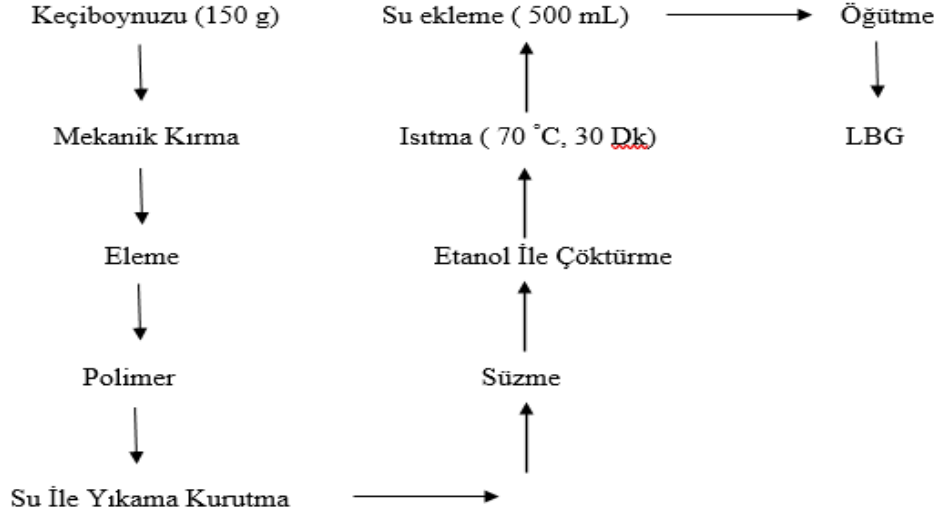
Kaşar peynirlerinin kaplanmasında Adaçayı, Kekik, Biberiye, Tarçın ve Zencefil baharatlarının etanol ekstraktları kullanılmıştır.

2.3. Ekstraktların Hazırlanması

Araştırma da kullanılan baharatlar, Afyonkarahisar ilinde faaliyet gösteren yerel bir marketten temin edildi. Her bir baharat öğütücü değirmen yardımı ile toz haline getirildi. Toz haline getirilen baharatlardan 100'er gram tartılarak, üzerlerine 400 ml %80'lik etil alkol ilave edildi. Ardından 24 saat boyunca shaker (WiseShake® SHO-2D) kullanılarak 120 rpm de karıştırıldı. Süre sonunda karışım sterilize 22 mm filtre kağıdından süzülerek, rotary evaporatöre (Heidolph Hei-VAP value) alınarak 100 rpm devirde ve 60 °C sıcaklıkta alkol ve ekstrak kısmı birbirinden ayrıldı. Bu işlem çalışmada kullanacağımız kaşarları kaplamaya yetecek kadar ekstrak elde edilene kadar devam edildi.



Şekil 1. Kaşar Peynir Üretiminin Akış Diyagramı



Şekil 2. Locus Bean Gum (LBG) Eldesi

2.4. Keçiboynuzu Gammın Elde Edilmesi

Kaplama malzemesi olarak keçiboynuzu çekirdeklerinden elde edilen gam (Locust Bean Gum) (LBG) kullanıldı. LBG Aydın ve Tutas (2000)'in belirttiği metot kullanılarak elde edildi (Şekil 2).

2.5. Polimer Kaplama Malzemesinin Hazırlanması ve Kaşar Peynirlerinin Kaplanması

Karışımda kullanılacak kaplama malzemesinin hazırlanmasında uygulanacak formül, Durupınar (2015)'in belirttiği metotun modifiye edilmesi ile belirlendi. Bu amaçla 1000 mL'lik bir beher içerisinde 2,55g LBG tartılarak üzerine 150 mL saf su ilave edilerek manyetik karıştırıcı ısıtıcı yardımı ile 70 °C' ye kadar ısıtıldı. Ardından plastikleştirici olarak kullanılan sorbitolden 0,020 g eklendi. Denemede kullanılacak LBG ve sorbitol miktarları daha önce yapılan ön denemeler sonucunda belirlendi. Karışım 30 dakika süresince karıştırıldıktan sonra homojenizatör yardımıyla 13000 rpm devirde yaklaşık 5 dk süre karıştırılarak homojen hale getirildi. Ardından çözelti içerisinde bulunması muhtemel hava kabarcıklarının uzaklaştırılması maçı ile 60 dakika süre ile orbital karıştırıcıda karıştırıldı. Karışımın içerisinde bulunması muhtemel hava kabarcıklarının uzaklaştırılması sağlandı. İşlem sonunda hazır hale gelen karışım içerisinde miktarı elde edilen bitki ekstraktlarından ayrı ayrı %15 oranında ilave edilerek homojenizatör yardımıyla iyice karıştırıldı.

Ardından taze kaşar peynirleri elde edilen bu karışım içerisinde daldırılarak 10 dk süre ile bekletildi. Süre sonunda kaşarlar kaplama malzemesi içerisinde çıkartılarak süzülme ve 4 °C de, % 75-85 nispi neme sahip soğuk odalarda aerobik koşullarda 28 gün süre ile depolandı.

2.6. Mikrobiyolojik Analizler

Mikrobiyolojik analizler depolamanın 0, 7, 15, 21 ve 28. Günlerinde yapıldı. Bu amaçla öncelikle, aseptik koşullarda 10 g kaşar numunesi alındı. 90 ml steriliz ringer çözeltisi ilave edilerek (1:9 w/v) stomacher'de (Lab-Blender 400, London, UK) 3 dakika süre ile homojenize edildi. Steriliz edilen bu karışımdan 1 ml alınarak içerisinde 9 ml sterile ringer çözeltisi bulunan tüp içerisinde ilave edildi ve vortex yardımı ile (IKA MS3, Germany) karıştırıldı. Bu sayede 10⁻² lik dilüsyon hazırlandı. İşleme aynı şekilde devam edilerek seri 10⁻⁶ 'ya kadar seri dilüsyonlar hazırlandı (Anonim, 2001).

2.6.1. Toplam Aerobik Mezofilik Bakteri (TAMB) Sayısı

Dilüsyonların her birinden, çift paralel olacak şekilde, steril pipet yardımı ile 0.1 ml alınarak Plate Count Agara (Merck 1.05463) ekim yapıldı ve örneğin steril drigalski spatülü yardımı ile besiyerinin yüzeyine homojen bir şekilde yayılması sağlandı. Örneğin besiyeri tarafından emilmesi beklendikten sonra (15 dk.) petri kutuları aerobik koşullarda 37 °C de 24-48 saat süre ile inkubasyona bırakıldı. İnkubasyon süresi sonunda oluşan kolonilerden 30-300 arasındaki sayıda olanlar sayılarak toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı hesaplandı (ISO, 2013a;b).

2.6.2. Psikrofilik Bakteri Sayısı

Hazırlanan her bir dilusyondan, steril pipet yardımı ile çiftler paralel olacak şekilde 0.1 ml alınarak Plate Count Agara (Merck 1.05463) ekim yapıldı. Besiyeri tarafından örnek emildikten sonra petri kutuları aerobik koşullarda 4 °C de 5 - 7 gün süre ile inkubasyona bırakıldı. İnkubasyon süresi sonunda oluşan kolnilerden 30-300 arasındaki sayıda olanlar sayılarak toplam maya küf sayısı hesaplandı (FAO,1992).

2.6.3. Toplam Koliform Grup Bakteri (TKGB) Sayısı

Kaşar örneklerinden hazırlanan dilüsyonlardan 0,1 ml alınarak Violet Bile Agara (VRB) (Merck 1.01406) ekim yapıldı. Ardından steril drigalski spatülü yardımı ile örnek besiyeri yüzeyine homojen bir şekilde yayıldı. Besiyerinin örneği emmesinin ardından, daha önceden hazırlanmış 30 - 35 °C'deki VRB agardan birkez daha (10 ml) petri kutularına döküldü. Besiyerinin katılaşmasının ardından petri kutuları 30 °C de 24-48 saat süre ile inkubasyona bırakıldı. İnkubasyon süresi sonunda oluşan kolnilerden 30-300 arasındaki sayıda olanlar sayılarak toplam koliform grup bakteri sayısı hesaplandı (ISO, 1991).

2.6.4. Maya ve Küf Sayısı

Hazırlanan seri dilüsyonların her birinden (çift paralel) 0,1 ml steril pipet yardımı ile alınarak Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol Agara (DRBC) (Merck 1.00466) ekim yapıldı. Ardından örnek steril drigalski spatülü yardımı ile besiyerinin yüzeyine homojen bir şekilde yayıldı ve besiyerleri aerobik koşullarda 25 °C de 5-7 gün süre ile inkubasyona bırakıldı. İnkubasyon süresi sonunda oluşan kolnilerden 30-300 arasındaki sayıda olanlar sayılarak toplam maya küf sayısı hesaplandı (ISO, 2008).

2.6.5. Staphylococcus aureus Türü Bakteri Sayısı

Staphylococcus aureus türü bakteri sayısı analizinde hazırlana tüm dilüsyonlardan çift paralel olacak şekilde 0,1 ml steril bir pipet ile alınarak Baird Parker Agara (Merck 1.05406) ekim yapıldı. Steril bir drigalski spatülü yardımı ile örnek besiyeri yüzeyine homojen bir şekilde yayıldıktan sonra 15 Dk. Süre ile örneğin besiyeri tarafından emilmesi için beklendi. Ardından petri kutuları 37 °C de 24-48 saat süre ile inkubasyona bırakıldı. İnkubasyon süresi sonunda oluşan kolnilerden 30-300 arasındaki sayıda olanlar sayılarak toplam koliform grup bakteri sayısı hesaplandı (ISO, 1999).

2.7. Duyusal Analizler

Kaşar peynirlerinin duyuşsal değerlendirilmesi, depolamanın 0., 15. ve 28.günlerinde olacak şekilde 3 ayrı zaman diliminde gerçekleştirildi. Kaşar numunelerinin duyuşsal değerlendirilmesi, Akarca ve ark, (2016), belirtilen duyuşsal test parametreleri modifiye edilerek oluşturulan puan kartları kullanılmış, farklılıklar bir skala üzerinde puanlama sistemi ile belirlenmiştir. Duyusal analizler, Afyon Kocatepe Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümünden yirmi eğitimli panelist tarafından gerçekleştirildi. Örnekler; görünüş, renk, yapı, tat ve koku ile genel beğeni kriterlerince, hedonik skala ile 1-9 arasında değerlendirildi: 1-3(kabul edilemez), 4-5 (kabul edilebilir), 6-7 (iyi), 8-9 (ok iyi) (Önoğur & Elmacı,2012; Anonim, 2012).

2.8. İstatistiksel Analizler

Deney dizaynı, altı numune (Kontrol, adaçayı, biberiye, kekik, tarçın ve zencefil), 5 depolama zamanı (0., 7., 15., 21., 28. günler) ve iki tekrar olacak şekilde uygulandı. Verilerin istatistiksel analizi, SPSS programının 17.0.1 versiyonunun varyans analizi kullanılarak yapılmıştır (Anonim, 2008). Anlamlı bir değere sahip ortalama değerler, Duncan'ın çoklu rangle testleri ile karşılaştırıldı.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Toplam Aerobik Mezofilik Bakteri (TAMB) Sayısı

Depolama başlangıcında en düşük TAMB sayısına 4.08 log kob/g ile kaplama materyaline adaçayı ilave edilen, en yüksek sayıya ise; 4.45 log kob/g ile kekik ilavesi ile kaplanan kaşar örneği olduğu belirlenmiştir. Buna karşın depolamanın sonuncu gününde en düşük TAMB sayısına 4.98 log kob/g ile LBG içerisine tarçın ekstraktı ilave edilerek kaplana örnek olduğu, en yüksek sayısının ise yine kontrol örneği olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1.).

Tablo 1. Kaşar Örneklerinin Depolama Süresinceki Toplam Aerobik Mezofilik Bakteri Sayıları (log kob/g)

	Kontrol	Adaçayı	Biberiye	Kekik	Tarçın	Zencefil
0.Gün	4.36 ^{Ac}	4.08 ^{Ad}	4.11 ^{Ac}	4.45 ^{Ac}	4.13 ^{Ad}	4.27 ^{Ac}
7.Gün	5.12 ^{Ab}	4.82 ^{ABc}	4.48 ^{Bbc}	4.65 ^{ABbc}	4.36 ^{Bc}	4.51 ^{ABbc}
15.Gün	6.19 ^{Aab}	5.08 ^{BCb}	4.89 ^{BCb}	5.16 ^{Bb}	4.67 ^{Cb}	5.23 ^{Bc}
21.Gün	6.68 ^{Aa}	5.48 ^{Bab}	5.33 ^{BCa}	5.43 ^{Bab}	4.75 ^{Cb}	5.68 ^{ABb}
28.Gün	6.81 ^{Aa}	5.77 ^{Ba}	5.41 ^{CBa}	5.69 ^{Ba}	4.98 ^{Ca}	6.03 ^{ABa}

A - C (→) : Aynı satırdaki farklı harflere sahip değerler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklılık göstermektedir (p<0.05).

a - d (↓) : Aynı sütunda farklı harflere sahip değerler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklılık göstermektedir (p<0.05).

Kaplama materyal içerisine farklı baharatların ilavesinin kaşar örneklerinde TAMB sayısının artışı engelleyici, özellikle tarçın ve biberiyenin bu artışı en fazla engelleyen baharatlar olduğu belirlenmiştir.

3.2. Psikrofilik Bakteri Sayısı

Farklı baharat etanol ekstraktlarının LGB içerisine ilavesi ile edilen kaplama malzemesi ile kaplı kaşar peyniri örneklerinin 28 günlük depolama süresi boyunca psikrofilik bakterilerinin sayıları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Depolama süresi boyunca tüm örneklerin psikrofilik bakteri sayıları artış göstermesine karşın en az artışın tarçın ekstratı ilave edilerek depolanan kaşar peyniri örneklerinde olduğu belirlenmiştir. Depolama süresi sonunda en fazla psikrofilik bakteri sayısı 3.93 log kob/g ile kontrol örneğinde, en düşük psikrofilik bakteri sayısı ise 2.81 log kob/g ile tarçın ilavesi ile kaplı kaşar peyniri örneklerinde olduğu tespit edilmiştir.

Wang ve ark, (2018) tarçın esansiyel yağlarının *Porphyromonas gingivalis* üzerinde antibakteriyel etkiye sahip olduğunu ve bu etkinin tarçın esansiyel yağının bileşiminde başlıca bulunan sinemaldehit’den kaynaklandığını bildirmişlerdir. Benzer şekilde Ünlü ve ark, (2010) tarçın esansiyel yağının 21 farklı bakteri üzerindeki antimikrobiyal etkisini araştırdıkları çalışmalarında tarçının araştırmada kullanılan tüm bakteriler üzerinde kuvvetli bir antibakteriyel etki gösterdiğini b tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Araştırmacılar antibakteriyel etkinin tarçının ana bileşen olan sinemaldehitten kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Tablo 2. Kaşar Örneklerinin Depolama Süresinceki Psikrofilik Bakteri Sayıları (log kob/g)

	Kontrol	Adaçayı	Biberiye	Kekik	Tarçın	Zencefil
0.Gün	2.08 ^{Ad}	<2 ^{Ad}	<2 ^{Bc}	<2 ^{Ac}	<2 ^{ABc}	<2 ^{Ac}
7.Gün	2.84 ^{Ac}	2.16 ^{Bc}	<2 ^{ABc}	2.24 ^{Bb}	<2 ^{Cc}	2.44 ^{ABbc}
15.Gün	3.36 ^{Ab}	2.48 ^{Cb}	2.53 ^{BCb}	2.71 ^{Bb}	2.12 ^{Db}	2.62 ^{Bb}
21.Gün	3.71 ^{Aab}	2.79 ^{Bab}	2.87 ^{Bab}	3.04 ^{ABab}	2.58 ^{Cab}	2.99 ^{Bb}
28.Gün	3.93 ^{Aa}	3.13 ^{Ba}	3.04 ^{Ba}	3.36 ^{ABa}	2.81 ^{Ca}	3.41 ^{ABa}

A - C (→) : Aynı satırdaki farklı harflere sahip değerler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklılık göstermektedir (p<0.05).

a - d (↓) : Aynı sütunda farklı harflere sahip değerler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklılık göstermektedir (p<0.05).

3.3. Maya ve Küf Sayısı

Farklı bitki ekstraktları ilave edilerek kaplı ve 28 gün süre ile depolanan kaşar örneklerine ait maya küf sayıları Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Kaşar Örneklerin Depolama Süresinceki Maya/Küf Sayıları (log kob/g)

	Kontrol	Adaçayı	Biberiye	Kekik	Tarçın	Zencefil
0.Gün	3.31 ^{Ad}	3.42 ^{Ad}	3.36 ^{Ad}	3.58 ^{Ac}	3.28 ^{Ac}	3.54 ^{Ad}
7.Gün	4.46 ^{Ac}	3.68 ^{CBc}	3.85 ^{Bcd}	4.28 ^{ABd}	3.55 ^{Cbc}	4.32 ^{ABcd}
15.Gün	5.52 ^{Abc}	4.12 ^{CDb}	4.46 ^{Cc}	5.14 ^{ABc}	3.88 ^{Db}	4.96 ^{Bc}
21.Gün	7.31 ^{Ab}	4.65 ^{Bab}	5.73 ^{Cb}	6.68 ^{ABb}	4.02 ^{BCab}	6.07 ^{Bb}
28.Gün	9.86 ^{Aa}	5.45 ^{Ca}	6.62 ^{CBa}	7.72 ^{Ba}	4.59 ^{Da}	7.22 ^{Ba}

A - D (→) : Aynı satırdaki farklı harflere sahip değerler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklılık göstermektedir (p<0.05).

a - e (↓) : Aynı sütunda farklı harflere sahip değerler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklılık göstermektedir (p<0.05).

Depolama başlangıcında örneklerin maya küf sayılarının birbirlerine yakın olduğu (3.42 log kob/g) belirlenmiştir. Depolamanın 7. gününden itibaren örneklerin maya küf sayılarında artış olduğu ve depolama süresince bu artışın devam ettiği tespit edilmiştir (P<0.05). Bitki ekstraktları ile kaplanan tüm örneklerin maya küf sayılarının depolama süresi boyunca kontrol örneğine kıyasla daha düşük olduğu yapılan analizler sonucunda ortaya konulmuştur. Depolamanın 28. gününde en fazla maya küf sayısına sahip örneğin 9.86 log kob/g (P<0.05) ile kontrol örneği, en düşük maya küf sayısına ise; 4.59 log kob/g (P<0.05) ile tarçın ekstraktı ile kaplanan kaşar örneği olduğu bunu 5.45 log kob/g ile adaçayı ekstraktı ile kaplanan kaşar numunesinin izlediği tespit edilmiştir. Rajkovic ve ark. (2015) yaptıkları araştırmada tarçın esansiyel yağlarının *Aspergillus flavus* üzerinde antifungal etki gösterdiklerini bildirmişlerdir. Benzer şekilde Cömöri ve ark, (2013) çalışmalarında da Tarçın ve Adaçayı esansiyel yağlarının *Aspergillus parasiticus* var. *globosus*, *Fusarium graminearum* ve *Fusarium culmorum* türü küfler üzerinde antifungal etkisi olduğunu bildirmişlerdir.

Örneklerimizin hiç birisinde depolama süresi boyunca toplam koliform grubu ve *Staphylococcus aureus* türü bakteri gelişimi gözlenmemiştir.

3.4. Duyusal Değerlendirme

Beş farklı baharat ekstraktı ile kaplanarak depolanan kaşar örneklerinin duyusal analiz sonuçları Tablo 4'de gösterilmiştir. Depolamanın başlangıcında kontrol numunesi 7.75 ile en yüksek görünüş puanına sahip olan örnek olmasına karşın örneğin derecelendirmesi depolama süresi boyunca azalarak 28. Günde 5.50'ye düşmüştür (P<0.05). Kontrol örneğinin ardından en yüksek ikinci görünüş puanı 6.90 ile adaçayı ekstraktı ile kaplanan kaşar numunesine ait olup, bu örneği 6.85 ile biberiye ve 6.80 ile kekik ekstraktları ile kaplanan örnekler izlemiştir. Her üç örneğinde görünüş puanları depolama süresince azalmasına karşın kontrol örneğine kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. (P<0.05).

Kontrol örneğinin renk puanlarının diğer örneklere kıyasla, depolamanın başlangıcında daha yüksek olduğu (7.90) belirlenmiştir. Depolama süresi boyunca renk değerleri de görünüş değerlerine benzer şekilde azalma göstermiştir (P<0.05). Depolama başlangıcında en düşük renk puanına 6.05 ile tarçın ekstraktı ile kaplanan örneğin sahip olduğu tespit edilmiştir. Kontrol numunesi hariç beş farklı ekstrakt ile kaplanan örneklerin renk puanları, depolamanın 15. gününde artış göstermesine karşın (P<0.05) depolamanın son gününde azalmıştır. Buna karşın kontrol numunesine kıyasla hepsinin puanı daha yüksektir (P<0.05).

Yapı puanları depolamanın başlangıcında tüm numunelerde birbirine yakın değerlerde tespit edilmiş olup (P>0.05) tüm numunelere depolamanın ilk 15 günü artış göstermesine karşın sonraki günlerde düşüş göstermiştir (P<0.05). 28. Depolama gününde en düşük yapı puanı 5.85 ile kontrol numunesine aitken, en yüksek yapı puanının 6.55 ile biberiye ekstraktı ile kaplanan örnekler olduğu yapılan değerlendirmeler sonucu ortaya konulmuştur.

Kaşar örneklerinin tat ve koku puanları kontrol numunesi hariç depolamanın ilk 15 günü artış göstermesine karşın son gününde azalmıştır (P<0.05). Depolama sonunda en yüksek tat ve koku puanına sahip örneğin; 6.80 ile biberiye ekstraktı kaplı kaşar numunesi olduğu belirlenmiştir. Buna karşın kontrol numunesinin tat ve koku puanları ise; depolama süresinde azalış göstermiştir (P<0.05). Depolamanın 28. gününde bu numunenin tat ve koku puanı 5.80 olarak tespit edilmiştir.

Genel beğeni puanları (kontrol numunesi hariç) depolama süresinin ilk 15 günü boyunca az da olsa artış göstermesine karşın, depolama süresi sonucunda düşüş göstermiştir (P<0.05). Genel değerlendirme puanlarına göre, 28 günlük depolama süresince en fazla beğenilen numunenin biberiye ekstraktı ile kaplanan kaşar numunesi olduğu, bunu adaçayı ekstraktı ile kaplanan kaşar numunesinin izlediği belirlenmiştir (P<0.05).

Tablo 4. Kaşar Örneklerinin Duyusal Analiz Sonuçları

	Örnek	0.Gün	15.Gün	28.Gün
Görünüş	Kontrol	7.75 ^{aA}	6.75 ^{aB}	5.50 ^{bcC}
	Adaçayı	6.90 ^{bA}	6.80 ^{aA}	6.70 ^{aA}
	Biberiye	6.85 ^{bA}	6.55 ^{bA}	6.50 ^{abA}
	Kekik	6.80 ^{bA}	6.35 ^{bcAB}	6.05 ^{bbB}
	Tarçın	6.05 ^{cA}	5.60 ^{cB}	5.55 ^{bcB}
	Zencefil	6.00 ^{cA}	5.75 ^{cAB}	5.40 ^{cB}
Renk	Kontrol	7.90 ^{aA}	7.15 ^{bB}	6.05 ^{cC}
	Adaçayı	7.25 ^{bAB}	7.40 ^{aA}	7.10 ^{abB}
	Biberiye	7.35 ^{bB}	7.55 ^{aA}	7.25 ^{aB}
	Kekik	7.30 ^{bAB}	7.45 ^{aA}	7.10 ^{abB}
	Tarçın	6.60 ^{cAB}	6.80 ^{cA}	6.40 ^{bB}
	Zencefil	7.25 ^{bB}	7.65 ^{aA}	7.35 ^{aB}
Yapı	Kontrol	7.65 ^{aA}	7.75 ^{aA}	5.85 ^{bB}
	Adaçayı	7.70 ^{aA}	7.75 ^{aA}	6.40 ^{aB}
	Biberiye	7.75 ^{aA}	7.95 ^{aA}	6.55 ^{aB}
	Kekik	7.50 ^{aA}	7.90 ^{aA}	6.45 ^{aB}
	Tarçın	7.65 ^{aA}	7.75 ^{aA}	6.30 ^{abB}
	Zencefil	7.70 ^{aA}	7.85 ^{aA}	6.40 ^{bB}
Tat ve Koku	Kontrol	7.75 ^{aB}	7.00 ^{bBC}	6.55 ^{cC}
	Adaçayı	7.65 ^{bB}	7.85 ^{aB}	7.55 ^{bB}
	Biberiye	8.15 ^{abA}	8.40 ^{aA}	7.80 ^{bA}
	Kekik	7.85 ^{ab}	8.05 ^{aA}	7.40 ^{bB}
	Tarçın	7.75 ^{aB}	7.60 ^{aB}	6.55 ^{bcC}
	Zencefil	6.65 ^{aC}	6.80 ^{aC}	6.05 ^{bD}
Genel Beğeni	Kontrol	7.75 ^{aA}	7.20 ^{bAB}	5.80 ^{cC}
	Adaçayı	7.30 ^{aAB}	7.30 ^{aA}	6.75 ^{bA}
	Biberiye	7.30 ^{aAB}	7.35 ^{aA}	6.80 ^{bA}
	Kekik	7.20 ^{aAB}	7.25 ^{aAB}	6.55 ^{bAB}
	Tarçın	6.75 ^{aC}	6.75 ^{aC}	6.10 ^{bB}
	Zencefil	7.00 ^{aB}	7.10 ^{aB}	6.40 ^{bAB}

A - D (→) : Aynı satırdaki farklı harflere sahip değerler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklılık göstermektedir (p<0.05).

a - c (↓) : Aynı sütunda farklı harflere sahip değerler istatistiksel olarak önemli ölçüde farklılık göstermektedir (p<0.05).

Beş farklı baharat ekstraktının LBG içerisine ilavesiyle elde edilen karışım ile kaplanarak depolanan kaşar numunelerinin tamamının toplam aerobik mezofilik, psikrofilik bakteri ve maya/küf sayıları kontrol numunesine kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Tarçın ekstratı ile kaplanan örnekler duyuşal değerlendirme sonucunda çok fazla beğenilmemesine karşın en düşük mikroorganizma sayısına sahip örnekler olmuştur.

Tarçının gösterdiği bu kuvvetli antimikrobiyal aktivitenin nedeninin bileşiminde bulunan sinemaldehitten kaynaklandığı belirtilmesine karşın (Ownagh ve ark., 2010) bileşiminde, terpenoidler, esterler, aldehitler, ketonlar, asitler ve alkoller dahil olmak üzere birçok farklı uçucu bileşikten oluştuğu için, antibakteriyel ve antifungal aktiviteyi tek bir bileşik veya bileşik sınıflarıyla ilişkilendirmek oldukça zor olduğu (Ramos ve ark., 2013) bundan dolayı birçok bileşimin sinerjik etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4. Sonuç

Taze kaşar peyniri içerdiği yüksek su aktivitesi değeri (Ortalama: 0.980) nedeniyle ambalajı açıldıktan sonra çok kısa bir raf ömrüne sahiptir. Özellikle küflenme, bu tür peynirlerde en sık rastlanılan problemdir. Bunu önlemek için üretici firmalar potasyum sorbat gibi kimyasal ve natamisin gibi mikrobiyal kaynaklı antifungalları peynire ilave etmekte ya da bu maddelerden oluşan çözeltiler ile kaplamaktadır. Bu katkıların bir kısmının kullanımı yasak olmasına karşın, bir kısmı da ciddi sağlık endişeleri taşımaktadır.

Bu tür katkı maddelerinin kullanımı yerine, taze kaşar peynirinde en önemli sorun olan küflenmenin engellenmesi adına, bitkisel ekstraktlar kullanılabileceği bu çalışma ile ortaya konulmuştur. Konu ile ilgili yapılacak yeni ve detaylı çalışmalar ile, başta süt ürünleri olmak üzere pek çok gıda teknolojisi alanında kullanılan kimyasal ve mikrobiyolojik katkıların yerine daha sağlıklı bitkisel kaynaklı katkıların kullanımına sağlanacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

- Akarca, G., Çağlar, A., & Tomar, O. (2016). The effects spicing on quality of mozzarella cheese. *Mljekarstvo*, 66(2), 112-121. <http://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2016.0203>
- Anonim. (2001). Turkish Standards Institute. TS 6235 EN ISO 6887-1 Microbiology of food and animal feed general rules of the initial suspension and decimal dilutions of test samples preparation.
- Anonim. (2008). SPSS 17.00 for Windows SPSS Inc. Chicago IL, USA.
- Anonim. (2012). Gıda Teknolojisi. Duyusal Kontrolleri Yapma. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı. Ankara, Turkey
- Anonim. (2015). Turkish food codex, Vol. 2015/6. Republic of Turkey ministry of agriculture and forestry Ankara, Turkey.
- Arablou, T. & Aryaeian, N. (2014). The effect of ginger on glycemia and lipid profile. *Razi J. Med. Sci*, 21(125), 94-103.
- Aydinli, M. & Tutas, M. (2000). Water sorption and water vapour permeability properties of polysaccharide (Locust Bean Gum) based edible films. *LWT-Food Science and Technology*, 33(1), 63-67.
- Boyraz, N. & Özcan, M. (2005). Antifungal effect of some spice hydrosols. *Fitoterapia*, 76(7-8), 661-665.
- Cabello, C. M., Bair III, W. B., Lamore, S. D., Ley, S., Bause, A. S., Azimian, S., ve ark. (2009). The cinnamon-derived Michael acceptor cinnamic aldehyde impairs melanoma cell proliferation, invasiveness, and tumor growth. *Free Radic. Biol. Med*, 15(46), 220-231.
- Celik, O. F., Kurt, S., Tufenk, B., & Tarakci, Z. (2018). Efficacy of starter culture application using immersion technique on the characteristics of cooked-curd cheeses: Kashar cheese sample. *LWT-Food Sci Technol*, 96, 222-227. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.031>
- Cömöri, C., Nacsa-Farkas, E., Kerekes, E.B., Kocsu, S., Vágvölgyi, C. & Krisch, J. (2013). Evaluation of five essential oils for the control of foodspoilage and mycotoxin producing fungi. *Acta Biologica Szegediensis*, 57(2), 113-116.
- Çakır, Y. & Çakmakçı, S. (2018). Some microbiological, physicochemical and ripening properties of Erzincan Tulum cheese produced with added black cumin (*Nigella sativa* L.), *J Food Sci Technol*, 55(4), 1435–1443. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3058-5>
- Çakmakçı, S. (2011). Türkiye peynirleri. Ali Adnan Hayaloğlu & Barbaros Özer (Eds.), *Peynir Biliminin Temelleri* (s.585-614). İzmir: Sidas Medya Ltd. Şti.
- Durupınar, Ü. (2015). Keçiboynuzu çekirdeği bazlı kaplamaların lokumun raf ömrünü uzatmada uygulanması. (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon-Türkiye.
- FAO. (1992). Manual of food quality control. "Microbiological Analysis". Food and Agricultural Organization of the United Nations Rome, 1992; 4. Rev. 1, 43-56.
- Garcia, C. S. C., Menti, C., Lambert, A. P. F., Moura, S., Calloni, C., Branco, C.S., ve ark. (2016). Pharmacological perspectives from Brazilian *Salvia officinalis* (Lamiaceae): antioxidant, and antitumor in mammalian cells. *An Acad Bras Ci^enc*, 88,281-292. <http://doi.org/10.3390/antiox5040038>
- Grădinaru, A. C., Trifan, A., Şpac, A., Brebu, M., Miron, A., & Aprotosoae, A. C. (2018). Antibacterial activity of traditional spices against lower respiratory tract pathogens: combinatorial effects of *Trachyspermum ammi* essential oil with conventional antibiotics. *Letters in applied microbiology*, 67(5), 449-457. <http://doi.org/10.1111/lam.13069>.
- Hayaloglu, A. A. (2009). Volatile composition and proteolysis in traditionally produced mature Kashar cheese. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(7), 1388-1394.
- Hayouni, E. A., Chraief, I., Abedrabba, M., Bouix, M., Leveau, J., Mohammed, ve ark. (2008). Tunisian *Salvia officinalis* L. and *Schinus molle* L. essential oils: their chemical compositions and their preservative effects against *Salmonella* inoculated in minced beef meat. *Int J Food Microbiol*, 125, 242-251. <http://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.04.005>
- Ibrahim, F., Asghar, M. A., Iqbal, J., Ahmed, A. & Khan, A. B. (2017). Inhibitory effects of natural spices extracts on *Aspergillus* growth and aflatoxin synthesis. *Australian Journal of Crop Science*, 11(12),1553-1558. <http://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.12.pne709>
- ISO. (1991). International Standard Organization. 4832 General Guidance for the Enumeration of Coliforms Colony Count Technique. Geneva, Switzerland.
- ISO. (1999). International Standard Organization. 6888-1 Horizontal Method for the Enumeration of Coagulase- positive Staphylococci Technique using Baird Parker Agar Medium. Geneva, Switzerland.

- ISO. (2013a). International Standard Organization. 4833-2:2013 Horizontal method for the enumeration of microorganisms -- Part 2: Colony count at 30 degrees C by the surface plating technique. Geneva, Switzerland.
- ISO. (2013b). International Standard Organization. 4833-1:2013 Microbiology of the food chain -- Horizontal method for the enumeration of microorganisms -- Part 1: Colony count at 30 degrees C by the pour plate technique. Geneva, Switzerland.
- ISO. (2008). 21527-1:2008 Microbiology of food and animal feeding stuffs -- Horizontal method for the enumeration of yeasts and moulds. Part 1: Colony count technique in products with water activity greater than 0,95.
- Kahraman, A., Akarca, G., & Tomar, O. (2014). Change of the shelf life of pasteurized milk which added in various amounts of cinnamon. *AKU J. Sci. Eng.*, 15, 1-9.
- Mara, A., Oliveira, D., & Machado, I. D. (2014). Aqueous extract of *Rosmarinus officinalis* L. Inhibits neutrophil influx and cytokine secretion. *Phyther Res. August*, (133), 125-133.
- Mohamed, W. A. M., Abd-Elhakim, Y. M., & Farouk, S. M. (2016). Protective effects of ethanolic extract of rosemary against lead-induced hepato-renal damage in rabbits. *Exp Toxicol Pathol*, 68(8), 451- 461. <https://doi.org/10.1016/j.etp.2016.07.003>
- Ownagh, A., Hasani, A., Mardani, K., & Ebrahimzadeh, S. (2010). Antifungal effects of thyme, agastache and satureja essential oils on *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus* and *Fusarium solani*. *Veterinary Research Forum*, 1, 99-105.
- Öksüz, Ö., Kurultay, S., & Simsek, O. (2001). The effect of *Brevibacterium linens* on some physico-chemical properties and colour intensity of Kashar cheese. *Milchwissenschaft*, 56(2), 82-85.
- Öksüztepe, G., Patır, B., Dikici, A., & İlhak, O. İ. (2009). Elazığ'da tüketime sunulan vakum paketli taze kaşar peynirlerinin mikrobiyolojik ve kimyasal kalitesi. *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Veteriner Dergisi*, 23(2), 89-94.
- Önoğur, A. T., & Elmacı, Y. (2012). *Gıdalarda Duyusal Değerlendirme*. İzmir: Sıdaş Yayıncılık.
- Rajkovic, K., Pekmezovic, M., Barac, A., Nikodinovic-Runic, J., & Arsenijevi, V.A (2015). Inhibitory effect of thyme and cinnamon essential oils on *Aspergillus flavus*: Optimization and activity prediction model development. *Industrial Crops and Products*, 65, 7-13. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.039>
- Ramos, M., Beltran, A., Valdes, A., Peltzer, M., Jimenez, A., Garrigos, M. ve ark. (2013). Active packaging for fresh food based on the release of carvacrol and thymol. *Chemistry & Chemical Technology*, 7, 295-303. <http://doi.org/DOI:10.1201/b16302-2>
- Singletery, K. (2010). Ginger an overview of health benefits. *Nutr. Today*, 45 (4), 171-183.
- Soković, M. D., Vukojević, J., Marin, P. D., Brkić, D. D., Vajs, V., & van Griensven, L. J. L. D. (2009). Chemical composition of essential oils of *Thymus* and *Mentha* species and their antifungal activities. *Molecules*, 14, 238-249.
- Unlu, M., Ergene, E., Vardar Unlu G., Sivas Zeytinoglu, H., & Vural, N. (2010). Composition, antimicrobial activity and in vitro cytotoxicity of essential oil from *Cinnamomum zeylanicum* Blume (*Lauraceae*). *Food and Chemical Toxicology*, 48, 3274-3280.
- Vijayan, V., & Mazumder, A. (2018). In vitro inhibition of food borne mutagens induced mutagenicity by cinnamon (*Cinnamomum cassia*) bark extract. *Drug and chemical toxicology*, 41(4), 385-393. <http://doi.org/10.1080/01480545.2018.1439056>
- Wang, Y., Zhang, Y., Shi, Y., Pan, X., Lu, Y., & Ca, P. (2018). Antibacterial effects of cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) bark essential oil on *Porphyromonas gingivalis*. *Microbial Pathogenesis*, 116, 26-32.



Portakal Üretim Sürecinin Termodinamik Değerlendirilmesi; Yeni Bir Yaklaşım

Hasan Yıldızhan^{1*}

¹ Barış AB Proje Danışmanlığı, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0272-980X)

(İlk Geliş Tarihi 3 Şubat 2019 ve Kabul Tarihi 1 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.521449)

ATIF/REFERENCE: Yıldızhan, H. (2019). Portakal Üretim Sürecinin Termodinamik Değerlendirilmesi; Yeni Bir Yaklaşım. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 96-102.

Öz

Günümüzde çevrenin kirlenmemesi ve doğal kaynakların tüketilmemesi için sürdürülebilir tarım uygulamalarıyla ilgili çalışmalar artmaktadır. Son yıllarda sürdürülebilir tarım uygulamaları için geliştirilen kümülatif ekserji tüketimi ile ilgili analiz çalışmaları artmıştır. Kümülatif ekserji tüketimi yaklaşımı, mahsul üretim süreçlerinde kullanılan girdilerin tasarruf potansiyelini tespit etmek ve böylece mahsullerin üretim süreçlerini iyileştirmede önemli bir metottür. Bu çalışmanın amacı portakal üretim sürecini, kümülatif ekserji tüketimi yaklaşımıyla değerlendirmektir. Bu çalışmada, portakal üretim süreci için kümülatif enerji tüketimi, kümülatif ekserji tüketimi ve kümülatif CO₂ emisyon değerleri hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. Portakal üretim sürecinde tarım ilacının kullanımından dolayı gerçekleşen kümülatif enerji ve ekserji tüketimleri ile kümülatif CO₂ emisyonu çok fazla bulunmuştur. Sonuçlar, portakal üretim sürecinde çiftçilerin tarım ilacı kullanırken optimum düzeyde uygulama yapmaları önemli olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Portakal üretimi, Tarım ilacı, Kümülatif ekserji tüketimi.

Thermodynamic Evaluation of Orange Production Process; a New Approach

Abstract

Nowadays, studies on sustainable agricultural practices are increasing in order not to pollute the environment and not to consume natural resources. In recent years studies on cumulative exergy consumption developed for sustainable agricultural practices have increased. The cumulative exergy consumption approach is an important method in determining of saving potential of inputs used in crop production processes and thereby improving the production processes of crops. The aim of this study is to evaluate the orange production process with cumulative exergy consumption approach. Cumulative energy consumption, cumulative exergy consumption and cumulative CO₂ emission values were calculated and evaluated. The results on the cumulative energy, exergy consumption and cumulative CO₂ emissions due to the use of pesticide application during the orange production process were found to be very high. As a result it should be noted that in the process of orange production, it is important for farmers to make optimum use when using pesticides.

Keywords: Orange production, Pesticides, Cumulative exergy consumption.

* Sorumlu Yazar: Barış AB Proje Danışmanlığı, Adana, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0272-980X, hasanydhn@hotmail.com

1. Giriş

Fosil yakıtların sonlu olması, maliyetlerinin sürekli artması ve çevre kirliliğine sebep olmaları gibi olumsuz özellikleri nedeni ile tarımda ağırlıklı olarak fosil esaslı enerji kaynaklarıyla üretim yapılması sürdürülebilir bir yöntem değildir (Taşkın ve Vardar, 2016). Çözüm yöntemi olarak tarımda fosil esaslı girdilerin kullanımının terk edilmesi veya azaltılması, bunun yerine yenilenebilir esaslı girdilerin kullanılması gerekmektedir. Bununla birlikte tarımda enerji etkinliğinin artırılması, enerji kaynaklarının kullanımında tasarruf yapılmasını sağlamaktadır. Bu durum da tarım uygulamalarından kaynaklanan çevresel sorunların azaltılmasını teşvik etmektedir. Enerjinin etkin kullanılması, aynı iş çıktısı değişmeden enerji kullanımının azaltılması olarak gerçekleşir (Öztürk ve ark., 2010). Çiftçilerin tarım uygulamalarında enerji kaynaklarını gelişi güzel tüketmek yerine enerji kaynaklarını bilinçli olarak tüketmeleri gerekmektedir. Böylece tarımda etkin enerji kullanımı sağlanmış olacaktır.

Günümüzde çevrenin kirletilmemesi ve doğal kaynakların tüketilmemesi için sürdürülebilir tarım uygulamalarıyla ilgili çalışmalar artmaktadır. Sürdürülebilir tarım kavramı, hem bugün hem de gelecek nesiller için gerekli olan doğal kaynakların korunması ve böylece insanların ihtiyacı olan besinlerin karşılanmasıdır (Eryılmaz ve Kılıç, 2018). Sürdürülebilir tarım uygulamalarında bir çok araştırmacı yenilenebilir enerji kaynaklarının tarım uygulamalarına adapte edilmesi hususunda çalışmalar yapmıştır (Bardi ve ark., 2013). Sürdürülebilir tarım uygulamaları kapsamında üretim süreçleri için yeni değerlendirme metodu olarak kümülatif ekserji tüketim analizi yapılmaktadır (Yildizhan, 2018; Yıldizhan ve Taki, 2018; Taki ve Yıldizhan, 2018; Yıldizhan, 2017). Kümülatif ekserji tüketimi, sistem sınırları çerçevesinde bir ürünün hammaddeden son haline gelene kadar tüm süreç boyunca tüketilen ekserjilerin toplamı olarak tarif edilmektedir (Szargut, 2005). Kümülatif ekserji tüketiminin azaltılması daha az doğal kaynakların kullanılması anlamına gelmektedir (Hoang ve Prasada, 2010).

Bu çalışmanın amacı portakal üretim sürecini kümülatif ekserji tüketimi yaklaşımıyla değerlendirmektir. Çalışmada, portakal üretim süreci için kümülatif enerji tüketimi, kümülatif ekserji tüketimi ve kümülatif CO₂ salınım değerleri hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, portakal üretim sürecinin geliştirilmesi için kullanılan girdilerin etkileri yorumlanmıştır. Bu çalışma mahsul üretim süreçlerinin geliştirilmesine yönelik yapılan araştırmalara önemli literatür katkı sağlayacaktır.

2. Materyal ve Metot

Tarımda her birim operasyon kapsamında kütle, enerji ve ekserji denge denklemleri; Kümülatif enerji tüketimi (CEnC), Kümülatif ekserji tüketimi (CExC) ve kümülatif karbondioksit emisyonunu (CCO₂E) belirlenmesi için kullanılır. Söz konusu denge denklemleri aşağıda verilmiştir (Dincer ve ark., 2004; Balkan ve ark. 2005; Wall, 2003; Ozilgen ve Sorgüven, 2011).

Kütle dengesi:

$$\Sigma m_{in} = \Sigma m_{out} \quad (1)$$

Enerji dengesi:

$$\Sigma (mh)_{in} - \Sigma (mh)_{out} = W - Q \quad (2)$$

Ekserji dengesi:

$$\Sigma (mb)_{in} - \Sigma (mb)_{out} + \Sigma \left(1 - \frac{T_o}{T_k}\right) Q_k - W = I \quad (3)$$

Yukarıdaki denklemlerde m kütleyi, h entalpiyi, b kimyasal ekserjiyi, W işi, I ekserji kaybını, T_o ortam sıcaklığını, T_k kaynak sıcaklığını Q_k ısıyı ifade etmektedir.

Bir ton portakal üretimi için kullanılan girdiler ve miktarları ile ilgili veriler Mohammadshirazi ve arkadaşlarının çalışmasından alınmıştır. Belirtilen veriler Tablo 1'de verilmiştir (Mohammadshirazi ve ark., 2015).

Tablo 1. Bir Ton Portakal Üretimi için Girdi Değerleri

1. Kimyasal Gübreler	
(a) Azot (N) (kg)	7.94
(b) Fosfor (P ₂ O ₅) (kg)	3.92
(c) Potasyum (K ₂ O) (kg)	5.05
2. Tarımsal ilaçlar (kg)	6.92
3. Elektrik kullanımı (MJ)	242.13
4. Dizel kullanımı (L)	1.39

Çalışmada kümülatif enerji, ekserji tüketimleri ve karbondioksit salınımı için gerekli veriler ilgili çalışmalardan elde edilmiştir. (Ozilgen ve Sorgüven, 2011 ; Çengel, 2006; Berthiaume ve Bouchard, 1999; Helsel, 1992; Wittmus ve ark., 1975; Pimentel, 1991; Kongshaug, 1998; Ozilgen ve Sorgüven, 2016). Kullanılan değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Her Girdi için Belirli CEnC, CExC ve CCO₂E Değerleri

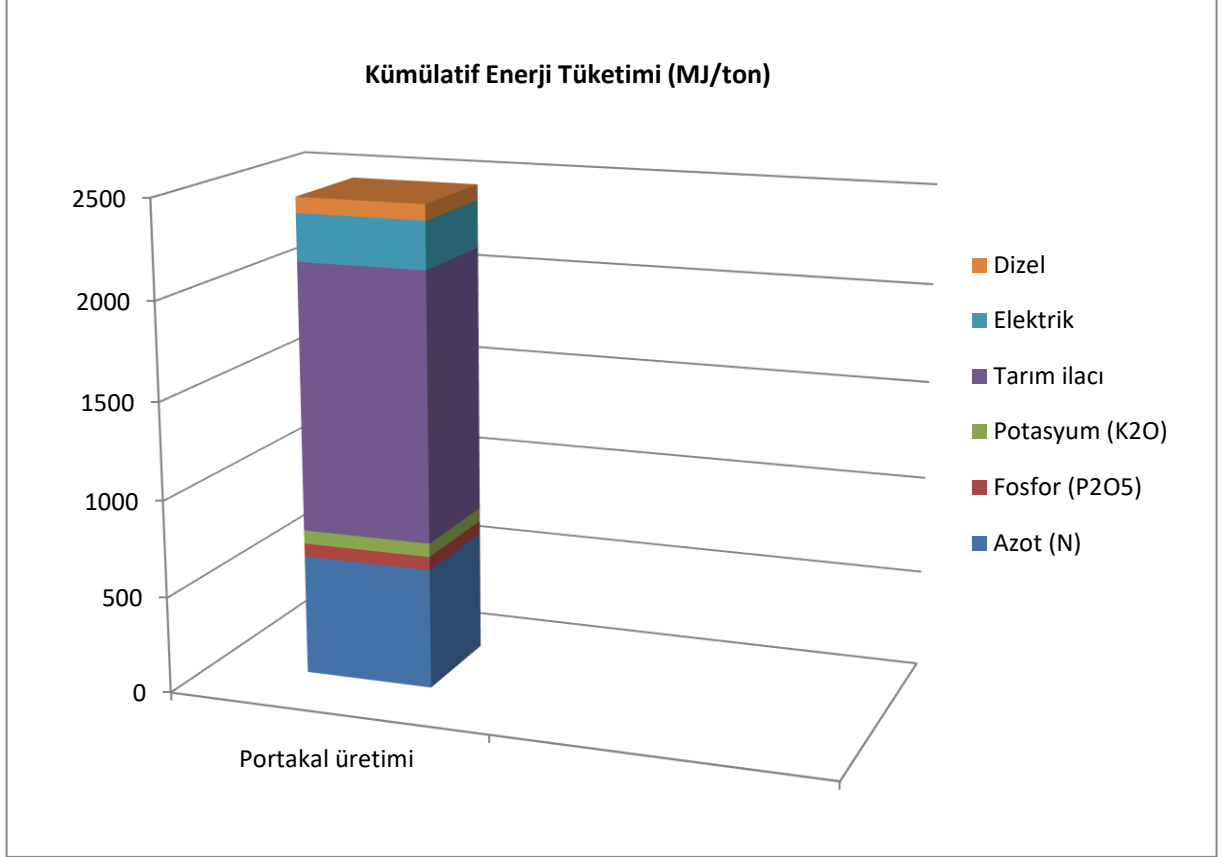
Girdiler	CEnC	CExC	CCO ₂ E
Kimyasal Gübreler			
- Azot (N)	78.2 MJ/kg (Ozilgen ve Sorgüven, 2011)	32.7 MJ/kg (Çengel, 2006)	0.09 kg/kg (Helsel, 1992)
- Fosfor (P ₂ O ₅)	17.5 MJ/kg (Ozilgen ve Sorgüven, 2011)	7.52 MJ/kg (Berthiaume ve Bouchard, 1999)	0.15 kg/kg (Helsel, 1992)
- Potasyum (K ₂ O)	13.8 MJ/kg (Ozilgen ve Sorgüven, 2011)	4.56 MJ/kg (Berthiaume ve ark., 2001)	0.51 kg/kg (Helsel, 1992)
Kimyasallar			
- Tarım ilacı	198.8 MJ/kg (Wittmus ve ark., 1975)	7.52 MJ/kg (Pimentel, 1991)	5.1 kg/kg (Kongshaug, 1998)
Dizel yakıtı	57.5 MJ/kg (Wittmus ve ark., 1975)	53.2 MJ/kg (Çengel, 2006)	0.94 kg/kg (Kongshaug, 1998)
Elektrik	1 MJ/MJ (Çengel, 2006)	4.17 MJ/MJ (Çengel, 2006)	0.14 kg/MJ (Ozilgen ve Sorgüven, 2016)

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışma ile portakal üretim sürecinde, yer alan girdiler için enerji, ekserji kullanımları ve karbon dioksit salınım değerleri tespit edilmiş ve değerlendirilmiştir. Portakal üretim süreci kapsamında gerçekleşen kümülatif enerji tüketimine yönelik sonuçlar Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1'e bakıldığında portakal üretiminde en fazla enerji kullanımı tarım ilacı ile gerçekleşmiştir. Portakal üretim sürecinde tarım ilacının kullanım değeri 1376.11 MJ/ton'dur. Tarım ilacını sırasıyla azot gübresi (621.6 MJ/ton), elektrik (242.13 MJ/ton), dizel (80.23 MJ/ton), potasyum gübresi (69.73 MJ/ton) ve fosfor gübresi (68.64 MJ/ton) takip etmektedir. Toplam kimyasal gübrelerin kullanım değeri 760 MJ/ton'dur. Portakal üretim sürecinde kimyasallardan (tarım ilacı) sonra en fazla kümülatif enerji tüketimi, kimyasal gübrelerin kullanımıyla gerçekleşmiştir. Bununla birlikte portakal üretim sürecinde toplam kümülatif enerji tüketimi 2458.44 MJ/ton olarak gerçekleşmiştir.

Mohammadshirazi ve arkadaşların çalışmasında, portakal üretim sürecinde en fazla enerji kullanımı kimyasal gübrelerde olmuştur (Mohammadshirazi ve ark. 2015). Kimyasal gübreden sonra en fazla enerji kullanımı, tarım ilacı kullanımında gerçekleşmiştir. Sonuç olarak hem bu çalışmada hem de Mohammadshirazi ve arkadaşlarının çalışmasında en çok enerji tüketimi tarım ilacı ve kimyasal gübrelerin kullanımıyla gerçekleşmektedir.

Kümülatif enerji tüketimi kapsamında başka mahsul ürünleri için yapılan çalışmalarda; Yıldızhan, çileğin sera ve tarlada kümülatif enerji tüketimi için yaptığı çalışmada, tarlada 1 ton çilek üretim sürecinde en fazla enerji tüketimi kimyasal gübre ile gerçekleşirken sera şartlarında 1 ton çilek üretimi için en fazla enerji tüketimi elektrik kullanımıyla olduğunu belirtmiştir (Yıldızhan, 2018). Taki ve Yıldızhan, 1 ton salatalığın sera şartlarında üretim süreciyle ilgili yaptıkları çalışmada ise en fazla enerji tüketiminin dizel kullanımıyla gerçekleştiğini bildirmişlerdir (Taki ve Yıldızhan, 2018). Yapılan diğer bir çalışmada 1 ton patates için en fazla enerji tüketiminin kimyasal gübre kullanımıyla gerçekleştiğini bildirilmiştir (Yıldızhan, 2017). Yıldızhan ve Taki (2018), 1 ton domates üretimi için yaptıkları çalışmada enerji tüketimi kapsamında, kimyasal gübre kullanımının en fazla kümülatif enerji tüketimine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuçlar, mahsule ve üretim şartlarına göre girdilerin enerji tüketim miktarlarında değişiklik gösterdiğini işaret etmektedir.



Şekil 1. 1 Ton Portakal Üretimi için Kümülatif Enerji Tüketim Sonuçları

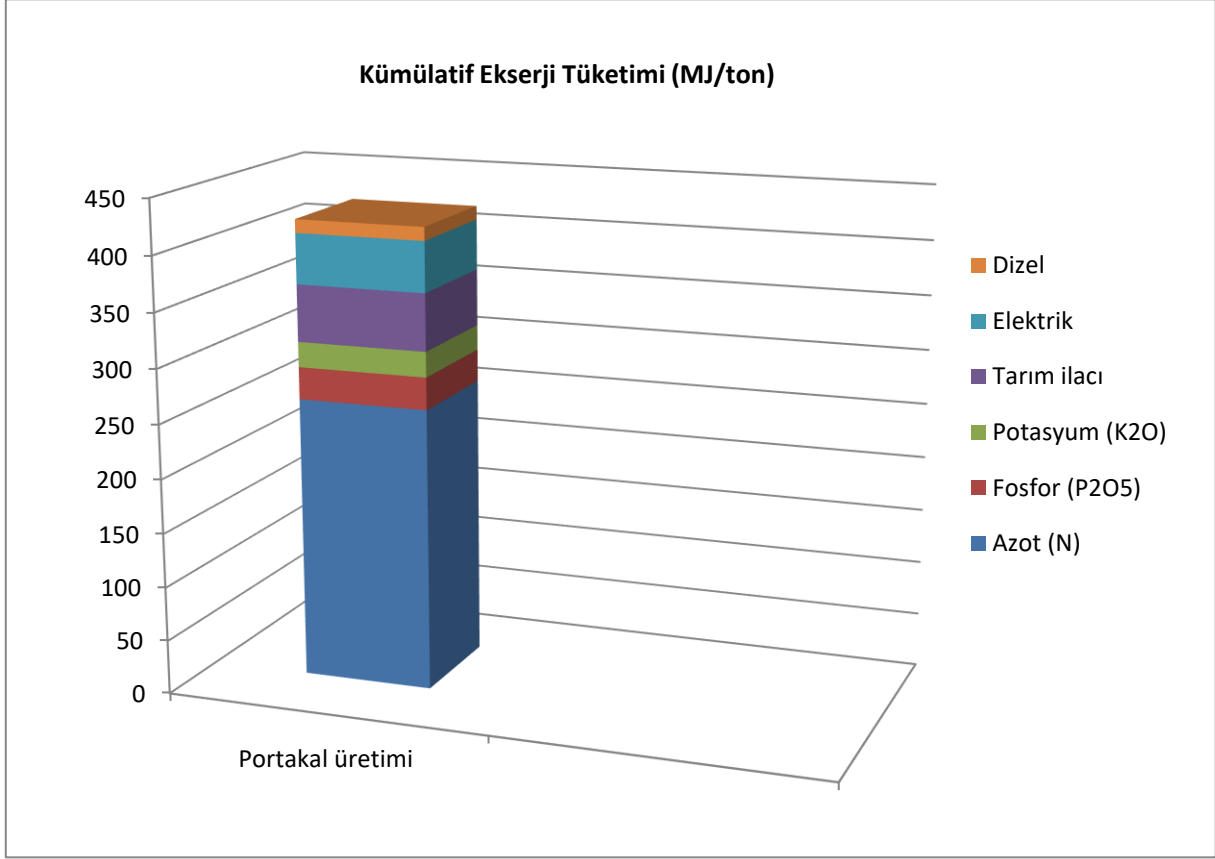
1 ton portakal üretiminde kullanılan girdilerin kümülatif ekserji tüketim değerleri Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'ye bakıldığında en fazla kümülatif ekserji tüketimi azot gübresinin kullanımında olmuştur. Azot gübresinin kümülatif ekserji tüketimi 259.92 MJ/ton'dur. Azot gübresini tarım ilacı takip etmiştir. Tarım ilacının kümülatif ekserji tüketimi 52.05 MJ/ton'dur. Diğer girdilerin kümülatif ekserji tüketimleri sırasıyla; elektrik kullanımı 46 MJ/ton, fosfor gübresi 29.49 MJ/ton, potasyum gübresi 23.04 MJ/ton ve dizel kullanımı 12.27 MJ/ton'dur. 1 ton portakal üretim sürecinde gerçekleşen toplam kimyasal gübre kullanımının kümülatif ekserji tüketimi 312.45 MJ'dur. 1 ton portakal üretimi için gerçekleşen toplam kümülatif ekserji tüketimi değeri ise 422.77 MJ'dur. Bu sonuçlar, 1 ton portakal üretiminde kimyasal gübre kullanımından dolayı kaynaklanan kümülatif ekserji tüketiminin ön planda olduğu sonucunu vermiştir. Bununla birlikte, portakal üretim süreci kapsamında, kümülatif enerji tüketiminde olduğu gibi kümülatif ekserji tüketiminde de tarım ilacının kullanımı yüksek düzeydedir.

Yıldızhan (2018), çileğin tarlada ve sera şartlarında toplam kümülatif ekserji tüketimini sırasıyla 14178.5 MJ/ton ve 8743 MJ/ton olarak tespit etmiştir. Çilek üretiminde en çok ekserji tüketiminin sera şartlarında elektrik kullanımında (6768 MJ/ton) ve tarlada ise topak (pellet) gübre (5430 MJ/ton) kullanımında gerçekleştiğini belirtmiştir (Yıldızhan, 2018). Aynı araştırmacının diğer bir çalışmasında patatesin toplam kümülatif ekserji tüketimini 1 ton üretimi için 4832.5 MJ olarak tespit edilmiştir. Aynı çalışmada en fazla kümülatif ekserji tüketimi topak gübre (2969.57 MJ/ton) kullanımıyla gerçekleşmiştir. Çalışmada en düşük kümülatif ekserji tüketimi tarım ilaçlarının (1.32 MJ/ton) kullanımıyla gerçekleşmiştir (Yıldızhan, 2017).

Yıldızhan ve Taki (2018), Türkiye'nin farklı bölgeleri için domates üretim süreçlerinin kümülatif ekserji tüketimlerini analiz etmişlerdir. En fazla kümülatif ekserji tüketimi Güney Marmara bölgesinde ve tarla üretim koşullarında 1075 MJ/ton olarak gerçekleşmiştir. Aynı çalışmada Antalya'da sera üretim koşullarında 731 MJ/ton ve Tokat'ta tarla üretim koşullarında 592 MJ/ton olarak tespit edilmiştir. Güney Marmara bölgesinde domates üretim sürecinde en fazla kümülatif ekserji tüketimi sulamada (598 MJ/ton) gerçekleşmiştir. Tüm bölgelerde tarım ilaçlarının kümülatif ekserji tüketim değerleri düşük düzeydedir (Yıldızhan ve Taki,

2018). Taki ve Yıldızhan (2018), sera koşullarında salatalık üretim sürecinin toplam kümülatif ekserji tüketimini 4648 MJ/ton olarak tespit etmişlerdir. En fazla kümülatif ekserji tüketimi dizel (1981 MJ/ton) kullanımında olmuştur. Dizeli, doğal gaz (1820 MJ/ton) kullanımı takip etmiştir (Taki ve Yıldızhan, 2018).

Portakal üretim sürecinde kümülatif ekserji tüketimi kapsamında kimyasal gübre ile beraber tarım ilacının kullanımı ön plandadır. Bu sonuç önceki çalışmalardan farklıdır. Önceki çalışmalarda, farklı mahsullerin üretim süreçleri kapsamında tarım ilacının kullanımı düşük düzeyde gerçekleşmiştir. Sonuç olarak mahsullerin cinsi ve üretim koşullarına göre kümülatif ekserji tüketim değerleri değişmektedir.

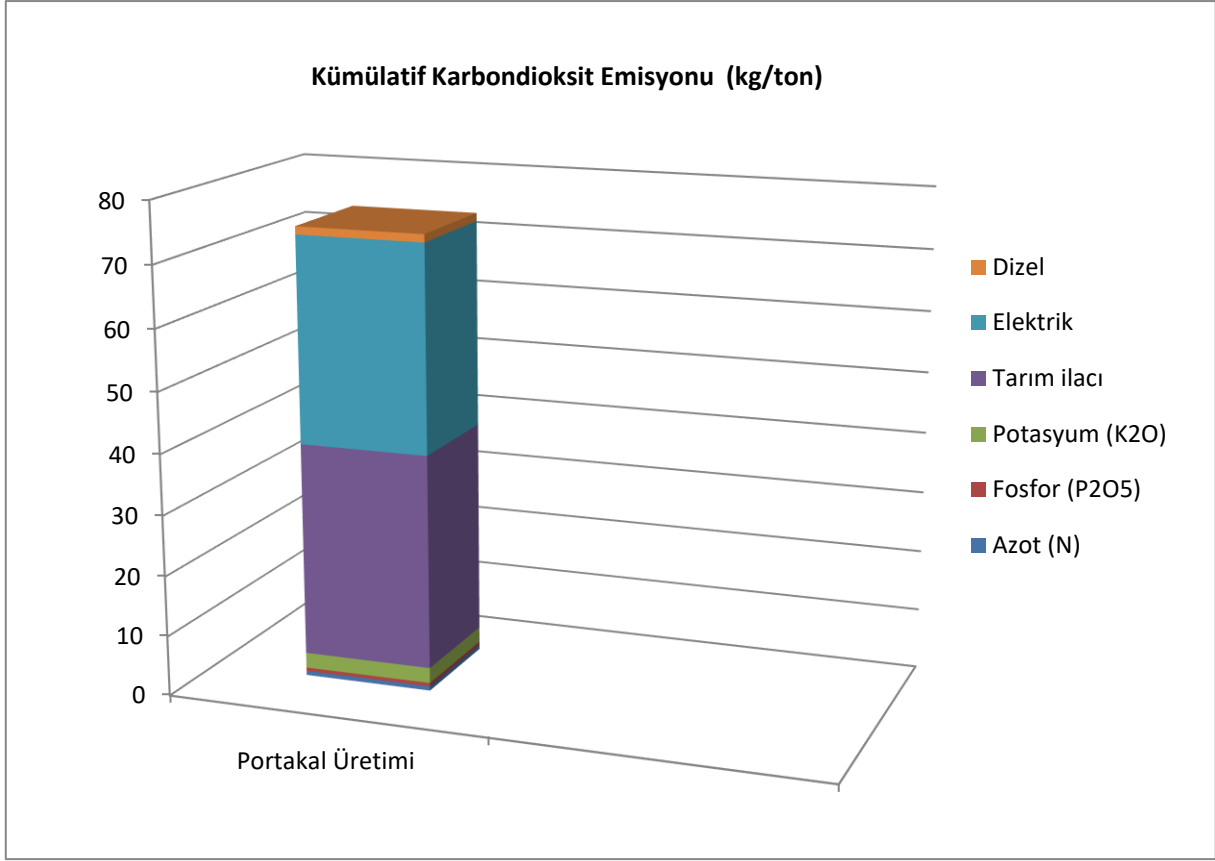


Şekil 2. 1 Ton Portakal Üretimi için Kümülatif Ekserji Tüketimi Sonuçları

1 ton portakal üretim sürecinde gerçekleşen kümülatif CO₂ emisyonu ile ilgili sonuçlar Şekil 3'te verilmiştir. Portakal üretim sürecinde en fazla kümülatif CO₂ emisyonu tarım ilacının kullanımıyla gerçekleşmiştir. Tarım ilacının kullanımından dolayı gerçekleşen kümülatif CO₂ emisyonu 35.3 kg/ton olarak tespit edilmiştir. Diğer girdilerin kullanımından dolayı gerçekleşen kümülatif CO₂ emisyonları; elektrik kullanımının 33,89 kg/ton, potasyum kullanımında 2.57 kg/ton, dizel kullanımında 1.31 kg/ton, azot gübreden 0.71 kg/ton ve fosfor gübreden 0.58 kg/ton olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar, portakal üretimde gerçekleşen kümülatif CO₂ emisyonunda tarım ilacı ve elektrik kullanımı ön planda olduğunu göstermektedir.

Yıldızhan (2018), 1 ton çilek üretim için sera ve tarla koşullarında kümülatif CO₂ emisyonları sırasıyla 506.07 kg ve 243.06 kg olarak tespit etmiştir. 1 ton çilek üretimi için sera koşullarında elektrik kullanımında (227.22 kg) ve tarla koşullarında sulamadan (112.51 kg) dolayı en fazla kümülatif CO₂ emisyonuna sebep olduğunu belirtmiştir (Yıldızhan, 2018). Yıldızhan (2017), bir ton patates üretim sürecinde gerçekleşen kümülatif CO₂ emisyonunu 67.3 kg olarak tespit etmiştir. Aynı çalışmada en fazla kümülatif CO₂ emisyonunun, sulamadan (27.89 kg/ton) kaynaklandığı belirtmiştir.

Yıldızhan ve Taki (2018), domates üretim sürecinin Türkiye'de farklı bölgeler için yapmış oldukları çalışmada en fazla kümülatif CO₂ emisyonunun Güney Marmara bölgesinde gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Güney Marmara'da sulamadan dolayı en fazla CO₂ emisyonu olmuştur. Güney Marmara'yı, Tokat (26.25 kg/ton) ve Antalya (25.42 kg/ton) takip etmiştir. Tokat ve Antalya'da en fazla CO₂ emisyonuna sebep olan girdiler sırasıyla; sulama ve elektrik kullanımından dolayı gerçekleşmiştir. Bununla birlikte, Antalya'da domates üretimi sera koşullarında gerçekleşmiştir. Taki ve Yıldızhan (2018), sera koşullarında salatalık üretiminde gerçekleşen kümülatif CO₂ emisyonunu 175 kg/ton olarak tespit etmişlerdir. En fazla CO₂ emisyonuna sebep olan girdinin ise doğal gaz kullanımıyla gerçekleştiğini belirtmişlerdir.



Şekil 3. 1 Ton Portakal Üretimi için Kümülatif Karbon Dioksit Salınım Sonuçları

4. Sonuç

Kümülatif ekserji tüketimi yaklaşımı, mahsul üretim süreçlerinde kullanılan girdilerin tasarruf potansiyelini tespit etmek ve böylece mahsullerin üretim süreçlerini iyileştirmede önemli bir metottür. Ayrıca, kümülatif ekserji tüketim analizinin sürdürülebilir tarım uygulamalarının analizinde kullanılması faydalı olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada portakal üretim süreci için kümülatif enerji ve ekserji tüketimleri ile kümülatif CO₂ emisyon değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışmanın sonuçları benzer metot kullanılarak yapılan farklı mahsullerin analiz sonuçlarıyla kıyaslanmıştır.

Çalışmada bir ton portakal üretim süreci için gerçekleşen toplam kümülatif enerji kullanımı 2458.44 MJ tespit edilmiştir. Portakal üretim sürecinde en fazla kümülatif enerji tüketimi tarım ilacının kullanımında gerçekleşmiştir. Tarım ilacının kümülatif enerji tüketim değeri 1376.11 MJ/ton olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte, 1 ton portakal üretimi için gerçekleşen toplam kümülatif ekserji tüketim değeri ise 422.77 MJ olarak bulunmuştur. En fazla kümülatif ekserji tüketimi, azot gübresinin kullanımıyla gerçekleşmiştir. Azot gübresinin kullanımıyla gerçekleşen kümülatif ekserji tüketimi 259.92 MJ/ton'dur. Azot gübresini tarım ilacı takip etmiştir. Tarım ilacının kümülatif ekserji tüketimi 52.05 MJ/ton'dur.

Bir ton portakal üretim süreci için gerçekleşen toplam kümülatif CO₂ emisyonu 74.36 kg olarak tespit edilmiştir. Portakal üretim sürecinde en fazla CO₂ emisyonuna sebep olan girdi tarım ilacının kullanımında olmuştur. Tarım ilacının kullanımından dolayı gerçekleşen kümülatif CO₂ emisyonu 35.3 kg/ton olarak tespit edilmiştir. Tarım ilacından sonra en fazla kümülatif CO₂ emisyonuna sebep olan girdi ise elektrik kullanımındır. Elektrik kullanımından kaynaklanan kümülatif CO₂ emisyonu 33.89 kg/ton olarak tespit edilmiştir.

Literatürde benzer çalışmalarla kıyaslandığında portakal üretim sürecinde diğer mahsullere kıyasla tarım ilacının kullanımı ön plandadır. Portakal üretim sürecinde tarım ilacının kullanımından dolayı gerçekleşen kümülatif enerji ve ekserji tüketimleri ile kümülatif CO₂ emisyonu çok fazladır. Sonuç olarak, portakal üretim sürecinde çiftçilerin tarım ilacı kullanırken optimum düzeyde uygulama yapmaları önemlidir. Bu sebeple portakal üretim sürecinde çiftçilerin gelişi güzel kullanımından ziyade, tavsiyeye uygun ve reçeteli ilaç kullanması gerekmektedir. Bu durum hem insan sağlığı açısından hem de doğal denge açısından önem arz etmektedir.

Mahsullerin üretim süreçleri birbirlerinden farklılık göstermektedir. Bu durum üretilen mahsullerin kimyasal yapılarıyla doğrudan ilişkilidir. Bundan sonraki çalışmalar için araştırmacılara, mahsullerin kimyasal yapılarıyla ilgili olarak kullanılan girdiler arasındaki ilişkileri değerlendirecek çalışmaların yapılması tavsiye edilir.

Kaynakça

- Balkan, F., Çolak, N., Hepbaşlı, A., 2005. Performance Evaluation of A Triple Effect Evaporator with Forward Feed Using Exergy Analysis. *International Journal Energy Resources*, 29: 455-470.
- Bardi, U., Asmar, T., Lavacchi, A., 2013. Turning Electricity into Food: The Role of Renewable Energy in the Future of Agriculture, *Journal of Cleaner Production*, 53: 224-231.
- Berthiaume, R., Bouchard, C., 1999. Exergy Analysis of the Environmental Impact of Paving Material Manufacture. *Trans CSME*, 23(1B): 187-196.
- Berthiaume, R., Bouchard, C., Rosen, M.A., 2001. Exergetic Evaluation of the Renewability of a Biofuel. *Exergy An International Journal*, 4: 256-268.
- Çengel, Y.A., Boles, M.A., 2006. In: Thermodynamics an engineering approach. fifth ed.
- Dincer, I., Hussain, M.M., AL-Zaharnah, I., 2004. Energy and Exergy Use in Public and Private Sector of Saudi Arabia. *Energy Policy*, 32: 1615-24.
- Eryılmaz, G.A., Kılıç, O., 2018. Türkiye’de Sürdürülebilir Tarım ve İyi Tarım Uygulamaları. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(4): 624-631.
- Helsel, Z.R., 1992. Energy and alternatives for fertilizer and pesticide use. In: Fluck RC, editor. 6. Energy in farm production. New York: Elsevier, 177-201.
- Hoang, D.S., Prasada, R., 2010. Measuring and Decomposing Sustainable Efficiency in Agricultural Production: A Cumulative Exergy Balance Approach. *Ecological Economics*, 69: 1765-1776.
- Kongshaug, G., 1998. Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions in Fertilizer Production. Paper presented at IFA Technical Conference, Marrakech. Morocco September-1 October, 28.
- Mohammadshirazi, A., Akram, A., Rafiee, S., Kalhor, E.B., 2015. On the Study of Energy and Cost Analyses of Orange Production in Mazandaran Province. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 10: 22-28.
- Ozilgen, M., Sorgüven, E.O., 2016. Biothermodynamics. CRC Press.
- Ozilgen, M., Sorgüven, E., 2011. Energy and Exergy Utilization, and Carbon Dioxide Emission in Vegetable Oil Production. *Energy*, 36: 5954-5967.
- Öztürk, H.H., Yaşar, B., Eren, Ö., 2010. Tarımda Enerji Kullanımı ve Yenilenebilir Enerji Kullanımı, [http://www.zmo.org.tr/resimler/ekler/ce30eeb956b8bbd_ek.pdf]. Erişim tarihi: 20.10.2018
- Pimentel, D., 1991. Ethanol Fuels: Energy, Security, Economics, and The Environment. *Journal Agriculture Environment Ethics*, 4: 1-13.
- Szargut, J., 2005. Exergy Method: Technical and Ecological Applications. WIT Press, Southampton, Boston
- Taki, M., Yıldızhan, H., 2018. Evaluation The Sustainable Energy Applications for Fruit and Vegetable Productions Processes; Case study: Greenhouse Cucumber Production. *Journal of Cleaner Production*, 199: 164-172.
- Taşkın, O., Vardar, A., 2016. Tarımsal Üretimde Bazı Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30(1): 179-184.
- Wall, G., 2003. Exergy Tools. *Proc Inst Mech Eng*, 125-136.
- Wittmus, H., Olson, L., Lane, D., 1975. Energy Requirements for Conventional Versus Minimum Tillage. *Journal Soil Water Conservation*, 3: 72-75.
- Yıldızhan, H., 2018. Energy, Exergy Utilization and CO₂ Emission of Strawberry Production in Greenhouse and Open Field. *Energy*, 143: 417-423.
- Yıldızhan, H., Taki, M., 2018. Assessment of Tomato Production Process by Cumulative Exergy Consumption Approach in Greenhouse and Open Field Conditions: Case Study of Turkey. *Energy*, 156: 401-408.
- Yıldızhan, H., 2017. Thermodynamics Analysis For A New Approach to Agricultural Practices: Case of Potato Production. *Journal of Cleaner Production*, 166: 660-667.



Yerfıstığı Üretiminde Enerji Kullanım Etkinliğinin Belirlenmesi (Adana ili örneği)

Mehmet Fırat Baran¹, Hasan Ali Karaağaç², Ali Bolat², Abdullah Çil², Ayşe Nuran Çil²

¹ Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7657-1227)

² Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4847-0426; 0000-0002-1019-0069; 0000-0001-8663-3260; 000-0001-8520-6013)

(İlk Geliş Tarihi 24 Aralık 2018 ve Kabul Tarihi 26 Şubat 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.501576)

ATIF/REFERENCE: Baran M.F, Karaağaç, H.A, Bolat, A, Çil A. & Çil, A.N. (2018). Yerfıstığı Üretiminde Enerji Kullanım Etkinliğinin Belirlenmesi (Adana ili örneği). *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 103-111.

Öz

Bu çalışmada, 2017 yılında Adana koşullarında yetiştirilen yer fıstığı üretiminin enerji bilançosu ortaya konulmuştur. Çalışmada kullanılan alet-makinelerin ekonomik ömürleri, iş başarısı, yakıt-yağ tüketimleri, makine ağırlıkları ile gübre, tohum miktarları gibi temel veriler, mevcuttaki yapılan ölçümlerden, yapılan diğer çalışmalardan, çeşitli kaynak ve kataloglardan temin edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda yer fıstığı üretiminde enerji çıktı/girdi oranı 1.94, özgül enerji değeri 12.90 MJ kg⁻¹, enerji üretkenliği 0.08 kgMJ⁻¹, net enerji verimi 52734.28 MJ ha⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Yer fıstığı üretiminde toplam enerji girdileri içerisinde kullanım oranı en yüksek olan % 48.69 ile sulama enerjisi olduğu bulunmuştur. Bunu sırasıyla % 22.31 ile yakıt-yağ enerjisi, % 14.90 ile gübre enerjisi, %5.78 ile tohum enerjisi, % 5.58 ile ilaç enerjisi, % 2.59 ile makine enerjisi ve % 0.16 ile insan enerjisi takip etmiştir.

Anahtar Kelimeler: Adana, yerfıstığı, enerji oranı, enerji etkinliği

Determining Energy Usage Efficiency in Groundnut Production (The case of Adana Province)

Abstract

In this study, energy balance in grown groundnut was revealed in Adana. Main data used in this study, such as economical life, labor success, fuel-oil consumptions, machine weights of the tools and machines used in second crop sunflower and fertilizer, irrigation, seed amounts have been obtained from the other studies, various sources and catalogues. As a result of the evaluations energy output/input rate was obtained as 1.94, the specific energy value was obtained 12.90, net energy production was obtained 52734.28 MJ/ha in groundnut. For the groundnut, irrigation energy was the highest energy with 48.69 in total energy budget followed by fuel-oil energy, fertilizer energy, seed energy, chemicals energy, machinery energy and human labour energy inputs with 22.31% , 14.90, 5.78%, 5.58% , 2.59% and 0.16% % respectively.

Keywords: Adana, groundnut, energy rate, energy efficiency

*Sorumlu Yazar: Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye, ORCID: 0000-0002-7657-1227, mfb197272@gmail.com

1. Giriş

Tek yıllık ve yazlık olarak yetiştirilen ve sıcak bir iklim bitkisi olan yerfıstığı, baklagiller familyasından olup, tanelerindeki yüksek yağ içeriğinden dolayı yağlı tohumlu bitkiler grubuna dahil edilir (Anonim, 2018a).

Yer fıstığı tohumlarında ortalama % 45-55 oranında yağ (Boydak ve Kara, 2015), % 20-30 oranında protein, % 15-20 oranında karbonhidrat olmak üzere çeşitli vitamin ve mineral maddeler bulunmaktadır. Yer fıstığının yağı çıkarıldıktan sonra bile geriye kalan küspesinde dahi yaklaşık % 40-45 oranında ham protein bulunmaktadır. Bu nedenle yerfıstığı tohumları içerdiği yağ, protein, karbonhidrat, vitaminler ve madensel maddeler ile insanlar ve hayvanların değerli bir besin kaynağıdır (Anonim, 2018b). Bir baklagil bitkisi olması nedeniyle, havanın serbest azotundan faydalandığı için kendisinden sonra ekilecek bitkiye azot ve organik maddece zengin bir toprak bırakan yerfıstığı, çapa bitkisi olması nedeniyle de yetiştirme süresi boyunca devamlı çapalandığı için yabancı otlardan temizlenmiş ve havalanmış bir toprak bıraktığından dolayı iyi bir ekim nöbeti bitkisidir. Ülkemizin bazı yerlerinde ana ürün olarak yetiştirilebildiği gibi hububattan sonra ikinci ürün olarak da yetiştirilebilir. (Anonim, 2018a). Adana’da üretimi yapılan yerfıstığı üretim miktarları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Yıllar itibarı ile Adana yerfıstığı üretim miktarları

Yıllar	Yer fıstığı		
	Alan (da)	Üretim (Ton)	Verim (kg/da)
2013	116654	46770	401
2014	122880	50448	411
2015	146480	65915	450
2016	163860	71571	437
2017	156099	68094	436

Kaynak: TÜİK (Anonim, 2018c)

Türkiye’de yerfıstığı ekim alanının %79’u ve üretimin %81’i Adana ve Osmaniye’de gerçekleşmektedir. Adana 3.8 ton/ha ile en yüksek verime sahip olan ildir. Bu ili 3.4 ton/ha ile Osmaniye izlemektedir (Aşık v.dğr, 2018). Tarımsal üretimle ilgili olarak yapılacak enerji analizleri tarımsal sistemlerin enerji tüketimi açısından tanımlanıp gruplandırılmasında önemli bir yaklaşımdır. Üretiminde verimi artırmak ve girdileri azaltmak için üretimde kullanılan girdi ve çıktılarının dikkatli bir şekilde analiz edilmesi gereklidir (Sabah, 2010).

Enerji etkinliği değerini artırmak için ya verimin artırılması ya da girdilerin azaltılması gerekmektedir. Özellikle toplam enerji girdisi içerisinde büyük yer tutan yakıt, kimyasal gübreler, tarımsal ilaçlar, makine ve traktör girdilerinin azaltılması gerekmektedir. Verimin artırılması belirli sınırlar içerisinde sağlanabilir. Fakat enerji kullanım etkinlik değeri girdilerin bilinçli bir şekilde yapılmasıyla (ilaçlama, mekanizasyon ve gübreleme) azaltılabilir (Çelen 2016).

Enerji kullanım etkinliğini belirlemek amacıyla yapılan bazı çalışmalarda, lavanta (Gökdoğan 2016), arpa (Baran ve Gökdoğan 2014), ikinci ürün ayçiçeği (Baran v.dğr 2016), şekerpancarı (Baran ve Gökdoğan, 2016), ceviz (Banaeian, v.dğr, 2010; Khoshroo ve Mulwa, 2014; Baran v.dğr 2017), fıstık (Nabavi-Pelesaerai v.dğr, 2013; Azarpour v.dğr 2012), yer fıstığı (Singh ve ark, 1997; Umar, 2003; Firouzi ve Aminpanah.2012; Kumar v.dğr, 2015), badem, (Marvinney v.dğr, 2015; Beigi v.dğr 2016; Baran v.dğr 2018), üretiminde enerji kullanım etkinlikleri belirlenmiştir. Bu çalışmada Adana’da 2017 yılı yer fıstığı üretiminin enerji bilançosu ortaya konmaya çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma alanı

Akdeniz iklimi görülen Adana ilinde uzun yıllar yıllık yağış miktarı ortalama 644.6 mm, ortalama sıcaklık ise yaklaşık 19.1 °C civarındadır (Anonim, 2018d). Çalışmada yerfıstığı üretiminde kullanılan çeşitli girdi miktarları ve elde edilen çıktı miktarları değerleri değişik kaynaklardan (Türkiye İstatistik Kurumu, daha önce konuyla ilgili veya benzer çalışmalardan), tarım alet ve makinaların teknik verileri ise bölgedeki uygulamalardan ve kataloglardan alınmıştır. Adana’da yerfıstığı üretimi için yapılan kültürel uygulamalar ve bakım işlemleri Tablo 2’de belirtilmiştir.

Tablo 2. Yerfıstığı Üretimi İçin Kültürel Uygulamalar ve Bakım İşlemleri

Kültürel Uygulamalar	Uygulamanın Özelliği
Toprak işleme	Toprak, sonbaharda pulluk ile 20-25 cm derinlikte sürülür. Toprak kışın kültivatör ile tekrar sürülür. Daha sonra nisan ayında goble / diskaro ile işleme yapılır. En son olarak toprağın nem durumuna göre 2-3 kez merdane veya tapan ile toprak düzeltilir / bastırılır.
Ekim	Nisan ayının ortalarından itibaren toprak pnömatik ekim makinası ile sıra arası 70 cm, sıra üzeri ortalama 10-13 cm olacak şekilde ekim yapılır. Kullanılacak olan tohum miktarı, tohum büyüklüğüne bağlı olarak 10-18 kg/da arasında olmaktadır. Yerfıstığı tohumları, ekilmeden önce toprak altı hastalık ve zararlılarına karşı ilaçlanmalıdır.
Gübreleme	Ekimle birlikte 8-10 kg/da saf fosfor, yaklaşık 3 kg/da saf azot verilmelidir. Ekimle birlikte verilen azot miktarına ek olarak yaklaşık 10-15 kg/da saf azot amonyum sülfat formunda 1. yağmurlama sulamanın öncesinde verilir. Bazı topraklarda demir eksikliği ihtiyacı olması durumunda yaprakdan demir uygulaması yapılır.
Ara çapa	Yer fıstığı yetiştirilmesi süresince toplam 4-5 defa traktör ara çapa ile çapalanır. Toprağın durumuna göre boğaz doldurma yapılması gerekebilir.
Yabancı Ot Mücadelesi	Mücadelede genellikle el çapası yerine çıkış sonrası yabancı ot durumuna göre 1 veya 2 uygulama olmak üzere herbisit kullanılmaktadır.
Zirai Mücadele	Yer fıstığı üretiminde havanın ve çevrenin durumuna bağlı olarak 3-4 defa yaprak biti, kırmızı örümcek ve fungusit ilaçlaması yapılmaktadır.
Sulama	Adana'da yerfıstığı bitkisinin büyük çoğunluğu yağmurlama sulama şeklinde sulanmaktadır. Yer fıstığı bitkisi, yetiştirme döneminde iklim ve toprak şartlarına da bağlı olmak üzere ortalama 5 kez sulanır. Hava sıcaklığının fazla veya kumlu toprak olması durumunda sulama sayısı artırılır.
Hasat	Yer fıstığında hasat zamanı artık bitkilerin yapraklarının sararmaya başladığı, tanelerin pembe renk aldığı veya kabuk iç kısmının beyazdan kahverengiye döndüğü ve kapsüllerin dolduğu devredir. Yer fıstığı bitkileri, 2 veya 3 sırası 1 sıra namlu olacak şekilde yerfıstığı sökme makinası ile topraktan sökülür ve ters çevrilir. 3-5 gün güneşte böyle kaldıktan sonra toplama ve harmanlama makinası ile toplanır. Toplanan ürünler sergen yerine taşınır ve son olarak eleme işlemine tabi tutulur.

2.2 Çalışmada Kullanılan Girdiler

Ekim normu sıra üstü arasına ve tohum büyüklüğüne bağlı olarak 10-18 kg/da arasında değişmekte olup bu çalışmada ekim normu 13 kg/da olarak alınmıştır. Ekim işleminden önce her 100 kg tohum, toprak altı hastalık ve zararlılarına karşı ve kullanılan ilacın çeşidine göre ortalama 0.15 kg insektisit ve 0.5 kg fungusit ile ilaçlanmaktadır. Kullanılan gübre miktarı 10 kg/da saf fosfor ve 12 kg/da saf azot olarak hesaplanmıştır. Yer fıstığı yabancı ot mücadelesi için çıkış sonrası 2 herbisit uygulaması, çeşitli hastalık ve zararlılar için 3 defa fungusit ve insektisit uygulaması yapılmıştır. Yağmurlama sulama yer fıstığında 5 defa olarak hesaplanmıştır. Bölgede yer fıstığı bitkisinin ortalama su tüketimi 652.3 mm/da (Anonim, 2018e) civarındadır. Yer fıstığı üretiminde toprak işlemede 1 sürücü, ekim ve gübreleme işleminde 1 sürücü ve 1 yardımcı, yağmurlama sulama işlemleri boyunca ise 4 işçi çalışmıştır. Adana'da yer fıstığı üretiminin enerji etkinliğinin hesaplanabilmesi için öncelikle enerji girdilerinin ve enerji çıktılarının hesaplanması gerekir. Enerji girdileri insan gücü enerjisi, makine enerjisi, yakıt-yağ enerjisi, tohum enerjisi, su enerjisi, gübre enerjisi ve ilaç enerjisinden oluşmaktadır. Enerji çıktısı ise birim alandan elde edilen ürün ve yan üründen oluşmaktadır.

Adana ilinde yer fıstığı için yapılan ölçümlere göre, enerji girdilerinin ve çıktılarının değerleri belirlenmiştir. Enerji girdileri olarak traktör yapım enerjisi (Traktör için makine yapım enerjisi Türkiye için 35.216 MJ kg⁻¹ olarak hesaplanmıştır (Acaroğlu 1998). Makine yapım enerjisi, yakıt-yağ enerjisi, gübre enerjisi, tarımsal ilaç enerjisi, insan işgücü enerjisi, tohum enerjisi ve taşıma enerjisi değerleri

ele alınmıştır. İkinci ürün yer fıstığı üretiminde enerji kullanım analizini belirlemek amacıyla, enerji oranı, spesifik enerji, enerji verimliliği ve net enerji verimi 1, 2, 3 ve 4 numaralı formüllerde (Yılmaz v.dğr, 2010) kullanılmıştır.

$$\text{Enerji oran} = \frac{\text{Enerji çıktısı}}{\text{Enerji girdisi}} \quad (1)$$

1 no'lu eşitlikte enerji çıktısı ve enerji girdisi MJ/ha olarak verilmiştir.

$$\text{Spesifik enerji} = \frac{\text{Enerji girdisi}}{\text{Ürün verimi}} \quad (2)$$

$$\text{Enerji verimliliği} = \frac{\text{Üretim miktarı}}{\text{Enerji girdisi}} \quad (3)$$

2 ve 3 no'lu eşitlikte ürün verimi birimi MJ/ha olarak kullanılmıştır.

$$\text{Net enerji verimi} = \text{Enerji çıktısı} - \text{Enerji girdisi} \quad (4)$$

Tarımsal üretimde kullanılan girdi ve çıktılardan enerji eşdeğerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Enerji çıktısı ise birim alandan elde edilen ürün ve yan üründen oluşmaktadır. Enerji girdisinin ve enerji çıktısının hesaplanmasında girdi ve çıktı çeşitlerinin enerji eş değerlerinin bilinmesi gerekir. Enerji eşdeğerlerinin belirlenmesinde daha önce yapılan araştırmalardan faydalanılmıştır. Bu kaynaklar Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Tarımsal üretimde girdi ve çıktılardan enerji eşdeğerleri

Girdiler	Enerji Eşdeğeri Katsayısı(MJ/birim)	Referanslar
<i>İnsan İşgücü (h)</i>	1.96	Davoodi ve Houshyar, 2009; Mousavi Avval v.dğr, 2011
<i>Makine Üretim Enerjisi (kg)</i>		
Traktör	158.3	Barut v.dğr, 2011
Toprak İşleme Aletleri	121.3	Barut v.dğr, 2011
<i>Yakıt (L)</i>		
Dizel	35.69	Eren, 2011
Yağ	6.51	Eren, 2011
<i>Kimyasal Gübreler (kg)</i>		
Azot (N)	60.6	Öztürk, 2011; Barut v.dğr, 2011; Bayhan, 2016
Fosfor (P ₂ O ₅)	11.1	Öztürk, 2011, Bayhan, 2016
<i>İlaç (kg)</i>		
Herbisit	269	Ferrago, 2003; Sabah, 2010; Arıkan, 2011, Eren, 2011
İnsektisit	214	Sabah, 2010, Arıkan, 2011, Eren, 2011

Fungusit	278	Firouzi ve Aminpanah, 2012
Tohum (kg)		
Yerfıstığı	25	Ghosh, v.dğr, 2006; Kumar v.dğr, 2015
Sulama	4.2	Eren 2011; Mrini v.dğr 2002
Çıktı		
Yerfıstığı	25	Ghosh, v.dğr, 2006; Kumar v.dğr, 2015

Ayrıca yerfıstığı üretimindeki enerji girdileri, doğrudan ve dolaylı enerji girdileri olarak iki grupta hesaplanmıştır. Yerfıstığı üretiminde tarım alet ve makinaları tarafından tüketilen yakıt ve yağ enerji değeri doğrudan enerji girdisi olarak, yerfıstığı üretiminde kullanılan insan işgücü, tarım alet ve makinaları, gübre, ilaç ve tohumluk için tüketilen enerji değerleri dolaylı enerji girdisi olarak dikkate alınmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Araştırma sonuçları

Adana'da yer fıstığı üretiminde enerji bilançosu Tablo 4'te, verilmiştir. Tablo 4'ü incelediğimizde birim alan başına 89.52 MJ/ha insan enerjisi tüketilmiş, bu değer % 0.16 ile en düşük girdiyi oluşturmuştur. Yer fıstığı üretiminde alet/makine enerjisinde 1 ha alan için 1454.95 MJ enerji tüketilmiş, bu değer toplam enerji içerisinde % 2.59 oranına karşılık gelmiştir. Tüm girdiler içerisinde sulama enerjisi 27396.60 MJ/ha tüketilerek % 48.69 oranı ile en yüksek sırada olmuştur. Yakıt-yag enerji girdisi 12550.85 MJ/ha tüketilerek % 22.31, gübre enerji girdisi 8382.00 MJ/ha ile % 14.90 oranlarına karşılık gelmiştir. Yer fıstığı üretiminde ilaç enerji girdisi ise 3141.80 MJ/ha ile % 5.58 oranına sahipken, tohum enerji girdisi 3250 MJ/ha değeri ile % 5.78 oranına sahip olmuştur.

Tablo 4. Adana'da Yer fıstığı Üretiminde Enerji Bilançosu

Girdi	Hektar Başına Miktar	Toplam Enerji Girdisi (MJ/ha)	Toplam Enerji Girdisine Oranı
<i>İnsan İşgücü (h)</i>	45.67	89.52	0.16
Toprak Hazırlama İşlemleri	5.47	10.71	
Ekim ve Diğer İşlemler	29.87	58.55	
Hasat	10.33	20.25	
<i>Makine (h)</i>	43.35	1454.95	2.59
Traktör	21.67	366.83	
Toprak Hazırlama İşlemleri	5.47	106.06	
Ekim ve Diğer İşlemler	12.54	221.91	
Hasat	3.67	760.15	
<i>Yakıt + Yağ (L)</i>	364.50	12550.85	22.31
Toprak Hazırlama İşlemleri	75.24	2590.77	
Ekim ve Diğer İşlemler	226.56	7801.10	
Hasat	62.70	2158.98	

Kimyasal Gübreler (kg)	220.00	8382.00	14.90
Fosfor (P)	100.00	1110.00	
Azot (N)	120.00	7272.00	
Kimyasallar (kg)	12.05	3141.80	5.58
Herbisit	2.50	672.50	
Fungusit	6.65	1848.70	
İnsektisit	2.90	620.60	
Tohum (kg)	130.00	3250.00	5.78
Sulama (m ³)	6523.00	27396.60	48.69
Toplam Enerji Girdisi		56265.72	

Tablo 5. Yer Fıstığı yetiştiriciliğinde genel enerji girdileri ve dağılımları

Enerji girdileri	MJ ha ⁻¹	Dağılım (%)
Yakıt-yağ enerjisi	12550.85	22.31
Makine enerjisi	1454.95	2.59
İnsan İşgücü enerjisi	89.52	0.16
Tohum enerjisi	3250.00	5.78
Tarımsal ilaç/ Kimyasallar	3141.80	5.58
Gübre enerjisi	8382.00	14.90
Sulama enerjisi	27396.60	48.69
Toplam	56265.72	100.00

Tablo 6. Yer Fıstığı yetiştiriciliğinde toplam enerji girdi-çıkıtı ve enerji oranı değerleri

Toplam Enerji Girdisi (MJ/ha)		56265.72
Verim	4360	109000.00
Toplam Enerji Çıkıtısı (MJ/ha)		109000.00
Enerji Oranı		1.94
Özgül Enerji (MJ/kg)		12.90
Enerji Üretkenliği (kg/MJ)		0.08
Net Enerji Verimi (MJ)		52734.28

Tablo 6’da görüldüğü gibi yer fıstığı üretiminden elde edilen toplam enerji girdisi 56265.72 MJ/ha, toplam enerji çıkıtısı 109000,00 MJ/ha, enerji oranı 1.94 olarak saptanmıştır. Yapılan bu çalışmada saptanan enerji oranı 1.94 iken, Firouzi ve Aminpanah. (2012) İran kuzeyindeki Kiashahr bölgesinde yer fıstığının üretiminde enerji oranı’nı 3.93, Azarpour v.dğr (2012) İran’ın kuzeyindeki Guilan bölgesinde fıstık üretiminde enerji oranını 2.73, Nabavi-Pelesaraei v.dğr (2012), İran’ın kuzeyindeki Guilan bölgesindeki üç farklı

şehirdeki 120 fıstık üretimi yapan işletmelerdeki enerji oranını 4.53 olarak tespit etmişlerdir. Adana koşullarında yer fıstığı üretiminde enerji üretkenliği, sadece birim üretim alanından (ha) alınan tohum miktarı dikkate alındığında 0.08 kg/MJ olarak belirlenmiştir. Adana koşullarında yer fıstığı üretiminde, 1 MJ enerji tüketimi karşılığında 0.08 kg yer fıstığı tohumu üretilmektedir. Yer fıstığı üretiminde bu değer; Firouzi ve Aminpanah. (2012) İran'ın kuzeyindeki Kiashahr bölgesinde yapmış oldukları çalışmalarında 0.212 kg/MJ, Fıstık üretiminde ise bu değer; Nabavi-Pelesaraei v.dğr (2012) tarafından İran'da yapılan çalışmada 0.18 kg/MJ, Azarpour v.dğr (2012) İran'ın kuzeyindeki Guilan bölgesinde yaptıkları çalışmada 0.14 kg/MJ olarak belirlemişlerdir. Üretim sonucunda kazanılan toplam enerji miktarı ile üretim işlemlerinde kullanılan toplam enerji miktarı arasındaki fark net enerji verimi (MJ/ha) olarak tanımlanır (Baran v.dğr 2014). Adana koşullarında yer fıstığı üretiminde net enerji verimi, sadece birim üretim alanından (ha) alınan tohum miktarı dikkate alındığında 52734.28 MJ/ha, olarak belirlenmiştir. Yer fıstığı üretiminde bu değer; Firouzi ve Aminpanah. (2012) İran kuzeyindeki Kiashahr bölgesinde yapmış oldukları çalışmalarında 59087.66 MJ/ha, Fıstık üretiminde ise bu değer; Nabavi-Pelesaraei v.dğr (2012) tarafından İran'da yapılan çalışmada 67937.21 MJ/ha, Azarpour v.dğr (2012) İran kuzeyindeki Guilan bölgesinde yaptıkları çalışmada 58926 MJ/ha olarak tespit etmişlerdir.

Yer fıstığı yetiştiriciliğinde doğrudan, dolaylı, yenilenebilir ve yenilenemez enerji oranları sırasıyla %71.16, %28.84, %54.63 ve %45.37 olarak hesaplanmıştır (Tablo7). Firouzi ve Aminpanah (2012) tarafından yapılan yer fıstığı çalışmasında da dolaylı enerji doğrudan enerjiden fazla, yenilenebilir enerji yenilenemez enerjiden yüksek, Nabavi-Pelesaraei v.dğr (2013) tarafından yapılan yer fıstığı çalışmasında ise dolaylı enerji doğrudan enerjiden düşük, yenilenemez enerji yenilenebilir enerjiden yüksek bulunmuştur.

Tablo 7. Yer Fıstığı yetiştiriciliğinde doğrudan, dolaylı, yenilenebilir ve yenilenemez enerji girdileri

Yer Fıstığı	Enerji girdisi (MJ ha ⁻¹)	Oran (%)
Doğrudan enerji ^a	40036.97	71.16
Dolaylı enerji ^b	16228.75	28.84
Toplam	56265.72	100.00
Yenilenebilir enerji ^c	30736.12	54.63
Yenilenemez enerji ^d	25529.60	45.37
Toplam	56265.72	100.00

^a İnsan işgücü enerjisi, yakıt-yağ enerjisi; sulama enerjisi

^b Tohum enerjisi, kimyasal gübre enerjisi, tarımsal ilaç enerjisi, makine enerjisi;

^c İnsan işgücü enerjisi, tohum enerjisi; sulama enerjisi

^d Yakıt-yağ enerjisi, tarımsal ilaç enerjisi, kimyasal gübre enerjisi, makine enerjisi

4. Sonuç ve öneriler

Bu araştırmada, Adana ilinde 2017 yılı üretim sezonunda yer fıstığı üretiminde enerji kullanım etkinliğinin belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda, üretim girdileri içerisinde en yüksek payı sulama enerjisinin aldığı, bunu sırasıyla yağ-yakıt, gübre, tohum, ilaç, makine ve insan iş gücü enerjilerinin izlediği görülmektedir. Sulama enerji girdisinin azaltılması için bitkinin ihtiyacı kadar suyun zamanında ve gereği kadar verilmesi gerekmektedir. Adana'da yer fıstığı tarımında enerji çıktı/girdi oranı göz önüne alındığında verimli bir üretim yapıldığı söylenebilir.

Kaynakça

- Acaroğlu, M., 1998. Energy from biomass and applications. University of Selcuk Graduate of Natural and Applied Sciences, Textbook, Konya
- Anonim, 2018a. <https://arastirma.tarim.gov.tr/batem/Belgeler/Kutuphane/Teknik%20Bilgiler/yerfistigi%20yetistiriciligi.pdf>. Adresinden alındı, Erişim tarihi: 26.06.2018
- Anonim, 2018b. <http://www.gencziraat.com/Tarla-Bitkileri/Yerfistigi-Tarimi.html>. Adresinden alındı, Erişim tarihi: 26.06.2018
- Anonim, 2018c. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>, Adresinden alındı, Erişim tarihi: 03.07.2018
- Anonim, 2018d. https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler_istatistik.aspx?m=Adana, Adresinden alındı Erişim tarihi: 11.07.2018
- Anonim, 2018e. TAGEM ve DSİ, 2016. Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimi Rehberi. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. <https://www.tarim.gov.tr/TAGEM/Belgeler/T%C3%BCrkiyede%20Sulanan%20Bitkilerin%20Su%20T%C3%BCketimi%20Rehberi%205-9-2016.pdf>. Adresinden alındı , Erişim Tarihi: 18.09.2018
- Aşık, F.F, Yıldız, R., Arıoğlu, H.H, 2018 Osmaniye Koşullarına Uygun Yeni Yerfıstığı Çeşitleri İle Bunların Önemli Tarımsal ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi, *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(6):825-836, 2018
- Azarpour, E, Maral Moraditochae, M. ve Bozorgi H.R., 2012, Evaluation energy balance and energy indices of peanut production in north of Iran, *African Journal of Agricultural Research* Vol. 7(16), pp. 2569-2574, 26 April, 2012 Available online at <http://www.academicjournals.org/AJAR> DOI: 10.5897/AJAR11.1897 ISSN 1991-637X ©2012 Academic Journals
- Arıkan, M., 2011. *Adana İlinde Kolza Üretiminde Enerji Kullanımı*. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi.
- Baran, M.F., Gökdoğan, O., Karaağaç, H.A., 2014. Kanola Üretiminde Enerji kullanım Etkinliğinin Belirlenmesi (Kırklareli İli Örneği). *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 1(3): s: 331-337, 2014
- Baran, M.F. and O.Gökdoğan, 2014. Energy input-output analysis of barley production in Thrace region of Turkey. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 14(11):1255-1261
- Baran, M.F., R.Polat and O.Gökdoğan, 2016. Comparison of energy use efficiency of different tillage methods on the secondary crop sunflower production. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25(11):4937-4943
- Baran, M.F., Gökdoğan, O, 2016, Determination Of Energy Balance of Sugar Beet Production in Turkey: A Case Study For Kırklareli Province, *Springer Energy Efficiency* (2015) 9: (2) 487-494, ISSN: 1570-6478; DOI 10.1007/s12053-015-9375-x
- Baran, M.F, Gökdoğan, O, Oğuz, H.İ., 2017. Determining The Energy Usage Efficiency of Walnut (*Juglans Regia* L.) Cultivation in Turkey , *Springer, Erwerbs-Obstbau*, ISSN: 0014-0309, Volume 59, pp77–82, DOI 10.1007/s10341-y
- Baran, M.F, Eren, Ö, Gökdoğan, O, Oğuz, H.İ., 2018 Determination of Energy Efficiency and Greenhouse Gas (GHG) Emission in Organic Almond Production in Turkey, Abstract book, Volume: 1, Page : 105, XIX. World Congress of CIGR (the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering) Antalya, Turkey, (CIGR-April 22-25, 2018)
- Barut, Z.B., C., Ertekin, H.A., Karaağaç, 2011. Tillage Effects on Energy Use for Corn Silage in Mediterranean Coastal of Turkey. *Magazine of Energy*. Volume 36, Issue 9, s: 5466-5475
- Banaeian, N, Morteza, Z, Omid, M., 2010, Energy Use Efficiency for Walnut Producers Using Data Envelopment Analysis (DEA), *Australian Journal of Crop Science*, Vol. 4, No. 5, 2010: 359-362
- Bayhan, Y., 2016. İkinci Ürün Ayçiçeği Üretiminde Farklı Toprak İşleme ve Doğrudan Ekim Yöntemlerinin Enerji Kullanım Etkinliğinin Karşılaştırılması. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*. 2016: 13 (02) 102
- Beigi, M., Torki-Harchegani, M. & Ghanbarian, D. 2016, Energy use efficiency and economical analysis of almond production: a case study in Chaharmahal-Va-Bakhtiari province, Iran, *Energy Efficiency* (2016) 9: 745. <https://doi.org/10.1007/s12053-015-9395-6>
- Boydak, Ç., Kara, O., 2015. Yer Fıstığında Toprak İşleme Yöntemlerinin Yakıt Tüketimi, Tarla Filiz Çıkış Oranı Ve Toprağın Bazı Fiziksel Özelliklerine Etkisi. *Tarım makinaları bilim dergisi (Journal of agricultural Machinery Science)* 2015, 11 (2), 121-127

Çelen, İ.H. 2016, Tarımsal uygulamalarda enerji kullanımı üzerine bir değerlendirme, *Electronic Journal of Vocational Colleges*- S: 18-29 Aralık 2016

Davoodi, M. J. Ş., Housyar, E. 2009. Energy consumption of canola and sunflower production in Iran. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 6(4): 381-384. ISSN 1818-6769, IDOSI Publications.

Eren, Ö., 2011. *Çukurova Bölgesinde Tatlı Sorgum (Sorghum Bicolor (L.) Moench) üretiminde Yaşam Döngüsü Enerji ve Çevresel Etki Analizi*. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı Doktora Tezi. Adana 2011.

Ferrago, D. O., 2003. Energy Cost/Use in Pesticide Production. *Encyclopedia of Pest Management.*,

Firouzi S., ve Aminpanah, H.,2012 Energy Use Efficiency for Groundnut (*Arachis hypogaea* L.) Production in a Semi-mechanized Cultivation System, *Scholars Research Library, Annals of Biological Research*, 2012, 3 (8):3994-3997

Gökdoğan,O, 2016, Determination of input-output energy and economic analysis of lavender production in Turkey, *Int J Agric & Biol Eng, IJABE*, May, 2016 9(3): 154–161

Ghosh, P. K., Mohanty, M., Bandyopadhyay, K. K., Painuli, D. K. and Misra, A. K., Growth, competition, yield advantage and economics in soybean/pigeonpea intercropping system in semi-arid tropics of India: I. Effect of sub soiling. *Field Crops Res.*, 2006, 96(1), 80–89.

Khoshroo A., Mulwa R. (2014) Improving Energy Efficiency Using Data Envelopment Analysis: A Case of Walnut Production. In: Emrouznejad A., Cabanda E. (eds) *Managing Service Productivity. International Series in Operations Research & Management Science*, vol 215. Springer, Berlin, Heidelberg

Kumar, S., Raizada, I, Biswas, H. and Mishra Pk.,2015 Assessing the Impact of Watershed Development on Energy Efficiency in Groundnut Production Using DEA Approach in the Semi-Arid Tropics of Southern India, doi: 10.18520/v109/i10/1831-1837, *Research Communivations*,

Marvinney, E., Kendalj, A., Brodt, S., 2015, Life Cycle–based Assessment of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions in Almond Production, Part II: Uncertainty Analysis through Sensitivity Analysis and Scenario Testing, *Journal of Industrial Ecology*, P:1019-1029, DOI:10.1111/jiec.12333.

Mousavi-Avval, S., H., Rafiee, S., Jafari, A., and Mohammadi, A., 2011. Energy flow modeling and sensitivity analysis of inputs for canola production in Iran. *Journal of Cleaner Production*,19(2011)-1464-1470, (www.elsevier.com/locate/mbio, USA).

Mrini, M., F. Senhaji, D. Pimentel. 2002. Energy analysis of sugar beet production under traditional and intensive farming systems and impacts on sustainable agriculture in Morocco. *Research, Reviews, Practices, Policy and Technology, Journal of Sustainable Agriculture*, 20(4): 5-28

Nabavi-Pelesaraei,A, Abdi, R, Rafiee, S., 2013, Energy use pattern and sensitivity analysis of energy inputs and economical models for peanut production in Iran, *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. Available online at www.ijagcs.com IJACS/2013/5-19/2193-2202 ISSN 2227-670X ©2013 IJACS Journal.

Öztürk, H. H., 2011. Bitkisel Üretimde Enerji Yönetimi. *Hasad yayıncılık*. 2011.

Sabah, M., 2010. *Söke Ovasında İkinci Ürün Yağlık Ayçiçeği Üretiminde Enerji Kullanımı*. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Adana.

Singh, M.K., Pal, S.K., Thakur, R, Verma, U.N, 1997. Energy input-output relationship of cropping systems, *Indian Journal of Agricultural Sciences* 67 (6) : 262-4, June 1997

Umar, B., 2003 “Comparison of Manual and Manual-cum-Mechanical Energy Uses in Groundnut Production in a Semi-arid Environment”. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development. Manuscript EE 03 003*. May, 2003

Yılmaz, İ, A. Özalp ve F. Aydoğmuş, 2010. Antalya ili bodur elma üretiminde enerji kullanım etkinliğinin belirlenmesi: Elmalı ilçesi örneği. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 23(2): 93-97



Thermodynamic Analysis of The Organic Rankine Cycle For Diesel Engine Waste Heat Recovery

Bayram Kılıç^{1*}, Osman İpek²

¹ Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Emin Gülmez T.B.M.Y.O., Otomotiv Teknolojisi Bölümü, Burdur, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8577-1845)

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7069-1615)

(İlk Geliş Tarihi 18 Aralık 2018 ve Kabul Tarihi 18 Şubat 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.498908)

ATIF/REFERENCE: Kılıç, B. & İpek, O. (2019). Thermodynamic Analysis of The Organic Rankine Cycle For Diesel Engine Waste Heat Recovery. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 112-117.

Abstract

In this study, thermodynamic analysis of the organic Rankine cycle (ORC) for a diesel engine waste heat recovery was performed for different working fluids. R123, R245fa, R600a, R236ea and R134a are used as working fluid in the cycle. For temperature of the heat source in the exhaust of the diesel engine 80-180 °C was chosen. The required thermodynamic values and calculations for the analysis were calculated by the Engineering Equation Solver (EES) program. For these working fluids, the performance values of the cycle were studied under different operating conditions. The highest efficiency values were obtained for all operating conditions analyzed in the organic Rankine cycle using R123 working fluid as %23. In addition, the turbine power is determined as 7.2 kW for the same operating conditions.

Keywords: Organic Rankine Cycle, Thermodynamic Analysis, Diesel Engine, Waste Heat Recovery.

* Sorumlu Yazar: Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Emin Gülmez T.B.M.Y.O., Otomotiv Teknolojisi Bölümü, Burdur, Türkiye, ORCID: 0000-0002-8577-1845, bayramkilic@mehmetakif.edu.tr

1. Introduction

Organic Rankine Cycle (ORC) is a highly efficient form of energy conversion and production that converts heat energy to electricity. In general, ORC converts the heat energy of the steam turbine into electrical energy through the electric generator connected to mechanical energy and then to the steam turbine. When water vapor is used as a fluid in conventional steam turbines, fluids with a molecular weight higher than water are preferred in ORC. Therefore, the turbine operates at lower speeds and the turbine parts operate at a lower pressure. This increases the life of the turbine. Higher energy efficiency is provided from the organic Rankine cycle using diesel engine waste heat recovery. Although a thermal loss of about 2% occurs during the energy conversion in the cycle, 72% -78% of the thermal power can be converted into mechanical energy in the turbine. The remaining 20%-25% is converted into electrical energy in the generator. For this reason, ORC is an effective electricity production method. ORC can be used in all systems with continuous waste heat release and is especially preferred for high efficiency at low temperatures [1].

Peris et al. have designed and built of ORC for tested. Their purpose is to determine system performance and system operating ranges. Their results show that the thermal power of ORC, produce electricity and useful heat increase with the rise of the thermal oil temperature and larger pressure ratios [2]. Zahra et al. have modeled and optimized an ORC for diesel engine waste heat recovery. R123, R134a, R245fa and R22 are selected as working fluids in their study. Results of their study show that the optimum working fluid is R123 in both of economical and thermo dynamical for of output power. They were showed that R123 has the highest investment cost but the environmental and fuel costs are the lowest [3]. Kolsch et al. have were investigated performance of methanol, toluene and SES36 in ORC. Results of their study show that methanol have the highest thermal performance, but also need the largest heat transfer area. Toluene has the lowest thermal efficiency for this study [4].

In the present study, the thermodynamic analysis of the organic Rankine cycle for the exhaust waste heat of a diesel engine as the heat source for five different working fluids was carried out. The exhaust gas outlet temperature is approximately 80-100 °C lower than the inlet temperature in diesel engines. This is because the exhaust gas temperature at the end of the combustion is equal to or above the dew point temperature. For this reason, approximately 80-100 °C of heat is discharged from the exhaust of the diesel engine. Table 1 shows the characteristics of the diesel engine selected for this study.

Table 1. Characteristics of diesel engine

Electric power of diesel engine	235.8 kW
Exhaust gas flow rate	0.275 kg s ⁻¹
Specific heat	1.063 kJ kgK ⁻¹
Exhaust gas temperature	519 °C

The schematic diagram of the ORC are shown in Figure 1. In this study R123, R245fa, R600a, R236ea and R134a working fluids were selected. Thermo-physical properties of working fluids are given in Table 2.

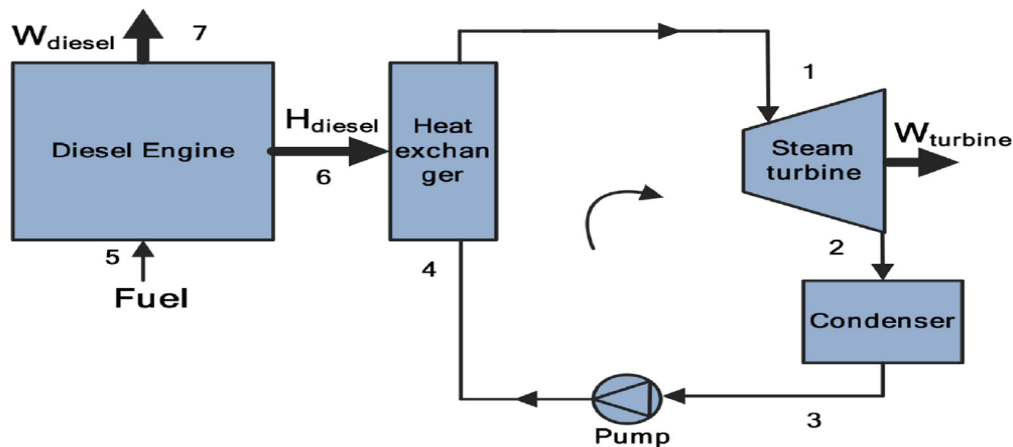


Figure 1. Schematic diagram of the diesel engine - ORC combined system

Table 2. Thermo-physical properties of working fluids

Fluid	Molecular weight (kg kmol ⁻¹)	Critical temperature (K)	Critical pressure (MPa)
R245fa	134.04	427	3.65
R123	152.9	183.7	36.6
R600a	58.1	407.8	3.64
R236ea	152	412.44	3.5
R134a	102	101.1	40.6

2. Material and Method

All of the machines (pump, turbine, boiler and condenser) constituting the steam power plant of continuous flow machine. Therefore, ORC consists of four continuous flow open systems. For this reason, the equation of the conservation of energy in the open flow system is written as follows [5-6];

$$q - w = h_{out} - h_{in} \quad (1)$$

The boiler and condenser do not work. When state change of pump and turbine were changed as isentropic, the equation of energy conservation for each element of the cycle can be expressed as follows;

Pump,

$$w_{p,in} = h_4 - h_3 \quad (2)$$

Boiler,

$$q_{in} = h_1 - h_4 \quad (3)$$

Türbine,

$$w_{t,out} = h_2 - h_1 \quad (4)$$

Condenser,

$$q_{out} = h_3 - h_2 \quad (5)$$

The thermal efficiency of ORC is calculated from the following correlation [7-10];

$$\eta_{ORC} = \frac{W_{net}}{q_{in}} = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}} \quad (6)$$

$$W_{net} = q_{in} - q_{out} = w_{t,out} - w_{p,in} \quad (7)$$

The thermodynamic values and calculations used in the analyzes were performed with EES program. Newton Rapson and Jacobi methods are used in the calculations.

3. Results and Discussion

Efficiency of ORC was calculated and are given in in Figure 2 for different condenser temperatures ($T_y = 25-30-35$ oC), R123, R245fa, R600a, R236ea and R134a organic working fluids and different evaporator temperatures. It is seen that the efficiency values also increase when the evaporator temperature in ORC increases. In Figure 2, it is seen that the highest efficiency value is 23.5% under operating conditions with working fluid R123, evaporator temperature $T_b=182$ oC and condenser temperature $T_y=25$ oC. In cycle, the lowest efficiency value is for refrigerant R134a.

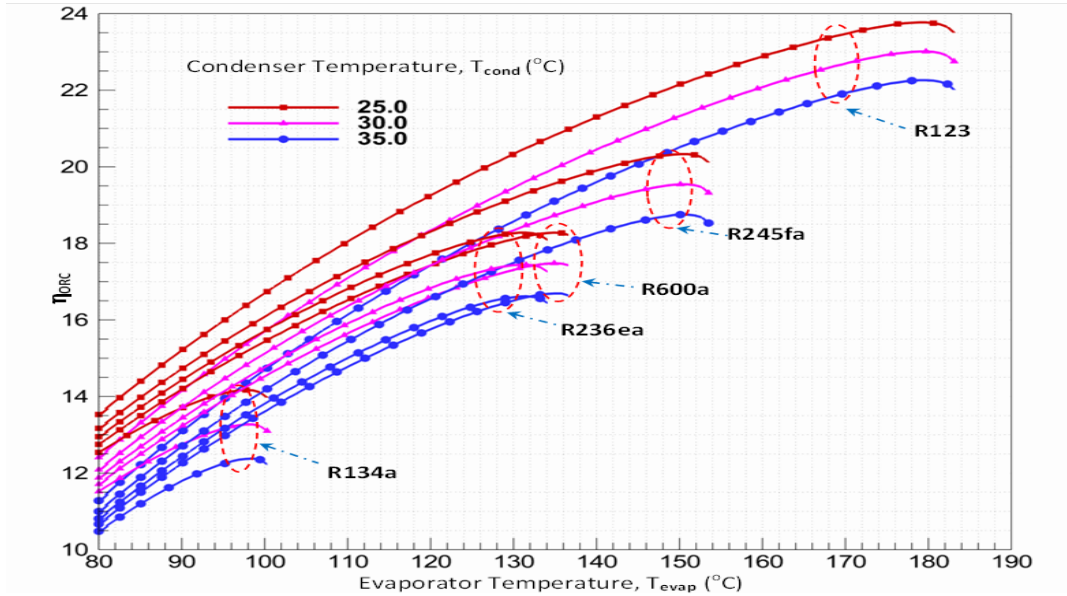


Figure 2. Variation of the efficiency value with condenser and evaporator temperature for different organic working fluids

Turbine power in organic Rankine cycle was determined to depend on evaporator temperature, condenser temperature and fluid flow rate and was given in Figure 3. It is seen that turbine power in organic Rankine cycle is higher for low fluid flow and condenser temperatures. It is seen that the highest turbine power value is 7.2 kW in operating conditions where the working fluid R123, condenser temperature is 25 °C and the fluid flow rate is 128 g/s. The lowest turbine power was found to be 3.1 kW in the cycle for refrigerant R236ea.

Efficiency of cycle was determined to depend on evaporator pressure and condenser temperature for R123, R245fa, R600a, R236ea ve R134a and was given Figure 4. Low condenser temperature and high evaporator pressure increases the efficiency in organic Rankine cycle. In Figure 4, it is seen that the highest efficiency in ORC for R123 working fluid. In cycle, the lowest efficiency value was found to be 10.5% for refrigerant R134a.

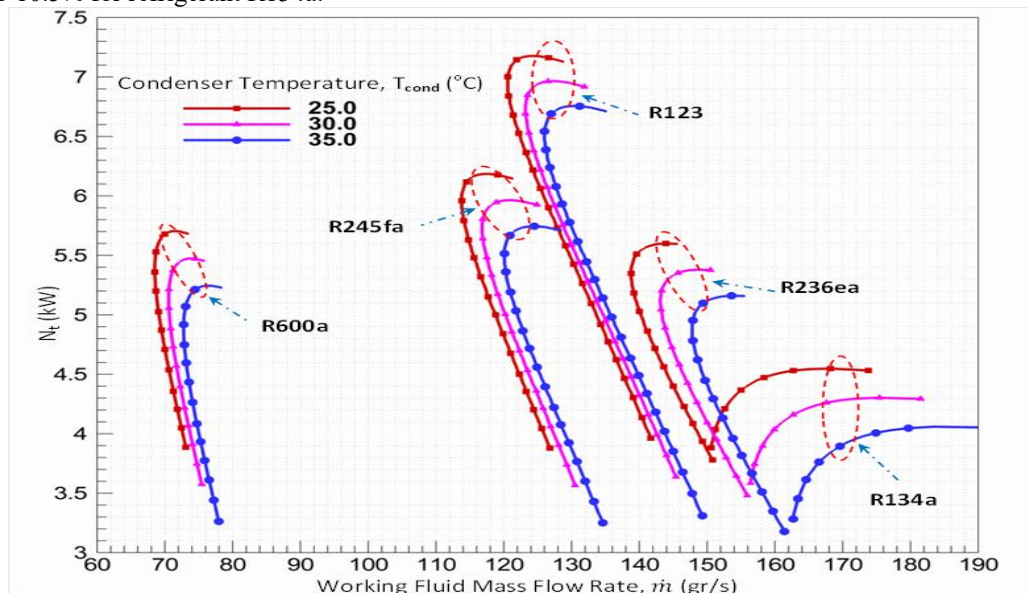


Figure 3. Variation of the turbine power with mass flow rate for different organic working fluids

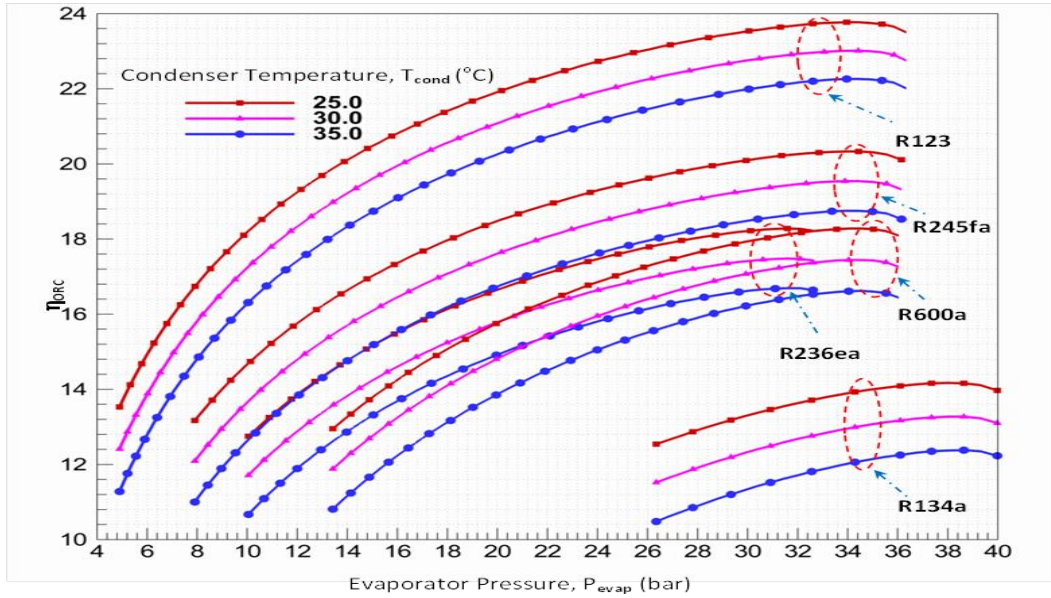


Figure 4. Variation of the efficiency values with evaporator pressure for different organic working fluids

When the relationship between evaporator temperature and turbine power in ORC is examined, increasing the evaporator temperature causes to increase turbine power. In Figure 5, it was seen that the highest turbine power is 7.2 kW under operating conditions where the evaporator temperature is 185 oC, working fluid R123 and condenser temperature is 25 oC. In the cycle, the lowest turbine power was found to 3.1 kW for refrigerant R134a.

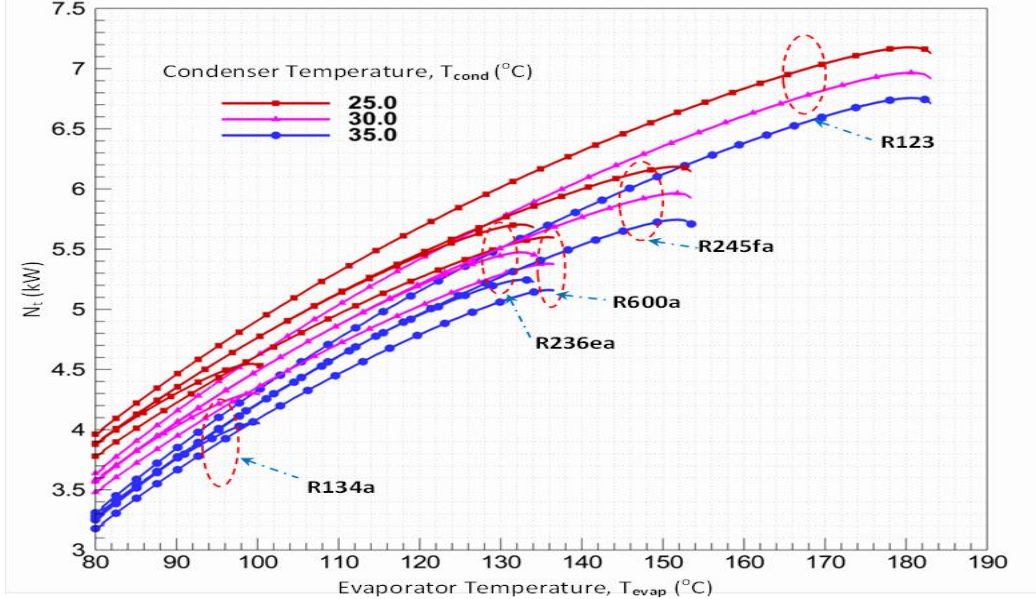


Figure 5. Variation of the turbine power with evaporator temperature for different organic working fluids

4. Conclusions

In this study, thermodynamic analysis of the organic Rankine cycle (ORC) for a diesel engine waste heat recovery was performed for different working fluids. R123, R245fa, R600a, R236ea and R134a are used as working fluid in the cycle. For temperature of the heat source in the exhaust of the diesel engine 80-180 oC was chosen. The required thermodynamic values and calculations for the analysis were calculated by the Engineering Equation Solver (EES) program.

According to the results obtained from the analysis; the highest efficiency of the organic Rankine cycle is 23.5% for the working conditions analyzed. Based on this, it can be concluded that the optimum working fluid is R123 in organic Rankine cycle for this

analysis of work. In addition, low condenser temperature and high evaporator temperature in organic Rankine cycles increase the efficiency of ORC.

Acknowledgement

The part of this paper was presented at the International Conference on Technology and Science (Techno-Science 2018), December 13-15, 2018, Antalya / Turkey.

References

- [1] Tchanche, B. Lambrinos, G. Frangoudakis, A. and Papadakis, G. Low-grade heat conversion into power using organic Rankine cycles-A review of various applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 3693-3979, 2011.
- [2] Peris, B. Navarro-Esbrí, J. Moles, F. Gonzalez, M. and Mota-Babiloni, A. Experimental characterization of an ORC (organic Rankine cycle) for power and CHP (combined heat and power) applications from low grade heat sources, *Energy*, vol. 82, pp. 269-276, 2015.
- [3] Zahra, H. Farzaneh, H. Mahdi, T. and Hassan, H. Thermo-economic environmental optimization of Organic Rankine Cycle for diesel waste heat recovery, *Energy*, vol. 63, pp. 142-151, 2013.
- [4] Kolsch, B. and Radulovic, J. Utilisation of diesel engine waste heat by Organic Rankine Cycle, *Applied Thermal Engineering*, vol. 78, pp. 437-448, 2015.
- [5] Verschoor, MJE. and Brouwer, EP. Description of the SMR cycle which combines fluid elements of steam and organic Rankine cycles, *Energy*, vol. 20, pp. 295-203, 1995.
- [6] Gang, P. Jing, L. and Jie, J. Analysis of low temperature solar thermal electric generation using regenerative Organic Rankine Cycle, *Applied Thermal Engineering*, vol. 30, pp. 998-1004, 2010.
- [7] Roy, JP. Mishra, MK. and Misra, A. Parametric optimization and performance analysis of a waste heat recovery system using Organic Rankine Cycle, *Eney*, vol.35, pp. 5049-5062, 2010.
- [8] Kazemi, N. and Samadi, F. Thermodynamic, economic and thermo-economic optimization of a new proposed organic Rankine cycle for energy production from geothermal resources, *Energy Conversion and Management*, vol. 121, pp. 391-401, 2016.
- [9] Çengel, AY. and Boles, AM. *Thermodynamics: An Engineering Approach*. New York: McGraw-Hill; 1994.
- [10] Kyoung, HK. Hyung, JK. And Se, WK. Exergy Analysis of Organic Rankine Cycle with Internal Heat Exchanger. *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, vol. 1, pp. 41-45, 2013.
- [11] Kılıç, B. Organik Rankine Çevriminin Ekserji Verimi Analizi, *Mesleki Bilimler Dergisi*, vol. 5(2), pp. 1-5, 2016.



Analysis of long-term natural streamflow trends in Upper Euphrates River Basin

Dogan Yildiz^{1*}, Dursun Yildiz², Mehmet Şamil Güneş³

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: :0000-0003-4563-2792)

² Hydropolitics Association, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5110-9960)

³ Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8873-9325)

(First received 21 December 2018 ve Kabul Tarihi 27 February 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.500548)

REFERENCE: Yildiz, D., Yildiz, D. & Gunes, M.S. (2019). Analysis of long-term natural streamflow trends in Upper Euphrates River Basin. *European Journal of Science and Technology*, (15), 118-131.

Abstract

The Euphrates River Basin system is of vital importance for water, food, energy security in Turkey, Syria, Iraq and under adverse climate change impact. It is therefore this paper mainly focuses on the naturally changing trend in long term streamflow with temperature and precipitation on the Upper Euphrates Basin that lies in Turkey. Because of the complexity of the setting up a basin-wide comprehensive hydrological model in the basin which have several large dams under operation ,we mainly used “run off data” in the statistical regression and time series analyses to predict the long term streamflow trends. We conclude that the annual natural flow has decreased mainly due to natural factors not because of construction dams. Obtained long term precipitation and air temperature trends in study area support the obtained streamflow trends. Results obtained from this study indicate that collaborative approach on transboundary water management between riparian’s is an urgent need.

Keywords: Middle East water, Water researches, Flow prediction, Transboundary waters, Multivariate Statistics.

Yukarı Fırat Havzasının Uzun Dönem Akım Eğilimlerinin Analizi

Öz

Fırat Nehri Havzası sistemi, Türkiye, Suriye, Irak'taki su, gıda, enerji güvenliği ve olumsuz iklim değişikliği etkisinden dolayı hayati öneme sahiptir. Bu çalışma, Türkiye'de bulunan Üst Fırat Havzası'nda sıcaklık ve yağış ile birlikte uzun dönemli akırsu akışında doğal olarak değişen eğilime odaklanmaktadır. Havzada, inşası devam etmekte olan büyük barajlarla birlikte, havza çapında kapsamlı bir hidrolojik model oluşturmanın karmaşıklığı nedeniyle, uzun vadeli akış eğilimlerini tahmin etmek amacıyla, regresyon ve zaman serileri analizlerinde akım verisini kullandık. Yıllık doğal akışın esas olarak, baraj inşalarından değil, doğal faktörlerden dolayı azaldığı sonucuna vardık. Çalışma alanında elde edilen uzun süreli yağış ve hava sıcaklığı eğilimleri, elde edilen akış şiddeti trendlerini desteklemektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, havzaya komşu olan ülkeler arasındaki sınır ötesi su yönetimi konusundaki işbirliği yaklaşımın acil bir ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ortadoğu suları, Su araştırmaları, Akım Tahmini, Sınıraşan sular, Çok değişkenli istatistikler

1. Introduction

The Euphrates River system (Figure 1) is a transboundary river system and of crucial significance for water, energy and food safety in Turkey, Syria and Iraq. Therefore, this river system plays a very important role in the architecture of security, peace and stability in the region. Therefore, managing the future sustainability of the river basin system is directly connected to the future of the region. This water management process will first require streamflow's to be defined with reliable data. The main target of this work is to predict the long term trend of the natural streamflow on the Upper Euphrates.

Sadik and Barghouti (Sadik and Barghouti 1994) stressed about the issue of the growing demands for water. Future predictions suggest more shortages (Al-Ansari 2013, Bazzaz and Prognoses 1993) and depletion of groundwater resources (Chenoweth et al. 2011). The current political circumstances is quite complex in Syria and Iraq (Al-Ansari 2013).

Studies concluded that the projected changes in the yearly surface-flows in entire scenarios put forward that the regions in Syria and Turkey are most unguarded to climate change within the basin because Turkey and Syria will see important reduces within yearly surface-flows (Bozkurt and Sen 2013). While many of the past works have examined tendencies in surface climatic factors in Turkey focused on precipitation and temperature models (Türkeş et al. 1995, Türkeş 1996).

Burn and Elnur (Burn and Elnur 2002) showed that there were similarities in the tendencies and models in the meteorologic and hydrologic factors. However, Lettenmaier (Lettenmaier et al. 1994) emphasized that the tendencies within flow are not completely similar to the changes in temperature and precipitation due to a combining of water management and climate impacts.

Kahya and Kalaycı (Kahya and Kalaycı 2004) strongly stressed the significance of a tendencies of hydrologic factors and presented trends computed for the long-term monthly streamflow data in Turkey. They found the way of tendencies is, in commonly, decrease.

Zhang (Zhang et al. 2001) showed that under particular geomorphic circumstances, the character of the river shows the combined basin answer to climatic strength. Peterson (Cayan and Peterson 1989), Dracup and Kahya (Kahya and Dracup 1993) also previously noted this point by identifying connections amongst surface hydro-climatic factors and the big scale atmospheric circulation.

The importance of the trend analysis of hydrologic variables is obvious. In fact, run off data is the most attractive variable to study using trend analyses of streamflow's in a basin that is accepted to not be showed to anthropogenic effects.

Consequently, hydrologic variables are suitable for detecting long-term trends in streamflow and monitoring climate change. Therefore, we try to define the trend in mean annual streamflow with a certain point on natural flow regime features (i.e., annual, monthly flows). The role of transboundary water management has gained vital importance, especially in regions such as Middle East and Central Asia the under the effects of climate change (Yıldız 2016).

The threat of climate change, adaptation measures and the necessity of collaboration might be a driving force to reach improved transboundary water diplomacy in the 21st century.

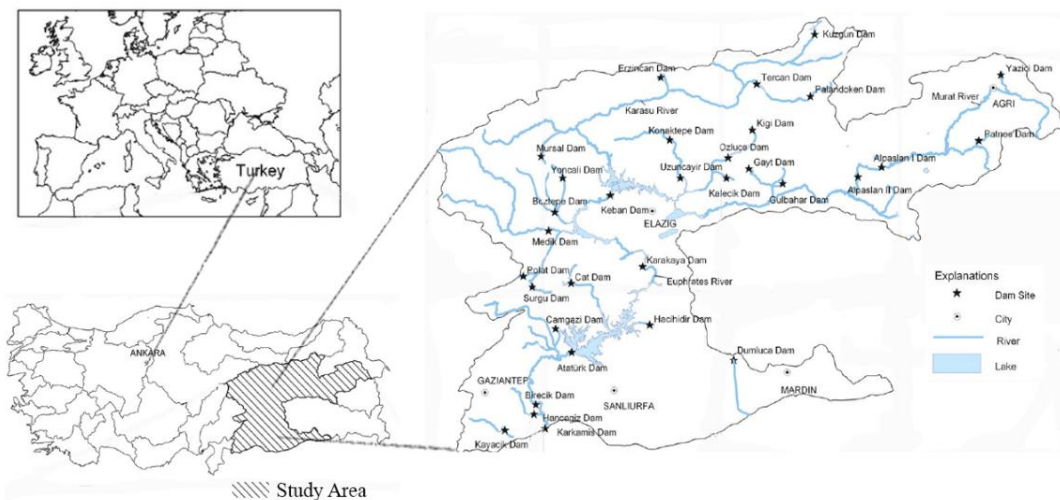


Figure 1. The Euphrates River Basin and completed dams

When we consider the climatic, social and security threats concerning water management, the Middle East needs this new hydro diplomacy more than ever before. The recommendations contained in this article may provide an opportunity to make a new realistic evaluation of the natural hydrological effects on streamflow's in the Euphrates for the future of the region.

2. Streamflow-Precipitation-Temperature Relationship

Many researches have used experimental rainfall runoff models to work the effects of climate change on hydrological events. The relationship between mean-annual precipitations, temperature, and runoff improved by Langbein (Langbein 1949), based on 22 drainage basins in the connected United States, were used by Stockton and Boggess (Stockton and Boggess 1979) to predict changes in the average-annual runoff of 18 designed areas throughout the United States for assorted climate scenarios.

Revelle and Waggoner (Revelle and Waggoner 1983) used the identical model as the base for researching the impacts of climate change on runoff in the Western United States (Leavesley 1994). Mirza (Mirza 1997) also used the Langbein model for a similar work

on the Ganges River Basin. Nevertheless, application of these experimental relationships to climate and basin circumstances different from those used in the original development of these purposes are contestable (Leavesley 1994).

In some studies (Fu et al. 2007, Fu et al. 2009) the streamflow–precipitation–temperature relationship clearly indicates that annual streamflow is related to precipitation in positive way and related to temperature in negative way.

As shown in Fig 2. this creates much greater streamflow sensitivity to precipitation than to temperature (Cai and Cowan 2008, Yu et al. 2010).

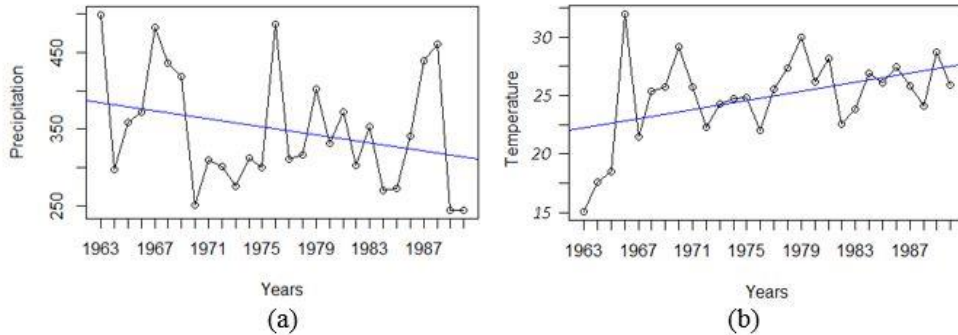


Figure 2. (a, b) (a) Long term annual precipitation trend (mm). (b) Long term annual temperature trend(0C).

Figure 2 shows general tendencies for precipitation and temperature belongs to Turkey. This figures guides to general structure of Turkey and how differ from Upper Euphrates River Basin. Runoff generation is controlled by precipitation. Higher temperatures can be taken as a second order effect. It is usually leading to increased evaporation and transpiration (McCarthy et al. 2001). Because of that, changes in precipitation characteristics naturally reduce catchment efficiency.

It results in large changes in streamflow. In fact the increase of temperature may not result in a change in hydrological processes directly. It could potentially lead to changes in precipitation characteristics that modify hydrological processes and streamflow generation. In this study we aim to predict the Long Term Natural Trend in streamflow on the Upper Euphrates using flow measurement data and compare the major factors long term trend influencing the streamflow.

Precipitation and temperature(Fig 2) trends over the Upper Euphrates Basin is obtained as parallel trends with long term streamflow trend in the same basin. In the literature survey we found some studies (BASIN 2013) on influence of climate change effects on the neighbouring river basin (Zeeb and Waste Management 2010).

The ultimate aim of this study is, therefore, to investigate the changes in the natural streamflow of the Upper Euphrates River for the 40-year period between 1960 to 2000. An attempt is also made to identify the climatical changes, precipitation behind a downward trend in the annual streamflow's.

3. Study Area & Data Description

3.1. Study Area

The Upper Euphrates River has its headwaters in Turkey and flows through Syrian territory before entering Iraq. Turkey occupies the upper portion of the river basin, as seen in Figure 3. The river basin extends over six countries: Iraq, Turkey, Syria, Saudi Arabia, Kuwait and Jordan. Turkey contains 28% of the Euphrates basin, while seventeen percent in Syria, forty percent for Iraq, fifteen percent for the S.Arabia. Euphrates is approximately 2800 km long, and Turkey contains 1,263 km. Turkey contains 62% of the catchment area of the river, while Syria contains 38%. 89% of the annual flow originates from Turkey while Syria, has 11% of the annual flow of the river (Naff and Matson 1984); the remaining areas contribute very little water. The total water potential of Euphrates River is in the order of 37 km³/yr, when 4 km³/yr contributed by Syria and 1 km³/yr from Iraq is added (Öziş et al. 2002).

The climate zone which Euphrates River originates can be characterized by hot, dry summers and cold, wet winters. In the mountainous headwater areas, precipitation predominates in autumn, winter and spring with a mixture of rain- and snowfall in winter (Bozkurt and Sen 2013).

In this study, approximately 40 years of flow measurement data that represent the natural flow regime in the upper Euphrates River to the extent possible. We searched sub-basins with finite water-regulation in the runoff generating field. The Karasu sub-basin, Murat sub-basin and Tohma sub-basin have been selected to use prediction model. A detailed investigation has been made to find if there has been any water storage, regulation and water use development works in the period over which the flow measurement data were gathered (Figure 3).



Figure 3. The Upper Euphrates River's main tributaries

3.2. Study Area

The Upper Euphrates River has its headwaters in Turkey and flows through Syrian territory before entering Iraq. Turkey occupies the upper portion of the river basin, as seen in Figure 3. The river basin extends over six countries: Iraq, Turkey, Syria, Saudi Arabia, Kuwait and Jordan. Turkey contains 28% of the Euphrates basin, while seventeen percent in Syria, forty percent for Iraq, fifteen percent for the S.Arabia. Euphrates is approximately 2800 km long, and Turkey contains 1,263 km. Turkey contains 62% of the catchment area of the river, while Syria contains 38%. 89% of the annual flow originates from Turkey while Syria, has 11% of the annual flow of the river (Naff and Matson 1984); the remaining areas contribute very little water. The total water potential of Euphrates River is in the order of 37 km³ /yr, when 4 km³/yr contributed by Syria and 1 km³ /yr from Iraq is added (Öziş et al. 2002).

There has been no significant water use development has been observed these three sub-basins.

Bagistas SGS (Stream Gauging Station): The drainage area of the Karasu tributary is 15562 km² at the Bagistas flow measurement station, numbered EIE 2156. It is based at an elevation of 865 m (asl: above sea level) and near Erzincan City and Bagistas town.

Kemaliye SGS: The drainage area of the Karasu tributary is 20687 km² at the Kemaliye Stream Gauging Station, numbered EIE 2109. It is based at an elevation of 810 m (asl) and near the town of Kemaliye, Erzincan City.

Palu SGS: The drainage area of the Murat tributary is 25515 km² at the Palu flow measurement station, numbered EIE 2102. It is based at an elevation of 859 m (asl) and near Erzincan City and Palu town (EIE 2000).

Tohma SGS: The drainage area of the Tohma tributary is 5822 km² at the Palu flow measurement station, numbered EIE 2145. It is based at an elevation of 935 m (asl) and near the town of Darende, Malatya City.

The flow measurement data used in this study are gathered from 46 stream gauging stations in the Euphrates Basin operated by Turkish General Directorate of State Hydraulic Works (DSI). In Table 1, one can see the descriptive statistics and coefficients for variation for each month in the Euphrates Basin. Results of a standardization process on the four stations is given in Figure 4. In all analysis, this study used for main tributary (with flow, temperature and precipitation data if available) and each tributary has different number of measurement stations belongs to itself. Table 1 shows which main station has how many stations in there. From Table 1, coefficient of variation shows us Bagistas has smaller change when we compare with other stations. Tohma has minimum value of mean and standard deviation as well as small range. Upper Euphrates Basin has nearly 50 flow stations according to State Hydraulic Works (DSI) and those station names given in Appendix A. Descriptive statistics will help us to make an assemble of Upper Euphrates River Basin flow structure.

Statistical normalization is a method used in the fields of statistical data processing, such as data mining. The aim of the method is to address data on one scale in case there is a variety of data. Another usage of the method is to compare the data on different scales with each other. The aim here is to transfer the data in different systems to a common system and make them comparable to each other using mathematical functions.

Table 1. Descriptive statistics of stations

	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Coefficient of Variation
Kemaliye	38	190,34	115,98	306,32	194,0163	45,19030	0,23292
Bagistas	37	109,00	104,00	213,00	148,7838	28,60666	0,19227
Palu	49	345,31	126,73	472,04	249,6533	82,23005	0,32937
Tohma	43	31,66	15,00	46,66	23,1380	6,94298	0,30006

* N: Number of Units (Belong to Certain Station), Mean: The Average Annual Flow, Range: Difference Between Minimum and Maximum Value

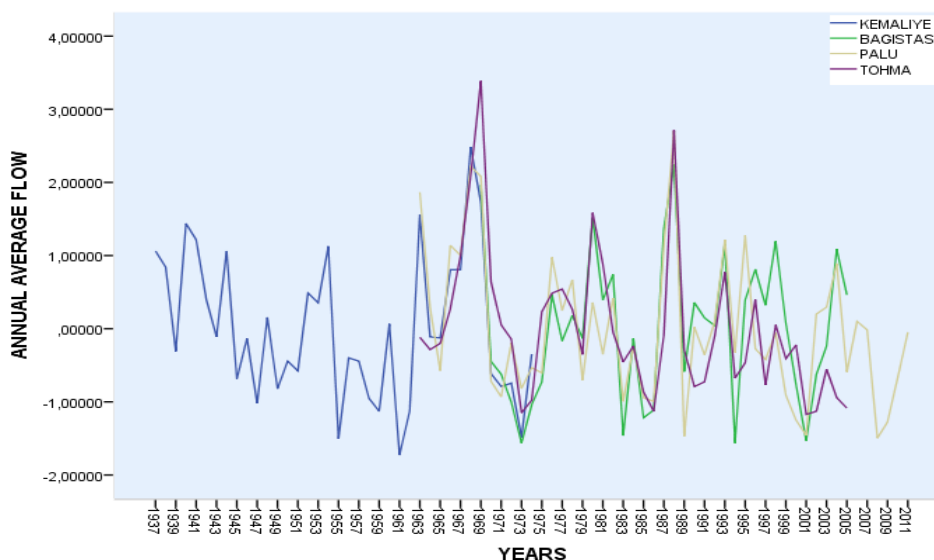


Figure 4. Comparison of the annual average flows (m3/year) measured by the Kemaliye, Palu, Tohma and Bagistas SGS after standardization

Standard Score: In the case of the existence of known parameters in the population, the standard score is used in order to normalize the error. The standard score is based on the normal distribution and run successfully with the population fitting with this distribution. It is simply obtained from the differences between each value and the mean using the standard deviation rate. As shown in Figure 4, the annual average flow variation is very similar among the Palu, Tohma and Kemaliye and Bağıstaş SGS catchment areas. The flows of the sub-rivers Palu, Bagistas and Tohma, considered as continuations of the main tributary, Kemaliye, strengthens the prediction, as seen in the graph. The question as to whether the sub-rivers can represent the main tributary is investigated by means of regression and time analysis models.

3.3. Data Description

This work mainly focuses on meanly streamflow, precipitation, temperature and their relationships on Upper Euphrates River basin and impacts on transboundary waters. We used those variables for determine hydrological and climatological characteristic of the Upper Euphrates River basin.

The Upper Euphrates River basin has 48 stream gauging station (SGS) whose data are available from both General Directorate of State Hydraulic Works (DSI) and General Directorate of Electrical Power Resources Survey and Development Administration (EIE) between the year of 1961 and 2000. We filter the data for location, length, and quality, four gauging stations remain to be used for analysis. All these stations have 24-year continuous daily measurements between 1972 and 2006. Due to lack of streamflow data in many stream gauging station, Bagistas, Tohma, Palu and Kemaliye stream gauging stations have been found more suitable for depict Upper Euphrates River basin with strong data structure (Fig 3).

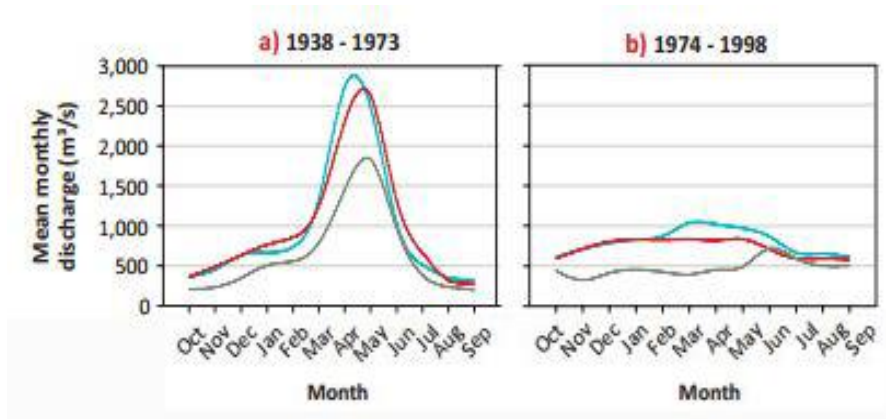


Figure 5. Mean monthly flow regime of the Upper Euphrates River at different gauging stations for different time periods (m³/s)

Source: Compiled by ESCWA-BGR based on data provided by the Ministry of Irrigation in the Syrian Arab Republic, USGS, 2012.

Keban Dam construction (1973) is the most important event on the region which has an impact on streamflow directly. From the previous studies, Euphrates River basin has had natural flow until the construction of Keban Dam in 1973.

Regulated river flow can be seen in Figure 5. This can barely be considered as variables. Regulated streamflow's are oftenly influenced by deliberate human activities (Fig 5) (von Storch and Zwiers 2002).

We also used daily surface temperature data and mean annual rainfall data in the analysis that were obtained from the Turkish State Meteorological Service for seven sites in (or near) the basins that feed the tributaries. In this part, seven precipitation gauging stations given in Table 3 Adiyaman, Elazig, Bingol, Erzincan, Malatya, Palu and Mus. are chosen to determine mean annual rainfall. In addition, air temperature data (0C) from seven meteorological station's namely Adiyaman, Elazig, Bingol, Erzincan, Malatya, Palu, and Mus, are used or the basin study.

It is known that the effect of global climate change on hydrological systems, especially on mountain snow melt and glacier melt, can modify the timing and amount of runoff in mountainous watersheds. Much of the precipitation falls in the highlands of the Euphrates and Tigris Basin as snow falls in winter season (Evans et al. 2004). Thus, any change in precipitation has a strong effect on the amount of snowpack that stores the water. Selected meteorological stations are in convenient locations with the used stream gauging stations. Long term precipitation data is obtained from The Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI) database and air temperature data is obtained from the Turkish General Directorate of Meteorology. Because of the lack of data gathering and organizing in Turkey, this work took some of data from The Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI) such as temperature and precipitation.

Long term reliable rainfall and temperature data between "1960-1990" are obtained from both organizations. Concerning flow measurement data, Kemaliye SGS seem to be a main streamflow gauging station which of it is data extend to 1973.

Kemaliye station is a most critical point of Upper Euphrates due to its own hydrological and climatological location.

4. Methods

The primary target of hydrological and climatological investigations are making estimations for future. Normally, such estimations need a formulation to be found which associates the dependent variable to one or more independent variables. The method in data analysis correspond to multivariate statistical analysis. Regression Analysis is one of the important method in the multivariate statistical analysis. For the support analysis of the results of such techniques, some of visual toolkits exist that shows visualization of hydrological and climatological data.

gCLUTO's (Graphical Clustering Toolkit) main project aims are to give an simple usage software that associates a variation of many clustering algorithms, which are capable of examining different kinds of data and finding clusters with different features.

In this paper, we also used time series techniques as Arima and Holt's Linear methods which are series of data usually interpret at consecutive. Time series techniques includes methods for analysis the data to show significant statistical outputs and to estimate approaching incident(s) with prior conditions to estimate data terms before they measure.

This section may be divided by subheadings. It should provide a concise and precise description of the experimental results, their interpretation as well as the experimental conclusions that can be drawn.

4.1. Regression Analysis

4.1.1. Univariate Regression

Simple linear regression is one of the easiest method for the prediction works. Regression equation is $Y = c + bX$. c shows the constant, b is the regression coefficient. From the regression equation we can do predictions about the model. The predicted parameter is demonstrated by Y (Schneider et al. 2010).

Table 2. The results of univariate regression models

Regression Models	Dependent Variable	Unstandardized Coefficients		Standardiz. Coefficients	t	Sig.	R ²
		B	Std. Er.	Beta			
Model 1	Palu	0,527	0,051	0,956	10,3	0,000	0,95
Model 2	Tohma	4,492	1,316	0,733	3,41	0,007	0,53
Model 3	Bagistas	1,335	0,190	0,962	7,02	0,002	0,92

The parameter Beta represents the regression coefficient. The Beta parameter gives us an information about Y. With continuous Y, the Regression Coefficient shows the changes in the Y per unit of changes in the X (Schneider et al. 2010). Dependent and independent variables are used for three models.

The Kemaliye Stream Gauging Station (SGS) was terminated because of the filling of the reservoir created by the Keban Dam. The station had been in the reservoir of the Keban dam. The Kemaliye SGS has been used as dependent variable in all models because it describes natural streamflow's during a long period of flow without dam regulation and irrigation effects. In order to predict the natural discharge in the main Euphrates River, we should add the most representative sub-basins into the model as of dependent variables.

Multicollinearity effects made the model univariate. Each of the independent variables is able to define to a dependent variable, as seen in above. The regression results are given in Table 2.

All three univariate regression model has same independent variable (Kemaliye SGS natural flow data, as X in regression model). For evaluate differences between that three main tributary belongs to Upper Euphrates River Basin, we use the connection point as independent variable. Three main measurement stations from Upper Euphrates, can be characterize by mainly the natural flow data, respectively Bagistas, Palu and Tohma SGS (as Y in regression model). In addition to support natural flow data, other two essential indicator added improved regression model as temperature and precipitation in multiple regression section.

When we consider each of the three models according to significance level (for the significant model Sig. value has to be smaller than 0.05 at the %95 significance degree), we realize that the characteristics of the Palu model are the highest among them. The Palu model has the highest coefficient of determination (R²) 95, 6%. Therefore, Model 1 can be taken as the most convenient model to describe the Kemaliye (independent variable) SGS. Model 3 (Bagistas) is the second convenient model, with a coefficient of determination of 92,5%. The Tohma model is the least descriptive one. Model 1 also has smaller standard error.

Regression equations can be build from statistics from Table 2. In this point we do not need to make write regression equations because, improved and more reliable regression models will be determine in next section. Figure 6 shows the prediction values of the three models, as well as the natural flow values at the Kemaliye SGS until 1974.

Evaluating the effect of hydrological factors on long-term natural stream flow changes in the region and for the transboundary waters between riparian countries (Turkey and Syria in this case), we need the find and select most suitable station to make future predictions for The Upper Euphrates River Basin. That is why we began use to simple predictions from regression analyses as a preliminary work.

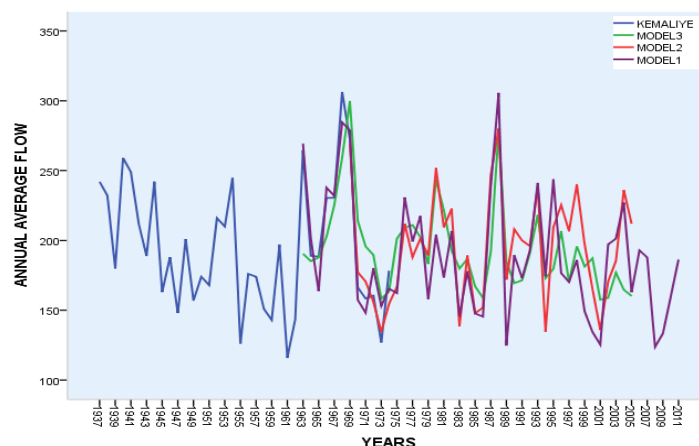


Figure 6. Comparison of regression models used to predict values.

As shown in Figure 6, Model 1 is the most suitable one to extend the Kemaliye SGS values. Model 1 is also the most suitable model to obtain long-term annual streamflow trend in the Upper Euphrates with natural streamflow as possible.

4.1.2. Multiple Regression

Multiple regression analysis is one of the substantial statistical method that use the relation between two or more variable and dependent variable could be estimated from the model. Multiple regression analysis is commonly used in the biological sciences, marketing, the social sciences, and many different fields (Neter et al. 1996).

Table 3. (a, b, c)

(a) Upper Euphrates Regression Model Description

Dependent Variable(Y)	Kemaliye (streamflow)
Independent Variables(X) Details	Precipitation, Temperature
Precipitation Data Point(Station names)	Temperature Data Point(Station names)
1. Adiyaman(38.80N, 41.50E)	1. Adiyaman(38.80N, 41.50E)
2. Elazig(38.70N, 39.20E)	2. Elazig(38.70N, 39.20E)
3. Bingol(36.90N, 40.50E)	3. Bingol(36.90N, 40.50E)
4. Erzincan(39.70N, 39.50E)	4. Erzincan(39.70N, 39.50E)
5. Malatya(38.43N, 38.08E)	5. Malatya(38.43N, 38.08E)
6. Palu(38.90N, 40.00E)	6. Palu(38.90N, 40.00E)
7. Mus(38.70N, 41.50E)	7. Mus(38.70N, 41.50E)

(b) ANOVA results

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	32912,135	2	16456,067	18,046	0,000
Residual	10030,636	11	911,876		
Total	42942,770	13			

(c) Upper Euphrates regression model results

Model	Unstandardized Coef.		Standardized Coef.	Sig.	R	R ²
	B	Std. Error	Beta			
1 (Constant)	-101,91	54,078		0,086		
PRECIPITATION	0,576	0,105	0,801	0,000	0,87	0,76
TEMPERATURE	1,399	0,573	0,356	0,033		

In the multiple regression analysis, within or near Upper Euphrates River basin there are fourteen precipitation and temperature stations are been selected for analyzing relationship between precipitation and temperature on streamflow and generate prediction model from relationships(at the %5 confidence interval).

Table 3(a, b, c) gives us information about multiple regression model. Kemaliye is a dependent variable as we use in univariate regression model trials. Multiple regression assumptions checked for each analyses and none of the assumptions did not violate the analysis such as Multivariate Normality, Multicollinearity, Autocorrelation and Homoscedasticity. Main measurement stations belongs to precipitation and temperature variables are given below. In the model we used mean of these independent variables. Also one can see that stations given with exact map coordinates.

ANOVA (Analysis of Variance) used for testing (Table 3b) if there is relationship between dependent variable and estimator variables. Due to p-value has a confidence interval under 0. 05(%5), so we can say that there is a relation between dependent variable and estimators. On the other hand, regression outputs from Table 3c, one can see that all variables are significant.

Biased and unbiased regression (such as ridge, principal component regression etc.) models are experimented as an alternate regression models.

It was decided that multiple regression technique is the most efficient method among these processes. From the regression results, R2 value is 0.76(%76). This result shows that seventy-six percent of change can computable for independent variables from Table 3c. The most important point obtained here that precipitation and temperature data can be used for the predict stream flow of Kemaliye for 1974 and after.

4.2. gCLUTO Clustering

Main idea of using gCLUTO software is selected streamflow gauging stations in the Upper Euphrates River Basin represent the all area. On the other hand, in our work visualization is the one of the significant part in all paper. Therefore we will support our work with gCLUTO software visualizations. This toolkit is a powerful cluster software which has a great visualization outputs. We change the way of usage of this software from text mining area to hydrological statistic.

In gCLUTO analysis the result is through an order of k-1(k is the input cluster number). The first cluster divided into two cluster. After, one of these cluster is chosen and divided. The dividing process continues until the wanted number of cluster is accomplished (de Andrade Lopes et al. 2005).In the datasets section we concluded that Bagistas, Tohma, Palu and Kemaliye streamflow stations can represent Upper Euphrates River Basin. With this software we will strongly support the idea that those flow stations can be present the region. All Upper Euphrates River streamflow stations (48 FMS or SGS according to Hydraulic State Work) are included in the gCLUTO software solution. Visual results are very significant and clear to understand from Figure 7.

gCLUTO uses the variety of cluster algorithms and uses SenseCluster which is a cluster tool gives to tool perfect interface (Steinbach et al. 2000). In this visual method, we will use correlation similarity and I2 criteria function. The definitions of correlation similarity measure and I2 criterion function are given below.

Correlation coefficient similarity measure:

$$corr(x, y) = \frac{(x - \bar{x}, y - \bar{y})}{\|x - \bar{x}\| \|y - \bar{y}\|} \quad (1)$$

I2 criterion function:

$$\sum_{r=1}^k \sum_{d_i \in S_r} \cos(d_i, C_r) = \sum_{r=1}^k \|D_r\| \quad (2)$$

The I2 criteria functions is used by the k-means process with the correlation similarity measure (Steinbach et al. 2000). Using this method, every cluster is shown by its centroid vector, and the purpose is to find the answer that maximize the similarity measure of the cluster that is assigned to a certain cluster.

gCLUTO clustering methods provide excellent visualizations of the cluster analysis and hierarchical trees. We call the visualizations the matrix and mountain visualization, respectively. The detailed explanation of two visual tools will take place in the part of this study.

Figure 7 shows the matrix visualization graph obtained from the data of nearly 50 stream gauging stations over 40 years from different main tributaries. In Figure 7, Kemaliye (SGS No: 2109), Palu (SGS No: 2102), Bagistas (SGS No: 2156), and Tohma (SGS No: 2145) stream gauging stations are more visible than other stations. This means that these four stream gauging stations represent the main characteristics of the Upper Euphrates Basin better than the other stations. In other words, the other stream gauging stations do not represent the effects of different sub-basins on the entire Euphrates Basin as reliable as the four stations mentioned above.

As shown in figure 7, the Palu Stream Gauging Station (SGS No: 2102) representing the Murat River tributary is the most characterized station in the Upper Euphrates Basin. The Kemaliye SGS, Bagistas SGS and Tohma SGS are also other descriptive factors in the Upper Euphrates Basin. This case is very informative of the situation in the matrix visualization graph in Figure 7.

Arima Model: In statistics and some other sciences such as econometric ARIMA (autoregressive integrated moving average) model is showed by three identification. This identification parameters are p(number of lags), d(degree of differencing) and q(order of the moving average) are non-negative integers. When the Arima result is 0, a unit is not necessary for this method. For the ARIMA model, the equation is given below (McCleary et al. 1980, DeLurgio 1998).

$$Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \dots + \alpha_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \tag{3}$$

ε_t is named white noise, while α_i represents the constant.

4.3.1. Holt Linear Model

- Simple Exponential Smoothing

This model is suitable for series if we do not use trend or seasonal effects. Simple exponential smoothing is the most likely to an Arima time series (0.1.1).

- Holt's Linear Trend

Holt's linear model is convenient for sequences. In this method uses linear trend without seasonal effects. Holt's linear method is more widely used than Brown's time series model but can get much longer to calculate for bigger data. Usage of Holt's method is alike to an Arima model (0.1.1).

When two models are compared, with regard to the stationary R-square, Ljung-Box Q and significant criteria, the Holt Linear Method is supposed to be a better model than ARIMA. The graphic output of these models is presented in Figure 8.

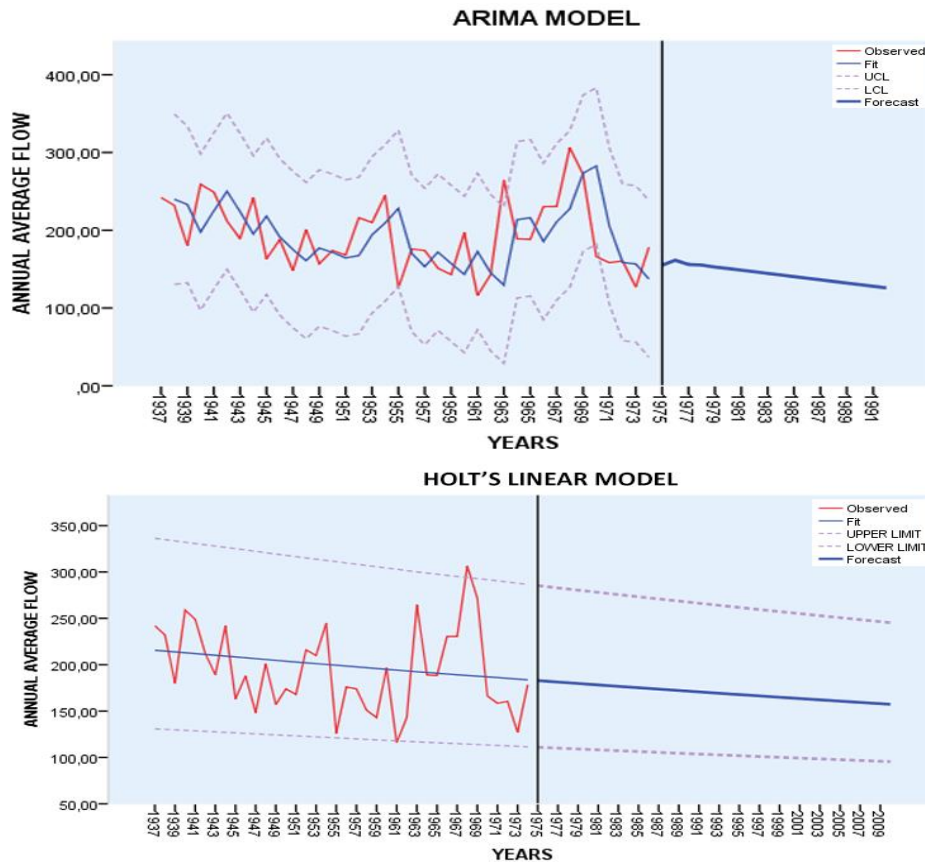


Figure 8. Comparison of ARIMA and Holt's method

With reference to Figure 8, when two models are compared to each other, based on long-term tendencies, Holt's Method is observed to be more suitable than ARIMA. In the study, the model statistics for the Holt Linear and ARIMA Models are given in previous sections.

5. Discussion and Conclusions

Because of eight-year civil war in Syria and emerging political instability in the region, water networks, water infrastructures and institutional capacities of water resource management institutional capacities in Iraq and Syria have considerably destroyed and diminished (Michel et al. 2012). Especially, Syrian internal conflict (civil war) and the deterioration of bilateral political relations between any pair of the riparian's constitute disabling political background in the basin.

In one hand this political instability in the region makes transboundary water collaboration difficult, on the other hand climate change threats on water resources makes this collaboration inevitable. In order to show the climate change threat on the Euphrates River natural flow, it is better to study main Euphrates River through detailed hydrological modelling with a short time step. But several large dams has been built along the main Euphrates River since the late 1970's.

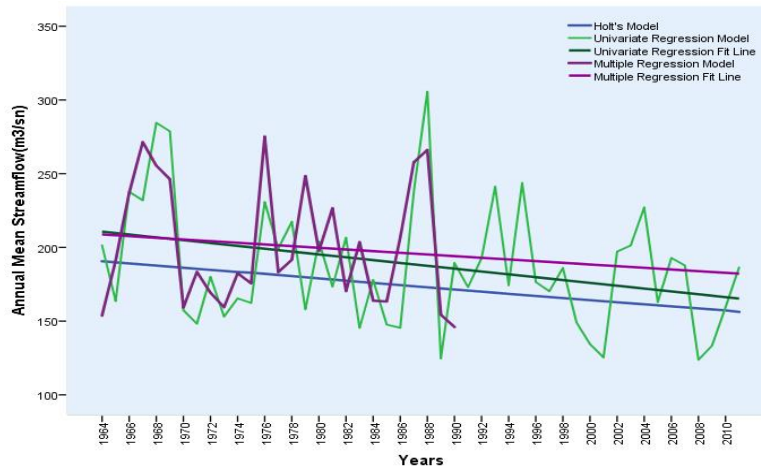


Figure 9. Comparison of all methods

Therefore, some of the main stream gauging stations have been out of operation drawing by reservoirs. Rest of the stream gauging stations data have comprised reservoir's regulation effects. This data need to normalize by accounting dam reservoir operation, released water for energy and agricultural use and reservoir evaporation. Because of the very complex operation system in the main Euphrates River, this efforts would face many uncertainties to get reliable data. For instance; Although Upper Euphrates River is mainly fed by snow melt, due to the lack of long term snow depth data, available rain precipitation data is generally used. But it wouldn't give satisfactory results for comprehensive hydrological model and normalization studies.

It is also known that simulation of the complicated hydrological and land surface physical processes using streamflow–precipitation–temperature relationship based on historical data could be deployed to benchmark outputs of hydrological models, whose exact form is always unknown and validation of such models remains a fundamental challenge (Sankarasubramanian et al. 2001). All these uncertainties mentioned above have made the “normalization of the discharge to use in a comprehensive basin hydrological model” difficult. Considering this current special circumstances in the basin, we decided to use statistical modelling by using run off data obtained from suitable sub basins of the Upper Euphrates River. Data obtained three large sub-basins without reservoir influence and free of other anthropogenic effects investigated in this study. It indicates statistically significant shifts in the annual streamflow's between the compared two consecutive 1961–2000 year periods.

The objective of the study is, therefore, to analyse and evaluate the impact of hydrological factors on long-term natural streamflow changes over Upper Euphrates River Basin. Results obtained from all of the methods used in this study are given in Figure 9. All of these results are free from the dam's reservoir and other anthropogenic effects on the river flow. They clearly show that downward streamflow trend of the Euphrates River mainly due to natural factors and it is prone to continue. Basin wide long-term climate monitoring at low and high level elevations is a key issue to detecting trends in precipitation, snow depth and snowmelt streamflow relations.

Due to emerging climate change effects, predicting change in water resources availability has become more vital in the region. Taking into account this necessity, we study and conclude that the natural flow of the Upper Euphrates River is decreasing mainly due to natural factors.

Addressing the observed and potential future downward trends of the streamflow will require a new urgent collaborative approach among riparian states to avoid emerging water crises in the region. Although the Euphrates River is completely regulated by dams in the upper part of the basin, the decreasing trend of natural annual flow may result new water management policies, operational rules and less water release to downstream.

This study clearly indicates that an urgent water collaboration between riparian's are more essential than ever before. Considering decreasing natural trend of streamflow and less available water, it should also be noted that this basin urgently need a benefit sharing approach more than water sharing approach between riparian states.

Funding

This work was funded by Yildiz Technical University under Scientific Research Projects numbered 2014-01-05-KAP01, named "Modeling, Forecasting and Estimation of Social, Economic and Hydrological Effects of Water Supply and Demand in Turkey on the Basin Level".

Acknowledgements

The present study was part of a research project funded by The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK, Project no. 1649B021506912).

Appendix A

Upper Euphrates River Basin Flow Measurement Stations

21-001 KARASU-KIRKGÖZE	21-121 MAMIKAND.-KAPIKAYA
21-004 MURAT NEHRI-DIYADIN	21-132 PULUR ÇAYI-SAKALIKESİK
21-019 HACIHIDIR D.-MİLLET BAHÇESİ	21-133 SOFRAZ ÇAYI-ALİŞAR
21-026 KEYSUN ÇAYI-KÖKPINAR	21-138 FINDIKD.-FINDIK
21-040 AKPINAR D.-GİRLEVİK	21-140 CİP SUYU-CİP BARAJ GİRİŞİ
21-052 SERÇEME DERESİ-EĞERTİ	21-141 MANDALIK SUYU-YAPILIKÖY
21-056 ABDULHARAP SUYU-ÇAT	21-148 HATRENK SUYU-AKTUZLA
21-074 GAYIT DERESİ-LEK	21-152 KÖŞK SUYU-KÖŞK
21-084 CUMA ÇAYI-CUMA	21-157 SEYHAN ÇAYI-BETONKÖPRÜ
21-085 LİZ SUYU-CAMİLİ	21-166 HINIS SUYU-HINIS
21-087 KARAHALİT ÇAYI-A.KARAHALİT	21-167 KİSRE ÇAYI-NECMETTİN AĞA KOMU
21-096 SULTANSUYU-HARA	21-168 BÜYÜKÇAY D.-KARAGÖBEK
21-099 MERCAN D.-BİRİK	21-169 AHIRÇİMEN .-HALİL ÇAVUŞ
21-101 AYVALI TOHMA SUYU-ORTAŞUĞUL	21-170 PİSYAN ÇAYI-AŞAĞI ÇAT
21-103 EYMİR SUYU-EYMİR	21-173 MURAT SUYU-TAZEKENT
21-104 YAZICI-ALTINÇAĞIR	21-175 BAŞKÖY DERESİ-KISIKKOMU
21-105 NADİRŞEYH SUYU-KESİKKÖY	21-181 KEKLİK DERESİ-AŞAĞI YENİCE
21-116 LEZGİ ÇAYI-AŞAĞI ÇAT	21-186 GÖKSU N.-SAVRAN
21-193 KOZLUK ÇAYI-AŞAĞI ŞIHLAR	21-216 HANOBA ÇAYI-DÖNERDERE
21-200 KARASU-ILICA	21-220 SOLAN DERESİ-GÖKSU
21-201 GÜZEL DERE-KARABACAK	21-226 TUZLA ÇAY-GÖKÇEŞEYH
21-203 HINIS ÇAYI-KARAÇOBAN	21-243 BEKTAŞ D.-AKÇAKALE
21-210 BÜYÜKÇAY-TAŞKALE	26-008 PAMUKLUK Ç.-DİLAVER KÖPRÜSÜ
21-213 ADADERE-AĞAÇLI	26-028 GÜZELDERE-KUŞÇUKÖYÜ
26-040 MEHMEDİYAN ÇAYI-TEPECİK BARAJI	

References

- Al-Ansari, N., 2013. Management of Water Resources in Iraq: Perspectives and Prognoses. *Engineering*, 5, 667-684.
- BASIN, K. A. K. S. R. 2013. Desk Study-Analysis of Trends.
- Bazzaz, F. J. W. i. t. A. W. P. and Prognoses, H. U. 1993. Global climatic changes and its consequences for water availability in the Arab World. 243-252.
- Bozkurt, D. and Sen, O. L. J. J. o. h. 2013. Climate change impacts in the Euphrates–Tigris Basin based on different model and scenario simulations. 480, 149-161.
- Burn, D. H. and Elnur, M. A. H. J. J. o. h. 2002. Detection of hydrologic trends and variability. 255(1-4), 107-122.
- Cai, W. and Cowan, T. J. G. r. l. 2008. Evidence of impacts from rising temperature on inflows to the Murray-Darling Basin. 35(7).
- Cayan, D. R. and Peterson, D. H. J. G. M. 1989. The influence of North Pacific atmospheric circulation on streamflow in the west. 55, 375-397.
- Chenoweth, J., et al. 2011. Impact of climate change on the water resources of the eastern Mediterranean and Middle East region: Modeled 21st century changes and implications. 47(6).
- de Andrade Lopes, A., Minghim, R. and Melo, V. 2005. Creating Interactive Document Maps Through Dimensionality Reduction and Visualization Techniques.
- DeLurgio, S. A., 1998. Forecasting principles and applications. Irwin Professional Publishing.
- Evans, J. P., Smith, R. B. and Oglesby, R. J. J. I. J. o. C. 2004. Middle East climate simulation and dominant precipitation processes. 24(13), 1671-1694.
- Fu, G., Charles, S. P. and Chiew, F. H. J. W. R. R. 2007. A two-parameter climate elasticity of streamflow index to assess climate change effects on annual streamflow. 43(11).
- Fu, G., Charles, S. P. and Yu, J. J. C. c. 2009. A critical overview of pan evaporation trends over the last 50 years. 97(1-2), 193.
- Kahya, E. and Dracup, J. A. J. W. r. r. 1993. US streamflow patterns in relation to the El Niño/Southern Oscillation. 29(8), 2491-2503.
- Kahya, E. and Kalaycı, S. J. J. o. H. 2004. Trend analysis of streamflow in Turkey. 289(1-4), 128-144.
- Langbein, W. B., 1949. Annual runoff in the United States.
- Leavesley, G. H., 1994. Modeling the effects of climate change on water resources—a review. *Assessing the Impacts of Climate Change on Natural Resource Systems*. Springer, 159-177.
- Lettenmaier, D. P., Wood, E. F. and Wallis, J. R. J. J. o. C. 1994. Hydro-climatological trends in the continental United States, 1948-88. 7(4), 586-607.
- Lu, W. X., et al. 2014. The analysis of groundwater levels influenced by dual factors in western Jilin Province by using time series analysis method. 4(3), 251-260.
- McCarthy, J. J., et al., 2001. Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- McCleary, R., et al., 1980. Applied time series analysis for the social sciences. Sage Publications Beverly Hills, CA.
- Michel, D., et al. 2012. Water challenges and cooperative response in the Middle East and North Africa.
- Mirza, M. J. J. E. H. 1997. The runoff sensitivity of the Ganges river basin to climate change and its implications. 5, 1-13.
- Naff, T. and Matson, R. C. 1984. Water in the Middle East: conflict or cooperation?
- Neter, J., et al., 1996. Applied linear statistical models. Irwin Chicago.
- Öziş, Ü., et al. 2002. Güneydoğu Anadolu Projesi ve su siyaseti. 422, 35-45.
- Revelle, R. R. and Waggoner, P. E. J. M. 1983. Effects of a Carbon Dioxide-Induced Climatic Change on Water Supplies in 7 the Western United States. 419, 432.
- Sadik, A.-K. and Barghouti, S. J. W. i. t. A. W., Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 1994. The water problems of the Arab world: Management of scarce water resources. 4-37.
- Sankarasubramanian, A., Vogel, R. M. and Limbrunner, J. F. J. W. R. R. 2001. Climate elasticity of streamflow in the United States. 37(6), 1771-1781.
- Schneider, A., Hommel, G. and Blettner, M. J. D. Ä. I. 2010. Linear regression analysis: part 14 of a series on evaluation of scientific publications. 107(44), 776.
- Steinbach, M., Karypis, G. and Kumar, V., A comparison of document clustering techniques. ed. KDD workshop on text mining, 2000, 525-526.
- Stockton, C. W. and Boggess, W. R. 1979. Geohydrological implications of climate change on water resource development.
- Türkeş, M., Sümer, U. M. and Kiliç, G. J. I. J. o. C. 1995. Variations and trends in annual mean air temperatures in Turkey with respect to climatic variability. 15(5), 557-569.
- Türkeş, M. J. I. j. o. C. 1996. Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. 16(9), 1057-1076.
- von Storch, H. and Zwiers, F. W., 2002. Statistical analysis in climate research. Citeseer.
- Yıldız, D. J. W. S. N. 2016. Natural Diminishing Trend of the Tigris and Euphrates Streamflows is Alarming for the Middle East Future. 47(2), 279-297.
- Yu, J., et al. 2010. Impacts of precipitation and temperature changes on annual streamflow in the Murray–Darling Basin. 35(3), 313-323.
- Zeeb, S. J. R. B. S. D. f. D., Competence Center Water and Waste Management, p. 2010. Adaptation to climate change in the Kura-Aras River Basin.
- Zhang, X., et al. 2001. Trends in Canadian streamflow. 37(4), 987-998.



Dynamic Modeling and Simulation of Quadrotor for Different Flight Conditions

Oguz Kose^{2*}, Tugrul Oktay¹

¹ Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Kayseri (ORCID: 0000-0003-4860-2230)
² Gümüşhane Üniversitesi, Kelkit Aydın Dogan MYO, Kelkit/Gumushane (ORCID: 0000-0002-8069-8749)

(First received 3 January 2019 and in final form 2 March 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.507222)

REFERENCE: Oktay, T. & Kose, O.. (2019). Dynamic Modeling and Simulation of Quadrotor for Different Flight Conditions. *European Journal of Science and Technology*, (15), 132-142.

Abstract

In this paper, a four-rotor unmanned aerial vehicle was modeled, a control system was designed and performance evaluations were made. For the control system, a separate mathematical model of the unmanned aerial vehicle longitudinal, lateral and vertical take-off and landing operations is omitted and is expressed as a state space model. The mathematical model of the wind disturbances that will affect the unmanned aerial vehicle during the flight was created and the situation was added to the space model. Proportional Integral Derivative (PID) control algorithm was used as the control. Unmanned aerial vehicle modeling was done in Solidworks and simulations were done in Matlab / Simulink program.

Keywords: Quadcopter, Quadrotor, Unmanned air vehicle, Zankacopter, PID, State space model, Control

1. Introduction

The quadrotor or quadcopter are unmanned aerial vehicles capable of vertical take-off and landing (VTOL). Maneuverability is high. Although control systems are complex, they are structurally simple. It has four rotors and the rotors are positioned equal distance from the quadrotor center of mass. They utilize the forces produced by the rotors and are unmanned aerial vehicles with rotating wing, which form the thrust force by means of propellers. They differ from the standard helicopters in using rotors with fixed-pitch blades. When the quadrotor first came out, the pilots controlled many control parameters and their performance was quite bad. However, thanks to advanced control techniques and advanced high capacity sensors, the pilots have very little workload and their performance has improved considerably.

Quadrotors are structurally simple but uncontrolled aerial vehicles, which are very interesting and have been researched and developed, although the control systems are complex. In recent years, the interest shown on these vehicles has left behind the interest shown to manned aircraft. Quadrotors have many advantages over standard helicopters or manned aircraft. Some of these advantages; low production costs, the ability to add features according to need and eliminate the risk of the pilots in hazardous work environments[1]. In particular, quadrotors have been used in many areas, including hazardous and dangerous areas where people cannot dissolve. In civilian use, quadrotors are being used in areas such as hobby, agriculture, aerial photography and firefighting. In military use, quadrotors are used in many areas such as determination of enemy forces, port and coast security, land search, surveillance, mine screening, long distance and high altitude discoveries, spy communication, determination of radar systems[2]. It has attracted the attention of many researchers due to its success in search and rescue, exploration and security[3, 4].

In F. Solc[5], the unmanned aerial robot quadrotor full control and modeling was working on. His mathematical model was nonlinear and benefited from Newtonian laws of motion. He used the state variables approach in the control system and made the simulations by creating the model.

² Corresponding Author: Gumushane University, Kelkit College of Aydın Dogan, Gumushane, ORCID: 0000-0002-8069-8749, oguzkose24@gmail.com

In Prabha[6], he studied on X quadrotor modeling and simulation. Its dynamic performance was realized by using PID algorithm which is nonlinear quadrotor control.

In Jun Wang[7], he studied the types of quadrotor attitude when disturbance was applied. In this study, tried to show the difference between Fuzzy Logic Controller and PID Controller. As a result, the Fuzzy Logic controller is faster than the PID controller and showed with graphs.

In G. Ononiw[8], he worked on a quadrotor for payload delivery. In the design, the quadrotor was controlled via wireless from the ground control center. PID was used as the control. The results showed that the quadrotor showed stable attitude with PID control and compensated under disturbance.

In S. C. Quebe [9] explored topics relevant to navigation and control of a small indoor unmanned aerial vehicle. The observer or estimator was designed using an Extended Kalman Filter and estimation quadrotor model parameters using an SIR particle filter.

In Jun and Yuntang [10], they analyzed quadrotor dynamic characteristics and PID controller behavior. The authors designed a controller to adjust the position and orientations of the quadrotor. At the designed PID controller, the system overshoot the small, steady state error approximately zero, the system response was quick and also the result of the increase in quadrotor performance and a strong stabilize.

In [11] A. Alkamachi a trajectory tracking controller was proposed, in which four PID controllers are designed to stabilize the quadrotor and to achieve the required altitude and orientation. However, a nested loop PID controllers are designed to track the desired x and y position of the quadrotor.

Silva[12] has worked on the practical control and model of the unmanned aerial vehicle. He adjusted the angular velocities and yaw rate with the PID algorithm. As a result he has received enough practical results with low cost equipment.

In the study of Jong and Lyou's[13], they applied the PID algorithm for quadrotor hover and tacking. They have also been tested in real time and have determined the stady state error for the hover to be 8 cm at the maximum z-axis and 7 cm at the X and Y axes.

In the study of Abhijit Das etc.[14], they conducted a research on the realization of a quadrotor with the backstepping control algorithm. The quadrotor had a non-linear structure. The quadrotor dynamics were simplified in the helicopter form. As a result, they successfully implemented the backstepping control.

In Yogianandh, Riaan and Glen[15], they conducted a study on the quadrotor dynamic model. They used PD for quadrotor control and simulated matlab / simulink.

In Hossein[16], a quadrotor using the PID controller worked on attitude control. PID tuning used analitic method. Matlab / Simulink made simulations and concluded that the recommended controller provided adequate performance.

Kada [17] designed a control system with robust PID. The system uses the deadbeat response and model reduction techniques to overcome the conventional shortcomings. The test results on the controller showed that a good time domain response is suitable for effective resourcefulness and real time applications in uncertainty situations of the system.

In the study of Praveen and Pillai[18], PID control was applied for quadrotor stabilization. PID parameter gains are selected according to error. In Matlab, they made a prototype of quadrotor and applied PID to it. Quadrotor tests working and performance and obtains the desired outputs.

2. Material and Methods

In this section, information about the quadrotor mathematical model and control system is given.

2.1. Quadrotor Description

As shown in Figure 1, the quadrotor has four rotors to produce the propeller powers of $f_i = 1,2,3,4$. Four rotors are two pairs (1, 3 and 2, 4). One pair rotates clockwise, while the other rotates counter clockwise in order to balance the torques.

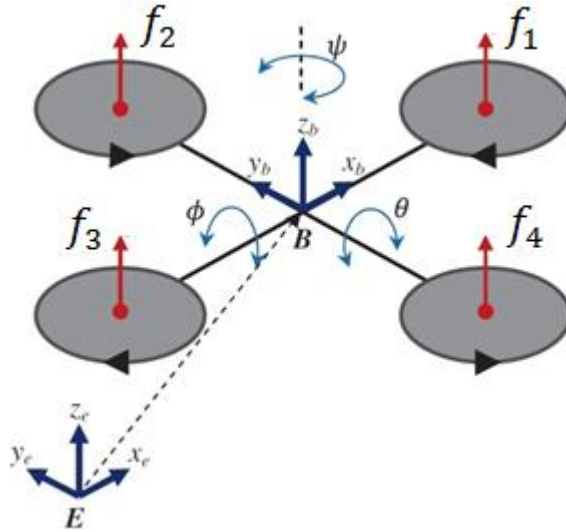


Figure 1: Quadrotor configuration

The yaw movement is obtained from the counter torque between each of the propellers. While each rotor rotates at an equal angular velocities, the net yaw is zero, but the velocities difference between the two pairs creates a positive or negative yaw. Forward or backward motion which is related to the pitch, θ angle can be obtained by increasing the back (front) rotor thrust and decreasing the front (back) rotor thrust. Finally, a sideways motion which is related to the roll, ϕ angle can be achieved by increasing the left (right) rotor thrust and decreasing the right (left) rotor thrust. Figure 2 shows the various movements of a quadrotor due to changes in rotor speeds.

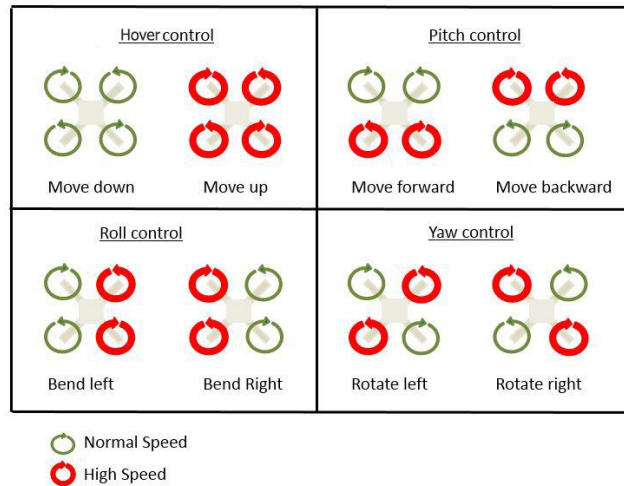


Figure 2: Quadrotor movement

2.2. Quadrotor Kinematic Model

The quadrotor has two coordinate systems, as shown in Figure 1. These:

- Earth Fixed Frame (E)
- Body Fixed Frame (B)

Some quadrotor physical properties are measured in earth fixed frame (roll, pitch and yaw angles, angular velocities), while some properties are measured in body fixed frame (linear accelerations)[19].

The rotation matrix R between earth fixed frame and body fixed frame is obtained by three consecutive rotations roll, pitch and yaw (Euler's angle) about x , y and z axes, respectively.

R rotation matrix is as follows;

$$R = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \psi & \cos \theta \sin \psi & -\sin \theta \\ \sin \psi \sin \theta \cos \psi - \cos \phi \sin \psi & \cos \phi \cos \psi + \sin \phi \sin \theta \sin \psi & \sin \phi \cos \theta \\ \cos \phi \sin \theta \cos \psi + \sin \phi \sin \psi & \sin \theta \cos \phi \sin \psi - \sin \phi \cos \psi & \cos \theta \cos \phi \end{bmatrix} \quad (1)$$

T is a matrix for angular transformations[20].

$$T = \begin{bmatrix} 1 & \sin(\phi) \tan(\theta) & \cos(\phi) \tan(\theta) \\ 0 & \cos(\phi) & -\sin(\phi) \\ 0 & \frac{\sin(\phi)}{\cos(\theta)} & \frac{\cos(\phi)}{\cos(\theta)} \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.3 Quadrotor Dynamic Model

The dynamic model of quadrotor is obtained from Newton–Euler approach. Here, the Newton-Euler approach is used with the following assumptions[21, 22]:

- the structure is rigid and symmetric,
- the propellers are rigid,
- the thrust and the drag are proportional to the square of speed,
- ground effect is neglected.

If the velocities of the propellers are expressed by f_i , the total thrust generated by the four propellers is defined by f_i as follows:

$$T = \sum_{i=1}^4 f_i \quad (3)$$

Where f_i [23].

$$f_i = 4.392399 \times 10^{-8} \cdot \text{RPM} \cdot \frac{d^{3.5}}{\sqrt{\text{pitch}}} (4.23333 \times 10^{-4} \cdot \text{RPM} \cdot \text{pitch} - V_0) \quad (4)$$

RPM is propeller rotations per minute; pitch is propeller pitch, in inches; d is propeller diameter, in inches; and V_0 is the forward airspeed, freestream velocity, or inflow velocity (depending on what you want to call it), in m/s.

The inputs must apply to the system in order to control the behavior of the quadrotor. The torque applied to the device along an axis is the difference between the torques applied by each propeller on the other axes[22]. The values of the input forces and torques proportional to the squared speeds of the rotors[24],

$$\left. \begin{aligned} f_t &= U_1 = b(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \\ \tau_x &= U_2 = bl(-\Omega_1^2 - \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \\ \tau_y &= U_3 = bl(\Omega_1^2 - \Omega_2^2 - \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \\ \tau_z &= U_4 = d(\Omega_1^2 - \Omega_2^2 + \Omega_3^2 - \Omega_4^2) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Where l the distance between any rotor and the center of the quadrotor, b is the thrust factor and d is the drag factor. Here, lift and drag factors of the propeller blade (b and d respectively) are calculated from the Blade Element Theory

The full quadrotor non-linear dynamic model with the x, y, z motions as a consequence of a pitch, roll and rotation is as follows.

$$\begin{aligned}
 \dot{x} &= w[s(\phi) c(\psi) + c(\phi) c(\psi) s(\theta)] - v[c(\phi) s(\psi) - c(\psi) s(\phi) s(\theta) + u[c(\psi) c(\theta)]] \\
 \dot{y} &= v[c(\phi) c(\psi) + s(\phi) s(\psi) s(\theta)] - w[c(\psi) s(\phi) - c(\phi) s(\psi) s(\theta) + u[c(\theta) s(\psi)]] \\
 \dot{z} &= w[c(\phi) c(\theta)] - u[s(\theta)] + v[c(\theta) s(\phi)] \\
 \dot{\phi} &= p + r[c(\phi) t(\theta)] + q[s(\phi) t(\theta)] \\
 \dot{\theta} &= q[c(\phi)] - r[s(\phi)] \\
 \dot{\psi} &= r \frac{s(\phi)}{c(\theta)} + q \frac{s(\phi)}{c(\theta)} \\
 \dot{u} &= (vr - wq) + g s(\theta) & \dot{v} &= (wp - ur) - g c(\theta) s(\phi) \\
 \dot{w} &= (uq - vp) - g c(\theta) s(\phi) \frac{U_1}{m} \\
 \dot{p} &= \frac{I_y - I_z}{I_x} qr + \frac{U_2}{I_x} \\
 \dot{q} &= \frac{I_z - I_x}{I_y} pr + \frac{U_3}{I_y} \\
 \dot{r} &= \frac{I_x - I_y}{I_z} pq + \frac{U_4}{I_z}
 \end{aligned} \tag{6}$$

2.4 State Space Model

Nowadays, it is well known that one of main advantages of the state space method is modelling of multiple-input and multiple-output control system. When the equations of a system under control is highly nonlinear it is necessary to applicate linearization[25]. The state space model is a mathematical model of a system as a set of input, output, and state variables associated with the equation from the first order. The state space model is expressed as follows:

$$\begin{aligned}
 \dot{x} &= Ax(t) + Bu(t) \\
 y &= Cx(t) + Du(t)
 \end{aligned}$$

Where $x(t)$ state vector, $u(t)$ control or input vector, $y(t)$ output vector, A system vector, B input vector, C output vector and D feed forward vector.

If the non-linear equations given in equation 6 are linearized, the following equations are obtained:

$$\left. \begin{aligned}
 \dot{\phi} &= p \\
 \dot{\theta} &= q \\
 \dot{\psi} &= r \\
 \dot{p} &= \frac{\tau_x}{I_x} \\
 \dot{q} &= \frac{\tau_y}{I_y} \\
 \dot{r} &= \frac{\tau_z}{I_z} \\
 \dot{u} &= -g\theta \\
 \dot{v} &= g\phi \\
 \dot{w} &= \frac{f_t}{m} \\
 \dot{x} &= u \\
 \dot{y} &= v \\
 \dot{z} &= w
 \end{aligned} \right\} \tag{7}$$

$[x \ y \ z \ \phi \ \theta \ \psi]^T$ the vector containing the linear and angular position of the quadrotor in the earth frame and $[u \ v \ w \ p \ q \ r]^T$ the vector containing the linear and angular velocities in the body frame[26]. u input or control vector: $u = [f_t \ \tau_x \ \tau_y \ \tau_z]^T$

After the linearization is done and the input matrix is determined, the equation 7 is divided into two parts. The first part represents the longitudinal flight x, z, u, w, q, θ and the second part is the y, v, p, r, ϕ and ψ values representing the lateral flight. Accordingly, for the longitudinal and lateral flight state space models are as follows.

Longitudinal flight state space model:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{z} \\ \dot{u} \\ \dot{w} \\ \dot{q} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -g \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ z \\ u \\ w \\ q \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1/m & 0 \\ 0 & 1/I_y \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_t \\ \tau_y \end{bmatrix}$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ z \\ u \\ w \\ q \\ \theta \end{bmatrix}$$

Lateral flight state space model:

$$\begin{bmatrix} \dot{y} \\ \dot{v} \\ \dot{p} \\ \dot{r} \\ \dot{\phi} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & g & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ v \\ p \\ r \\ \phi \\ \psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1/I_x & 0 \\ 0 & 1/I_z \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tau_x \\ \tau_z \end{bmatrix}$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ v \\ p \\ r \\ \phi \\ \psi \end{bmatrix}$$

2.5 Control System

PID is a control mechanism used in common industrial control systems. It is also widely used in quadrotor control. A PID controller calculates the difference between a set point and a desired set point in the process as an "error" value. The controller tries to reach the set point by downloading the minimum value of the error.

The control output is passed through three separate mathematical operations and is obtained by summing. System effects are as follows.

Proportional Effect (P): Effective as the output multiplied by a certain "gain" value of the error. Calculates the current error.

Integral Effect (I): The effect of the control is proportional to the sum of all the errors in the moment up to the moment the effect is calculated. In other words, the integral effect means the sum of errors the system has made in the past.

Derivative Effect (D): It has a proportional effect on the output of the system, according to the change of the error. So it calculates the prediction of the future error.

75% of the applications in the industry have PID applied. Karl Arstom defines this algorithm which has a wide application area as follows:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(v) d(v) + K_d \frac{de(t)}{d(t)} \quad (8)$$

Where, K_p proportional coefficient, K_i integral coefficient and K_d is the derivative coefficient.

If a traditional PID structure is represented by blocks, it is as follows:

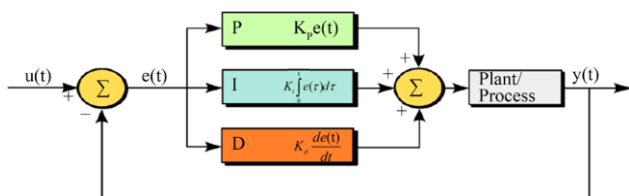


Figure 3: Traditional PID controller

Accordingly quadrotor hover, longitudinal and lateral flight PID would be as follows, respectively:

$$u(t) = K_{ph} e(t) + K_{ih} \int_0^t e(v) d(v) + K_{dh} \frac{de(t)}{d(t)} \quad (9)$$

$$u(t) = K_{p\theta} e(t) + K_{i\theta} \int_0^t e(v) d(v) + K_{d\theta} \frac{de(t)}{d(t)} \quad (10)$$

$$u(t) = K_{p\phi}e(t) + K_{i\phi} \int_0^t e(v)dv + K_{d\phi} \frac{de(t)}{dt} \quad (11)$$

where K_{ph} , K_{ih} , K_{dh} hover PID coefficients, respectively. $K_{p\theta}$, $K_{i\theta}$, $K_{d\theta}$ longitudinal flight PID coefficients, respectively. $K_{p\phi}$, $K_{i\phi}$, $K_{d\phi}$ lateral flight PID coefficients, respectively.

UAVs missions in real-life applications encounter significant disturbances generated by atmospheric turbulence, which is a complex physical phenomenon and is typically modeled using elements from stochastic fluid theory. Therefore, it is preferable to pass a white noise through a forming filter in order to generate a proper wind-gust model. In literature, two main forming filters can be found: the Dryden and the von Karman. It is von Karman approach that is utilized in this paper[27].

According to Von Karman model, longitudinal and lateral state space models are as follows.

Longitudinal flight state space model[28]:

$$\dot{x} = Ax + B_{\eta} + C_{\xi}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{u} \\ \Delta \dot{w} \\ \Delta \dot{q} \\ \Delta \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_u & X_w & 0 & -g \\ Z_u & Z_w & u_0 & 0 \\ M_u & M_w & M_q & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u \\ \Delta w \\ \Delta q \\ \Delta \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{\delta} & X_{\delta r} \\ Z_{\delta} & Z_{\delta r} \\ M_{\delta} & M_{\delta r} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_e \\ \Delta \delta_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -X_u & -X_w & 0 \\ -Z_u & -Z_w & 0 \\ -M_u & -M_w & -M_q \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_g \\ w_g \\ q_g \end{bmatrix}$$

Lateral flight state space model[29]:

$$\dot{x} = Ax + B_{\eta} + C_{\xi}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{v} \\ \Delta \dot{p} \\ \Delta \dot{r} \\ \Delta \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_v & Y_p & -(u_0 - Y_r) & -g \cos(\theta_0) \\ L_w^* + \frac{I_{xz}}{I_x} N_v^* & L_p^* + \frac{I_{xz}}{I_x} N_p^* & L_r^* + \frac{I_{xz}}{I_x} N_r^* & 0 \\ N_v^* + \frac{I_{xz}}{I_z} L_v^* & N_p^* + \frac{I_{xz}}{I_z} L_p^* & N_r^* + \frac{I_{xz}}{I_z} L_r^* & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta v \\ \Delta p \\ \Delta r \\ \Delta \phi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{\delta} & X_{\delta r} \\ Z_{\delta} & Z_{\delta r} \\ M_{\delta} & M_{\delta r} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_e \\ \Delta \delta_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -X_u & -X_w & 0 \\ -Z_u & -Z_w & 0 \\ -M_u & -M_w & -M_q \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_g \\ w_g \\ q_g \end{bmatrix}$$

3. Results and Discussion

The top and side view of the quadrotor according to the model drawn in Solidworks are as follows.

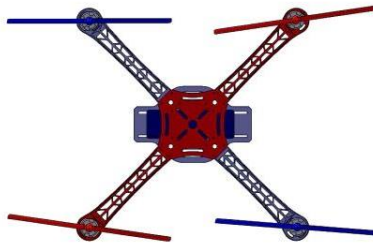


Figure 4: Quadrotor top view

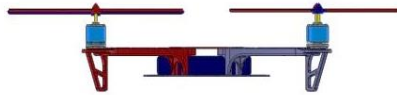


Figure 5: Quadrotor side view

The parameters of quadrotor obtained from the drawn model are given in the table below.

Table 1: Quadrotor data

QUADROTOR
$I_x=28.8 \times 10^{-3}$
$I_y=28.8 \times 10^{-3}$
$I_z=26 \times 10^{-3}$
$m=0.82$
$l=0.22$
$b=1.0741 \times 10^{-7}$
$d=1.8099 \times 10^{-9}$

Depending on the model and parameters quadrotor hover, longitudinal and lateral flight simulink models are as follows, respectively.

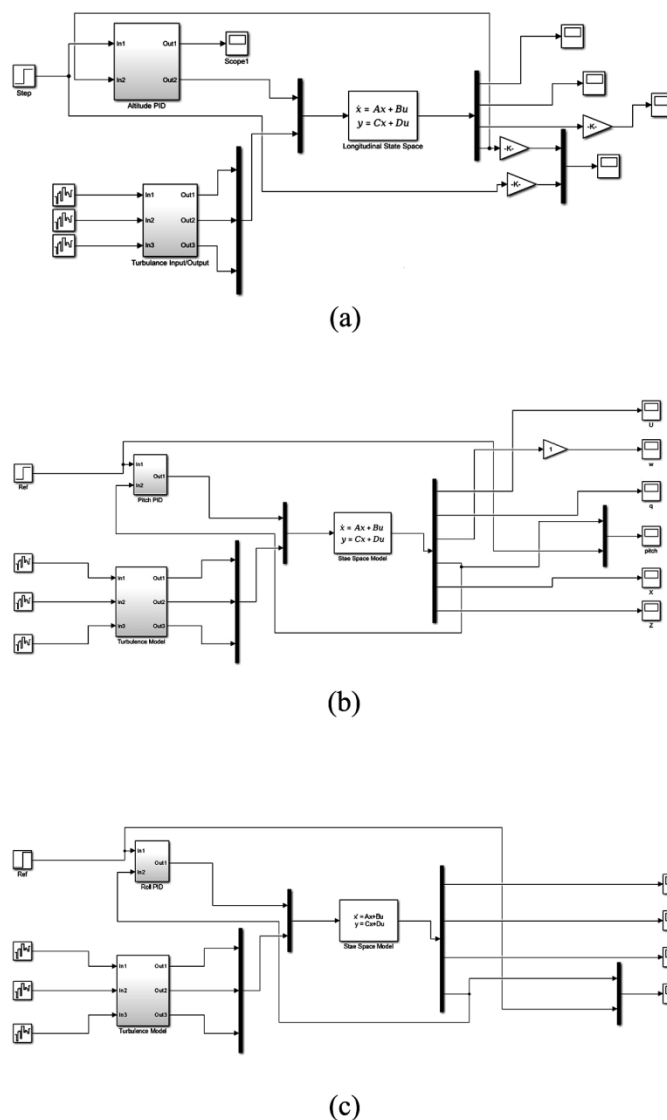


Figure 6: Simulink model (a) Hover flight (b) Longitudinal flight (c) Lateral flight[30-32]

The state space models created for each flight mode were entered into the state space model in the simulink separately. In addition, to test that quadrotor works in a disturbances environment, the Von Karman Model has been added to the simulation.

The PID block coefficients generated for the simulation are listed in the following table.

Table 2: PID coefficient

	Hover Flight	Longitudinal Flight	Lateral Flight
P	50	50	100
I	5	5	100
D	50	50	15

The following graphs are obtained for each flight mode according to the simulation results.

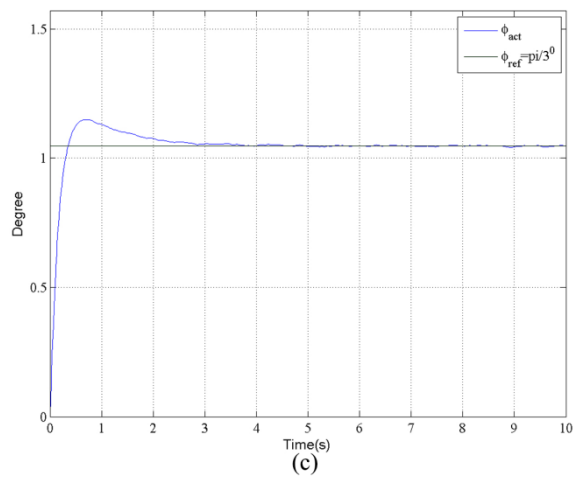
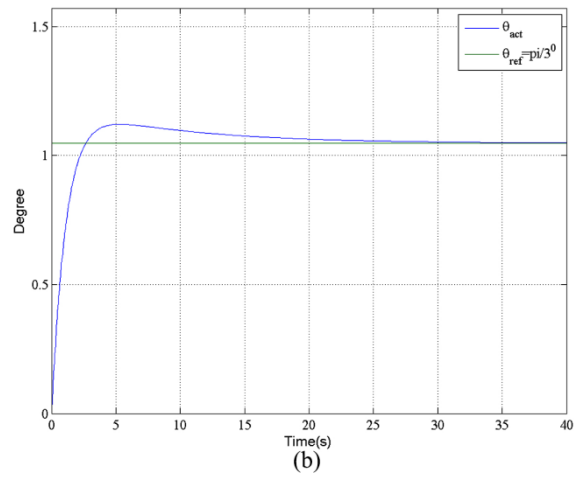
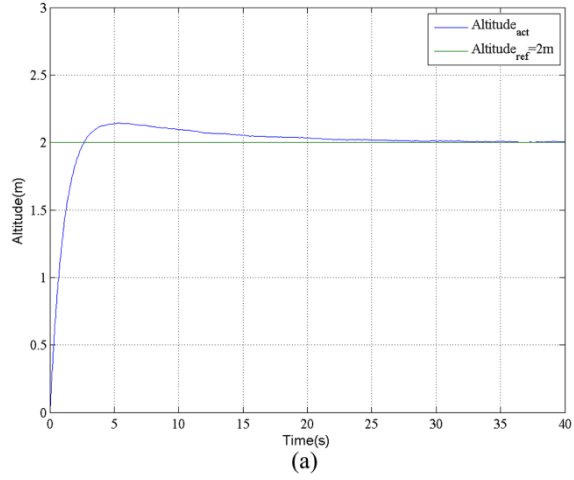


Figure 7: Simulation results (a) Hover flight (b) Longitudinal flight (c) Lateral flight

4. Conclusions

In this study, longitudinal, lateral and hover flight of quadrotor is discussed. Quadrotor model was created in Solidworks program and data obtained from it was made with Simulink model.

The PID algorithm was used to control the quadrotor. The von Karman turbulence model was used for the turbulence model. The controller that we suggested showed during the longitudinal, lateral and hover flight that the quadrotor we developed has successfully controlled the dynamic models in both noise and noiseless environment.

During longitudinal, lateral and hover flight, rise time, overshoot, settling time, steady state error which is criteria for design performances were obtained within satisfactory borders.

During longitudinal, lateral and hover flight, demanded circle was controlled successfully.

During longitudinal, lateral and hover flight, saturation function on the control surface obeyed successfully.

During longitudinal, lateral and hover flight, other state variables did not demonstrate catastrophic behavior.

References

- [1] H. Celik, T. Oktay, and I. Turkmen, "İnsansız Küçük Bir Hava Aracının (Zanka-I) Farklı Türbülans Ortamlarında Model Öngörülmesi Kontrolü ve Gürbüzlük Testi," *Journal of Aeronautics & Space Technologies/Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, vol. 9, 2016.
- [2] R. Austin, *Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment* vol. 54: John Wiley & Sons, 2011.
- [3] G. Hoffmann, D. G. Rajnarayan, S. L. Waslander, D. Dostal, J. S. Jang, and C. J. Tomlin, "The Stanford testbed of autonomous rotorcraft for multi agent control (STARMAC)," in *Digital Avionics Systems Conference, 2004. DASC 04. The 23rd*, 2004, pp. 12. E. 4-121.
- [4] J. P. How, B. BEHIHKE, A. Frank, D. Dale, and J. Vian, "Real-time indoor autonomous vehicle test environment," *IEEE control systems*, vol. 28, pp. 51-64, 2008.
- [5] F. Šolc, "Modelling and Control of a Quadcopter," *Advanced in Military Technology*, vol. 1, pp. 29-38, 2007.
- [6] M. Prabha, R. Thottungal, and S. Kaliappan, "Modeling and Simulation of X-Quadcopter Control," *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*. [online] Available at: <http://www.ijraset.com/fileserve.php>, 2016.
- [7] J. Wang, S. Xin, and Y. Zhang, "Modeling and Control of a Quadrotor Vehicle Subject to Disturbance Load," 2017.
- [8] G. Ononiwu, O. Onojo, O. Ozioko, and O. Nosiri, "Quadcopter Design for Payload Delivery," *Journal of Computer and Communications*, vol. 4, pp. 1-12, 2016.
- [9] S. C. Quebe, "Modeling, Parameter Estimation, and Navigation of Indoor Quadrotor Robots," 2013.
- [10] J. Li and Y. Li, "Dynamic analysis and PID control for a quadrotor," in *Mechatronics and Automation (ICMA), 2011 International Conference on*, 2011, pp. 573-578.
- [11] A. Alkamachi and E. Erçelebi, "Modelling and genetic algorithm based-PID control of H-shaped racing quadcopter," *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 42, pp. 2777-2786, 2017.
- [12] M. Silva, A. Ribeiro, M. Santos, M. Carmo, L. Honório, E. Oliveira, *et al.*, "Design of angular pid controllers for quadcopters built with low cost equipment," in *System Theory, Control and Computing (ICSTCC), 2016 20th International Conference on*, 2016, pp. 216-221.
- [13] J. T. Jang, S. T. Moon, S. Han, H. C. Gong, G.-H. Choi, I. H. Hwang, *et al.*, "Trajectory generation with piecewise constant acceleration and tracking control of a quadcopter," in *Industrial Technology (ICIT), 2015 IEEE International Conference on*, 2015, pp. 530-535.
- [14] A. Das, F. Lewis, and K. Subbarao, "Backstepping approach for controlling a quadrotor using lagrange form dynamics," *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, vol. 56, pp. 127-151, 2009.
- [15] Y. Naidoo, R. Stopforth, and G. Bright, "Quad-Rotor unmanned aerial vehicle helicopter modelling & control," *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol. 8, p. 45, 2011.
- [16] H. Bolandi, M. Rezaei, R. Mohsenipour, H. Nemati, and S. M. Smailzadeh, "Attitude control of a quadrotor with optimized PID controller," *Intelligent Control and Automation*, vol. 4, p. 335, 2013.
- [17] B. Kada and Y. Ghazzawi, "Robust PID controller design for an UAV flight control system," in *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*, 2011.
- [18] V. Praveen and S. Pillai, "A., "Modeling and simulation of quadcopter using PID controller", " *International Journal of Control Theory and Applications*, vol. 9, pp. 7151-7158, 2016.
- [19] Z. Benić, P. Piljek, and D. Kotarski, "Mathematical modelling of unmanned aerial vehicles with four rotors," *Interdisciplinary Description of Complex Systems*, vol. 14, pp. 88-100, 2016.
- [20] F. Sabatino, "Quadrotor control: modeling, nonlinear control design, and simulation," ed, 2015.
- [21] A. Marks, J. F. Whidborne, and I. Yamamoto, "Control allocation for fault tolerant control of a VTOL octorotor," in *Control (CONTROL), 2012 UKACC International Conference on*, 2012, pp. 357-362.
- [22] S. Bouabdallah, P. Murrieri, and R. Siegwart, "Design and control of an indoor micro quadrotor," in *Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA'04. 2004 IEEE International Conference on*, 2004, pp. 4393-4398.
- [23] G. Staples, "Propeller Static & Dynamic Thrust Calculation," ed, 2015.
- [24] T. Bresciani, "Modelling, identification and control of a quadrotor helicopter," *MSc Theses*, 2008.
- [25] T. Tengis and A. Batmunkh, "State feedback control simulation of quadcopter model," in *Strategic Technology (IFOST), 2016 11th International Forum on*, 2016, pp. 553-557.
- [26] T. Oktay and F. Sal, "Combined passive and active helicopter main rotor morphing for helicopter energy save," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 38, pp. 1511-1525, 2016.

- [27] K. Alexis, G. Nikolakopoulos, and A. Tzes, "Constrained-control of a quadrotor helicopter for trajectory tracking under wind-gust disturbances," in *MELECON 2010-2010 15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*, 2010, pp. 1411-1416.
- [28] E. Klavins, C. Matlack, J. Palm, A. Nelson, and A. Bradford, "Quad-Rotor UAV project," 2010.
- [29] T. Oktay and S. Coban, "Simultaneous Longitudinal and Lateral Flight Control Systems Design for Both Passive and Active Morphing TUAVs," *Elektronika ir Elektrotechnika*, vol. 23, pp. 15-20, 2017.
- [30] T. Oktay and O. Kose, "Dynamic Modeling and Control of Research Based Quadcopter," presented at the 2. Uluslararası Multidisipliner Çalışmaları Kongresi, Adana, 2018.
- [31] T. Oktay and O. Kose, "Optimal Tunning of PID Controller For Forward Flight of Research Based Quadrotor," 2. Uluslararası Multidisipliner Çalışmaları Kongresi, ADANA, TÜRKİYE, 2018.
- [32] T. Oktay and O. Kose, "Optimal Tunning of PID Controller For Lateral Flight of Research Based Quadcopter," presented at the 4. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi (UMTEB), Erzurum, 2018.



Breem, Leed ve DGNB Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemlerinin Standart Bir Konutta Karşılaştırılması

Zerrin Funda Ürük^{1*}, Asiye Kübra Külünkoğlu İslamoğlu²

¹ İstanbul Gelişim Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3994-5883)

² Yüksek Mimar, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6957-9477)

(İlk Geliş Tarihi 13 Ocak 2019 ve Kabul Tarihi 2 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.512291)

ATIF/REFERENCE: Ürük, Z. F. & İslamoğlu, A. K. K. (2019). Breem, Leed Ve DGNB Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemlerinin Standart Bir Konutta Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 143-154.

Öz

Sürdürülebilir yeşil enerji kavramı, dünyanın gelişim seyrini ve toplumların hayatlarını köklü bir şekilde değiştiren Sanayi Devrimi'nin sonucunda ortaya çıkan en güçlü kavramlardan biridir. Sanayi Devrimini makinaların ve icatların hayatımıza girdiği, daha hızlı ve daha ekonomik hayata ulaşmak için kurulan yeni düzen olarak tanımlayabiliriz. Sanayi Devrimi döneminde, makine ve endüstri alanlarında ortaya çıkan buluşlar ve yenilikler tüm dünyayı etkisi altına almıştır. Ortaya çıkan buluşlar ilk önce insanların yaşam şeklini daha sonra ise tüm çevreyi değiştirmiştir. Sanayi Devrimi döneminde kırdan kente göç başlamış, insanlar tarım hayatını bırakıp, şehirdeki fabrikalarda çalışmak için yer değiştirmişlerdir. Hızla gelişen göç sonucu şehirlerde konut ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Hızlı ve ekonomik olması ön koşulu ile birçok fabrika ve işçi konutları üretilmiş ama yapım aşamasında soğutma- havalandırma sistemlerine önem verilmemiştir. Isıtma sistemi olarak kullanılan katı yakıtlar zamanla hava kirliliğine sebep olmuş ve insan sağlığını tehdit eder hale gelmiştir. Hava kirliliği ve sağlık problemleri gibi kitleleri etkisi altına alan problemler nedeni ile birçok dünya devletleri bir araya gelmiş ve ortak bağlayıcı kararlar almak için toplantılar düzenlemişlerdir. Yapılan kongre ve toplantılarda ortaya çıkan en önemli kararlardan biri, her bir ülkenin ilk başta kendi ülkesi için daha sonra uluslararası alanda hizmet vermesi planlanan yeşil bina enerji sertifikasyon sistemlerini oluşturmasıdır. Yeşil Bina Enerji Sertifikasyon Sistemleri aracılığı ile mevcut ve yeni inşa edilecek olan yapıların enerji sarfiyatı bağlamında kontrol edilmesi planlanmıştır. Yeşil Bina Enerji Sertifikasyon Sistemleri aracılığı ile mevcut ve yeni inşa edilecek olan yapıların enerji sarfiyatı bağlamında kontrol edilmesi planlanmıştır. Böylelikle inşa edilecek yeni yapıların enerji sarfiyatı kontrol altına alınmış olacaktır. Çalışmada; Breem, Leed ve DGNB gibi uluslararası boyut kazanmış, yeşil bina sertifikasyon sistemlerinin özellikleri incelenmiş ve birbirlerinden farklı olan bölümlerini ortaya çıkarıp, karşılaştırılması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mimarlık, Enerji, Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemleri.

Comparison Of Breem, Leed And DGNB Green Building Certification Systems In A Standart Residence

Abstract

The concept of sustainable green energy is one of the most powerful concepts that have emerged as a result of the Industrial Revolution, which has radically changed the course of development and the lives of societies. We can define the Industrial Revolution as the new order that machines and inventions enter into our lives, and to achieve a faster and more economic life. In the period of the

* Sorumlu Yazar: İstanbul Gelişim Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3994-5883, zfuruk@gelisim.edu.tr

Industrial Revolution, inventions and innovations in the fields of machinery and industry have influenced the whole world. The resulting inventions first changed the way of life of the people and then the whole environment. In the Industrial Revolution period, migration from rural to urban areas started and people moved to abandon agricultural life and work in factories in the city. As a result of rapidly developing migration, housing needs emerged in cities. Many factories and workers' houses have been produced with the condition that they are fast and economical, but the cooling-ventilation systems are not given importance during the construction phase. Solid fuels used as heating systems have caused air pollution and have become a threat to human health. Many world states came together because of the problems that affected the masses such as air pollution and health problems and organized meetings to take common binding decisions. One of the most important decisions in congresses and meetings is that each country creates green building energy certification systems, which are initially planned to serve internationally for its own country. Thus, the energy consumption of the new buildings to be built will be controlled. Study; Breeam, Leed and DGNB have gained international dimension, the properties of green building certification systems have been examined and different parts of each other have been revealed and compared.

Keywords: Architecture, Energy, Green Building Certification systems.

1. Giriş

Sürdürülebilir enerji kavramı, insanların hayatlarını köklü bir şekilde değiştiren Sanayi devriminin sonucunda ortaya çıkmıştır. Sanayi devrimi döneminde, makine ve endüstri alanında ortaya çıkan buluşlar tüm dünyayı etkisi altına almış ve insanların yaşam şeklini değiştirmiştir. Bu dönem de kırdan kente göç başlamış, insanlar tarım hayatını bırakıp, şehirdeki fabrikalarda çalışmak için yer değiştirmişlerdir. Bu dönemde ortaya çıkan işçi konutları ve birçok fabrika yapısı hızlı ve ekonomik olması ön koşulu ile üretilmiş ve ısıtma- soğutma sistemlerine önem verilmemiştir. Isıtma sistemi olarak kullanılan katı yakıtlar zamanla hava kirliliğine sebep olmuş ve insan sağlığını tehdit eder hale gelmiştir. Bu durum birçok dünya devletini bir araya gelmesine ve ortak bağlayıcı kararlar almalarına neden olmuştur. Yapılan kongre ve toplantılarda ortaya çıkan en önemli kararlardan biri, her bir ülkenin ilk başta kendi ülkesi için daha sonra uluslararası alanda hizmet vermesi planlanan yeşil bina enerji sertifikasyon sistemlerini oluşturmalarıdır. Sertifikasyon sistemleri aracılığı ile de mevcut ve yeni inşa edilecek olan yapıların enerji sarfiyatı bağlamında kontrol edilmesi planlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Yeşil Bina Kavramı ve Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemlerinin İncelenmesi

Sanayi devriminden sonra teknolojinin ve endüstrinin hızlanarak gelişmesi, insanların yapılarıdaki yaşam konfor seviyesinin de artmasına neden olmuştur. Yapıların kullanım koşullarının değişmesi ile birçok dünya devletleri konfor seviyesini (ısıtma-soğutma-havalandırma sistemleri) sağlamak için kullandıkları katı yakıt sistemlerinden vazgeçmiş yerine alternatif sürdürülebilir sistemler geliştirmişlerdir. Sürdürülebilir alternatif sistemlerin ortaya çıkması ile birlikte, yeşil bina kavramı doğmuştur. Yeşil bina kavramını; daha az kaynak tüketen, daha az atık oluşturan, çevreye minimum zarar veren ve aynı zamanda kullanıcının konfor seviyesini düşürmeyen, verimli yapı olarak tanımlayabiliriz.

Küresel ısınma, iklim değişikliği ve enerji kaynaklarının tükenmeye başlaması gibi ekolojik sorunların ortaya çıkması ile birlikte dünyanın ürettiği enerjiyi hangi noktalarda sarf ettiğini araştırılması ve sarf edilen enerjinin kontrol edilmesi gerekliliği doğmuştur. Yapılan araştırmalara göre, dünyada tüketilen enerjinin yarısına yakın kısmını mevcut yapılar tarafından tüketildiği ortaya çıkmıştır. Bu durum özellikle yapılarda tercih edilen ısıtma, soğutma ve havalandırma enerji sistemlerinin önemini artırırken, yapıların denetimini sağlamak için enerji sertifikasyon sistemlerine duyulan ihtiyacı da ortaya çıkarmıştır. Sanayi devriminden sonra bazı dünya devletlerinin bir araya gelerek oluşturdukları kararlar ve yaptırımlar sonrası ortaya çıkan yeşil bina enerji sertifikasyon sistemlerinden her biri, ilk başta kendi ülkelerine hizmet vermek için oluşturulmuştur. Ortaya çıkan sertifikasyon sistemlerinden bazıları ise zamanla dünya çapında geçerliliği olan yeşil bina sertifikasyon sistemlerine dönüşmüşlerdir. Bunlardan öne çıkanları BREEAM, LEED ve DGNB olarak sıralayabiliriz.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Breeam Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemleri

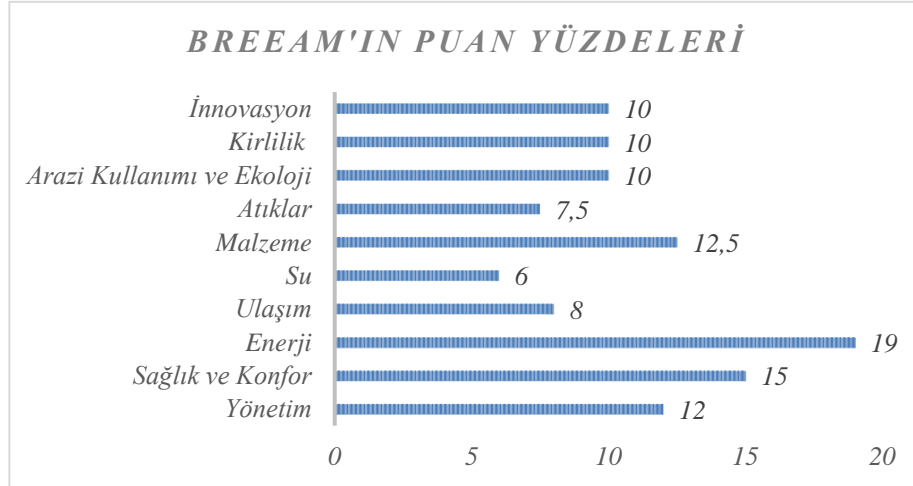
BREEAM yeşil bina sertifikasyon sistemi; 1990 yılında İngiltere'de geliştirilen ilk yeşil bina değerlendirme sistemidir. Bu nedenle günümüzde geçerliliğine en çok güvenilen sertifikasyon sistemi olarak tanınmaktadır. Breeam Sertifikasyon sisteminin başlıca amacı; yönetmeliklerin üstünde ölçütler oluşturarak yenilikçi sürdürülebilir çözümlerin yapılarda kullanılması için teşvikte bulunmak olarak tanımlayabiliriz. Güncel değişiklikleri takip etmesi, çevresel politikalarla güncellenmesi ve yerel koşullara sağladığı uyumla ön plana çıkmaktadır. Breeam Sertifikasyon sisteminin hareket noktası ise çevresel kalkınma olmuştur. Breeam Sertifikasyon sisteminin, yapının kullanım amacına ve ülkelere göre birçok çeşitli kategorileri mevcuttur. Tablo 1'de gösterildiği gösterilen bu kategoriler farklı programlarda hesaplanan değerlendirme sistemine sahiptir.

Tablo 1. Breeam Yeşil Bina Sertifikasyon Sisteminin Kategorileri



Breeam Sertifikasyon Sistemi, sertifika toplam puanını hesaplamak için 10 başlığa sahiptir. Bunlar Şekil 2’de de gösterildiği gibi; Yönetim %12, Sağlık ve Konfor %15, Enerji %19, Ulaşım %8, Su %6, Malzeme %12,5, Atıklar %7,5, Arazi kullanımı ve Ekoloji %10, Kirlilik %10 ve İnnovasyon %10 olarak kurgulanmıştır. Toplam Puan ise %110 olarak düşünülmüştür. Toplam 110 puana ulaşabilmek için Tablo 1 de belirtilmiş olan ana başlıkların alt başlıklarındaki yer alan bölümlerden gerekli puanları almak ön koşuldur.

Tablo2: Breeam Sertifikasyon Sisteminin Puan Yüzdeleri



Tablo 3: Breeam Sertifikasyon Sisteminin Puan Yüzdelerinin Alt Başlıkları

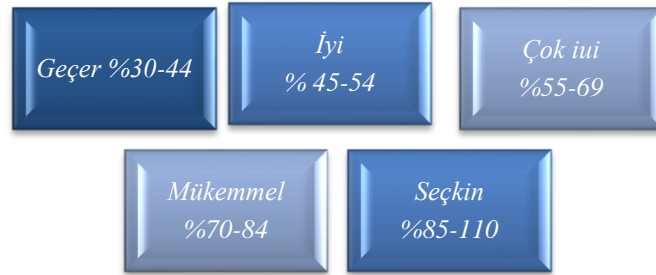
KREDİLER	ANA-ARA BAŞLIKLAR	PUAN
YÖNETİM		
Man 1	İşletmeye Alma	3
Man 2	Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi	3
Man 3	Müteahhitlerin Çevresel ve Sosyal İş Kuralları	3
Man 4	İnşaat Sahası Etkileri	3
		Toplam: 12
SAĞLIK KONFOR		
Hea 1	Gün Işığı	4
Hea 2	Görüş Alanı	2
Hea 3	Kamaşma Kontrolü	2
Hea 4	Yüksek Frekanslı Aydınlatma	1
Hea 5	İç ve dış aydınlatma düzeyleri	1
Hea 6	Aydınlatma bölgeleri ve kontrolleri	1

Hea 7	Doğal havalandırma imkanları	1
Hea 8	İç Mekân hava kalitesi	1
Hea 10	Termal Konfor	1
Hea 11	Termal Bölgeleme	1
		Toplam: 15
ENERJİ		
Ene 1	CO2 Emisyonlarının Azaltılması	11
Ene 2	Mevcut Enerji Kullanımının Alt Ölçümü	1
Ene 4	Dış Ortam Aydınlatması	1
Ene 5	Düşük ve Sıfır Karbon Teknolojileri	3
Ene 15	Enerji Verimli Ekipman Tedariki	2
Ene 18	Serbest Havalandırma	1
		Toplam: 19
ULAŞIM		
Tra 1	Kentsel donatılara yakınlık	1,5
Tra 2	Toplu ulaşım imkanının sağlamaması	1,5
Tra 3	Ulaşım alternatifleri	1
Tra 4	Yaya ve bisikletlilerin güvenliği	1
Tra 5	Azami otopark kapasitesi	1
Tra 6	Ulaşım bilgi noktası	1
Tra 7	Dağıtım ve manevra	1
		Toplam: 8
SU		
Wat 1	Su Tüketimi	1
Wat 2	Su Sayacı	1
Wat 3	Ana su Kaçaklarının Tespiti	1
Wat 4	Sıhhi Tesisat suyunun Kesilmesi	1
Wat 5	Sulama Sistemleri	1
Wat 6	Yerinde Su arıtma	1
		Toplam: 6
MALZEME		
Mat 1	Malzeme Şartnameleri	1
Mat 2	Sert Peyzaj ve Çevre Duvarları	1
Mat 3	Cephenin yeniden kullanımı	3
Mat 4	Taşıyıcı sistemin yeniden kullanımı	3
Mat 5	Malzemelerin sorumlu kaynaklardan edinilmesi	1
Mat 6	Yalıtım	2
Mat 7	Dayanıklılık- Süreklilik için tasarlamak	1,5
		Toplam: 12,5
ATIKLAR		
Wst 1	İnşaat alanı atık yönetimi	1
Wst 2	Geri dönüştürülmüş agregalar	1
Wst 3	Geri dönüştürülmüş atıkların depolanması	1,5
Wst 4	Atık sıkıştırma/balyalama presi	1
Wst 5	Kompozit	1
Wst 6	Zemin kaplamalar	2
		Toplam: 7,5
ARAZİ KULLANIMI VE EKOLOJİ		
Le 1	Arazinin yeniden kullanımı	3
Le 2	Bulaşıcılarla kirlenmiş arazi	1

Le 3	Arazinin ekolojik değeri ve ekolojik özelliklerinin korunması	2
Le 4	Yapılaşmanın ekolojiye etkilerinin azaltılması	2
Le 5	Yapılaşmanın biyo-çeşitlilik üzerinde uzun dönem etkilerinin azaltılması	2
		Toplam: 10
KİRLİLİK		
Pol 1	Binalarda kullanılan soğutucu akışkanların küresel ısınmaya etkisi	2
Pol 2	Soğutucu akışkan sızıntılarının önlenmesi	2
Pol 3	Soğuk hava depolarında kullanılan akışkanların küresel ısınma potansiyeli	1
Pol 4	Isı kaynaklarının NOx salımlar	1
Pol 5	Su yatağı kirliliğinin azaltılması	1
Pol 6	Taşkın riski	1
Pol 7	Gece ışık kirliliğinin azaltılması	1
Pol 8	Gürültü azalımı	1
		Toplam: 10
İNOVASYON		
Inn 1	İnovasyon	10
		Toplam: 10
GENEL TOPLAM: 110		

Breeam Sertifikasyon Sistemine İngiltere dışından başvuru yapan projelerin adaptasyonunu sağlamak amaçlı, yapının tasarımcısının yapı inşa edilmeden önce Breeam yetkilisi ile birlikte çalışması zorunluluğu getirmiştir. Breeam sertifikasyon sisteminin hedefi kısa sürede projenin yeşil bina sertifikası alabileceği duruma gelmesidir. Breeam sertifikası alabilmek için projeyi tamamlamadan önce tasarım aşamasından itibaren kuruluşun yönlendirdiği bir yetkili ile beraber çalışma zorunluluğu mevcuttur. Breeam 5 farklı sertifika sınıfına sahip olup binanın aldığı puanlara göre değerlendirilmesi yapılmaktadır ve sertifika geçerlilik süresi 3 yıl olarak planlanmıştır. 3 sene tamamlandıktan sonra bina tekrardan sertifikasyon sistemine müracaat ederek güncellemek durumundadır. Farklı sertifikasyon sınıflandırmaları aşağıdaki Tablo 4’de gösterilmiştir.

Tablo 4: Breeam Sertifikasyon Sisteminin Sertifika Sınıfları ve Puanları



3.2. Leed Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemleri

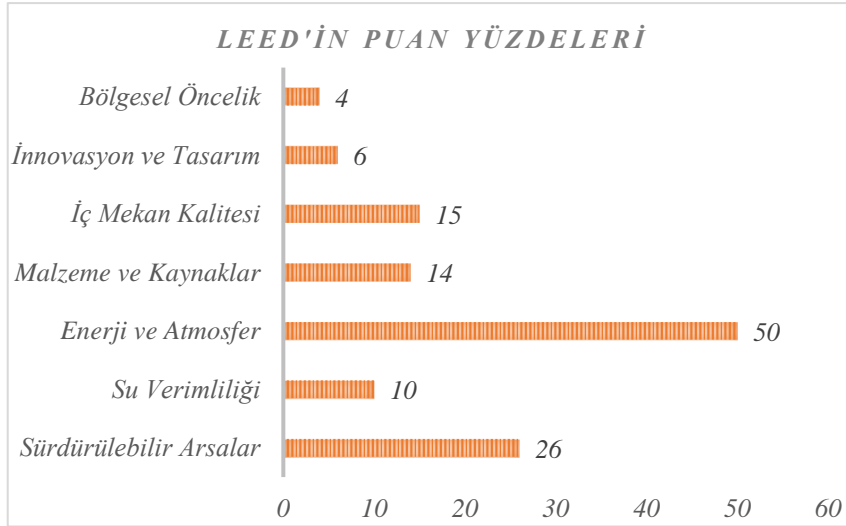
Leed Sertifikasyon sistemi 1998 yılında, Amerika Yeşil Binalar Konseyi (USGBC) tarafından oluşturulmuştur. Uluslararası ölçekte kabul edilmiş bina sertifikasyon sistemidir. Sertifikasyon sisteminin amacı; yapı sektöründe görevi olan tüm kişi ve kuruluşların, çevresel değerlere dikkatlerini çekerek, faaliyetlerini doğal çevreyi koruma amaçlı kararlar almalarını sağlamaktır. Breeam sertifikasyon sisteminde olduğu gibi bir yetkiliyle çalışma zorunluluğu yoktur. Hem tasarım hem de inşa aşamasından sonra sertifika almak için başvuru yapılabilmektedir. Bu durum sertifikasyon sisteminin tercih edilme nedenlerinin başında gelmektedir. Leed Yeşil Bina Sertifikasyon Sisteminin Tablo 5’de de belirtildiği gibi yapının kullanım türü ve konumuna göre kategorileri mevcuttur.

Tablo 5 : Leed Yeşil Bina Sertifikasyon Sisteminin Kategorileri



LEED yeşil bina sertifikası için yapının tüm ön koşulları sağlaması ve minimum 32 puan kazanması gerekir. Puan yüzdeleri olarak Şekil 5'de de gösterildiği gibi; Enerji ve Atmosfer %50, Sürdürülebilir Arsalar %26, İç mekân kalitesi %15, Malzeme ve kaynaklar %14, Su Verimliliği %10, İnnovasyon ve Tasarım %6, Bölgesel Öncelik %4 olarak düşünülmüştür. LEED yeşil bina sertifikasını elde etmek için, Tablo 2 de belirtilmiş olan ana başlıkların alt başlıklarındaki yer alan bölümlerinde yapının tüm ön koşulları sağlaması için gerekli olan minimum 32 puanı kazanması gerekmektedir.

Tablo 6: Leed Sertifikasyon Sisteminin Puan Yüzdeleri.



Tablo 7: Leed Sertifikasyon Sisteminin Puan Yüzdelerinin Alt Başlıkları

KREDİLER	ANA-ARA BAŞLIKLAR	PUAN
SÜRDÜRÜLEBİLİR ARSA		
Kredi 1	Arsa Seçimi	1
Kredi 2	Yapı Çevresi Yoğunluğu	5
Kredi 3	Kirli Arazi İyileştirilmesi	1
Kredi 4,1	Alternatif Ulaşım – Toplu Taşıma	6
Kredi 4,2	Alternatif Ulaşım – Bisiklet Yerleri ve Soyunma Odaları	1
Kredi 4,3	Alternatif Ulaşım – Düşük Salımlı ve Yakıt Verimli Araçlar	3
Kredi 4,4	Alternatif Ulaşım – Otopark Kapasitesi	2
Kredi 5,1	Arsa Geliştirme – Habitat Koruma ya da Yenileme	1
Kredi 5,2	Arsa Geliştirme – Maksimum Açık Alan	1
Kredi 6,1	Yağmur Suyu Tasarımı – Miktar Kontrolü	1

Kredi 6,2	Yağmur Suyu Tasarımı – Kalite Kontrolü	1
Kredi 7,1	Isı Adası Etkisi – Çatı Harici	1
Kredi 7,2	Isı Adası Etkisi – Çatı	1
Kredi 8	Işık Kirliliği	1
		Toplam: 26
SU VERİMLİLİĞİ		
Kredi 1	Su Verimli Peyzaj	4
Kredi 2	Yenilikçi Atık Su Teknolojileri	2
Kredi 3	Su Tüketimi Azaltma	4
		Toplam: 10
ENERJİ ve ATMOSFER		
Kredi 1	Optimum Enerji Performansı	19
Kredi 2	Tesis-içi Yenilenebilir Enerji	7
Kredi 3	Gelişmiş Test ve Devreye Alma	2
Kredi 4	Gelişmiş Soğutucu Yönetimi	2
Kredi 5	Ölçme ve Doğrulama	3
Kredi 6	Yeşil Enerji	2
		Toplam: 35
MALZEME ve KAYNAKLAR		
Kredi 1	Binanın Tekrar Kullanımı – Duvar, Döşeme ve Çatı	4
Kredi 2	İnşaat Esnası Atık Yönetimi	2
Kredi 3	Malzemenin Yeniden Kullanımı	2
Kredi 4	Geri Dönüştürülmüş İçerik	2
Kredi 5	Yerel Malzemeler	2
Kredi 6	Hızla Yenilenebilen Malzemeler	1
Kredi 7	Sertifikalı Ahşap	1
		Toplam: 14
İÇ ORTAM KALİTESİ		
Kredi 1	Temiz Hava Takibi	1
Kredi 2	Arttırılmış Havalandırma	1
Kredi 3,1	İnşaat Esnası İç Hava Kalitesi	1
Kredi 3,2	İnşaat Sonrası İç Hava Kalitesi	1
Kredi 4,1	Düşük Salımlı Malzemeler – Yapıştırıcı ve Astarlar	1
Kredi 4,2	Düşük Salımlı Malzemeler – Boya ve Kaplamalar	1
Kredi 4,3	Düşük Salımlı Malzemeler – Zemin Kaplamaları	1
Kredi 4,4	Düşük Salımlı Malzemeler – Kompozit Ahşap Ürünler	1
Kredi 5	Kimyasal ve Kirletici Kontrolü	1
Kredi 6,1	Sistemlerin Kontrolü – Aydınlatma	1
Kredi 6,2	Sistemlerin Kontrolü – Isıl Konfor	1
Kredi 7,1	Isıl Konfor – Tasarım	1
Kredi 7,2	Isıl Konfor – Onay	1
Kredi 8,1	Gün Işığı	1
Kredi 8,2	Görüş	1
		Toplam: 15
İNNOVASYON ve YEREL ÖNCELİK		
Kredi 1	Tasarımda İnnovasyon	5
Kredi 2	LEED Akredite Profesyonel	1
Kredi 3	Yerel Öncelik	4
		Toplam: 10
GENEL TOPLAM: 110		

Leed sertifikasyon değerlendirme süreci, ilk başta projenin Amerikan Yeşil Binalar Konseyine (USGBC) kayıt olunması ile başlamaktadır. Daha sonraki aşama ise tasarım ve inşaat aşamalarında ortaya çıkan gerekli dokümantasyonların toplanıp ön değerlendirme için USGBC'ye gönderilmesidir. Ön değerlendirmelerin sonucunda USGBC proje takımından ek bilgi isteyebilir. İstenilen ek bilgileri proje takımının 15 iş günü içerisinde göndermesi gerekmektedir. Belgelerin tamamlanıp gönderilmesinden sonra ise final değerlendirilmesi yapılır ve sertifika düzeyi belirlenerek başvuru yapan yetkiliye sonuç bildirilir. Bu kısımda proje sahibi değerlendirme sonucunu kabul edebilir veya itiraz hakkını kullanabilir. İtirazlardan sonra, yapı bu sonuçlara göre sertifikalandırılmış olur. Leed 4 farklı sertifika (Altın, Platin, Gümüş ve Leed Sertifikası) sınıfına sahip olup binanın aldığı puanlara göre değerlendirilmesi yapılmaktadır ve sertifika geçerlilik süresinde bir sınırlama yoktur. Farklı sertifikasyon sınıflandırmaları aşağıdaki Tablo 8'de gösterilmiştir

Tablo 8: Leed Sertifikasyon Sisteminin Sertifika Sınıfları ve Puanları

Sertifikalı %40-49	Gümüş % 50-59	Altın %60-79
Platin %80-110		

3.3. DGNB Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemleri

DGNB (Alman Sürdürülebilir Binalar Konseyi) ve Ulaşım, İnşaat ve Kentsel İlişkiler Birleşmiş Bakanlığı ile birlikte Almanya'da 2008 yılında oluşturulmuştur. Yapıların yeşil bina olarak planlanmasında ve değerlendirilmesinde kullanılması amaçlanmıştır. Tasarlanırken LEED ve BREEAM esas alınmıştır. DGNB Bina Sertifikasyon Sistemi Tablo 9'da görüldüğü gibi yapının kullanım türü ve konumuna göre farklı değerlendirme kategorilerine sahiptir.

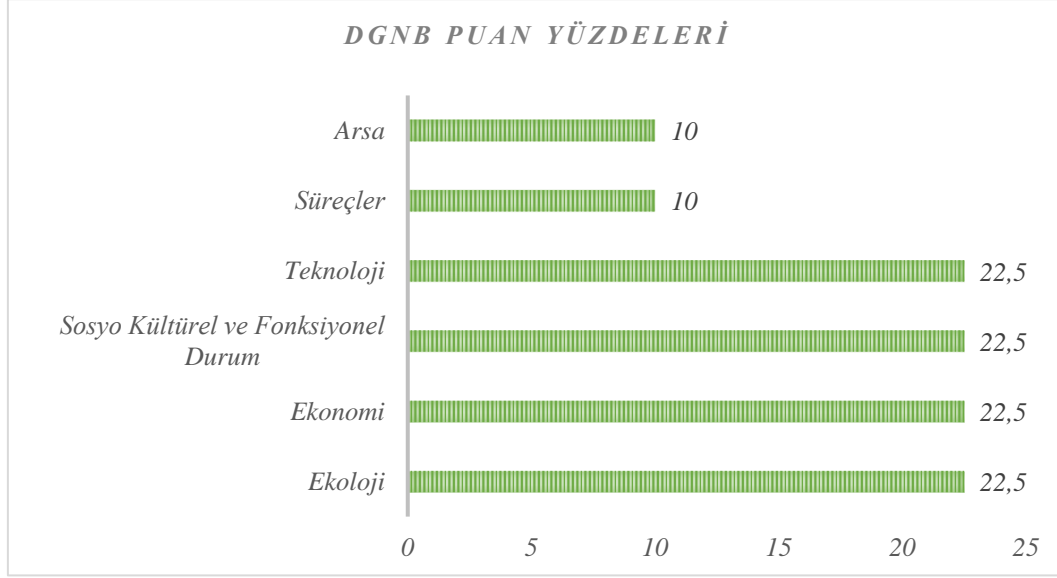
Tablo 9: DGNB Sertifikasyon Sisteminin Kategorileri

Yeni Ofis ve Yönetim Yapıları	Ofis ve Yönetim Yapılarının Onarımı	Ofis ve Yönetim Yapılarının Modernizasyonu
Mevcut Ofis ve Yönetim Yapıları	Yeni Alışveriş Merkezleri	Yeni Endüstri Yapıları
Yeni Eğitim Yapıları	Yeni Konut Yapıları	Yeni Oteller
Kent Bölgeleri		

DGNB yeşil bina sertifikasyon sistemi, enerji kaynaklarının kullanımının değerlendirilmesi, sarf edilen enerji miktarının azaltılması ve sürdürülebilir sistemlerinin kullanılması gibi ana hedeflere sahiptir. Puan yüzdeleri olarak Tablo 10'da da gösterildiği gibi; Sosyo-kültürel ve fonksiyonel durum %22,5,

Ekonomi %22,5, Ekoloji %22,5, Teknoloji %22,5, Arsa %10 ve Süreçler %10 olarak düşünülmüştür. DGNB yeşil bina sertifikasını elde etmek için, Tablo 9 de belirtilmiş olan ana başlıkların alt başlıklarındaki yer alan bölümlerinde yapının tüm ön koşulları sağlaması için gerekli olan puanlar yer almaktadır.

Tablo 10: DGNB Sertifikasyon Sisteminin Puan Yüzdeleri



Tablo 11: DGNB Sertifikasyon Sisteminin Puan Yüzdelerinin Alt Başlıkları.

KREDİLER	ANA-ARA BAŞLIKLAR	PUAN
ARSA		
Sit 1,1	Konum riskleri	2
Sit 1,2	Site konumu koşulları	2
Sit 1,3	Kamu imajı ve sosyal koşullar	2
Sit 1,4	Ulaşım erişimi Belirli kullanım tesislerine erişim	2
Sit 1,5	Kamu hizmetleri için bağlantılar	2
		Toplam: 10
SÜREÇ		
Pro 2.1	Kapsamlı proje tanımı	1
Pro 2.2	Entegre planlama Kapsamlı bina tasarımı	2
Pro 2.3	İhale aşamasında sürdürülebilirlik yönleri	1
Pro 2.4	Tesis yönetimi için belgeler	2
Pro 2.5	Şantiye / inşaat sürecinin çevresel etkileri	2
Pro 2.6	İnşaat kalite güvencesi / kalite kontrol önlemleri Sistematik devreye alma	2
		Toplam: 10
TEKNOLOJİ		
Tec 1.1	Yangın önleme	5
Tec 1.2	İç mekan akustik ve ses yalıtımı	5
Tec 1.3	Bina kaplama kalitesi	5
Tec 1.4	Teknik yapı sisteminin yedekleme kapasitesi	2
Tec 1.5	Temizlik ve bakım kolaylığı	2
Tec 1.6	Dolu, fırtına ve sel direnci Söküm kolaylığı ve geri dönüşüm	1
Tec 1.7	Kirlilik kontrolü Gürültü salım kontrolü	2,5
		Toplam: 22,5
SOSYO-KÜLTÜREL ve FONKSİYONEL DURUM		

Soc 1.1	Isıl konfor	2
Soc 1.2	İç mekan hava kalitesi	2
Soc 1.3	Akustik konfor	1,5
Soc 1.4	Görsel konfor	2
Soc 1.5	Bina işletiminde kullanıcı etkisi	1
Soc 1.6	Açık alanlarda kalite	1
Soc 1.7	Güvenlik ve emniyet	1
Soc 1.8	Engelli erişilebilirliği	2
Soc 1.9	Taban alanının verimli kullanımı	2
Soc 2	Dönüşüm uygunluğu	2
Soc 2.1	Kamu erişimi	2
Soc 2.2	Bisiklet kolaylığı	1
Soc 2.3	Rekabet yoluyla tasarım ve kentsel planlama kalitesi	1
Soc 2.4	Kamusal sanat birleşimi	1
Soc 2.5	Site özellikleri	1
		Toplam: 22,5
EKONOMİ		
Eco 1,1	Bina ile ilgili yaşam döngüsü ve operasyon maliyeti	9
Eco 1,2	Belediyenin mali etkisi	4,5
Eco 2,1	Esneklik ve Kullanılabilirlik	4,5
Eco 2,2	Pazarlanabilirlik	4,5
		Toplam: 22,5
EKOLOJİ		
Env 1.1	Tasarımda Yaşam döngüsü değerlendirmesi	3
Env 2,1	Yerel çevresel etkiler	3
Env 2,2	Çevre dostu malzeme üretimi	7
Env 2,3	Birincil enerji talebi	5
Env 2,4	İçme suyu talebi ve atık su hacmi	3
Env 2,5	Arazi kullanımı	1,5
		Toplam: 22,5
GENEL TOPLAM: 110		

DGNB yeşil bina sertifikasyon sisteminin diğer sistemlerden en büyük farkı iki sertifika hazırlamasıdır. İlk sertifikayı ön değerlendirme aşamasında yani tasarım safhasında verirken, asıl sertifikayı inşaat tamamlandıktan sonra vermektedir. DGNB 3 farklı sertifika (Altın, Gümüş ve Bronz) sınıfına sahip olup binanın aldığı puanlara göre değerlendirilmesi yapılmaktadır ve sertifika geçerlilik süresinde bir sınırlama yoktur. Farklı sertifikasyon sınıflandırmaları aşağıdaki Tablo 12 'de gösterilmiştir.

Tablo:12: DGNB Sertifikasyon Sisteminin Sertifika Sınıfları ve Puanları



3.4. BREEAM, LEED ve DGNB Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemlerinin Mevcut Yapılarda Enerji Ölçütlerinin Karşılaştırılması

Sürdürülebilir bir dünyaya ulaşmak için yeni yapıların enerji etkin sistemlerle donatılarak üretilmesi kadar mevcut yapıların kontrol altına alınması da önemli bir konudur. Dünyada tüketilen enerjinin hemen hemen yarısının mevcut yapılar tarafından tüketildiği düşünüldüğünde, sertifikasyon sistemlerinin mevcut yapılar için olan sürümlerini incelemek enerji sarfiyatı ve korunumu açısından değerlendirmek büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda LEED-EB, BREEAM-in USE ve DGNB Mevcut sertifikasyon kategorileri incelenmiş ve tablo 4'de karşılaştırılması yapılmıştır. Üç sertifikasyon sisteminde de standart bir yapı için alınabilecek önlemler ve mevcut yapının yeşil bina kategorisine yaklaşması için uygulanabilecek öneriler belirlenmiştir.

Tablo 13: BREEAM, LEED ve DGNB Sertifikasyon Sistemlerin Karşılaştırılması

<i>Sertifikasyon Sistemi</i>	<i>BREEAM</i>	<i>LEED</i>	<i>DGNB</i>
<i>Ülke</i>	<i>İngiltere</i>	<i>Amerika</i>	<i>Almanya</i>
<i>Tarih</i>	<i>1990</i>	<i>1998</i>	<i>2008</i>
<i>Başvurduğu Standartlar</i>	<i>BS, EN, ISO, CISBE</i>	<i>ASHRAE-IESNA, ASTM, CISBE</i>	<i>DIN, EnEV, EU-STANDARTLARI</i>
<i>Ortak Kategori Başlıkları</i>	<i>Enerji</i> <i>Arsa</i> <i>Su</i> <i>Yönetim</i>	<i>Enerji</i> <i>Arsa</i> <i>Su</i> <i>-</i>	<i>Enerji</i> <i>Arsa</i> <i>-</i> <i>Yönetim</i>
<i>Sertifika Sayısı</i>	<i>5</i>	<i>4</i>	<i>4</i>
<i>Sertifika Aşamaları</i>	<i>Tasarım ve İnşaat</i> <i>Sonrası</i>	<i>Proje Bitiminde Tek</i> <i>Sertifika</i>	<i>Ön sertifika ve Proje</i> <i>bitimi</i>
<i>Güncelleme Sıklığı</i>	<i>Yıllık</i>	<i>Gerekli Durumlarda</i>	<i>Gerekli Durumlarda</i>
<i>Toplam Puanları</i>	<i>110</i>	<i>100</i>	<i>100</i>

Standart bir yapının üç farklı yeşil bina sertifikasyon sistemine başvuru yapması durumunda elde edecekleri sonuçlar birbirinden farklı olacaktır. Bu durumun nedeni yeşil bina sertifikasyon sistemlerinin amaçlarının aynı olmasına rağmen oluşturuldukları ülke, başvurdıkları standartlar, sertifika şamaları, güncellenme sıklıkları ve puanlama yüzdelerinin farklı olmasıdır. Bu farklılıklar nedeni ile ortaya çıkan sertifika sonucu da farklı olacaktır.

4. Sonuç

Dünya'da oluşan çevre sorunlarının başlıca nedeni kullanılan katı yakıt kullanımınıdır. Katı yakıt kullanımından vazgeçilmesi ile ortaya çıkan alternatif enerji sistemleri, zamanla devletlerin denetimi ile zorunlu hale getirilmiştir. Yapıların enerji sarfiyatını denetlemek için oluşturulan yeşil bina enerji sertifikasyon sistemleri ise oluşturulan alternatif enerji sistemlerini teşvik ederken bir yandan yapıların denetimini sağlamaktadır. Dünya ekolojisinin geleceğini güvende tutmak için yeni inşa edilecek yapıların denetimi kadar mevcut yapılarında kontrol altına alınması gerekmektedir. Her bir yenilenebilir enerji sistemleri ile üretilmiş standart yapı fazladan tüketilecek enerji sarfiyatına engeldir.

Çalışmamızda, üç farklı enerji sertifikasyon sistemlerini mevcut yapı kategorisinde karşılaştırması yapılmıştır. Enerji, ekonomi ve yönetim gibi öne çıkan kriterlere verdikleri puan ve yüzdelik değerlerin birbirinden farklı olduğu için ortaya çıkan toplam değer farklılık göstermiştir. Bunun nedeni incelendiğinde ise sertifikasyon sistemlerinin oluşum aşamasında başvurduğu standartlar, kurulduğu ülke ve yıl gibi farklılıkların sonucu olduğu görülmektedir. Sonuç olarak; dünya çapında uluslararası değer kazanmış sertifikasyon sistemlerinden Breeam, Leed ve DGNB sertifikasyon sistemleri tek tek alt başlıkları ve puanlama kriterleri bazında incelenmiş ve farklılıklar ile ortak özellikleri ortaya çıkarılmıştır.

Kaynakça

- [1] Baştaoğlu,E., (2017),” Leed Yeşil Bina Sertifika Sistemi Uygulamalarının Değerlendirilmesi: Avrupa ve Türkiye.”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- [2] Enerji Verimliliği Kanunu. (2007). 02.05.2007 tarihli , 26510 Sayılı Resmî Gazete.
- [3] Göksal, T.(2000).Enerji Etkin Tasarım Ve Enerji Korunumu, Arredemento Mimarlıkİstanbul 150: 90 (2000).
- [4] Leed Sertifikası Sitesi. <http://www.xn--leedsertifika-jgc.com/>
- [5] Özcan, U., İslamoğlu, A.K.K.,(2017), " Sürdürülebilir Bir Sistem BEP-TR", Yapı Dergisi (ISSN: 1300-3437, DAAI-Design and Applied Arts Index), Sayı: 432, s:32
- [6] Özcan, U., Erol, i.,(2018), " Bir Ulaşım Kültürü - Metro Müzesi", Yapı Dergisi (ISSN: 1300-3437, DAAI-Design and Applied Arts Index), Sayı: 440, s:58
- [7] Özcan, U., Erol, H.,(2018), " Yüksek ve Sürdürülebilir", Yapı Dergisi (ISSN: 1300-3437, DAAI-Design and Applied Arts Index), Sayı: 435, s:52
- [8] Özcan, U., Berkin, G., (2010), “ Isıtma, Havalandırma, İklimlendirme Sistemlerinin Sürdürülebilir Mimariye Etkisi”, Yapı Dergisi (ISSN: 1300-3437), Sayı: 340, s:118.
- [9] Özcan, U., Erol, İ.,(2018), Sürdürülebilir Tasarımda Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), International Congress On Engineering And Architecture, 14-16 November, Alanya, Turkey.
- [10] Öztürk, A., (2015), “ Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemlerinin Analizi” , İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- [11] Sev A.(2009). “Sürdürülebilir Mimarlık”, Yem Yayınevi, İstanbul ss.21.(2009).
- [12] Soysal S.(2008).“Konut Binalarında Tasarım Parametreleri İle Enerji Tüketimi İlişkisi” Yüksek Lisans Tezi ,Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [13] Tönük,S.,(2001).“ Bina Tasarımında Ekolojik, *YTÜ Basım Yayın Merkezi*, İstanbul, 5(2001).
- [14] Tuna,R., (2013), “Bina Sertifika Sistemleri”, Ege Mimarlık Dergisi, Sayı:83.
- [15] Yılmaz, Z.(1983).“İklimsel konfor sağlanması ve Yoğuşma kontrolünde Optimal performans gösteren yapı kabuğunun hacim konumuna ve boyutlarına bağlı olarak belirlenmesinde kullanılabilecek bir yaklaşım”, Doktora tezi, İ.T.Ü., Mimarlık Fakültesi, İstanbul .



Türkiye Toplu Ulaşım Sisteminde Elektrikli Otobüsler

Orhan Topal ¹

İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3857-5689)

(İlk Geliş Tarihi 14 Ocak 2019 ve Kabul Tarihi 2 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.512606)

ATIF/REFERENCE: Topal, O. (2019). Türkiye Toplu Ulaşım Sisteminde Elektrikli Otobüsler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 155-167.

Özet

Sürdürülebilir ulaşım konsepti, dünya geneli toplu ulaşım sistemleri içerisindeki önemi her geçen gün artan ve verimliliği ön planda tutan bir yaklaşım olarak göze çarpmaktadır. Günümüzde ulaşım teknolojileri alanındaki gelişmelere bakıldığında içten yanmalı motorlu araçlardan elektrik motorlu araçlara doğru bir geçiş süreci izlenmektedir. Azalan fosil kaynaklı yakıtlar, enerjinin tedarikini zorlaştırmakta, alternatif enerjiye olan yönelimleri arttırmaktadır. Özellikle çevre kirliliği üzerinde büyük etkisi bulunan içten yanmalı motorlara sahip geleneksel ulaşım sistemlerinde, konsept değişikliğine dair geçiş denemeleri bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de elektrikli tahrik sistemine sahip toplu taşıma araçları başta olmak üzere her geçen gün artmaktadır.

Dünyanın kentsel nüfusu artmaya devam ettikçe, sürdürülebilir, düşük maliyetli ulaşım seçeneklerini belirlemek daha kritik hale gelmektedir. Bu açıdan elektrikli otobüsler, zararlı ulaşım kaynaklı egzoz emisyonları azaltmanın ve şehirlerdeki hava kalitesini iyileştirmenin yansira düşük işletme maliyetleri ile ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada Türkiye kamu toplu ulaşım otoriteleri tarafından ülke genelinde kullanılan elektrik tahrikli olan lastik tekerlekli ulaşım sistemlerine dair mevcut durum detaylı olarak ortaya konulmuştur. Türkiye'deki mevcut elektrikli otobüs üreticileri, yapılan ihalelerde ortaya konulan teknik şartnameleri esas alan, İdarelerin elektrikli otobüsler için belirlediği tercih kriterleri ile ortaya konulan sonuçları, ilgili İdareler başta olmak üzere alım süreçlerindeki yapılan yaklaşımlar ve kamu toplu ulaşım sistemleri için elektrikli otobüs konseptine geçişte mevcut durumdaki zorluklara dair genel görünümüne yer verilmiştir.

Bu anlamda kamu ölçeğinde sunulan toplu ulaşım hizmetlerinde lastik tekerlekli ulaşım sistemlerinde elektrikli otobüs kullanmak isteyen yerel yönetimler için referans niteliği taşıyan bu çalışma ile Türkiye ölçeğinde mevcut durum analizi ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: elektrikli otobüs, sürdürülebilir toplu ulaşım, kamu ihaleleri, toplu ulaşım otoriteleri

Electric Buses in Turkish Public Transportation System

Abstract

The concept of sustainable transportation stands out as an approach that increases its importance in the public transportation system worldwide and keeps efficiency at the forefront. Nowadays, developments in the field of transportation technologies are moving towards the transition from internal combustion engine vehicles to electric motor vehicles. The reduced fossil fuels make the supply of energy difficult, increasing the tendencies towards alternative energy. In traditional transportation systems with internal combustion engines that have a great impact on environmental pollution, transition trials for concept change are increasing day by day in our country as well as in public transport vehicles with electric drive systems.

As the world's urban population continues to grow, identifying sustainable, low-cost transportation options becomes more critical, with electric buses becoming more prominent in reducing air emissions from harmful transportation, and lower operating costs for improving urban air quality.

This study about the current situation in Turkey, which is electrically driven wheel transportation systems used by the public mass transportation authorities across the country have been outlined in detail. Along Turkey existing electric bus manufacturers, the main

¹ Sorumlu Yazar: İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-3857-5689, orhan.topal@iett.gov.tr

technical specifications as set forth in made procurement, put the results associated with determine the preferred criteria for buses electrically Administration, the Administration concerned made in the procurement process, especially approaches and public mass transportation systems for the challenges of the present in the transition to electric bus concept condition general view.

In this sense, the public transport services offered on the public scale tire carries a reference for local governments wishing to use electric buses are wheelchair transportation systems across Turkey aimed to put the current situation analysis.

Keywords: electric bus, sustainable public transportation, public tenders, public transport authorities.

1. Giriş

Dünya’da ulaşım sistemleri kaynaklı artan sera gazı emisyon etkileri, ülkemizde de “sıfır emisyonlu sürdürülebilir ulaşım sistemleri” kurulmasına yönelik çalışmalar için ilgili kamu kurum ve kuruluşları başta olmak üzere paydaşlara çeşitli sorumluluklar yüklemektedir. Alternatif araç konseptleri kapsamında geliştirilen bataryalı elektrikli araçlar, fosil kaynaklı yakıtlara olan bağımlılığı ortadan kaldırırken, aynı zamanda geri kazanım teknolojileri ile enerji etkin, esnek ve güvenilir çözümler sunmaktadır. Elektrikli araç teknolojileri ile yapılan çalışmalara her geçen gün yenileri eklenerek, sürdürülebilir ulaşım adına farklı yaklaşımlar ortaya konulmaktadır.

Türkiye’de sektörlere göre toplam nihai enerji tüketiminin %19,3’ü ulaştırma ve depolama sektöründe gerçekleşmiştir. Bu çerçeveden bakıldığında ülkemizde ulaşımın sağlandığı özel ve kamusal ulaşım endeksinde, toplu ulaşım hizmetlerinin de dahil edilmesi ile ulaşımında en çok tercih edilen araç konsepti lastik tekerlekli araçlardır [1].

Toplu ulaşım sektörüne kullanılan alternatif yakıtlı araçlar açısından bakıldığında, araç konseptlerinde genel olarak işletme maliyetlerinin dikkate alındığı, ortaya konulan yayınlarda teorik sonuçların ön planda tutulduğu görülmektedir zira ülkemizde ve dünyada özellikle elektrikli otobüs konseptleri için yaygın kullanım ve mevcut durum itibarı ile kazanılmış uzun yıllara dair işletmesel tecrübeler bulunmamaktadır. Bunun yansısı ülkemizdeki güncel fiyat politikaları (araç alım) ve üretim süreçleri dikkate alındığında gerek elektrikli otomobil konseptleri için gerekse de elektrikli otobüs konseptleri için ilk alım maliyetleri oldukça yüksek olup, seçenekler de bir o kadar kısıtlı ve dolayısı ile rekabet koşulları yetersizdir. Bu durum son kullanıcılar açısından bakıldığında ise toplu ulaşım sistemlerinde elektrikli otobüs konseptlerinin kullanımını ekonomik kılmadığına dair zorunlu bir genel kanı ve yaklaşımı beraberinde getirmektedir.

Özellikle sera gazı emisyonları nedeni ile çevre kirliliği üzerinde olumsuz etkisi bulunan konvansiyonel sistemli, içten yanmalı motorlara sahip lastik tekerlekli geleneksel ulaşım sistemleri yerine enerji ihtiyacının alternatif enerji kaynakları ile karşılanabilen sürdürülebilir ulaşım sistemlerine yönelik yürütülen araştırmalar, günümüzde oldukça yoğunlaşmıştır. Alternatif yaklaşımlar arasında özellikle elektrikli araçlar, içten konvansiyonel sistemli araçların yerine kullanılacak, gelecek için oldukça popüler olan seçeneklerin başında gelmektedir. Bu minvalde içten yanmalı motorlara sahip toplu ulaşım araçları, başta oluşturdukları seragazı emisyonları ve sebep oldukları gürültü nedenleri ile metropollerde insan yaşam kalitesini olumsuz olarak etkilemektedir. Özellikle bu açıdan elektrikli araç sistemleri, sessiz olması, düşük emisyon değerlerine sahip olması ile birlikte sağlayacağı işletmesel mali avantajlar sayesinde bahsi geçen sorunlara çözüm getirebilecek potansiyellere sahiptir. Elektrikli araçların kullanımı yoğun trafiğin yaşandığı büyükşehirlerde özellikle yakıt ekonomisinde sağladığı ekstra avantajlı unsurların yansısı yenilikçi bir yaklaşım sergilenmesi ve ulaşımında sürdürülebilirlik konsepti ekseninde yerel yönetimler başta olmak üzere farkındalık oluşturulması bakımından da önem arz etmektedir.

Ülkemizde gerçek anlamda % 100 sıfır emisyonlu sürdürülebilir toplu ulaşım konusunda başta hizmeti sunan yerel yönetimler olmak üzere çeşitli çalışmalar yürütülmekte, bu konudaki farkındalık her geçen gün artmaktadır. Ancak bu çerçeveden bakıldığında son 5 yıl içerisinde ülkemizde şehiriçi ulaşım klasmanında kamu ve özel sektör tarafından 12 m ve üzeri olmak üzere toplamda 6.527 adet dizel otobüs ve 1.483 adet CNG’li otobüs alınırken sadece 119 adet elektrikli tahrik sistemine sahip otobüs alımı kamu işletmecileri tarafından gerçekleştirilebilmiştir. Beraberinde Türkiye genelinde yapılan bir araştırmaya göre büyükşehir belediyeleri başta olmak üzere 30 şehirde çeşitli evsafda toplamda yaklaşık olarak 15.000 adet içten konvansiyonel sistemli içten yanmalı motora sahip toplu ulaşım aracı kullanılmaktadır. Satış ve kullanım verileri arasındaki makasın bu denli büyük oluşu hem elektrikli otobüsün satış birim fiyatının diğer dizel ve CNG’li otobüslere göre farkını hem de kullanıma dair belirsizlikler olarak değerlendirilmektedir [1-2].

Dünya geneline bakıldığında ise küresel otomobil pazarı hızla değiştiği, elektrikli araç satışları, 2014’te birkaç yüz bin iken 2017 yılsonu verilerine göre 1,6 milyonun üzerine çıktığı belirtilmiştir. Satış verileri için piyasayı bu ölçekte ileriye götüren önemli faktörlerin başında lityum-iyon batarya fiyatlarının son yıllarda düşüşe geçmesi gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre, ortalama pil fiyatlarının 1.000 \$ / kWh olduğu 2010 yılında elektrikli araçların batarya maliyetleri 2017 yılının sonlarına doğru % 79’luk bir düşüşle 209 \$ / kWh seviyesine ulaşmış; buna karşın elektrikli araçların batarya ortalama enerji yoğunluğu da yılda yaklaşık % 5-7 oranında arttığı belirtilmiştir [3].

Genel pencereden bakıldığında ise elektrikli araçların küresel otomobil satışlarındaki payları hala küçük olduğu, çoğu bölgelerde % 2’nin altında yer aldığı ancak lokal bazlı bazı ülkelerde bu oranın arttığı belirtilmektedir. Gelecek 20 yıl da küresel araç sektöründe topyekün elektrikli araçlar nezdinde önemli değişiklikler gidileceği belirtilmektedir. Yapılan tahminlere göre elektrikli araçların 2017’de dünya genelinde 1,1 milyon olan mevcut rekorunun, 2025’te 11 milyona yükseleceği ve 2030’da içten yanmalı motorlu otomobillerden daha ucuz hale geleceği ve 30 milyona yükseldiğini öngörülmektedir. Çin’in, bu geçişe liderlik etmesi ve buradaki satışların 2025’te küresel elektrikli araç pazarının neredeyse % 50’sini ve 2030’da % 39’unu oluşturması beklenmektedir. 2040 yılında, dünya hafif ticari araç pazarının% 55’ine eşdeğer yaklaşık 60 milyon elektrikli aracın satılması öngörülmektedir [4].

Diğer taraftan Elektrikli otobüslerin gelişimi, elektrikli otomobillerden daha hızlı olması muhtemeldir. Birçok açıdan daha uygun olması elektrikli otobüsleri bu konuda avantajlı kılmaktadır ve elektrikli otobüsler ile otomobillerin, 2040 yılında günlük 7.3 milyon varil akaryakıtın kullanılmasını engellemesi beklenilmektedir [4].

Çin, 2020 yılına kadar otobüs filolarını tamamen elektrikli hale getirmek için çalışmalar yürütmekte, mevcut durumda birkaç büyük kentinde bu anlamda uygulamalara başladığını bildirmektedir. Çin'in bu konudaki itici gücü, çevre ve enerji güvenliği endişeleriyle olduğu kadar sanayi politikası ile de ilgilidir. Çin, önümüzdeki yıllarda büyük bir stratejik sanayi kolu olarak gördüğü elektrikli araç konsepti ve sektörü için ulusal liderlik ve bir e-mobilite ekosistemi inşa etmeye çalışmaktadır. Çin'deki ulusal, bölgesel ve belediye politikaları elektrikli araç piyasasını geliştirmekte, ulusal sübvansiyonlar 2020'den itibaren otomobil üreticileri için oluşturulacak kredi sistemi aracılığıyla elektrikli araçlara geçişe itileceği bildirilmektedir [4].

Hava kalitesi birçok kentsel ortamda büyüyen bir endişe olarak göze çarpmakta ve bölge sakinleri için doğrudan sağlık etkileri teşkil etmektedir. İçten yanmalı motorlardan kaynaklanan sera gazı emisyonları, azot oksitler ve partiküller gibi zararlı kirletici kaynakların başında gelir. Özellikle dizel motorları yüksek azot oksit emisyonuna sahiptir. Bu durum bütün dünyada olduğu gibi ülkemiz toplu ulaşım sistemi filolarının da çoğunluğunu oluşturan araç konseptlerine karşılık gelecektir. Ülkemizde kentsel nüfus artmaya devam ettikçe, sürdürülebilir, uygun maliyetli ulaşım seçeneklerini belirlemek daha kritik hale gelmektedir. Yaklaşan 2019 yılı yerel seçimlerinde de önemli büyükşehirlerde birçok adayın ortak vurgusu temiz çevre perspektifi üzerine kurulduğu görülmektedir. Bu anlamda elektrikli otobüsler, zararlı emisyonları azaltmanın ve şehirlerdeki genel hava kalitesini iyileştirmenin en umut verici yollarından birisi olarak değerlendirilmesi gerektiği öngörülmektedir.

S. Varol vd. tarafından İstanbul'da ulaşım kaynaklı, çevreye zararlı gazların azalmasına büyük katkısı olacağı düşünülen, içten yanmalı motor yerine elektrik motoru kullanılan elektrikli araçların işletilmesi konulu çalışmada, gelecekte toplu taşıma araçlarında elektrikli araç sistemlerine geçileceği varsayılan senaryolara yer verilmiş; öngörülen nihai senaryoda ticari taksilerin %100, otobüslerin %70 ve minibüslerin %30 oranında elektrikli araçlara dönüşeceği kabulü yapılarak, elektrikli araç sistemlerine geçiş ile emisyonlarda azalmalar sağlayacağı belirtilmiştir. Özellikle toplu taşıma araçlarının elektrikli sisteme geçişi için yaptığı kabuller çerçevesinde 2.023 GWh elektrik ihtiyacı oluşacağına dair hesaplamalar ortaya koymuş; bu enerjinin temini konusunda mevcut yöntemde kullanılan elektrik enerjisi üretim tesislerinin aynen kullanımına devam edilmesi durumunda, kaynak emisyonlarımız da azımsanamayacak boyutlarda olacağı bu suretle de elektrik enerjisi üretimimizi mümkün oldukça yenilenebilir kaynaklardan yapılması gerektiğini eklemiştir [13].

Karayolu taşımacılığı birçok ülke ve şehirde büyük paya sahip olduğunu belirten M. Hamurcu, buna ve artan araç sayısına bağlı olarak, atmosferde kirletici emisyonların ve karbon dioksit gazı miktarının hızla artması, beraberinde ortaya çıkan çeşitli çevre sorunlarının alternatif yakıtların kullanılmasını gündeme getirdiğine dair yaklaşımlarda bulunmuştur. Günümüzde elektrikli araçlara olan ilginin arttığını ve taşımacılık sektöründe alternatif bir çözüm olarak elektrikli araçların ön plana çıktığını belirtmiştir. Çalışmasında belirlenen kriterler dahilinde çok kriterli karar verme yöntemlerinden faydalanılarak, kentiçi ulaşımın iyileştirilmesi için yüksek kapasiteye sahip elektrikli otobüslerin değerlendirilmesi yapılmış, elektrikli otobüsler ile belediyeçilik anlayışı içinde toplu ulaşımın konfor ve güvenliği sağlayarak yolcuların memnuniyetini, çevresel ve kentsel ulaşımında sürdürülebilirlik yönünde önemli bir adım olacağı belirtilmiştir [14].

M. Cuma vd. tarafından hazırlanan çalışmada ise bütün dünya genelinde içten yanmalı motorlu taşıtların yaygın olarak kullanılması büyük miktarlarda fosil yakıt tüketimine neden olduğu, dolayısı ile bunlardan kaynaklı çevreye yayılan emisyonların doğaya büyük oranda zarar verdiği belirtilmektedir. Geline nokta günümüzde elektrikli araçlara olan ilgi arttığı ve taşımacılık sektöründe alternatif bir çözüm olarak elektrikli araçların öne çıktığı belirtilmiştir. Çalışmada yakın gelecekte Çukurova Üniversitede kullanılması öngörülen elektrikli araçlar için şarj istasyonu altyapısı ve bu altyapının var olan sisteme entegrasyonu dair çalışmalar ve elde edilen simülasyon sonuçlarına yer verilmiştir [15].

S.H. Çelikoğlu, elektrikli araçların, gelişen teknolojiyle gerek özel gerekse toplu taşımaya yönelik kullanımında, fosil türevi yakıtlı araçlara göreli olarak çevre dostu bir seçenek olmasına karşın, özellikle pil teknolojisi kapsamındaki kısıtlarının, gerek kullanım amaçları, gerekse yol ağı özellikleri açısından yeterince irdelenerek, gerekli planlama ve altyapının değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamış, konu ile ilgili öncelikli uygulama alanlarının kentsel toplu taşıma sistemleri özelinde değerlendirilmesi uygun olacağını belirtmiştir [16].

Şehir içinde kullanılan belediye otobüslerini esas teşkil edilen S.Ç. Başlamışlı'nın çalışmasında, mevcut otobüslerin hibrit araca dönüşümü yapılarak ve enerji yönetim algoritmalarını şehre özel sürüş çevrimlerine göre optimize edilecek; teorik olarak, ne kadar yakıt tasarrufu yapılabileceği hesaplanmış, böylelikle ortaya konulabilecek tasarruf potansiyelleri tespit edebilmiştir [17].

Rekabetçi elektrikli otobüs gelişiminin araştırılmasındaki temel zorluğun, menzil kaygısını makul bir maliyet limiti içinde aşabilecek çeşitli teknolojiler arasında mümkün olan en iyi kararı vermek olarak tanımladığı A.E. Hartavi 'nin çalışmasında elektrikli otobüs üreticileri farklı alternatifleri göz önünde bulundurmalarının gerektiği, ayrıca mevcut durumdaki geniş seçenek yelpazesini değerlendirebilmesi adına çeşitli teknolojilerin araç enerji performansı üzerindeki etkisinin ayrıntılı bir şekilde anlaşılması gerektiği üzerinde durulmuştur. Ayrıca çalışmada bir elektrikli şehiriçi otobüs için farklı araç mimarileri ve farklı güç aktarma organları bileşenleri incelenerek enerji verimliliği açısından daha uygun olanı bulmak için karşılaştırmalara yer verilmiştir [18].

Bir toplu taşıma otobüsünün sürüş çevrimi oluşturularak, dizel, bataryalı elektrikli ve hibrit çekişli araç modelleri için benzetimler yapıldığı A. Amini vd. hazırladığı çalışmada, hibrit çekişli araç modeli için iki farklı enerji yönetim algoritması (Dinamik Programlama & Eşdeğer Enerji Minimizasyon yöntemi) uygulanmıştır. Sonuç olarak, araç modelleri arasındaki yakıt tüketimi farklılıklarına ek olarak buldukları yapının getirdiği işletme, altyapı ve üretim maliyetleri eklenerek kısa ve orta vadede hangi araç mimarisinin ön plana

çıkacağı araştırılarak farklı araç konfigürasyonları için 15 yıllık toplam sahip olma maliyeti değerlendirildiği sonuçlara yer verilmiştir [19].

Bu çalışmada genel olarak dünyadaki elektrikli araç sektörü üzerine güncel durum ve yaklaşımlara yer verilmiş, ilgili literatür çalışmaları incelenmiş, Türkiye özelinde elektrikli otobüs eksenini için kısaca tarihten itibaren başlanılarak Türkiye’deki elektrikli otobüs üreticilerine yer verilmiştir. İlerleyen bölümlerde Türkiye’de yer alan toplu ulaşımında mevcut durumda elektrikli otobüs kullanımına dair yaklaşımlara ve Türkiye’de kamu toplu ulaşım sistemlerinde içerisinde gerçekleştirilen elektrikli otobüs alım ihalelerine detaylı olarak yer verilmiştir. Son kısımda ise bu konuda Türkiye özelinde elektrikli otobüs kullanımına dair yapılan değerlendirme ve sonuçları paylaşılmıştır.

2. Türkiye’de Elektrikli Otobüsler

2.1. Türkiye’de Elektrikli Otobüslerin Tarihi -Trolleybüsler

Ülkemizde elektrikli otobüslerin kullanımı eskilere uzanmaktadır. Bugünde Türkiye’nin en önemli ve büyük toplu ulaşım otorite ve idarelerinden olan İETT (İstanbul Elektrik, Tramvay ve Tünel İşletmeleri), EGO (Elektrik, Havagazı ve Otobüs İşletmesi) ve ESHOT (Elektrik, Su, Havagazı, Otobüs ve Trolleybüs İşletmesi) geçmişte trolleybüsleri şehir içi ulaşımında uzun yıllar kullanmıştır.

2.1.1 Ankara Büyükşehir Belediyesi, EGO Genel Müdürlüğü

1947 yılına kadar sadece otobüs çalıştıran EGO Genel Müdürlüğü tarafından, ülkemizde ilk defa trolleybüs hattını tesis edip, işletmeye başlatılmıştır. 1947’de 10 adet Brill marka, 1948’de 10 adet Fbw marka trolleybüs, Ulus – Bakanlıklar hattında hizmete sokulmuş, 1952 yılında alınan 13 adet Man marka trolleybüsle birlikte toplam 33 adetlik elektrikli otobüs filosuna ulaşılmıştır. En son 1961 yılında alınan 33 adet Ansaldo marka trolleybüsün dışında trolleybüs alımı yapılmamış, 1979–1981 döneminde trafiği aksattıkları ve yavaş gittikleri gerekçesiyle hizmetten kaldırılmışlardır [5].

2.1.2 İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İETT Genel Müdürlüğü

İstanbul’da her iki yakada uzun yıllar hizmet veren elektrikli tramvayların 1950’li yılların sonunda kentin ihtiyacını karşılayamaz hale gelmesi üzerine; otobüslere oranla daha ekonomik olması ve elektrik enerjisiyle çalışması dolayısıyla çevreci özelliği de göz önüne alınarak trolleybüs sisteminin kurulmasına karar verilmiştir. İlk hat Topkapı-Emönönü arasında hizmete açılmıştır.

İtalyan Ansaldo firmasına 1956 ‘da sipariş edilen trolleybüsler, 27 Mayıs 1961’de hizmete girmiştir. Toplam uzunluğu 45 km olan hat içerisinde, 100 adet trolleybüs işletilmeye başlanılmıştır. Şişli ve Topkapı garajlarına bağlı olarak hizmet veren ve kapı numaraları 1’den 100’e kadar sıralanan araçlara, 1968 yılında, tamamen İETT imkanları ile yerli olarak üretilen ilk elektrikli otobüs olan “Tosun” un da katılması ile araç sayısı 101 olmuş böylelikle İlk Türk Trolleybüsü Tosun 101 kapı numarasıyla İstanbul’da 16 yıl süreyle hizmet vermiştir. Ancak yaşanan elektrik kesintileri yüzünden sık sık yollarda kalan ve seferleri aksayan trolleybüsler, Ankara’da da olduğu gibi trafiği engellediği gerekçesiyle 16 Temmuz 1984’te işletmeden kaldırılmış, otobüsler İzmir Büyükşehir Belediyesi’ne bağlı ESHOT Genel Müdürlüğü’ne satılmıştır. Trolleybüsler İstanbul’da 23 yıl şehir içi toplu ulaşımında kullanılmıştır [6].

2.1.3 İzmir Büyükşehir Belediyesi, ESHOT Genel Müdürlüğü

ESHOT Genel Müdürlüğü adının içerisinde yer alan son “T” harfi ile trolleybüs işletmecisi olduğu tescil etmiştir. 14 Mayıs 1954’te Fiat marka 4 trolleybüs limandan İzmir’e indirilmesi ve öncesinde sağlanan finansman kredisi ile Siemens işbirliğiyle İzmir de trolleybüslere güç gerekli altyapı tamamlanmıştır. İlk olarak 28 Temmuz 1954’te Konak-Güzelyalı hattında trolleybüsler çalışmaya başlamıştır. 11 metre boyunda, yaklaşık 100 kişi taşıyabilen bu araçlara 1958 yılında 3 adet köprüklü Fiat Viberti daha ilave edilmiştir. 1962-1971 yılları arasında ESHOT atölyelerinde éBussingé şasi üzerine Brown Boveri ekipmanları monte edilerek “yokuş tipi” 21 adet trolleybüs üretilmiştir. 1984 Kasım’ında ise İstanbul’dan alınan 75 adet 1960 model Ansaldo ESHOT’un trolleybüs filosuna katılmıştır [7].

3. Türkiye’deki Elektrikli Otobüs Üreticileri

Ülkemizde otomotiv sektörü içerisinde otobüsler, otomobil klasmanından farklı olarak yerli üretim yapılmak suretiyle ilgili araç üreticileri tarafından satışa sunulmaktadır.

Diğer birçok sanayi kolunda olduğu gibi başlangıçta askeri alanlarda yapılan gelişmeler ve yerli tasarımlar sonrasında ulaşım segmentine entegre edilerek kullanıma sunulmaktadır. Türkiye’de konvansiyonel motorlu otobüs üreticilerinde olan Otokar, Karsan, BMC, Anadolu İsuзу ve Mercedes büyük üreticiler, ürün gamlarına peyderpey elektrikli otobüslere eklemekte, bu konu ile ilgili araştırma ve geliştirme faaliyetlerine devam etmektedirler.

Artan çevresel farkındalık ve akıllı şehircilik ilkeleri çerçevesinde, sıfır emisyonlu sürdürülebilir toplu ulaşım ana hedefi doğrultusunda ilerleyen yerel yönetimler otobüs üreticilerini elektrikli çekiş sistemleri ile sıfır karbon emisyonuna sahip, çevreyi koruyan ulaşım araçlarını üretmeye zorlamaktadır. Elektrikli araç konseptinde içten yanmalı motorun olmaması ve şanzıman gerektirmeyen yüksek torklu elektrik motorları sayesinde sessiz çalışarak gürültü kirliliğini de ciddi oranda azaltmada fayda teşkil eden yenilikler sunulmaktadır.

Ülkemizde güncel durumda elektrikli otobüsler 2 ana kategoride üretilmektedir. İlk bataryalı elektrikli otobüs konsepti olup, toplu ulaşım sistemleri için 5,8 m – 26 m arası, farklı şarj altyapı gereksinimlerini içeren, farklı şarj teknolojilerine sahip modeller; diğer kategoride 24m -25 m'lik gücünü genellikle yol boyunca asılı olan bir elektrik hattından alan elektrikli otobüs olan trolleybüslerin de üretim ve satışı gerçekleştirilmektedir.

Elektrikli otobüslerde kullanılan güncel teknolojiye sahip elektrik motor ve motor sürücülerini ile elektrikli otobüslerde enerjinin tamamına yakını yola aktarılır. Bütün üreticilerin ürün gamlarında yer alan rejeneratif frenleme sayesinde yokuş aşağı inişlerde ve frenlemede bataryalar şarj edilirken, bu teknik sayesinde mekanik fren kullanımı azalır ve uzun mekanik fren ömrü sağlanır. Hızlı veya yavaş şarj sistemleri kullanarak optimize edilmiş bataryalar sayesinde etkin ve verimli ulaşım konsepti ortaya konulmaya çalışılmaktadır. Şanzıman gerektirmeyen çekiş sistemleri bu sayesinde uzun ömürlüdür ve bakım gerektirmeyen yapıları, düşük enerji tüketimleri elektrikli otobüsler avantajlı hale getiren başlıca unsurları oluşturmaktadır.

Gürültüsüz ve ferah iç hacimlerin sağlandığı, yüksek verimliliğe sahip elektrikli araçlara uyumlu klima sistemleri ile yolcu kabini, hem soğuk hem de sıcak havalarda konforlu seyahat imkânı sunarken, en son model içten yanmalı konvansiyonel motorlu otobüslerde bulunan birçok gelişmiş teknoloji unsur ve özellikler; araç içi internet ve veri bağlantısı, araçlara özel tasarlanmış LCD sürücü gösterge panelleri ve kullanıcı arayüzü, araç sürücüsünün ihtiyaç duyduğu tüm bilgileri, grafik ekranında entegre olarak elektrikli otobüslerde de sunabilmektedir.

Aşağıda Türkiye’de bulunan çeşitli evsaf ve türdeki elektrikli otobüs üreticilerine yer verilmiştir.

3.1 Otokar

Türkiye’nin ilk elektrikli otobüsü Otokar firması tarafından üretilen Doruk Electra’dır. Bu araç 9 m olup, 6 ila 8 saat arasında tam şarj olma imkanı sunarken, dahili (onboard) şarj ünitesi sayesinde duraklarda bekleme yaparken de kısa süreli şarj edilme imkanına sahiptir. Electra’nın katalog verilerine göre ideal şartlarda tam şarj ile 280 km mesafe kat edebildiği ifade edilse de üretici firma tarafından yoğun şehiriçi trafikte ve yolcu sayısının çok olduğu saatlerde ise, akü ömrünü koruyan %80 kapasite baz alınarak 170 km menzil değerini sunabildiği ayrıca belirtilmiştir. Uluslararası güvenlik sertifikasyon ve yönetmeliklerine uygun Doruk Electra’da kullanılan aküler ise aşırı şarj, çarpışma, yanma ve kısa devre gibi durumlarda çevresine zarar vermeyen yüksek güvenli lityum demir magnezyum fosfat teknolojisine sahip olduğu belirtilmektedir. Araçta 50 lt ısıtma sistemi için (webasto) harici yakıt tankı (motorin) bulunmaktadır. Bu nedenle % 100 elektrikli olarak değerlendirilememektedir. Ancak tahrik sistemi tamamen elektrikli olan otobüs yerli üretim konseptine sahiptir. Söz konusu araca ait detaylı teknik özelliklere Tablo 1 de yer verilmiştir [20].

3.2 Bozankaya

Bozankaya firması sadece elektrikli batarya ile çalışan; 10 m, 12 m, 18 m, 25 m uzunluklarındaki seçenekleri ve 24 m’lik trolleybüsleri ile şu an gerek pazar payı açısından gerekse de ürün portföyü açısından ülkemizin ve dünyanın önde gelen elektrikli otobüs üreticileri arasında değerlendirilmektedir.

Bozankaya hızlı yolcu indirme-bindirme olanağı sağlayan, %100 alçak tabanlı, uluslararası görüş ve sürücü bölgesi standartlarına uygun, 75 ila 232 yolcu kapasitesine sahip, 5 farklı bataryalı elektrikli otobüs konseptini ürün gamında bulundurmaktadır. Yaptığı lansmanlarda ürettiği araçların çevre dostu, sessiz, verimli ve ekonomik bir şehir içi otobüsü olduğunu belirtirken, şehir içi ulaşımında sıfır emisyon ile çevre dostu bölgeler oluşturulması, şehir içi dur-kalkın sık olduğu bölgelerde verimliliği artırması ve aktarma organları bulunmamasından kaynaklı güç kaybı yaşatmayan yüksek performans sunan araçları ile ön plana çıktığını belirtmektedir. % 100 yerli üretim konseptine sahip elektrikli otobüsler beraberinde mevcut durum itibari ile Türkiye’de en çok kullanılan marka olma özelliğini de taşımaktadır. Bozankaya’nın ürün gamında yer alan bütün elektrikli otobüslere dair teknik özelliklere Tablo 1 de detaylı olarak yer verilmiştir [20].

3.3 Temsa

Ürün gamında 9 m ve 12 m olmak üzere 2 ayrı konsept ve 3 farklı tür bataryalı elektrikli otobüs bulunmaktadır.

İlki 9 metrelik uzunluğa sahip M9 Electricity’dir. Aracın motoru 6 fazlıdır; düşük tork modunda 3 fazı devre dışı bırakılması ile daha az enerji harcar. Yüksek tork modunda ise 6 fazında kullanılması ile yüksek performans sağlar. Motorun nominal gücü 100kW’dir; azami gücü ise 200kW’dir. Batarya Sistemi, 130kWh DC şarj sistemi ile 2 saat içerisinde şarj olabilirken, gece koşulları için 50 kWh DC şarj sistemi ile 6 saatte de bataryayı şarj edebilme kabiliyetine sahiptir. Şarj gerilimi 750V DC’dir. Batarya modülü 200kWh kapasitededir. Rejeneratif frenleme sayesinde, gaz pedalı bırakıldığında, fren pedalına basılmasına bile gerek kalmadan bataryayı şarj edilmesi sağlanır. Bu konumda motor bir retarder gibi davranır ve frenlerin ömrünü uzatır. Enerji tasarrufuna yönelik senaryolarına araç tahrik sistemine kendine özgü yazılımı sayesinde araca yüklenebilir.

Temsa’nın diğer bir araç konsepti olan Avenue EV kullanıcılara tamamen farklı bir şarj sistem ve altyapısı ile ürün portföyü sunmaktadır. Aselsan ile ortaklaşa geliştirilen bu model 12 m olup, yüzde yüz yerli otobüs üretim konseptini taşımaktadır. Otobüs için kullanılan elektrik motor, motor sürücüsü, araç kontrol yazılım ve donanımları Aselsan tarafından geliştirilerek araca entegre edilmiştir. 8-10 dakikada tam şarja ulaşabilen, hızlı şarj yeteneği sayesinde duraklarda kısa süreli şarjlarla kesintisiz hizmet devamlılığı ve sınırsız menzil imkanı sağlayan otobüs konsepti duraklara entegre otomatik şarj bağlantısı ile 450 kW’lık yüksek hızlı şarj işlemi sayesinde otobüs durağa ulaştığında otomatik başlar. Üretici firma tarafından lityum titanat batarya teknolojisinin yüksek güç yoğunluğu ve hızlı şarj özelliğine sahip güvenli ve uzun ömürlü şarj edilebilir batarya teknolojisi olduğu belirtilmiştir. Belirtilen bu özellikleri uzun batarya ömrü ve yolcu güvenliği hususlarını ön plana çıkarmaktadır. Yüksek güç, tork ve verim değerine sahip elektrik motoru ve motor sürücü birimi, zorlu çevre ve yol koşullarına uygun olarak geliştirildiği düz yollarda olduğu kadar eğimli yollarda da üstün performans

sunduğu belirtilmektedir. Bu araç modelinde yer alan batarya hücreleri hariç elektrik tahrik motoru ve de yazılım dahil olmak üzere tüm komponentler ülkemizde yerli olanaklarla üretilmektedir.

Son olarak Avenue Electron 250 kW motor gününde, uluslararası standartlara uyumlu olup araç farklı kapasitede şarj cihazları ile şarj edilebilir. Şarj etme zamanı 90 kWh DC şarj cihazı ile 4,5 saat; 150 kWh DC şarj cihazı ile 3 saat olarak belirtilmiştir. Temsa üretim gamında bulunan her 3 araca dair teknik özellikler Tablo 1 de detaylı olarak verilmiştir ancak Aselsan ile ortaklaşa geliştirilen Avenue EV ürün firma gamından kaldırılmıştır [20].

3.4 Karsan

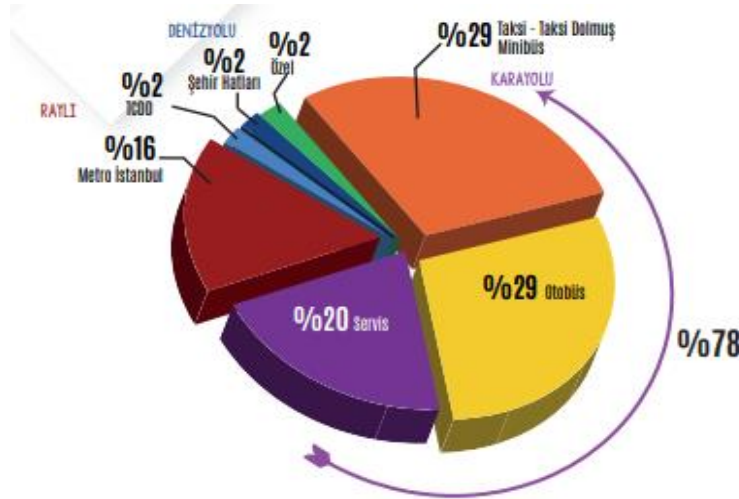
Karsan'ın satış gamında yer alan Jest Electric modeline ait ana tahrik sisteminin elektrik motoru BMW tarafından geliştirilmiştir. Diğer elektrikli toplu ulaşım araçlarının aksine bu model 5,8 m lik uzunluğu ile minibüs olarak bilinen kısa kategoride yer aldığından, söz konusu kamu toplu taşıma otoritelerinin otobüs alım süreçlerinde değerlendirilemediği için bu çalışma içeriğinde değerlendirmeye alınmamıştır.

3.5 BMC

BMC'nin ürün Neocity ürün ailesi içerisinde yer alan ve 8,5 m versiyonu olan elektrikli otobüs modeline ait teknik veriler Tablo 1 de detaylı olarak verilmiştir. Samsung'un batarya hücrelerinin kullanıldığı belirtilen modelde % 100 şarj edilmesi 7 saat sürdüğü; hızlı şarjın ise Bataryanın %80 kadar dolum için 2 saat sürdüğü belirtilmekte olup, en önemli farklılık bataryaların değişim (swap) özelliklerinin bulunması olarak göze çarpmaktadır [20].

4. Türkiye'de Toplu Ulaşımında Elektrikli Otobüsler

Dünyanın önde gelen birçok metropolünde olduğu gibi ülkemizde de günlük yaşantının en önemli gereksinimlerinden olan toplu ulaşım ihtiyacı, emisyon kaynaklı çevresel kaygılar olmasına rağmen, büyük ölçüde konvansiyonel motorlara sahip araç konseptleri ile karşılanmaktadır [1]. Bu doğrultuda Türkiye ölçeğinde bir örneklem teşkil etmesi adına 2018 yılı verilerine göre İstanbul'da günlük gerçekleştirilen toplam yolculuk sayısının, ortalama bazda 13 milyonu aşmış olduğu, İstanbul'da toplu taşımada hizmet sağlayan bütün modlarda yer alan araçlar dahil edildiğinde, İstanbul özelinde toplu ulaşım hizmetinin % 84'u içten yanmalı motor sistemlerine sahip ulaşım sistemleri ile gerçekleştirildiği görülmektedir [1]-[8]-[9].



Şekil 1. İstanbul Toplu Ulaşım Sisteminin Mod Bazlı Dağılımı

Diğer taraftan Türkiye genelinde elektrikli otobüs alımı için kamu toplu ulaşım hizmet sağlayıcıları tarafından gerçekleştirilen ihaleler incelendiğinde gerek teknik şartname içeriklerinde, gerekse de istenilen performans koşul ve parametrelerinde ortaya çıkan bir standart gözlenmemiştir.

Türkiye geneli toplu ulaşım sistemi içerisinde bugüne kadar gerçekleştirilen elektrikli otobüs alım ihalelerinde toplamda 32 adedi trolleybüs olmak üzere, çeşitli ebatlarda 119 adet elektrikli tahrik sistemine sahip toplu ulaşım aracı, 8 belediye tarafından ihale edilmiş olup; ancak henüz hepsi de kullanıma sunulmamış; bu anlamda teslim terminleri beklenilmektedir. Gerçekleştirilen alım ihalelerinde araç türlerine dair standart olmadığı gibi gereksinim duyulan teknoloji, tahrik, batarya ve şarj sistemlerinde farklı yaklaşımların, söz

konusu ihaleleri gerçekleştiren toplu ulaşım hizmet sağlayıcıları tarafından talep edildiği görülmektedir. İhalesi olumlu sonuçlanarak sözleşmeye bağlanan 118 adet elektrikli tahrik sistemine sahip toplu ulaşım araçlarından Bozankaya 'ya aittir. Ayrıca 1 adet de Gaziantep Büyükşehir Belediyesi ile o bölgenin elektrik dağıtım şirketi olan Toroslar Elektrik Dağıtım A.Ş arasında gerçekleştirilen bir protokol kapsamında Temsa marka bir otobüs kullanılmaktadır. Diğer taraftan Türkiye'nin en büyük toplu ulaşım araç filolarına sahip İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü ile Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüklerinin Türkiye'de elektrikli otobüs kullanımının öncüleri arasında yer almasına rağmen ise mevcut durum itibari ile filolarında hiç elektrikli otobüs bulunmamaktadır. Bu çalışmada yer almayan ancak elektrikli otobüs alım üzere ihale hazırlık çalışmaları yürüten başka toplu ulaşım hizmeti sunan bazı yerel yönetimlerin olduğu da bilinmektedir [10].

Türkiye'de yerel yönetimler ve bağlı iştirak şirketleri tarafından gerçekleştirilen elektrikli otobüs alım ihaleleri detaylı olarak incelendiğinde bugüne kadar ki gerçekleştirilen konvansiyonel motorlu otobüs alım ihalelerinden farklı olarak gerek alım modeli gerekse de alım koşulları için temel kriterlerde farklılıklar ve önemli konsept ayrımları rahatlıkla görülmektedir. Ayrıca gerçekleştirilen bu ihalelerin birçoğunda zeyilname² düzenlendiği ki bu durum alım kriter ve koşullarının belirlemede, ihale sürecini etkileyecek türden değişikliklere gidilmesi konusunda ihaleyi gerçekleştiren idareleri zorunlu kıldığı tespit edilmiştir. Son olarak bazı idarelerinde de elektrikli otobüs alımı için gerçekleştirdikleri ihalelerin çeşitli sebeplerle iptal edildiği görülmüştür.

Türkiye'de elektrikli otobüs alımlarında, mevcut durumda ilk alım maliyetlerinde benzer evsafa dizel ve CNG'li modellere göre oldukça pahalı olduğu için sadece kamu üzerinden gerçekleştirilen ihaleler ön plana çıkmaktadır. Kamu kurum ve kuruluşların bu manada gerçekleştirdikleri mal alımlarında (otobüs alımlarında) istenilen ürün dair doğrudan marka ve/veya model belirtememekte, tabii oldukları kamu ihale kanun ve yönetmelikleri çerçevesinde, yapılacak alımlar için belirlenen ihtiyaca istinaden ürünün teknik kriter ya da kıstaslarının yer aldığı teknik şartnameler oluşturulmaktadır. Bu anlamda teknik şartnameler kamu alımlarında kullanılan ihale yöntemlerinde en temel belirleyici husus olup, bu ölçek de gerek rekabet koşullarını oluşturmada gerekse de alım için ortaya konulan beklentiler tespit etmede önem arz etmektedir.

Sözleşmeye bağlanan ihaleler sonucunda alımı gerçekleştirilen birçok otobüs aynı marka ve model olmasına rağmen, söz konusu alımlar için gerçekleştirilen ihalelerde kullanılan teknik şartnameler de bir yeknesaklık olmadığı gibi standart yaklaşım ve perspektifler de kullanılmamıştır. Şüphesiz bu sebeplerin başında ihaleyi gerçekleştiren idarelerin gereksinim farklılıkların yansira, elektrikli otobüs konseptinde standardizasyonun oluşmamasının da geldiği düşünülebilir.

Bilindiği üzere elektrikli otobüs konsepti içerisinde dünya genelinde ve ülkemiz özelinde araç üreticileri referans alındığında, bir elektrikli otobüsün ana unsurları araç karoseri, ana tahrik sistemi (elektrik motoru), batarya yönetim sistemi (BYS), batarya sistemi ve şarj konsepti olarak değerlendirilebilmektedir [1]. Aynı evsaf ve kapasitelerdeki farklı marka elektrikli otobüslere bakıldığında; tekerlek, karoseri, yolcu yerleşimi, iç&diş aydınlatma vb. konularda standartlar yakalanabilmesine karşın; şarj konsepti, batarya türü ve kapasitesi, BYS son olarak da ana tahrik sistemindeki kullanılan elektrik motorunda farklılıklar yer aabilmektedir. Dolayısı ile diğer konvansiyonel otobüs konseptleri için yapılan alım ihalelerinden farklı olarak otobüslerin performans ölçeceği, en önemli belirleyici unsur olarak karşımıza çıkmaktadır.

Elektrikli otobüs alımlarındaki diğer önemli bir yaklaşım ise özellikle dizel otobüslerden farklı olarak kullanılacak şehir özelindeki işletme şartlarının çok önemli bir belirleyici unsur olduğu gerçeğidir. Zira elektrikli araç genelinde en önemli kısıtlayıcı unsur olarak dile getirilen menzil parametresini; sanılanın aksine özellikle şehiriçi ulaşım sistemlerinde kullanılacak elektrikli otobüsler için önemli bir avantajı beraberinde getirdiği ortaya konulmuştur [1].

Bütün dünyada olduğu gibi Türkiye özelinde mevcut şartlar göz önünde bulundurularak, yerel yönetimler için elektrikli otobüs konseptine geçiş doğru analiz edilerek, toplam sahip olma maliyetleri esas alınması suretiyle değerlendirmeye tabi tutulmalıdır. Özellikle şehir için toplu ulaşım işletme şartları esas alınarak optimum araç konsepti teşkil edilmeli, böylelikle günümüz koşullarında halen elektrikli otobüs maliyetinin önemli bir kalemi olan batarya kapasitesi ve şarj altyapı unsurlarında elde edilecek optimizasyonlarla, araç maliyetlerinde azalma potansiyelleri ortaya konulmalıdır. İhtiyaç koşulları iyi belirlenerek ideal elektrikli otobüs konseptleri ile ilgili şehir ve işletme şartları doğrultusunda araç üreticileri içinde belirleyici parametreler ortaya konulmuş olacaktır.

Bu açıları bakıldığında Türkiye ölçeğinde elektrikli otobüs konsept ilk olarak 2 ana kategoride değerlendirilebilir. İlki trolleybüs sistemleridir. Harici bir havai hat üzerinde enerji beslemesi alınarak işletmesi gerçekleştirilen bir çeşit elektrikli otobüs konsepti olan bu sistemler, özellikle geçmiş tarihlerde İstanbul, Ankara ve İzmir'de toplu ulaşım sistemlerinde sıklıkla kullanılmıştır. Sınırlı hat ve güzergâh üzerinde kullanıma zorunluluğu olan bu sistemler beraberinde taşımakla zorunlu olunmayan batarya yük ve dolayısı ile katlanılacak ekstra batarya maliyetlerden avantaj teşkil ederken, güzergahı boyunca enerji tedariki için gerekli olan havai besleme hatları için gerekli olan ekstra yatırım maliyetlerini beraberinde getirmektedir. İstenilen yolcu kapasitesinde tasarlanabilecek yapı işletme maliyetleri açısından- araç bazlı farklılık gözetmezken, özellikle BYS açısından da daha az kompleks yapısı nedeni ile önemli maliyet ve işletme avantajları teşkil edebilmektedir.

Türkiye'de mevcut durum itibari ile Malatya Büyükşehir ve Şanlıurfa Büyükşehir Belediyeleri tarafından ihaleleri gerçekleştirilen Trolleybüs sistemleri için Malatya da 2015 yılında işletmeye geçilmiş; Şanlıurfa'da ise yapılan sözleşme gereği araç siparişleri verilmiş ve 2019 yılı itibari ile işletmeye geçileceği bildirilmiştir.

Türkiye ölçeğinde diğer elektrikli otobüs konsepti ise bataryalı elektrikli otobüslerdir. Yine Türkiye pazar payı içerisinde yer alan otobüs tedarikçileri bazında ele alındığında iki farklı araç konsepti ön plana çıkmaktadır ki ilki Bozankaya üretim portföyü içerisinde

² Kamu ihale kanunun çerçevesinde ihale gerçekleştirilmeden önce, belirlenen süre zarfında idareler tarafından ihale şartname ve eklerinde değişikliğe gidilmesi

Sileo, Otokar Doruk Electra, Temsa M9 Electricity, Temsa Electron ve BMC Neocity modellerini de kapsayan yüksek batarya kapasitesi ve beraberinde genellikle gece şarj etme altyapısına uygun tasarımlardır. Diğer taraftan daha düşük batarya kapasitesine sahip ve hızlı şarj altyapısı sunan Temsa ve Aselsan'ın ortaklaşa geliştirerek üretime sunulan Avenue EV modeli de Türkiye özelinde sunulan diğer bir elektrikli otobüs konseptidir.

4.1 Türkiye’de Kamu Toplu Ulaşım Sistemlerinde Gerçekleştirilen Elektrikli Otobüs Alım İhaleleri

Türkiye’de 2018 yılı sonu itibari ile elektrikli otobüs, altyapı gereksinimleri ve projelendirmeleri için kamu toplu ulaşım idareleri ve ilgili iştirakleri tarafında gerçekleştirilen mal, hizmet ve yapım ihale sayısı 23 adet olup, 7 adet ihale çeşitli sebeplerle iptal edilmiş, 16 adedine dair sözleşme imzalanabilmiştir. Yapılan bu ihalelerin birçoğunda zeyilname düzenlenmiştir.

Nihai durumda 8 İdarenin başarı ile gerçekleştirebildiği ihaleler sonucunda, 2019 yılı sonu itibari ile Türkiye toplu ulaşım sisteminde mevcut sözleşmeye bağlanan ihaleler esas alındığında, toplanan 119 adet elektrikli otobüs kullanıma girmiş olacaktır. Yapılan ihalelerde İdareler tarafından araçlara dair istenilen teknik kriter ve özel şartlar ile ilgili teknik şartnameleri esas alan detaylı bilgiler Tablo 2’de, İdare bazlı ihale içerikleri ve sayıları ise Tablo 3’de detaylı olarak sunulmuştur.

4.1.1 Malatya Büyükşehir Belediyesi

Malatya Büyükşehir Belediyesi tarafından 2 ana ihale çerçevesinde gerçekleştirilen 22 adetlik trolleybüs sistemi kurulumu için ilk olarak 10 adet trolleybüs ile katener, güç temini, haberleşme sistemini içeren ihale sistem kurulmuş sonrasında da 10 adet daha araç alımını içeren ikinci bir ihale gerçekleştirilerek toplam da 22 adetlik araç sayısına ulaşılmıştır. Bu hali ile Türkiye’nin en büyük³ Trolleybüs ve dolayısı ile elektrikli aracına sahip toplu ulaşım filosu oluşturulmuştur.

4.1.2 Eskişehir Tepebaşı Belediyesi

Eskişehir’e bağlı bir ilçe belediyesi olan Tepebaşı Belediyesi paydaşı olduğu Avrupa Birliği projesi kapsamında -AB Araştırma ve İnovasyon Çerçeve Programı, Horizon 2020 Programı- Avrupa Komisyonu ile imzalanan 646511 numaralı, 02.12.2014 yürürlük tarihli, "REMOURBAN" isimli proje kapsamında 4 adet elektrikli otobüs alımı gerçekleştirmiştir.

Bozankaya’nın TGV E Karat modeli olarak bilinen ve ilk nesil elektrikli otobüs konsepti olan 4 adet 10,7 metre elektrikli otobüs, 2017 yılı itibari ile Eskişehir Tepebaşı Belediyesi’ne hizmet vermeye başlamıştır.

4.1.3 Konya Büyükşehir Belediyesi

2016 yılında 4 adet 10,7 metrelik Bozankaya Sileo Konya’da toplu ulaşımında hizmet vermeye başlamıştır. Tek paket halinde 120 adet 12 m solo tip, 21 adet 18 m körüklü tip CNG’li otobüs ile birlikte 4 adet 10 m elektrikli tip otobüs alım başlığı ile gerçekleştirilen ihalede araç teknik parametreleri tarif edilerek teknik şartname oluşturulmuştur.

4.1.4 Manisa Büyükşehir Belediyesi

20 adet 18 metre ve 2 adet 25 metre olmak üzere toplamda 22 adet elektrikli otobüs Manisa Belediyesi tarafından sözleşmeye bağlanılmış ve kullanıma başlanmıştır. Yine tedarikçi olarak Bozankaya’nın kazandığı bu ihalede 2 ayrı otobüs konsepti için toplam da 2 ayrı ihale gerçekleştirilmiştir. İlki altyapı kurulumunu ikincisi ise araç alımını muhteva etmektedir. Türkiye’deki en uzun, bataryalı elektrikli otobüs alım ihalesi olarak ön plana çıkmaktadır.

4.1.5 İzmir Büyükşehir Belediyesi

İzmir’de 20 adet 12 m elektrikli otobüs alımı gerçekleştirmek üzere elektrikli otobüslerden teşekkül edilen en büyük ve ilk filosu ile hizmet verilmeye başlanılmıştır. Güneş enerjili elektrik üretim tesisi ile entegrasyon sağlanmak suretiyle hizmet vermeye devam edilen sistem ile ilk defa Türkiye’de gerçek anlamda % 100 sıfır emisyonlu toplu ulaşım ana eksenini çerçevesinde adım atılmış olan projedeki otobüsler Bozankaya firması tarafından üretilmiştir. İhalede yine proje kapsamında ilk olarak araçlar temin edilmiş sonrasında gerekli altyapı kurulumu için ayrı bir ihale gerçekleştirilmiştir. Araç alımları için toplamda 3 sefer ihale düzenlenmiş ilk ikisi iptal edilmiştir. Yine proje içeriğinde yer alan güneş enerji santrali (GES) sistemi için de ayrı bir ihale gerçekleştirilmiştir. Önemli bir yaklaşım olarak, elektrikli otobüs kullanımı için hazır olmayan altyapıdan dolayı işletmeye geçilmesi zaman alan İzmir Büyükşehir Belediyesi’nin projesinde, elektrikli otobüs konsepti için gerçekleştirilecek ihalelerde gerekli altyapının ve işletme modelinin ne denli

³ Elektrikli araç olarak Manisa Belediyesi ile birlikte fazla sayıda elektrikli otobüse sahip kamu toplu ulaşım idaresidir.

önemli olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır. Söz konusu araç alımına dair teknik şartnamede işletme bazlı tercih kriterleri esas alındığı seçim parametreleri yer verildiği gözlenmiştir.

4.1.6 Elazığ Belediyesi

Bozankaya firması tarafından üretimi gerçekleştirilen ve Türkiye'nin ilk 18 metre tek körüklü elektrikli otobüsü olan araçlar Elazığ Belediyesi tarafından gerçekleştirilen ihalede tercih edilmek suretiyle, toplamda 15 adetlik araç sayısını esas alan bir sözleşme imzalanmıştır.

4.1.7 Kayseri Büyükşehir Belediyesi

10 adet 18 metre tek körüklü ve 8 adet 25 metre çift körüklü elektrikli otobüs alımı gerçekleştiren Kayseri Büyükşehir Belediyesi ilgili alım kapsamında ilki elektrikli otobüslerin alım ihalesi olmak üzere sonrasında bu araçlar için kurulan bakım atölyesi için trafo merkezi inşa etmek üzere ihale gerçekleştirmiştir. Yine araç teknik kriterlerinden ziyade aracın çalışacağı koşulları esas alan ve bu koşullar doğrultusunda araç istenilen teknik şartnamede yer alan detaylar Tablo 2 de verilmiştir. Bu ihalede de Bozankaya firmasına ait araçlar kullanılacaktır.

4.1.8 Gaziantep Büyükşehir Belediyesi

Enerjisa'nın dağıtım şirketlerinden Toroslar Elektrik Dağıtım AŞ'in Gaziantep'te, Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu'nun fonuyla yürütülen proje kapsamında 'Akıllı Şehir' konsepti gereğince proje ana başlıklardan olan "Elektrikli Ulaşım (Elektrikli toplu ulaşım çözümlerini destekleyen hızlı şarj altyapısı kurularak şehirlerimizde temiz ulaşım sistemlerinin tanıtılması ve test edilmesi)" ile Temsa'nın üretimini gerçekleştirdiği 1 adet MD9 ElectricITY model elektrikli otobüs toplu ulaşım sistemine dahil edilmiştir. Türkiye'de gerçekleştirilen elektrikli otobüs kullanımı içerisinde sadece Gaziantep Büyükşehir Belediyesi'nde farklı bir marka tercih edilmiş olup, bu durum muhtemelen dağıtım şirketi ve otobüs üretici şirketin aynı şirketler grubuna bağlı olmalarından kaynaklı olduğu sonucu ortaya koymaktadır. Böylelikle farklı bir elektrikli otobüs markası sektöre giriş yapabirmiştir.

4.1.9 Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi

Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi 10 adet 25 metrelik Trolleybüsü kapsayan sözleşme imzalayarak yine ihaleye kazanan Bozankaya firmasına sipariş vermiş olup, söz konusu ihale sistem için gerekli güç temini, kataner, kontrol, sinyalizasyon, haberleşme ekipmanı dahil şekilde tasarlanmıştır. Bu proje kapsamında ilk olarak Kayseri Ulaşım A.Ş'den ön proje ve etüd hizmeti alınmış, sonrasında iş uygulama projesi olarak tasarlanmıştır.

Bunların dışında Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü ile Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü ile yapılan protokol çerçevesinde 2019 yılında 3 adet elektrikli otobüsün alınarak Ankara toplu ulaşım sisteminde kullanılmasına dair basınla yansıyan bilgiler bulunmaktadır ancak 2018 yıl sonu itibari ile kamu ihale kanunu çerçevesinde ilam edilen ya da gerçekleştirilen ihale bulunmamaktadır [11].

Son olarak Türkiye'de en büyük araç filosuna sahip İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü ve Batman Belediyeleri tarafından yapılan elektrikli otobüs alımına dair ihaleler iptal edilmiştir. Bunlarda İETT 3 defa resmi olarak ihaleye çıkmış olup en sonucunda uygun teklif bulunmadığı için ihalenin iptal edildiği bildirilmiş olup toplamda 200 adetlik (97 körüklü, 103 solo) alım ile Türkiye ve dünya özelinde tek seferde yapılabilecek en büyük elektrikli otobüs alım sayısına ihale üzerinde ulaşılmıştır. Araçlar için gerekli altyapı dahil sistem kurulumunu öngören ihalede araçlar için 10 yıllık bakım & onarım garantisi talep edilmektedir. Beraberinde Batman Belediyesi ise 4 adet 9 m uzunluğunda elektrikli otobüs alımı için çıkılan ihalede yeterli istekli katılımı gerçekleştirmediği için ihale iptal edilmiştir. İhale kapsamında araçların garanti süresi için 5 yıl sınırsız km istenilmiş; batarya ve batarya yönetim sistemi içinde aynı süre zarfı geçerli kılınmıştır.

5. Değerlendirme ve Sonuç

Sıfır emisyonlu, sürdürülebilir toplu ulaşım ekseninde için ciddi avantajlar teşkil eden elektrik tahrik sistemine sahip otobüsler bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de önemli avantajlar ortaya koymaktadır. Türkiye 'de kayıtlara göre 15.000 dolaylarında konvansiyonel motorlu lastik tekerlekli ulaşım sistemlerinin kullanıldığı (taksi, dolmuş ve minibüsler hariç) şehir içi toplu ulaşım sistemleri içinde sadece 119 adet elektrik motorlu tahrik sistemine sahip otobüs 2019 yılı sonu itibari ile kullanılmada olacaktır. Kuşkusuz makasın bu denli büyük olmasının başındaki en önemli etmenlerin başında söz konusu araçlar için benzer evsaflardaki dizel ve CNG'li versiyonlarına göre ilk alım maliyetlerindeki farklılıklardır.

Elektrikli otobüslerin en önemli maliyet unsuru olan bataryaların, sahip olduğu teknolojinin özellikle de batarya hücrelerinin ülkemizde gerek hammadde gerekse de üretim olarak hiç yer almaması ortaya çıkan bu olumsuz koşulların dünya genelinde yaşanan değişikliklerle eş zamanlı olarak ilerleyeceğini göstermektedir.

Diğer taraftan özellikle elektrikli otobüs kullanımında öncülük teşkil eden ve bundan sonrada etmesi beklenen yerel yönetimler için yapılacak alımlarda farklı finansman koşullarının ortaya konularak, kamusal destek, teşvik ve/veya hibelerin arttırılması; bu konsept ulaşım sistemlerinde toplam sahip olma maliyetini esas alan yenilikçi yaklaşımların ortaya konulması gerekmektedir.

Bugüne kadarki gerçekleştirilen elektrikli otobüs alım ihaleleri, teknik şartnameleri açısından bakıldığında, araç teknik kriterleri belirlemektense; ihtiyaç duyulan işletme parametrelerinin ortaya konulduğu, bu doğrultudaki gereksinimlere karşılık verilen tekliflerin değerlendirildiği sözleşmelere geçilmesi gerektiği düşünülmektedir. Özellikle batarya, şarj sistemi unsurlarını içine alan ve ülke genelinde standardizasyona gidilmek suretiyle, ihaleyi gerçekleştiren idareler açısından da referans teşkil edecek, daha rekabetçi koşulların ortaya konulması gerekmektedir.

Son olarak Türkiye’ de özellikle yerli üretim lansmanının öne çıktığı günümüz koşullarında gerçekleşen bütün ihalelerin biri hariç aynı firma tarafından kazanılması söz konusu üretici firması açısından büyük bir başarı olarak yorumlanırken diğer üreticiler açısından da bu durumun doğru analiz edilmesini, yaklaşım ve kullanılan teknolojilerde revizyonlara gidilmesini gerekli kılmaktadır. Kullanılan teknoloji ya da sistemlerin en mükemmeli, en hızlısı, en farklısı yerine, söz konusu elektrikli otobüslerin kullanılacağı toplu ulaşım sistemleri için işletme şartlarını referans alan ve toplam sahip olma maliyetlerinde avantaj teşkil edebilecek, mevcut kullanılan sistem ve sektör rakiplerinde göre de optimum koşulları sağlayacak, yenilikçi, sürdürülebilir ulaşım konseptini teşkil edilmesi gerekmektedir.

Tablo 1 Türkiye 'deki Üreticilen Elektrikli Otobüslere ait Teknik Özellikler

Marka	OTOKAR	BMC	TEMSA	BOZANKAYA	BOZANKAYA	BOZANKAYA	BOZANKAYA	BOZANKAYA	TEMSA	BOZANKAYA
Model	Doruk Electra	Neocity Electric TM4 SUMO	MD9 ElectriCITY	TCV E-Krat 10,7 m *	SILEO S 10	SILEO S 12	SILEO S 18	SILEO S 25	Avenue On	Trolleybüs
Uzunluk	9312 mm	8500 mm	9496 mm	10700 mm	10752 mm	12220 mm	18300 mm	24380 mm	12.000 mm	24.700 mm
Genişlik	2350 mm	2450 mm	2400mm	2550 mm	2550 mm	2550 mm	2550 mm	2550 mm	2.550 mm	2.550 mm
Yükseklik	3336 mm	3143 mm	3132 mm	3350 mm	3213 mm	3213 mm	3213 mm	3213 mm	3.600 mm	3.467 mm
Azami yüklü ağırlık	140000 kg	14900 kg	13834 kg (boş)		19500 kg	19500 kg	28000 kg	390000 kg	19000 kg	23700 kg
Motor	Elektrik Motoru	Elektrik Motoru	Elektrik Motoru	Elektrik Motoru	Elektrik Motoru	Elektrik Motoru	Elektrik Motoru	Elektrik Motoru	Elektrik Motoru	Elektrik Motoru
Motor Tipi		Sabit Mıknatıslı Asenkron Motor	6 fazlı, fırçasız DC Motor	DC Motor	?				9 fazlı, Sabit mıknatıslı DC motor	Asenkron Motor
Azami net güç	103 kW	235 kW	100 kW	240 kW	120 kW x 2	120 kW x 2	125 kW x 2	125 kW x 2	250 kW	250 kW
Azami Net tork	4750 Nm@ 2600 rpm	310 Nm@1000-3000 rpm	2200 Nm	2100 Nm	21000 Nm	21000 Nm			2700 Nm	
Yerleşim	25 O + 24 A + 1 S	21 O + 51 A + 1 S	26 O + 30 A + 1 S	25 O + 65 A + 1 E + 1 S	33 O + 57 A + 1 S	39 O + 51 A + 1 S	55 O + 81 A + 1 S	71 O + 139 A + 1 S	35 O + 54 A + 1 E + 1 S	48 O + 173A + 1 S
Şanzuman	robotize edilmiş şanzıman 6 ileri 1 geri	yok	yok	yok	yok	yok	yok	yok	yok	yok
Frenleme	ön,arka,durak freni ve retarder sistemi		Rejeneratif Frenleme Sistemi bulunmaktadır	Rejeneratif Frenleme & WABCO EBS	Rejeneratif Frenleme & WABCO EBS	Rejeneratif Frenleme & WABCO EBS	Rejeneratif Frenleme & WABCO EBS	Rejeneratif Frenleme & WABCO EBS	Rejeneratif frenleme	Rejeneratif frenleme sistemi bulunmaktadır.
Batarya Kapasitesi	170 kWh	266 kWh (168Sx4P), 600V	200 kWh	200 kWh	230 kWh	230 kWh	346 kWh	452 kWh	70 kWh	
Batarya Hücre Tipi	LiFeMgPO4	Li-Ion Samsung Hücre, IMECAR Batarya		lityum iyon bazlı	LiFePO4	LiFePO4	LiFePO4	LiFePO5	lityum titanat bazlı	
Şarj Sistemi	30 kW x 2 -araç üstü	AC 44kW ile 6 h DC 100kW ile 2h (%80)	750 V DC 130 kW DC şarj ile 2 h 50 kW DC şarj ile 6 h		SCL ile 400 V AC 40/80 kW	SCL ile 400 V AC 40/80 kW	SCL ile 400 V AC 40/80 kW	SCL ile 400 V AC 40/80 kW	450 kW	
Hızlanma Performans*	0-30 km/s (8.5 sn)			1,1-1,3 m/sn ²	1,1-1,3 m/sn ²	1,1-1,3 m/sn ²	1,1-1,3 m/sn ²	1,1-1,3 m/sn ²	1,1-1,3 m/sn ²	1,1-1,4 m/sn ²
Harici Yakıt Tankı	motorin 50 lt-(webasto için)	yok	yok	yok	isteğe bağlı ısıtma için	yok	yok	yok	yok	yok
Azami Hız	90 km/h	70 km/h		75 km/h	75 km/h	75 km/h	75 km/h	75 km/h	80 km/h	65 km/h
Tırmanma	30%		20%	22%					13%	18%

* Sileo S10 'un İlk versiyonu (I. Nesil)

O:Oturak yolcu sayısı, A:Ayakta yolcu sayısı, E:Tekerlekli sandalyeli yolcu sayısı, S:Sürtücü SCL: Aktif Hücre Dengeleme Sistemi (Bozankaya için)

Tablo 3 Türkiye 'de Toplu Ulaşım Hizmeti Sunan Kamu Kurum ve Bağlı İştirakleri Tarafından Gerçekleştirilen Elektrikli Otobüs Alım ve Altyapı İhaleleri [12]

İhale K.Numarası	İhale Adı	İdare Adı	İhale Türü	İhale Usulü	İhale Tarihi	İhale Durumu	İli	Zeyilname
2018/362981	Elektrikli Otobüs Bakım Atölyesi Trafo Merkezi Kurulması Yapım İşi	Kayseri Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Planlama Ve Raylı Sistem Dairesi Başkanlığı	Yapım	Açık	17.08.2018 10:00	İhale İptal Edilmiş	Kayseri	Zeyilname Düzenlenmiş
2018/161968	Elektrikli Otobüs Alımı	Batman Belediyesi İşletme Ve İştirakler Müdürlüğü	Mal	Açık	08.05.2018 15:00	İhale İptal Edilmiş	Batman	Zeyilname Düzenlenmiş
2018/97462	Elektrikli Otobüs	Kayseri Büyükşehir Belediyesi (adına) Kayseri Ulaşım A.Ş	Mal	Açık	05.04.2018 14:00	Sonuç İlanı Yayınlanmıştır	Kayseri	Zeyilname Düzenlenmiş (2)
2017/32564	2 Kalem Elektrikli Otobüs	İETT Genel Müdürlüğü Satınalma Daire Başkanlığı	Mal	Açık	16.11.2017 14:00	İhale İptal Edilmiş	İstanbul	
2017/427803	Elektrikli Otobüs Alımı (Şarj Üniteleri İle Birlikte)	Manisa Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı	Mal	Açık	29.09.2017 10:00	Sonuç İlanı Yayınlanmıştır	Manisa	Zeyilname Düzenlenmiş
2017/173376	2 Kalem Elektrikli Otobüs Alımı	İETT Genel Müdürlüğü Satınalma Daire Başkanlığı	Mal	Açık	17.05.2017 14:00	İhale İptal Edilmiş	İstanbul	Zeyilname Düzenlenmiş(2)
2017/111661	Elektrikli Otobüs Alımı	Elazığ Belediyesi (adına) EBUAŞ Ulaşım A.Ş.	Mal	Açık	24.04.2017 14:00	Sonuç İlanı Yayınlanmıştır	Elazığ	Zeyilname Düzenlenmiş
2017/106242	Elektrikli Otobüs Projesi Kapsamında Servis Bakım Ve İdari Bina Şarj İstasyonu Binaları ve Bu Binalara Ait Park Alanı Projelerinin Hazırlanma	Manisa Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı	Hizmet	Pazarlık	15.03.2017 10:00	Sonuç İlanı Yayınlanmıştır	Manisa	
2017/57833	ESHOT Genel Müdürlüğü Elektrikli Otobüs Şarj İstasyonları Yapım İşi	ESHOT Genel Müdürlüğü Yapı Tesisleri Dairesi Başkanlığı	Yapım	Açık	28.02.2017 13:30	Sonuç İlanı Yayınlanmıştır	İzmir	
2016/549702	2 Kalem (200 Adet) Elektrikli Otobüs	İETT Genel Müdürlüğü Satınalma Daire Başkanlığı	Mal	Açık	31.01.2017 14:00	İhale İptal Edilmiş	İstanbul	
2016/147513	Elektrikli Otobüs Alımı (Şarj Üniteleri İle Birlikte)	ESHOT Genel Müdürlüğü Mal Alım İhaleleri Şube Müdürlüğü	Mal	Açık	03.06.2016 13:30	Sonuç İlanı Yayınlanmıştır	İzmir	
2016/19372	Elektrikli Otobüs Alımı (Şarj Üniteleri İle Birlikte)	ESHOT Genel Müdürlüğü Mal Alım İhaleleri Şube Müdürlüğü	Mal	Açık	09.03.2016 13:30	İhale İptal Edilmiş	İzmir	Zeyilname Düzenlenmiş
2015/85071	Elektrikli Otobüs, Tam Şarj Ünitesi Ve Ara Şarj Ünitesi Satın Alınması	ESHOT Genel Müdürlüğü Mal Alım İhaleleri Şube Müdürlüğü	Mal	Açık	12.08.2015 13:30	İhale İptal Edilmiş	İzmir	
2015/84655	Elektrikli Otobüs	Tepebaşı Belediyesi Destek Hizmetler Müdürlüğü	Mal	Açık	04.08.2015 14:00	Sonuç İlanı Yayınlanmıştır	Eskişehir	Zeyilname Düzenlenmiş
2015/39080	120 Adet Doğalgazlı Solo Tip Otobüs, 21 Adet Doğalgazlı Körüklü Tip Otobüs Ve 4 Adet Elektrikli Otobüs	Konya Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Planlama Ve Raylı Sistem Daire Başkanlığı	Mal	Açık	05.05.2015 10:30	Sonuç İlanı Yayınlanmıştır	Konya	Zeyilname Düzenlenmiş
2018/174192	Malatya Stadyum Yonca Kavşak Trambüs Kataner Sistem Hattı Malzemeleri Alımı Ve Montajı	Malatya Büyükşehir Belediyesi Destek Hizmetleri Dairesi Başkanlığı	Mal	Açık	15.05.2018 14:30	Sonuç İlanı Yayınlanmıştır	Malatya	
2017/77971	Abide - Balıklıgöl - Eski Otogar Trambüs Hattı Etüd ve Ön Proje Hizmet Alım İşi	Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı	Hizmet	Pazarlık	23.02.2017 15:00	Sonuç İlanı Yayınlanmıştır	Şanlıurfa	
2016/269168	ESHOT Genel Müdürlüğü Gediz Ağır Bakım Tesisleri Güneş Enerjisi Santrali Kurulumu	ESHOT Genel Müdürlüğü Yapı Tesisleri Dairesi Başkanlığı	Yapım	Açık	22.08.2016 13:30	Sonuç İlanı Yayınlanmıştır	İzmir	
2015/39882	Trambüs Atölye Ekipmanları	Malatya Büyükşehir Belediyesi Destek Hizmetleri Dairesi Başkanlığı	Mal	Açık	11.05.2015 10:30	Sonuç İlanı Yayınlanmıştır	Malatya	
2013/34601	Trambüs Aracı Ve İlgili Güç Temini, Kataner, Kontrol, Sinyalizasyon Ve Haberleşme Ekipmanı (Montaj Dahil)	Malatya Büyükşehir Belediyesi Destek Hizmetleri Dairesi Başkanlığı	Mal	Açık	22.04.2013 14:30	Sonuç İlanı Yayınlanmıştır	Malatya	Zeyilname Düzenlenmiş
2017/105846	Şanlıurfa 1. Etap Trolleybüs Projesi Malı Alım İşi	Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı	Mal	Açık	24.04.2017 11:00	Sonuç İlanı Yayınlanmıştır	Şanlıurfa	Zeyilname Düzenlenmiş
2013/67411	Trolleybüs Sistemi	Şanlıurfa Belediyesi Destek Hizmetler Müdürlüğü	Mal	Açık	02.07.2013 10:00	İhale İptal Edilmiş	Şanlıurfa	
2013/8463	Trolleybüs Sistemi Uygulama Projesi Hizmet Alımı	Şanlıurfa Belediyesi Destek Hizmetler Müdürlüğü	Hizmet	Pazarlık	23.01.2013 14:30	Sonuç İlanı Yayınlanmıştır	Şanlıurfa	

Kaynakça

- [1] Topal, O. Establishment of Business Performance Model for Electric Buses in İstanbul Real Road, Journey and Times Conditions Against Diesel and CNG Buses. Ph.D. Thesis, Yıldız Technical University, Institute of Science and Technology, İstanbul, Turkey, 2016
- [2] Topal, O., & Nakir, İ. (2018). Total Cost of Ownership Based Economic Analysis of Diesel, CNG and Electric Bus Concepts for the Public Transport in İstanbul City. *Energies*, 11(9), 2369.
- [3] BNEF Research Services Report 2018
- [4] Electric Vehicle Outlook Report “Global EV Outlook 2018”
- [5] EGO Genel Müdürlüğü, Kurumsal Tanıtım; <https://www.ego.gov.tr> (erişim tarihi 10.01.2019)
- [6] Engin V., Gülsoy U. ,(2016), “Osmanlı’dan Cumhuriyet’e İstanbul’da Elektrik “ İstanbul, İETT.
- [7] Kurumsal Yayınlar, (2013),”*Dünden Bugüne ESHOT Genel Müdürlüğü 70. Yıl anısına*”İzmir , ESHOT
- [8] İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü Toplu Ulaşım Yönetim Sistemi Projesi “Enerji Yönetimi”
- [9] Topal O. ve diğerleri (2017). İstanbul Toplu Ulaşım Sisteminin Emisyon Analizi, Transist 10. İstanbul Ulaşım Kongresi
- [10] “Elektrikli Otobüslerin Kamu Toplu Taşıma Sistemi İçerisindeki Yeri” Dr. Orhan TOPAL, İTÜ Elektrikli Araçlar Zirvesi 2018 (konferans konuşması)
- [11] EGO- YEGM Elektrikli Otobüs Protokol <https://www.ego.gov.tr/tr/haber/4266/egoda-elektrikli-otobus-donemi> (erişim tarihi 10.01.2019)
- [12] Kamu İhale Kurumu İhale Sorgulama sayfası <https://www.kik.gov.tr/ihalesorulama> (erişim tarihi 05/01/2019)
- [13] Varol S., Öztürk Z., Öztürk O. “İstanbul’da Karayolu Yolcu Taşımacılığında Elektrikli Araç Kullanımının İncelenmesi”
- [14] Hamurcu, M., & Eren, T. (2018). Yüksek kapasiteli elektrikli otobüslerin seçiminde hibrit çok kriterli karar verme uygulaması. *Transist 11. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı*, 1-10
- [15] Cuma, M. U., Cengiz, A. H., & Tümay, M. Çukurova Üniversitesinde Kentsel Elektrikli Araç Ulaşımı ve Şarj İstasyonu Uygulama Simülasyonu. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(2), 343-354.
- [16] Çelikoğlu, S. H. H. B. Karayolu Ulaştırmasının Çevresel Etkilerinin Azaltılmasında Elektrikli Araçlar Ve Türkiye’deki Yeri.
- [17] Başlamışlı, S. Ç., İnce, B., Koçak, M., & Saygılı, H. H. Hibrit-Elektrikli Şehir İçi Otobüslerde Yakıt Ekonomisinin İyileştirilmesine Yönelik Enerji Yönetim Sistemi Algoritmalarının Tasarımı.
- [18] Hartavi, A. E., Göl, M., & Akyüz, B. A Comparative Study of Different Electric Drive Systems and Their Effects on Drive Cycle Performance of an Electric City Bus.
- [19] Amini, A., Başlamışlı, S. Ç., & İnce, B. C. Elektrikli/Hibrit Otobüslerin Enerji Yöntemi Algoritmalarının Optimal Kontrol Yöntemleriyle Tasarlanması: Ankara Şehri için bir Örnek Durum İncelemesi ve Maliyet Analizi Design of Energy Management Systems for Electric/Hybrid Buses with Optimal Control Methods: Case Study for the City of.
- [20] Araçlarla ilgili Teknik Özellikler için; <https://www.bozankaya.com.tr/> ; <https://www.temsa.com.tr/>; <https://www.otokar.com.tr/>; <https://www.bmc.com.tr/>; <https://www.aselsan.com.tr/>



Biyoaktif Camların Etkin Atom Numaraları ve Kütle Azaltma Katsayıları Üzerine Bir Araştırma

Özge Kılıçoğlu^{1,2*}

¹ Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Nükleer Teknoloji ve Radyasyon Güvenliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0000-0000-0000)

² Üsküdar Üniversitesi, Medikal Radyasyon Uygulama ve Araştırma Merkezi (ÜSMERA), İstanbul, Türkiye

(First received 25 January 2019 and in final form 2 March 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.517731)

REFERENCE: Kılıçoğlu, O. (2019). An Investigation on Effective Atomic Numbers and Mass Attenuation Coefficients of Some Bioactive Glasses. *European Journal of Science and Technology*, (15), 168-175.

Özet

Biyoaktif bir malzeme, vücuttan dokuya bağlanma gibi belirli bir biyolojik yanıt sağlayan doğal veya insan yapımı bir materyal olarak bilinir. Hastalıklı ve hasarlı dokuların onarımı ve rekonstrüksiyonunda ve doku ve sert doku (kemik) yeniden yapılanmasında sayısız uygulamaları vardır. Bu çalışmada, seçilen biyoaktif camlar için kütle azaltma katsayısı (μ / ρ), etkin atom numarası (Z_{eff}), yarı değer kalınlığı (HVL) ve ortalama serbest yol (MFP) gibi gama ışını zırlama parametrelerini değerlendirdik. Seçilen camların zırlama etkileri birbirleriyle karşılaştırılabilir. Etkin atom numarası (Z_{eff}), çok elementli bir malzemenin teknik ve endüstriyel uygulamalarını, radyasyon tepkisini, radyasyon zırlama tasarımını, emilen dozun miktarını tespit etmek için kullanılan uygun bir parametredir. Bu nedenle, bu parametreyi kesin olarak belirlemek için doğru yöntemi seçmek çok önemlidir. Bu çalışmada, 1 keV ile 100 GeV enerji bölgesinde toplam foton etkileşimi için hesaplama yöntemi kullanılarak farklı tipte malzemelerin etkili atom numarası hesaplanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, etkin atom numarasının, düşük ve daha yüksek enerji bölgesindeki etkileşimli malzemenin kimyasal bileşimine güçlü bir şekilde bağlı olduğunu, ancak orta enerji bölgesinde, kimyasal bileşim bağımlılığının çok zayıfladığını göstermektedir. Bu sonuç, biyoaktif camların bileşiminde P_2O_5 içeriğindeki bir artışın malzemelerin biyoaktivitesinin artmasıyla sonuçlandığı şeklinde yorumlanabilir. Bu nedenle, bu çalışma biyoaktif camların biyomedikal uygulamalar için potansiyel biyomalzemeler olacağını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Biyoaktif Camlar, Kütle Azaltma Katsayısı, Etkin Atom Numarası, Radyasyon Zırlama

An Investigation on Effective Atomic Numbers and Mass Attenuation Coefficients of Some Bioactive Glasses

Abstract

A bioactive material is known as a natural or man-made material that prompts a specific biological response from the body such as bonding to tissue. They have numerous applications in the repair and reconstruction of diseased and damaged tissue, and tissue and hard tissue (bone) re-engineering. In this study, we have evaluated the same gamma-ray shielding parameters such as mass attenuation coefficient (μ/ρ), effective atomic number (Z_{eff}), half value layer (HVL), mean free path (MFP) for selected bioactive glasses. The shielding effectiveness of the selected glasses is found comparable each other. Effective atomic number (Z_{eff}) is convenient parameters used to characterize the radiation response of a multi-element material in the technical and industrial applications, radiation shielding design, absorbed dose. Thus, it is very significant to choose accurate method to determine this parameter unambiguously. In the present study, effective atomic number of different type of material has been calculated by using calculation method for total photon interaction in the energy region of 1 keV to 100 GeV. The results obtained from this study show that effective atomic number depends strongly on the chemical composition of the interaction material in the lower as well as higher energy region, but in the intermediate energy region, the chemical composition dependence becomes very weak. This result can be interpreted that an increase in P_2O_5 content in the composition of bioactive glasses results as an increase of bioactivity of that particular materials. Therefore, this study underlines the finding that bioactive glasses would be potential biomaterials for biomedical applications.

Keywords: Bioactive Glasses, Mass Attenuation Coefficient, Effective Atomic Number, Radiation Shielding

* Sorumlu Yazar: Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Nükleer Teknoloji ve Radyasyon Güvenliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8443-9816> , ozge.kilicoglu@uskudar.edu.tr

1. Introduction

Radiation interaction with matter has become a considerable subject with the extensive use of X-ray and/or gamma-ray in various fields such as reactors, nuclear power plants, nuclear engineering, space technology, nuclear diagnostics, nuclear medicine, radiation dosimetry and radiation biophysics, technological and engineering applications. Due to the increasing usage of the radiation, the term of risk on human health should be considered. Therefore, the use of shielding materials is very important in the mentioned fields. To choose an appropriate type of material, radiation interaction parameters such as mass attenuation coefficient, effective atomic number should be determined. The mass attenuation coefficients (MAC) measures the likelihood of interaction that happens between photons and matter of unit mass per unit area. The MAC for natural and other critical materials is important for modern, organic, horticultural and restorative applications (Jackson & Hawkes, 1981). An accurate estimation for MAC has to be made beforehand to determine the basic information in number of fields, for example, atomic diagnostics, radiation security, atomic medication, radiation dosimetry, gamma beam, radiation biophysics and so forth. In addition, the mass attenuation coefficients are generally utilized in the calculation of photon penetration and energy deposition in organic, shielding and other dosimetric materials. Hine has brought up that in composite materials, for photon interactions, a solitary number can't speak for the exact atomic number across different energy regions (Hine, 1952). This number for composite materials is called as "effective atomic number (Z_{eff})" and it varies with photon energy. The energy absorption in a given medium can be determined if certain constants are known. Therefore, the investigation of effective atomic number is exceptionally helpful for some innovative applications. The effective atomic number is likewise helpful in medicinal radiation dosimetry for the estimation of dose in radiation treatment and therapeutic medical imaging.

Practical application of certain material for radiation attenuation depends on parameters like mass attenuation coefficient (μ/ρ), effective atomic number (Z_{eff}), mean free path (MFP), and half value layer (HVL). These parameters are used to determine the scattering and absorption of gamma-rays both theoretically, empirically and practically. The best radiation attenuation derives from photon energy, material density and an atomic number of elements present in the materials. In the present study, MAC, Z_{eff} , MFP and HVL values are calculated for three bioactive glasses that are listed as follows: H, HP5, HP6.5 against photon energies of 0.02 MeV, 0.06 MeV, 0.08 MeV, 0.122 MeV, 0.356 MeV, 0.511 MeV, 0.662 MeV, 1.173 MeV, 1.25 MeV, 1.33 MeV, 5 MeV, 8 MeV, 10 MeV, 15 MeV and 20 MeV.

2. Materials ve Method

2.1. Selected Bioactive Glasses

A bioactive material is known as a natural or man-made material that prompts a specific biological response from the body such as bonding to tissue. They have numerous applications in the repair and reconstruction of diseased and damaged tissue, and tissue and hard tissue (bone) re-engineering. Bioactive glasses are one type of biomaterials along with polymers, metals, composites, and ceramics. They are closely related to bio ceramics, yet they have an important advantage over other types of bioactive ceramics by enabling to control a range of chemical properties and rate of binding to tissue. Bioactive glasses were first found by Hench et.(Hench & Andersson, 1993). Al around 1960s as such compositions and crystallized ceramics in the $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{SiO}_2$ system, which is the base components of bioactive glasses, provides strong bonds with living tissues (Kaur et al., 2014). The conventional glass manufacturing is also applied to the production of bioactive glasses and the invention of bioactivity was a revolutionary practice in tissue implants. In the manufacturing and design processes, one of the important issues is that they should provide appropriate structural compatibility without any detrimental effects on living tissues. In this sense, there is a reverse linkage between the degree of crystallization and bioactivity, as the crystallization and the structural strength increase bioactivity is greatly reduced.

However, bioactive glasses with high structural strength can also be used for radiation shielding purposes. Glasses used for radiation shielding should have high interaction cross-section. This investigation deals with bioactive glasses consisting of the different percentage of $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{SiO}_2$ in the composite. Table 1 shows the chemical compositions of investigation bioactive glasses(Doweidar, 2009).

Table 1: Chemical names and formulas for the bioactive glasses

	SiO ₂ (mol%)	Na ₂ O (mol%)	CaO (mol%)	P ₂ O ₅ (mol%)	D _c (g/cm ³)
H	46.20	24.30	26.90	2.60	2.729
HP5	43.70	24.40	26.90	5.00	2.720
HP6.5	42.20	24.30	26.90	6.50	2.714

2.2. Method

2.2.1 Mass Attenuation Coefficient (MAC)

MAC values for gamma rays are one of the most useful parameters for radiation shielding along with many other applications such as nuclear research centers, radiations etc. The number of photons interacted with the medium is measured by the MAC. The MAC values of the compound using the mixture rule given by the following equation:

$$\mu/\rho = \sum_i w_i(\mu/\rho)_i$$

where w_i denotes the fractional weight of the i th constituent in the elements, The MAC value at certain energy of any element is calculated by using Xcom software.

2.2.2 The Linear Attenuation Coefficient (LAC)

LAC (in cm^{-1}) is multiplication of MAC value and density of the compound. The linear attenuation coefficient for a material depends on the incident photon energy, atomic number and density. For the selected samples, MAC are calculated using the mixture rule as given below;

$$LAC = \left(\frac{\mu}{\rho}\right)\rho$$

where w_i is the proportion by weight and $(\mu/\rho)_i$ is the mass attenuation coefficient of the i th element. The $(\mu/\rho)_i$ values can be calculated by using Xcom software.

2.2.3 Half Value Layer (HVL)

HVL is one of the appropriate parameters denoting gamma ray interaction of a material. HVL is used to signify the particular thickness of the material that is required to decrease the intensity of the photon to 50% of its initial value. In this case, HVL characterizes the effectiveness of gamma ray shielding (Dong, El-Mallawany, Sayyed, & Tekin, 2017). The following equation is used to calculate the HVL

$$HVL = \frac{0.693}{\mu}$$

Where μ (cm^{-1}) is the linear attenuation coefficient determined by the multiplication of the mass attenuation coefficient value (μ) and density of the sample (ρ).

2.2.4 Tenth-value Layer (TVL)

To reduce the intensity of gamma-ray, the thickness of the concrete shielding material has to be adjusted. Reducing the intensity of the gamma-ray to $1/10^{\text{th}}$ is called TVL, tenth-value layer, which is calculated by using the following formula

$$TVL = \frac{2.303}{\mu}$$

where μ is the linear attenuation coefficient.

Both HVL and TVL are very useful for approximate shielding calculations. Once HVL and TVL values are calculated, the penetration of the gamma ray through all variants of thicknesses and density of sample can be easily determined.

2.2.5 Mean Free Path (MFP)

MFP is another important parameter denoting gamma ray interaction of a material. Before an interaction occurs, a photon in the medium travels for a while and MFP represents the distance traveled by a moving photon between sequential collisions.

$$MFP = \frac{1}{\mu}$$

where μ (cm^{-1}) is again linear attenuation coefficient that is equal to multiplication of the mass attenuation coefficient value and density of the sample. The mean free path is also reciprocal of linear attenuation coefficient.

2.2.6 Effective Atomic Number (Z_{eff})

Z_{eff} is a fitting quantity for corresponding gamma ray interactions. Z_{eff} is a parameter similar to the atomic number of elements, which describes the properties of the composite materials (compounds or mixtures) in terms of equivalent elements, and it varies with energy (Sayyed, 2016). That is, Z_{eff} changes with photon energy for composite materials on the contrary to single number cannot. It can also be derived by the following formula

$$Z_{\text{eff}} = \frac{\sigma_a}{\sigma_e}$$

Where σ_a and σ_e which can be calculated by the formula below, are correspondingly the total atomic cross section and total electronic cross section:

$$\sigma_a = \frac{\mu/\rho}{N_A \sum_i \frac{w_i}{A_i}}$$

$$\sigma_e = \frac{1}{N_A} \sum_i \left(\sum_j \frac{f_j A_j}{A_j} \right) w_i$$

Where A_i, Z_i, f_i are respectively the atomic number and fractional abundance of element i , N_A corresponds Avogadro constant.

2.2.7 Xcom

Xcom is a software that generates total cross sections, attenuation coefficients as well as partial cross sections for various interaction processes such as incoherent and coherent scattering, photoelectric absorption and pair production, for elements, compounds and mixtures as needed at energies from 1 keV to 100 GeV. Xcom software, in which material types were defined by their elemental fractions, is a user-friendly calculation program and input parameter specifications are quite understandable and easy to access (M. Berger, 2010; M. J. Berger, 1998).

3. Result and Discussion

In the present study, mass attenuation coefficients (μ/ρ) of three bioactive glasses namely H, HP5, HP6.5 are examined by using the XCOM program based on the mixture rule at photon energies of 0.02 MeV, 0.06 MeV, 0.08 MeV, 0.122 MeV, 0.356 MeV, 0.511 MeV, 0.662 MeV, 1.173 MeV, 1.25 MeV, 1.33 MeV, 5 MeV, 8 MeV, 10 MeV, 15 MeV and 20 MeV. The mass attenuation coefficients (μ/ρ) has been presented in the Fig.1. According to Fig.1, the μ/ρ for all samples decreases with increasing the photon energy from 0.02 MeV to 20 MeV. This can be interpreted that the interaction occurs between the photons and the bioactive glasses in the low energy region whereas in the high energy region interaction is decreasing. Thus, as the photon energy increases, more photons infiltrate into the bioactive glasses. From the Fig.1, which shows the variation in the μ/ρ value with the photon energy for bioactive glasses studied in this work, it very well may be seen that the μ/ρ values rely upon the photon energy notwithstanding the chemical composition of the glasses. The variation of μ/ρ with the photon energy for all the selected glasses is almost equivalent to each other. While the values of μ/ρ for these glasses in the low-energy area are higher in magnitude, they decline rapidly with expanding the energy. (S. A. Issa et al., 2019)

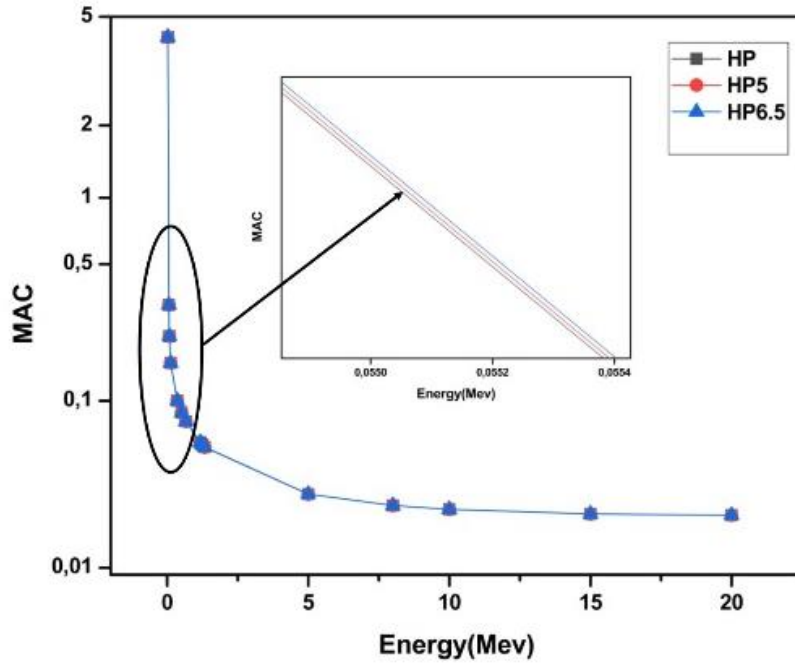


Figure 1: MAC for Bioactive glasses

This bioactive glasses comprising of the distinctive level of $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{SiO}_2$ in the composite. Obviously the μ/ρ for all the examined glasses diminishes with the increment of photon energy up to 5 MeV. Thereafter, the the value of μ/ρ turns out to be almost constant in the high energy region. Meanwhile, it is observed that the maximum value for μ/ρ was found for HP6.5 glasses. This result derives from the fact that these glasses contain high P_2O_5 and low SiO_2 in their composition. As the rate of P_2O_5 admixture increase and SiO_2 decrease, the shielding properties for these selected bioactive glasses vary. The best shielding properties, therefore, has been seen from HP6.5. Therefore, one can infer that variety of μ/ρ relies upon first and foremost the composition of the glass system, which is lower for a low-Z element and vice versa in the prepared glasses. At whatever point we find the lower estimation of MFP, that gives us a tangible indication for the interaction of radiation with the medium and consequently the ideal shielding properties are accomplished (Tekin, Altunsoy, Ozturk, Kilicoglu, & Sayyed, 2018; Tekin, Erguzel, et al., 2018).

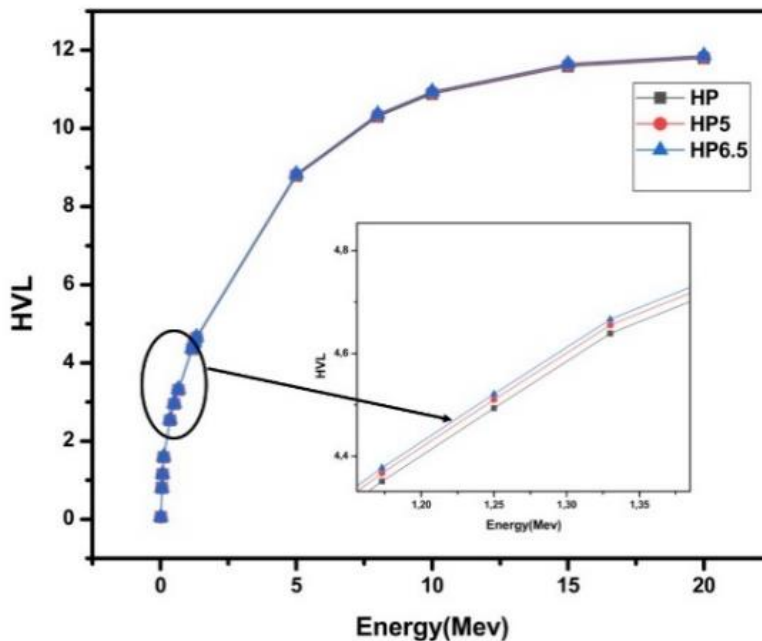


Figure 2: HVL for Bioactive glasses

The HVL variation in photon energy range 1 keV to 100 GeV is depicted in the Fig.2, which shows also that in the low energy range ($E < 0.08$ MeV) the HVL values for the glasses are very small. The HVL begins increasing once the photon energy cross this low energy range and shows its highest rate at about 10 MeV. Thereafter, it starts decreasing becomes almost constant at 20 MeV photon energy. HP glasses are the one with minimum HVL values, and HP6.5 is the highest HVL from which we can arrive the conclusion that the HP have superior shielding capability against gamma radiation. The variation of HVL with the photon energy for the present bioactive glasses are shown graphically in the Fig.2. The HVL is seen to rise as the energy of the photon increases. It should be underlined that H and HP5 having smaller HVL values comparing with rest of bioactive glasses because they have higher density (and it is well known that the HVL depends inversely on the density of the samples).

On the other hand, the mean free path (MFP) of a certain material is the average distance traveled by a moving photon between sequential collisions. The MFP ($1/\mu$) for the 3 bioactive glasses are calculated in the energy range of 0.02–20 MeV. MFP values for H, HP5, HP6.5 are in the range of 0.086159- 17.019721 cm, 0.086343- 17.076036 cm, 0.086392- 17.113787 cm respectively. The mean free path (MFP) is the average distance traveled by a moving particle (such as an atom, a molecule, a photon) between successive impacts (collisions). From Fig.3, it is clear that, the values of MFP increase with the photon energy increasement. In the photon energy range 0,02-0,08 MeV, the values of mean free path are very small. Also, the values of MFP increase rapidly in this energy range. In the photon energy range 0.122-5 MeV the values of MFP of all samples increase slower than increase in the lower photon energy range. In the higher photon energy ($E > 5$ MeV), the values of mean free path are independent on photon energy.

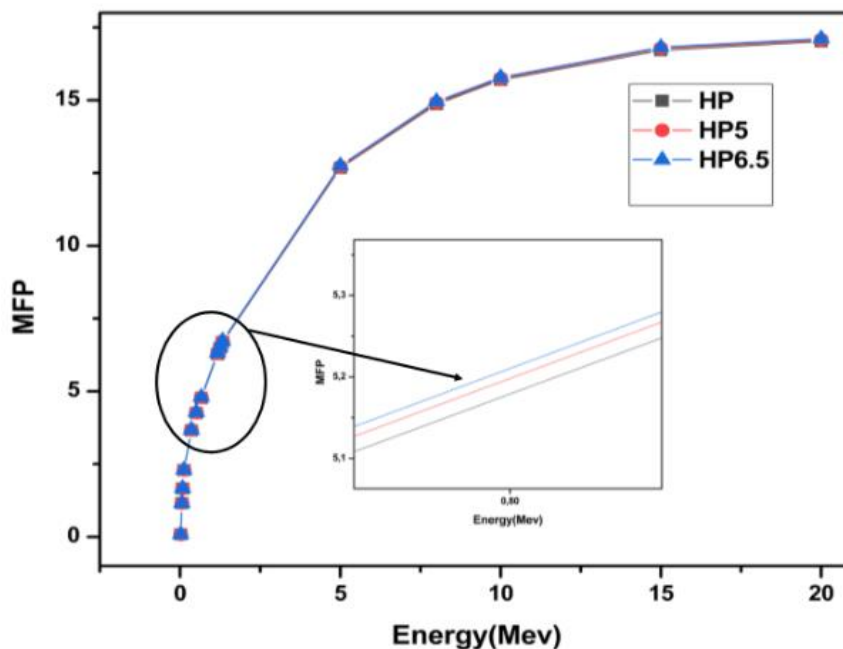


Figure 3: MFP for Bioactive glasses

The effective atomic number, Z_{eff} , reveals the energy-dependent behavior of the compounds. The calculated Z_{eff} for these bioactive glasses are reviewed in the graph. It is observed that the Z_{eff} values for the 3 bioactive glasses are nearly constant in the energy region between 0.02 and 20 MeV due to incoherent (Compton) scattering.

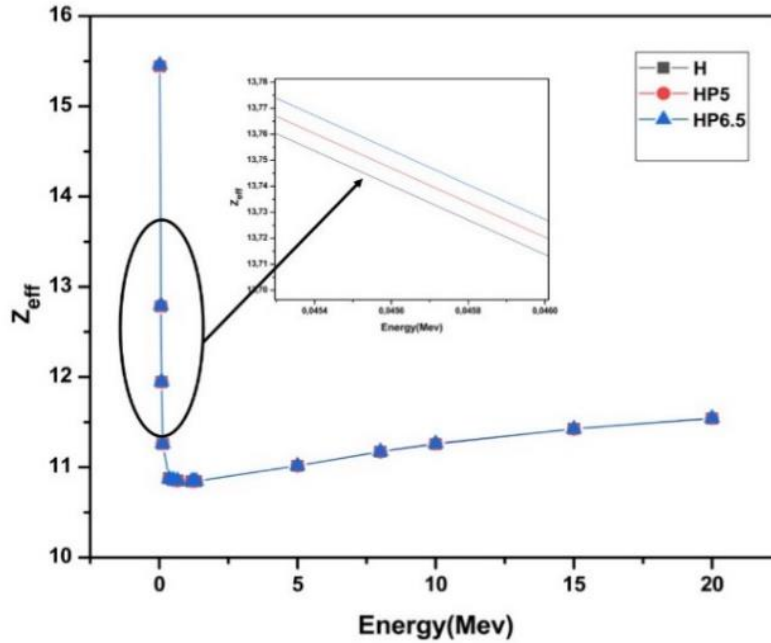


Figure 4: Z_{eff} for Bioactive glasses

From the graph above, it can be seen that HP5 and HP6.5 having the highest Z_{eff} values among investigated bioactive glasses on the following ranges 15.448- 11.543 MeV and 15.459- 11.546 MeV respectively. Effective atomic numbers of 3 bioactive glasses for total photon interactions in the wide energy range of 0.02 MeV to 20 MeV. Moreover, the graph shows that the Z_{eff} values for the selected bioactive glasses diverge between 15.459 MeV and 11.539MeV. All the 3 bioactive glasses consist of Si, Na, Ca, P and O. Therefore, the Z_{eff} values for the 3 bioactive glasses molecules lie in between the atomic number of these elements. Effective atomic numbers, Z_{eff} , of the bioactive glasses are shown in the Fig.4. The variation of Z_{eff} with associated photon energy for these compounds are given in the Fig.4, which shows that Z_{eff} is a function of photon energy. (Sayyed, Issa, Tekin, & Saddeek, 2018) Briefly, variation in Z_{eff} can be classified into three energy regions- low-intermediate-and high- and all these regions occurs due different photon interactions. At low energy region, photoelectric absorption is the dominating photon interaction process. In the Fig.4, below 0.122 MeV, photoelectric process is dominant and thus, the variation of Z_{eff} is large. At the intermediate energy region, the dominant process is Compton scattering. In the Fig.4, between 0.356 MeV < E < 1.33 MeV the variation is almost constant because the Compton scattering process. At the high energy region, the dominating process is pair production. In the Fig.4, between 5 to 20 MeV, pair production process becomes dominant. In this sense, all variations are to be explained by Z dependence of total atomic cross sections and the photoelectric absorption cross-section gives higher weight to the high Z elements than the other processes. However, the Compton scattering cross-section is proportional to Z, giving less weight to the high Z elements than photon electric absorption and pair production processes. All in all, in the low-energy range (E< 0.356 MeV) where Z^4 dependence of the photoelectric absorption cross section gives a heavy weight for the highest atomic number of the compound, Z_{eff} reaches its maximum value. At high energies, typically above 5 MeV, Z_{eff} is again constant but smaller than in the low-energy range. This is due to the dominance of pair production, the cross section of which has a weaker Z^2 dependence.(S. A. M. Issa, Saddeek, Sayyed, Tekin, & Kilicoglu, 2019; Sayyed, Tekin, Kılıcoglu, Agar, & Zaid, 2018; Tekin, Sayyed, et al., 2018)

3. Conclusion

In this work, mass attenuation coefficient (MAC), mean free path (MFP), half value layer (HVL) and effective atomic number (Z_{eff}) has been calculated for selected bioactive glasses by using a direct method for total photon interaction in the energy region from 1 keV- 100 GeV using Xcom program. The results obtained from this study show that effective atomic number depends strongly on the chemical composition of the interaction material in the lower as well as higher energy region, but in the intermediate energy region, the chemical composition dependence becomes very weak. This result can be interpreted that an increase in P_2O_5 content in the composition of bioactive glasses results as an increase of bioactivity of that particular materials. Therefore, this study underlines the finding that bioactive glasses would be potential biomaterials for biomedical applications.

4. Reference

- Berger, M. (2010). XCOM: photon cross sections database. *Http://Www. Nist. Gov/Pml/Data/Xcom/Index. Cfm.*
- Berger, M. J. (1998). Photon cross sections database. NIST Standard Reference Database 8 (XGAM). *Http://Physics. Nist. Gov/PhysRefData/Xcom/Text/XCOM. Hml.*
- Dong, M. G., El-Mallawany, R., Sayyed, M. I., & Tekin, H. O. (2017). Shielding properties of $80\text{TeO}_2-5\text{TiO}_2-(15-x)\text{WO}_3-x\text{AnOm}$ glasses using WinXCom and MCNP5 code. *Radiation Physics and Chemistry, 141*, 172–178.
- Doweidar, H. (2009). Density–structure correlations in $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{SiO}_2$ bioactive glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids, 355*(9), 577–580.
- Hench, L. L., & Andersson, Ö. (1993). Bioactive glasses. In *An introduction to bioceramics* (pp. 41–62). World Scientific.
- Hine, G. J. (1952). The effective atomic numbers of materials for various gamma ray processes. *Phys Rev, 85*, 725.
- Issa, S. A. M., Saddeek, Y. B., Sayyed, M. I., Tekin, H. O., & Kilicoglu, O. (2019). Radiation shielding features using MCNPX code and mechanical properties of the $\text{PbONa}_2\text{OB}_2\text{O}_3\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$ glass systems. *Composites Part B: Engineering, 167*, 231–240. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.12.029>
- Issa, S. A., Tekin, H. O., Elsaman, R., Kilicoglu, O., Saddeek, Y. B., & Sayyed, M. I. (2019). Radiation shielding and mechanical properties of $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{Bi}_2\text{O}_3$ glasses using MCNPX Monte Carlo code. *Materials Chemistry and Physics, 223*, 209–219.
- Jackson, D. F., & Hawkes, D. J. (1981). X-ray attenuation coefficients of elements and mixtures. *Physics Reports, 70*(3), 169–233.
- Kaur, G., Pandey, O. P., Singh, K., Homa, D., Scott, B., & Pickrell, G. (2014). A review of bioactive glasses: their structure, properties, fabrication and apatite formation. *Journal of Biomedical Materials Research Part A: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials, 102*(1), 254–274.
- Sayyed, M. I. (2016). Investigation of shielding parameters for smart polymers. *Chinese Journal of Physics, 54*(3), 408–415.
- Sayyed, M. I., Issa, S. A. M., Tekin, H. O., & Saddeek, Y. B. (2018). Comparative study of gamma-ray shielding and elastic properties of $\text{BaO}-\text{Bi}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3$ and $\text{ZnO}-\text{Bi}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3$ glass systems. *Materials Chemistry and Physics, 217*, 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2018.06.034>
- Sayyed, M. I., Tekin, H. O., Kilicoglu, O., Agar, O., & Zaid, M. H. M. (2018). Shielding features of concrete types containing sepiolite mineral: Comprehensive study on experimental, XCOM and MCNPX results. *Results in Physics, 11*, 40–45. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.08.029>
- Tekin, H. O., Altunsoy, E. E., Ozturk, F. C., Kilicoglu, O., & Sayyed, M. I. (2018). Gamma-ray attenuation properties of boron carbide in radiological energy range using MCNPX code. *AIP Conference Proceedings, 2042*(1), 020059. <https://doi.org/10.1063/1.5078931>
- Tekin, H. O., Erguzel, T. T., Karahan, M., Kara, U., Kilicoglu, O., Mesbahi, A., & Sayyed, M. I. (2018). Investigation of Water Equivalence and Shielding Properties of Different Solid Phantoms Using MCNPX Code. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures, 13*(2), 9.
- Tekin, H. O., Sayyed, M. I., Kilicoglu, O., Karahan, M., Erguzel, T. T., Kara, U., & Konuk, M. (2018). Calculation of gamma-ray attenuation properties of some antioxidants using Monte Carlo simulation method. *Biomedical Physics & Engineering Express, 4*(5), 057001. <https://doi.org/10.1088/2057-1976/aad297>



Sürdürülebilir Bir Yöntem / Betonda Pozolan Kullanımı

Uğur Özcan^{1*}, Sena Güngör²

¹ Fatih Sultan Mehmet Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0002-4478)

² Fatih Sultan Mehmet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilimdalı, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1124-2385)

(İlk Geliş Tarihi 24 Ocak 2019 ve Kabul Tarihi 2 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.517346)

ATIF/REFERENCE: Özcan, U. & Güngör, S. (2019). Sürdürülebilir Bir Yöntem/Betonda Pozolan Kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 176-182.

Öz

Günümüzde sürdürülebilir tasarıma ve çevre dostu malzemelerin üretimine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Çimento endüstrisi de bu konuya destek olucu yönde çalışmalarını kendi alanında yapmaktadır. Çimento üretimi sırasında açığa çıkan karbondioksit (CO₂) ve sera etkisi yapıcı gazlar çevreye salınmaktadır. Bu nedenle, çimento gibi doğaya zarar veren malzemelere alternatif olabilecek malzemeler aranmaktadır. Günümüzde geopolimer, çevre dostu, ekonomik ve yenilikçi bir ürün olarak yapı teknolojisinde yerini almaktadır. 1978 yılında Fransız malzeme bilimci Joseph Davidovits tarafından inorganik moleküllerin oluşturduğu yapılara geopolimer adı verilmiştir. Geopolimerler, uçucu küller, yüksek fırın cürüfları ve silis dumanı gibi termik santrallerin atık malzemelerinden oluşmaktadır. Uçucu kül, kömür ve linyit kullanarak demir, çelik ve diğer metallerin üretimini yapan termik santrallerde atık veya yan ürün olarak ortaya çıkmaktadır. Uçucu küllerin, çimento üretiminde, zemin iyileştirme malzemesi ve inşaat yapı malzemesi olarak kullanılması ile uçucu küllerin oluşumu ve depolanması sonucu meydana gelen çevre problemleri ve doğaya verilen zarar azaltılabilir.

Anahtar Kelimeler: Pozolan, uçucu kül, beton, yapı malzemesi, sürdürülebilirlik

A Sustainable Method / The Use Of Pozzolan In Concrete

Abstract

Nowadays, a variety of researches are being conducted on sustainable design and manufacturing of eco-friendly materials. The cement industry is also doing supportive works on this issue in its own field. The production of cement releases carbon dioxide (CO₂) and greenhouse gas emissions. For this reason, materials which may be an alternative to harmful materials such as cement are sought. Today, geopolimer has become an important topic for building technology as an eco-friendly, economic and innovative product. The structures formed by inorganic molecules by the French materialist Joseph Davidovits in 1978 were called geopolimer. Geopolimer is made from waste materials of thermal power station such as fly ash, silica dume and ground granulated blast furnace slag. Fly ash is waste or by-product obtained from thermal power plants which produce iron, steel and other metals by using coal and lignite. By using fly ash as construction material, ground improvement material and in cement production, it is possible to reduce the environmental problems and natural harm caused by formation and storage of fly ash.

Keywords: Pozzolan, fly ash, concrete, construction material, sustainability

* Sorumlu Yazar: Fatih Sultan Mehmet Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0002-4478), uozcan@fsm.edu.tr

1. Giriş

2015 yılında dünyada portland çimento üretimi yaklaşık 4 milyar ton, Türkiye’de ise 75 milyon ton düzeyinde gerçekleşmiştir. Bir ton portland çimentonun üretiminde 0,8 ton karbondioksit (CO₂) emisyonu oluşmaktadır. Türkiye’de 75 milyon ton portland çimentosunun üretimi sırasında yılda ortalama 60 milyon ton karbondioksit (CO₂) gazı atmosfere salınmaktadır. Yüksek oranda karbondioksit (CO₂) ve sera gazlarının atmosfere salınımını azaltmak ve doğaya verilen zararı önlemek amacıyla puzolan bağlayıcıların (geopolimerler), portland çimentosuna alternatif bir malzeme olabileceği düşünülmektedir. Tablo 1’de yıllara göre ülkelerin çimento üretimi gösterilmektedir.

Tablo 1. Yıllara göre ülkelerin çimento üretimi [1]

Çimento Üretimi (Milyon ton)								
Ülke	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Çin	1880	2100	2210	2420	2480	2350	2400	2400
Hindistan	210	240	270	280	260	300	280	270
ABD	67	69	75	77	83	84	85	89
Türkiye	63	63	64	71	75	71	75	77
Suudi Arabistan	42	48	50	57	55	62	62	63
Güney Kore	47	48	48	47	63	52	57	59
Rusya	50	56	61	66	68	62	56	58
Brezilya	59	64	69	70	72	65	57	54
Japonya	51	51	51	57	53	55	53	53

Kendi kendine bağlayıcılığı az miktarda yada hiç bulunmayan, buna karşılık su içinde, oda sıcaklığında kireç ile birlikte kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcı özelliğe sahip ürünler oluşturan, toz halindeki alüminli ve silisli veya sadece silisli maddelere puzolan adı verilmektedir. Puzolanlar, doğal olan puzolanlar ve yapay olan puzolanlar olarak kendi içerisinde iki ana gruba ayrılmaktadır [2]. En yaygın ve yapay olan puzolan malzeme, termik santrallerden elde edilen uçucu küllerdir.

Uçucu küller, yaklaşık 2300 yıl önce, bilinen en eski hidrolik çimentoların üretiminde kullanılan volkanik küller ile çok benzerdir. Bu çimentolar küçük bir İtalyan şehri olan Pozzuoli’nin yakınlarında yapılmış ve daha sonra “puzolan” olarak adlandırılmıştır. Uçucu kül, dünyadaki en yaygın ve en çok kullanılan puzolanlardan biridir. Kömür bazlı termik santrallerin atık ürünü olan uçucu küllerin, toprak kirliliği, hava kirliliği, yüzey ve yeraltı su kirliliği, tarımsal arazi ve insan sağlığı üzerinde zararlı etkileri olduğu bilinmektedir [3].

Uçucu küller, camsı, küresel tanecik yapıları parçacıklardan oluşan ve beton içerisinde mineral esaslı bir katkı maddesi olarak kullanılan yapay puzolandır. Kendileri bağlayıcı özellik taşımadıkları halde, sönmüş kireç ile birlikte hidrasyon reaksiyonu oluşturarak su içerisinde sertleşme özelliği gösterirler. Uçucu küller elektrik üretiminde kullanılan termik santrallerden sağlanırlar. Endüstride kullanılmayan kalori değeri az kömürün ince taneli öğütülerek termik santralde yakılması ile oluşan uçucu küller, santral bacası üzerinde bulunan elektro filtreler ve siklon toz toplayıcılarda, elektrostatik ve mekanik yöntemlerle yakalanarak biriktirilirlir [4].

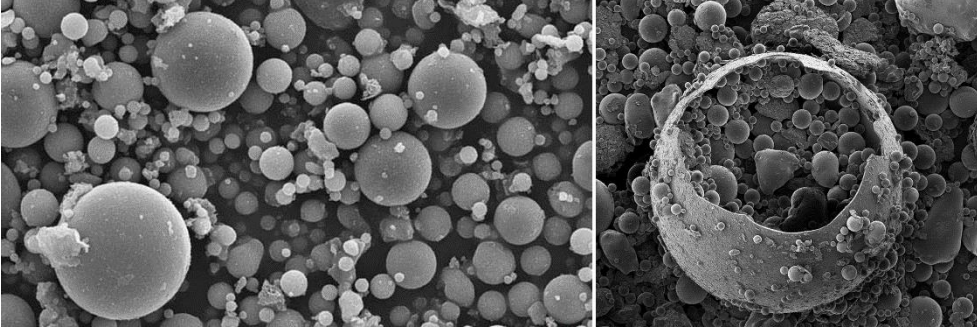
Uçucu kül, gri veya koyu gri renge sahip, oldukça küçük tanecikli yapıya sahip olan bir tür malzemedir. Gri rengin koyuluğu veya açıklığı, yakılarak oluşturulduğu kömüre ve bu kömürün yanış şekline bağlıdır. Yanmanın tam olarak tamamlanmadığı durumlarda meydana gelen uçucu kül, içerisinde barındırdığı yanmamış karbon sebebi ile daha koyu siyah renge sahiptir, fakat yanmanın tam olduğu durumlarda açığa çıkan uçucu kül açık renkte olmaktadır [5]. Resim 1’de ASTM-C 618’e göre F ve C tipi uçucu küller gösterilmektedir.



Resim 1. ASTM-C 618’e göre F ve C tipi uçucu küller [6]

Uçucu külün ne düzeyde ince olacağı ilk olarak yakılmak üzere santrale verilen kömürün öğütülerek inceltirme düzeyine bağlıdır. İkinci faktör ise küllerin bacadan atılmasına engel olabilmek ve tutulabilmesidir. Bacadan atılan miktar azaltılabildikçe elde edilen uçucu külün inceliği artırılabilir. Havaya salınan kül miktarının azaltılması sonucunda çevre kirliliği ve doğaya verilen zararın önüne geçilmesi bir yönüyle sağlanabilecektir.

Uçucu külün yoğunluk düzeyi, tanelerin inceliğine ve külün taşıdığı mineralojik yapıya bağlıdır. Uçucu küllerin incelikleri arttıkça yoğunlukları artmaktadır. İçi dolu küresel yapıya sahip taneciklerden meydana gelen uçucu küllerin yoğunluğu $2.2 - 2.7 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişiklik göstermektedir [5]. Uçucu külün kimyasal yapısında bulunan başlıca bileşenler, (SiO_2) silikon dioksit, (Al_2O_3) alüminyum oksit, (Fe_2O_3) demir III oksit ve (CaO) kalsiyum oksittir. Resim 2’de mikroskop altında uçucu külün görünümü gösterilmektedir.



Resim 2. Mikroskop altında uçucu külün görünümü [7]

Uçucu küllerin sınıflandırılması, içerisinde barındırdığı bileşenlerin bileşim oranlarına bağlı olarak yapılmaktadır. Sınıflandırmada ASTM-C 618 ve TS EN 197-1 standartları referans alındığında; ASTM-C 618’e göre uçucu küller F ve C, TS EN 197-1’e bakıldığında ise V (silissi) ve W (kalkersi) olmak üzere ana kategorilere ayrılmaktadır. ASTM-C 618’in F tipi olarak sınıflandırdığı uçucu kül genellikle taş kömüründen elde edilen, puzolanik özelliğe sahip küllerdir. Kalsiyum oksit (CaO) %10’dan az ve SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 bileşenlerinin toplam oranı %70’den fazla olan uçucu küller bu kategoride yer almaktadır. F tipi küller düşük kireç oranına sahip olduklarından beton bileşiminde dayanım oranını artırır. ASTM-C 618’e göre C tipi olarak sınıflandırılan uçucu kül ise genellikle linyit kömüründen elde edilir. Bu küller ise kalsiyum oksit (CaO) oranı %10’un üstünde ve SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 bileşenlerinin toplam oranı %50’den fazla olan, CaO miktarının fazla olmasından dolayı bağlayıcı özelliklere sahip olan uçucu küllerdir [8].

TS EN 197-1’in V olarak sınıflandırdığı uçucu kül esas olarak SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve diğer bileşenleri bünyesinde barındıran küllerdir. Kalsiyum oksit (CaO) oranı %10 düzeyinden daha düşük, reaktif silis miktarı ise %25 düzeyinden fazladır. V sınıfında bulunan uçucu küller, genellikle puzolanik niteliklere sahip küresel ve tanecikli yapıdan meydana gelmektedir. TS EN 197-1’e bakıldığında W olarak sınıflandırılan uçucu küller, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve diğer bileşenleri bünyesinde barındıran küllerdir. Söz konusu küllerde kalsiyum oksit (CaO) oranı %10 düzeyinden yüksek, reaktif silis miktarı ise %25 düzeyinden fazladır. Bu küller ise hidrolik ve puzolanik özellikler taşıyan küresel taneciklerden oluşmaktadır [9, 10].

2. Sürdürülebilir Yöntem Olarak Betonda Puzolan Kullanımı

Uçucu küller genellikle beton üretimi için katkı veya ikame malzemesi olması amacı ile kullanılmaktadır. Uçucu kül katkısı kullanılarak elde edilen çimento harcının fiziksel ve mekanik niteliklerinde olumlu sonuçlar sağlanabilmektedir. Uçucu külün kimyasal bileşimi, tanecik özellikleri ve puzolanik özelliği betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen önemli unsurlardır

Puzolanik özellik gösteren uçucu küller, kalsiyum hidroksit ile karıştırılarak su ile birleştirildiğinde, C-S-H (kalsiyum-silikat-hidrat) oluştururlar bu sayede bağlayıcılık özelliği kazanırlar. Çimento ile birlikte kullanıldıklarında betonun bağlayıcılığına katkı sağlanabilir. Böylece betonun basınç ve aşınma dayanımında artışlar elde edilebilir

Beton bileşenlerinden çimento ile suyun tepkimesi sonucu kimyasal bir reaksiyon (hidratasyon) meydana gelir. Bu kimyasal reaksiyon süresince ısı (hidratasyon ısı) açığa çıkar. Uçucu kül katkılı betonun hidratasyon ısı düşüktür dolayısı ile termik rötre ve çatlama önenebilir. Böylece betonun çevresel ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı olumlu yönde geliştirilmiş olur. Resim 3 ve 4’te portland çimentolu beton ve uçucu kül katkılı betonda oluşan rötre çatlakları gösterilmektedir.



Resim 3. Portland çimentolu betonda rötre çatlakları [11]



Resim 4. Uçucu kül katkılı betonda rötre çatlakları [11]

Uçucu küle ait tanecikler, küre şekline sahip, içyapısı boşluğa sahip olmayan veya tamamen senosfer yapıda boşluklu, plerosfer içerikli büyük küre tarafından gruplanan ufak kürecikler topluluğunun oluşturduğu özel bir yapıdadır. Bu yapıların dış yüzeyleri oldukça girintili çıkıntılı ve kristalizedir. [12]. Söz konusu küllerin camsı, küresel tanecikli yapıya sahip olması betona önemli katkılar sağlamaktadır. Uçucu külü oluşturan taneciklerin çapının küçük olmasından dolayı tanecikler arası boşluklar azdır. Böylece beton içindeki mikro gözenekler azaldıkça kılcal su geçirimsizliği de azalmıştır. Beton dış etkilere daha dayanıklı hale gelir ve donatı korozyonu önenebilir. Uçucu küller, yüzeyi düzgün küresel tanecikli yapıya sahip olmalarından dolayı su gereksinimi azdır. Düşük su/çimento bileşimi oranları ile istenilen düzeyde çalışma kolaylığına sahip ve yüksek kalitede beton üretimi sağlanabilir. Beton bileşimi içerisindeki su miktarının azalması ile su kaynaklarının tüketilmesi de engellenebilmiş olacaktır.

Uçucu küllerin birim ağırlığı, portland çimentosuna göre daha azdır. Betonda portland çimentosu yerine uçucu külün kullanılması betonun birim ağırlığını azaltır. Betonun birim ağırlığının azalması, toplam yapı ağırlığının hafiflemesini sağlar. Yapı ağırlığı ile orantılı olarak hesaplanan deprem yükleri azalacağından daha hafif, ve dayanıklı bir strüktüre sahip yapılar üretmek mümkün olabilecektir.

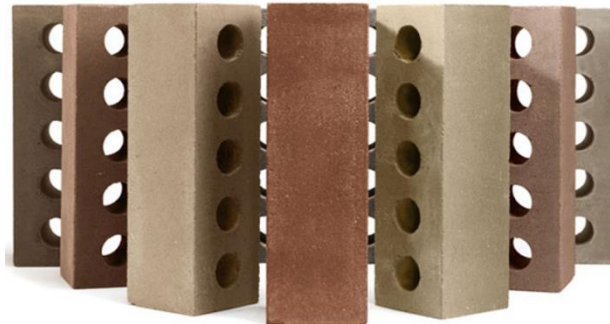
Yapıda yangın yaşanması durumunda, yüksek sıcaklık etkisi ile beton malzemede çatlama ve parça ayrılmaları meydana gelebilir. Bu durumda betonarme strüktürün kesitinde azalmalar ve ağır hasarlar oluşabilir. Bu bağlamda ısı iletim katsayısı düşük olan uçucu küllerin beton karışımındaki oranının artırılması ile çimento harcının yüksek sıcaklıktan daha az zarar görmesi sağlanabilir ve betonun yüksek sıcaklık karşısında göstereceği dayanım artırılabilir.

Uçucu küllerin doğaya salınmadan toplanabilmesi ve betonda kullanılabilmesi durumunda, betona kazandıracığı teknik özelliklerin yanı sıra doğaya salındığında oluşturacağı muhtemel çevre sorunlarının da önüne geçilmiş olunabilir. Fosil yakıtlarla çalışan termik santrallerin en büyük çevresel etkileri atmosfere saldıkları uçucu küllerdir. Küllerin depolanması sırasında içlerinde bulunan gazların bir kısmının atmosfere yükselmesiyle asit yağmurları oluşmaktadır. Bunun sonucunda bitki örtüsü zarar görmekte ve insan sağlığı olumsuz etkilenmektedir.

Uçucu külün çimento ile yer değiştirmesi, çimento üretiminde ortaya çıkan karbondioksit (CO₂) ve sera gazlarının salınımını azaltacak ve uçucu külün depolanması sorununu ortadan kaldıracaktır. Böylece doğa tahribatının önüne geçilmesi ve ekolojik dengenin korunması sağlanabilecektir. Ayrıca çimento üretiminde kullanılan enerji azalacağından bu üretim esnasında oluşan karbon emisyonu azaltılmış olacaktır. Enerji girdisi başlığı üzerinden sağlanmış olunacak tasarruf, toplam beton üretim maliyeti üzerinde birim fiyat düşüşünü sağlayabilecektir.

3. Sürdürülebilir Puzolanik Malzemenin Kullanım Alanları

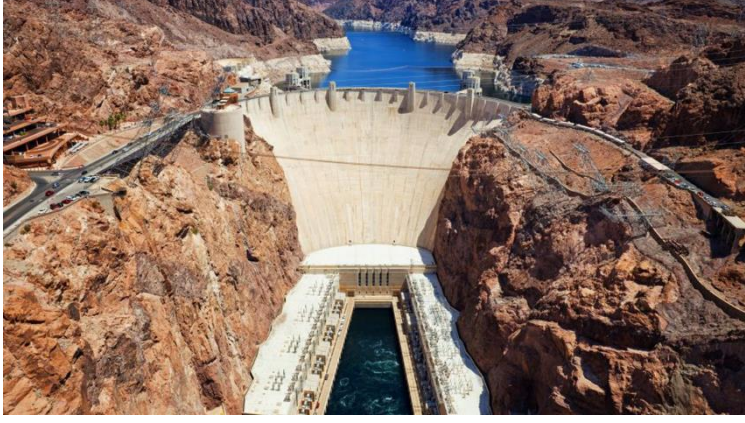
Puzolan katkılı betonlar, istinat duvarları, su tankları, barajlar, köprüler, otoyollar, tuğla üretimi, hafif agrega üretimi, gazbeton üretimi, enjeksiyon betonları, zemin stabilizasyonu gibi bir çok alanda kullanılabilir. Resim 5'te puzolan katkılı tuğla bloklar görülmektedir.



Resim 5. Puzolan katkılı tuğla bloklar [13]

Uçucu küller, ilk kez 1930 yılında ABD'de kömür bazlı termik santrallerden elde edilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır. 1930 yılından sonra uçucu külün kullanımı için bilim adamları araştırma faaliyetlerine başlamışlardır. R.E. Davis ve arkadaşları, 1937 yılında Kaliforniya Üniversitesi bünyesinde gerçekleştirdikleri uçucu külün beton içerisinde kullanımı araştırmalarını ve detaylarını yayınlamışlardır. Uçucu kül katkılı betonların en yaygın olarak kullanıldığı ülkelerin başında ise Hindistan, Çin ve ABD gelmektedir.

Resim 6'da 1931 yılında ABD'de uçucu külün kullanıldığı ilk proje olan Hoover Barajı görülmektedir. Sadece uçucu kül katkılı beton kullanılarak yapılan ilk endüstriyel yapı ise 1948 yılında ABD'de yapılan Hungry Horse Barajı'dır. Resim 7'de ise 2013 yılında sadece uçucu kül katkılı betonun kullanıldığı ilk bina olan Avustralya'daki Queensland Üniversitesi'nin Küresel Değişim Enstitüsü görülmektedir.



Resim 6. Hoover Barajı, ABD, 1931 [14]



Resim 7. Queensland Üniversitesi, Küresel Değişim Enstitüsü, Avustralya, 2013 [15]

Uçucu kül katkılı betonun basınç ve aşınma dayanımı, kuvvetli geçirimsizlik özellikleri yüksektir. Dolayısıyla köprü ve baraj gibi yapılarda kullanımı oldukça elverişlidir. 1995 yılında yapılan Fransa'daki Puylaurent Barajı, 1998 yılında yapılan Danimarka'daki Great Bell East Köprüsü ve 2009 yılında yapılan Hindistan'daki Bandra Worli Köprüsü buna verilebilecek bazı örneklerdir.

Uçucu külün, betonun mekanik ve fiziksel özelliklerinde iyileşmeler sağlaması, yüksek sıcaklığa dayanımını artırması, hafifliğinin yanında mukavemetli oluşu çok katlı yapılarda kullanımını arttırmıştır. 1982 yılında yapılan İspanya'daki Picasso Gökdeleni, 1994 yılında yapılan Almanya'daki Kastor ve Pollux Gökdelenleri, 1998 yılında yapılan Malezya'daki Petronas İkiz Kuleleri ve 2010 yılında yapılan Dubai'deki Burj Khalifa uçucu kül katkılı beton kullanılmış yapılardır. 1955 yılında yapılan ABD'deki Prudential Finans Binası, 1988 yılında yapılan İskoçya'daki Tornes Nükleer Enerji Santrali, 2009 yılında yapılan ABD'deki Berkeley Sutardja Dai Hall uçucu kül katkılı betonun kullanıldığı diğer yapılar arasındadır.

Türkiye'de ise bu alandaki ilk çalışmalar 1964 yılında DSİ (Devlet Su İşleri Müdürlüğü) tarafından yapılmıştır. 1968 yılında TSE (Türk Standartları Enstitüsü) tarafından uçucu kül ile ilgili standartlar (TS EN-197, TS EN-450, TS EN-639, TS EN-640) yayınlanmıştır. Ülkemizde yılda ortalama 45 milyon ton düzeylerinde kömür yakılmaktadır. Buna bağlı olarak 15 milyon ton düzeyinde uçucu kül açığa çıkmaktadır [5]. TÇMB (Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği) ve EÜAŞ (Elektrik Üretim Anonim Şirketi) işbirliği ile Türkiye'de bulunan 11 termik santralden uçucu küller temin edilmiştir. Elektrofiltrelerden temin edilen uçucu küller içerisinde barındırdığı CaO yüzdesi ve $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ toplam yüzdesi bakımından incelenmiş, ASTM-C 618 ve TS EN 197-1'e göre uygunlukları değerlendirilmiştir. Tablo 2'de Türkiye'deki termik santrallerden elde edilen uçucu küllerin analiz sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 2. Türkiye'deki termik santrallerin analiz sonuçları [16]

Türkiye'deki Termik Santrallerin Analiz Sonuçları			
Santral	CaO (%)	SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ (%)	Sonuç
Afşin-Elbistan	53,44	30,68	Standartlara uygun değildir.
Orhaneli	9,48	80,73	Standartlara uygundur.
Çatalağzı	1,46	89,75	Standartlara uygundur.
Seyitömer	4,26	84,34	Standartlara uygundur.
Yatağan	10,53	80,65	Standartlara uygundur.
Tunçbilek	1,95	87,82	Standartlara uygundur.
Soma	20,95	70,48	Standartlara kısmen uygundur.
Kangal	31,91	53,37	Standartlara kısmen uygundur.
Yeniköy	39,40	32,05	Standartlara uygun değildir.
Kemerköy	38,49	43,76	Standartlara uygun değildir.
Çayırhan	11,82	73,83	Standartlara uygundur.

Türkiye'deki termik santrallerde yapılan araştırmalar ve çalışmalar sonucunda Seyitömer, Çatalağzı, Tunçbilek, Orhaneli, Yatağan ve Çayırhan santrallerinden elde edilen uçucu küllerin yapı malzemesi üretiminde uygun olduğu tespit edilmiştir. Buna rağmen yeterli düzeyde farkındalık oluşmaması, teknik ve ekonomik faydalarının göz ardı edilmesi, uçucu küllerin puzolanik özelliklerinden yararlanılarak onu sürdürülebilir güçlü bir yapı malzemesi olarak kullanmak yerine, bu külleri depolamak ve taşıdığı potansiyeli kullanmamak tercih edilmiştir.

Ülkemizde istisnai olsa da ilk uçucu kül katkılı beton uygulaması 1967 yılında yapımına başlanan Eskişehir'deki Gökçekaya Barajı'dır. Aynı yıl yapımına başlanan Porsuk Barajı'nın yapımında da uçucu kül kullanılmıştır. Barajların yapımında kullanılan beton karışımı, Tunçbilek Termik Santrali'nden elde edilen uçucu küllerin çimento ile karıştırılmasıyla elde edilmiştir. Resim 8'de Eskişehir'deki Gökçekaya Barajı gösterilmektedir.



Resim 8. Gökçekaya Barajı, Eskişehir; 1967 [17]

4. Sonuç

Günümüzde sürdürülebilir tasarımın ve çevre dostu malzemelerin kullanımının yaygın hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Puzolanik özellik taşıyan uçucu kül katkılı beton çevre dostu, sürdürülebilir, yenilikçi ve ekonomik bir ürün olarak yapı teknolojisinde ülkemizde de yerini almalıdır. Beton üretiminde uçucu küllerin, fırın cürufu ve silis dumanının kullanımı sayesinde sürdürülebilir ve çevresel koşullara daha dayanıklı ürünler elde edilebilmesinin yanı sıra endüstriyel atıkların çevre için oluşturdukları tehdit düzeyi de azaltılmış oluna bilinecektir. Bu nedenle, uçucu kül katkılı beton kullanımının yaygınlaştırılması, sürdürülebilir mimarlık ve atıkların çevreye verdiği zarar etkisinin azaltılması bakımından önemli görülmektedir.

Puzolanik özellik taşıyan uçucu kül katkılı betonun mukavemeti, su geçirimsizliği, hidrasyon ısısının düşüklüğü gibi parametreler açısından çimentoya göre daha iyi özellikler sergilediği tespit edilmiştir. Uçucu küllerin beton teknolojisinde kullanımı ile betonun çeşitli fiziksel, mekanik ve durabilite özelliklerinin iyileştirilmesi, betonun performansının artırılması, düşük maliyet ile yüksek kalitede beton üretilmesi sağlanabilir. Ayrıca uçucu küllerin beton üretiminin yanında tuğla üretiminde, gazbeton üretiminde, zemin iyileştirme tekniklerinde ve su yapılarında kullanılması da mümkündür. Uçucu küllerin depolanması sırasında çevreye yaydıkları atık gaz ortadan kaldırılabilir, depolama ve taşıma esnasında kullanılması gereken enerjiden de tasarruf elde edilebilir. Uçucu külün çimento ile yer değiştirmesi, çimento üretiminde ortaya çıkan karbondioksit (CO₂) ve sera gazlarının salınımının azalmasıyla doğanın tahribatının ve çevre kirliliğinin bir ölçüde önüne geçilmiş olunabilir.

Türkiye'de uçucu kül kullanımı oldukça azdır. Ülkemizde uçucu küllerin geri dönüşümünün ve kullanımının yaygınlaştırılması ile ülke ekonomisine katkıda bulunulabilir. Çevreye salınması veya depolanması durumunda oluşabilecek problemlerin ortadan kaldırılması mümkündür. Sürdürülebilir ve güçlü bir malzeme olarak görülen uçucu küller, ülkemizde bulunan altı termik santral tarafından büyük oranda üretilmektedir. Günümüzde sürdürülebilir mimarlık bakış açısı ile bu üretimin teknik ve ekonomik potansiyeli yeniden ele alınmalı, çevreye duyarlı bir bakış açısı ile ülke ekonomisine kazandırılmalı ve yapılaşma endüstrisinin faydasına sunulmalıdır.

Kaynakça

- [1] <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/cement/> (erişim tarihi 05.12.2017).
- [2] ALKAYA, D. “Uçucu Küllerin Zemin İyileştirilmesinde Kullanılmasının İncelenmesi”, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 5, 61-72, 2005.
- [3] SHEIKH, A., SAIFALI, S., AKHIL, R., LAKSHMIPATHI, S. “Construction Of A Building Using Fly Ash Concrete”, International Journal of Civil Engineering and Technology, 4, 1809-1814, 2017.
- [4] TOPÇU, İ. B. VE CANBAZ, M. “Uçucu Kül Kullanımının Betondaki Etkileri”, Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 14, 11-24, 2001.
- [5] GÜLER, E., GÜLER, G., İPEKOĞLU, Ü., MORDOĞAN, H. “Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları”, Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, İzmir, Türkiye, 9-12 Haziran 2005.
- [6] <http://www.caer.uky.edu/kyasheducation/flyash.shtml> (erişim tarihi 05.12.2017).
- [7] <http://matrixco.net/other/fly-ash-concrete/> (erişim tarihi 05.12.2017).
- [8] ASTM C-618. Standart Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozolan for Use as Mineral Admixture in Portland Cement Concrete, The American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1985. <http://www.astm.org> (erişim tarihi 07.12.2017).
- [9] TS EN 197-1 Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2012.
- [10] TS EN 450-1 Uçucu Kül - Betonda Kullanılan - Bölüm 1: Tarif, Özellikler ve Uygunluk Kriteri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2013.
- [11] <http://conash.com/> (erişim tarihi 05.12.2017).
- [12] YAZICI, H. “Termik Santral Atığı Yapay Alçı-Uçucu Kül-Taban Külü Esaslı Yapı Malzemesi Geliştirilmesi”, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 2004.
- [13] <https://ecofriend.com/eco-friendly-bricks.html> (erişim tarihi 08.12.2017).
- [14] <https://www.culturalist.com/l/wonders-of-the-world-239449> (erişim tarihi 10.12.2017).
- [15] <https://inhabitat.com/the-global-change-institute-operates-in-a-net-zero-carbon-neutral-research-center-in-brisbane/> (erişim tarihi 10.12.2017).
- [16] TÜRKER, P., ERDOĞAN, B., KATNAŞ, F., YEĞİNOBALI, A. ” Türkiye’deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri”, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği/AR-GE Enstitüsü, Temmuz 2009.
- [17] http://www.btselektrik.com.tr/sayfa-euas_gokcekaya_hes_rejenerasyon-1127.html (erişim tarihi 12.12.2017).
- [18] ARUNTAŞ, H. Y. “Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli”, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Dergisi, 21, 193-203, 2006.
- [19] ATİŞ, C. D. “Uçucu Kül İçeren, Silindirle Sıkıştırılabilen Betonların Özellikleri”, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 25, 503-515, 2001.
- [20] ÇİL, İ. “Uçucu Küllerin Beton Yapımında Kullanımı”, 56. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, 2003.
- [21] DEMİR, İ. “Uçucu Külün Hafif Yapı Malzemesi Üretiminde Kullanılması”, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 1, 21-24, 2005.
- [22] <https://theconstructor.org/concrete/geopolymer-concrete-ecofriendly-construction-material/9430/> (erişim tarihi 5.12.2017).
- [23] KAPTANOĞLU, Ş. “Gökçekaya Baraj Ve Hidroelektrik”, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 142, 1-5, 1967.
- [24] KARATAY, T. “Eskişehir Porsuk Barajı Yükseltilmesi İnşaat Çalışmaları”, İnşaat Mühendisleri Odası Türkiye İnşaat Mühendisliği 4. Teknik Kongresi, Ankara, 1968.
- [25] SUBAŞI, S., İŞBİLİR, B., ERCAN, İ. “Uçucu Kül İkameli Çimento Numunelerinin Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkisi”, Politeknik Dergisi, 14, 141-148, 2011.
- [26] WASTİ, Y. “Uçucu Küllerin Geoteknik Özellikleri ve Kullanım Olanakları”, İMO Teknik Dergi, 4, 177-188, 1990.



An Ergonomically Sound Encapsulating System Application in an Automotive Stamping Press Line for Reducing Employee Noise Exposure

Yücel Can^{1*}

¹R&D Center, Oyak Renault, Bursa/Turkey (ORCID: 0000-0003-2086-2129)

(First received 2 February 2019 and in final form 2 March 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.521262)

ATIF/REFERENCE: Can, Y. (2019). An Ergonomically Sound Encapsulating System Application in an Automotive Stamping Press Line for Reducing Employee Noise Exposure. *European Journal of Science and Technology*, (15), 183-192.

Abstract

Stamping press lines are among the highest noise sources in the automotive industry. The noise limits imposed by OSHA (Occupational Safety and Health Organization) force companies to keep employees away from these high-decibel noises. The most ergonomic and effective program for noise safety is to block the noise at the source. In this study, a press line of the Renault-Turkey automotive plant was enclosed with a novel foam-core sandwich structure to improve the comforts and ergonomics of the stamping press workshop environment. Three different encapsulating cases were applied: four sides circumferentially closed with soundproofing walls, five sides encapsulated with a closed top, and a gap-reduced case. For all three cases, the sound levels were measured in the stamping press workshop. The sound levels were reduced below 85 dB (A) in all cases. The performance of the encapsulating system was observed while producing two different parts. It was determined that this type of stamping press line should be encapsulated on all five sides to reduce the stamping workshop noise level. The four lateral sides' sound barriers were not sufficient to soundproof the press line. The small gaps and the die changing doors were very important in the all-five-sides encapsulated case.

Keywords: Soundproofing, Stamping press line, Sandwich structures, Workshop ergonomics, OSHA, Noise.

Çalışanların Gürültü Maruziyetini Azaltmak için Otomotiv Sac Şekillendirme Pres Hattında Ergonomik Bir Ses Yalıtım Sistemi Uygulaması

Öz

Sac parça üretiminde kullanılan pres hatları otomotiv endüstrisindeki en yüksek gürültü kaynakları arasındadır. OSHA (Mesleki Güvenlik ve Sağlık Örgütü) tarafından getirilen gürültü limitleri şirketleri çalışanlarının bu yüksek şiddetteki gürültüden uzak tutmaya zorlamaktadır. Gürültü güvenliği için en ergonomik ve etkili yöntem gürültüyü kaynağında engellemektir. Bu çalışmada, Renault Türkiye otomotiv fabrikasının bir pres hattı, pres atölyesi ortamının konforunu ve ergonomisini geliştirmek için yeni bir köpük çekirdekli sandviç yapısı ile tamamen kapatılarak ergonomik bir gürültü önleme uygulaması gerçekleştirilmiştir. Üç farklı kapatma tasarımı denenmiştir: a) Dört cepheden çevresel olarak kapatılmış gürültü önleme sistemi, b) Tavanı da kapatılan beş cepheli sistem ve c) açıklıkları azaltılmış beş cepheli kapatma sistemi. Her üç durumda da, pres atölyesinde gürültü seviyeleri ölçülmüştür. Tüm durumlarda gürültü seviyesi 85 dB (A) altına düşürülmüştür. Geliştirilen gürültü yalıtım sistemlerinin performansı iki farklı sac parçanın seri üretimi esnasında ölçülerek gözlemlenmiştir. Pres atölyesi gürültü seviyesini düşürmek için uygulama yapılan pres hattının beş cepheden kapatılmasının gerektiği tespit edilmiştir. Sadece dört yan cepheli kapatma sisteminin diğer ikisine göre daha başarısız olduğu görülmüştür. Beş cepheli kapatma sisteminde küçük açıkların dahi iyileştirilmesinin ses yalıtımına önemli katkısı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ses Yalıtımı, Pres Hattı, Sandviç Yapı, İşyeri Ergonomisi, OSHA, Gürültü

* Corresponding Author: R&D Center, Oyak Renault, Bursa/Turkey, ORCID: 0000-0003-2086-2129, yucel.can@renault.com

1. Introduction

The general effect of noise on the hearing of workers has been a topic of debate among scientists since the end of the 1960s, although it has been a known problem since the 18th century. (Brink et al., 2002; Mohammadi, 2008) The Occupational Safety and Health Administration (OSHA) requires the use of hearing protection at noise levels greater than 85 dB(A). Automotive, wood, textile, petroleum, utility, metal, print, and paper industries have the highest percentage of workers exposed to critical safety noise levels and higher. (Noweir, Bafail, & Jomoah, 2014) Medical studies and other sources of evidence indicate that noise problems cause physical and psychological disorders, undetected hearing loss or damage, and disruption, thus causing inefficient production and job performance. (Arezes, Bernardo, & Mateus, 2012; Mohammadi, 2008) Noise-induced hearing loss (NIHL) is among the ten leading occupational diseases and is very costly (Brink et al., 2002). Some of the cost estimates of NIHL compensation found in the literature are as follows: \$100 million annually paid in Sweden, an average of \$10,000 per hearing loss claim in Canada, and \$200 million for the calendar year 1990 in the USA. Compounding the problem of predicting NIHL is the implementation of mandatory hearing conservation programs in most industries, including automobile manufacturing. (Berger, 1983; Brink et al., 2002) The noise resulting from the manufacture of automobile body parts constitutes the greatest environmental problem for the employees at a plant. (Brühl et al., 1994)

In automotive manufacturing factories, the primary manufacturing process is to shape the metal sheets using stamping press machines. The combination of the variously sized and arranged stamping press machines and robots constitutes a stamping press line. The stamping press motions by the addition of robotic part transportations produce high-level noises from the metal-to-metal impacts, compressed air releases, and noise from the pumps, gears, clutch, brakes, and motors. (Brueck et al., 2013) These undesired sounds are emitted around the press lines. The airborne noises are harmful to the health of the employees, especially those employees around the press lines. Moreover, the National Occupational Health and Safety Regulations also require companies to reduce in-plant noises. There are three airborne noise reduction methods applied by engineers in industrial plants: a) blocking the noise at the source along its path from the source to the receiver; b) blocking the path of the noise, such as using sound barriers; and c) wearing personal hearing protection to provide a passive means of self-protection. Personal hearing protectors are the most often used and cost-effective method of individual exposure control. However, due to the discomfort of wearing personal hearing protection, workers in noisy work environments do not always wear them correctly and consistently. This method also requires educating and motivating employees. (Hsu et al., 2004; Bockstael et al., 2013) In the present study, a noise reduction method to reduce employees' NIHL level is studied by encapsulating the noise source on all sides; the noise source is a stamping press line in the automotive manufacturing plant of Renault/Turkey. Although lowering the noise at the source is the most efficient noise control method for the stamping press line noise source cases (Hsu et al., 2004; Moreland & Minto, 1976; Sanders, M.S., McCormick, 1987), it has many difficulties and research parameters: a) the selected stamping press line has a high dimensional volume of 50 m x 7 m x 10 m; b) changing the stamping die requires many openings, such as guillotine doors, which cause noise diffusion; and c) in the press line, several sheet metal stamping press machines exist with various sizes and capacities. This system produces different frequencies, amplitudes and periods of airborne noise.

In the press line, stamping press machines work sequentially to shape a flat metal sheet into the final complex car body part by blanking, cutting and stamping the sheet metals. These shaped sheet metals are transferred by robots from one press machine to another one based on the engineered process. Due to the continuous and automatic manufacturing process, it is not possible to enclose each stamping press machine separately for noise reduction. The only option is to close all sides of the press line with sound absorber walls unless the room temperature increases. All sounds that originate from the stamping press actions and robotic part transfers stay inside the enclosed room and affect the other noises until the noises are absorbed by the noise absorber walls. The noise absorber walls take in the sound waves and dissipate the wave energy while converting some of the energy into heat, which reduces the sound transmission level and controls the noise level. However, some of the airborne noise transmits from the inside to the outside of the enclosed room through the plant. Currently, the most useful noise absorber wall materials are polymer foam-core sandwich materials and layered structures. The sandwich and layered structures can be designed to reduce the overall noise level over a wide frequency range. For instance, to absorb medium- and high-frequency noises, at least one layer of a porous sound-absorbing sheet comprising a sandwich structure is suggested. A layer with a high specific weight has soundproof properties and absorbs the low-frequency noise, and a layer of vibration damping properties deflects structural noise. (Iasnicu, 2013)

Polymer foams are two-phase materials in which a gas is dispersed in a continuous macromolecular phase. (Rodríguez-Pérez, 2005) Polyolefins are tough, flexible, and resistant to chemicals and abrasions, and foams made from polyolefins inherit these properties. Although polyolefin foams were developed relatively recently compared with polyurethane or polystyrene foams, they are used in almost every industry. Areas of application include packaging, sports, leisure, toys, thermal insulation, automotive, military, aircraft, buoyancy or cushioning. (Eaves, 2004)

Entirely encapsulating the noise source causes the sound level intensity to be isolated inside the soundproofed volume. The gaps become more important than in the one-side-open case in this kind of soundproofing application by increasing the sound transmitted through the gaps. In the one-side-open case, the sound is emitted through the open side, and the intensity of the noise level in the soundproofed volume is not as high as the all-sides, sound-insulated case. (Asakura and Sakamoto, 2013; Shimizu and Koizumi, 2015)

There are limited studies presented in the literature about in-plant noise encapsulating devices. (Moreland and Minto, 1976; Radičević et al., 2012; Moreland, 1984) Moreland and Minto (1976) performed a study on in-plant noise reduction using acoustical barriers around a motor-generator noise source. In their application, the sound barrier was subjected to only a few desired areas, which were personnel-occupied locations near the machine.

In this study, a soundproofing application of the stamping press line in an automotive company was presented. Noise levels were measured for three different cases at a stamping workshop: a) Four lateral sides soundproofing walls, b) All five sides encapsulated with soundproofing walls along with the top, c) The gaps closed. The sound level before and after the encapsulation was measured around the press line, and noise maps were obtained according to the distance from the noise source. The effects of many openings, such as the press line observation windows, the sheet metal parts entrance, exit gaps, and guillotine doors for die setup operations, were considered for noise reduction.

2. Material and Method

The main soundproofing material used was a DurSolex® PE (Durfoam/Turkey) based foam sandwich structure. The material sound performances are given of various densities. The chopped foams were mixed and hot pressed at approximately 130°C to shape a flexible block in a mold. This material is a composite of chopped PE foams thin slices and used as a sandwich core material. The sandwich soundproofing material was bonded with three different high-density polymer solid layers and the chopped PE foam core layer. Figure 1 shows the soundproofing panel with steel back face and soundproofing polymer sandwich foam. The soundproofing material section is shown in Figure 1 with a scaled view of the section. In Figure 2 the sound absorption measurement results were presented for two different sandwich materials with open side measurement for comparison. The vertical axis of these figure shows the sound level measurements, and the horizontal axis shows the frequency of the noise. As a result of these measurements, a combination of the PETex+HDPE+UHDPE foams for the soundproofing material was selected for the noise encapsulation, which reduced the sound transition by more than 20 dB(A).

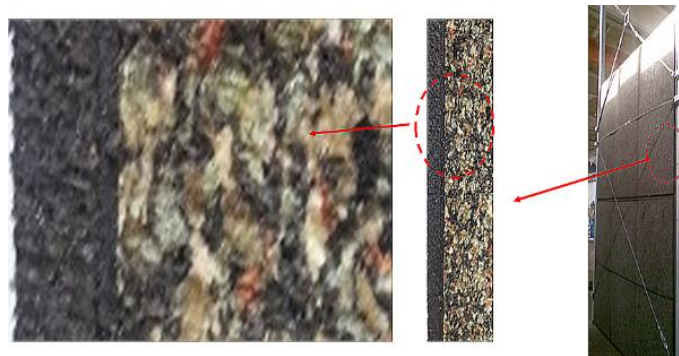


Figure 1. The soundproofing wall and sandwich panel section

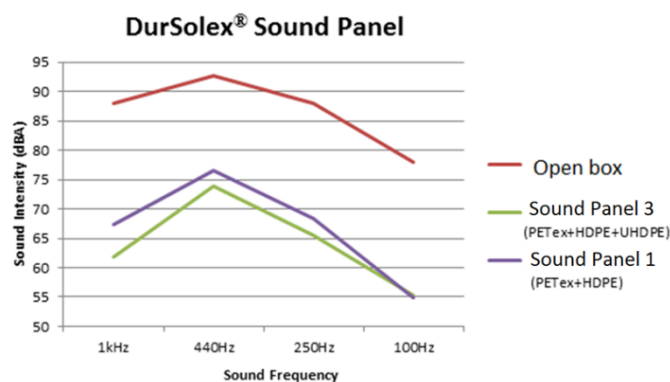


Figure 2. The sound absorption of the sandwich panels.

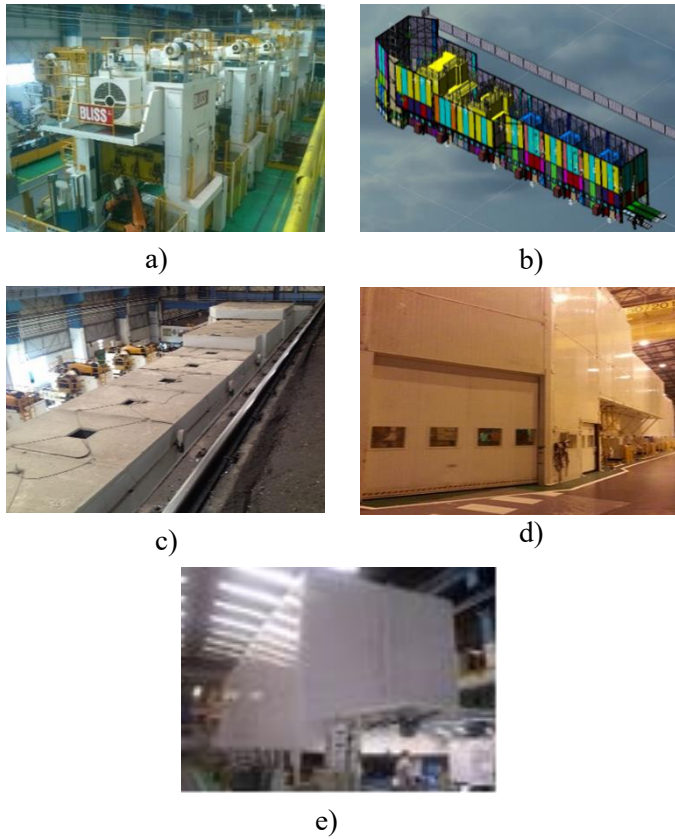


Figure 3. The stamping press line encapsulating system: a) Original press line b) Encapsulating system design cad model c) Circumferentially noise encapsulating application d) Top closing system e) Guillotine doors and their gaps.

The developed soundproofing panel walls were used in the designed press line encapsulating system. This encapsulation design is shown in Figure 3. Figure 3a shows the stamping press line photo before encapsulating. The press line consists of five mechanical sheet metal stamping presses with different widths and heights. In the first design (Figure 3b), the soundproofing walls surrounded the press line.

The mechanical press noises were also transmitted by mechanical vibrations through the floor. All 28 measurement points were carried out after closing the soundproofing walls. The noise level variations were reviewed after lateral encapsulation (Figure 3b). Then, a soundproof design improvement was developed by closing the top of the lateral encapsulated system (Figure 3c). After this upgrade, a new noise level measurement was performed. The desired level of noise reduction to the proposed level was still not achieved. The problem was analyzed, and the high noises were observed around the part exit and guillotine doors, which are needed for die changing. There were some observed gaps and openings around these points. In the last improvement, the size of these gaps was substantially reduced (Figure 3d and Figure 3e).

A picture of the press line before the sound encapsulation is shown in Figure 3a, and the workshop layout technical drawing with the encapsulated press line and noise level measurement points are given in Figure 4. In this figure, the stamping workshop layout drawings are shown, and the sound encapsulated press line is indicated by a thick rectangular frame. This stamping workshop has five press lines and one try-out press. The data acquisition was performed when only the studied press line was in operation, indicating that the other press lines and machines in the workshop were not active. Therefore, encapsulating performance was fully measured. Measurement points 1 to 14 are next to the encapsulation wall. The results for these points were used to compare the near-field noise level to the press line and the soundproofing performance. The other points (15 to 28) were selected to measure the far-field soundproofing effectiveness. During the sound level measurements, sheet metal body-in-white parts were produced in the press line, as shown in Figure 5. Figure 5a and Figure 5b show the Part A and Part B respectively. Part A is manufactured using 4 active stamping press machines in the press line. However, Part B is produced using 5 active stamping press machines in the same press line. It can be understood from these pictures, Part B is more complex than Part A and needs more stamping operations to obtain the final shape. Therefore, these two different parts were selected to understand the effect of the active stamping press machines in the press line to the noise level.

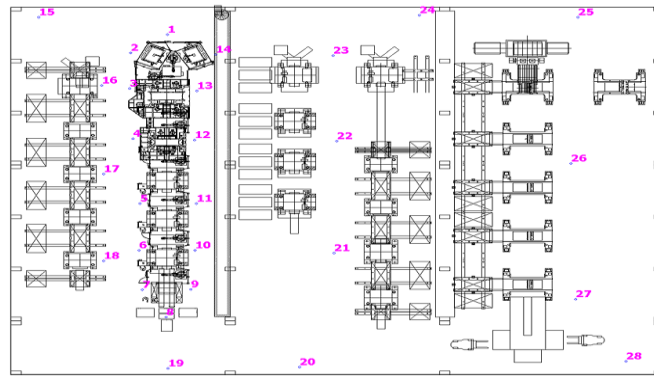


Figure 4. Noise measurement locations in the workshop.



a)



b)

Figure 5. The parts for noise measurement a) Part A b) Part B

The sound level measurements were performed at 28 points before and after the encapsulation during only the operation of the studied press line in the workshop. The noise level in the workshop can be described as short period, steady noises that originate from continuous press ram impact motions. The noise measurements were obtained using the SVANTEK SV102 portable noise measurement device. This device is a noise dosimeter. It can measure noise exposure in accordance with the ISO9612.

3. Results and discussion

The noise measurements before encapsulating the press line are mapped in Figure 6. The maximum sound level around the center zone of the studied press line was 103 dB(A). The sound levels around the press line were almost all higher than 92 dB(A). The minimum noise level was measured in the far field, measurement points 24 to 28, and was between 83-85 dB(A). These points are a minimum of 35 m from the working press line and have many line-of-sight obstructions, such as other press lines. The roof on the stamping press line has conventional covering plates. This press line produces very high noise levels, and the noises are emitted all around the stamping workshop.

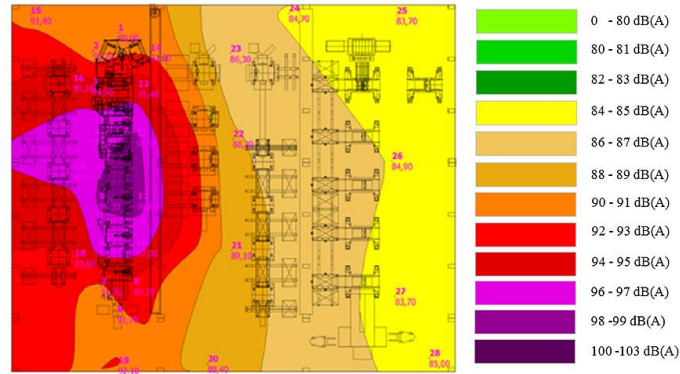


Figure 6. The noise map in the workshop before encapsulation.

Figure 7 shows the first soundproofing application of the press line (see Figure 3a) application results. In the first step, only the lateral sides of the press line were closed using the panels that are shown in Figure 3b, is an isometric view of the CAD model and the constructed panel wall shown in Figure 1. In this encapsulating application, there is still one gap for the produced part exit, an open top, and gaps between the guillotine doors and the soundproofing wall panel. As shown in the sound map, after the press line was surrounded with an 8 m high sound insulation wall, the noise level measurements at location numbers 5 and 11 were 85 dB(A). This zone was the maximum noise level in the initial case. Thus, the maximum noise generated by the press line was reduced by more than 18 dB(A). These points were exterior and next to the encapsulating wall. While the noise level was reduced next to the encapsulating wall, a bit far-field noise level from the wall did not decrease to the same extent (~ 5 dB(A)). The reason is that the top of the press line was open and the sounds are emitted from the source to the outside of the surrounded region through to the angled stamping workshop roof. These sound

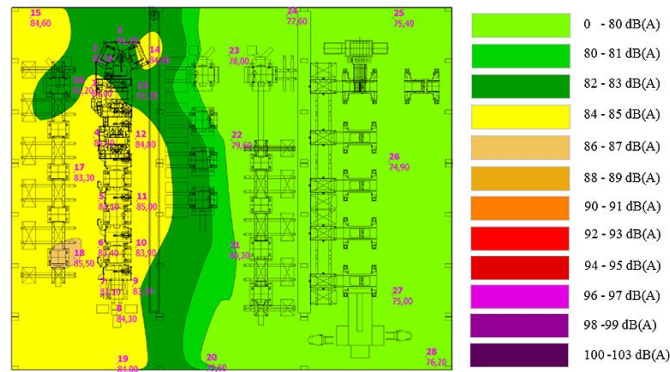


Figure 7. Noise map for enclosed four Lateral sides.

waves are reflected through a bit far region of the press line. The left side of the press line has a higher noise level than the right side for both the initial and surrounded case since the left side has a rigid concrete wall from the workshop building and the emitted sound through the left side is reflected from the rigid wall. The measurement point 18 has an additional pipeline air leakage sound. Therefore, this point has a higher sound level at a given time.

Figure 8 presents the noise level map for the top-closed case with the soundproofing panel. The focused measurement points 10, 11 and 12 near the soundproofing wall had noise levels that were unexpectedly higher than the top-open case. The top encapsulation caused the sound energy to intensify and produced a higher noise level inside the encapsulated cabinet. This intensive noise transmission from the soundproofing wall and the gaps increased (see Figure 3c). The zone close

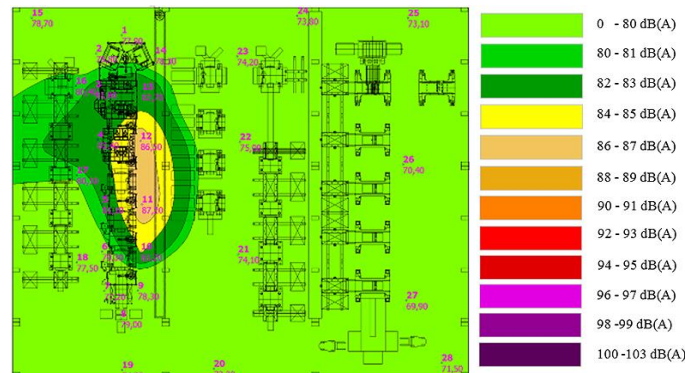


Figure 8. Sides and top enclosed while door gaps are open.

To the left side of the soundproofing wall did not show the same sound increase after the top was closed. Since there are not any guillotine doors on the left side. However, most of the stamping workshop noise level was reduced below 80 dB (A).

Figure 9 shows the noise map after the final improvements. In this case, the height of the ending side opening (needed for the produced parts to exit the press line) was reduced by 300 mm by adding new soundproofing panels. Additionally, the guillotine doors were originally designed to work safely with a 100-mm offset between the soundproofing wall and the guillotine door panel. It was observed that this distance produced a high-level noise emitting from the inside to the outside of the encapsulated volume. These offset distances were reduced to 5 mm in the improved design. As shown in the noise map, the maximum noise level of 83.3 dB(A) was measured around the noise measurement

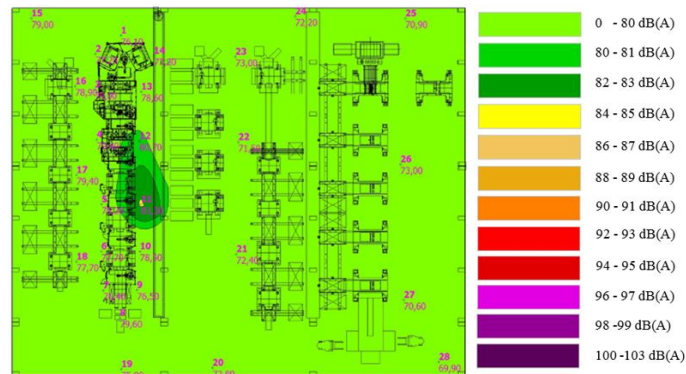


Figure 9. Sides and top enclosed while the door gaps are closed.

point 11. After these improvements, the noise level in the stamping workshop decreased by more than 5 dB(A) next to the soundproofing wall.

Moreover, at the right side of the soundproofing system, only a 2 dB(A) noise reduction was observed due to the guillotine doors. Furthermore, in the far field, there were not any reduced effects after the final improvements. The noise level comparisons at each measurement location for all cases are shown in Figure 10. In this figure, each point describes a certain measurement location. These locations are shown in Figure 4 on the stamping workshop section plan. The straight line shows the OSHA limit value, which indicates the limits for the critical workers' continuous exposure to the noise level for 8 hours. This value is a limit for hearing loss to start. The figure shows the following cases:

- Case 1: Initial noise levels in the stamping workshop.
- Case2: Press line encapsulated four lateral sides by soundproofing panels.
- Case 3: Press line four lateral sides and top closed (All five sides closed).
- Case 4: Guillotine door gaps and part exit opening narrowed.

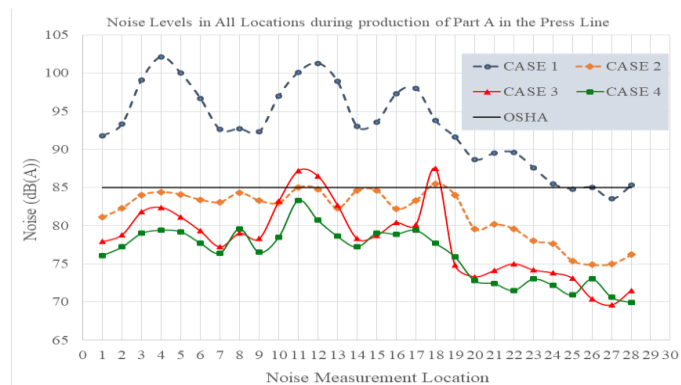


Figure 10. The noise level variation depends on the location

As shown in Figure 10, the circumferentially encapsulated case (Case 2) shows a noise level that is below the OSHA critical limit except for a few points (locations), but the mean value of all points is very close to the health limit. In that case, the soundproofing application required more improvements. Therefore, the top of the circumferentially enclosed press line was also closed by the soundproofing panels. In this enhancement, the noise levels were clearly reduced, except for a few locations. In contrast to the

expectations, measurement points 10, 11, 12 and 13 had noise levels that increased by different percentages. As shown in Figure 4, these points are close to the guillotine doors of the system. It was observed that the gap between the guillotine doors and the soundproofing panels was at a 120-mm offset due to constructive needs. Moreover, after closing the top of the system, the noises were reflected from the encapsulating system cap and sound densification occurred inside the encapsulated system. These intensifications inside the encapsulated system caused more noise to transmit from the gaps. The noise level increase at point 18 indicated that the noise came from the air pipeline leakages. After this observation, this leakage problem was fixed. In the final improvement, the gaps between the guillotine doors and soundproofing walls were reduced from 120 mm to 5 mm. This improvement is denoted as Case 4. After these ameliorations, the noise levels were reduced under the OSHA limit in all locations of the stamping workshop.

The effects of the stamping product type and the number of stamping press machines in the press line on the soundproofing performance were investigated by producing two different parts. The part geometries are shown in Figure 5 as Part A and Part B, which require 4 and 5 active stamping press machines in the press line, respectively. As shown in Figure 11, measured noise level outside of the encapsulation during two different parts production (Part A and Part B) were almost same, although the generated noise levels were not same inside the encapsulation. The Pearson coefficients were used to obtain a correlation between two curves. In this study, the Pearson calculations were performed using MS Excel software. The more detailed information about the Pearson correlation coefficients R and R^2 can be seen in the literature. (Asuero et al., 2006) For Figure 11, R -value was calculated as 99%, and the R^2 value was obtained as 98%. That means these two curves were in a good match. However, as mentioned above, Part B was produced using one more stamping press machine than Part A, which was located at the end of the press line and next to the end of the line opening. This position corresponded to measurement point 8. In that case, the maximum noise variation during Part A and Part B production was observed at this point. Finally, Part B generated 4 dB(A) noise more than Part A.

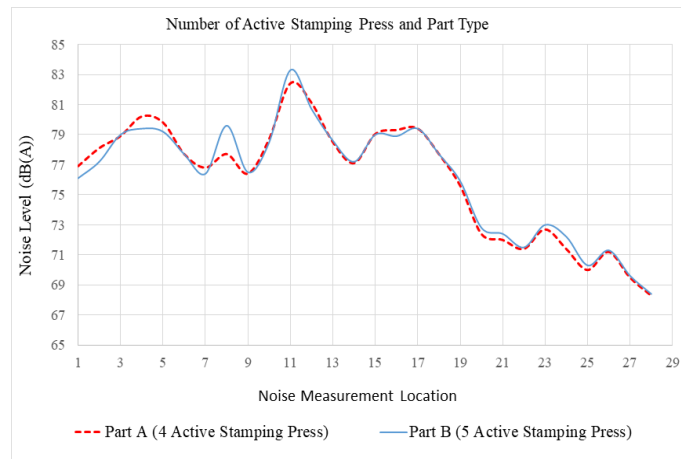


Figure 11.The noise level according to the press number.

4. Conclusions

The observed results can be concluded as follows:

- 1) The noise reduction was achieved by blocking the noise at the source through encapsulating the entire stamping press line to obtain employees' hearing comfort by conforming to OSHA regulations.
- 2) In the all-sides-encapsulated system, openings and small gaps become more critical in reducing noise levels. The noise transition from the gaps increased in the all sides encapsulated systems. The noise level increased and intensified inside the all-sides-encapsulated system
- 3) The noise level outside of the encapsulated system does not depend on the number of active stamping press machines in the press line. However, it does depend on the distance from the mandatory gaps and the openings of the noise sources.
- 4) The noise level outside of the encapsulated system can be reduced under the OSHA limits by circumferentially encapsulated systems. However, this kind of soundproofing system can be a solution when only one press line exists in the stamping workshop. If more than one press line work, the noise level can exceed the critical workshop noise limit by combining sound waves by generating each of one.
- 5) Designed soundproofing sandwich panel has shown same noise reduction performance all around the encapsulating noise system.

Acknowledgments

The author would like to thank the Oyak-Renault Automotive, Presmetal, PechoM, and Durfoam Companies of Turkey involved in the present study and the respective workers, who voluntarily accepted to take part in it. This work was supported by the Oyak Renault Automotive Company and the author would like to present his special thanks to the company.

References

- 1) Brink, L. L., Talbott, E. O., Altonburks, J., Palmer, C. V. 2002. Changes over time in audiometric thresholds in a group of automobile stamping and assembly workers with a hearing conservation program. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 63(4), 482–487. <https://doi.org/10.1080/15428110208984737>
- 2) Mohammadi, G. 2008. Hearing conservation programs in selected metal fabrication industries. *Applied Acoustics*, 69(4), 287–292. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2006.12.002>
- 3) Noweir, M. H., Bafail, A. O., Jomoah, I. M. 2014. Noise pollution in metalwork and woodwork industries in the kingdom of Saudi Arabia. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 20(4), 661–670. <https://doi.org/10.1080/10803548.2014.11077068>
- 4) Arezes, P. M., Bernardo, C. A., Mateus, O. A. 2012. Measurement strategies for occupational noise exposure assessment: A comparison study in different industrial environments. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(1). <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2011.10.005>
- 5) Berger, E. H. 1983. Laboratory Attenuation of Earmuffs and Earplugs Both Singly and in Combination. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 44(5), 321–329. <https://doi.org/10.1080/15298668391404905>
- 6) Brühl, P., Ivarsson, A., Toremalm, N. G. 1994. Noise-induced Hearing Loss in an Automobile Sheet-metal Pressing Plant: A Retrospective Investigation Covering 25 Years. *Scandinavian Audiology*, 23(2), 83–91. <https://doi.org/10.3109/01050399409047490>
- 7) Brueck, S. E., Panaccio, M. P., Stancescu, D., Woskie, S., Estill, C., Waters, M. 2013. Noise exposure reconstruction and evaluation of exposure trends in two large automotive plants. *Annals of Occupational Hygiene*, 57(9), 1091–1104. <https://doi.org/10.1093/annhyg/met035>
- 8) Hsu, Y. L., Huang, C. C., Yo, C. Y., Chen, C. J., Lien, C. M. 2004. Comfort evaluation of hearing protection. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 33(6), 543–551. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2004.01.001>
- 9) Bockstael, A., De Bruyne, L., Vinck, B., Botteldooren, D. 2013. Hearing protection in industry: Companies' policy and workers' perception. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 43(6), 512–517. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2012.08.009>
- 10) Moreland, J. B., Minto, R. F. 1976. An example of in-plant noise reduction with an acoustical barrier. *Applied Acoustics*, 9(3), 205–214. [https://doi.org/10.1016/0003-682X\(76\)90018-9](https://doi.org/10.1016/0003-682X(76)90018-9)
- 11) Sanders, M.S., McCormick, E. J. 1987. *Human Factors in Engineering and Design*. New York: McGraw-Hill.
- 12) Iasnicu, I. S. 2013. Composite materials containing textile soundproofing. *Bul. Univ. Pet. – Gaze Ploiesti*, 65, 91–97.
- 13) Rodríguez-Pérez, M. A. 2005. Crosslinked polyolefin foams: production, structure, properties, and applications. *Adv. Polym. Sci.*, 184, 97–126.
- 14) Eaves, D. (Ed.). 2004. *Hand book of polymer foams*. Rapra Technology Limited.
- 15) Shimizu, T., Koizumi, S. 2015. Study of the compatibility between sound insulation performance and ventilation performance in gaps by installing nonwoven fabrics. *Building and Environment*, 94(P1), 335–343. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.08.020>
- 16) Asakura, T., Sakamoto, S. 2013. Improvement of sound insulation of doors or windows by absorption treatment inside the peripheral gaps. *Acoustical Science and Technology*, 34(4), 241–252. <https://doi.org/10.1250/ast.34.241>
- 17) Radičević, B., Petrović, Z., Todosijević, S., Petrović, Z. 2012. Design of Noise Protection of Industrial Plants- Case Study of a Plywood Factory. In *University of Nis Faculty of Occupational Safety, "Politechnica" University of Timisoara Faculty of Mechanical Engineering, in: 23rd National Conference and 4th International Conference Noise and Vibration* (pp. 17–19). Retrieved from [http://www.mfkv.kg.ac.rs/urbanoise/media/1210 Nis Radicevic 71-75.pdf](http://www.mfkv.kg.ac.rs/urbanoise/media/1210%20Nis%20Radicevic%2071-75.pdf)
- 18) Moreland, J. B. 1984. In-plant noise-control with acoustical barriers. *Noise Control Engineering Journal*, 23, 106–106.
- 19) Asuero, A. G., Sayago, A., González, A. G. 2006. The correlation coefficient: An overview. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 36(1), 41–59. <https://doi.org/10.1080/10408340500526766>



Eğirdir İlçesi (Isparta) İçin Kaya Düşmesi Duyarlılık Bölgelerinin Haritalandırılması

Kerem Hepdeniz^{1*}

¹ Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Emin Gülmez T.B.M.Y.O, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Burdur, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4182-5570)

(İlk Geliş Tarihi 6 Şubat 2019 ve Kabul Tarihi 2 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.523612)

ATIF/REFERENCE: Hepdeniz, K. (2019). Eğirdir İlçesi (Isparta) İçin Kaya Düşmesi Duyarlılık Bölgelerinin Haritalandırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 193-198.

Öz

Türkiye, bulunduğu coğrafi konum ve atmosfer koşulları nedeniyle, doğal afetlerin çok sık görüldüğü bir ülkedir. Bu doğal afetler her yıl çok sayıda can ve mal kaybına neden olmaktadır. Ancak bu doğal afetlerin çoğunun önceden tahmin edilmesi mümkün değildir. Can ve mal kaybının önüne geçilmesi için ilk önce yapılması gereken; bu doğa olaylarını iyi tanımak, risk taşıyan alanları önceden tespit etmek ve zararların azaltılabilmesi için gerekli önlemleri almak olmaktadır. Kaya düşmeleri, diğer afet türlerine göre daha küçük ölçekteki bölgesel alanları etkilemekte ancak meydana geldiği yer açısından yıkıcı sonuçlar oluşturmaktadır. Ancak maalesef ülkemizde, yerleşim ve konut alanlarının yer seçiminde afet açısından kapsamlı bir inceleme ve alt yapı çalışmalarının yapılmadığı görülmektedir. Bu çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Conefall ve Google Earth programları kullanılarak, Isparta İli Eğirdir İlçe merkezi için kaya düşmesi duyarlılık haritalarının hazırlanması amaçlanmıştır. Çalışma alanına ait 1/25000 ölçekli topografik haritaların sayısallaştırılması ile elde edilen 5x5 metre çözünürlüğe sahip sayısal yükseklik modeli haritası ile kaya düşmesi için potansiyel olabilecek kaynak alanlar belirlenmiş ve Conefall programı ile yüksek-orta ve düşük duyarlılığa sahip alanlar haritalandırılmıştır. Bu haritalar gerekli format değişikliğinin ardından Google Earth programına aktarılmış; söz konusu alanda yüksek-orta ve düşük duyarlılık bölgesi içerisinde kalan binaların olduğu; Isparta' yı Eğirdir ve Konya' ya bağlayan D-350 karayolunun bazı kesimlerinin de yine yüksek-orta ve düşük derece duyarlılık bölgesinde kaldığı görülmüştür. Yapılan arazi gözlemleri ile yüksek ve orta derecede duyarlı alanlarda daha önceden düşen kaya blokları gözlemlenmiş, genel kayaç yapısının ise süreksizlik düzlemlerine sahip kireçtaşı bloklarından oluştuğu tespit edilmiştir. Bu bölgelerde meydana gelebilecek kaya düşmesi durumunda olası can ve mal kaybının önüne geçilebilmesi ancak gerekli tedbirlerin alınması ile mümkün olabilecektir. Bölgedeki yerel yönetim ve birimlerin söz konusu alan ile ilgili olarak gerekli önlemleri almalarının son derece önemli olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kaya düşmesi, Coğrafi bilgi sistemleri, Eğirdir, Conefall, Duyarlılık haritası

Mapping of Rockfall Susceptibility Areas for Eğirdir District (Isparta)

Abstract

Natural disasters are very common in Turkey, due to its geographic location and atmospheric condition. These natural disasters cause a lot of life and property loss every year. However, it is not possible to predict many of these natural disasters. In order to prevent loss of life and property should be done first, to recognize these natural phenomena well, to identify the risk areas in advance and to take necessary measures to reduce the damage should be. Rock falls affect more regional areas than other types of disasters, but they have devastating consequences for the place where they occur. Unfortunately, in our country, it is observed that a comprehensive investigation and infrastructure works have not been done in terms of disaster in the location of residential areas and housing zones. In this study, it is aimed to prepare rockfall susceptibility maps for Eğirdir district of Isparta province by using Geographic Information Systems,

¹ Sorumlu Yazar: Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Emin Gülmez T.B.M.Y.O, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Burdur, Türkiye ORCID: 0000-0003-4182-5570, khedeniz@mehmetakif.edu.tr

Conefall and Google Earth programs. With a resolution of 5x5 meter digital elevation model map obtained by digitization of the 1/25000 topographic maps of the study area, potential areas for potential rock fall were determined and with the help of Conefall program, high medium and low susceptibility area were mapped. These maps were transferred to Google Earth after the format changes, and some buildings and the some part of the D-350 highway; connecting Isparta to Eğirdir and Konya have been seen in the high and medium susceptibility zone. In high and medium susceptibility areas, rock blocks which had been fallen earlier were observed and it was determined that the general rock structure consists of limestone blocks with discontinuity surface. It is possible to prevent possible loss of life and property in case of rock fall in these regions, but it will be possible to take necessary measures. It is considered that it is important for the local authorities and the units in the region to take necessary measures regarding the area.

Keywords: Rock fall, Geographic information systems, Eğirdir, Conefall, Susceptibility map

1. Giriş

Kaya düşmesi, birkaç dm^3 ' ten 10.000 dm^3 ' e kadar olan blokların eğim yönünde hareket etmesi olarak tanımlanır ve kayma, devrilme veya düşme şeklinde gerçekleşir (Dussauge-Peisser, ve diğerleri, 2002) (Aksoy & Ercanoğlu, 2006) (Loye, Jaboyedoff, & Pedrazzini, 2009). Bu blokların hacmi ise kaynak alanlarındaki süreksizliklerin set sayısı, yönelimi ve aralığı gibi süreksizlik özelliklerine bağlıdır (T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2015).

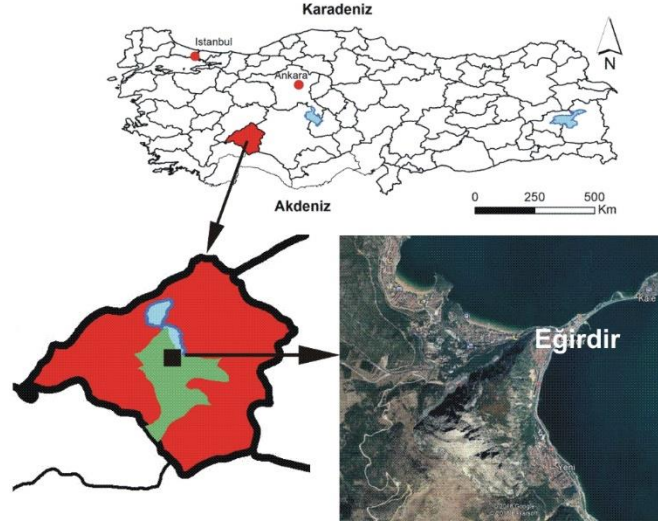
Önceden tahmin edilmesi oldukça güç olan kaya düşmesi, farklı jeolojik, jeomorfolojik, iklimsel (donma ve çözülme, gözenek basıncı, kimyasal ve fiziksel ayrışma) ve insan etkisi gibi faktörlere bağlıdır (Aksoy & Ercanoğlu, 2006). Dağlık alanlardaki kaya düşmesi riski, nüfus ve ekonomik aktivitenin artması ile paralellik gösterir (Baillifard, ve diğerleri, 2004) (Leroi, Bonnard, Fell, & Innes Mc, 2005) ve kaya düşmeleri özellikle yerleşim yerleri ve otoyollara yakın kesimlerde meydana geldiğinde risk oluşturur. Ülkemizin iklim, jeolojik ve jeomorfolojik özelliklerinin her türlü yamaç hareketi için uygun olmasının yanısıra, yerleşim ve konut alanlarının yer seçiminde gerekli hassasiyetin gösterilmemesi, görülen zararları daha da arttırmaktadır (Şahin & Sipahioğlu, 2009).

Tüm kütle hareketlerinin zararlarını azaltmak için önerilen yöntemler, önleyici ve koruyucu türdendir. Kaya düşmesi tehlike haritalarının üretilmesinde, aktif kaynak alanlarının mevcudiyeti, en büyük menzil zonunun belirlenmesi, bu zonda evler, yollar, elektrik hatları ve alt yapı gibi beşeri faktörlerin olup olmadığı ve kaynak alanlar ile insan yaşam alanları arasında ağaçlık alanların mevcudiyeti gibi sorulara cevap verilmelidir (Larcher, Simoni, Pasquazzo, Strada, & Zampedri, 2012).

Bu çalışmada, Isparta' ya bağlı Eğirdir ilçe merkezi ve civarının kaya düşmesi duyarlılık haritalarının oluşturulması için Coğrafi Bilgi Sistemleri ArcGIS 10 programı kullanılarak potansiyel kaya düşmesi kaynak alanları tespit edilmiştir. Bu alanlar Conefall yazılımından faydalanılarak yüksek, orta ve düşük kaya düşmesi potansiyeli olan alanlara ayrılarak, gerekli dönüşüm işlemlerinden sonra Google Earth programına aktarılmıştır. Yapılan duyarlılık haritaları sonucunda yüksek ve orta kaya düşmesi potansiyeli olan alanlar saha çalışmaları ile de gözlemlenmiş ve kayaçların yapısı ve jeolojik özellikleri not edilmiştir.

2. Çalışma Alanı

Isparta il sınırları içerisinde yer alan Eğirdir ilçesinin yüzölçümü 1414 km^2 , deniz seviyesinden yüksekliği ise 918 metredir. Kuzeyden Yalvaç ve Gelendost, doğudan Şarkikaraağaç ve Aksu, güneyden Sütçüler, güneybatıdan Burdur ili, batıdan Isparta merkez ve Atabey ile kuzeybatıdan Senirkent ilçeleri ile komşudur (Şekil 1). İlçenin yüzey şeklini, Eğirdir Gölü ile Isparta çöküntü alanını ayıran dağlar oluşturur. Genel olarak Akdeniz ve karasal iklimin hâkim olduğu ilçede kışlar soğuk ve yağışlı, yazlar ise sıcak ve kuraktır (Uysal, 2011; Dağıstanlıoğlu, 2012).



Şekil 1: Egridir ilçe merkezi yerbulduru haritası

3. Materyal ve Metod

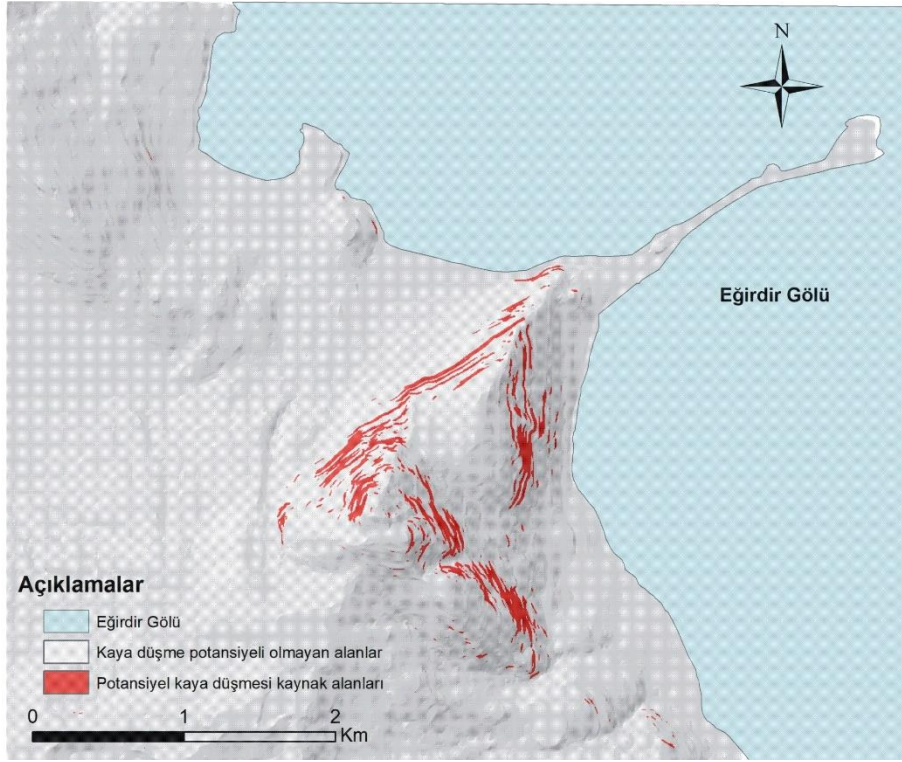
Kaya düşmesine neden olabilecek aktif kaynak alanların saha çalışmaları ile belirlenmesi oldukça zor ve zaman gerektiren bir husustur. Kaya düşmesi olayının meydana gelmesi için temel faktörlerden biri dik eğim açısı olduğu bilinmektedir (Heim, 1932). Bu nedenle Coğrafi Bilgi Sistemleri programı yardımıyla elde edilecek sayısal yükseklik modeli (DEM) haritaları ile potansiyel kaynak alanlarını tespit etmek mümkün olmaktadır. Buradaki önemli husus elde edilecek DEM haritasının çözünürlüğüdür. Çözünürlüğün yüksek olması, modellenen arazinin eğim açılarının gerçeğe çok yakın olmasını sağlamaktadır (Loye, Jaboyedoff, & Pedrazzini, 2009). Bu çalışmada, çalışma alanını kapsayan 1/25000 ölçeğindeki M25b1 ve M25b4 paftaları ArcGIS 10 programı kullanılarak sayısallaştırılmış ve 5 m çözünürlüğe sahip DEM haritası elde edilmiştir. Olası kaynak alanlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri temelli belirlenmesinde ise aşağıdaki formül kullanılmıştır (Dorren & Seijmonsbergen, 2003; Troisi, Berger, & Dorren, 2008).

$$\alpha = 55 * RES - 0.075$$

α (derece): potansiyel kaynak alanları için sınır eğim değeri

RES: sayısal arazi modelinin çözünürlüğü

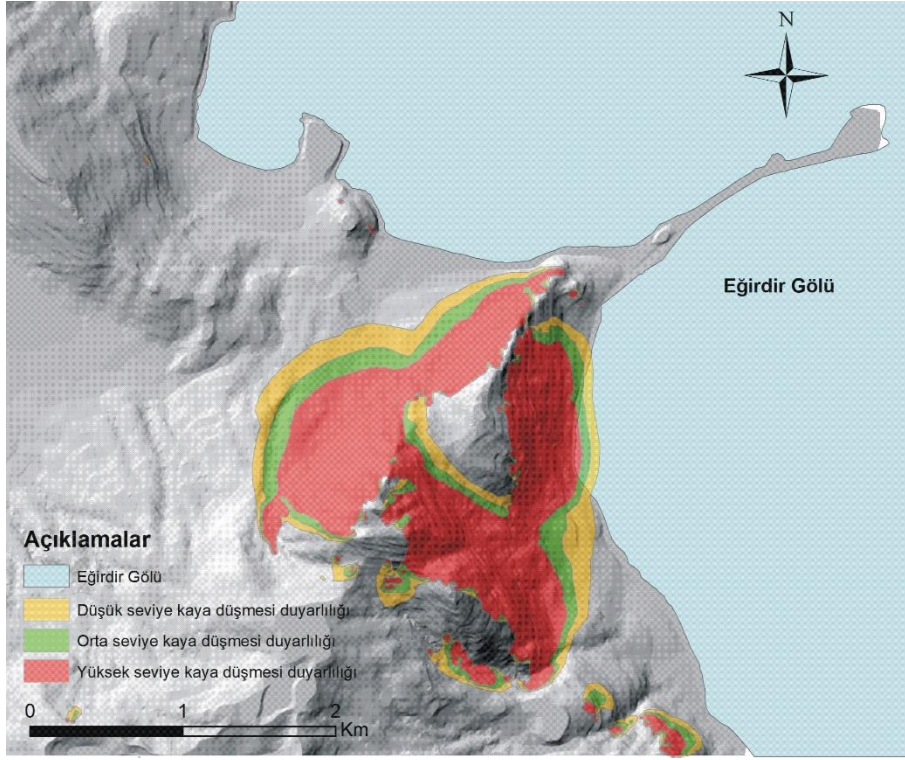
Yukarıdaki formüle göre 5 m çözünürlüğe sahip DEM haritası için kritik eğim açısı değeri 49° olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuca göre, 49° ve üzerindeki eğim değerine sahip alanlar, kaya düşmesinin gerçekleşebileceği potansiyel kaynak alanları oluşturmaktadır. DEM haritasından elde edilen eğim haritası, 49° lik eşik eğim açısı dikkate alınarak yeniden sınıflandırılmış (reclassify) ve Conefall programına kullanımını uygun hale getirmek için 49° nin üzerindeki eğim açıları için "+1"; diğer eğim değerleri için "-1" değeri atanmıştır (Şekil: 2).



Şekil 2: Eğirdir ilçe merkezi potansiyel kaya düşmesi kaynak alanları haritası

Haritada kırmızı renk ile görülen alanlar, potansiyel kaya düşmesi kaynak alanlarını gösterirken; gri renkli bölgeler kaya düşmesi için kaynak olamayacak alanlara karşılık gelmektedir. Bu aşamadan sonra ise elde edilen haritanın, Conefall yazılımında kullanılabilmesi için ArcGIS 10 programı içerisinde raster formatından ASCII formatına dönüştürülmüştür.

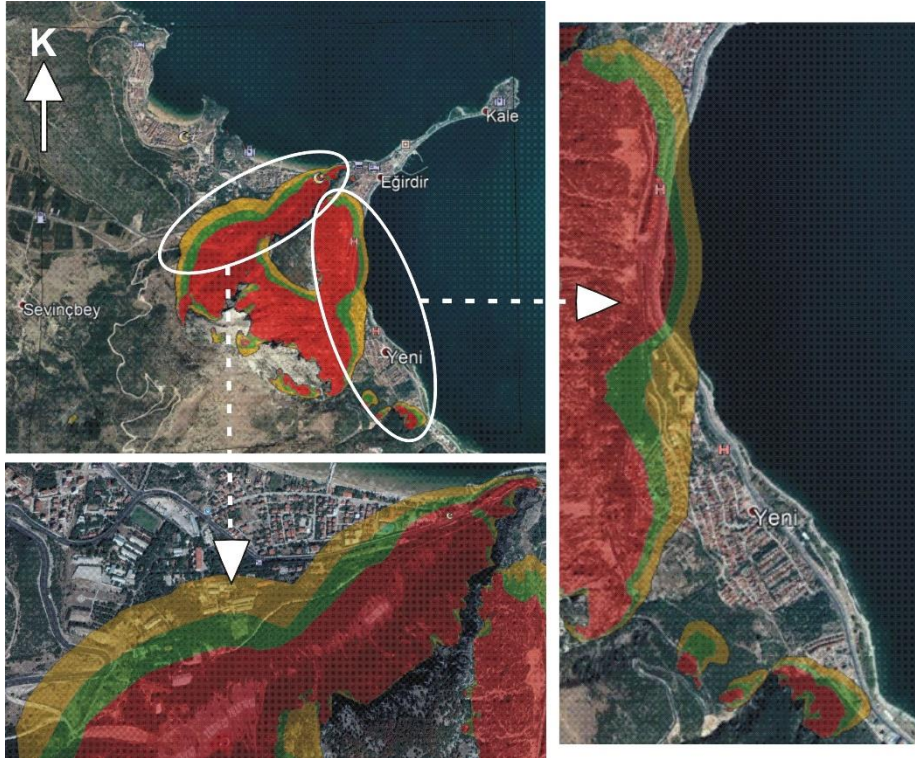
Kaya düşmesi yayılım alanları, Conefall bilgisayar programında uygulanan basit bir Coulomb sürtünme modeline dayanan gölge açısı veya enerji hattı yöntemi olarak bilinen basit bir geometrik kural kullanılarak belirlenebilir (Jaboyedoff & Labiouse, 2011) ve topografik özellikler, DEM haritası, kaya düşmesi kaynak alanları ve konik yayılım açısı kullanılır. Gölge açısı değeri, eğimin azaldığı kesimden, kaya bloğunun ulaşabildiği en uzak nokta arasındaki enerji çizgisinin açı değeri olarak ifade edilmektedir (Capons, Vilaplana, & Linares, 2009). Önceki çalışmalar, gölge açısının alabileceği değerleri, yapılan varsayımlara bağlı olarak 22° ile 38° arasında değiştiğini göstermektedir (Toppe, 1987; Evans & Hungr, 1993; Wiczorek, Morrissey, lovine, & Godt, 1999). Yapılan bu çalışmada ise kaya düşmesi duyarlılık haritalarının belirlenmesinde gölge açısı sınır değerleri, literatür çalışmaları da dikkate alınarak 32° (düşük), 35° (orta) ve 38° (yüksek) değerleri verilerek duyarlılık sınıfları oluşturulmuştur. Conefall programı içerisinde oluşturulan bu sınıf değerlerinin ArcGIS 10 programı içerisinde kullanılabilmesi için tekrar dönüşüm işlemi uygulanarak raster formatına çevrilmiştir. Kaya düşmesi için elde edilen 3 farklı seviyedeki duyarlılık haritaları aritmetik olarak toplanmıştır (Şekil: 3).



Şekil 3: Eğirdir ilçe merkezi kaya düşmesi duyarlılık zonları haritası

Elde edilen haritada; sarı renk ile gösterilen alanların düşük, yeşil renk ile gösterilen alanların orta ve kırmızı renk ile gösterilen alanların ise yüksek kaya düşmesi duyarlılığına sahip alanlar olduğu belirtilmektedir.

Bu işlemlerin ardından raster formatındaki duyarlılık haritası Kml formatına dönüştürülmüş ve kaya düşmesi duyarlılık haritası Google Earth programına aktarılarak yüksek-orta ve düşük kaya düşmesi duyarlılık zonu içerisinde kalan yerleşim yerleri, binalar ve yollar görüntülenebilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4: Google Earth programına aktarılan duyarlılık zonları

3.1. Kaya Düşmesi Duyarlılık Haritalarının Değerlendirilmesi ve Arazi Gözlemleri

Google Earth görüntüsü ve arazi gözlemleri sonucunda çalışma alanı içerisinde yüksek, orta ve düşük kaya düşmesi duyarlılığına sahip alanların mevcut olduğu ortaya çıkmıştır. Çalışma alanı doğu kesimi; Eğirdir-Konya karayolu üzerinde bulunan bazı binaların ve

Eğirdir' i Konya' ya bağlayan karayolunun bir kısmının yüksek ve orta duyarlılık alanı içerisinde olduğu (Şekil 5 A-B), çalışma alanı kuzey ve kuzeybatı kesimlerinde ise yine yüksek ve orta duyarlılık zonunda bulunan binaların olduğu görülmüştür (Şekil 5 E). Çalışma alanı doğu kesiminde yer alan binaların dağ yamacına bakan batı kesiminde eğim atımlı bir fay aynası mevcuttur (Şekil 5 C). Bölgenin 1. Derece deprem riski altında bulunması bölgeyi daha duyarlı hale getirmektedir. Ayrıca, bu bölgede yer alan kireçtaşlarının çok sayıda kırık çatlak içerdiği ve birçok kaya bloğunda yuvarlanarak binaların hemen arkasında yol seviyesine kadar indiği gözlemlenmiştir (Şekil 5 D-F). Yamaçlarda ise küçük tetiklenmeler ile düşmeye hazır birçok gevşek blokta mevcuttur.



Şekil 5: Eğirdir ilçe merkezi ve civarından çekilen fotoğraflar ve koordinat bilgileri

4. Sonuç

Son yıllarda, CBS teknolojileri afet yönetimi, duyarlılık haritalarının hazırlanması ve tehlike azaltma konularında sıklıkla kullanılmakta ve mekânsal planlama ile sürdürülebilir kalkınma alanlarında giderek daha önemli bir rol oynamaktadır. Kaya düşmeleri, diğer kütle hareketlerine kıyasla, daha küçük alanlarda etkili olsalar da, oldukça yıkıcı etkilere sahiptir. Bu amaçla, Eğirdir ilçe merkezi için yapılan çalışmada, kaya düşmesi duyarlılık analizi haritalaması sonucunda, bazı binaların yüksek-orta duyarlılık alanı içerisinde olduğu tespit edilmiş ve elde edilen sonuç, arazi gözlemleri ile de desteklenmiştir. Arazi gözlemleri sırasında bölgede daha önceden düşen kaya bloklarının varlığı belirlenmiştir. Arazinin genel jeolojik yapısını oluşturan kireçtaşı bloklarının kırık çatlak sistemine sahip olması, bölgenin 1. derece deprem risk alanı içerisinde yer alması ve kış aylarında donma çözünme gibi iklimsel bir yapıda olması, sahayı kaya düşmesi açısından daha riskli hale getirmektedir. Olası bir kaya düşmesi sonucunda meydana gelebilecek can ve mal kayıplarının önüne geçilebilmesi ve risklerin en düşük seviyeye indirilebilmesi için, söz konusu orta ve yüksek duyarlılığa sahip alanlarda yerel yönetimler ve yetkililer tarafından gereken iyileştirici ve önleyici tedbirlerin alınmasının önemli olduğu düşünülmektedir.

Kaynakça

- Aksoy, H., & Ercanoğlu, M. (2006). Determination of the rockfall source in an urban settlement area by using a rule-based fuzzy evaluation. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 941-954.
- Baillifard, F., Jaboyedoff, M., Rouiller, J. D., Couture, R., Locat, J., Robichaud, G., & Gamel, G. (2004). Towards a GIS-based hazard assessment along the Quebec City Promontory, Quebec, Canada. W. Lacerda, M. Ehrlich, A. Fontoura, & A. Sayao içinde, *Landslide Evaluation and Stabilization* (s. 207-213). Canada.
- Capons, R., Vilaplana, J., & Linares, R. (2009). Rockfall travel distance analysis by using empirical models (Sola d'Andorra la Vella, Central Pyrenees). *Natural Hazards Earth System Sciences*, 2107-2118.
- Dağıstanlıoğlu, C. (2012). *Eğirdir Katı Atık Deponi Alanının Yer Seçimi Kriterlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) İle Belirlenmesi*. İzmir: Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dorren, L., & Seijmonsbergen, A. (2003). Comparison of three GIS-based models for predicting rockfall runout zones at a regional scale. *Geomorphology*, 49-64.
- Dussauge-Peisser, C., Helmstetter, A., Grasso, J. R., Hantz, D., Desvarreux, P., Jeannin, M., & Giraud, A. (2002). Probabilistic approach to rock fall hazard assessment: potential of historical data analysis. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15-26.
- Evans, S., & Hungr, O. (1993). The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes. *Canadian Geotechnical Journal*, 620-636.
- Heim, A. (1932). *Bergsturz und Menschenleben*, Fretz and Wasmuth Verlag. Zurich.
- Jaboyedoff, M., & Labiouse, V. (2011). Technical Note: Preliminary estimation of rockfall runout zones. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 819-828.
- Larcher, V., Simoni, S., Pasquazzo, R., Strada, C., & Zampedri, G. (2012). *WP6 Guidelines Rockfall and Forecast Systems*. Paramount.
- Leroi, E., Bonnard, C., Fell, R., & Innes Mc, R. (2005). Risk assessment and management. O. Hungr, R. Fell, R. Couture, & E. Eberhardt içinde, *Landslide Risk Management* (s. 159-198). CRC Press.
- Loye, A., Jaboyedoff, M., & Pedrazzini, A. (2009). Identification of potential rockfall source areas at a regional scale using DEM-based geomorphometric analysis. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 1643-1653.
- Şahin, C., & Sipahioğlu, Ş. (2009). *Doğal Afetler ve Türkiye*. Ankara: Gündüz Eğitim ve Yayıncılık.
- T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2015). *Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması Heyelan-Kaya Düşmesi Temel Kılavuz*. Ankara: AFAD.
- Toppe, R. (1987). Terrain models: A tool for natural hazard mapping. *International Association of Hydrological Sciences, Wallingford, UK*, 629-638.
- Troisi, C., Berger, F., & Dorren, L. (2008). *Protection de la viabilite alpine*. PROVIALP project report.
- Uysal, K. (2011). *Eğirdir-Burdur Gölleri Çevrelerindeki Pliyo-Kuvaterner Çökellerinin Stratigrafik, Sedimentolojik ve Bazı Tektonik Özellikleri*. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Wieczorek, G., Morrissey, M., Iovine, G., & Godt, J. (1999). *Rockfall potential in the Yosemite Valley, California*. California: USGS Open file.



Farklı Miktarlarda Demir İçeren Doğal Hematit, Siderit ve Manyetit Minerallerini Kullanarak Adsorpsiyon, Fenton ve Foto-Fenton Benzeri Proseslerle Asit Mavisi 185 Boyar Maddesinin Giderim Etkinliğinin Karşılaştırılması

Özkan AÇIŞLI^{1*}

¹Ataturk University, Faculty of Earth Sciences, Department of Petroleum and Natural Gas Engineering, 25400, Oltu, Erzurum, Turkey (ORCID: 0000-0002-4465-0916)

(İlk Geliş Tarihi 8 Şubat 2019 ve Kabul Tarihi 2 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.524132)

ATIF/REFERENCE: Açışlı, Ö. (2019). Farklı Miktarlarda Demir İçeren Doğal Hematit, Siderit ve Manyetit Minerallerini Kullanarak Adsorpsiyon, Fenton ve Foto-Fenton Benzeri Proseslerle Asit Mavisi 185 Boyar Maddesinin Giderim Etkinliğinin Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 199-209.

Öz

Bu çalışmada adsorbent ya da katalizör olarak, farklı miktarlarda demir içeren doğal hematit, siderit ve manyetit mineralleri kullanıldı. Bu minerallerin X ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskopu (SEM), yüzey alanı ve mikroözenek boyutu ölçüm cihazı (BET), enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX), Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) kullanılarak numunelerin karakter analizleri yapıldı. EDX sonuçları, farklı miktarlarda demir içeren doğal minerallerin yapısında Fe ve O içeren ana elementlerin bulunduğunu göstermiştir. Asit Mavisi 185 (AM 185) boyar maddesinin sulu çözeltilerden giderim etkinliği farklı miktarlarda demir içeren doğal mineraller kullanılarak, adsorpsiyon, Fenton ve Foto-Fenton prosesleri için değerlendirildi. Elde edilen sonuçlardan; foto-Fenton prosesiyle AM 185 giderim etkinliğinin (% 98.84) diğer proseslere göre anlamlı derecede yüksek olduğu görüldü. Ayrıca foto-Fenton prosesinde, boyar maddenin gideriminde kullanılan doğal minerallerden sideritin hematite göre % 22-23 oranında; manyetite göre ise yaklaşık % 40 oranında daha etkin olduğu anlaşıldı.

Anahtar Kelimeler: Fenton, foto-Fenton, boya giderimi, katalizör, siderit, hematit, manyetit.

Comparison of the removal efficiencies of Acid Blue 185 dye through adsorption, Fenton and photo-Fenton-like processes over the natural hematite, siderite and magnetite minerals containing different amounts of iron

Abstract

In this study, hematite, siderite and magnetite from natural minerals containing different amounts of iron were used. The natural mineral samples were characterized using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), Brunauer-Emmett-Teller (BET), energydispersive X-ray spectroscopy (EDX) and Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR). The results of EDX indicated the presence of main elements including Fe and O in the structure of natural minerals containing different amounts of iron. The degradation efficiency of AB 185 from aqueous solution was evaluated using natural minerals containing different amounts of iron in adsorption,

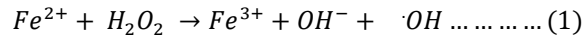
* Sorumlu Yazar: Atatürk Üniversitesi, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, Oltu, Erzurum, Türkiye, ORCID: : 0000-0002-4465-0916, ozkan.acisli@atauni.edu.tr

Fenton and photo-Fenton processes. In this study, it was observed that the degradation efficiency of AM 185 was significantly higher in photo-Fenton proses (98.84%) than other processes. In addition, in the degradation of the dye through the photo-Fenton process, natural siderite minerals were found to be more effective by 22-23 % compared to hematite and approximately 40% more effective than magnetite.

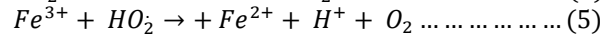
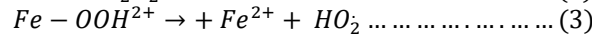
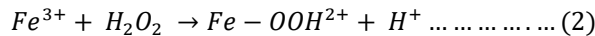
Keywords: Fenton, photo-Fenton, removal of dye, catalyst, siderite, hematite, magnetite.

1. Giriş

Kağıt, tekstil, plastik, deri ve gıda gibi türlü endüstrilerinden salınan çeşitli sentetik boya ve pigmentler, atık sulardaki temel kirlenici organik bileşiklerdir (A. Khataee, Sheydaei, Hassani, Taseidifar, & Karaca, 2015; Soltani, Khataee, Safari, & Joo, 2013). Bu boyar maddeler, üretim ve tüketim prosedürleri sırasında atık suya % 10-15 oranında salınırlar. Boyaların atıkta bulunması kanserojen ve toksik etki yarattığından, insan ve çevre üzerinde zararlı bir etkiye sahiptir (Weng & Pan, 2007). Ayrıca boyaların çoğu, güneş ışığına, biyolojik bozunmaya ve doğal oksitleyici etmenlere karşı oldukça dirençli ve kararlı bir yapıdadırlar (Sheydaei, Aber, & Khataee, 2014a, 2014b). Dolayısıyla, bu boyar maddeleri içeren suların, ön işleme tabii tutulmadan alıcı sulara (çevre sulara) boşaltılması, ciddi anlamda çevresel sorunlar oluşturması açısından önemlidir (Kurniawan, Sutiono, Indraswati, & Ismadji, 2012; Soltani et al., 2013). Atıklarda bulunan ve çevre kirliliğine yol açan bu tehlikeli maddeleri azaltmak için mevcut kimyasal ve fiziksel yöntemler arasında ozonlama, adsorpsiyon, biyolojik oksidasyon kimyasal koagülasyon / flokülasyon, membran filtreleme ve biyolojik arıtma gibi geleneksel metotlar yer almaktadır (Chen et al., 2015; Cottet et al., 2014; İkhlaq, Brown, & Kasprzyk-Hordern, 2015; Kousha, Daneshvar, Sohrabi, Jokar, & Bhatnagar, 2012; Moghaddam, Moghaddam, & Arami, 2010). Geleneksel arıtma yöntemleri yeterince etkili olmadığından, refrakter (bozunmaya karşı dirençli) kirlenicileri temizlemek için, çevreci bir yöntem olan ileri oksidasyon işlemleri (İOP) kullanılmaktadır (Orge, Órfão, Pereira, de Farias, & Fraga, 2012). İleri oksidasyon prosesleri seçici olmayan ve etkili bir şekilde çeşitli kirlenici maddelere saldırabilen, yüksek oksidatif hidroksil radikallerinin ($\bullet\text{OH}$) oluşumuna dayanan proseslerdir (Alireza Khataee, Gholami, Vahid, & Joo, 2016; Wang et al., 2010a). İOP'lar arasında; ozon ($\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$), ultraviyole (UV), Fenton ($\text{Fe}^{2+} / \text{H}_2\text{O}_2$), ultraviyole ile hidrojen peroksit ($\text{UV} / \text{H}_2\text{O}_2$) ve foto-Fenton ($\text{Fe}^{2+} / \text{H}_2\text{O}_2 / \text{UV}$) gibi hibrit prosesler yaygın olarak kullanılmaktadır (Engin GÜRTEKİN, 2008). Bunlardan Fenton prosesi; nispeten ucuz, işletmesi ve bakımı kolay, basit teknolojik yapısı, reaktiflerin (Fe^{2+} ve H_2O_2) toksik olmaması ve homojen katalitik yapısından ve kütle sınırlamasının olmamasından dolayı tercih edilen bir prosesdir. Ayrıca organik kirlenicilerin ayrışması için güçlü oksidatif kapasitesi nedeniyle oldukça cazip kılınmıştır (Sun, Sun, Wang, & Qiao, 2007). Fenton prosesi, asidik şartlar altında Fe^{2+} iyonlarının hidrojen peroksit (H_2O_2) ile reaksiyonu sonucunda yüksek oranda hidroksil radikallerinin oluşumuna dayanmaktadır (Alireza Khataee, Gholami, & Vahid, 2016; Wang et al., 2010b). Homojen Fenton işleminde çözünmüş Fe^{2+} iyonları H_2O_2 ile $\bullet\text{OH}$ 'yi oluşturur ve ayrıca çözünmüş Fe^{3+} iyonları Fe^{2+} kaynağı olarak da kullanılabilir, bu durumda işlem Fenton benzeri proses olarak adlandırılır (Weng, Lin, Chang, & Liu, 2013; H. Zhang, Zhang, Zhang, Liu, & Zhang, 2009). Reaksiyon mekanizması aşağıdaki eşitlik (1-6)'da verilmiştir (Weng et al., 2013; H. Zhang et al., 2009).



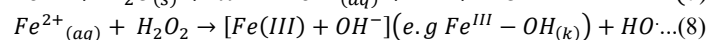
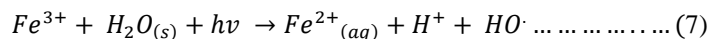
Burada Fe^{2+} iyonu, hidrojen peroksitin ayrışmasını başlatır, kataliz eder, hidroksil radikalini ($\bullet\text{OH}$) ve Fe^{3+} iyonunu oluşturur. Radikallerin oluşumu sulu çözeltilerde bir kompleks reaksiyon zinciri şeklindedir.



Oluşan Fe^{3+} iyonları da hidrojen peroksiti katalizleyerek su ve oksijene ayırır. Burada oluşan hidroksil radikalleri protonları çıkararak organik bileşikler yükseltgeç ve sonuç olarak organik kirlenici olan boyaların giderimi gerçekleşmiş olur.



Heterojen foto-Fenton prosesleri ise; Fenton prosesine ilave olarak bir ışınlama kaynağının kullanılması ve bunun sonucunda boyanın daha fazla giderime uğraması esasına dayanır. Ana mekanizma aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Demarchis et al., 2015; Kumar, 2011; Nieto-Juarez & Kohn, 2013).



Yukarıdaki denklemlerde belirtildiği gibi, hidroksil radikalleri heterojen foto-Fenton işleminde iki yolla oluşabilir. İlk olarak, çözeltideki Fe^{3+} iyonları UV ışığı altında Fe^{2+} 'ye indirgenirken giderime sebep olan hidroksil radikalleri oluşur. İkinci olarak, Fe^{2+} oksitlenmiş Fe^{3+} oluşturmak için H_2O_2 ile reaksiyona girer ve pH'a bağlı olarak hidroksil radikalleri oluşturur. Buna ilave olarak reaksiyon 8'de görüldüğü üzere Fe (III)-OH_(k) oluşumu, su ile arayüzeyde ortaya çıkacak olan ferrik demirin hidroksillenmiş bir katı formunu temsil eder (Klamerth, Malato, Agüera, & Fernández-Alba, 2013; Kumar, 2011). Çözeltide bulunan Fe (III) çözünebilir, katı türler oluşturabilir veya mevcut oksidin yüzeyinde çökebilir. Ayrıca çözeltide, okside ve süper oksitlenmiş demir formları geçici türler

olduğundan, reaksiyonda üretilen hidroksil radikalleri kantitatif değildir ve pH'a bağlıdır (Bataineh, Pestovsky, & Bakac, 2012; Gomis et al., 2013; Minero, Lucchiari, Maurino, & Vione, 2013).

Yapılan bu çalışmada, katalizör olarak kullanılan demir içerikli manyetit, hematit ve siderit doğal minerallerinin, Asit Mavisi 185 (AM 185) boyar maddesinin gideriminde gösterdikleri performansların karşılaştırılması adsorpsiyon, Fenton ve foto-Fenton proseslerle gerçekleştirildi. Doğal minerallerin karakter analizleri XRD, FTIR, SEM/EDX ve BET gibi çeşitli gelişmiş analitik teknikler kullanılarak yapıldı. Optimum şartlar olarak, manyetit doğal minerali kullanılarak yapılan önceki çalışmalarda belirlenen; katalizör konsantrasyonu, peroksit miktarı, başlangıç boya konsantrasyonu, pH değerleri sabit tutularak proseslerin ve minerallerin boya giderimindeki gösterdikleri performansların karşılaştırması yapıldı.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kimyasallar

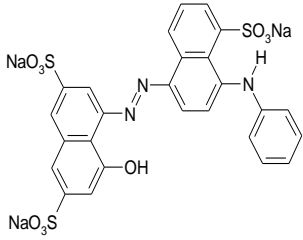
Doğal hematit, manyetit ve siderit örnekleri Karakaya Mineral A.Ş. (Türkiye)'den alındı. Kullanılan Asit Mavisi 185 boyar

maddesi Alvan Sabet A.Ş. (İran)'dan temin edildi. Geri kalan kimyasallar analitik saflıkta olup Alman Merck Firmasından temin edildi. Ayrıca yapılan tüm deneylerde damıtılmış su kullanıldı. Çalışmada kullanılan doğal katalizörlerin ana element bileşimi ve yüzey alanı özellikleri ile kullanılan boyar maddenin karakteristiği ve kimyasal yapısı sırasıyla Tablo 1 ve 2'de verildi.

Tablo 1. Doğal minerallerin ana elementlerin kütlece % bileşenleri ve yüzey alanı özellikleri

Element	Ana element bileşenleri								Yüzey alanı özellikleri		
	Fe	O	Si	Ca	Mg	Mn	S	C	BET yüzey alanı (m ² /g)	Toplam por hacmi (cm ³ /g)	Ortalama por çapı (nm)
Manyetit	21.63	46.96	4.31	-	-	-	2.63	24.48	28.69	0.01	11.19
Hematit	60.57	31.49	3.36	2.57	1.19	0.83	-	-	59.06	0.06	4.04
Siderit	71.88	24.54	1.7	-	0.05	-	-	1.83	65.55	0.07	4.26

Tablo 2. Asit Mavisi185 boyar maddesinin kimyasal yapısı ve özellikleri

Kimyasal yapısı	Molekül formülü	Boya indeks numarası	λ_{max} (nm)	M _w (g/mol)
	C ₃₂ H ₁₂ CuN ₈ Na ₃ O ₉ S ₃	74200	618	822.25

2.2. Doğal katalizörlerin hazırlanması

Laboratuvara getirilen doğal hematit, siderit ve manyetit katalizörleri ilk önce çeneli bir kırıcıyla öğütüldü. Yaklaşık 1 cm boyutlarında öğütülmüş olan örnekler daha sonra yüksek enerjili bilyeli değirmen (LB 200, Türkiye) kullanılarak; 900 rpm'de 10 dakika süre ile μ m ve nm boyutlarına indirildi. μ m ve nm büyüklüğüne sahip olan son ürünler, deneylerde kullanılmak üzere kapalı kaplarda saklandı.

2.3. Katalizörlerin karakterizasyonları

Hazırlanan doğal katalizörler, çeşitli analizler ve ölçümler kullanılarak ayrıntılı olarak tanımlandı. X ışını kırınımı (XRD) analizleri, Cu-K α radyasyonu (40 kV, 30 mA, 1.54051 Å) bulunan bir PANalitık Empyrean cihazı (ABD) kullanılarak yapıldı. Cihazın tarama hızı 2°/dak. olarak sabit ayarlandı. FTIR Spektrofotometrik analizleri, 4000-400 cm⁻¹'de, KBr pelet tekniği kullanılarak bir Tensor 27, Bruker cihazı (Almanya) ile yapıldı. Doğal minerallerin yüzey morfolojileri ve elementel bileşimleri EDX bağlantılı SEM cihazı (Zeiss Sigma 300, Almanya) kullanılarak incelendi.

2.4. Adsorpsiyon, Fenton ve Foto-Fenton deneyleri

Demir içeren hematit, siderit ve manyetit gibi doğal minerallerin adsorpsiyon, Fenton ve foto-Fenton proseslerinde, AM 185 boyar maddesinin sulu ortamdan giderim etkinliğinin araştırılması hem katalizör bazında hemde proses bazında incelendi. Çalışmada optimum (en uygun) katalizör dozu, peroksit miktarı, boyar madde konsantrasyonu ve pH değeri; daha önceden tarafımızdan yapılan doğal manyetit katalizör olarak kullanıldığı bir çalışmada belirlenmiş olan değerler seçildi

(Ozkan Acisli, Khataee, Karaca, Karimi, & Dogan, 2017). Bu nedenle yapılan bu çalışmada 1.50 g/L katalizör miktarı, 20 mg/L AM185 başlangıç konsantrasyonu, 15 mM peroksit konsantrasyonu ve pH: 3 optimum değerler olarak sabit tutuldu. İncelenen adsorpsiyon ve Fenton proseslerinde deneyler, pH: 3 olan 20 mg/L boya içeren 100 mL'lik çözeltilerin 150 mL'lik boyunlu düztabanlı balon jöjelere konularak sıcaklık kontrollü termostatlı çalkalayıcıda (VWR, Belçika) oda sıcaklığında, 100 rpm karıştırma hızında belirli sürelerde karıştırılmasıyla gerçekleştirildi. Belirlenen sürelerin sonunda çözeltilerden 3'er mL numune alındı ve Fenton deneylerinde devam eden reaksiyonu durdurmak için numuneye 0.5 mL metanol katalazı eklendi. Daha sonra elde edilen numunelerin 5000 rpm'de 5 dak. santrifüjlenmesinden sonra, elde edilen çözelti kısmında giderilmeden geri kalan boya konsantrasyonu belirlendi. Bunun için UV-vis spektrofotometrede (Optizen pop, Korea) AM 185 için belirlenen 618 nm ($\lambda_{max}=618$ nm) dalga boyunda absorbans ölçümü yapıldı.

Foto-Fenton prosesine ait olan deneyler Şekil 1'de verilen 1 L'lik cam reaktörde yapıldı. Radyasyon kaynağı olarak 16W UV-A lambası (Philips, the Netherlands) kullanıldı. UV lambası reaktörde kuvars bir tüpün içinde olup, dikey bir şekilde reaktöre konuldu, sabit hızda karışımı sağlamak için reaktörün altına manyetik karıştırıcı yerleştirildi. Çalışmalar oda sıcaklığında gerçekleştirildi. Yapılan çalışmalarda görünür bölge ışınlarının reaksiyonları etkilememesi için reaktör alüminyum folyo ile kaplandı. pH'sı 3 olan 20 mg/L boya konsantrasyonuna sahip 750 mL'lik boya çözeltisi kullanılarak deneyler yapıldı.

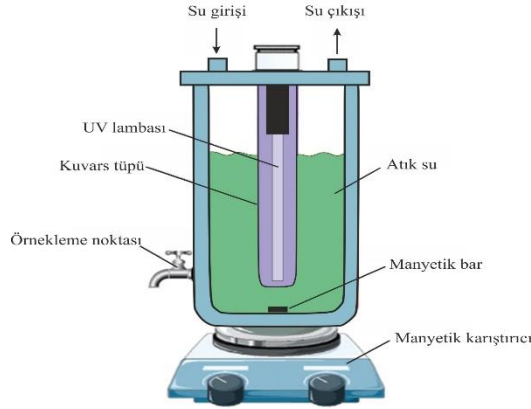
Aynı şekilde ölçümler için çözeltilerden 3 mL örnek alınarak reaksiyonun durdurulması için 0.5 mL etanol katalazı eklendikten sonra yukarıdaki belirtildiği gibi santrifüj yapıldıktan sonra çözelti

kısımında UV-vis spektrofotometresi kullanılarak nm'de absorbans ölçümleri yapıldı. Boya giderim etkinliği aşağıdaki denkleme göre hesaplandı.

$$\text{Giderim etkinliği (\%)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \dots \dots \dots (9)$$

Burada, C_0 : Çözeltideki başlangıç boya konsantrasyonu (mg/L), C_t : herhangi bir t anındaki adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan madde konsantrasyonu (mg/L).

Deneysel düzeneğin şematik diyagramı Şekil 1'de görülmektedir.



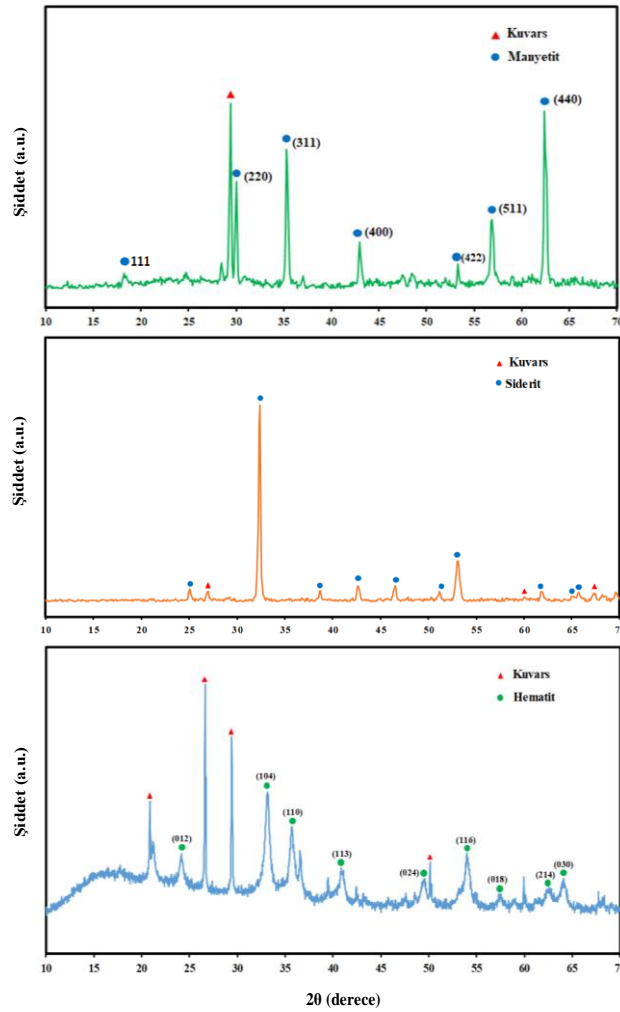
Şekil 1. Foto- Fenton deneylerinin yapıldığı düzenek

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Doğal minerallerin kristal yapısı

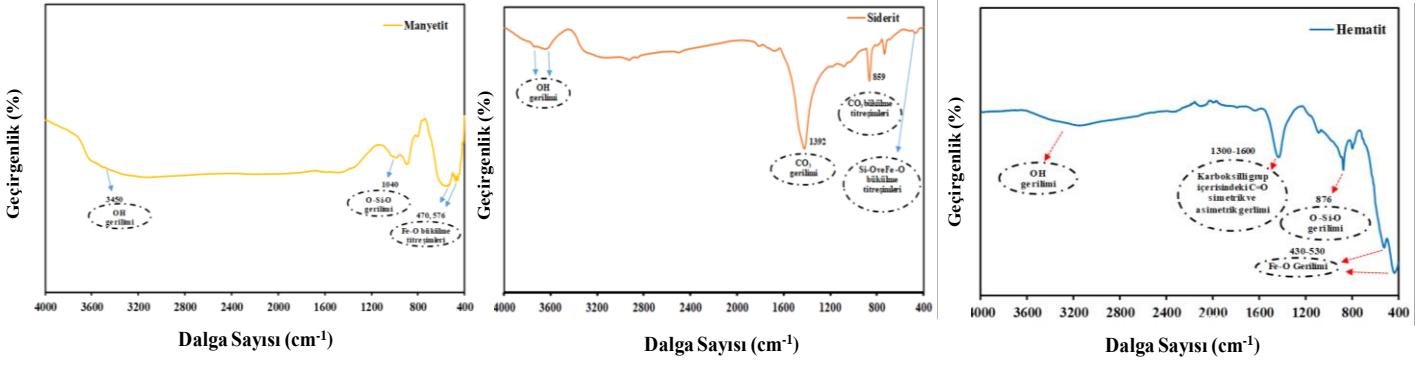
Hematit, siderit ve manyetit doğal minerallerinin XRD Kristal yapısı Şekil 2'de görülmektedir. Manyetit örneğine ait XRD difraktogramında 2θ değerleri 17.90° , 29.50° , 35.40° , 43.05° , 53.40° , 56.90° ve 62.40° olan difraksiyon pikleri sırasıyla (111), (220), (311), (400), (422), (511) ve (440) düzlemlerine karşılık gelmektedir. Elde edilen bu düzlemler Fe_3O_4 'ün kübik fazı olarak kabul edilebilir (JCPDS No. 19-0629) (Aghdasinia, Khataee, Sheikhi, & Takhtfiroozeh, 2017; L. Zhang et al., 2016; Z. J. Zhang, Chen, Wang, & Shi, 2008). Grafikte siderit doğal mineralinin sahip olduğu 24.7° , 32.2° , 38.4° , 42.4° , 46.2° , 50.8° , 52.3° , 60.9° , 64.6° ve 65° 'de görülen pikler siderit mineralinin sahip olduğu pikler olduğundan iyi örtüşme sergilemektedirler ve ayrıca difraktogramda gözlemlenen 26.7° ve 67° pikleri mineralin yapısında bulunan siderite ait olan ana piklere atfedilebilir (O. Acisli, Khataee, Darvishi Cheshmeh Soltani, & Karaca, 2017). Şekilde görüldüğü üzere, hematit numunelerinin XRD grafiğine bakılınca 2θ değerleri olan 24.2° , 33.1° ,

35.7°, 40.8°, 49.5°, 54.0°, 57.5°, 62.7° ve 64.1° değerindeki difraksiyon pikleri sırasıyla 012, 104, 110, 113, 024, 116, 018, 214 ve 030 doğal hematit numunesinin standart pikleri olarak kabul edilebilir (ICSD no. 201096) (Zainuri, 2017). Görüldüğü üzere doğal minerallere ait olan XRD diyagramları, minerallerin saf halleri ile iyi derecede örtüşmektedir.



Şekil 2. Hematit, siderit ve manyetit doğal minerallerinin XRD analizi

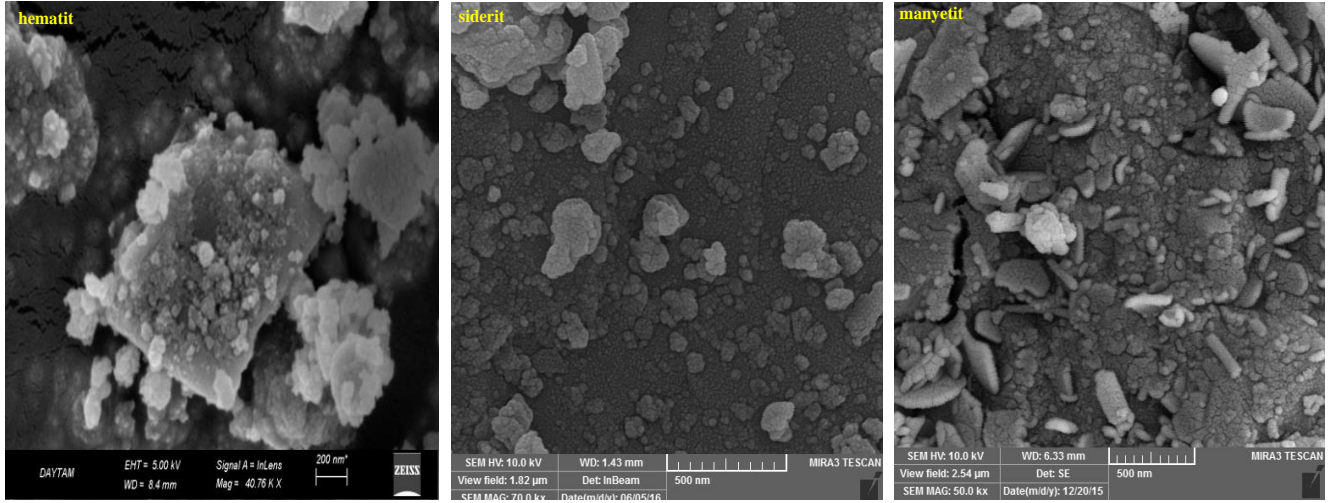
Ayrıca doğal minerallerin yapısını doğrulamak için alınan FTIR spektrumu Şekil 3’de verilmiştir. Yapılan analizlerde 3200-3600 cm^{-1} bant aralığında görülen geniş pikler; doğal minerallerin yapısında bulunan su moleküllerine veya numunenin demir hidroksitlerinden kaynaklanan yapısal -OH gerilim titreşimlerine atfedilebilir (O. Acisli et al., 2017; El Afifi, Attallah, & Borai, 2016; Aydın Hassani, Soltani, Karaca, & Khataee, 2015; Lu, 2014). Hematit numunesinin FT-IR spektrumunda 1600 ila 1300 cm^{-1} arasında gözlenen keskin tepe, karbonil gruplarının C=O asimetrik ve simetrik eğilme titreşimine bağlanabilir (A. Hassani et al., 2018). Numunelerin 400 ve 600 cm^{-1} bant aralığında gösterdiği pikler, Fe-O ve Si-O bükülme titreşimlerinden kaynaklandığı söylenebilir (El Afifi et al., 2016; Khalil, Saad, Alasfar, & Saleh, 2012). Doğal siderit numunesinde gözlemelenen 1392 cm^{-1} de görülen keskin pik CO_3 gerilim titreşimlerini ve 859 cm^{-1} dalga boyunda görülen pik de CO_3 bükülme titreşimlerini gösterir (Zhao & Guo, 2014). Doğal manyetit örneği için elde edilen spektrumda yaklaşık 1040 cm^{-1} ’de ortaya çıkan pik, Si-OH ve Si-O-Si grupları gibi silis gerilme modlarından kaynaklanır (El Afifi et al., 2016).



Şekil. 3. Doğal minerallerin FTIR spektrumu

3.2. Doğal minerallerin morfolojik analizi

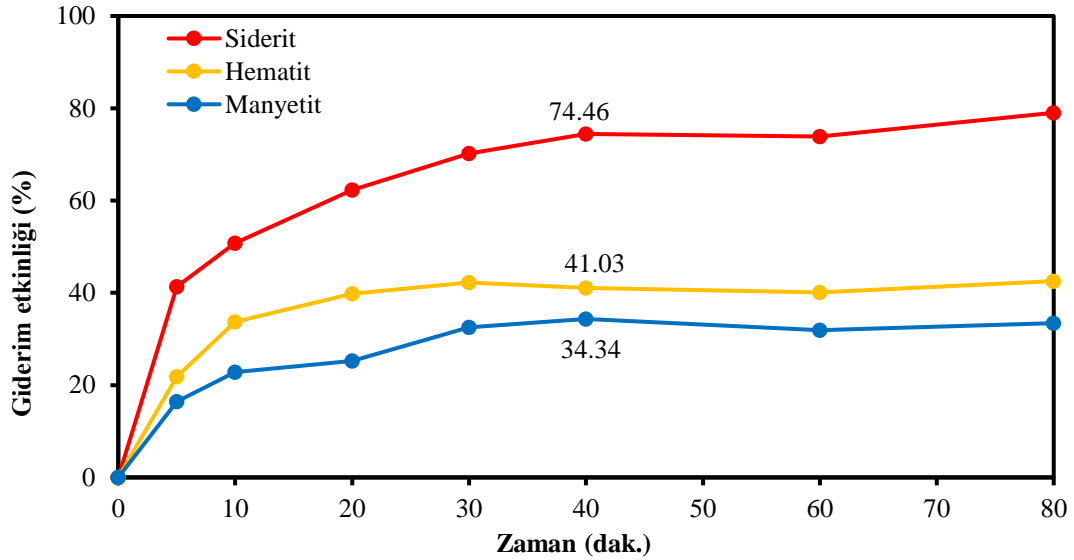
Demir içeren doğal minerallerin SEM görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir. Doğal minerallerin SEM görüntüleri incelendiğinde, yüksek enerjili bilyeli öğütme işleminin özellikle siderit mineralinin yumuşak yapısından dolayı daha iyi sonuç verdiği ve siderit taneciklerini ağırlıklı olarak nano boyuta indirdiğini ayrıca yapısında azda olsa μm boyutlarında parçacıkların da olduğu görülmektedir. Fakat manyetit mineralinin oldukça sert olan yapısından dolayı öğütme işleminde tanecik boyutlarının siderit ve hematite göre daha büyük olduğu ve taneciklerin oldukça fazla μm boyutlarına sahip olan parçacıklar içerdiği görülmektedir. Bu sonucu BET analiz raporu da desteklemektedir. BET analizlerinde siderit, hematit ve manyetit numunelerinin yüzey alanları sırasıyla 65.55 , 59.06 , 28.69 m^2/g olarak bulunmuştur. Ayrıca, tüm numunelerin SEM görüntülerinden anlaşılacağı üzere; genel bir homojen görüntü sergilediği ve numunelerin partüküllerinde çok fazla bir aglomerasyonun olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil. 1. Doğal minerallerin SEM görüntüleri

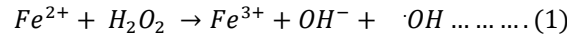
3.3. Asit Mavisi 185 boyar maddesi gideriminde doğal minerallerin ve uygulanan proseslerin karşılaştırılması

Doğal minerallerin ve uygulanan proseslerin AM185 boyasının sulu çözeltilerden gideriminde gösterdiği performans farklılıklarını değerlendirmek için, 1.50 g/L katalizör miktarı, 20 mg/L başlangıç boya konsantrasyonu, 15 mM peroksit konsantrasyonu ve $\text{pH}:3$ değerleri sabit tutularak deneyler gerçekleştirildi. Şekil 4.'de verilen adsorpsiyon prosesi ile boya gideriminin gerçekleştirildiği deneylerden elde edilen grafikte, adsorpsiyonun dengeye ulaşma süresinin 40 dak. olduğu görülmektedir. İncelen bu adsorpsiyon prosesinde, boya madde molekülleri ile adsorbentlerin aktif yüzeyleri arasında bir takım etkileşimlerin olduğu sonucunu göstermektedir. Yapılan çalışmada siderit doğal mineralinin $\% 74.46$ lık giderimle en yüksek performansı gösterdiği, hematit ve manyetit doğal mineralleri için giderim etkinliklerinin sırasıyla $\% 41.03$ ve $\% 34.34$ olarak gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Bu durum Siderit mineralinin yüzey alanının diğer minerallerden fazla olması, boya giderim etkinliğinde önemli rol oynadığı düşünülmektedir

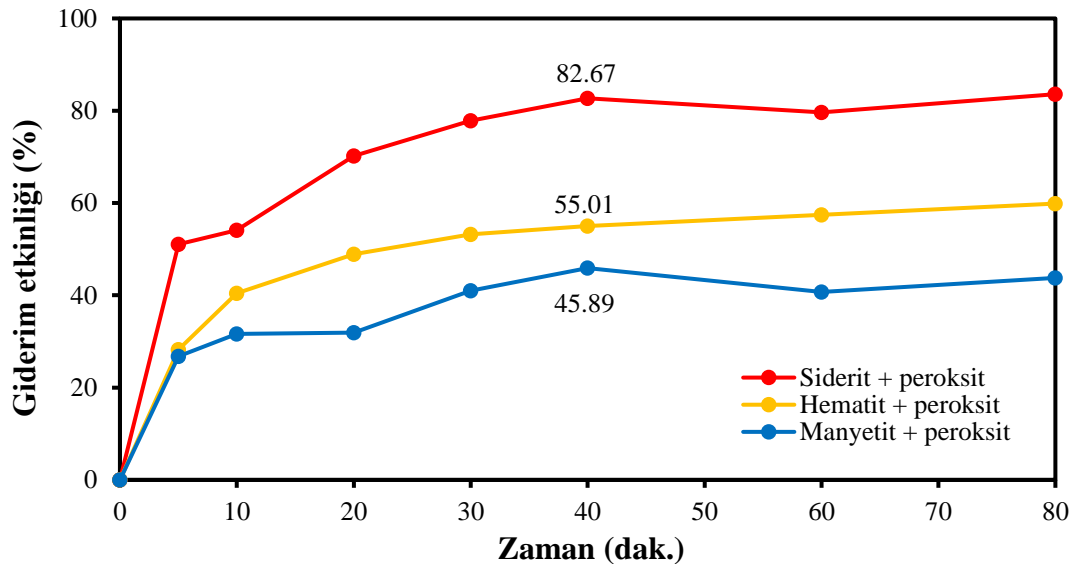


Şekil 4. Farklı adsorbentlerle AM 185 boyar maddesinin giderim etkinliğinin sürenin fonksiyonu olarak adsorpsiyon prosesindeki değişimi [Deneysel parametreler: katalizör dozajı:1.500 g/L, boyar madde konsantrasyonu: 20 mg/L, pH:3, T: oda sıcaklığı, $[H_2O_2]$: 15 mM]

AM185' in aynı mineraller kullanılarak Fenton prosesi ile giderimi incelendiğinde (Şekil 5), adsorpsiyon prosesine göre giderim etkinliğinde yaklaşık % 10-15 oranında artış olduğu görüldü. Bilindiği üzere fenton prosesinde asidik ortamda çözelti fazına geçmiş olan Fe^{2+} iyonları, hidrojen peroksitin ayrışmasını başlatır, kataliz eder, hidroksil radikalini ($\cdot OH$) ve Fe^{3+} iyonunu oluşturur. Oluşan Fe^{3+} iyonları da hidrojen peroksiti katalizleyerek su ve oksijene ayrıştırır.



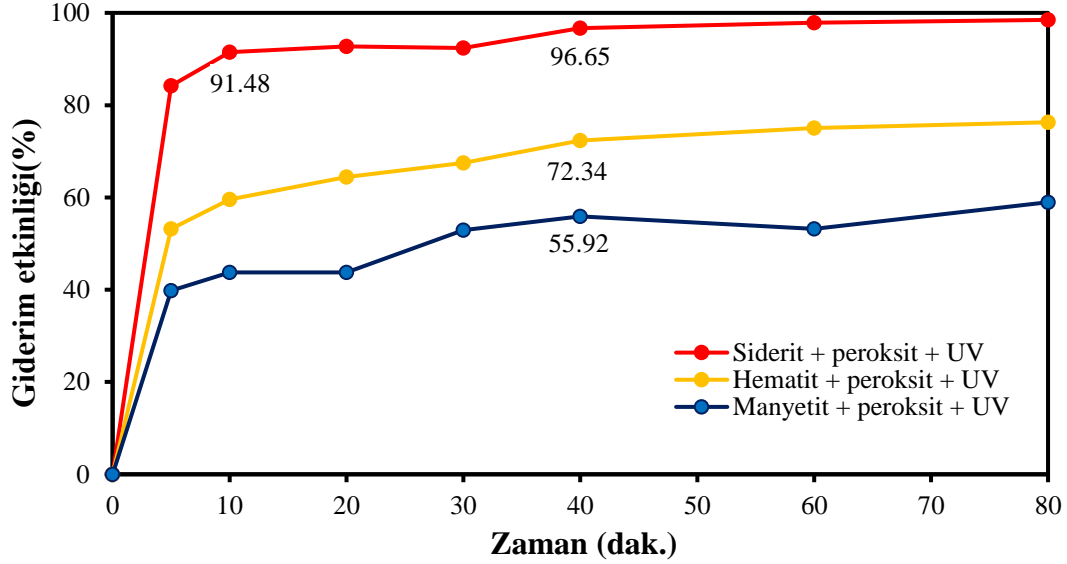
Burada oluşan hidroksil radikalleri protonları çıkararak boya moleküllerini okside eder ve ayrıca çok iyi reaktif olan organik radikalleri üretir. Sonuç olarak organik yapıdaki boyaların giderimi gerçekleşmiş olur (Weng et al., 2013). Bu durum yukardaki reaksiyonlardan (Reaks. 2-6) ayrıntılı olarak görülmektedir.



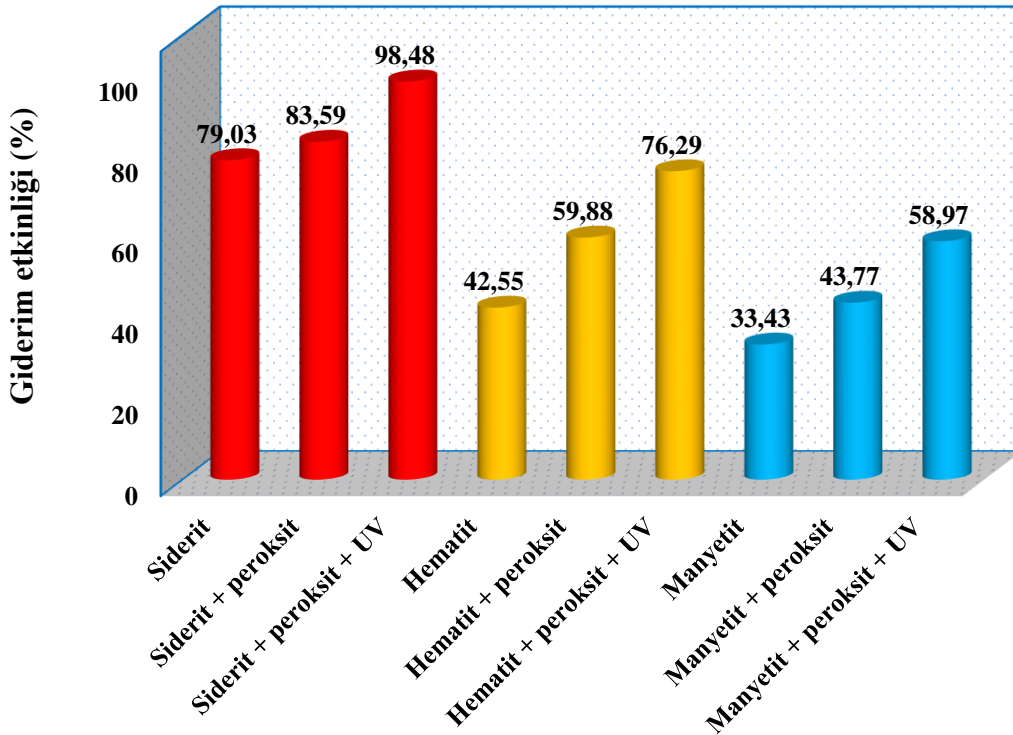
Şekil 5. Farklı adsorbentlerle AM 185 boyar maddesinin giderim etkinliğinin sürenin fonksiyonu olarak Fenton prosesindeki değişimi [Deneysel parametreler: katalizör dozajı:1.500 g/L, boyar madde konsantrasyonu: 20 mg/L, pH:3, T: oda sıcaklığı, $[H_2O_2]$: 15 mM]

16 W UV-A ışın kaynağı beraberliğinde yapılan foto-Fenton deneylerinde (Şekil 6), Fenton prosesine ilave %15-20 arasında boyar maddenin gideriminde olumlu bir katkı oluşturduğu gözlemlendi. Bunun nedeni, foto-Fenton prosesinde, çözeltideki Fe^{3+} iyonları UV

ışığı altında Fe^{2+} 'ye indirgenirken giderime sebep olan hidroksil radikallerinin üretiminde artışa sebep olur (Reaks.7). Ya da Fe^{2+} oksitlenmiş Fe^{3+} oluşturmak için H_2O_2 ile reaksiyona girer ve pH'a bağlı olarak hidroksil radikallerinin sayısında yine bir artışa sebebiyet verir (Klamerth et al., 2013). Her iki durumda da hidroksil radikallerindeki artış boyanın bozunma veriminde önemli bir artışa neden olur. Şekil 6'dan görüldüğü üzere siderit ile yapılan çalışmada denge süresinin 10 dak. düştüğü ve giderim etkinliğinin % 91.48 olduğu belirlendi. Fakat bu süreden sonra giderim veriminde (% 96.65) yatay bir seyir gözlemlendiği ve artan süre ile giderim veriminde pek fazla anlamlı bir değişimin olmadığı belirlendi.



Şekil 6. Farklı adsorbentlerle AM 185 boyar maddesinin giderim etkinliğinin sürenin fonksiyonu olarak foto-Fenton prosesindeki değişimi. [Deneysel parametreler: katalizör dozajı:1.500 g/L, boyar madde konsantrasyonu: 20 mg/L, pH:3, T: oda sıcaklığı, $[H_2O_2]$: 15 mM].



Şekil 7. AM 185 boyar maddesinin 80. dakikada adsorpsiyon, Fenton ve foto-Fenton proseslerindeki giderim etkinliği. [Deneysel parametreler: katalizör dozajı:1.500 g/L, boyar madde konsantrasyonu: 20 mg/L, pH:3, T: oda sıcaklığı, $[H_2O_2]$: 15 mM]

Tüm prosesler ve tüm katalizörler için 80 dak. sonra elde edilen giderim etkinliklerini gösteren grafik Şekil.7'de verildi. Grafik incelendiğinde siderit mineralinin diğer minerallerden her bir proseste daha etkin olduğu, manyetit mineralinin ise daha az etkin olduğu

gözlemlendi. Bunun nedeni siderit mineralinde bulunan Fe^{2+} iyonlarının asidik ortamda, diğer minerallere göre daha kolay çözelti ortamına geçmesi ve ayrıca diğer minerallere göre sahip olduğu daha yüksek yüzey alanından kaynaklanabilir. Uygulanan proseslerden ileri oksidasyon proseslerinin adsorpsiyon prosesine kıyasla boya gideriminde çok daha etkin olduğu anlaşıldı. Ayrıca uygulanan ileri oksidasyon proseslerinden foto-Fenton prosesinin, Fenton prosesinden çok daha etkin olduğu görüldü.

3. Sonuç

Bu çalışmada, AM 185 boyar maddesinin sulu çözeltilerden giderim etkinliği, demir içeren doğal minerallerden siderit, hematit ve manyetit mineralleri kullanılarak adsorpsiyon gibi geleneksel yöntem ile Fenton ve foto-Fenton gibi ileri oksidasyon prosesleri kullanılarak değerlendirildi. Yapılan deneysel çalışmanın temel bulguları şöyle özetlenebilir:

- ✓ Asit mavisi 185 boyar maddesinin sulu çözeltilerden gideriminin incelendiği deneylerden, adsorpsiyon ve Fenton proseslerinde denge süresi yaklaşık olarak 40 dakika bulundu; o süreden sonra temas süresinin uzamasında AM 185'in giderim veriminde hafif değişimler gözlemlendi. foto-Fenton prosesinde denge süresi özellikle siderit doğal minerali için oldukça kısa olduğu tespit edildi.
- ✓ Kullanılan demir içerikli doğal minerallerin XRD, FTIR ve SEM analizleri kullanılan minerallerin oldukça saf olduklarını ve içeriklerinde eser miktarlarda safsızlıklar bulduklarını göstermektedir.
- ✓ Genel olarak asidik ortamda iyi sonuç verdiği bilindiğimiz Fenton prosesi, adsorpsiyon prosesine göre %10-15 arası artış gösterdiği; foto-Fenton prosesi ise Fenton prosesine göre %15-20 arası bir giderim etkinliğinde artış gösterdiği tespit edildi.
- ✓ Kullanılan doğal minerallerden sideritin AM 185 gideriminde tüm proseslerde en yüksek etkinlik gösterdiği anlaşıldı.
- ✓ Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; kullanılan doğal minerallerden siderit, hematit ve manyetit hem adsorpsiyon hem de Fenton ve foto-Fenton proseslerinde boya maddelerin sulu çözeltilerden gideriminde umut verici bir katalizör olarak kullanılabileceği söylenebilir.

4. Teşekkür

Bütün analizlerimiz Atatürk Üniversitesi Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Merkezinde (DAYTAM) yapılmıştır. Emeği geçen tüm çalışanlara teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Acisli, O., Khataee, A., Darvishi Cheshmeh Soltani, R., & Karaca, S. (2017). Ultrasound-assisted Fenton process using siderite nanoparticles prepared via planetary ball milling for removal of reactive yellow 81 in aqueous phase. *Ultrasonics Sonochemistry*, 35(Pt A), 210-218. doi:10.1016/j.ultsonch.2016.09.020
- Acisli, O., Khataee, A., Karaca, S., Karimi, A., & Dogan, E. (2017). Combination of ultrasonic and Fenton processes in the presence of magnetite nanostructures prepared by high energy planetary ball mill. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34(Supplement C), 754-762. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.07.011>
- Aghdasinia, H., Khataee, A., Sheikhi, M., & Takhtfiroozeh, P. (2017). Pilot plant fluidized-bed reactor for degradation of basic blue 3 in heterogeneous fenton process in the presence of natural magnetite. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 36(4), 1039-1048. doi:10.1002/ep.12569
- Bataineh, H., Pestovsky, O., & Bakac, A. (2012). pH-induced mechanistic changeover from hydroxyl radicals to iron(IV) in the Fenton reaction. *Chemical Science*, 3(5), 1594-1599. doi:10.1039/C2SC20099F
- Chen, X. W., Zhao, Y. R., Moutinho, J., Shao, J. H., Zydney, A. L., & He, Y. L. (2015). Recovery of small dye molecules from aqueous solutions using charged ultrafiltration membranes. *Journal of Hazardous Materials*, 284, 58-64. doi:DOI 10.1016/j.jhazmat.2014.10.031
- Cottet, L., Almeida, C. A. P., Naidek, N., Viante, M. F., Lopes, M. C., & Debacher, N. A. (2014). Adsorption characteristics of montmorillonite clay modified with iron oxide with respect to methylene blue in aqueous media. *Applied Clay Science*, 95(Supplement C), 25-31. doi:10.1016/j.clay.2014.03.023
- Demarchis, L., Minella, M., Nisticò, R., Maurino, V., Minero, C., & Vione, D. (2015). Photo-Fenton reaction in the presence of morphologically controlled hematite as iron source. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 307-308, 99-107. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2015.04.009>
- El Afifi, E. M., Attallah, M. F., & Borai, E. H. (2016). Utilization of natural hematite as reactive barrier for immobilization of radionuclides from radioactive liquid waste. *Journal of Environmental Radioactivity*, 151, 156-165. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.10.001>
- Engin GÜRTEKİN, N. Ş. (2008). COLOR REMOVAL FROM TEXTILE WASTEWATER WITH FENTON PROCESS. *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 26(3).

- Gomis, J., Vercher, R. F., Amat, A. M., Mártire, D. O., González, M. C., Bianco Prevot, A., . . . Carlos, L. (2013). Application of soluble bio-organic substances (SBO) as photocatalysts for wastewater treatment: Sensitizing effect and photo-Fenton-like process. *Catalysis Today*, 209, 176-180. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cattod.2012.08.036>
- Hassani, A., Karaca, M., Karaca, S., Khataee, A., Acisli, O., & Yilmaz, B. (2018). Preparation of magnetite nanoparticles by high-energy planetary ball mill and its application for ciprofloxacin degradation through heterogeneous Fenton process. *Journal of Environmental Management*, 211, 53-62. doi:10.1016/j.jenvman.2018.01.014
- Hassani, A., Soltani, R. D. C., Karaca, S., & Khataee, A. (2015). Preparation of montmorillonite–alginate nanobiocomposite for adsorption of a textile dye in aqueous phase: Isotherm, kinetic and experimental design approaches. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 21, 1197-1207. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2014.05.034>
- Ikhlaiq, A., Brown, D. R., & Kasprzyk-Hordern, B. (2015). Catalytic ozonation for the removal of organic contaminants in water on alumina. *Applied Catalysis B: Environmental*, 165(0), 408-418. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2014.10.010>
- Khalil, N. M., Saad, E. E., Alasfar, A. I., & Saleh, H. A. (2012). Chemical and mineralogical study of south-Libyan hematite ore. *Inter J. Eng. Innov. Tech.*, 2(4), 36-38.
- Khataee, A., Gholami, P., & Vahid, B. (2016). Heterogeneous sono-Fenton-like process using nanostructured pyrite prepared by Ar glow discharge plasma for treatment of a textile dye. *Ultrasonics Sonochemistry*, 29, 213-225.
- Khataee, A., Gholami, P., Vahid, B., & Joo, S. W. (2016). Heterogeneous sono-Fenton process using pyrite nanorods prepared by non-thermal plasma for degradation of an anthraquinone dye. *Ultrasonics Sonochemistry*, 32, 357-370. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.04.002>
- Khataee, A., Sheydaei, M., Hassani, A., Taseidifar, M., & Karaca, S. (2015). Sonocatalytic removal of an organic dye using TiO₂/Montmorillonite nanocomposite. *Ultrasonics Sonochemistry*, 22, 404-411. doi:DOI 10.1016/j.ultsonch.2014.07.002
- Klammerth, N., Malato, S., Agüera, A., & Fernández-Alba, A. (2013). Photo-Fenton and modified photo-Fenton at neutral pH for the treatment of emerging contaminants in wastewater treatment plant effluents: A comparison. *Water Research*, 47(2), 833-840. doi:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.11.008>
- Kousha, M., Daneshvar, E., Sohrabi, M. S., Jokar, M., & Bhatnagar, A. (2012). Adsorption of acid orange II dye by raw and chemically modified brown macroalga *Stoechospermum marginatum*. *Chemical Engineering Journal*, 192, 67-76. doi:10.1016/j.cej.2012.03.057
- Kumar, S. M. (2011). Degradation and mineralization of organic contaminants by Fenton and photo-Fenton processes: Review of mechanisms and effects of organic and inorganic additives. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 15(2), 96-112.
- Kurniawan, A., Sutiono, H., Indraswati, N., & Ismadji, S. (2012). Removal of basic dyes in binary system by adsorption using rarasaponin–bentonite: Revisited of extended Langmuir model. *Chemical Engineering Journal*, 189-190(0), 264-274. doi:10.1016/j.cej.2012.02.070
- Lu, B. (2014). *Surface Reactivity of Hematite Nanoparticles*. (38)
- Minero, C., Lucchiari, M., Maurino, V., & Vione, D. (2013). A quantitative assessment of the production of $\cdot\text{OH}$ and additional oxidants in the dark Fenton reaction: Fenton degradation of aromatic amines. *RSC Advances*, 3(48), 26443-26450. doi:10.1039/C3RA44585B
- Moghaddam, S. S., Moghaddam, M. R. A., & Arami, M. (2010). Coagulation/flocculation process for dye removal using sludge from water treatment plant: Optimization through response surface methodology. *Journal of Hazardous Materials*, 175(1-3), 651-657. doi:DOI 10.1016/j.jhazmat.2009.10.058
- Nieto-Juarez, J. I., & Kohn, T. (2013). Virus removal and inactivation by iron (hydr) oxide-mediated Fenton-like processes under sunlight and in the dark. *Photochemical & photobiological sciences*, 12(9), 1596-1605.
- Orge, C. A., Órfão, J. J., Pereira, M. F., de Farias, A. M. D., & Fraga, M. A. (2012). Ceria and cerium-based mixed oxides as ozonation catalysts. *Chemical Engineering Journal*, 200, 499-505.
- Sheydaei, M., Aber, S., & Khataee, A. (2014a). Degradation of amoxicillin in aqueous solution using nanolepidocrocite chips/H₂O₂/UV: optimization and kinetics studies. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(4), 1772-1778.
- Sheydaei, M., Aber, S., & Khataee, A. (2014b). Preparation of a novel γ -FeOOH-GAC nano composite for decolorization of textile wastewater by photo Fenton-like process in a continuous reactor. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 392, 229-234.
- Soltani, R. D. C., Khataee, A. R., Safari, M., & Joo, S. W. (2013). Preparation of bio-silica/chitosan nanocomposite for adsorption of a textile dye in aqueous solutions. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 85, 383-391. doi:10.1016/j.ibiod.2013.09.004
- Sun, J.-H., Sun, S.-P., Wang, G.-L., & Qiao, L.-P. (2007). Degradation of azo dye Amido black 10B in aqueous solution by Fenton oxidation process. *Dyes and Pigments*, 74(3), 647-652. doi:<https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2006.04.006>
- Wang, N., Zhu, L., Wang, D., Wang, M., Lin, Z., & Tang, H. (2010a). Sono-assisted preparation of highly-efficient peroxidase-like Fe₃O₄ magnetic nanoparticles for catalytic removal of organic pollutants with H₂O₂. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17(3), 526-533. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2009.11.001>
- Wang, N., Zhu, L., Wang, D., Wang, M., Lin, Z., & Tang, H. (2010b). Sono-assisted preparation of highly-efficient peroxidase-like Fe₃O₄ magnetic nanoparticles for catalytic removal of organic pollutants with H₂O₂. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17(3), 526-533.
- Weng, C.-H., Lin, Y.-T., Chang, C.-K., & Liu, N. (2013). Decolourization of direct blue 15 by Fenton/ultrasonic process using a zero-valent iron aggregate catalyst. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(3), 970-977.
- Weng, C.-H., & Pan, Y.-F. (2007). Adsorption of a cationic dye (methylene blue) onto spent activated clay. *Journal of Hazardous Materials*, 144(1), 355-362. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.09.097>
- Zainuri, M. (2017). *Hematite from Natural Iron Stones as Microwave Absorbing Material on X-Band Frequency Ranges*. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.

- Zhang, H., Zhang, J., Zhang, C., Liu, F., & Zhang, D. (2009). Degradation of CI Acid Orange 7 by the advanced Fenton process in combination with ultrasonic irradiation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 16(3), 325-330.
- Zhang, L., Wu, Z., Chen, L., Zhang, L., Li, X., Xu, H., . . . Zhu, G. (2016). Preparation of magnetic Fe₃O₄/TiO₂/Ag composite microspheres with enhanced photocatalytic activity. *Solid State Sciences*, 52, 42-48. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2015.12.006>
- Zhang, Z. J., Chen, X. Y., Wang, B. N., & Shi, C. W. (2008). Hydrothermal synthesis and self-assembly of magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles with the magnetic and electrochemical properties. *Journal of Crystal Growth*, 310(24), 5453-5457. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2008.08.064>
- Zhao, K., & Guo, H. (2014). Behavior and mechanism of arsenate adsorption on activated natural siderite: evidences from FTIR and XANES analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(3), 1944-1953. doi:10.1007/s11356-013-2097-8



The Communication between Patients and Healthcare Personnel in Psychiatry Hospital

Menekşe Kiliçarslan^{1*}, Rana Özyurt Kaptanoğlu²

¹ İstanbul Aydın Üniversitesi, Sağlık Yönetimi, İstanbul- Türkiye (ORCID: 0000-0002-0580-8645)

² Medipol Üniversitesi, İktisadi İdari Bilimler Fakültesi, (DSÜ) İşletme Yönetimi Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0341-4722)

(First received 28 December 2019 and in final form 4 March 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.504747)

ATIF/REFERENCE: Kiliçarslan, M. & Kaptanoğlu, R. O. (2019). The Communication between Patients and Healthcare Personnel in Psychiatry Hospital. *European Journal of Science and Technology*, (15), 209-214.

Abstract

People live together with communication fact in their daily lives. With communication, individuals fulfil their needs in the society. Communication, which has become a popular concept in recent years, is one of the most important issue in the healthcare field. Communication between patients and healthcare personnel is at the forefront in both private sector and public healthcare organizations. While patients are expressing their needs by using tools of communication, healthcare personnel answer their needs with the tools of communication.

With this study, it is aimed to determine the level of communication between patients and healthcare personnel in a public psychiatry hospital; evaluate the problems, which are faced during the communication, in terms of patients and measure the satisfaction levels of patients.

Study is important in terms of the assessment of effects of communication between patient and health care personnel on the satisfaction of patient.

The sampling of this study is consisted of 200 patients in the psychiatry hospital. Academic literature review was made in the study. Questionnaire technique was used for the data collection. After filling in questionnaires with patients face to face, they were computerised by coding and analysed with SPSS 15.0.

With analyses, demographic information of patients, characteristics of healthcare personnel and communication between physician and patient were evaluated.

Keywords: Communication, Patient, Health Care Personnel, Health Communication

Psikiyatri Hastanesinde Hastalar ve Sağlık Personeli Arasındaki İletişim

Öz

İnsanlar günlük yaşamlarında iletişim gerçeğiyle birlikte yaşıyorlar. İletişim ile bireyler toplumdaki ihtiyaçlarını karşılar. Son yıllarda popüler bir kavram haline gelen iletişim, sağlık alanında en önemli konulardan biridir. Hastalar ve sağlık personeli arasındaki iletişim, hem özel sektörde hem de kamu sağlık kuruluşlarında ön plandadır. Hastalar ihtiyaçlarını iletişim araçlarını kullanarak ifade ederken, sağlık personeli ihtiyaçlarını iletişim araçlarıyla cevaplamaktadır.

* Corresponding Author: İstanbul Aydın University, Health Management Department, İstanbul- Turkey (ORCID: 0000-0002-0341-4722), meneksevarol69@gmail.com

Bu çalışma ile bir kamu psikiyatri hastanesinde hastalar ve sağlık personeli arasındaki iletişim seviyesinin belirlenmesi; İletişim sırasında karşılaşılan sorunları hastalar açısından değerlendirebilir ve hasta memnuniyet düzeyini ölçebilir.

Çalışma, hasta ve sağlık personeli arasındaki iletişimin hastanın memnuniyeti üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi açısından önemlidir.

Bu çalışmanın örneklemini psikiyatri hastanesinde 200 hasta oluşturdu. Çalışmada akademik literatür taraması yapıldı. Veri toplamada anket tekniği kullanılmıştır. Anket formları hastalarla yüz yüze doldurulduktan sonra, kodlama yoluyla bilgisayarlandı ve SPSS 15.0 ile analiz edildi.

Yapılan analizlerle hastaların demografik bilgileri, sağlık çalışanlarının özellikleri ve hekim ile hasta arasındaki iletişim değerlendirildi.

Anahtar Kelimeler: İletişim, Hasta, Sağlık Personeli, Sağlık İletişimi

1. Introduction

People live together with communication fact in their daily lives. They continue to live with the tools of communication at home, work, in the street and healthcare organizations. In brief, communication is everywhere. Communication, one of the conditions to be a society, has become a popular concept in recent years and “communication age” term is used to refer the age we are going through. Regional differences have been tried to be solved with these agencies (Bakkal, et. al., 2018:4)

Instead of “*iletişim*” (communication), which has become popular, “*haberleşme*” (communications) and “*komünikasyon*” (derived from France) terms were used. Communication, which comes from Latin “*communico*”, means “*exchanging, cooperation*”.

Communication is a process of knowledge generation, transmission and interpretation (Dökmen, 2003; 19). “Communication is the process of verbal, written or non-verbal transmission of emotions, thoughts, beliefs, attitudes and behaviours in order to affect human behaviours or reach a certain result” (Demirtaş, 2010; 413). Communication is the exchange of message between two units regarding themselves (Cüceloğlu, 2001; 71). There are many definitions for communication in the literature. However, based on these definitions; communication is the transmission of information, emotions and thoughts to the other side with the tools of communication. The voters involved in the political decision-making mechanism are politicians, bureaucrats, groups violate existing legal religious moral and cultural norms in the society by providing private benefits(Bakkal,et. al., 2018:10).

Communication is also important in the health sector in which human relations are dense. The size of communications is determined by the attitudes and behaviours of healthcare personnel and patient (Eriş, 2016;94).

Health Communication

Although there are scientific and technological developments in the healthcare field, communication is seen as the heart of clinical procedure, including diagnose, treatment and patient (Gordon et. al., 2014; 21). It seems that communication between health personnel and patients influences satisfaction of patients about healthcare services.

Health communication is the practice of concepts and theories of communication about interaction and processes on health between individuals for health improvement (Koçak et. al., 2010;7). We can define health communication as all kinds of interpretation and information transfer between individuals and the healthcare party. In another definition, it is defined as all kinds of human interactions regarding health. Health communication is communication activity that includes every process from transmission of information, thoughts and emotions between patients and health care personnel, involved in health care process to the spread of all kinds of information on health by using mass media.

The concept of health communication, which started to develop within the North American Sciences after 70s, is a brand new issue in Turkey while it has been discussing in Europe for a couple of years. It is difficult to limit this concept, including different disciplines. Uniting social sciences and field of medicine makes difficult to define the concept of health communication (Okay, 2014;10).

Communication Process In Health Care Services

Physical and psychological characteristics of patients and their relatives, the target group of hospitals, and their expectations are different from psychological characteristics of the target groups of other organizations. Patients and their relatives, who apply to a hospital, are generally under stress with the feelings of uneasiness, anxiety, fear and distress – rather than other people - and, that’s why; their psychology or the crisis, which they are going through, can lead them to act in a different way (Tengilimioğlu,2004;181). Hence, communication concept is important when it comes to providing healthcare services.

While providing health care services, personnel communicate directly or indirectly with the patient. Occupational groups that make the closest contact with patients are physicians and nurses among the personnel, providing healthcare services (Adıgüzel, 2005; 58).

To increase the quality and success of service, provided in the healthcare organizations, personnel should communicate with patients in accordance with their expectations, respect their personal rights and create a safe environment (Atai et.al, 2003; 310).

Communication between Patient-Physician

Burgoon and et. al., divide the model of interpersonal relationships in three categories as “asymmetric, symmetric and parallel relationships”. Asymmetric relationship is the type of relationship that one side plays dominant role and the other side accepts the passive role (Aktürk, 2016:78). In the symmetric relationship, it is believed that both sides have equal rights to determine the relationship. In parallel relationship, every side can control some areas and one can play active role or passive role. In the relationship between patient and physician, patient is completely weak and physician has the authority in every sense (Kaygin, 2012; 74).

The basis of the relationship between patient and physician starts with the demand of patient to understand the medical background of physician. During the treatment process, physicians are expected to fulfil the needs of patients and minimize the fear and stress of them. However, a series of factors determines the structure, content and way of relationship between patient and physician during this process. Within the broadest frame, gender, age, ethnic origin, socio-economic status, the structure of general healthcare system and place are effective factors in the formation of relationship between patient and physician. A direct relationship between patient and physician cannot establish and this causes the problem of miscommunication when all these factors create an asymmetric relationship by engaging (Şengün, 2014;71).

Communication Between Patient-Nurse

Nursing is one of the professions that directly serves to people by the tools of communication with individuals. The most important instrument of relationship between patient and nurse, who transfers information to the patient and accompanies with him/her, is communication (Yalçın, 2010;4). In another definition, nursing is defined as the processes of activities, reactions, communication and relationship to meet the basic needs of people from every age and socio-economic status and help them deal with their health problems (Osmanllari, 2014;71).

The relationship between nurse and patient does not realize at once, it is formed by interest and skill; and structured on the confidence of patients in nurse. Confidence takes time. Due to the nature of treatment, the communication between patient and nurse is limited during the short-term treatment in the public or private healthcare organizations but the ability of empathy, one of the basic communication skills, should be used to leave an impression in a short time. However, the relationship between patient and nurse arises inevitably in long-term treatment (Şengün, 2014; 78).

Nurse should pay attention to the verbal and nonverbal communication elements in the relationship between patients. It is stated that body affects 60%, voice affects 30% and words affects 10% of communication. In verbal communication, factors like words and intelligibility of them, speaking speed, tone, the use of open and short expressions and timing are important. In non-verbal communication, posture, gestures, mimics, gestures, eye contact are effective (Osmanllari, 2014;71).

Communication Between Patient-Health Care Personnel

Patients communicate first with allied health personnel when they apply to a hospital in order to get health service. Most of the complaints of people about healthcare organizations is originated at this level. That’s why, it is very important that personnel should be highly trained about their duties, communicate good-humouredly with people, who are under stress and patient psychology, and understand them (Osmanllari, 2014;75;).

2. Material and Method

2.1. Research Method And Findings

In the study, a questionnaire was conducted with 200 patients to determine the nature of communication between patient, getting healthcare service in a public psychiatry hospital, and physician and healthcare personnel. In the light of data, obtained from questionnaires, the level of communication between patient and healthcare personnel was analysed. As a result of the findings, measurements are stated about the problem that can occur because of the miscommunication.

While determining the questions, we benefit from the questionnaire form, in the master’s thesis by Edlira Osmanllari on The Impact of Communication to the Satisfaction of the Patient in Health Institutions: Albania Central Military in The Hospital One Implementation. The first part includes demographic information of patient; the second part includes questions about the communication between psychiatric patients and healthcare personnel, apart from physicians.

2.1.1. Findings And Interpretation

Table 1. Demographic Information

<i>Variables</i>		<i>Number of Patient</i>	<i>%</i>
Gender	Female	135	67,5
	Male	65	32,5
Age	Under 25	42	21,0
	Between 26-35	41	20,5

	Between 36-45	53	26,5
	Between 46-55	45	22,5
	56 and above	19	09,5
Social Insurance	Yes	87	43,5
	No	113	56,5
First person with whom patients communicate in the hospital	Public Relations	78	39,0
	Physician	65	32,5
	Nurse	33	16,5
	Other	24	12,0
People from whom patients get information	Physician	140	70,0
	Nurse	39	19,5
	Other	21	10,5
The reasons for the negative thoughts about health care personnel	Experiences	81	40,5
	Rumours	49	24,5
	Mass Media	50	25,0
	Other	20	10,0

67,5% of the participants is female and 32,5% of them is male. 56,5% of the participants does not have social insurance, 43,5% of them has social insurance. When it is analyzed the age distribution of participants, it can be said participants, between 36-45, are the majority with the rate of 26,5% and participants, 56 and above, are the minority with the rate of 9,5%. The remaining age ranges are respectively; participants, between 46-55, with the rate of 22,5%, participants, between 26-35, with the rate of 20,5%, participants, under 25, with the rate of 21%.

When participants were asked about the first person with whom patients communicate in the hospital, 39% of the participants answered as public relations, the most common answer. After public relations, they answered as physician with the rate of 32,5, nurse with the rate of 16,5% and other with the rate of 12%. Similarly, participants were asked about people from whom patients get information and answers are respectively; physician with the rate of 70%, nurse with the rate of 19,5%, other with the rate of 10,5%.

Table 2. Demographic Information

Questions About Healthcare Personnel	Strongly Disagree		Disagree		Neither Agree Nor Disagree		Agree		Strongly (Agree)	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
I do not have any negative thoughts about healthcare personnel	6	3,0	10	5,0	20	10,0	102	51,0	62	31,0
I think my expectations were met	6	3,0	9	4,5	65	32,5	93	46,5	27	13,5
Personnel helped me sufficiently	3	1,5	11	5,5	48	24,0	105	52,5	33	16,5
I know that working conditions of healthcare personnel are difficult.	17	8,5	26	13,0	72	36,0	75	37,5	10	5,0
I think that patient also partakes in a possible problem.	30	15,0	37	18,5	52	26,0	47	23,5	34	17,0
I have enough information about patient rights.	25	12,5	9	4,5	48	24,0	78	39,0	40	20,0
I think that personnel treats everyone equally.	5	2,5	17	8,5	81	40,5	41	20,5	56	28,0
I think that personnel is patient with patients.	20	10,0	24	12,0	52	26,0	65	32,5	39	19,5
I think that personnel acts authoritatively.	18	9,0	26	13,0	49	24,5	71	35,5	36	18,0
I think that personnel cares about patients.	3	1,5	29	14,5	50	25,0	88	44,0	30	15,0
I think that personnel communicates with patients pleasantly.	2	1,0	11	5,5	57	28,5	85	42,5	45	22,5

I think that personnel is good-humoured.	12	6,0	32	16,0	50	25,0	68	34,0	38	19,0
I think that the physical appearance of the patient affects the behaviour of personnel.	31	15,5	46	23,0	43	21,5	52	26,0	28	14,0
I think that personnel informs patient adequately.	5	2,5	13	6,5	28	14,0	79	39,5	75	37,5
The communication of personnel with patient is satisfactory.	4	2,0	7	3,5	62	31,0	84	42,0	43	21,5
I recommend this hospital to others.	13	6,5	17	8,5	32	16,0	79	39,5	59	29,5

When we analyse the table, maximum 102 participants answered as “agree” with the rate of 51% about if they have positive thoughts about health care personnel. 3% of the participants answered as “strongly disagree”. About meeting the expectations, 46,5% of the participants gave positive answer, only 3% of the participants gave negative answer.

It was observed that 52,5% of the participants answered as “agree” about whether personnel helped them sufficiently. Also, 37,5% of the participants agreed that working conditions of health care personnel is difficult.

26% of the participants answered as “neither agree nor disagree” about the questions, which two parts have fault related to problems but they gave an objective answer by agreeing with the rate of 23,5%+17%. It is seen that 12,5%+4,5%=17% of the participants does not have enough information about patient rights.

35,5% of the participants answered as “agree” about whether personnel acts like authoritarian. It can be seen on the table that 34% of the participants said that personnel communicates with patients pleasantly, 32,5% of the participants answered as “agree” about whether personnel is patient with patients, 34% of the participants answered as “agree” about whether personnel is good-humoured.

There are close results about whether the physical appearance of patients affects the behaviour of personnel. However, participants answered as “agree” with the rate of 26% at most.

Participants answered as “agree” with the rate of 39,5% about whether personnel informs patient adequately and 42% about whether the communication of personnel with patient is satisfactory. The last question was about whether they recommend this hospital to others and the level of satisfaction related to the hospital. 39,5% of the participants answered as “agree” to this questions.

3. Results and Discussion

3.1. Conclusion

As a result of the study, mostly positive answers were given about the general characteristics of personnel in terms of being patient, good-humoured and explanatory. Participants come to agree that personnel should treat everyone equally. However, they are generally pleased with the attitudes and behaviours of personnel in the given hospital, moreover; they gave feedback about recommending it to the others.

One of the main aim of the study is to determine the nature of communication between healthcare personnel and patient, the factors, which affect the nature of communication; and act to improve this communication.

Participants answered as “physician” with the rate of 39% and “public relations” with the rate of 32,5% about the first person with whom they communicate and this shows that other people, who communicate with patients, do not work efficiently. However, the first mission of physician is to treat patient so there should be other groups, and units with which patient communicate.

One of the points, which patients emphasize, is waiting-period although there was not any question about this subject. Waiting-period puts a strain on patients’ nerve and causes a nerve interaction before the communication starts. In this regard, it is a satisfactory innovation for patients to give electronic order number.

Individuals should be dealt with as a whole in the healthcare services. To improve communication; workload of the personnel can be reduced, seminars and conferences on communication can be organized, explanatory boards can be arranged for patients, physical conditions of hospitals can be improved and advisory units can be increased. In addition, today’s marketing conditions develops in the direction of determining what the expectations of customers are. By conducting a questionnaire to determine the expectations of patients, it is possible to determine possible problems in advance and make improvements about them.

References

- ADIGÜZEL, Z. (2005), “The nature of Communication between Health Care Personnel-Patient and Factors That Affect This Communication: A case study on Celal Bayar University, Faculty of Medicine Research And Application Hospital, Celal Bayar University, Institute of Social Sciences
- ATAÇ, A., AZAL Ö, UÇAR M. et. al., (2003), Research on the satisfaction of Personnel, who gets health care services from Health Care Organizations under TAF (Turkish Armed Forces) about patient rights and relationship ship between health care personnel-patient on the Intranet,
- BAKKAL, M., BAKKAL, S., YILDIRIM H. (2018), Regional Economic Instabilities in Turkey and Ways Of Solution, Social Sciences Studies Journal , Mart, V:4 , Issue:15, p.799-800
- BAKKAL, S., BAKKAL, M., KANTAR M. (2018), The Effects Of 1 November 2015 Elections In Turkey On Macro Economy, TURAN-SAM Uluslararası Bilimsel Hakemli Dergisi; ISSN: 1308-8041, e-ISSN: 1309-4033; Yıl: 2018; Cilt: 10/KIŞ, Sayı: 37, P.229
- CÜCELOĞLU, D. (2001), *Yeniden İnsan İnsana (Person to Person, Once Again)*, 26th Edition, Remzi Publishing, İstanbul
- DEMİRTAŞ, M. “The Usefulness Of Communication Tools During On The Efficiency And Effectiveness of Organizational Communication and The Sample Of Public Relations Films”, Marmara University, İİBF Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences , V.28, I.1, İstanbul, 2010, p.413
- DÖKMEN, Ü., (2003), *İletişim Çatışmalar ve Empati (Conflicts of Communication and Emphaty)*, Sistem Publishing , 22th Edition, İstanbul
- ERİŞ, H. (2016) “Hemşirelerin Hastanelerde Kullandıkları Elektronik Tıbbi Kayıtlar Hakkındaki Görüşleri: Şanlıurfa Örneği”, Sağlık Akademisyenleri Dergisi, Health Care Acad J. 2016; 3(3): 93-99, Doi: [10.5455/sad.13-1477551776](https://doi.org/10.5455/sad.13-1477551776)
- GORDON, T and EDWARDS, W. Sterling (2014) “Communication between Patient and Physician” Profil Publishing, 1st Edition, İstanbul
- KAYGIN, N. (2012), “Quality, Patient Satisfaction And Patient Nurse Relations İn Health Services”, Master’s Thesis, Beykent University, Institute of Social Sciences
- KOÇAK, A. and BULDUKLU, Y. “Health Communication: The Viewing Motivations Of Health Programs On Television By Elder People” Selçuk University, Academic Journal of Faculty Of Communication V.6, I:3, Konya, 2010, p.7
- OKAY, A. (2014) “Sağlık İletişimi (Healthcare Communication)” Derin Publishing, 2nd Edition, İstanbul
- OSMENLLARİ, E. (2014), “The Impact Of Communication To The Satisfaction Of The Patient in Health Institutions: Albania Central Military in The Hospital One Implementation”, Master’s Thesis, Gazi University, Institute of Social Sciences
- ŞENGÜN, S. (2014), “Area Health Communication, Communication An Application in The Patients And Health Problems On Bayındır State Hospital Staff”, Master’s Thesis, Beykent University, Institute of Social Sciences
- TENGİLİMOĞLU, D., KILIÇ, M., (2004), Public Relations in Hospitals, Hacettepe University- Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences, Aralık, V:2, I:2, p.175-197.
- YALÇIN, E.G. (2010), “Patient-Nurse İnteraction in Acute Psychiatric Wards from Nurses' Perspective”, Master’s Thesis, İstanbul University, Institute of Social Sciences Retrieved from <file:///C:/Users/TEMP/Desktop/İletişim/Kanıt%20Dayalı%20Sağlık%20Bilişimi.pdf> on 10th September 2017:20.00



Dağıtık Güç Üretimini Şebekeye Entegrasyonu ve Olası Etkilerinin İncelenmesi

Tayfur Gökçek^{1*}, Yavuz Ateş¹

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1941-6914; 0000-0002-4168-0861)

(İlk Geliş Tarihi 2 Şubat 2019 ve Kabul Tarihi 4 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.521350)

ATIF/REFERENCE: Gökçek, T., & Ateş, Y. (2019). Dağıtık Güç Üretimini Şebekeye Entegrasyonu ve Olası Etkilerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 216-228.

Öz

Günümüzde, gelişen teknoloji ile birlikte elektrik enerjisine olan talep de artmaktadır. Bu talebin karşılanması, konvansiyonel üretimin yetersiz kalmasından dolayı zorlu hale gelmiştir. Bunun sonucunda da dağıtık güç (DG) adı verilen, kısaca merkezi olmayan bir üretimin gerçekleştiği yeni tesis türleri yaygınlaşmaya başlamıştır. Fakat dağıtık güç üretiminin sağladığı avantajların yanında, şebekeye entegrasyonunda birtakım dezavantajlar da mevcuttur. Tesis işletmesi açısından çeşitli analizler yapılarak bu dezavantajlar minimum seviyeye düşürülmelidir. Bu çalışmada IEEE 13 baralı test sistemindeki farklı güce sahip baralara, farklı tipte ve güçte bağlantılar gerçekleştirilerek ETAP programı üzerinde simülasyonları yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarında dağıtık gücün bara gerilimlerine ve kısa devreye etkisi ile sistem kayıplarına katkısı incelenmiştir. Buna ek olarak enerjinin üretildiği yerde tüketiminin getirdiği avantajları kanıtlamak üzere ayrıca bir simülasyon çalışması daha yapılmıştır. Son olarak da elde edilen tüm entegrasyon senaryolarına göre optimal bağlantı noktası seçilerek, sistem dizaynında karşılaşılabilecek olası etkilerin minimum seviyeye indirildiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dağıtık Güç, Şebeke Entegrasyonu, Yük Akışı Analizi, Kısa Devre Analizi.

The Integration of Distributed Power Generation and Investigation Possible Impacts

Abstract

The demand for electrical energy is increasing with the developing technology in the present. This demand has become difficult because of the insufficiency of conventional generation. As a result of this, new facility types that are named distributed power (DG) and are realized decentralized generation have began to become common. New plant types that are named distributed power (DG) and are realized decentralized generation, have began to become common. However, some disadvantages are available in the integration of the grid besides the advantages of distributed power generation. These disadvantages should decrease minimum level by carrying out various analysis in terms of plant operation. In this study, different types and power connections have been carried out to the busbars which have different power in the IEEE 13 bus test system and simulations are performed on the ETAP program. The effect of distributed power to bus voltage and short circuit and its contribution to system losses are investigated in the simulation results. In addition, a one more simulation study is carried out to prove the advantages of consumption where energy is produced. Finally, the optimal connection point is selected according to all the obtained integration scenarios and it is observed that the possible effects on the system designing are minimized.

Keywords: Distributed Power, Grid Integration, Power Flow Analysis, Short Circuit Analysis.

* Sorumlu Yazar: Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-1941-6914, gokcek.tayfur@gmail.com

1. Giriş

Dağıtık güç üretimi literatürde;konvansiyonel üretim gibi merkezi olmayıp,iletim veya dağıtım hattı ile tüketici tarafında işletilebilen üretim olarak tanımlanmaktadır (Knyazkin ve Ackermann, 2003).

Dünya genelindeki enerji talebinin artması ile birlikte,konvansiyonel güç tesislerinin enerji verimliliği de azalmaktadır.Günümüzde,bu talebi karşılamak için dağıtık enerji adı altında; güneş enerjisi santralleri (GES),rüzgar enerjisi santralleri (RES),hidroelektrik enerji santralleri (HES),kombine ısı ve güç santralleri (KIGS) ve yakıt hücreleri (YH) gibi dağıtık güç tesisleri yaygınlaşmıştır (Chowdhury vd., 2009). Fakat bu yaygınlaşma,birtakım sorunları da beraberinde getirmektedir.Literatürde çeşitli entegrasyon analizleri ile optimizasyon çalışmaları yapılarak bu sorunlar minimize edilmeye çalışılmaktadır.Özellikle de bağlantı bölgesi;gerilim ile kısa devre katkısını,sistem kayıplarını,sistemin güvenilirliğini ve kararlılığını oldukça değiştirebilmektedir (Dulău vd., 2016).

DG birimleri günümüzde çeşitli gruplara ayrılmış durumdadır.Öncelikle kullandıkları temel enerjiye göre yenilenebilir ve yenilenemez kaynaklar olarak ikiye ayrılırlar (Guan vd., 2009).RES,HES,YH ve GES yenilenebilir enerji kaynakları,KIGS ise yenilenemez enerji kaynakları grubuna girmektedir.İkinci olarak şebekeye bağlanma şekillerine göre gruplandırılırlar.Senkron generatörler (SG) ve çift beslemeli asenkron generatörler (ÇBAG) şebekeye doğrudan bağlanabilirken, fotovoltailer (FV) ve YH'ler ise güç elektroniği arayüzüyle şebekeye bağlanabilirler (Afifi ve Darwish, 2016). Son olarak da güç üretimi ve tüketimine göre üç gruba ayrılmaktadırlar.Rüzgar türbinleri ve gaz türbinlerinde kullanılan SG'ler hem aktif güç hem de reaktif güç desteğinde bulunabilirler.Rüzgar türbinlerinde kullanılan diğer bir tür olan endüksiyon generatörleri (EG) aktif güç üretimi yapmasına karşın reaktif güç tüketimine ihtiyaç duyarlar.YH'ler ve FV'ler ise sisteme sadece aktif güç katkısında bulunurlar (Khan vd., 2015 ; Guan vd., 2009).

Birçok yazar ve (Ackermann vd., 2001) tarafından yapılan tanıma göre DG'ler kapasitelerine göre şu şekilde kategori edilebilmektedir:

- Mikro ölçekli dağıtık güç kapasitesi: ~1 Watt < 5 kW ;
- Düşük ölçekli dağıtık güç kapasitesi: 5 kW < 5 MW ;
- Orta ölçekli dağıtık güç kapasitesi: 5 MW < 50 MW ;
- Geniş ölçekli dağıtık güç kapasitesi: 50 MW < ~300 MW ;

Bir elektrik sisteminde frekans ve gerilim parametrelerinin kontrolü oldukça önem arz etmektedir.Döner makinelerin senkronizasyonu için frekansın sürekliliği istenir.Fakat verimli çalışabilmeleri için harmoniklerin giderilerek frekansta saflığın sağlanması ve uygun değer aralığında tutulması gerekmektedir (Tarkan, 2016).Elektrik Şebeke Yönetmeliği'ne göre,sistemin 50 Hertz (Hz) olan nominal frekansı, TEİAŞ tarafından 49,8-50,2 Hz aralığında kontrol edilir.Gerilim profili açısından ise 66 kV ve altındaki iletim sistemi için gerilim değişimi %10'dur (EPDK, 2017).

DG ünitelerinden genelde gerilim ve frekans kontrolü beklenmemektedir.Fakat bağlantısı yapılan gücün kapasitesi arttıkça bu kontrol zorlaşmaktadır.Bu nedenle dağıtım hattına yapılan entegrasyonlarda gerilim ve frekans kontrolünün yapılması tavsiye edilmektedir.Ayrıca gerilim kontrolünün yapılması,reaktif kayıpların azaltılmasına imkan tanımaktadır (Çetinkaya ve Dumlu, 2013).

Yük tarafından çekilen reaktif güçler ve sistemdeki reaktif güç kayıpları,gerilim profilinde oldukça büyük bir etkiye sebep olurlar.IEEE 1547TM standardına göre DG ünitelerinin aktif olarak gerilim regülasyonuna katılmaları beklenmemektedir.Bu sebepten konvansiyonel senkron generatörler kontrol moduna göre reaktif gücü hem üretme hem de tüketme yeteneğine sahip olmasına rağmen sabit güç faktörü kontrol modu tercih edilir. Asenkron generatörler ise şebekeye direkt bağlandıklarında reaktif güç desteği yapamadıkları için konverter arayüzü ile sisteme entegre edilirler (Nuroğlu vd., 2008; Knyazkin vd., 2003).

Yüksek ölçekli DG bağlantılarında uzun hatlar kullanılması sonucunda gerilim regülasyonu bozulabilmektedir.Bunun sonucunda reaktif güç üretimi kısıtlanmak zorundadır.Gerilim regülasyonu;hat kesitlerinin artırılması,kondansatör banklarının kullanılması,otomatik voltaj regülatörlerinin uyartım sistemi ve transformatörlerin kademe değişikliği ile yapılabilmektedir (Nuroğlu vd., 2008; Çetinkaya vd., 2003).

Sistemde oluşan kısa devre akımları istenmeyen bir durumdur.Arıza esnasında akacak yüksek değerli akımlar röle koordinasyonu sayesinde devre kesiciler tarafından söndürülürler.Arıza akımları simetrik ve asimetrik olmak üzere iki çeşittir.Simetrik arıza akımları en tehlikeli arıza akımları olarak kabul edilmektedir. Arıza noktasındaki kısa devre gücü arızadan önceki gerilim ile arızadan sonraki akımın çarpımı olarak :

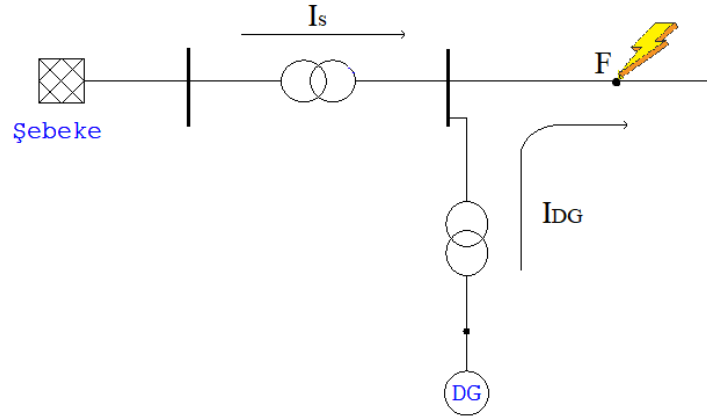
$$MVA_{KD} = \frac{\sqrt{3} \times U_S \times I_{KD}}{10^6} \quad (1)$$

formülü ile hesaplanabilir.Aynı formül üzerinden arıza akımı ise:

$$I_{KD} = \frac{MVA_{KD} \times 10^6}{\sqrt{3} \times U_S} \quad (2)$$

olarak hesaplanabilir.Burada U_s (kV) ve I_{kd} (kA) mertebesinde değerler olarak kabul edilmiştir.Eşitliklerden hareketle büyük kısa devre gücünün yüksek kısa devre akımlarına yol açabileceği söylenebilir.Bu durumlarda sistem ve ekipman korumaları için devre kesicilerin anma değerleri doğru seçilmelidir.Sisteme yapılan DG bağlantıları da kısa devre seviyelerini yükselterek koruma

sorunlarına yol açabilmektedir.Kısa devre akımları, DG'nin bağlandığı konuma ve kapasitesine göre değişebilmektedir (Tarkan, 2016 ; Uqaili vd., 2014).Şekil 1'de DG'lerin kısa devreye katkısı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. DG'lerin kısa devreye katkısı

DG'lerin entegrasyonu sonucunda elde edilen avantajlardan birisi de aktif ve reaktif kayıpların azaltılmasıdır (Rangarajan vd., 2014).İletim ve dağıtım sistemleri aktif ve reaktif kayıplarda büyük bir rol oynamaktadır.Kayıpların değeri,hattan akan akıma ve hattın empedans büyüklüğüne bağlıdır.Bu sebepten kayıpları azaltmak için ya akım azaltılmalı ya da hattın empedans değeri düşürülmelidir.Bir sisteme DG entegrasyonu yapıldığında,şebekeden çekilecek olan güç azaldığından sistem kayıpları da azalacaktır (Chiradeja, 2005).Aktif ve reaktif güç kayıpları (3) ve (4) nolu eşitliklerden hesaplanabilmektedir.

$$P_{AG} = 3 \times R \times I^2 \quad (3)$$

$$Q_{RG} = 3 \times X \times I^2 \quad (4)$$

Entegrasyon yapılmadan önce sistem dizaynı doğru bir şekilde gerçekleştirilmelidir.Analizlerde,bağlantı yapılan bölge,bağlantısı yapılacak tesisin türü ve kapasitesi ile bağlantı şekli gibi etkenler optimum seçildiği takdirde dağıtık gücün meydana getireceği olası sorunlar minimum seviyeye indirgenebilmektedir (Khan vd., 2015).

Dünya literatüründe,DG'lerin şebeke entegrasyonundaki rolünü belirten çeşitli akademik çalışmalar yapılmıştır.Sonsuz şebekeden uç fiderlere doğru yapılan entegrasyonlarda gerilim profilindeki etki daha fazla olmaktadır.Ayrıca bölgedeki yük durumunun ve DG kapasitesinin gerilim regülasyonunda önemli bir rol oynadığı da bilinmektedir (Jones vd., 2008).Lokasyonun regülasyona olan katkısını inceleyen (Sun vd., 2009),yük akışı analizi sonrasında DG'lerin,bara gerilimlerini artırıcı bir etkiye sahip olduğunu gözlemlemiştir.DG'lerin gerilim profilinde olduğu gibi kısa devre analizlerine olan etkisi;bağlantı lokasyonuna,kapasitesine ve tipine göre değişiklik göstermektedir (Uqaili vd., 2014). Kısa devre analizlerini inceleyen (Afifi vd., 2013) ; DG birimlerinin kısa devre akımlarını yükselttiğini,farklı bölge ve kapasite senaryoları ile değişken kısa devre katkılarının olduğunu gözlemlemiştir.Yine (Afifi vd., 2016) ayrı bir çalışmada farklı DG türlerinin sisteme olan etkisini incelemiştir.DG entegrasyonu ile birlikte artan kısa devre akımlarının koruma koordinasyonunu etkileyeceği göz önünde bulundurularak sistem güvenilirliği için kısa devre analizleri doğru bir şekilde yapılmalıdır (Vijeta vd., 2012). Son olarak, (Chiradeja vd., 2013) tarafından,oldukça önem arz eden aktif ve reaktif güç kayıpları incelenmiş,entegrasyon bölgesindeki ve kapasitesindeki değişimlerin kayıpları nasıl etkilediği karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada,yukarıda belirtilen literatür bilgileri ve araştırmaları ışığında,IEEE 13 baralı test sistemi üzerinde entegrasyon çalışmaları yapılmıştır.Uygulanan farklı senaryolar sonucunda sistem kayıplarını en aza indirecek bölge,bağlantısı yapılacak tesisin türü,kapasitesi ve bağlantı şekli belirlenmiştir.Ayrıca DG'lerin,tüketici gruplarının bulunduğu bölgelerdeki entegrasyonlarının sağladığı avantajları göstermek amacıyla test sistemi üzerinde değişikliğe gidilerek ek analiz sonuçları gözlemlenmiştir.Çalışmadaki analiz aşamaları ve elde edilen sonuçlar sıralanmıştır:

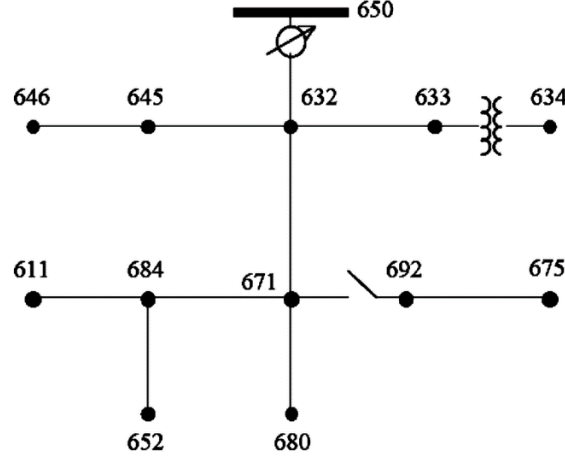
- Talep yük doğrultusunda SG,ÇBAG ve FV tipi DG'ler,farklı kapasitelerde dizayn edilmiştir.
- Dizaynı gerçekleştirilen DG birimleri,gerilim kontrol modunda şebekeye entegre edilerek;sistemin gerilim profili,kısa devre akım seviyeleri ve kayıplar incelenmiştir. Sistem üzerinde değişikliğe gidilerek ek senaryo analizi gerçekleştirilmiştir.
- Analiz sonuçları doğrultusunda,aktif ve reaktif güç kayıpları açısından oldukça verimli değerler elde edilmiş olup,entegrasyon için uygun bara ve kapasite değerinin belirlenmesi sağlanmıştır.
- Enerjinin üretildiği bölgedeki tüketiminin,kayıpları çok daha azaltıcı bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılarak,daha verimli bir şekilde entegrasyon yapılmasına katkı sağlanmıştır.

Yapılan çalışmanın ilk bölümünde literatür araştırması yapılarak dünya genelinde gerçekleştirilen çalışmalara yer verilmiştir.İkinci bölümde,şebeke modelinin ve dizayn edilen DG birimlerinin parametreleri paylaşılmış,üçüncü bölümde sistem analizi ve simülasyon sonuçlarına yer verilmiştir.Son bölümde ise elde edilen sonuçlar tartışılarak değerlendirilmeler yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Sistem Metodolojisi

Çalışmanın ilk aşamasında,şekil 2’de belirtilen (Kersting, 2001) IEEE 13 baralı test sisteminin şebeke parametreleri göz önünde bulundurularak DG’lerin dizaynları modellenmiştir. Bu modeller,2 farklı kısa devre gücüne sahip olan 675 ve 680 nolu baralara 3 farklı güçte entegre edilerek,baralardaki gerilim profilleri,kısa devre akımları ve sistemdeki toplam kayıplar incelenmiştir.



Şekil 2. IEEE 13 baralı test sistemi

2.1.1. Test Sistemi Parametreleri

Çalışmada referans alınan IEEE 13 baralı test sistemi dengesiz olup (611,645,646,652,684) nolu baralar tek fazlı yükler içermektedir.Test sisteminde yer alan ana güç şebekesinin ve entegrasyonu yapılan baraların parametreleri listelenmiştir:

- Sonsuz şebeke,4.16 kV değerindeki 632 nolu baraya bağlı olup 71.072 MVA üç faz kısa devre gücüne sahiptir.X/R oranı ise 2.744 olarak belirlenmiştir.
- Sistemde 60 Hz frekans ve ANSI standartları kullanılmıştır.
- Sistemin 675 nolu barası 4,16 kV değerinde olup,971 kVA değerinde yük ve 600 kvar değerinde kapasitör grubu içermektedir.Güç şebekesine 2500 ft. uzaklıkta bulunmaktadır.
- Sistemin 680 nolu barası güç şebekesine 3000 ft. ile en uzak mesafede bulunan baradır.Bara 4.16 kV değerinde olup herhangi bir tüketici grubu içermemektedir.

2.1.2. DG Kapasitelerinin Belirlenmesi

DG’lerin kapasiteleri belirlenmeden önce ETAP üzerinde IEEE 13 baralı sistemin entegrasyonsuz senaryosu simüle edilmiştir.Sistemin kayıpları ve bağlı olan kapasitörler de dikkate alındığında ana şebekeden 3.515 MW aktif güç,1.530 Mvar reaktif güç çekilmektedir.Toplamda da (5) nolu eşitlikten :

$$S_T = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (5)$$

3.833 MVA değerinde bir görünür gücün çekildiği hesaplanabilmektedir.Bağlanacak DG’lerin kapasiteleri (6) nolu eşitlikten yararlanılarak :

$$DG \text{ Kapasitesi} = \frac{\Sigma S_{DG}}{\Sigma S_{MAKSIMUM TALEP}} \times 100\% \quad (6)$$

0.766 MVA (20%) , 1.533 MVA (40%) , 2.3 MVA (60%) , 3.066 MVA (80%) olarak 4 ayrı kapasite belirlenmiştir.Ünitelerin elektriki güçleri 0.85 güç faktörü uyarınca (7) nolu eşitlikten:

$$P_T = S_T \times \cos \theta \quad (7)$$

0.65 MW (20%) , 1.303 MW (40%) , 1.955 MW (60%) , 2.606 MW (80%) olarak hesaplanmaktadır.

2.1.3. DG Dizayn Parametreleri

Bu bölümde analiz çalışmasında kullanılan dizel SG,rüzgar türbini modeli ÇBAG ve FV sistem modellerinin parametreleri paylaşmıştır.Gereken sayıda ünite bağlantısı yapılarak 0.65 MW, 1.303 MW, 1.955 MW ve 2.606 MW kurulu güç değerleri elde

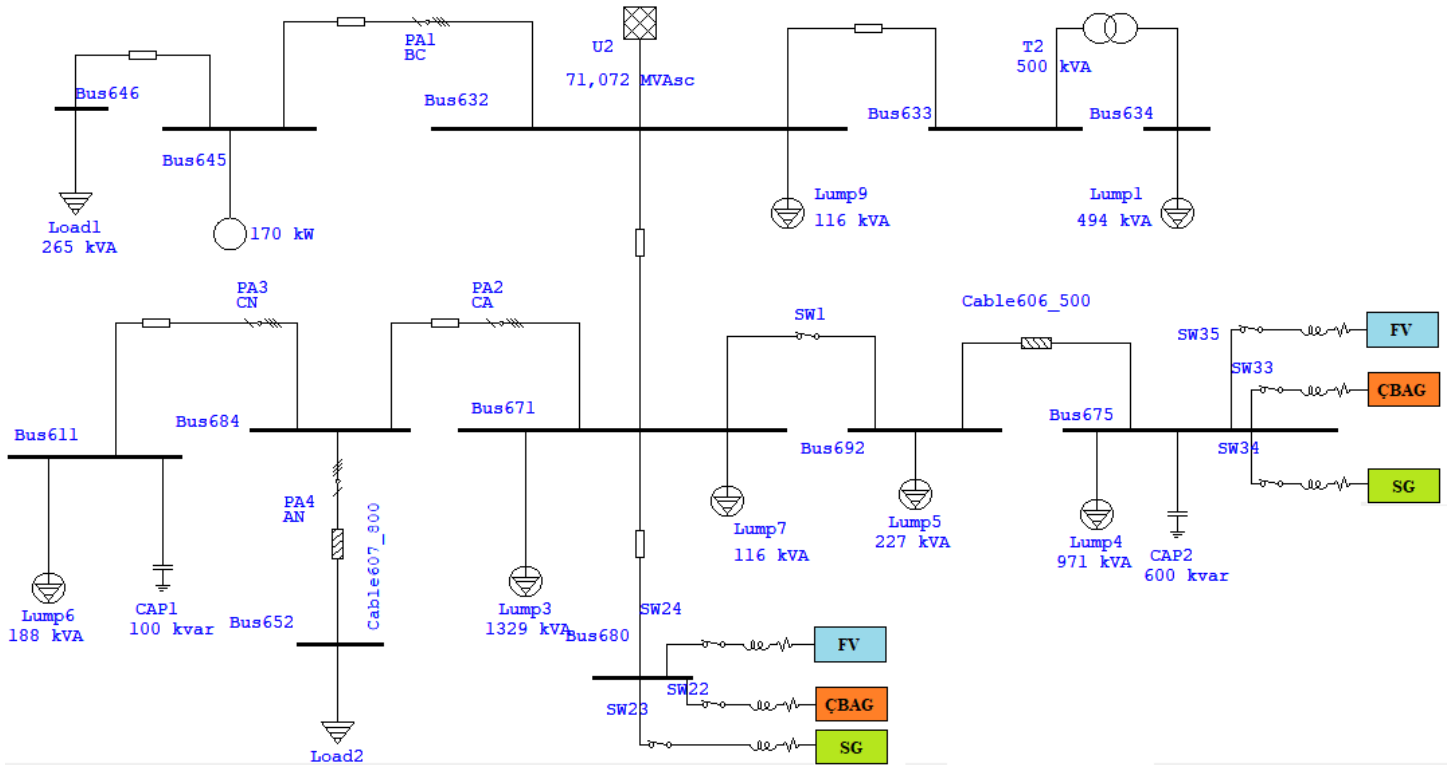
edilmiştir. Tüm DG birimleri 0.4/4.16 kV dönüştürme oranına sahip transformatörler üzerinden 500 m. uzunluğunda XLPE tipi kablo ile, ilgili baralara entegre edilmiştir. Gerilim kontrol modunda çalıştırılan DG birimlerinin dizayn parametreleri listelenmiştir:

- FV dizaynında, Kyocera markasının 232 W gücündeki KD235GX-LPB modeli kullanılmıştır. 36.56 V_{oc} ve 8.48 I_{sc} değerlerine sahip olan panelin, istenen kurulu güç elde edilecek şekilde seri ve paralel bağlantıları gerçekleştirilmiştir. Modellemede $1000W/m^2$ ışınım değeri ile $25\text{ }^\circ\text{C}$ ortam sıcaklığı baz alınmıştır. Panel grupları; %100 verime ve 0.85 güç faktörüne sahip, sırasıyla 765 kVA, 1533 kVA, 2300 kVA ve 3066 kVA gücündeki inverter gruplarına bağlanmıştır.
- ÇBAG dizaynında, tip 3 rüzgar türbini gerilim kontrol modunda çalıştırılmıştır. Önceki bölümde belirtilen kurulu güçlerde dizayn edilen generatörler; 0.85 güç faktörüne ve %100 verime sahip olup 4 kutupludur. Modellemede 10 m/s ortalama rüzgar hızı baz alınmıştır. Ünitenin aktif güç, reaktif güç ve kanat açısı kontrol parametreleri ETAP programının belirlediği değerler olarak kabul edilmiştir.
- Dizel SG dizaynı, ÇBAG parametreleri ile aynı değerdedir. Generatörler, 0.85 güç faktörüne ve %100 verime sahip olup 4 kutupludur. Reaktif güç kapasitesi ile generatör empedans değerleri, yine ETAP programı tarafından hesaplanan ve belirlenen değerler olarak kabul edilmiştir. Generatörün kontrol mekanizmaları, sabit uyarmalı otomatik voltaj regülatörü ve DT tipi governör olarak belirlenmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Sistem Analizi ve Simülasyon Sonuçları

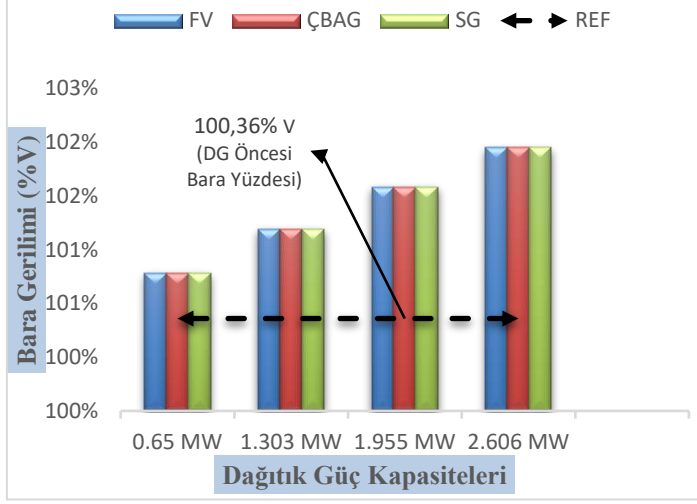
Çalışmanın bu bölümünde IEEE 13 baralı test sistemine, önceki bölümde dizaynları paylaşılan DG'lerin, farklı senaryolar altında entegrasyonları yapılarak ETAP programı üzerinde analiz sonuçları elde edilmiştir. Sonuçlar sırasıyla; gerilim profili analizi, kısa devre analizi ve sistem kayıpları analizi başlıkları altında paylaşılmıştır. Ayrıca sistem üzerinde değişikliğe gidilerek ek simülasyon analizi yapılmıştır. DG'lerin kısa devre gücü yüksek olan 632 ve 633 nolu baralardaki etkileri çok az olup kayıpları arttırıcı bir davranışa sahip olduğundan bu çalışmada analizlerine yer verilmemiştir. Belirlenen 4 ayrı kapasitenin entegrasyonları şekil 3'teki gibi gerçekleştirilerek sistem üzerinde farklı etkilere sahip olduğu gözlenmiştir.



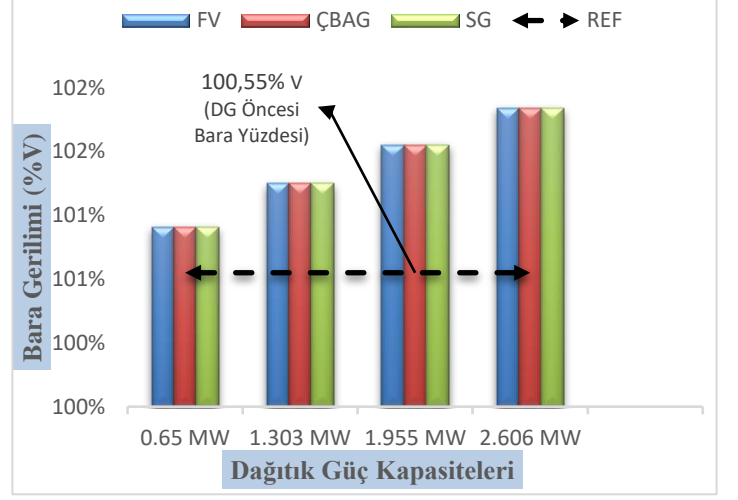
Şekil 3. DG entegrasyonu tek hat şeması

3.1.1. Gerilim Profili Analizi

Bu bölümde DG'lerin 675 ve 680 nolu baralara entegrasyonu sonrasında bara gerilimindeki değişimler incelenmiştir. Tüm DG üniteleri gerilim kontrol modunda sisteme bağlanarak yük akışı analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre tüm DG'lerin aynı etkiyi yaptığı ve bara gerilimini artırıcı yönde bir etkisi olduğu görülmüştür. Şekil 4 ve şekil 5'te de artan kapasitelerle birlikte gerilim seviyesinin de arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 675 nolu baranın gerilim profili



Şekil 5. 680 nolu baranın gerilim profili

675 nolu barada entegrasyon öncesi bara gerilim değeri %100,36 iken, entegrasyon sonrasında bara gerilim değeri 0.65 MW'lik kapasitede %100,78 , 1.303 MW'lik kapasitede %101,19 , 1.955 MW'lik kapasitede %101,58 ve 2.606 MW'lik kapasitede %101,95 değerine yükselmiştir. Aynı kapasitedeki tüm DG birimlerinin gerilim kontrol modunda regülasyona yardımcı olarak eşit değerlerde katkı verdikleri gözlemlenmiştir.

680 nolu baraya yapılan entegrasyonda 675 nolu baradaki etkilerin aynaları gözlemlenmiştir. Entegrasyon öncesi bara gerilim değeri %100,55 iken, entegrasyon sonrasında bara gerilim değeri 0.65 MW'lik kapasitede %100,91 , 1.303 MW'lik kapasitede %101,25 , 1.955 MW'lik kapasitede %101,55 ve 2.606 MW'lik kapasitede %101,84 değerine yükselmiştir. Her iki baranın gerilim profili karşılaştırmalı olarak tablo 1'de gösterilmiştir.

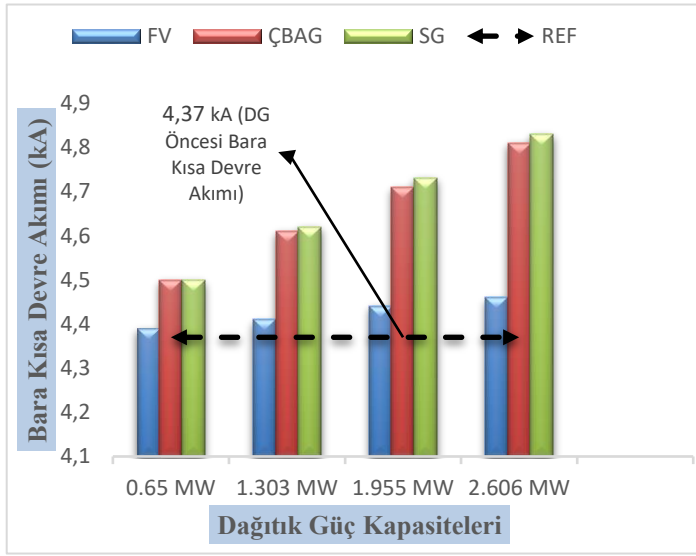
Tablo 1. DG sonrası bara gerilimindeki değişim

	DG SONRASI					
	675 Nolu Bara			680 Nolu Bara		
	FV	ÇBAG	SG	FV	ÇBAG	SG
0.65 MW	↑ (%0.41)	↑ (%0.41)	↑ (%0.41)	↑ (%0.35)	↑ (%0.35)	↑ (%0.35)
1.303 MW	↑ (%0.82)	↑ (%0.82)	↑ (%0.82)	↑ (%0.69)	↑ (%0.69)	↑ (%0.69)
1.955 MW	↑ (%1.21)	↑ (%1.21)	↑ (%1.21)	↑ (%0.99)	↑ (%0.99)	↑ (%0.99)
2.606 MW	↑ (%1.58)	↑ (%1.58)	↑ (%1.58)	↑ (%1.28)	↑ (%1.28)	↑ (%1.28)

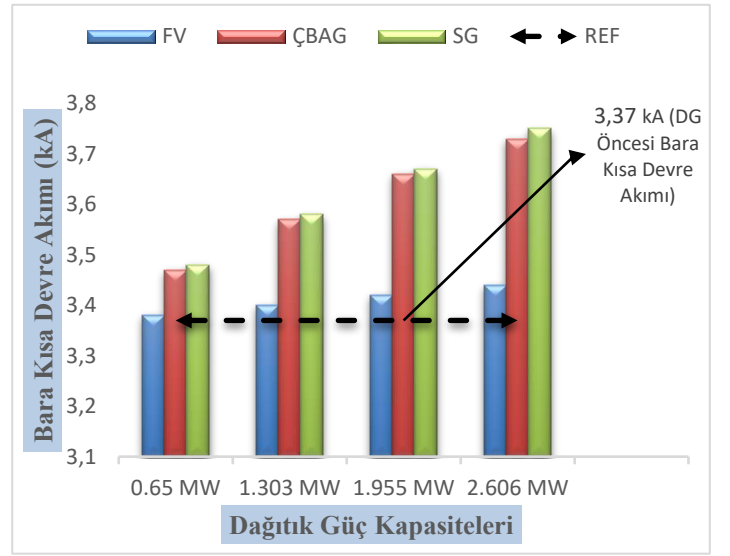
Literatür bilgilerine göre 680 nolu bara entegrasyonunda daha olumlu sonuçların elde edilmesi beklenmekteydi. Fakat Tablo 1'deki verilere göre 680 nolu baraya yapılan entegrasyonun bara gerilimine daha az etki ettiği görülmektedir. Bunun da, 680 nolu barada herhangi bir tüketicinin olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca aynı elektrikli güce sahip DG birimlerinin aynı oranda regülasyona yardımcı olduğu da görülmüştür.

3.1.2. Kısa Devre Analizi

Bu bölümde 675 ve 680 nolu baralara entegrasyonda DG'lerin kısa devre katkıları incelenmiştir. Simülasyon için kısa devre analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre sisteme tam kontrollü konverter ile bağlanan FV'lerin en az kısa devre katkısına sahip olduğu, ÇBAG ve SG bağlantılarında ise FV'ye göre daha fazla ve yaklaşık olarak aynı oranda katkı sağlandığı görülmüştür. Gerilim profilinde olduğu gibi kapasitelerle birlikte kısa devre akımlarının da arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 6 ve Şekil 7'de DG'lerin kısa devre katkıları gösterilmektedir.



Şekil 6. 675 nolu baranın kısa devre akımı



Şekil 7. 680 nolu baranın kısa devre akımı

675 nolu barada entegrasyon öncesi kısa devre akımı 4.37 kA iken, entegrasyon sonrasında kısa devre akımı, 0.65 MW'lik kapasitede FV katkısı ile 4.39 kA, ÇBAG ve SG katkısı ile 4.5 kA; 1.303 MW'lik kapasitede FV katkısı ile 4.41 kA, ÇBAG katkısı ile 4.61 kA ve SG katkısı ile 4.62 kA, 1.955 MW'lik kapasitede FV katkısı ile 4.44 kA, ÇBAG katkısı ile 4.71 kA ve SG katkısı ile 4.73 kA ve 2.606 MW'lik kapasitede FV katkısı ile 4.46 kA, ÇBAG katkısı ile 4.81 kA ve SG katkısı ile 4.83 kA değerine yükselmiştir.

680 nolu barada entegrasyon öncesi kısa devre akımı 3.37 kA iken, entegrasyon sonrasında kısa devre akımı 0.65 MW'lik kapasitede FV katkısı ile 3.38 kA, ÇBAG katkısı ile 3.47 kA ve SG katkısı ile 3.48 kA; 1.303 MW'lik kapasitede FV katkısı ile 3.4 kA, ÇBAG katkısı ile 3.57 kA ve SG katkısı ile 3.58 kA, 1.955 MW'lik kapasitede FV katkısı ile 3.42 kA, ÇBAG katkısı ile 3.66 kA ve SG katkısı ile 3.67 kA ve 2.606 MW'lik kapasitede FV katkısı ile 3.44 kA, ÇBAG katkısı ile 3.73 kA ve SG katkısı ile 3.75 kA değerine yükselmiştir. Her iki baranın kısa devre akımlarındaki değişim karşılaştırmalı olarak tablo 2'de gösterilmiştir.

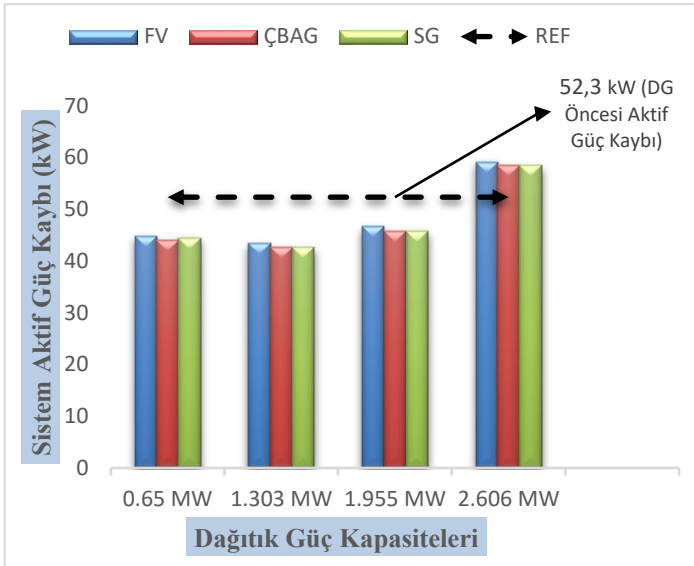
Tablo 2. DG sonrası bara kısa devre akımlarındaki değişim

	DG SONRASI					
	675 Nolu Bara			680 Nolu Bara		
	FV	ÇBAG	SG	FV	ÇBAG	SG
0.65 MW	↑ (%0.45)	↑ (%2.97)	↑ (%2.97)	↑ (%0.29)	↑ (%2.96)	↑ (%3.26)
1.303 MW	↑ (%0.91)	↑ (%5.49)	↑ (%5.72)	↑ (%0.89)	↑ (%5.93)	↑ (%6.23)
1.955 MW	↑ (%1.6)	↑ (%7.78)	↑ (%8.23)	↑ (%1.48)	↑ (%8.6)	↑ (%8.9)
2.606 MW	↑ (%2.05)	↑ (%10.06)	↑ (%10.52)	↑ (%2.07)	↑ (%10.68)	↑ (%11.27)

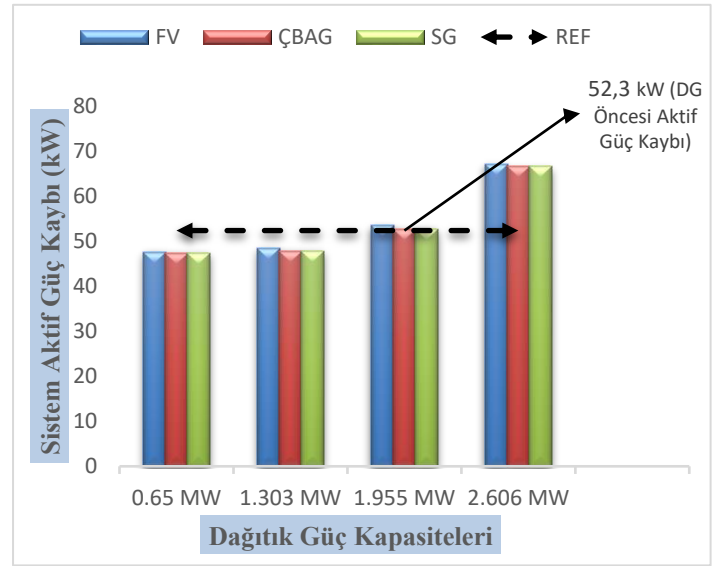
Tablo 2'deki verilere göre sisteme tam kontrollü konverter ile bağlanan FV'lerin her iki lokasyonda da kısa devre akımlarının oldukça engelleyici bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.ÇBAG ve SG bağlantıları,FV bağlantılara göre daha fazla kısa devre akımı katkısına sahip olmakla birlikte 675 nolu baraya daha az kısa devre katkı sağlamışlardır.

3.1.3. Sistem Kayıpları Analizi

Bu bölümde 675 ve 680 nolu baralara entegrasyonda DG'lerin sistem kayıplarındaki davranışları incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre ÇBAG ve SG'nin FV'ye göre aktif ve reaktif kayıpları azaltıcı etkisinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.Bağlantı lokasyonuna ve kapasitesine göre sistem kayıpları da değişiklik göstermektedir.Şekil 8 ve şekil 9'da sistemin aktif güç kayıpları gösterilmektedir.



Şekil 8. 675 nolu baraya DG entegrasyonu sonrası sistemin aktif kayıpları



Şekil 9. 680 nolu baraya DG entegrasyonu sonrası sistemin aktif kayıpları

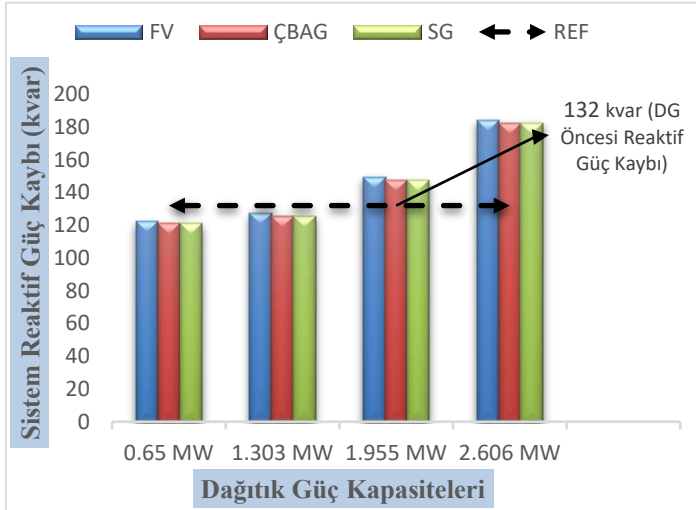
675 nolu barada entegrasyon öncesi sistem aktif güç kaybı 52 kW iken, entegrasyon sonrasında aktif güç kaybı 0.65 MW'lik kapasitede FV katkısı ile 44.7 kW, ÇBAG katkısı ile 44 kW ve SG katkısı ile 44.4 kW; 1.303 MW'lik kapasitede FV katkısı ile 43.3 kW, ÇBAG katkısı ile 42.7 kW ve SG katkısı ile 42.6 kW, 1.955 MW'lik kapasitede FV katkısı ile 46.6 kW, ÇBAG ve SG katkısı ile 45.8 kW değerine düşürülmüştür. 2.606 MW'lik kapasitede ise FV katkısı ile 59.1 kW, ÇBAG ve SG katkısı ile 58.4 kW değerine yükselmiştir. %80 oranındaki DG kapasitesinin sistem üzerinde negatif bir etki yarattığı açıkça görülmektedir.

680 nolu baraya entegrasyon sonrasında aktif güç kaybı, 0.65 MW'lik kapasitede FV katkısı ile 47.5 kW, ÇBAG ve SG katkısı ile 47.3 kW; 1.303 MW'lik kapasitede FV katkısı ile 48.3 kW, ÇBAG ve SG katkısı ile 47.8 kW değerine düşürülmüştür. 1.955 MW'lik kapasitede FV katkısı ile 53.4 kW, ÇBAG ve SG katkısı ile 52.7 kW; 2.606 MW'lik kapasitede ise FV katkısı ile 67 kW, ÇBAG ve SG katkısı ile 66.5 kW değerine yükselmiştir. 675 nolu bara entegrasyonlarına göre sistem kayıpları üzerindeki etkinin daha düşük olduğu gözlenmiştir. %60 ve %80 oranındaki DG kapasitesinin sistem üzerinde kayıpları artırıcı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Tablo 3'te aktif güç kayıplarının karşılaştırmalı olarak analizi yapılmıştır.

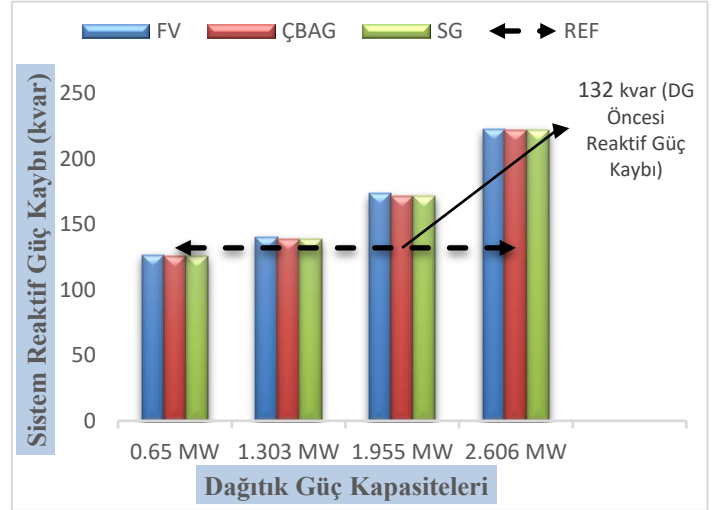
Tablo 3. DG sonrası aktif güç kayıplarındaki değişim

	DG SONRASI					
	675 Nolu Bara			680 Nolu Bara		
	FV	ÇBAG	SG	FV	ÇBAG	SG
0.65 MW	↓ (%14.53)	↓ (%15.86)	↓ (%15.1)	↓ (%9.17)	↓ (%9.56)	↓ (%9.56)
1.303 MW	↓ (%17.2)	↓ (%18.35)	↓ (%18.54)	↓ (%7.64)	↓ (%8.6)	↓ (%8.6)
1.955 MW	↓ (%10.89)	↓ (%12.42)	↓ (%12.42)	↑ (%2.1)	↑ (%0.76)	↑ (%0.76)
2.606 MW	↑ (%13)	↑ (%11.66)	↑ (%11.66)	↑ (%28.1)	↑ (%27.15)	↑ (%27.15)

Analiz verilerine göre 675 nolu baraya yapılan entegrasyon %60'lık DG bağlantısına kadar aktif kayıpları düşürmektedir. Aynı elektriki yapıya sahip elektrik makinalarının FV'ye göre daha etkili olduğu görülmektedir. Şekil 10 ve Şekil 11'de entegrasyon sonrasında sistemin reaktif güç kayıplarındaki değişim verilmiştir.



Şekil 10. 675 nolu baraya DG entegrasyonu sonrası sistemin reaktif kayıpları



Şekil 11. 680 nolu baraya DG entegrasyonu sonrası sistemin reaktif kayıpları

Sistem reaktif güç kaybı açısından incelendiğinde entegrasyon öncesi kayıp 132 kvar iken, entegrasyon sonrasında reaktif güç kaybı 0.65 MW'lik kapasitede FV katkısı ile 122.1 kvar, ÇBAG ve SG katkısı ile 121 kvar; 1.303 MW'lik kapasitede FV katkısı ile 127.4 kvar, ÇBAG ve SG katkısı ile 125.6 kvar değerine düşürülmüştür. 1.955 MW'lik kapasitede FV katkısı ile 149.5 kvar, ÇBAG ve SG katkısı ile 147.1 kvar; 2.606 MW'lik kapasitede ise FV katkısı ile 184 kvar, ÇBAG ve SG katkısı ile 182.4 kvar değerine yükselmiştir.

680 nolu bara entegrasyonu ile birlikte reaktif güç kaybı 0.65 MW'lık kapasitede FV katkısı ile 126.6 kvar, ÇBAG ve SG katkısı ile 125.8 kvar değerine düşürülmüştür. 1.303 MW'lık kapasitede FV katkısı ile 140 kvar, ÇBAG ve SG katkısı ile 138.5 kvar; 1.955 MW'lık kapasitede FV katkısı ile 173.4 kvar, ÇBAG ve SG katkısı ile 171.6 kvar; 2.606 MW'lık kapasitede ise FV katkısı ile 222.5 kvar, ÇBAG ve SG katkısı ile 221.7 kvar değerine yükselmiştir. 680 nolu bara entegrasyonunda aktif güç kayıplarında olduğu gibi reaktif güç kayıplarında da olumsuz etkiler gözlemlenmiştir. Tablo 4'te aktif güç kayıplarının karşılaştırmalı olarak analizi yapılmıştır.

Tablo 4. DG sonrası reaktif güç kayıplarındaki değişim

	DG SONRASI					
	675 Nolu Bara			680 Nolu Bara		
	FV	ÇBAG	SG	FV	ÇBAG	SG
0.65 MW	↓ (%7.5)	↓ (%8.33)	↓ (%8.33)	↓ (%4.09)	↓ (%4.69)	↓ (%4.69)
1.303 MW	↓ (%3.48)	↓ (%4.84)	↓ (%4.84)	↑ (%6.06)	↑ (%4.92)	↑ (%4.92)
1.955 MW	↑ (%13.25)	↑ (%11.43)	↑ (%11.43)	↑ (%31.36)	↑ (%30)	↑ (%30)
2.606 MW	↑ (%39.39)	↑ (%38.18)	↑ (%38.18)	↑ (%68.56)	↑ (%67.95)	↑ (%67.95)

Tablo 4'teki verilere göre 680 nolu baraya yapılan bağlantı, kayıplar açısından kısıtlanmaktadır. %20 ve %40 kapasiteli bağlantılar 675 nolu entegrasyonda kayıpları azaltırken bu değer 680 nolu barada %20 kapasiteli bağlantıya düşmektedir. Normal şartlarda en uzak bara olan 680 nolu baraya yapılan entegrasyonlar sonucunda sistem kayıplarının en aza indirilmesi beklenmekteydi. Fakat test sisteminde 680 nolu barada herhangi bir tüketicinin bulunmaması beklenen sonucu vermemektedir. Entegrasyonlarda tüketici etkisinin gösterilmesi için bir sonraki bölümde ek bir simülasyon çalışması yapılmıştır.

3.1.4. Ek Senaryo Analizi

Bu bölümde DG entegrasyonlarında, bağlantı yapılan bölgedeki tüketici varlığının kayıplar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Test sistemi üzerindeki 675 nolu baraya bağlı olan 971 kVA'lık yük ile 600 kvar değerindeki kapasitör, 675 nolu baradan kaldırılmadan 680 nolu baraya da eklenerek aktif ve reaktif güç kayıpları gözlemlenmiştir. DG öncesi kayıplar tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 5. Yeni senaryoda DG öncesi sistem kayıpları

	DG ÖNCESİ
Aktif Kayıplar	91.7 kW
Reaktif Kayıplar	256.9 kvar

Sistemdeki yeni yük değişikliği sonrasında sistemin aktif güç kaybı 91.7 kW ve reaktif güç kaybı 256.9 kvar olarak hesaplanmıştır. Tüm DG birimlerinin yeni senaryoda kayıplara olan etkisi tablo 6 ve tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablo 6. Yeni senaryoda DG sonrası aktif güç kayıplarındaki değişim

	DG SONRASI					
	675 Nolu Bara			680 Nolu Bara		
	FV	ÇBAG	SG	FV	ÇBAG	SG
0.65 MW	79.2 kW ↓ (%13.63)	78.2 kW ↓ (%14.72)	78.2 kW ↓ (%14.72)	79.7 kW ↓ (%13.08)	78.6 kW ↓ (%14.28)	78.6 kW ↓ (%14.28)
1.303 MW	72.8 kW ↓ (%20.61)	71.1 kW ↓ (%22.46)	71.1 kW ↓ (%22.46)	73.3 kW ↓ (%20.06)	71.5 kW ↓ (%22.02)	71.5 kW ↓ (%22.02)
1.955 MW	71.4 kW ↓ (%22.13)	69.2 kW ↓ (%24.53)	69.2 kW ↓ (%24.53)	71.2 kW ↓ (%22.35)	69 kW ↓ (%24.75)	69 kW ↓ (%24.75)
2.606 MW	79.2 kW ↓ (%13.63)	76.9 kW ↓ (%16.13)	76.9 kW ↓ (%16.13)	78.1 kW ↓ (%14.83)	75.7 kW ↓ (%17.44)	75.7 kW ↓ (%17.44)

Tablo 7. Yeni senaryoda DG sonrası reaktif güç kayıplarındaki değişim

	DG SONRASI					
	675 Nolu Bara			680 Nolu Bara		
	FV	ÇBAG	SG	FV	ÇBAG	SG
0.65 MW	230.8 kvar ↓ (%10.15)	227.6 kvar ↓ (%11.4)	227.6 kvar ↓ (%11.4)	227.7 kvar ↓ (%11.36)	224.2 kvar ↓ (%12.72)	224.2 kvar ↓ (%12.72)
1.303 MW	220.2 kvar ↓ (%14.28)	215 kvar ↓ (%16.3)	215 kvar ↓ (%16.3)	217.6 kvar ↓ (%15.29)	211.9 kvar ↓ (%17.51)	211.9 kvar ↓ (%17.51)
1.955 MW	226.7 kvar ↓ (%11.75)	220.1 kvar ↓ (%14.32)	220.1 kvar ↓ (%14.32)	228.2 kvar ↓ (%11.17)	221.2 kvar ↓ (%13.89)	221.2 kvar ↓ (%13.89)
2.606 MW	246.3 kvar ↓ (%4.12)	239.6 kvar ↓ (%6.73)	239.6 kvar ↓ (%6.73)	255.2 kvar ↓ (%0.66)	248.3 kvar ↓ (%3.34)	248.3 kvar ↓ (%3.34)

Tablo 6 ve tablo 7'deki verilere göre % 20 ve % 40 kapasiteli DG bağlantıları birbirine en yakın ve en olumlu sonuçları vermektedir.Yeni senaryo öncesinde 680 nolu baraya yapılan entegrasyonlarda kayıpları arttırıcı sonuçlar var iken,yeni senaryo sonrasında bu olumsuz durum kaldırılmıştır.Önceki durumda aktif kayıplar en iyi senaryoda % 19 kadar azaltılırken,yeni senaryoda bu değer %25 değerlerine kadar yükselmiştir.Reaktif güç kayıpları ise,önceki durumda en iyi senaryoda %8 azaltılırken,yeni senaryoda bu değer %17.5 değerine kadar yükselmiştir.DG üniteleri arasında da döner makinelerin solar sisteme göre daha avantajlı olduğu görülmektedir.

4. Sonuç

Yapılan çalışma kapsamında,öncelikle farklı tipteki DG birimleri ETAP yazılımı üzerinde modellenmiştir.FV,ÇBAG ve SG kaynakları farklı güçlerde seçilerek,675 ve 680 nolu baralara entegrasyonu yapılmıştır.Çalışmada IEEE'nin 13 Baralı Test Modeli referans olarak kullanılmıştır.0.65 MW,1.303 MW ,1.955 MW ve 2.606 MW güçlerindeki DG birimlerinin bağlantısı yapılarak ilk olarak baralardaki gerilim profili incelenmiştir.Sistemin en uzak barası olan 680 nolu barada tüketici bulunması durumunda gerilim regülasyonunun daha iyi sağlandığı ve gerilim kontrol modunda çalışan tüm DG'lerin aynı değerde katkı sağladığı gözlemlenmiştir.

Kısa devre çalışmasında,şebekeye inverter üzerinden bağlı olan FV sistemin kısa devre akımına katkısının yok denebilecek kadar az seviye olduğu gözlemlenmiştir.ÇBAG ve SG'nin kısa devre katkılarının FV'ye göre daha fazla ve birbirine yakın olduğu sonucuna varılmıştır.Bağlantı noktası açısından ise,680 nolu bara entegrasyonunda kısa devre katkılarının daha fazla olduğu görülmektedir.

Sistem kayıplar açısından değerlendirildiğinde,ilk senaryoda 680 nolu bara entegrasyonu oldukça olumsuz sonuçlara yol açmaktadır.675 nolu bara entegrasyonunda en olumlu senaryoda aktif kayıplar % 19,reaktif kayıplar da % 9 oranında azaltılırken 680 nolu bara entegrasyonunda bu değerler sırasıyla % 10 ve % 5 değerlerinde kalmıştır.Sistemde yapılan yük değişiminden sonra ise 680 nolu bara entegrasyonunda görülen olumsuzluklar kalkmıştır.En iyi senaryoda aktif kayıplardaki azalma % 10'dan % 25'e , reaktif kayıplardaki azalma da %5'ten % 18 değerlerine yükselerek oldukça avantajlı bir durum elde edilmiştir.Bu analiz sonrasında önemli derecede tüketicinin bulunduğu en uzak bölgeye yapılan DG entegrasyonlarının daha avantajlı sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.

Çalışma sonuçlarından da görüldüğü üzere DG'lerin şebeke bağlantısında,gerilim regülasyonunda zorluk,kısa devre katkılarında ve kayıplarda artış gibi birtakım sorunlara rastlanılmaktadır.Fakat çalışmada yapılan analizler ile bu sorunların önüne geçilebilir.Özellikle de ÇBAG ve SG bağlantılarının FV'de olduğu gibi konverter arayüzüyle sisteme bağlantısıyla çok daha verimli sonuçlar alınabilir.Ayrıca bağlantı yapılacak bölgedeki tüketim değerleri sistem kayıplarına yüksek derecede etki ettiğinden analizlerde göz önünde bulundurulması büyük önem arz etmektedir.Gerçekleştirilen çalışma ile optimizasyon çalışmalarında en verimli sonuçların elde edilmesi sağlanmıştır.Gelecek çalışmalarda,kompleks yapılarıdaki hibrit DG üniteleri sayesinde sistem verimliliğinin maksimum seviyeye çıkarılması hedeflenmektedir.

Kaynakça

- Ackermann, T., Andresson, G. ve Söder, L., 2001. Distributed generation: a definition, *Electric Power Systems Research*, Vol.57, Issue.3, pp. 195-204.
- Afifi, S. N., Wang, H., Taylor G. A., Irving M. R., 2013. Impact of DFIG Wind Turbines on Short Circuit Levels in Distribution Networks using ETAP, 48th International Universities' Power Engineering Conference (UPEC), IEEE, 2-5 Sept., 2013, Dublin, Ireland.
- Afifi, S. N. ve Darwish, M. K., 2016. Impact of PV/Wind/Diesel Hybrid System on the Distribution Networks, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'16), RE&PQJ, 4-6 May., 2016, Madrid, Spain.
- Chiradeja, P., Benefit of Distributed Generation: A Line Loss Reduction Analysis. 2005 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific, IEEE, 18-18 Aug., 2005, Dalian, China.
- Chiradeja, P. ve Ngaopitakkul A., 2013. The impacts of electrical power losses due to distributed generation integration to distribution system, International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), IEEE, 26-29 Oct., 2013, Busan, South Korea.
- Chowdhury, S., Chowdhury, S. P. ve Crossley, P., 2009. Microgrids and Active Distribution Networks, London, UK.
- Çetinkaya, H. B. ve Dumlu, F. (2013). http://www.emo.org.tr/ekler/76bfae53cf6ecbd_ek.pdf adresinden alındı.
- Dulău, L. I., Abrudean, M. ve Bică, D., 2016. Optimal Location of a Distributed Generator for Power Losses, *ScienceDirect*, Vol.22, pp. 734-739.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), 2017. Elektrik Şebeke Yönetmeliği.
- Guan, F. H., Zhao, D. M., Zhang, X., Zhan, B. T. ve Liu, Z.. Research on Distributed Generation Technologies and its impacts on Power System, 2009 International Conference on Sustainable Power Generation and Supply, IEEE, 6-7 April, 2009, Nanjing, China.
- Jones, G. W. ve Chowdhury, B. H., 2008. Distribution System Operation and Planning in the Presence of Distributed Generation Technology, Transmission and Distribution Conference and Exposition (PES), IEEE, 21-24 Apr., 2008, Chicago, IL, USA.
- Kersting, W. H., 2001. Radial distribution test feeders, IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.01CH37194), IEEE, 28 Jan.-1 Feb., 2001, Columbus, OH, USA.
- Khan, Z. W. ve Khan, S., 2015. Analyzing The Impacts of Distributed Generation on Power Losses and Voltage Profile, International Conference on Emerging Technologies (ICET), IEEE, 19-20 Dec., 2015, Peshawar, Pakistan.
- Knyazkin, V. ve Ackermann, T., 2003. Interaction Between The Distributed Generation and The Distribution Network: Operation, Control and Stability Aspects, 17th International Conference on Electricity Distribution (CIRED), ResearchGate, 12-15 May., 2003, Barcelona, Spain.
- Nuroğlu, F. M. ve Arsoy, A. B., 2008. Voltage Profile and Short Circuit Analysis in Distribution Systems with DG, Electrical Power & Energy Conference, IEEE, 6-7 Oct., 2008, Vancouver, BC, Canada.
- Rangarajan, S. S., Sreejith, S. ve Nigam, S., 2014. Effect of Distributed Generation on Line Losses and Network Resonances, International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE), IEEE, 9-11 Jan., 2014, Vellore, India.
- Sun, Q., Li, Z. ve Zhang, H., 2009. Impact of Distributed Generation on Voltage Profile in Distribution System, International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, IEEE, 24-26 Apr., 2009, Sanya, Hainan, China.
- Tarkan, N., Eylül, 2016. Elektrik Enerji Sistemlerinin Analiz ve Optimizasyonuna Dayalı İşletilmesi, İstanbul, İTÜ Vakfı.
- Uqaili, M. A., Sahito, A. A., Halepoto, I. A., Memon, Z. A. ve Dars, S. B., 2014. Impact of Distributed Generation on Network Short Circuit Level, 4th International Conference on Wireless Communications, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems (VITAE), IEEE, 11-14 May., 2014, Aalborg, Denmark.
- Vijeta, K. ve Sarma, D. V. S. S. S., 2012. Protection of Distributed Generation Connected Distribution System, International Conference on Advances in Power Conversion and Energy Technologies (APCET), IEEE, 2-4 Aug., 2012, Mylavaram, Andhra Pradesh, India.



Nesnelerin İnterneti Tabanlı Akıllı Sulama ve Uzaktan İzleme Sistemi

Mehmet Taştan^{1*}

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Otomasyon Bölümü, Turgutlu, Manisa, (ORCID: 0000-0003-3712-9433)

(İlk Geliş Tarihi 10 Şubat 2019 ve Kabul Tarihi 2 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.525149)

ATIF/REFERENCE: Taştan, M. (2019). Nesnelerin İnterneti Tabanlı Akıllı Sulama ve Uzaktan İzleme Sistemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 229-236.

Öz

Tarımsal ve peyzaj amaçlı sulama tatlı su kaynaklarının en çok tüketildiği uygulama alanlarıdır. Suyun akıllı yönetimi, sulama veriminin artırılması, maliyetlerin düşürülmesi ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulmaktadır. Su kullanımını optimize etmek, enerji tüketimini azaltmak ve mahsullerin kalitesini artırmak için sulama alanında teknoloji kullanımına olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Nesnelerin İnterneti (IoT) tabanlı akıllı sulama sistemleri, tatlı su kaynaklarının verimli kullanımına yardımcı olabilir. Çevresel koşulların izlenmesi, sulama veriminin arttırmasında en önemli unsurdur. Bu çalışmada, IoT tabanlı bir akıllı sulama sistemi önerilmiştir. Önerilen bu akıllı sulama sistemi, hava sıcaklığı, hava nemi ve toprağın nem değerini kullanarak uygun sulama zamanı ve sulama süresini belirlemektedir. Akıllı sulama sistemi, sensör bilgilerini kullanarak yağış tahmininde bulunup gerektiğinde sulama zamanını ötelemektedir. Geliştirilen android tabanlı kullanıcı arayüzü, sensör verileri, sulama süresi, elektrik ve su tüketimi gibi verilerin gerçek zamanlı görüntülenmesini sağlamaktadır. Bulut sistemi üzerine kaydedilebilen sensör verilerinin analizi ideal sulama periyodu ve sulama süresinin belirlenmesinde yardımcı olmaktadır. İnsan müdahalesini en aza indiren bu akıllı sulama sistemi ile uzaktan izleme ve kontrol imkanı yanında elektrik ve su tasarrufu sağlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Nesnelerin İnterneti, Akıllı Sulama, Blynk, Android, NodeMCU, DHT22

Internet of Things Based Smart Irrigation and Remote Monitoring System

Abstract

Agricultural and landscape irrigation are the areas where fresh water resources are most consumed. Smart management of water contributes to increasing irrigation efficiency, lowering costs and environmental sustainability. In order to optimize water use, reduce energy consumption and improve the quality of crops; the need for using technology in the irrigation field is increasing day by day. Internet of Things (IoT) based smart irrigation systems can help the efficient use of fresh water resources. Monitoring environmental conditions is the most important factor in increasing irrigation efficiency. In this study, an IoT-based smart irrigation system has been proposed. The proposed smart irrigation system determines the appropriate irrigation time and irrigation period using the air temperature, air humidity and soil moisture. The smart irrigation system uses the sensor information to estimate the precipitation and, if necessary, displace the irrigation time. Developed android-based user interface provides real-time display of data such as sensor data, irrigation time, electricity and water consumption. Analysis of sensor data that can be recorded on the cloud system helps to determine the ideal irrigation period and irrigation time. With this smart irrigation system human intervention is minimized, also remote monitoring and control as well as electricity and water saving is provided.

Keywords: Internet of Things, Smart Irrigation, Blynk, Android, NodeMCU,

*Sorumlu yazar: Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Otomasyon Bölümü, Turgutlu, Manisa, ORCID: 0000-0003-3712-9433, mehmet.tastan@cbu.edu.tr

1. Giriş

Su, dünya nüfusuna gıda güvenliğini sağlamada hayati öneme sahiptir. Tarımsal sulama, tatlı su tüketiminin %70'ini oluşturan en büyük su tüketicisidir. Ülkemiz su zengini bir ülke olmadığı gibi kişi başına düşen yıllık su miktarına göre su kıtlığı yaşamaya aday bir ülke konumundadır. Su kıtlığı, günümüz tarımının başlıca problemlerinden biridir. Bu problemin üstesinden gelmenin en gerçekçi çözümü şüphesiz mevcut kıt kaynakların en verimli şeklide kullanımınıdır. Ülkemizde su tüketiminin en fazla olduğu tarım sektörü %73'lük bir kullanım payına sahiptir. Tarımsal sulamanın büyük bir bölümünün geleneksel yöntemler ile gerçekleşmesi, damla veya yağmurlama sulama gibi modern yöntemlerin az kullanımı su kaynaklarımızın verimsiz tüketimine neden olmaktadır (Sertyeşilşik, 2017).

Akıllı sulama sistemleri ile tarım arazilerinin verimli bir şekilde sulanması sağlanabilir. Akıllı sulama sistemlerinde, su tüketiminin azaltılmasının yanında ürün kalitesinin artırılması da temel amaçlar arasındadır (Xiao ve ark., 2010). Tarımsal ve bahçe sulama sistemlerinde son yıllarda kullanımı artan programlanabilir cihazlar, günün belli saatlerinde istenen süre kadar otomatik sulama işlemi gerçekleştirmektedir. Fakat otomatik sulama sistemleri her zaman verimli sulama gerçekleştiremez.

Zaman programına dayalı otomatik sulama sistemlerinde toprağın suya ihtiyacı olup olmadığı dikkate almaz. Bazen gerçekleşen bir sulamanın hemen arkasından yada sulama öncesinde yağışın olması aşırı sulamaya neden olabilir. Bu nedenle, toprak su durumunu ölçen nem sensörlerinin kullanımı, tarımsal ve bahçecilik sulama uygulamalarında önemli bir tamamlayıcıdır (Cardenas-Lailhacar ve Dukas 2010; Soulis ve ark., 2015). Akıllı sulama, toprağın suya ihtiyaç duyduğu zaman ve ihtiyacı olduğu kadar su verilmesi işlemidir. Akıllı sulamada hava durumu, bitkilerin su ihtiyaçlarını tahmin ederek sulama yapmak için kullanılan temel faktörlerden biridir. Bulanık karar verme sistemleri kullanılarak yerel iklim verilerine dayalı toprağın su ihtiyacı tahmin edilebilmektedir (Allen ve ark., 1998). Hava durumu bilgilerine dayanarak, yapay sinir ağları yardımıyla toprağın su ihtiyacını belirlenebilmektedir (Adeloye ve ark., 2012). Fakat tek başına hava durumu tahminine dayanan sulama modelleri açık çevrim yapıya sahiptir (Giusti ve Marsili 2015). Hava durumu ve toprak nemi gibi parametreleri birlikte kullanarak oluşturulan akıllı sulama sistemleri, diğer geleneksel yaklaşımlardan daha verimli bir sulama potansiyeline sahiptir. Akşam saatlerinde veya gece yapılan sulamalarda, gündüze göre toprağın ısısı düşük olduğundan buharlaşacak su miktarı da azalır. Böylelikle bitkiler bir sonraki günün sıcağından kendilerini yeterli miktarda su alarak korumuş olur. Bu bakımdan akıllı sulama sistemlerinde toprak nemi ve hava koşullarının yanında sulama zamanı da çok önemlidir (Kamienski ve ark., 2019). Akıllı sulama sistemlerindeki talep artışı, bu sektörü dinamik ve sürekli gelişen bir teknoloji alanı haline getirmiştir (Lichtenberg ve ard., 2013). Sensörlere dayalı sulama, su tüketimini önemli ölçüde azaltabilir ve zamanlayıcı bazlı sulama sistemleriyle kıyaslandığında genel su tüketim miktarını azaltabilir. Kablosuz sensörler kullanarak sulama yapan ABD'deki bazı süs bitkileri üreticilerinin ortalama su kullanımını yaklaşık % 50 oranında düşeceği tahmin edilmektedir (Majsztrik ve ark., 2013). Bir sulama sistemi üreticisi tarafından geliştirilen toprak sensörlü akıllı sulama sisteminde, kendi kendine öğrenebilen sulama algoritmasını kullanmaktadır. Sensörlerden gelen bilgiler bu algoritmada işlenerek toprağın ihtiyacı olan su miktarı anlık olarak hesaplanabilmektedir (Koubachi Company, 2015). Başka bir çalışmada toprağın PH değeri, sıcaklık ve nem seviyelerini izleyen arduino tabanlı akıllı sulama sistemi gerçekleştirilmiştir (Parameswaran ve Sivaprasath 2016). IoT fiziksel nesnelerin birbirleriyle veya daha büyük sistemlerle bağlantılı olduğu bir iletişim ağıdır. Bu ağ, günlük hayatta kullandığımız çok farklı cihazlardan elde edilen milyarlarca veriyi toplayıp, kullanılabilir bilgilere dönüştürür (Gubbi ve ark., 2013).

IoT ilk olarak 1999 yılında Kevin Ashton tarafından ortaya atılan bir terimdir. İlk başlarda RFID etiketleri sayesinde radyo frekansı üzerinden birbirleriyle haberleşen cihazları kapsayan bu konsept gelişen teknoloji ile birlikte çok daha geniş bir vizyona ulaştı (Ashton 2009). Günümüzde dünyada birbiri ile etkileşimli olan yaklaşık 20 milyar cihaz varken, 2025 yılına gelindiğinde 75 milyar cihaza çıkması tahmin edilmektedir (Evans 2011). Buda gösteriyor ki önümüzdeki yıllarda IoT ile yaşadığımız şehirler, daha tempolu ve planlı yaşama ayak uyduran akıllı şehirler haline dönüşecektir (Zanella ve ark., 2014).

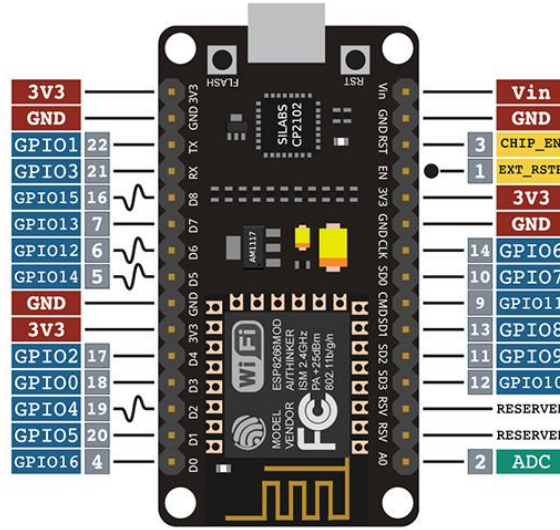
Bu çalışmada akıllı şehirlerin bir parçası olan akıllı tarım uygulamalarına bir örnek olarak, IoT tabanlı bir akıllı sulama sistemi önerilmiştir. Önerilen sistemin donanım kısmında, 32 bitlik işlemciye sahip WiFi modül içeren bir IoT denetleyicisi olan ESP8266-12E (NodeMCU), toprak nem sensörü, hava sıcaklığı ve nemini ölçen DHT22 dijital sensör kullanılmıştır. Yazılım kısmında, Blynk iOS/Android uygulama geliştirici ile android cihazlar için bir kullanıcı arayüzü oluşturulmuştur. Android arayüz akıllı sulama sistemi ile ilgili tüm sayısal verileri gerçek zamanlı olarak görüntüler ve Blynk Bulut alt yapısı sayesinde depolayabilir.

Önerilen bu akıllı sulama sistemi, toprak nem sensörü ile toprağın nem değerini sürekli takip ederek sulama zamanını ve toprağın ihtiyaç duyduğu su miktarını belirlemektedir. Sistem ayrıca hava şartlarını gözeterek yağış beklentisi durumunda sulama zamanını ötelemektedir. Hava sıcaklığının 4°C'nin altına düştüğü durumlarda don olayına karşı sulama periyodu sistem tarafından iptal edilmektedir. Tüm bu sensör verilerini kullanan akıllı sulama sistemi, insan müdahalesine ihtiyaç duymadan sulama işlemini gerçekleştirmekte, bunun yanında su ve elektrik tüketiminin maksimum düzeyde optimizasyonunu sağlamaktadır.

2. Materyal ve Metot

Akıllı sulama sistemi için, gömülü mimarisi ve WiFi modüle sahip NodeMCU mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Ortama ait sıcaklık ve nem bilgileri, DHT22 sıcaklık-nem sensörü tarafından alınmıştır. Toprağın su ihtiyacının belirlenmesinde en büyük parametre toprağın nem değeridir. Uygulamada toprak nem değerinin ölçülmesi için analog çıkışa sahip HL-69 toprak higrometre nem sensörü kullanılmıştır.

NodeMCU; dahili WiFi özelliğiyle modüler bir yapıya sahiptir. Programlanabilir özelliği sayesinde IOT uygulamalarını düşük maliyet ile gerçekleştirebilmektedir. Dijital Giriş/Çıkış birimleri, PWM çıkışları ve haberleşme desteği sunmaktadır. NodeMCU denetleyicisine ait pin yapısı Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. NodeMCU'nun pin yapısı.

NodeMCU, çok yaygın kullanımı olan, gömülü WiFi modüle sahip bir IoT denetleyicisidir. 160 MHz'de çalışan 32 bitlik bir RISC Tensilica LX106 mikrodenetleyicisi içerir. NodeMCU'yu programlayabilmek için C++ dili kullanılmıştır. NodeMCU mini USB portu sayesinde direk olarak programlanabilirken, Şekil 1'de NodeMCU 'ya ait pin yapısı ve, Tablo 1'de ise denetleyiciye ait teknik özellikler görülmektedir.

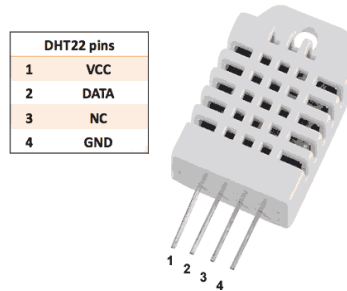
Tablo 1. NodeMCU'nun teknik özellikleri

Özellikler	Değer
MCU	32 bit Tensilica L106
İşlemci Frekansı	80/160 MHz
Input/Output	13xDIO
ADC Pin	1x10 bit (1V)
Çalışma Gerilimi	3.0~3.6V
Çalışma Akımı	12-200 mA
Program Hafızası	4MB
WiFi	IEEE 802.11 b/g/n
Sleep Mode Akım	<10uA
Standby Mode Akım	<10mA

NodeMCU denetleyicinin sahip olduğu ADC giriş pini 1V-10 bit dönüşüm yapabilmektedir. Sensör çıkışı maksimum değeri 5V olduğu için gerilim bölücü devre kullanılarak çıkış değeri 1V'a düşürülmüştür.

DHT-22, kapasitif nem ve termistör sıcaklık sensörü olmak üzere iki kısımdan meydana gelmektedir. DHT22 sıcaklık ve nem algılayıcı, kalibre edilmiş dijital sinyal çıkışı veren gelişmiş bir sensör birimidir. Üzerinde 8 bitlik mikrodenetleyici bulunmaktadır ve kısa tepki süresine sahiptir. Hassas bir kalibrasyona sahiptir ve kalibrasyon katsayısı OTP hafızada bir çeşit program üzerinde saklanmıştır.

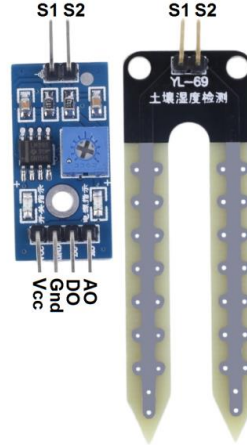
Ürün algılama sırasında hafızada saklı olan bu katsayıya başvurur. -40 ile 80°C arasında $\pm 0.5^\circ\text{C}$ hata payı ile sıcaklık, 0-100% RH arasında $\pm 2\%$ rH hata payı ile nem ölçümü yapabilmektedir. Modül üzerindeki MCU ile sıcaklık ve nem ölçen birim (AM2302) arasında iletişim, 1 hatlı bus ile sağlanır.



Şekil 2. DHT22 Sensörüne ait pin yapısı ve teknik özellikleri

MCU'ya iletilen data; 16 bitlik nisbi nem, 16 bitlik sıcaklık ve 8 bitlik sağlama değeri olmak üzere 40 bittendir. Vcc ile çıkış pini arasında 4.7K ile 10K arasında bir pull-up direncine ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 2'de DHT22 Sensörüne ait pin yapısı görülmektedir.

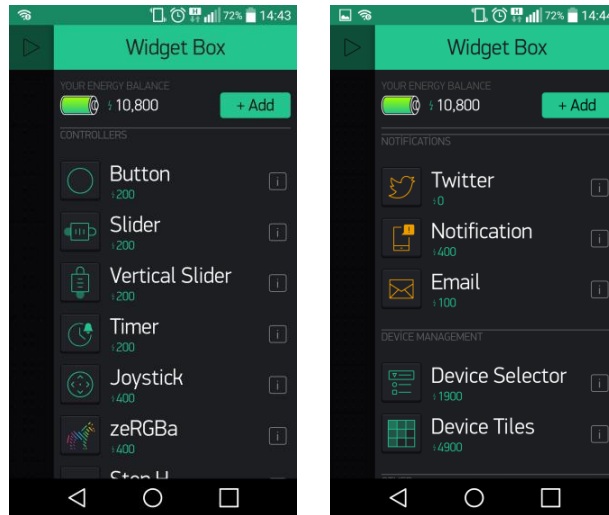
DHT22'den gelen nem ve sıcaklık bilgisini taşıyan sayısal sinyaller, mikrodenetleyiciler tarafından kolayca okunabilmektedir. Hem sıcaklık hem de nem değerini yüksek hassasiyetle ölçmesi sebebiyle akıllı ev otomasyonu uygulamaları başta olmak üzere birçok nem ve sıcaklık ölçüm temelli uygulamada sıklıkla kullanılmaktadır. HL-69 higrometre nem sensörü, üzerinde LM393 komparator bulunan yükselteç ve karşılaştırma devresi ile toprağın nem durumuna göre direnç değerini değiştiren algılayıcı devreden meydana gelmektedir. Toprağa yerleştirilen algılayıcı kısım, üzerinde bakır yollar bulunan basit bir yapıya sahiptir. Toprağın nem durumuna göre direnç değeri değişir ve bu değişim miktarı toprağın nem değerini verir. Yükselteç devre, algılayıcıdaki bu direnç değişimini gerilim değişimine dönüştürür. Böylelikle toprak nem miktarına bağlı doğrusal bir analog çıkış sinyali elde edilmiş olur.



Şekil 3. HL-69 Toprak Higrometre Nem Sensörü

Sensör ayrıca kartın üzerinde bulunan trimpot ile çıkış hassasiyeti ayarlanabilen bir de dijital çıkışa sahiptir. Bu çıkış istendiğinde herhangi bir denetleyiciye ihtiyaç duyulmadan ayarlanan bir nem değerinde sulama sistemini aktif hale getirebilmektedir. Akıllı sulama sistemi uygulamasında bu çıkış kullanılmamıştır. Şekil 3'de toprak nem sensörü ve devre kartı görülmektedir. Kart üzerinde bulunan S1-2 pinleri sensör girişi, Vcc-Gnd besleme, DO dijital çıkış ve AO analog çıkış uçlarıdır. Kartın besleme gerilimi 5V olup çıkışından nem değerine bağlı olarak 0-5V arasında analog çıkış vermektedir.

Blynk; Arduino, Raspery Pi, ESP32, NodeMCU gibi denetleyicilerin internet üzerinden kontrol edilmelerini sağlayan iOS ve Android uygulamaları için geliştirilmiş bir IoT platformdur.



Şekil 4. Blynk Arayüz geliştiriciye ait Widget Box'lar.

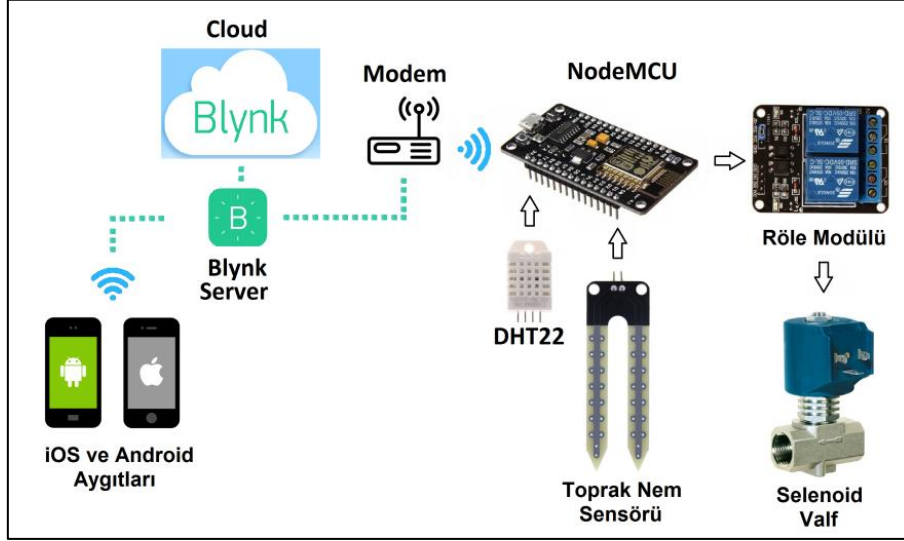
Bu platformda bulunan widgetleri kullanarak IoT projeleri için bir kullanıcı arabirimi geliştirilebilmektedir.

Şekil 4'de Blynk'e ait bazı widget box'lar görülmektedir. Bu widget'lerin bazıları timer, display, joystick, gauge, e-mail, twitter, GPS'dir. Blynk, Arduino, chipKIT, ESP, Intel, LeMarker, Onion Omega, Raspery Pi, SparkFun, STM32 gibi farklı bir çok denetleyici ile uyumludur.

Bunlardan ESP32 gibi bluetooth özelliğine sahip denetleyicilerin bu özellikleri kullanılarak çevrim içi düşük enerji tüketerek kapalı devre iletişim sağlanabilmektedir. Tüm bu özellikleri sayesinde Blynk; IoT geliştiricileri için düşük ücretli çözümler sunmakta ve bu kullanıcılar aynı zamanda bulut hizmetinden de yararlanabilmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Akıllı sulama için gerçekleştirilen sistemin genel yapısı Şekil 5'de görülmektedir. Sistem genel olarak sırasıyla; 32 bitlik dahili WiFi modüllü NodeMCU denetleyicisi, DHT22 sıcaklık-nem sensörü, HL-69 higrometre nem sensörü, denetleyicinin çıkış pini üzerinden selenoid vanaların kontrolünü sağlayan röle modülü, "Akıllı Sulama" Android kullanıcı arayüzü, Blynk server ve Blynk Bulut sisteminden oluşmaktadır.

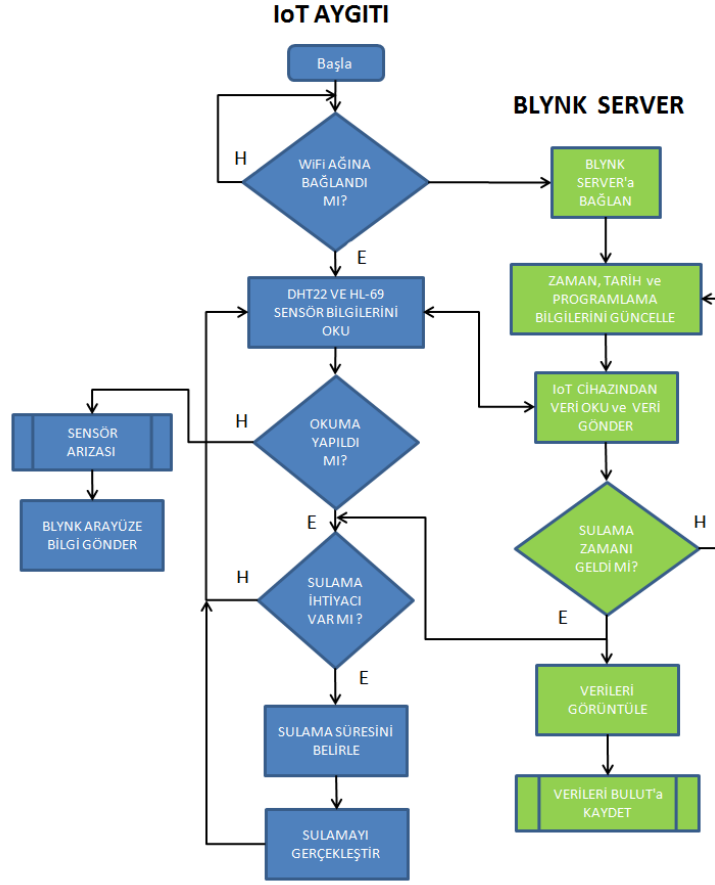


Şekil 5. Android tabanlı akıllı sulama sistemin yapısı.

NodeMCU denetleyicisi için sistem gereksinimlerini karşılayacak kod C++ dili kullanılarak Arduino IDE editöründe yazılmıştır. NodeMCU, DHT22'den ve HL-69 higrometre nem sensöründen aldığı sıcaklık ve nem değerlerini her 5sn'de Blynk server'a göndermektedir. Blynk uygulamasında, display, terminal gibi widgetler ile 10 bitlik veri transferi sağlayan 128 adet sanal pin bulunmaktadır. DHT22 ve HL-69 higrometre nem sensörlerinden alınan verilerin NodeMCU üzerinden Blynk server'a gönderilmesine ait kod bölümü Şekil 6'da görülmektedir. Burada V3, V5 ve V7 sanal pinleri PR1, PR2 ve PR3 zaman programına ait durum ledlerini kontrol etmektedir. Aktif programı gösteren led için sanal pinler üzerinden 1023 bilgisi gönderilerek uygulama üzerinde ledin yeşil renkte yanması sağlanmaktadır. V11 pini, sulama sisteminin manuel olarak çalıştırıldığı durumda sistemin çalışma bilgisini Blynk uygulamasına gönderir. V0 toprak nemini, V8 havanın nemini, V9 hava sıcaklığını, V12 su tüketim miktarını ve V13 elektrik tüketimini Blynk uygulamasına aktaran sanal pinlerdir.

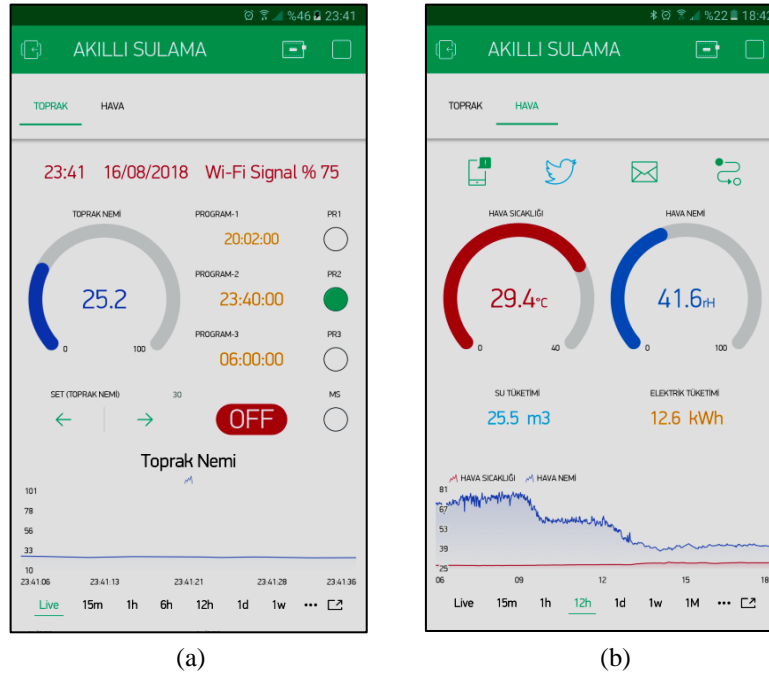
```
116 void virtual_send()
117 {
118     Blynk.virtualWrite(V3, prg1);
119     Blynk.virtualWrite(V5, prg2);
120     Blynk.virtualWrite(V7, prg3);
121     Blynk.virtualWrite(V11, manuel);
122     Blynk.virtualWrite(V0, t_nem);
123     Blynk.virtualWrite(V8, h);
124     Blynk.virtualWrite(V9, t);
125     Blynk.virtualWrite(V12, su_tuk);
126     Blynk.virtualWrite(V13, elk_tuk);
127 }
```

Şekil 6. Sayısal değerlerin Blynk uygulamasına sanal pinler üzerinden gönderilmesine ait kod bölümü.



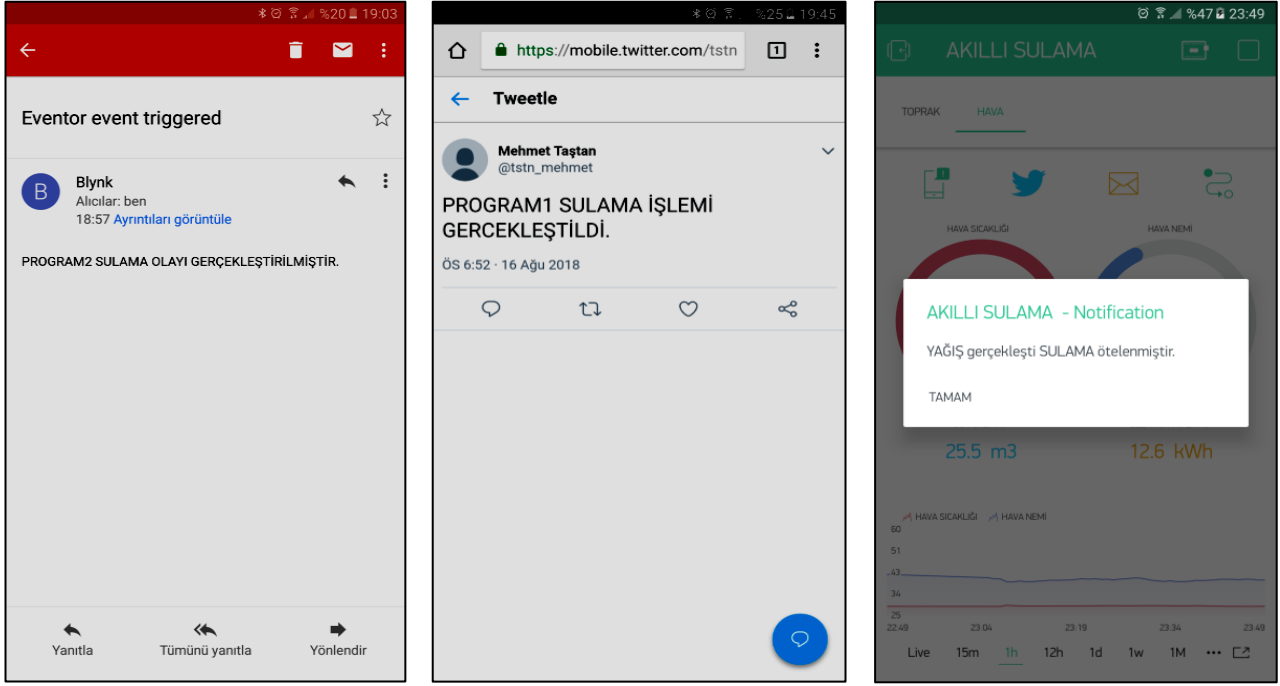
Şekil 7. "AKILLI SULAMA" sistemine ait akış diyagramı.

Şekil 7'da "Akıllı Sulama" sistemine ait akış diyagramını görülmektedir. "Akıllı Sulama" arayüzü Blynk serverdan belirli aralıklarla sistemle ilgili sayısal bilgileri almaktadır. Şekil 8'de "AKILLI SULAMA" kullanıcı arayüzüne ait uygulama pencereleri görülmektedir. Şekil 8a'daki pencerede toprak nem sensöründen alınan veriler, zaman program ayarları, manuel çalıştırma butonu, toprak nemi alt değeri, tarih-saat bilgileri, WiFi sinyal seviyesi ve nem-zaman grafiği görülmektedir. Şekil 8b'deki kullanıcı penceresinde twitter ve e-mail bildirim witgetleri, hava sıcaklığı-nemi, su ve elektrik tüketimi bilgileri görüntülenmektedir.



Şekil 8. "AKILLI SULAMA" arayüzüne ait pencereler a) Toprak ölçümü b) Hava Ölçümü verileri.

Sulama işlemi için 3 ayrı programlama seçeneği bulunmaktadır. Bu seçenekler için ayrı ayrı başlatma ve durdurma zamanları ayarlanabilmektedir. Programlanan zaman dilimi aktif olduğunda toprak nemi ayarlanan limit değerinin altında ise ve yağış yoksa bu durumda sulama işlemi ayarlanan süre kadar yapılır.



Şekil 9. "AKILLI SULAMA" arayüze ait, a) e-mail bildirim , b) twitter bildirim i c) uygulama bildirimi.

DHT22 sensörü verilerine göre denetleyici yağış tahmininde bulunursa bu durumda sulama işlemi iptal edilerek bir sonraki programın aktif olması beklenir. Şekil 9'de görüldüğü gibi uygulama belirlenen e-mail veya twitter hesaplarına bildirim gönderebilmektedir. Şekil 9a'da Program-2 'nin aktif olduğunu ve sulama işleminin tamamlandığını gösteren bir e-mail bildirim, Şekil 9b'de program-1'deki sulama işleminin gerçekleştiğini ifade eden bir twitter bildirim Şekil 9c'de bir yağışın gerçekleştiğini ve sulama işleminin ötelenmesini ifade eden uygulama ekranı üzerinden kullanıcıya aktarılan bildirim görülmektedir. Yağış gerçekleştiğinde toprak nemindeki artış en yakın sulama zamanının ötelenmesine neden olmaktadır. Bu şekilde toprağın aşırı sulanmasının önüne geçilerek gereksiz su teketimide engellenmiş olmaktadır. Sulama periyotları suyun buharlaşmasının minimum değerde tutulması için özellikle gece saatlerinde olacak şekilde seçilmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

İnternet teknolojisi üzerinden birçok hizmetin verildiği günümüzde, bu altyapıyı kullanan uygulamaların sayısı sürekli olarak artmaktadır. İnsanların artarak devam eden konfor düşkünlüğü, kendi işini yapabilen akıllı ve otonom cihazlara olan talebin de sürekli artmasına neden olmaktadır. Artık internet; sosyal medya araçları, e-ticaret platformu, haber kaynağı gibi fonksiyonlarının yanında, bize çok farklı imkânlar sunarak gelecekle ilgili beklentilerimizi de sürekli olarak değiştirmektedir. Hayatımızda yeni bir dönem başlatan IoT kavramı, her geçen gün genişleyerek farklı sektör ve uygulamaları bünyesine dâhil etmektedir.

Bu çalışmada dahili WiFi modüle sahip NodeMCU denetleyicisi kullanılarak bir akıllı bahçe sulama sistemi gerçekleştirilmiştir. Havanın sıcaklık ve nem değeri ile beraber toprak nem değerinde ölçüldüğü bu sulama sisteminde ideal bir sulama periyodu ve sulama süresi hedeflenmiştir. Blynk platformuyla gerçekleştirilen android tabanlı kullanıcı arayüzü sayesinde akıllı sulama sisteminin internet üzerinden kontrolü ve izlenmesi sağlanmıştır. Bu arayüz sisteme ait nem ve sıcaklık verilerini bulut üzerinden sürekli kayıt altına almaktadır. Elde edilen bu verilerin saatlik ve günlük değişimleri dikkate alınarak ideal sulama süresi ve sulama periyodu elde edilmiştir. Bu sulama sistemi sulama işlemini toprağın suya ihtiyaç duyduğu zamanlarda ve ihtiyacı kadar su vererek hem su hemde elektrik enerjisi tasarrufu sağlamaktadır. Sistem temelde toprağın nem değerini dikkate aldığı için yağış durumlarında gereksiz sulama işleminin önüne geçilmektedir. Düşük maliyetli, hızlı ve güvenilir bir çözüm üretilen bu örnek akıllı bahçe sulama sistemi, daha büyük ölçekli sulama alanlarına uygulanarak önemli kıt kaynaklarımız arasında olan suyun maksimum verimde kullanılmasına imkan sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Adeloye, A. J., Rustum, R., & Kariyama, I. D. (2012). Neural computing modeling of the reference crop evapotranspiration. *Environmental Modelling & Software*, 29(1), 61-73.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56*. Fao, Rome, 300(9), D05109.

- Ashton, K. (2009). That 'internet of things' thing. *RFID journal*, 22(7), 97-114.
- Cardenas-Lailhacar, B., Dukes, M. D. (2010). Precision of soil moisture sensor irrigation controllers under field conditions. *Agricultural Water Management*, 97(5), 666-672.
- Evans, Dave. "The internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything." CISCO white paper 1.2011 (2011): 1-11.
- Giusti, E., Marsili-Libelli, S., 2015. A fuzzy decision support system for irrigation and water conservation in agriculture. *Environ. Model. Softw.* 63, 73–86.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29(7), 1645-1660.
- Kamienski, C., Soininen, J. P., Taumberger, M., Dantas, R., Toscano, A., Salmon Cinotti, T., ... & Torre Neto, A. (2019). Smart Water Management Platform: IoT-Based Precision Irrigation for Agriculture. *Sensors*, 19(2), 276.
- Koubachi Company. , "The Plant Sensor for your Home and Garden", April 2015.
- Lichtenberg, E., Majsztrik, J., & Saavoss, M. (2013). Profitability of sensor-based irrigation in greenhouse and nursery crops. *HortTechnology*, 23(6), 770-774.
- Majsztrik, J. C., Price, E. W., & King, D. M. (2013). Environmental benefits of wireless sensor-based irrigation networks: Case-study projections and potential adoption rates. *HortTechnology*, 23(6), 783-793.
- Parameswaran, G., & Sivaprasath, K. (2016). Arduino Based Smart Drip Irrigation System Using Internet of Things. *Int. J. Eng. Sci.*, 5518.
- Sertyeşilşik, E. (2017). Türkiye'nin Su Kaynaklarının Ekonomi Politikği Üzerine Bir İnceleme. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 10(1), 28-30.
- Soulis, K. X., Elmaloglou, S., & Dercas, N. (2015). Investigating the effects of soil moisture sensors positioning and accuracy on soil moisture based drip irrigation scheduling systems. *Agricultural Water Management*, 148, 258-268.
- Xiao, K., Xiao, D., & Luo, X. (2010). Smart water-saving irrigation system in precision agriculture based on wireless sensor network. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 26(11), 170-175.
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things journal*, 1(1), 22-32.



Review on the Social, Collective and National Identity Areas of Third Generation Turkish Young Adults Living in Germany

Adnan Kulaksızoğlu^{1*}, Besra Taş²

¹ Biruni Üniversitesi, Faculty of Education, Psychological Counseling and Guidance Department, Istanbul/Turkey (ORCID: 0000-0001-9620-0856)

² İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Faculty of Education, Psychological Counseling and Guidance Department, Istanbul/Turkey (ORCID: 0000-0002-1273-4429)

(First received 26 August 2018 and in final form 4 March 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.535156)

ATIF/REFERENCE: Kulaksizoglu, A. & Tas, B. (2019). Review on the Social, Collective and National Identity Areas of Third Generation Turkish Young Adults Living in Germany. *European Journal of Science and Technology*, (15), 237-251.

Abstract

It is stated that the largest portion of immigrant origin living in Germany consists of people of Turkish origin. It is mentioned that Germany has a population of 82.4 million in 2016. Of these, 18.6 million are of immigrant origin. Migrants from Turkey are 2.8 million. These constitute 3.4 percent of the general population. Turkish people living in Germany, while maintaining their religious, national and ethnic identities on the one hand, form collective identities on the other. Immigrants who want to adapt to Germany among the Turkish people living in Germany aim to develop a collective identity in order to adapt more easily. Turkish people who live in Germany or come to Turkey as workers shows much difference in terms of culture, value and religion compared to the individuals who live in Turkey. This is because they are immigrants. As a result of the study, it is seen that there is a significant difference between the gender variable and the scale total score and the collective sub-dimension. Nevertheless, when the question "What are the problems of citizens of Turkish origin living in Germany?" is asked, the answers related exclusion, discrimination and cultural differences are collected. When the most suitable nationality is asked to the participants, all participants answered as "I am Turkish." Nonetheless, it is seen that the participants with German citizenship, Turkish citizenship and Turkish and German citizenship are involved. Therefore, it is possible to suggest that the participants' citizenship status has not changed their answer regarding the most suitable nationality.

Keywords: National Identity, Third Generation, Turkish Young Adults, Germany.

* Corresponding Author: Biruni University, Faculty of Education, Psychological Counseling and Guidance Department, Istanbul/Turkey, ORCID: 0000-0001-9620-0856, akulaksizoglu@biruni.edu.tr

1. Introduction

Turkish people started to come to Germany as workers in 1960s. Since then, the Turkish population in Germany has been in a continuous increase. In 2002, Germany had a population of 82 million, and the population of Turkish people there had reached 2.5 million, including 500,000 Turkish, who were German citizens until 2002. 32% of Turks in Germany are under 18 years old and 71% are under 35 years old. Most Turkish youth living in Germany in 2000s are born in Germany (Goldenberg, 2000:9).

It is stated that Germany's population will be 82.4 million in 2016. Of these, 18.6 million are of immigrant origin. 9.6 million of immigrant individuals have German citizenship. The oldest of the foreigners of immigrant origin are of Turkish descent. Migrants from Turkey are 2.8 million. These constitute 3.4 percent of the general population.

In the second place, there are 1.9 million immigrants from Poland. The reasons why the Polish people come to Germany are different. It is stated that these reasons are mostly asylum, defection, family, education and work. (Schu, 2017).

Whether they are German citizens or not, Turkish people living in Germany have difficulty because they do not know the language of the country they live in sufficiently or they are unemployed, they have economic troubles or they cannot adapt to the German society for one reason or another. Another reason why individuals, especially young people, have problems is their parents' attitudes towards them. In traditional Turkish society, strong parent-child relationships are very common in the family. In the study regarding the relationships between the attitude and problems of parents, Kulaksızoğlu (2002/2003) revealed that 71% of third generation Turkish young adults state that they miss their relatives in Turkey even though 83% of them were born in Germany. This shows that the family ties and kinship relations of Turkish society are strong.

43.3% of participants stated that they are afraid of sexual diseases. Germany, which experienced a more open and comfortable relationship of girls and boys than Turkey, is a country of young people begin sexual activity at an early age. The increasing prevalence of sexually transmitted diseases and the lack of treatment of certain diseases frighten young people who have active sexual life.

Öztunç, Bilge and Bilge (2015) found that there is a difference in gender and income level variables in terms of personality disorders in their study on whether there is a difference between the interaction of gender, income level and personality disorders.

In some Turkish families in Germany, parents may show excessive protection or pressure and control over the child. Researches that study parent-child relationship between child rearing attitudes and children's responses have focused on two different parental attitudes: democratic attitude and authoritarian attitude.

Parents who demonstrate democratic attitudes towards children recognize and value them as separate individuals and encourage an independent personality development. Parents who behave in a democratic way respect the child as a person and pave the way for appropriate behavior according to the level of development. The child is granted equal rights within the family. The child's needs are met and unrequited love is shown. Parents who behave democratically use their reward and punishment in an intelligent way to control their children's behaviors and have healthy expectations about their behavior (Sprinshall ve Collins, 1884:218).

Parents who have authoritarian attitude set standards for their child's behavior. He believes that the words of parents should be accepted as truth. In authoritarian families, the parent is strict, rigorous and controlled. Children are taught to be respectful to authority (Sprinshall and Collins, 1984:217). Children who grow up with authoritarian attitudes are children who do not think flexibly and behave in an emotional way. This structure of thinking alienates the person to his/her environment and those who grow up with an authoritarian attitude are more likely to get along well with those who think like themselves (Daresh, 1978:479).

It is widespread that the Turkish population's personality disorders can be explained by demographic characteristics that people have.

It is a matter of curiosity as to how the attitudes of child-rearing are in Turkish families living in Germany, whether their attitudes change with their stay in Germany or with their parents' education.

1.1. Identities of Turkish Immigrants Living in Germany

Definition of immigrant in Germany include "Migranten" (Immigrant), "Zuwanderer" (A resident from a different area), "Person mit Zuwanderungsgeschichte" (A resident with history) and "Person mit Migrationshintergrund" (A person with immigration history) in the federal departments. Individuals with a migrant background are defined as people who have an immigrant history and whose parent settles in Germany after 1949 and people who are raised or born in Germany (Interkultur, 2011). Turkish people living in Germany, while maintaining their religious, national and ethnic identities on the one hand, form collective identities on the other. Immigrants who want to adapt to Germany among the Turkish people living in Germany aim to develop a collective identity in order to adapt more easily. The collective identity means to carry an individual's own identity and to develop an identity which belongs to the society he/she lives in. Turkish people who live in Germany or come to Turkey as workers shows much difference in terms of culture, value and religion compared to the individuals who live in Turkey. This is because they are immigrants. Sackmann, Schultz, Prümm, Peters (2005) state that immigrants are classified into their roots and nationalities, while explaining the collective identities of immigrants. This leads to the immigrants defining themselves and "self-reflection" occurs. However, collective identity is not only due to immigration process. What is decisive for the self-definition of immigrants is their self-positioning in the new society. Collective identity is the goal of immigrants to integrate themselves with the new society as well as to preserve their national roots. Furthermore, the formation of collective identity differs from ethnic, religious and national identity (Quoted by Akkaş, 2009/2010, p. 113f).

1.2. Purpose of the Study

This study aims to examine the personal, social, collective and national identity fields of third generation Turkish young adults living in Germany and mostly in the ages of 15-30.

2. Method

2.1. Research Methodology

This study aims to examine the personal, social, collective and national identity areas of Turkish people living in Germany. In this study, the screening model is based on quantitative research methods. Screening models are studies of a whole group of the universe or a group or sample taken from this universe in order to reach a general opinion about the universe in a phase consisting of a large number of elements (Karasar, 2015). The research has a quantitative methodology because numerical data is obtained as the result of the scale used in the research.

2.2. Data Collection Tool

In the study, Personal Information Sheet and an Individual Identity Scale are applied on the participants. 21 questions are asked on the personal information form. Personal information form questions are prepared by the authors.

Individual Identity Scale:

Identity Questionnaire, from which the scale questions applied are adapted and prepared by Cheek ve Tropp (1995), is translated to Turkish by Çoşkun (2004).

2.3. Data Analysis

When the scale data are analyzed, the SPSS 23.0 package program is used. According to the analysis results, tables are created. Comments are made using the data in the tables.

It is analyzed whether the data obtained in the study are normally distributed and it is seen that the data have normal distribution when the p value is greater than .05. Variance analysis and correlations or T-tests are prepared and applied according to the level of variables with descriptive analysis.

3. Findings

Table 1. Participants' Demographic Data

Group	Variable	N	f (%)
Gender	Male	106	63,9
	Female	60	36,1
Marital Status	Married	49	29,5
	Single	101	60,8
	Divorced	16	9,6
Education Status	Illiterate	0	0
	Primary School	0	0
	Middle School	0	0
	High School	4	2,4
	College	50	30,1
	University	61	36,7
Receiving Education in Germany	Master/Doctorate	51	30,7
	Yes	93	56,0
Do you have a job?	No	73	44,0
	Yes	84	50,6
Occupational Certificate Status	No	82	49,4
	Yes	73	44,0
Vocational Learning Course/School Completion	No	93	56,0
	Yes	94	56,6
Working Status	No	72	43,4
	Yes	86	51,8
Citizenship	No	80	48,2
	I am a German citizen	57	34,3
	I am a Turkish citizen	58	34,9

	German and Turkish citizen	51	30,7
Generation Living in Germany	First Generation	0	0
	Second Generation	79	47,6
	Third Generation	87	52,4
Knowledge of German	Very Good	51	30,7
	Good	52	31,3
	Intermediate	63	38,0
	Poor	0	0
Knowledge of Turkish	Very Good	66	39,8
	Good	53	31,9
	Intermediate	47	28,3
	Poor	0	0
Frequency of Visiting Turkey	Every year	78	47,0
	Every 2-3 years	86	51,8
	Every 4-5 years	2	1,2
The Most Appropriate Expression to You	I am Turkish	166	100
	I am German of Turkish origin	0	0
	I am German	0	0
Father's Educational Status	Illiterate	29	17,5
	Primary School	25	15,1
	Middle School	22	13,3
	High School	20	12,0
	College	34	20,5
	University	36	21,7
Mother's Educational Status	Illiterate	46	27,7
	Primary School	37	22,3
	Middle School	41	24,7
	High School	42	25,3
	College	0	0
	University	0	0
Family Income Level	Poor	0	0
	Lower Middle Income	2	1,2
	Middle Income	82	49,4
	Upper Middle Income	82	49,4
	Rich	0	0
TOTAL		166	100

When Table 1 is examined, the findings of individual personal data are listed as follows:

- ✓ 63.9% (106) of the participants are male while 36.1% (60) are female.
- ✓ 29,5% (49) of the participants are married, 60,8% (101) are single and 9,6% (16) are divorced.
- ✓ When the participants' educational status is observed, it is seen that 2.4% (4) are high school graduates, 30.1% (50) are college graduates, 36.7% (61) are university graduates and 30.7% (51) are master/doctorate graduates.
- ✓ 56% of the participants studied in Germany while the others did not.
- ✓ 50.6% of the participants have a profession while the others do not have a profession.
- ✓ 56% of the participants do not have an occupational certificate while the others have a certificate.
- ✓ 56,6% of the participants have finished a course/school for vocational learning course/school while the others have not.
- ✓ 51,8% of the participants work while the others do not.
- ✓ It is seen that 34,3% (57) of the participants are German citizens, 34,9% (59) are Turkish citizens and 30,7% (51) are both German and Turkish citizens.
- ✓ The rate of participants who state that they are the second generation living in Germany is 47,6% (79) and the rate of those who say that they are the third generation is 52,4% (87).
- ✓ 30.3% of the participants state that their German is very good, 31.3% state that their German is good and 38% state that their German is intermediate.

- ✓ 39,8% of the participants state that their Turkish is very good, 31,9% state that their Turkish is good and 28,3% state that their Turkish is intermediate.
- ✓ 47% of the participants state that they go to Turkey every year, 51,8% state that they go to Turkey every 2-3 years and 1,2% state that they go to Turkey every 3-5 years.
- ✓ All of the participants state that the expression of “I am Turkish” is suitable for them.
- ✓ It is stated that 17.5% of the participants' fathers are not literate, 15.1% are primary school graduates, 13.3% are middle school graduates, 12% are high school graduates and 20.5% are college graduates and 21,7% of them have university/masters/doctoral education.
- ✓ It is seen that 27.7% of the participants' mothers are not literate, 22.3% are primary school graduates, 24.7% are middle school graduates and 25.3% have high school education.
- ✓ The income level of the participants' families perceived as 1.2% of middle income, 49.4% of middle income and 49.4% of income level. The income level perceived by the participants' families are lower middle income for 1,2%, middle income for 49,4% and upper middle income for 49,4%.

Table 2. Scale Total Score and t Test Table between Sub-Dimensions and Gender

Dimensions	Gender	N	\bar{X}	ss	t	Sd	p
Personal	Male	106	28,7170	5,04976	-2,889	164	,004
	Female	60	30,9500	4,27220			
Social	Male	106	20,6698	3,32586	-2,050	164	,042
	Female	60	21,8667	4,07750			
Collective	Male	106	23,6792	4,43266	-1,178	164	,240
	Female	60	24,5000	4,08594			
Total Scale Score	Male	106	103,0377	8,25305	-3,329	164	,001
	Female	60	107,5167	8,46026			

In Table 2, gender and scale total scores are checked by t test analysis to see whether there is a significant difference between personal, social and collective sub-dimensions. Furthermore, the homogeneity of group variances is controlled by the Test of Homogeneity of Variances test and it is seen that the groups are homogeneously distributed ($SH > .05$). Table 2 shows that there is a significant difference between personal and social sub-dimensions regarding gender and scale total scores and sub-dimensions ($p < .05$). Nevertheless, there is no significant difference between gender and scale total score and collective sub-dimension score ($p > .05$). It is possible to state that the significant difference is favorable to women as a result of studying the mean scores (\bar{X}). This data shows that the genders of the participants differentiate the scale total score and the collective sub-dimension score as a factor, but not the personal and social sub-dimension scores.

Table 3. Correlation Analysis Table between Age of Individuals and Scale Total Score

	Age of the Individual	Total Points	Personal	Social	Collective
Age of the Individual	1	,122	,038	,034	,093
		,118	,626	,661	,233
	166	166	166	166	166
Total Score	,122	1	,550	,469	,563
	,118		,000	,000	,000
	166	166	166	166	166
Personal	,038	,550	1	-,011	,020
	,626	,000		,886	,803

	166	166	166	166	166
Social	,034	,469	-,011	1	,069
	,661	,000	,886		,374
	166	166	166	166	166
Collective	,093	,563	,020	,069	1
	,233	,000	,803	,374	
	166	166	166	166	166

**Correlation value is at 0.01 level.

The relationship between the age of the individual and the scale total score was reviewed by Pearson Correlation analysis. Relationship level interpretation in Pearson correlation (r) analysis is carried out as follows;

- ✓ r= 0,00 – 0,25 very poor,
- ✓ r= 0,26 – 0,49 poor,
- ✓ r= 0,50 – 0,69 medium,
- ✓ r= 0,70 – 0,89 high and
- ✓ r= 0,90 – 1,00 very high (Büyüköztürk vd., 2009).

When the Table 3 is reviewed, it is seen that there is a very poor and positive (r=,122: p>0,05) relationship between the age of the individual and scale total score and sub-dimensions.

Table 4. ANOVA Test Table between Marital Status and Scale Total Score and Sub-Dimensions

Dimensions	Marital Status	N	KT	Sd	KO	F	P	Significant Difference
Personal	Married	49	2,822	2	1,411	,058	,943	-
	Single	101	3942,582	163	24,188			
	Divorced	16	3945,404	165				
Social	Married	49	30,053	2	15,027	1,130	,325	-
	Single	101	2167,206	163	13,296			
	Divorced	16	2197,259	165				
Collective	Married	49	21,967	2	10,984	,587	,557	-
	Single	101	3051,936	163	18,724			
	Divorced	16	3073,904	165				
Total Scale	Married	49	196,773	2	98,386	1,342	,264	-
	Single	101	11946,655	163	73,292			
	Divorced	16	12143,428	165				

In Table 4, ANOVA analysis is used to check whether there is a significant difference between marital status and scale total scores, personal, social and collective sub-dimensions. Furthermore, homogeneous distributions of the groups controlled by the Test of Homogeneity of Variance test, in which group variances are homogeneously distributed (SH>,05). When Table 4 is reviewed, it is found that there is no significant difference between marital status and scale total scores and sub-dimensions (p>0,05). This data can be interpreted as indicating that the marital status of the participants does not significantly change the scale total scores, personal, social and collective sub-dimension scores.

Table 5. ANOVA Test Table between Educational Status and Scale Total Score and Sub-Dimensions

Dimensions	Educational Status	N	KT	Sd	KO	F	p	Significant Difference
Personal	High School	4	38,085	3	12,695	,526	,665	-
	College	50	3907,318	162	24,119			
	University	61	3945,404	165				
	Master/Doctorate	51						
Social	High School	4	21,444	3	7,148	,532	,661	-
	College	50	2175,815	162	13,431			
	University	61	2197,259	165				
	Master/Doctorate	51						
Collective	High School	4	91,564	3	30,521	1,658	,178	-
	College	50	2982,340	162	18,410			
	University	61	3073,904	165				
	Master/Doctorate	51						
Total Scale Score	High School	4	384,310	3	128,10	1,765	,156	-
	College	50	11759,11	162	72,587			
	University	61	12143,42	165				
	Master/Doctorate	51						

In Table 5, ANOVA analysis is used to check whether there is a significant difference between education status and scale total scores, personal, social and collective sub-dimensions. Furthermore, homogeneous distributions of the groups controlled by the Test of Homogeneity of Variance test, in which group variances are homogeneously distributed ($SH > .05$). When Table 5 is reviewed, it is seen that there is no significant difference between educational status and scale total scores and sub-dimensions ($p > .05$). Participants' educational status and scale total scores and personal, social and collective sub-dimensions are similar to each other and participants in married, single or divorced groups gave similar answers.

Table 6. t Test Tables Between Scale Total Score and Sub-Dimensions and Educational Status in Germany

Dimensions	Educational status in Germany	N	\bar{X}	ss	t	Sd	p
Personal	Yes	93	29,6774	5,06943	,455	164	,650
	No	73	29,3288				
Social	Yes	93	20,9892	3,55850	-,450	164	,653
	No	73	21,2466	3,78146			
Collective	Yes	93	24,1290	4,33696	,515	164	,607
	No	73	23,7808	4,31163			
Total Scale Score	Yes	93	104,7204	7,93912	,108	164	,914
	No	73	104,5753	9,38663			

In Table 6, it is checked by t test analysis whether there is a significant difference between the educational status in Germany and scale total scores, personal, social and collective sub-dimensions. Furthermore, homogeneous distributions of the groups controlled by the Test of Homogeneity of Variance test, in which group variances are homogeneously distributed ($SH > .05$). When Table 6 is reviewed, it is seen that there is no meaningful difference between the educational status in Germany and the scale total scores and sub-dimensions ($p > .05$). The data can be interpreted as the total score of the identity scale and the scores of personal, social and collective sub-dimensions do not vary in the case of receiving or not receiving education in Germany and the answers are similar.

Table 7. t Test Score between Scale Total Score and Sub-Dimensions and Occupational Status

Dimensions	Occupational Status	N	\bar{X}	ss	t	Sd	p
Personal	Yes	84	29,5833	5,00652	,158	164	,875
	No	82	29,4634	4,79762			
Social	Yes	84	21,2143	3,59408	,399	164	,691
	No	82	20,9878	3,72345			
Collective	Yes	84	24,1905	4,54821	,647	164	,518
	No	82	23,7561	4,08116			
Total Scale Score	Yes	84	105,1548	8,33702	,756	164	,451
	No	82	104,1463	8,84171			

In Table 7, it is checked by t test analysis whether there is a significant difference between occupational status and scale total scores, personal, social and collective sub-dimensions. Furthermore, homogeneous distributions of the groups controlled by the Test of Homogeneity of Variance test, in which group variances are homogeneously distributed ($SH>,05$). When Table 7 is examined, it is seen that there is no significant difference between occupational status and scale total scores and sub-dimensions ($p>0,05$). Participants with and without profession can be interpreted as having answers that are similar to scale questions and their scores are similar to each other.

Table 8. t Test Table Between Scale Total Score and Sub-Dimensions and Having a Vocational Certificate

Dimensions	Having a Vocational Certificate	N	\bar{X}	ss	t	Sd	p
Personal	Yes	73	30,1781	5,23435	1,533	164	,127
	No	93	29,0108	4,56474	1,508	143,578	,134
Social	Yes	73	20,6438	3,57215	-1,439	164	,152
	No	93	21,4624	3,68770	-1,445	156,912	,151
Collective	Yes	73	24,1370	4,34075	,425	164	,671
	No	93	23,8495	4,31616	,425	154,361	,672
Total Scale Score	Yes	73	104,6986	8,46510	,056	164	,956
	No	93	104,6237	8,71270			

In Table 8, the presence of a vocational certificate and the scale total scores are checked by t test analysis to see whether there is a significant difference between personal, social and collective sub-dimensions. Furthermore, homogeneous distributions of the groups controlled by the Test of Homogeneity of Variance test, in which group variances are homogeneously distributed ($SH>,05$). When Table 8 is reviewed, it is seen that there is no significant difference between scale status scores and sub-dimensions when there is a vocational certificate ($p>0,05$). This data can be interpreted as the fact that whether the participants have a vocational certificate or not does not differentiate the answers to the questions on the identity scale.

Table 9. t Test Score between Course/School Completion Status to Learn Profession and Scale Total Score and Sub-Dimension

Dimension s	Course/School Completion Status to Learn Profession	N	\bar{X}	ss	t	Sd	p
Personal	Yes	94	29,6277	4,94917	,311	164	,756
	No	72	29,3889	4,84275			
Social	Yes	94	21,1064	3,55742	,016	164	,987
	No	72	21,0972	3,79087			
Collective	Yes	94	23,5745	4,02543	-1,373	164	,172
	No	72	24,5000	4,64515			
Total Scale Score	Yes	94	104,3723	8,71531	-,487	164	,627
	No	72	105,0278	8,44364			

In Table 9, it is checked by t-test analysis whether there is a significant difference between the course/school completion to learn profession status and scale total scores, personal, social and collective sub-dimensions. Furthermore, homogeneous distributions of the groups controlled by the Test of Homogeneity of Variance test, in which group variances are homogeneously distributed ($SH > ,05$). When Table 9 is reviewed, it was found that there is no significant difference between the course/school completion status to learn profession and scale total scores and sub-dimensions ($p > 0,05$). It is possible to interpret that for the participants to complete their course/school to learn profession does not differentiate in a way to cause a significant change in the answers to the questions on the identity scale.

Table 10. t Test Table between Scale Total Score and Sub-Dimensions and Employment Status

Dimensions	Employment Status	N	\bar{X}	ss	t	Sd	p
Personal	Yes	86	30,0465	4,97028	1,432	164	,154
	No	80	28,9625	4,76921			
Social	Yes	86	20,9419	3,73018	-,587	164	,558
	No	80	21,2750	3,57550			
Collective	Yes	86	24,0233	4,35208	,146	164	,884
	No	80	23,9250	4,30418			
Total Scale Score	Yes	86	105,5233	8,11640	1,353	164	,178
	No	80	103,7250	9,00770			

In Table 10, t test analysis is used to check whether there is a significant difference between the employment status and scale total scores, personal, social and collective sub-dimensions. Furthermore, homogeneous distributions of the groups controlled by the Test of Homogeneity of Variance test, in which group variances are homogeneously distributed ($SH > ,05$). When Table 10 is reviewed, it is seen that there is no significant difference between the employment status and scale total scores and sub-dimensions ($p > 0,05$). This data can be expressed as there is no significant difference between the scores regarding whether the participants work or not.

Table 11. ANOVA Test Table between Citizenship Status and Scale Total Score and Sub-Dimensions

Dimensions	Citizenship Status	N	KT	Sd	KO	F	p	Significant Difference
Personal	German citizen	57	3,807	2	1,904	,079	,924	-
	Turkish citizen	58	3941,596	163	24,182			
	German and Turkish citizen	51	3945,404	165				
Social	German citizen	57	55,394	2	27,697	2,108	,125	-
	Turkish citizen	58	2141,866	163	13,140			
	German and Turkish citizen	51	2197,259	165				
Collective	German citizen	57	72,460	2	36,230	1,968	,143	-
	Turkish citizen	58	3001,444	163	18,414			
	German and Turkish citizen	51	3073,904	165				
Total Scale	German citizen	57	253,288	2	126,644	1,736	,179	-
	Turkish citizen	58	11890,140	163	72,946			
	German and Turkish citizen	51	12143,428	165				

In Table 11, ANOVA analysis is used to check whether there is a significant difference between citizenship status and scale total scores, personal, social and collective sub-dimensions. Furthermore, homogeneous distributions of the groups controlled by the Test of Homogeneity of Variance test, in which group variances are homogeneously distributed ($SH > .05$). When Table 11 is reviewed, it is found that there is no significant difference between citizenship status and scale total scores and sub-dimensions ($p > 0.05$). The fact that the participants are German, Turkish or both German and Turkish citizens does not affect the answers given to the identity scale.

Table 12. ANOVA Test Table between the Generation Living in Germany and the Scale Total Score and Sub-Dimensions

Dimensions	Generation Living in Germany	N	\bar{X}	ss	t	Sd	p
Personal	Second Generation	79	30,0380	5,12020	1,293	164	,198
	Third Generation	87	29,0575	4,65147			
Social	Second Generation	79	21,2025	3,64931	,336	164	,737
	Third Generation	87	21,0115	3,66788			
Collective	Second Generation	79	23,7848	4,24467	-,542	164	,588
	Third Generation	87	24,1494	4,39749			
Total Scale Score	Second Generation	79	105,6076	9,10117	1,365	164	,174
	Third Generation	87	103,7931	8,03066			

In Table 10, t test analysis is used to check whether there is a significant difference between the generation living in Germany and scale total scores, personal, social and collective sub-dimensions. Furthermore, homogeneous distributions of the groups controlled by the Test of Homogeneity of Variance test, in which group variances are homogeneously distributed ($SH > .05$). When Table 10 is reviewed, it is seen that there is no significant difference between the generation living in Germany and total scale scores and sub-dimensions ($p > 0.05$). The scores the participants receive from the answers to the scale questions regarding which generation they are in Germany do not significantly differentiate.

Table 13. ANOVA Test Table Between Knowledge of German and Scale Total Score and Sub-Dimensions

Dimensions	Knowledge of German	N	KT	Sd	KO	F	p	Significant Difference
Personal	Very Good	51	50,261	2	25,130	1,052	,352	-
	Good	52	3895,143	163	23,897			
	Intermediate	63	3945,404	165				
Social	Very Good	51	10,333	2	5,167	,385	,681	-
	Good	52	2186,926	163	13,417			
	Intermediate	63	2197,259	165				
Collective	Very Good	51	19,964	2	9,982	,533	,588	-
	Good	52	3053,940	163	18,736			
	Intermediate	63	3073,904	165				
Total Scale	Very Good	51	29,114	2	14,557	,196	,822	-
	Good	52	12114,314	163	74,321			
	Intermediate	63	12143,428	165				

In Table 13, ANOVA analysis is used to check whether there is a significant difference between knowledge of German and scale total scores, personal, social and collective sub-dimensions. Furthermore, homogeneous distributions of the groups controlled by the Test of Homogeneity of Variance test, in which group variances are homogeneously distributed ($SH > .05$). When Table 13 is reviewed, it is seen that there is no significant difference between knowledge of German and scale total scores and sub-dimensions ($p > 0,05$). It can be expressed that the participants' knowledge of German and the answers to the scale do not differentiate.

Table 14. ANOVA Test Table between Knowledge of Turkish and Scale Total Score and Sub-Dimensions

Dimensions	Knowledge of Turkish	N	KT	Sd	KO	F	p	Significant Difference
Personal	Very Good	66	,042	2	,021	,001	,999	-
	Good	53	3945,362	163	24,205			
	Intermediate	47	3945,404	165				
Social	Very Good	66	2,832	2	1,416	,105	,900	-
	Good	53	2194,427	163	13,463			
	Intermediate	47	2197,259	165				
Collective	Very Good	66	103,595	2	51,798	2,842	,061	-
	Good	53	2970,309	163	18,223			
	Intermediate	47	3073,904	165				
Total Scale	Very Good	66	86,299	2	43,150	,583	,559	-
	Good	53	12057,129	163	73,970			
	Intermediate	47	12143,428	165				

In Table 14, ANOVA analysis is used to check whether there is a significant difference between knowledge of Turkish and scale total scores, personal, social and collective sub-dimensions. Furthermore, homogeneous distributions of the groups controlled by the Test of Homogeneity of Variance test, in which group variances are homogeneously distributed ($SH > .05$). When Table 14 is reviewed, it is seen that there is no significant difference between knowledge of Turkish and scale total scores and sub-dimensions. It can be expressed that the participants' knowledge of Turkish and the answers to the scale do not differentiate.

Table 15. ANOVA Test Table between the Frequency of Visiting Turkey and Scale Total Score and Sub-Dimensions

Dimensions	Frequency of Visiting Turkey	N	KT	Sd	KO	F	p	Significant Difference
Personal	Every year	78	26,399	2	13,199	,549	,579	-
	Every 2-3 years	86	3919,005	163	24,043			
	Every 4-5 years	2	3945,404	165				
Social	Every year	78	38,555	2	19,277	1,456	,236	-
	Every 2-3 years	86	2158,705	163	13,244			
	Every 4-5 years	2	2197,259	165				
Collective	Every year	78	60,835	2	30,418	1,646	,196	-
	Every 2-3 years	86	3013,069	163	18,485			

	Every 4-5 years	2	3073,904	165				
Total Scale	Every year	78	173,049	2	86,524	1,178	,310	-
	Every 2-3 years	86	11970,379	163	73,438			
	Every 4-5 years	2	12143,428	165				

In Table 15, ANOVA analysis is used to check whether there is a significant difference between frequency of visiting Turkey and scale total scores, personal, social and collective sub-dimensions. Furthermore, homogeneous distributions of the groups controlled by the Test of Homogeneity of Variance test, in which group variances are homogeneously distributed ($SH > .05$). When Table 15 is reviewed, it is seen that there is no significant difference between frequency of visiting Turkey and scale total scores and sub-dimensions. It can be expressed that the participants' frequency of visiting Turkey and the answers to the scale do not differentiate.

Table 16. ANOVA Test Table between the Father's Educational Status and Scale Total Score and Sub-Dimensions

Dimensions	Father's Educational Status	N	KT	Sd	KO	F	p	Significant Difference
Personal	Illiterate	29	89,648	5	17,930	,744	,592	-
	Primary School	25	3855,756	160	24,098			
	Middle School	22	3945,404	165				
	High School	20						
	College	34						
	University/College/Doctorate	36						
Social	Illiterate	29	145,647	5	29,129	2,272	,050	-
	Primary School	25	2051,612	160	12,823			
	Middle School	22	2197,259	165				
	High School	20						
	College	34						
	University/College/Doctorate	36						
Collective	Illiterate	29	36,497	5	7,299	,385	,859	-
	Primary School	25	3037,407	160	18,984			
	Middle School	22	3073,904	165				
	High School	20						
	College	34						
	University/College/Doctorate	36						
Total Scale Score	Illiterate	29	670,828	5	134,166	1,871	,102	-
	Primary School	25	11472,600	160	71,704			
	Middle School	22	12143,428	165				
	High School	20						
	College	34						
	University/College/Doctorate	36						

In Table 16, ANOVA analysis is used to check whether there is a significant difference between father's educational status and scale total scores, personal, social and collective sub-dimensions. Furthermore, homogeneous distributions of the groups controlled by the Test of Homogeneity of Variance test, in which group variances are homogeneously distributed ($SH > .05$). When Table 16 is reviewed, it is seen that there is no significant difference between father's educational status and scale total scores and sub-dimensions. It can be expressed that the participants' father's educational status and the answers to the scale do not differentiate.

Table 17. ANOVA Test Table between the Mother's Educational Status and Scale Total Score and Sub-Dimensions

Dimensions	Mother's Educational Status	N	KT	Sd	KO	F	p	Significant Difference
Personal	Illiterate	46	76,143	3	25,381	1,063	,367	-
	Primary School	37	3869,261	162	23,884			
	Middle School	41	3945,404	165				
	High School	42						
Social	Illiterate	46	44,303	3	14,768	1,111	,346	-
	Primary School	37	2152,956	162	13,290			
	Middle School	41	2197,259	165				

	High School	42						
Collective	Illiterate	46	3,024	3	1,008	,053	,984	-
	Primary School	37	3070,879	162	18,956			
	Middle School	41	3073,904	165				
	High School	42						
Total Scale Score	Illiterate	46	155,236	3	51,745	,699	,554	-
	Primary School	37	11988,191	162	74,001			
	Middle School	41	12143,428	165				
	High School	42						

In Table 17, ANOVA analysis is used to check whether there is a significant difference between mother’s educational status and scale total scores, personal, social and collective sub-dimensions. Furthermore, homogeneous distributions of the groups controlled by the Test of Homogeneity of Variance test, in which group variances are homogeneously distributed ($SH > .05$). When Table 17 is reviewed, it is seen that there is no significant difference between mother’s educational status and scale total scores and sub-dimensions. It can be expressed that the participants’ mother’s educational status and the answers to the scale do not differentiate.

Table 18. ANOVA Test Table between the Income Level Perceived and Scale Total Score and Sub-Dimensions

Dimensions	Income Level	N	KT	Sd	KO	F	p	Significant Difference
Personal	Lower Middle Income	2	34,757	2	17,379	,724	,486	-
	Middle	82	3910,646	163	23,992			
	Upper Middle	82	3945,404	165				
Social	Lower Middle Income	2	7,491	2	3,745	,279	,757	-
	Middle	82	2189,768	163	13,434			
	Upper Middle	82	2197,259	165				
Collective	Lower Middle Income	2	16,318	2	8,159	,435	,648	-
	Middle	82	3057,585	163	18,758			
	Upper Middle	82	3073,904	165				
Total Scale	Lower Middle Income	2	112,391	2	56,196	,761	,469	-
	Middle	82	12031,037	163	73,810			
	Upper Middle	82	12143,428	165				

In Table 18, ANOVA analysis is used to check whether there is a significant difference between the income level perceived Turkey and scale total scores, personal, social and collective sub-dimensions. Furthermore, homogeneous distributions of the groups controlled by the Test of Homogeneity of Variance test, in which group variances are homogeneously distributed ($SH > .05$). When Table 18 is reviewed, it is seen that there is no significant difference between income level perceived and scale total scores and sub-dimensions. It can be expressed that the participants’ income level perceived and the answers to the scale do not differentiate.

Table 19. Analysis of Answers to Identity Scale Questions

S.N.	Questions	Average	Level of Participation
1	Things you have, my stuff	3,0783	Very Important
2	My values and moral standards (criteria)	3,0723	Very Important
3	Popular formation according to others	3,0361	Very Important
4	Becoming a member of family generations (family tree)	2,9518	Generally Important
5	My dreams and aspirations	2,8373	Generally Important
6	Behavioral patterns that the others have shown to the things I say and do	3,1084	Very Important
7	My race or ethnic background	2,9096	Generally Important
8	Personal goals and anticipations for the future	2,7410	Generally Important
9	Physical appearance: height, weight and body shape	2,9518	Generally Important
10	My religion	3,0060	Very Important

11	My excitements and emotions	2,8434	Generally Important
12	What others think about me, my reputation	2,9940	Generally Important
13	Places I live or grow	2,9096	Generally Important
14	My thoughts and opinions	3,0663	Very Important
15	My attraction according to others	2,9819	Generally Important
16	Formation regarding to my age group or generation	2,9518	Generally Important
17	My ways of coping with fear and worry	3,0000	Very Important
18	My gender as a male or female	2,9157	Generally Important
19	The feeling that I am a unique person as someone different from others	2,9337	Generally Important
20	I belong to lower, middle or upper economic class	3,1566	Very Important
21	The fact that I will continue to stay the same even though life causes many changes in my appearances	3,0542	Very Important
22	Impression and style I made on others with my gestures and movements	3,0663	Very Important
23	My sense of belonging to society	2,9880	Generally Important
24	Self-knowledge, my thoughts on what kind of person I really am	3,0000	Very Important
25	When I get together with other people, my social behavior as the behavior I display	2,9639	Generally Important
26	To be proud of my country, to feel proud as a citizen	3,2711	Very Important
27	My physical abilities/skills, which are good and coordinated in activities	2,9036	Generally Important
28	Personal self-worth, personal opinion about myself	2,9759	Generally Important
29	Formation of a sports fanatic identified with a sports team	2,9217	Generally Important
30	My professional preferences and career plans	3,0000	Very Important
31	My interest in political issues	2,8916	Generally Important
32	My academic talents and performances, such as the advice and the grades I earned from my teachers	3,0542	Very Important
33	Knowledge of regional accent, pronunciation or second language	3,0482	Very Important
34	My role in the university as a student	3,0120	Very Important
35	My sexual orientation as heterosexual or homosexual	3,0602	Very Important

The answers that individuals gave to the questionnaire on identity scale are analyzed in Table 19 and the levels of participation are determined. When Table 19 is reviewed, it is seen that the average scores of the participants in the overall questionnaire survey are generally important (between 2 and 3) or very important (between 3 and 4).

Conclusion

When reviewed in general, there is no significant difference ($p > 0.05$) in scale total scores, personal, social and collective sub-dimensions except participants' gender. There is a significant difference ($p < 0.05$) between the gender variable and the scale total score and the collective sub-dimension. Nevertheless, when the question "What are the problems of citizens of Turkish origin living in Germany?" is asked, the answers related exclusion, discrimination and cultural differences are collected. When the most suitable nationality is asked to the participants, all participants answered as "I am Turkish." It is seen that the participants with German citizenship, Turkish citizenship and Turkish and German citizenship are involved. Therefore, it is possible to suggest that the participants' citizenship status has not changed their answer regarding the most suitable nationality.

References

- Akkaş, H. : (2009 /2010) Mediale Integration türkischer Migranten in Deutschland. Masterarbeit. Universiteat Siegen
- Büyüköztürk, Ş., Çakmak, E. K., Akgün, Ö. E., Karadeniz, Ş., & Demirel, F. (2009). *Bilimsel araştırma yöntemleri*. Ankara: Pegem A Yayınları.
- Coşkun, H. (2004). Kimlik Ölçeğinin bir Türk örnekleminde geçerlik ve güvenilirlik çalışması. *Türk Psikoloji Yazıları Dergisi*, 7(14), 49-60.
- Cheek, J. M., & Tropp, L. R. (1995). *The aspects of Identity Questionnaire: History and Bibliography* (2nd ed.). Wellesley College, MA.
- Daresh, H.B. (1984) The Authoritarian Family and Its Adolescents. Canadian Psychiatry Association Journal. Vol: 23,87. Ottawa
- Kulaksızoğlu, A. (2002/2003) Probleme der türkischen Jugendlichen der dritten Generation in Deutschland. Der Zusammenhang zwischen dem Erziehungsverhalten der Eltern und den Problemen der Jugendlichen. Essen /Deutschland
- Karasar, N. (2015). *Bilimsel Araştırma Yöntemi* (28. Baskı). Ankara: Nobel Yayınları.
- Schu, C. (2017). Sachverständigenrat deutscher Stiftungen für Integration und Migranten, Fakten zur Einwanderung in Deutschland. Hrsg, Sachvertandigenrat deutscher Stiftungen für Integration und Migranten (SVR) GmbH.
- Öztunç, H., Bilge, Y., Bilge, Y. (2015) Kişilik Bozuklukları ile Gelir ve Cinsiyet Değişkenlerinin İlişkinin İncelenmesi. Sosyal Bilimleri Dergisi /Journal of Social Sciences. Cilt / Volume VIII.Sayı / Number 1
- Goldenberg, A. (2000). Kuzey Ren Vestfalya Eyaletlerinde Türk Gençliği. Türkiye ve Avrupa'da Gençlik TDV-Türk Demokrasi Vakfı, Adenauer Vakfı Ankara.
- Sprinthall, N.H., Collins., (1984). W.A. Adolescent Psychology, New York: Rondon House.
- Impressium interkulturel (2011). Interkultur erscheint als regelmässige Beilage zur Zeitung politik und kultur, herausgegeben von Olaf Zmimmermann und Theo Geissler. ISSN 1867-5557



[Poli(5-bromo-1-benzofuran-2-il)(fenil)-O-metakrilketoksim-ko-2-(4asetilfenoksi-2-oksoetil-2 metakrilat) – [Poli(metil metakrilat-ko-etil akrilat)]/ Poli(vinil alkol)-Selüloz Membranların Hazırlanması ve Fe(III)'ün Sudan Arıtımında Kullanılması

Cemal Çifci^{1*}, Mehmet Savrık², İbrahim Erol³

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9410-211X)

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2427-2225)

³Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5541-8354)

(İlk Geliş Tarihi 9 Şubat 2019 ve Kabul Tarihi 2 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.524949)

ATIF/REFERENCE: Çifci, C., Savrık, M. & Erol, İ. (2019). [Poli(5-bromo-1-benzofuran-2-il)(fenil)-O-metakrilketoksim-ko-2-(4asetilfenoksi-2-oksoetil-2 metakrilat) – [Poli(metil metakrilat-ko-etil akrilat)]/ Poli(vinil alkol)-Selüloz Membranların Hazırlanması ve Fe(III)'ün Sudan Arıtımında Kullanılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 252-258.

Öz

Bu araştırmada; yeni $[1/3 (\frac{m}{m}) \text{ poli}(5\text{-bromo-1-benzofuran-2-il})(\text{fenil})\text{-O-metakrilketoksim-ko-2-(4asetilfenoksi-2-oksoetil-2 metakrilat)} - [2/3 (\frac{m}{m}) \text{ poli}(\text{metil metakrilat-ko-etil akrilat})] / \text{ poli}(\text{vinil alkol})\text{-selüloz membranları}$ üretilmiş ve SEM ile karakterize edilmiştir. Bu membranlar Fe(III) iyonlarının sulu çözeltilerden ultrafiltrasyonla ayrılmasında kullanılmıştır. pH'nın (3, 4, 5), çözelti derişiminin ($0,30 \times 10^{-4}$ M, $0,50 \times 10^{-4}$ M) ve basıncın (30psi, 40 psi, 50 psi) sulu ortamdaki Fe(III) iyonlarının tutulma ve akıya olan etkileri çalışılmıştır. Elde edilen membranların 50 psi basınca kadar sorunsuz olarak kullanılabileceği bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Membran, Ultrafiltrasyon, Su arıtımı, Fe(III) iyonu.

Preparation of $[1/3 (\frac{m}{m}) \text{ Poly}(5\text{-bromo-1-Benzofuran-2-yl})(\text{phenyl})\text{-O-methacrylketoxime-co-2-(4-acetylphenoxy-2-oxoethyl-2-methylacrylate)}] - [\text{Poly}(\text{methyl methacrylate-co-ethyl acrylate})] / \text{ Poly}(\text{vinyl alcohol})\text{-Cellulose Membranes and their Using in Treatment of Fe(III) from Water}$

Abstract

In this study; new $[1/3 (\frac{m}{m}) \text{ Poly}(5\text{-bromo-1-Benzofuran-2-yl})(\text{phenyl})\text{-O-methacrylketoxime-co-2-(4-acetylphenoxy-2-oxoethyl-2-methylacrylate)}] - [\text{poly}(\text{methyl methacrylate-co-ethyl acrylate})] / \text{ poly}(\text{vinyl alcohol})\text{-cellulose membranes}$ were prepared and characterized by SEM. The using of these membranes for the separation of Fe (III) ions from aqueous solutions by ultrafiltration was investigated. The effects of pH (3, 4, 5), concentration of solution ($0,30 \times 10^{-4}$ M, $0,50 \times 10^{-4}$ M) and pressure (30 psi, 40 psi, 50 psi) on the retention and flux were studied. It has been found that these membranes can be used as smoothly as to 50 psi pressure.

* Sorumlu Yazar: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, ORCID: 0000-0001-9410-211X, cifcicemal@aku.edu.tr

Keywords: Membrane, Ultrafiltration, Water treatment, Fe(III) ion

1. Giriş

Membranlar; günümüzde düşük enerji ile çalıştırılabilir olması, normal oda şartlarında çalışmaların yürütülebilir olması ve yapılan yatırım maliyeti hesaplarının diğer ayırma teknikleri ile rekabet edebilir olmasından dolayı tercih edilebilmektedir (Tang ve ark., 2017). Membranların çalışma prensibi filtrasyon süresince çözeltinin derişik ve süzüntü şeklinde ikiye ayrılması ve filtrasyon sonunda derişik kısmın tutulması süzüntünün membrandan geçmesi şeklinde ifade edilebilir (Lastra ve ark. 2004; Gzara ve Dhahbi, 2001; Judd, 2017; Hosseini ve ark., 2010). Membranlar fizikokimyasal işlemlerin doğru bir şekilde uygulanmasıyla çok düşük maliyette ve dayanıklı bir şekilde üretilebilmektedir. Membranların performansını belirleyen en temel parametreler: akı, tutma kapasitesi ve seçiciliktir (Çifci ve Kaya, 2010). Membranlar akılarına göre yaygın olarak mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve nanofiltrasyon membranları şeklinde sınıflandırılabilir (Chang ve Hwang, 1996). Bu membranlar uygun filtrasyon sistemlerinde kullanılarak ayırma işlemlerinde kullanılır. Günümüzde membranların yapımında yaygın olarak polimerler kullanılmaktadır. Polimerlerden üretilen membranların özellikleri amaca yönelik olarak rahatlıkla geliştirilebilir (Mokhtar ve ark., 2018).

Membranların ayırma işlemlerinde kullanımları günümüzde çok çeşitli hale gelmiştir. En yaygın kullanım alanlarından birisi de atık sulardaki en tehlikeli durumu oluşturan ağır metallerin arıtılmasıdır. Ağır metaller bir şekilde canlı organizmaya geçerse birikmekte ve belli değerleri aşınca çok tehlikeli sağlık durumları oluşturmaktadır. Ağır metallerin sulu ortamdan uzaklaştırılmasında membranların kullanımı gün geçtikçe önem kazanmaktadır (Chen ve ark., 2018; Al-Asheh ve ark., 1999).

Bu çalışmada metalleri üzerlerine adsorplama özelliği olan polimerlerden üretilmiş yeni membranlar üretilmiş ve belli basınçlarda dayanıklılıkları kesikli ultrafiltrasyon hücre sistemi kullanılarak test edilmiştir. Membranlar sulu ortamda var olan Fe(III) iyonlarının ayrılması için araştırma çalışmaları yapılmıştır. pH'ın, çözelti derişiminin ve basıncın sulu ortamdaki Fe(III) iyonlarının tutulma ve akıya olan etkileri çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

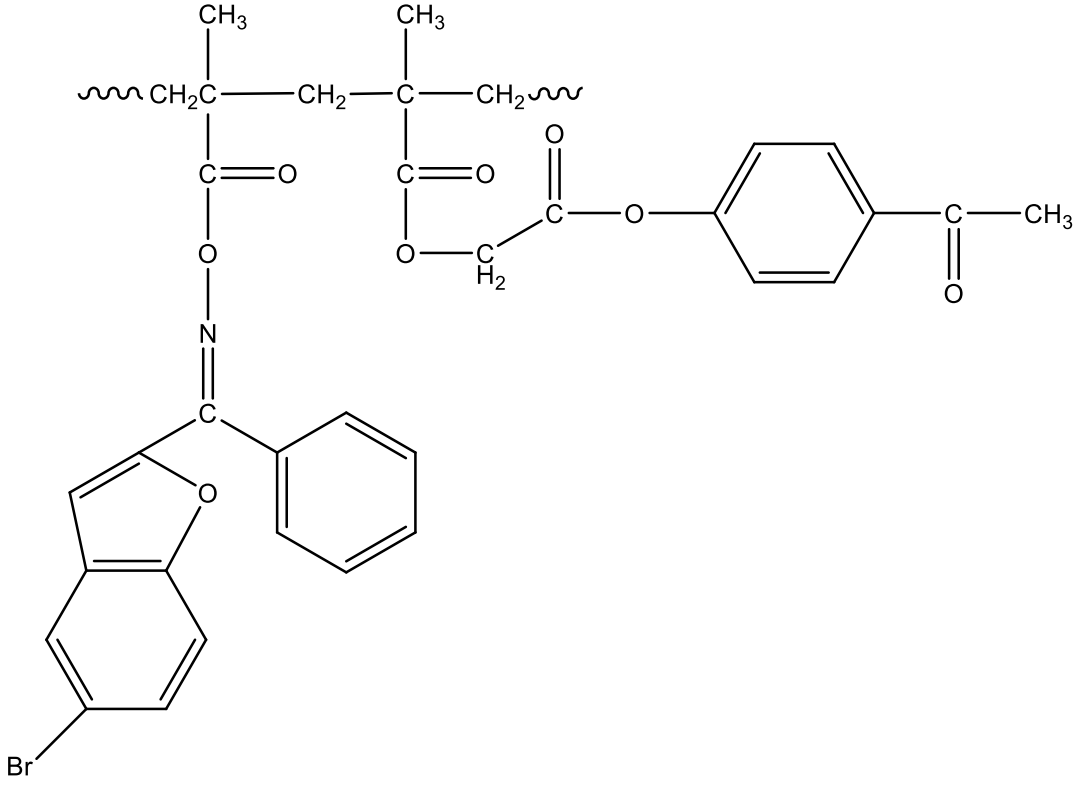
2.1. Deneyleerde Kullanılan Araç-Gereç ve Cihazlar

- Kesikli ultrafiltrasyon sistemi (Milipore Amicon 8400)
- Etüv (İsolab)
- pH metre (OHAUS)
- UV-Vis spektrofotometre (UV-1700 Pharma, SHIMADZU)
- Isıtıcı manyetik karıştırıcı (İka)
- Otomatik pipet (Eppendorf)
- Kronometre (Oregon)

Filtrasyon sistemi; filtrasyon hücresi, manyetik karıştırıcı ve basınç ayarlamalı azot gazı tüpünden oluşmaktadır. Derişimi ve pH'ı ayarlanmış 300 mL tuz çözeltisi filtrasyon hücresinin besleme çözeltisi bölümüne konur ve azot gazı yardımıyla istenen basınç ayarlanarak, filtrasyon sistemine yerleştirilmiş 7,6 cm çapındaki membrana gönderilir. 300 mL çözelti membrandan tamamen geçene kadar geçen süre, daha sonra akı hesaplamak için kaydedilir ve bu sırada membrandan geçen filtrat çözeltisi bir behere alınır. Beherdeki bu filtrat çözeltisinden numune alınarak metal analizi yapılır.

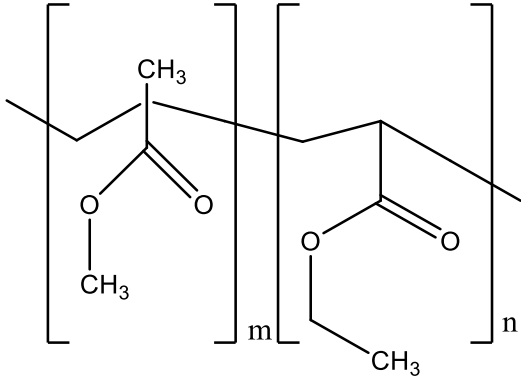
2.2. Deneyleerde Kullanılan Maddeler

-Poli(5-bromo-1-benzofuran-2-il)(fenil)-O-metakrilketoksim-ko-2-(4asetilfenoksi-2-oksoetil-2 metakrilat P(BPMKO-ko-AOEMA) (Erol ve ark. 2010) makalesine göre üretilmiştir.



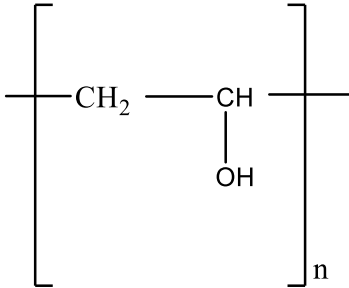
Polimer membran yapımında kullanılmıştır.

-Poli(metil metakrilat-ko-etil akrilat) P(MMA ko EA) (Sigma-Aldrich).



Polimer membran yapımında kullanılmıştır.

-Poli(vinil alkol) (PVA) (Fluka).



Polimer membran yapımında kullanılmıştır.

-Selüloz Filtre (Macherey-Nagel, MN 640 de)

Membran yapımında destek olarak kullanılmıştır.

- $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Sigma-Aldrich)

Bu madde yapay olarak ağır metal içerikli sulu çözeltiler hazırlanmasında kullanılmıştır.

-N,N-Dimetil formamit (Riedel)

Membran yapımında kullanılmıştır.

-Glutaraldehyd (Sigma-Aldrich)

Membran yapımında kullanılmıştır.

-KSCN (Riedel)

UV-Vis spektrometresinde yapılan metal analizlerinde renklendirici olarak kullanılmıştır.

-HCl (Riedel)

pH'ı ayarlamak için kullanılmıştır.

-NH₃ (Sigma-Aldrich)

pH'ı ayarlamak için kullanılmıştır.

2.3. Membranların Hazırlanması

Birinci aşamada; saf su çözücüsü içerisinde % 0,75 (m/v)'lik PVA çözeltisinden 10 mL alınıp 9 cm çapındaki petri kabına döküldü. Sonra 7,6 cm çapında selüloz filtre hazırlanan çözeltiliye daldırılarak 60 °C etüvde tam kuruluğa kadar bekletildi. Daha sonra çapraz bağlama için oda şartlarında 2 saat glutaraldehyd çözeltisinde bekletilip saf su ile yıkandı ve kurutuldu. İkinci aşamada; DMF çözücü içerisinde % 0,75 (m/v)'lik [1/3 ($\frac{m}{m}$) P(BPMKO-ko-AOEMA) – 2/3 ($\frac{m}{m}$) P(MMA ko EA)] çözeltisinden 10 mL alınarak birinci aşamada elde edilen kurutulmuş membran üzerine kaplama yapılıp 60 °C etüvde tam kuruluğa kadar bekletildi. Saf su ile yıkandıktan sonra 45 dakika saf suda bekletilip filtrasyon işleminde kullanılıncaya kadar oda şartlarında kurumaya bırakıldı.

2.4. Yüzde Tutulma ve Akının Belirlenmesi

Membrandan geçiş tamamlandıktan sonra filtrattan örnek alınarak analiz yapılmıştır. Fe(III) çözeltilerindeki metal derişimleri UV-Vis spektrometre yardımıyla bulunmuştur. İyonların tutulması aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\%R = \left(1 - \frac{C_f}{C_b}\right) \times 100 \quad (2.1)$$

Burada;

C_f: Filtrat çözeltisi derişimi

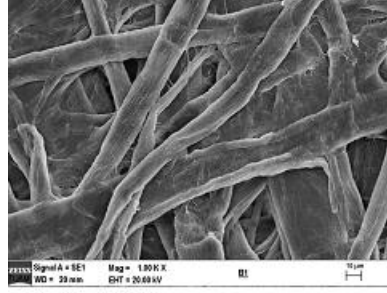
C_b: Besleme çözeltisi derişimidir.

Filtratın akısı da; birim zamanda membran alanından geçen filtrat hacminin membran alanına ve birim zamana bölünmesiyle L/m².sa biriminde bulunmuştur.

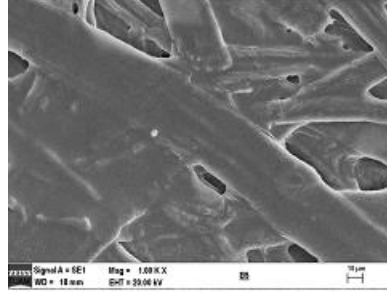
3. Bulgular

3.1. Membranların Karakterizasyonu

Elde edilen kompozit membranın morfolojisi Şekil 1'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi selüloz filtrenin üzeri membran hazırlama polimerleri ile kaplandığında küçük gözenekli membranlar oluşmuştur. Çünkü selüloz desteğinin orijinal gözenekleri polimer çözeltileriyle daha çok bloke edilmektedir. Ayrıca Şekil 2'de basıncın membranlardaki su akısına etkisi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi basınç artışıyla su akısı da artmaktadır. Membranlar 50 psi basınca kadar sorunsuz olarak çalışabilmektedir.

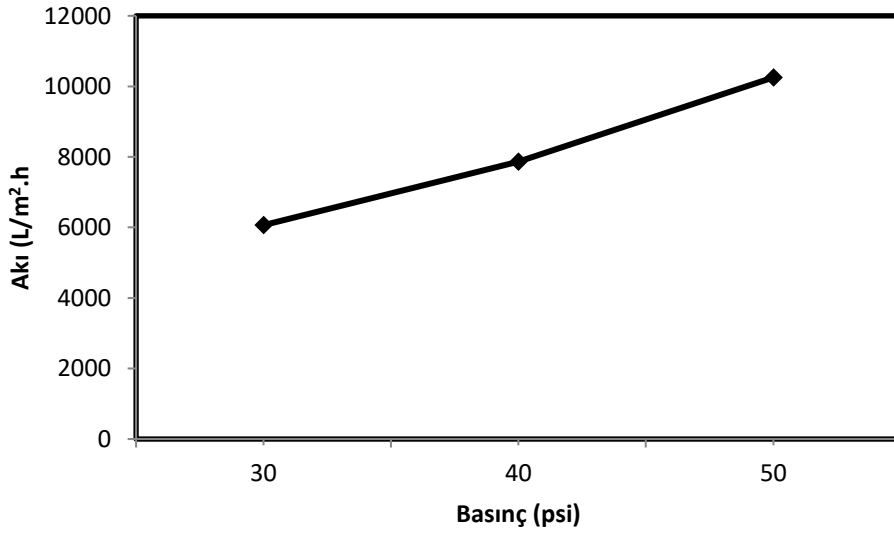


(a)



(b)

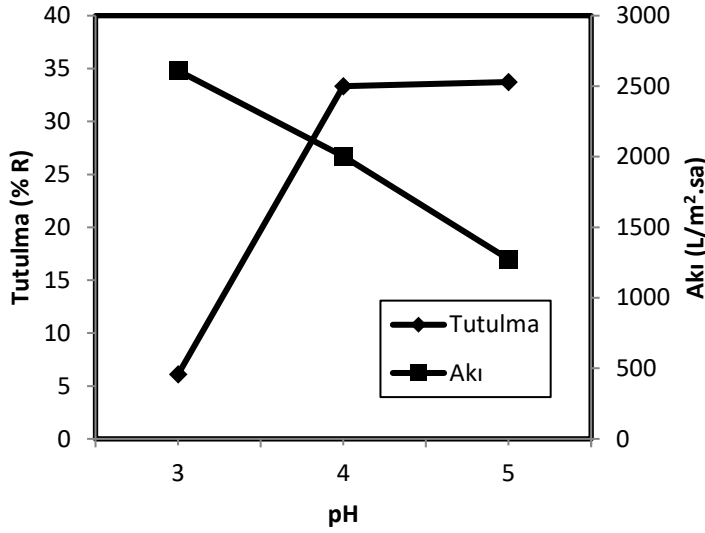
Şekil 1. Membranların SEM mikrografikleri (a) Selüloz, (b) Membran. Büyütme: a ve b için x1000



Şekil 2. Uygulanan basınçların membranın su akısına etkisi

3.2. pH'ın Fe(III) İyonları için Yüzde Tutulma ve Akı Üzerine Etkisi

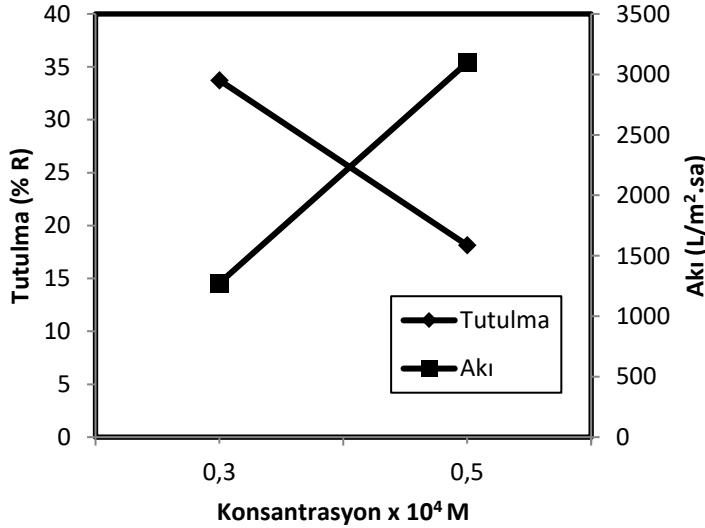
0,30×10⁻⁴ M Fe(III) çözeltisi 400 dev/dk karıştırma hızında, 50 psi'de değişik pH'larda filtre edilmiştir. pH'ın tutulma yüzdesi ve akıya etkilerinin sonuçları Şekil 3' te verilmiştir. Şekilden pH artışı ile tutulmada artış akıda azalış olduğu anlaşılmaktadır. En iyi tutulma pH 5'te gözlenmiştir. pH'ın artmasıyla Fe(III) iyonlarındaki hidrolizin nispeten membran gözeneklerini tıkamasıyla ek kekleşmeye sebep olduğu bu durumda tutulma yüzdesinde artışa ve akıda azalmaya sebep olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3. pH'in Fe(III) iyonları için yüzde tutulma ve akı üzerine etkisi. ($C_{Fe(III)} = 0,30 \times 10^{-4}$ M, $P = 50$ psi, Karıştırma hızı = 400 devir/dk)

3.3. Çözelti Derişimlerinin Fe(III) İyonları için Yüzde Tutulma ve Akı Üzerine Etkisi

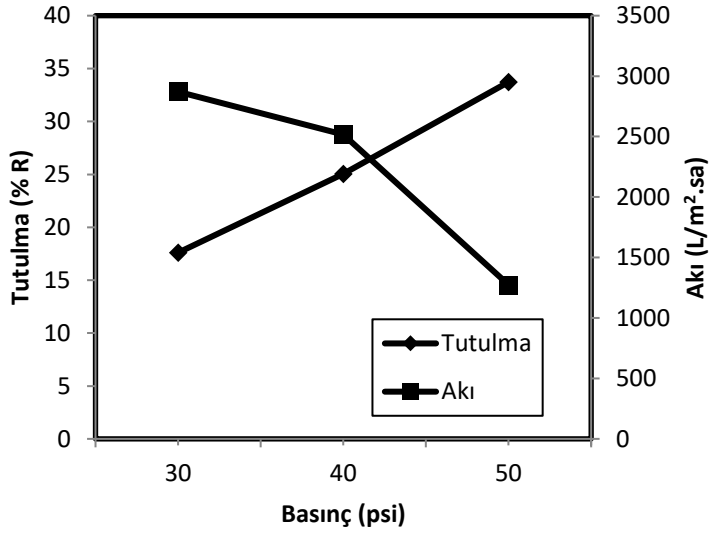
pH=5, P=50 Psi basınçta 400 dev/dk karıştırma hızında farklı derişimlerde Fe(III) çözeltisi filtrasyonunun tutulma yüzdesine ve akıya etkileri Şekil 4'de gösterilmiştir. Derişim arttıkça membranın tutma kapasitesi dolduğu için tutulma yüzdesinin düştüğü düşünülmektedir. Akı değerinin ise, membranın tutma kapasitesinden fazla olan Fe(III) iyonlarının tutulmadan membranı geçmesinden dolayı arttığı düşünülmektedir.



Şekil 4. Çözelti derişimlerinin Fe(III) iyonları için yüzde tutulma ve akı üzerine etkisi. (pH = 5, P = 50 psi, Karıştırma hızı = 400 devir/dk)

3.4. Basıncın Fe(III) İyonları için Yüzde tutulma ve Akı Üzerine Etkisi

$0,30 \times 10^{-4}$ M Fe(III) çözeltisi ile pH=5, 400 dev/dk karıştırma hızında filtrasyon işlemleri yapılmıştır. Basıncın tutulma yüzdesi ve akıya etkilerinin sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. Basıncın artışı ile ek kekleşme oluşmuş ve en yüksek tutulma yüzdesi gözlenmiştir. Membranda yüksek basınçta ek kekleşme olduğundan akı değerinde de düşme gözlenmiştir.



Şekil 5. Basıncın Fe(III) iyonları için yüzde tutulma ve akı üzerine etkisi. ($C_{Fe(III)} = 0,30 \times 10^{-4}$ M, pH = 5, Karıştırma hızı = 400 devir/dk)

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada Fe(III) iyonlarının sulu çözeltilerden kesikli ultrafiltrasyon tekniği ile $[1/3 (\frac{m}{m})$ poli(5-bromo-1-benzofuran-2-il)(fenil)-O- metakrilketoksim-ko-2-(4asetilfenoksi-2-oksoetil-2 metakrilat)]- $[2/3 (\frac{m}{m})$ (poli(metil metakrilat-ko-etil akrilat)]/ poli(vinil alkol)-selüloz kompozit membranları kullanılarak incelenmiştir. Çözelti pH'sı (3, 4, 5), çözelti derişimi ($0,30 \times 10^{-4}$ M, $0,50 \times 10^{-4}$ M) ve basınç (30psi, 40 psi, 50 psi) parametreleri araştırılmıştır. Elde edilen membranların 50 psi basınca kadar sorunsuz olarak kullanılabileceği bulunmuştur. Bu çalışmada elde edilen yeni membranların literatürde kullanılan değişik filtrasyon işlemlerinde kullanılabileceği ve dolayısıyla çevre sorunlarının çözümüne katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.F

Kaynakça

- Al-Asheh S., Banat F., Mohai F. 1999. Sorption of copper and nickel by spent animal bones. *Chemosphere* 39(12), 2087-2096.
- Chang D. J. ve Hwang S.J. 1996. Removal of metal ions from liquid solutions by cross flow microfiltration. *Separation Science and Technology* 31, 1831-1842.
- Chen S.H., Wu B.H., Fu J.C., Wang G.J., Wan L.S., Xu Z.K. 2018. Vertically oriented microporous membranes prepared by bidirectional freezing. *Chinese Journal of Polymer Science* 36, 880-887.
- Çifci C. and Kaya A. 2010. Preparation of poly(vinyl alcohol)/cellulose composite membranes for metal removal from aqueous solutions. *Desalination* 253, 175-179.
- Erol I., Sen O., Cifci C., Gurler Z. 2010. New Methacrylate Copolymers Based on the Benzofurane Ring: Synthesis, Characterization, Monomer Reactivity Ratios and Biological Activity. *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry* 47, 1032-1041
- Gzara L. ve Dhabbi M. 2001. Removal of chromate anions by micellar-enhanced ultrafiltration using cationic surfactants. *Desalination* 137, 241-250.
- Judd S.J. 2017. Membrane technology costs and me. *Water Research* 122, 1-9.
- Lastra A., Gomeza D., Romerob J., Francisco J.L., Luque S., Alvarez J.R. 2004. Removal of metal complexes by nanofiltration in a TCF pulp mill: technical and economic feasibility. *Journal of Membrane Science* 242, 97-105.
- Mokhtar M., Dickson S.E., Kim Y., Mekky W. 2018. Preparation and characterization of ion selective membrane and its application for Cu^{2+} removal. *Journal of industrial and Engineering Chemistry* 60, 475-484.
- Tang Y.P., Luo L., Thong Z., Chung T.S. 2017. Recent advances in membrane materials and technologies for boron removal. *Journal of Membrane Science* 541, 434-446.



Afyonkarahisar İli Çevresinde Yetişen ve Halk Tarafından Tüketilen Bazı Yabani Bitkilerin Antioksidan ve Antimikrobiyal Etkileri

Gökhan Akarca^{1*}, Oktay Tomar²

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5055-2722)

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5761-7157)

(İlk Geliş Tarihi 26 Aralık 2018 ve Kabul Tarihi 16 Şubat 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.502709)

ATIF/REFERENCE: Akarca, G. & Tomar, O. (2019). Afyonkarahisar İli Çevresinde Yetişen ve Halk Tarafından Tüketilen Bazı Yabani Bitkilerin Antioksidan ve Antimikrobiyal Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 259-267.

Öz

Bu çalışmada, Afyonkarahisar ili ve çevresinde yaşayan halk tarafından gıda olarak tüketilen acıgünek, bici bici, sığır kuyruğu ve ekşimenin antioksidan ve antimikrobiyal özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırma sonucunda DPPH Serbest Radikal Giderme Aktivitesi (%) ve Toplam fenolik madde miktarı en fazla % 52.46± 1.25 ve 0.55±0.60 GAE mM değer ile ekşimende (*Galium verum*) olduğu saptanmış, bunu % 52.46± 1.25 ve 0.55±0.60 GAE, mM değerler ile Bici bici'nin (*Polygonum cognatum*) takip ettiği belirlenmiştir. Yapılan antimikrobiyal aktivite testleri sonucunda ise; en fazla antimikrobiyal etkinin yine ekşimen tarafından gösterildiği, *Escherichia coli*'ye karşı 28±0.02 ve *Listeria monocytogenes*'e karşı 26±0.00 mm zon çapı oluşturduğu tespit edilmiştir. Ekşimenin bu bakteriler üzerindeki MIC ve MBC değerleri ise sırasıyla; 24 ve 48 µg/mL olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yabani ot, Antioksidan, Antimikrobiyal, MIC, MBC.

Antioxidant and Antimicrobial Effects of Some Wild Plants Growing Around Afyonkarahisar Province and Consumed by People

Abstract

In this study, it is aimed to determine the antioxidant and antimicrobial properties of dandelion, Polygonum, mullein and dock consumed by people living in Afyonkarahisar province. At the end of the study, DPPH Free Radical Removal Activity (%) and Total phenolic content of dock (*Galium verum* L.) were 52.46 ± 1.25% and 0.55 ± 0.60 GAE mM, respectively, and followed by Polygonum (*Polygonum cognatum* L.) with % 52.46 ± 1.25 and 0.55 ± 0.60 GAE mM values. As a result of the antimicrobial activity tests; the dock had an antimicrobial effect with forming a zone diameter of 28 ± 0.02 against *Escherichia coli* and 26 ± 0.00 mm against *Listeria monocytogenes*. The MIC and MBC values of dock of these bacteria were determined as 24 and 48 µg / mL, respectively.

Keywords: Weed, Antioxidant, Antimicrobial, MIC, MBC.

¹ Sorumlu Yazar: Sorumlu Yazar: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5761-7157 gakarca@aku.edu.tr

1. Giriş

Türkiye, Dünyada bulunduğu konum itibari ile oldukça zengin bir flora sahip bir ülke olup yaklaşık 12000 civarında bitki taksonuna ev sahipliği yapmaktadır (Akçiçek ve Vural, 2007). Afyonkarahisar Türkiye’de İç Anadolu, Ege ve Akdeniz bölgelerinin birleştiği noktada yer alan bir ildir. 38° 44’ kuzey ve 30° 34’ doğu enlem ve boylamları arasında yer alan şehrin denizden yüksekliği 1020 m dir (Kargıoğlu, 2001). Denizlere uzak ve etrafı dağlar ile çevrili olduğundan kara iklimi hakimdir (Anonim, 2010).

Türkiye’de halkın beslenmesinde önemli bir yeri olan yabani bitkiler, özellikle kırsal kesimlerde yaşayan halk tarafından tercih edilmektedir. Yabani bitkiler günlük diyetlerde önem arz eden vitamin, mineral ve protein içeriği açısından zengin kaynaklardır (Yücel ve Tunay, 2002) Bu bitkiler aynı zamanda yüksek antimikrobiyal ve antioksidant aktiviteye sahip bileşikler içermektedirler (Da-Costa-Rocha ve ark., 2014).

Afyonkarahisar ili çevresinde yaşayan halk tarafından da bu türden pek çok bitki gıda amaçlı olarak tüketilmektedir. Acıgünek, bicibici, sığır kuyruğu ve ekşimen bu bitkiler arasında yer almaktadır. Karahindiba (*Taraxacum officinale*), ya da bölge halkı tarafından bilinen adıyla acıgünek, *Asteracea* familyasına ait, çayırlarda kendiliğinden yetişen, çok yıllık, 10 cm boyunda bir bitkidir (You ve ark., 2010). Mart-Ağustos aylarında sarı renkli çiçek açan bitki, ters mızrak şeklinde, üçgen benzeri parlak yeşil yapraklara sahiptir. Yapraklar bitkinin alt kısmında lokalize olmuştur. Yaprakları yöre halkı tarafından toplanıp taze olarak tüketilmektedir (Yücel ve ark., 2012). Bici bici (*Polygonum cognatum*) *Polygonaceae* familyasından çok yıllık bir bitki olup çoğunlukla Kuzey ılıman bölgelerinde dünya çapında dağıtılan yaklaşık 300 türden oluşur (Wang ve ark., 2005). Bahar ayında pembe kırmızı renkli çiçekler açan bitkinin yaprakları elips şekilli, kısa saplı ve uçları sivridir. Bitkinin yeşil yaprakları toplanıp temizlendikten sonra taze olarak tüketilmektedir (Yücel ve ark., 2012).

Verbascum lasianthum, sığır kuyruğu *Scrophulariaceae* familyasından iki yıllık bir bitkidir. Sivri şekilli yapraklara sahip olan bitki, mayıs- eylül aylarında sarı renkli çiçekler açmaktadır (Başer, 2015). Bitkinin yaprakları temizlenip yıkandıktan sonra taze olarak tüketilebildiği gibi çiçekleri ise, çay olarak tüketilebilmektedir (Yücel ve ark., 2012). *Galium verum* ekşimen *Rubiaceae* familyasından çok yıllık bir bitkidir. İlkbahar aylarında sarı renkli çiçekler açan bitkinin yaprakları mızrak şekilli, kenarları kıvrık ve pürüzlüdür (Yücel, 2012). Bölge halkı tarafından bitkinin taze yaprakları toplanıp taze olarak tüketilmektedir (Yücel ve ark., 2012).

Bu çalışmada, Afyonkarahisar ili ve çevresinde yaşayan halk tarafından gıda olarak tüketilen bazı yabani otların (acıgünek, bici bici, sığır kuyruğu ve ekşimen) antioksidant ve antimikrobiyal özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Bitkisel Materyal

Çalışmada kullanılan bitkiler Nisan- Haziran ayları arasında Afyonkarahisar ili kırsalından elle toplanmıştır.

2.2. Etanol Ekstraktların Hazırlanması

Araştırmada kullanılan bitkiler taze halde bir bıçak yardımı ile küçük parçalara ayrıldı ve 100'er gram tartılarak, üzerlerine 400 ml %80'lik etil alkol ilave edildi. Ardından 24 saat boyunca shaker (WiseShake® SHO-2D) kullanılarak 120 rpm de karıştırıldı. Süre sonunda karışım sterilize 22 mm filtre kağıdından süzülerek, rotary evaporatöre (Heidolph Hei-VAP value) alınarak 100 rpm devirde ve 60 °C sıcaklıkta alkol ve ekstrakt kısmı birbirinden ayrıldı.

2.3. DPPH Serbest Radikal Giderme Aktivitesi

Bitki örneklerinin etanol ekstraktlarından 0,025 ml alınarak 4 mL metanolde (0.0625 mg / mL) çözündürüldü. Daha sonra 0.5 mL metanolik bir α, α -diphenyl- β -picrylhydrazyl (DPPH) (1 mM) çözeltisi ile karıştırıldı ve oda sıcaklığında 30 dakika beklemeye bırakıldı. Ardından karışımın optik yoğunluğu spektrofotometre ile (Hitachi U-2000) 517 nm'de ölçüldü (Chu ve Chen, 2006).

Bitki örneklerinin etanol ekstraktlarının serbest radikal giderme aktivitesi aşağıdaki denklemle hesaplandı

$$\text{Süpürme Kapasitesi (\%)} = [1 - (As - Ab) / (Ac - Ab)] \cdot 100$$

As: Örneklerin Absorbans değeri

Ab: Kör Numune

Ac: Kontrol Numunesi

2.4. Toplam Fenolik Madde Miktarının Belirlenmesi

Bitki örneklerinden ekstraktlarından 0.05 ml' alınarak üzerine 2 ml % 2'lik sodyum karbonat eklenmiştir. 2 dakika beklendikten sonra sonra, yukarıdaki çözelti ile 0.1 ml Folin-Ciocalteu reaktifini karıştırıldı, 30 dk beklenildikten sonra spektrofotometre ile (Hitachi

U-2000) 750 nm'de absorpsiyon ölçüldü. Toplam fenolik madde içeriği, kalibrasyon eğrisinden gallik asit eşdeğerleri (GAE, mM) olarak ifade edildi (Chu ve Chen, 2006).

2.5. Kullanılan Suşlar

Araştırmada; *Eshcherichia coli* ATCC 25922, *Listeria monocytogenes* ATCC 51774, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 10145, *Enterococcus faecalis* ATCC 51299 ve *Salmonella Typhi* ATCC 6539 bakterileri kullanıldı. Bakteri suşları kanlı agarda 4-7 ° C'de muhafaza edildi ve 35 ± 0.1 °C'de 24 saat Mueller-Hinton Broth (Merck 110293) kültüre alındı.

2.6. Disklerinin Hazırlanması

Çıkarılan bitki ekstraktlarından 10 µL steril petri kutuları içerisine alınarak ve üzerine boş antibiyotik diskleri (Bio-Disk 316010001) yerleştirildi. Disklerin ekstraktları emmesi için petri kutuları kapakları kapalı şekilde 1 saat boyunca buzdolabında (4 °C'de) bekletildi.

2.7. Disk Difüzyon Yöntemiyle Antimikrobiyal Aktivitenin Belirlenmesi

Muller Hinton broth 'da bulunan her bakteri suşundan 0.1 ml (10^6 - 10^7 CFU / ml) numune alınarak Muller Hinton Agar (Merck 1,05437) (MHA) yüzeyine cam drigalski spatülü yardımıyla, inokulasyon besiyeri tarafından tamamen emilene kadar homojen bir şekilde yayıldı. Besiyerinin inokülasyonu emmesi için 10 dakika bekledikten sonra, 10 µL ekstrakt emdirilmiş diskler (Bio-Disk 316010001) petri agar yüzeyine yerleştirildi (Cruz-Gálvez ve ark., 2018).

Daha sonra petri kutuları (90 mm., Fıratmed, Türkiye), Antimikrobiyal Duyarlılık Testleri Avrupa Komitesi'nde belirtilen şartlar altında (16-20 saatte 35°C, *Listeria monocytogenes* %5 CO₂, diğer tüm bakteriler aerobik) inkübasyona bırakıldı (Eucast, 2018). İnkübasyon periyodunun sonunda oluşan bölgeler, uygun bir ışık altında dijital bir kumpas yardımıyla ölçüldü.

2.8. Minimum Inhibitory Concentration (MIC) Derecesinin ve Minimum Bactericidal Concentration (MBC) Belirlenmesi

Araştırmada kullanılan dört bitkinin etanol ekstraktlarının, 8 farklı gıda kaynaklı patojen bakteri üzerindeki MIC değerlerinin belirlenmesinde bifold dilüsyon yöntemi kullanıldı. Her bir bitki ekstraktı için ayrı ayrı olacak şekilde, beş adet steril tüp içerisine 2 ml nutrient broth (Merck 1.05443) ve bir tüp içerisine de 4 ml bitki ekstraktı ilave edildi. Bitki ekstraktı bulunan tüpten 2 ml alınarak, içeriside 2 ml nutrient broth bulunan tüp içerisine ilave edildi. Homojen bir şekilde vortex de (IKA MS-3, Almanya) karıştırıldıktan sonra, bu tüpten 2 ml besiyeri ve ekstrakt karışımında alındı ve üçüncü tüpe aktarıldı işleme bu şekilde son tüpe kadar devam edildi. Son olarak 5 numaralı tüpten de 2 mL ekstrakt ve besiyeri karışımından alınarak atıldı. Böylece her tüpte eşit miktarda ancak bir öncekine göre yarı yarıya azalmış konsantrasyonlar elde edildi. Tüplerin son konsantrasyonları 800, 400, 200, 100, 50, ve 25 mg/L olacak şekilde oluşturuldu. Ayrıca içeriside sadece 2 ml nutrient broth bulunan pozitif kontrol ile 2 ml ekstrakt ve 2 mL Nutrient broth karışımı bulunan negatif kontrol tüpleri de oluşturdu. Negatif kontrol hariç diğer tüm tüpler içerisine 1 µl (10^6 kob/ml 0.5 McFarland bulanıklığına göre ayarlanmış) patojen bakteriler inokule edildi. Tüm tüpler 24 saat 37 ° C'de inkübe edildi. İnkübasyondan sonra, gözle görünür herhangi bir mikrobiyal gelişme göstermeyen tüpün konsantrasyonu MIC değeri olarak kabul edildi (El Mahmood, 2009; By Aamer ve ark., 2015; Chikezie, 2017).

Eshcherichia coli, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus faecalis*, *Salmonella Typhi* ve *Bacillus subtilis*'e karşı araştırmada kullanılan bitki ekstraktlarının MBC değerlerinin belirlenmesi için; herhangi bir mikrobiyal gelişme görülmeyen MIC tüplerinin her birinden 1 µl alınarak Mueller-Hinton agar yüzeyine yayma plak yöntemi kullanılarak ekim yapıldı. 24 saat 37 ° C'de inkübasyonun ardından gelişme göstermeyen en düşük konsantrasyon, test edilen bakteri türüne karşı kullanılan bitki ekstraktının MBC değeri olarak tespit edildi (Dhiman, ve ark., 2011; By Aamer, ve ark., 2015; Chikezie, 2017).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. DPPH Serbest Radikal Giderme Aktivitesi

Afyonkarahisar il kırsalından toplanan bitkilerden elde edilen etanol ekstraktlarının DPPH radikal giderme aktivite analiz sonuçları Tablo 1 de gösterilmiştir.

Tablo 1. Bitki Ekstraktlarının DPPH Serbest Radikal Giderme Aktivite Değerleri

Bitki	DPPH Serbest Radikal Giderme Aktivitesi (%)	Toplam Fenolik Madde (GAE, mM)
Acıgünek (<i>Taraxacum officinale</i>)	41.20 ± 1.05	0.47±0.28
Bicibici (<i>Polygonum cognatum</i>)	52.46± 1.25	0.55±0.60
Sığır Kuyruğu (<i>Verbascum lasianthum</i>)	51.36± 0.24	0.32±0.91
Eksşimen (<i>Galium verum</i>)	61.4 ± 0.94	0.85±0.36

Araştırmada kullanılan tüm bitkilerin iyi bir antioksidan aktiviteye sahip olduğu ortaya konulmuştur. En yüksek antioksidan aktivitesine %61,4 ile Ekşimenin (*Galium verum*), en az antioksidan aktivitesine ise; %41,20 ile Acıgüneğin (*Taraxacum officinale*) sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo1).

Bokhari ve ark. (2013), altı farklı çözücü kullanarak elde ettikleri *Galium aparine* ekstraktlarında en yüksek antioksidan aktivitesine, %58,3 ± 1.32 ile saf su ekstraktından elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Ekşimenin (*Galium verum* L.), bileşiminde p-Kumarik asit (0.983±0.10 mg/100g), İzokuersitrin (78.021±0.95 mg/100g), Rutin (804.262±1.89 mg/100g), kuersitrin (23.64±0.13 mg/100g), Quersetin (26.80±0.15 mg/100g) ve Kaempferol (3.069±0.17 mg/100g) bulunduğunu, bitkinin yüksek antioksidan aktivitesinin bu bileşiklerden kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir (Vlase ve ark., 2014).

3.2. Toplam Fenolik Madde Miktarının Belirlenmesi

Dört farklı bitkinin etanol ekstraktlarının toplam fenolik madde miktarları tablo 1 de gösterilmiştir. Toplam fenolik madde miktarı en yüksek örnek 0.85±0.36 GAE, mM ile, ekşimen örneğine ait olduğu, bunu 0.55±0.60 GAE, mM ile bicibici ve 0.47±0.28 GAE, mM ile acıgünek örneklerinin izlediği belirlenmiştir.

Vlase ve ark., (2014) dört farklı kurutulmuş *Gallium* türünün toplam fenolik madde miktarını araştırdıkları çalışmalarında *Galium verum* L. türünün toplam fenolik madde miktarının 2.6 ± 0.12 (GAE, mM) olarak tespit ettiklerini belirtmişlerdir.

3.3. Antimikrobiyal Aktivite

Dört farklı yöresel bitki türünden elde edilen etanol ekstraktlarının altı farklı gıda kaynaklı patojen üzerindeki antimikrobiyal aktiviteleri tablo 2 de gösterilmiştir.

Tablo 2. Bitki Ekstraktlarının Bazı Gıda Patojenleri Üzerindeki Antimikrobiyal Aktiviteleri (mm Zon Çapı)

	Acıgünek (<i>Taraxacum officinale</i>)	Bicibici (<i>Polygonum cognatum</i>)	Sığır Kuyruğu (<i>Verbascum lasianthum</i>)	Ekşimen (<i>Galium verum</i>)
<i>Esherichia coli</i>	12±0,05	16±0,07	9±0,01	28±0,02
<i>Listeria monocytogenes</i>	20±0,1	18±0,03	8±0,05	26±0,00
<i>Staphylococcus aureus</i>	14±0,12	16±0,15	8±0,01	15±0,07
<i>Enterococcus faecalis</i>	10±0,08	10±0,05	7±0,00	18±0,05
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	7±0,00	7±0,00	7±0,00	9±0,00
<i>Salmonella Typhi</i>	9±0,01	14±0,01	8±0,02	22±0,1

Dört farklı bitki ekstraktı içerisinde en yüksek antimikrobiyal aktivitenin Ekşimen (*Galium verum* L.) tarafından en düşük aktivitenin ise; sığır Kuyruğu (*Verbascum lasianthum* L.) gösterildiği tespit edilmiştir. Ekşimenin en yüksek antimikrobiyal aktiviteyi 28 mm zon çapı ile *Escherichia coli* üzerinde gösterdiği, bu bakteriyi 26 mm zon çapı ile *Listeria monocytogenes* ve 22 mm zon çapı ile *Salmonella Typhi*'nin izlediği belirlenmiştir.

Elde ettiğimiz antimikrobiyal aktivite değerleri, Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) ve European Committee on Antimicrobial Susceptibility (EUCAST) tarafından belirlenen standart değerler (Tablo 3) ile kıyaslandığında; *Esherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Enterococcus faecalis* ve *Salmonella Typhi*'nin ekşimen'e (*Galium verum*) duyarlı olduğu, *Staphylococcus aureus*'ün orta duyarlı olduğu ve *Pseudomonas aeruginosa*'nın ise dirençli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca araştırmamızda kullandığımız tüm patojenler ise, Sığır Kuyruğuna (*Verbascum lasianthum*) karşı duyarlı olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlara benzer şekilde Vlase ve ark., (2014), *Galium verum*'um antimikrobiyal etkisinin *Staphylococcus aureus* üzerinde 11 ± 0.05, *Listeria monocytogenes* üzerinde 16 ± 0.05 ve *Escherichia coli* üzerinde 10 ± 0.05 mm zon çapı olduğunu bildirmişlerdir.

Kahraman ve ark. (2011) çalışmalarında *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* ve *Pseudomonas aeruginosa*'nın *Verbascum lasianthum*'a karşı dirençli olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacıları elde ettikleri sonuçlar araştırmamız bulgularına benzerlik göstermektedir.

3.4. Minimum Inhibitory Concentration (MIC) ve Minimum Bactericidal Concentration (MBC)

Afyonkarahisar ili ve çevresi kırsalında doğal olarak yetişen dört farklı bitkinin etanol ekstraktlarının altı farklı gıda patojeni üzerindeki MIC değerleri Tablo 4 de gösterilmiştir.

En düşük MIC değerleri Ekşimen (*Galium verum*) tarafından en yüksek MIC değerlerinin ise; sığır Kuyruğu tarafından (*Verbascum lasianthum*) gösterildiği tespit edilmiştir. Ekşimenin en düşük MIC değerini 24 µg/mL ile *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* ve *Salmonella Typhi* üzerinde göstermiştir. Buna karşın Sığır kuyruğunun (*Verbascum lasianthum*) MIC değerlerinin çalışmamızda kullandığımız tüm patojenler üzerinde >1000 µg/mL olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3. CLSI and Eucast Clinical Microbiological Zone Diameter Standards (mm) (CLSI, 2015; EUCAST, 2018).

Antibiotics	<i>Esherichia coli</i>			<i>Staphylococcus aureus</i>			<i>Salmonella Typhi</i>			<i>Enterococcus faecalis</i>			<i>Listeria monocytogenes</i>			<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		
	S	I	R	S	I	R	S	I	R	S	I	R	S	I	R	S	I	R
Ampicilin	≥17	14-16	≤13	NT	NT	NT	≥17	14-16	≤13	≥10	9	≤8	≥16	-	≤16	NT	NT	NT
Benzylpenicillin	≥14	-	≤14	≥26	-	≤26	≥14	-	≤14	NT	NT	NT	≥13	-	≤13	NT	NT	NT
Amoxicillin-clavulanic acid	≥18	14-17	≤13	NT	NT	NT	≥18	14-17	≤13	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
Gentamicin GN10	≥15	13-14	≤12	≥15	13-14	≤12	≥15	13-14	≤12	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
Penicilin	NT	NT	NT	≥29	-	≤28	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
Netilmicin	≥15	13-14	≤12	≥18	-	≤18	≥15	13-14	≤12	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
Erythromycin	NT	NT	NT	≥23	14-22	≤13	NT	NT	NT	NT	NT	NT	≥25	-	≤25	NT	NT	NT
Streptomycin	≥15	12-14	≤11	NT	NT	NT	≥15	12-14	≤11	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
Chloramphenicol	≥18	13-17	≤12	≥18	13-17	≤12	≥18	13-17	≤12	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
Sulfonamides	≥17	13-16	≤12	≥17	13-16	≤12	≥17	13-16	≤12	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
Kanamycin	≥18	14-17	≤13	≥18	14-17	≤12	≥18	14-17	≤13	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
<u>Tetracycline</u>	NT	NT	NT	≥19	15-18	≤14	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
Clindamycin	NT	NT	NT	≥21	15-20	≤14	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
Fusidic Acid	NT	NT	NT	≥24	-	≤44	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
Penicilin	NT	NT	NT	≥29	-	≤28	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
Piperacilin	≥20	16-19	≤17	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	≥18	-	≤18
Ticarcilin	≥23	21-22	≤20	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	≥18	-	≤18

NT: Çalışma yok, S: Duyarlı, I:Orta duyarlı, R: dirençli

Tablo 4. Bitki Ekstraktlarının MIC Değerleri (µg/mL).

Bakteri	MIC (µg/mL) ve MBC (µg/mL) Değerleri							
	Acıgünek (<i>Taraxacum officinale</i>)		Bicibici (<i>Polygonum cognatum</i>)		Sığır Kuyruğu (<i>Verbascum lasianthum</i>)		Ekşimen (<i>Galium verum</i>)	
	MIC	MBC	MIC	MBC	MIC	MBC	MIC	MBC
<i>Esherichia coli</i>	192	384	192	384	>1000	>1000	24	48
<i>Listeria monocytogenes</i>	48	96	96	192	>1000	>1000	24	48
<i>Staphylococcus aureus</i>	192	384	384	768	>1000	>1000	384	768
<i>Enterococcus faecalis</i>	384	768	384	768	>1000	>1000	48	192
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
<i>Salmonella Typhi</i>	768	>1000	192	384	>1000	>1000	24	48

Sonuçlarımız; EUCAST tarafından belirlenen standart MIC değerleri (Tablo 5) ile kıyaslandığında *Esherichia coli*, *Listeria monocytogenes* ve *Salmonella Typhi*'nin ekşimen'e (*Galium verum*) duyarlı olduğu, *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus* ve *Pseudomonas aeruginosa*'nın ise dirençli olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5. Eucast Clinical MIC Breakpoint Tables (mg/L) (EUCAST, 2018).

Antibiotics	<i>Esherichia coli</i>		<i>Staphylococcus aureus</i>		<i>Salmonella Typhi</i>		<i>Enterococcus faecalis</i>		<i>Listeria monocytogenes</i>		<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	
	S≤	R>	S≤	R>	S≤	R>	S≤	R>	S≤	R>	S≤	R>
Benzylicillin	NT	NT	0,125	0,125	NT	NT	NT	NT	1	1	NT	NT
Ampicilin	8	8	NT	NT	8	8	4	8	1	1	NT	NT
Gentamicin	2	4	1	1	2	4	NT	NT	NT	NT	NT	NT
Netilmicin,	2	4	1	1	2	4	NT	NT	NT	NT	NT	NT
Erythromycin	NT	NT	1	2	NT	NT	NT	NT	1	1	NT	NT
Clindamycin	NT	NT	0,25	0,5	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
Fusidic acid	NT	NT	1	1	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
Chloramphenicol	8	8	8	8	8	8	NT	NT	NT	NT	NT	NT
<u>Tetracycline</u>	NT	NT	1	2	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
Cefalexin	16	16	NT	NT	16	16	NT	NT	NT	NT	NT	NT
Amoxicillin	8	8	NT	NT	8	8	4	8	NT	NT	NT	NT
Piperacilin	8	16	NT	NT	8	16	4	8	NT	NT	16	16
Ticarcilin	8	16	NT	NT	8	16	NT	NT	NT	NT	16	16

NT: Çalışma yok, S: Duyarlı, R: dirençli

Benzer şekilde en düşük MBC değerlerinin Ekşimen (*Galium verum* L.) tarafından gösterildiği belirlenmiştir. Sığır kuyruğu (*Verbascum lasianthum* L.) tarafından gösterilen MBC değerlerinin ise, çalışmamızda kullandığımız tüm patojenlere karşı >1000 olduğu tespit edilmiştir.

Vasilevna ve ark. (2016) Ekşimenin (*Galium verum* L.) MIC değerlerini *Staphylococcus aureus* üzerinde 62.5 µg/mL, *Escherichia coli* üzerinde 250 µg/mL ve *Pseudomonas aeruginosa* üzerinde ise 250 µg/mL olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Aynı araştırmacılar *Galium verum*'un MBC değerlerini, *Staphylococcus aureus* üzerinde 125µg/mL, *Escherichia coli* üzerinde 500 µg/mL ve *Pseudomonas aeruginosa* üzerinde ise 250 µg/mL olarak bildirmişlerdir.

Şener ve Dülger (2009) *Verbascum sinuatum*'un MIC ve MBC değerlerini *Enterococcus faecalis* için 4 ve 8 µg/mL, *Escherichia coli* için 500 ve 1000 µg/mL ve *Pseudomonas aeruginosa* için 250 ve 500 µg/mL, olarak tespit ettiklerini belirtmişlerdir. Araştırmacıların elde ettiği sonuçlar sonuçlarımız ile büyük ölçüde benzerlik göstermesine rağmen bazı farklılıklar bulunmaktadır. Aradaki bu farklılıkların; bitkilerdeki tür, çalışmalarda kullanılan suş ve uygulanan yöntem farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Galium verum L.'un etanol ekstraktının antimikrobiyal etkisinin, bitkinin bileşiminde bulunan kaempferol, isoquersitrin, quarcetin ve quersitrinden kaynaklandığı (Valle ve ark., 2016; Taiwo ve Ibenghu, 2014; Tatsimo ve ark., 2012) bildirilmiştir. Ayrıca rutinin kendi başına herhangi bir antimikrobiyal aktivite göstermemesine karşın, rutin varlığında diğer bileşenlerin aktiviteleri artırdığı araştırmacılar tarafından ortaya konulmuştur (Arima ve ark., 2002).

4. Sonuç

Bu araştırmada Afyonkarahisar bölgesinde yetişen ve bölgede yaşayan halk tarafından gıda amaçlı olarak tüketilen, yabani bitkilerden bazılarının antioksidan ve antimikrobiyal etkileri araştırmıştır. Çalışmada kullanılan bitkilerin özellikle zengin antioksidan özelliklere sahip oldukları belirlenmiştir. Benzer Şekilde, Sığır kuyruğu hariç diğer bitkilerin (zellikle ekşimen) alışmamızda kullandığımız altı patojenin beşine karşı antimikrobiyal etki gösterdiği tespit edilmiştir.

Yöre halkı tarafından çok uzun zamandan beri tüketilen bu bitkiler ile ilgili daha fazla araştırmanın yapılması sonucunda bu bitkilerin; günlük diyetimiz içerisine alınarak, diğer bölgelerde de tketilebilmesinin gerçekleştirilmesi, sadece doğada yabani ortamlarda ve belli bölgelerde değil, kültüre alınarak tüm bölgelerde ve daha geniş çaplı olarak yetiştirilmesinin sağlanmasının gerekliliği düşünülmektedir.

Ayrıca bugün gıda sanayisinde kullanılan pek çok kimyasal kaynaklı koruyucuya alternatif olarak bu bitkiler ve bu bitkilerden elde edilecek ürünlerin kullanılması ile, hem daha doğal gıdaların elde edilmesi sağlanmış olunacak ve hem de tüketicilerin akıllarında oluşan pek çok sorunun da önüne geçileceği kaçınılmazdır.

Kaynakça

- Akçiçek, E., & Vural, M. (2007). Kumalar dağı (Afyonkarahisar)'nın endemik ve nadir bitkileri. *BAÜ FBE Dergisi*, 9(2), 78-86.
- Anonim. (2010). Afyonkarahisar, Afyonkarahisar Belediyesi.
- Arima, H., Ashida, H., & Danno, G. (2002). Rutin-enhanced antibacterial activities of flavonoids against *Bacillus cereus* and *Salmonella Enteritidis*. *Biosci Biotechnol Biochem*, 66(5), 1009-1114. <http://dx.doi.org/10.1271/bbb.66.1009>
- Başer, K.H.C. (2015). Sığırkuyruğu (*Verbascum* spp.) *Bağ Bahçe*, 61, 22-23.
- Bokhari, J., Khan, M.R., Shabbir, M., Rashid, U., Jan, S., & Zai, J.A. (2013). Evaluation of diverse antioxidant activities of *Galium aparine*. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 102, 24–29.
- By Aamer, A.A., Abdul-Hafeez, M.M., & Sayed, S.M. (2015). Minimum inhibitory and bactericidal concentrations (MIC & MBC) of honey and bee propolis against multidrug resistant (MDR) *Staphylococcus* Spp. isolated from bovine clinical mastitis. *Global Journal of Science Frontier Research: D Agriculture and Veterinary*, 15(2), Version 1.0.
- Chikezie, I.O. (2017). Determination of minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) using a novel dilution tube method. *African Journal of Microbiology Research*, 11(23), 977-980. <https://doi.org/10.5897/AJMR2017.8545>
- Chu, S.C., & Chen, C. (2006). Effects of origins and fermentation time on the antioxidant activities of Kombucha. *Food Chemistry*, 98, 502–507. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.080>
- CLSI. (2015). Clinical and Laboratory Standards Institute, Zone diameter and minimal inhibitory concentration (MIC) Standards.
- Cruz-Gálvez, A.M., Castro-Rosas, J., Rodríguez-Marín, M.L., Cadena-Ramírez, A., Tellez-Jurado, A. Tovar-Jiménez, X., ve ark. (2018). Antimicrobial activity and physicochemical characterization of a potato starch-based film containing acetic and methanolic extracts of *Hibiscus sabdariffa* for use in sausage. *LWT-Food Science and Technology*, 93, 300-305. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.064>
- Da-Costa-Rocha, I., Bonnlaender, B., Sievers, H., Pischel, I., & Heinrich, M. (2014). *Hibiscus sabdariffa* L. A phytochemical and pharmacological review. *Food Chemistry*, 165, 424–443. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.00>
- Dhiman, A., Nanda, A., Ahmad, S., & Narasimhan, B. (2011). In vitro antimicrobial activity of methanolic leaf extract of *Psidium guajava* L. *J Pharm Bioallied Sci*, 3(2), 226-229. <http://dx.doi.org/10.4103/0975-7406.80776>
- El-Mahmood, M.A. (2009). Antibacterial efficacy of stem bark extracts of *Mangifera indica* against some bacteria associated with respiratory tract infections. *Sci Res Essays*, 4(10), 1031-1037.
- Eucast. (2018). European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing. http://www.eucast.org/fileadmin/src/media/PDFs/EUCAST_files/Breakpoint_tables/v_8.0_Breakpoint_Tables.pdf
- Kahraman, Ç., Ekizoğlu, M., Kart, D., Akdemir, Z.Ş., & Tatlı, I.I. (2011). Antimicrobial activity of some *Verbascum* species growing in Turkey. *FABAD J. Pharm. Sci*, 36, 11-15.
- Şener, A., & Dülger, B. (2009). Antimicrobial activity of the leaves of *Verbascum sinuatum* L. on microorganisms isolated from urinary tract infection. *African Journal of Microbiology Research*, 3(11), 778-781
- Taiwo, B.J., & Igbeneghu, O.A. (2014). Antioxidant and Antibacterial Activities of Flavonoid Glycosides from *Ficus Exasperata* Vahl-Holl (Moraceae) Leaves. *Afr J Tradit Complement Altern Med*, 11(3), 97–101. <http://dx.doi.org/10.4314/ajtcam.v11i3.14>

- Tatsimo, S.J., Tamokou, J.D., Havyarimana, L., Csupor, D., Forgo, P., Hohmann, ve ark. (2012). Antimicrobial and antioxidant activity of kaempferol rhamnoside derivatives from *Bryophyllum pinnatum*. *BMC Res Notes*, 20, 105-158. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-5-158>.
- Valle, P., Garcia-Armesto, R.G., Ariaga, D., Gonzalez-Donquiles, C., Rodriguez-Fernandez, P., & Rua, J. (2016). Antimicrobial activity of kaempferol and resveratrol in binary combinations with parabens or propyl gallate against *Enterococcus faecalis*. *Food Control*, 61, 213-220. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.10.001>
- Vasilevna, I.T., Volodymyrivna1, G.O., Leonidivna, T. E., Aleksandrovna, K.I., & Mihaylovna1, K.A. (2016). Antimicrobial Activity of the Genus *Galium* L. *Pharmacogn. Commn*, 6(1), 42-47. <http://dx.doi.org/10.5530/pc.2016.1.8>
- Vlase, L., Mocan, A., Hanganu, D., Benedec, D., Gheldiu, A., & Crişan, G. (2014). Comparative study of polyphenolic content, antioxidant and antimicrobial activity of four *Galium* Species (*Rubiaceae*) digest. *Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 9(3),1085-1094.
- Wang, K., Zhang, Y.J., & Yang, C.H. (2005). Antioxidant phenolic compounds from rhizomes of *Polygonum paleaceum*. *J. Ethnopharmacol*, 96, 483–487.
- You, Y., Yoo, S., Yoon, H. G., Park, J., Lee, H. Y., Kim, S., Oh, K. T., ve ark. (2010). In vitro and in vivo hepatoprotective effects of the aqueous extract from *Taraxacum officinale* (dandelion) root against alcohol-induced oxidative stress. *Food and Chemical Toxicology*, 48(6), 1632-1637. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.03.037>
- Yücel, E. & Tunay, M. (2002). Nazilli (Aydın) ve yöresinde gıda olarak kullanılan yabancı otlar. *Türkiye Herboloji Dergisi*, 5(2), 10-17.
- Yücel, E. (2012). *Türkiye'nin Çayır, Mera ve Ormanlarının Zehirli Bitkileri*. Ulus/ Ankara: Arkadaş Basım.
- Yücel, E., Yücel Şengün, İ., & Çoban, Z. (2012). The wild plants consumed as a food in Afyonkarahisar/Turkey and consumption forms of these plants. *Biological Diversity and Conservation*, 5(2), 95-105.



Benzinli genel amaçlı motorların maksimum güçteki performanslarının karşılaştırılması için basit bir yaklaşım

Emre Arabacı^{1*}

¹ Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, BEGTBMYO, Bucak-Burdur-Türkiye (ORCID: 0000-0002-6219-7246)

(İlk Geliş Tarihi 15 Ocak 2019 ve Kabul Tarihi 2 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.513253)

ATIF/REFERENCE: Arabacı, E. (2019). Benzinli genel amaçlı motorların maksimum güçteki performanslarının karşılaştırılması için basit bir yaklaşım. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 269-279.

Öz

Bahçe çapa makineleri, zincirli testereler, jeneratörler, çim biçme makineleri, mini traktörler gibi makinelerde kullanılan tek veya çift silindirli, düşük güç kapasitesine sahip motorlar genel amaçlı motorlar olarak adlandırılmaktadır. Her motor üreticisinin kendine özgü yapısal tasarımlara sahip motorları bulunmaktadır. Bu motorların güçleri genel olarak kurs hacmine bağlı olarak değişmektedir. Ancak motor katalogları incelendiğinde kurs oranı, maksimum güçteki hızı ve sıkıştırma oranı gibi karakteristik özellikleri birbirinden farklıdır. Bu çalışmada kurs hacmi, sıkıştırma oranı ve kurs oranı birbirinden farklı olan benzinli genel amaçlı motorların maksimum güçteki performansları, sürtünme, tersinmezlik, egzoz ve ısı kayıpları da dikkate alınarak karşılaştırılabildiği basit bir termodinamik model sunulmuştur. Sayısal çalışma için 5 farklı üreticiye ait 10 adet genel amaçlı motorun fiziksel özellikleri referans alınarak maksimum güç ürettikleri şartlarda termodinamik modellemeleri yapılarak performansları karşılaştırılmıştır. Motorlara ait kataloglardaki güç değerleri ile termodinamik modele göre hesaplanan güç değerleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır ve bu termodinamik modelin kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Oluşturulan termodinamik modele göre motorların maksimum çevrim sıcaklıkları, özgül yakıt tüketimleri ve güç yoğunlukları karşılaştırılmıştır. Ayrıca her motora ait ısı balansı oluşturulmuştur. Marka, model ve kurs hacmi ve efektif gücünden bağımsız olarak motor parametreleri kurs oranı ve özgül yakıt tüketimine bağlı olarak incelenmiştir. Yapılan inceleme neticesinde özgül yakıt tüketimi ve kurs oranının artmasıyla birlikte maksimum çevrim sıcaklığı, güç yoğunluğu ve mekanik verimde azalma meydana gelmektedir. Bununla birlikte kurs oranının artması özgül yakıt tüketimini de artırmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre motorların karşılaştırılması için yalnızca kurs hacmi ve motor gücü gibi basit özelliklerin yanında kurs oranı, sıkıştırma oranı gibi özelliklerin de karşılaştırma için önemli ve etkili parametreler olduğu görülmüştür. Bu çalışma neticesinde, sunulan termodinamik modelin farklı fiziksel özelliklere sahip benzinli genel amaçlı motorların karşılaştırılabilmesi için kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Genel amaçlı motor, motor performansı, Otto çevrimi, benzinli motor

A simple approach for comparing performance of gasoline general-purpose engines at maximum power

Abstract

The single or double (twin) cylinder, low power capacity engines used in machines such as garden hoe machines, chainsaws, generators, lawnmowers, mini tractors are called general-purpose engines. Each engine manufacturer has engines with its own unique structural designs. The power of these engines generally varies depending on the swept volume. However, when the engine catalogs are examined, the characteristics such as stroke ratio, maximum power speed, and compression ratio are different. In this study, we present a simple

* Sorumlu Yazar: Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Emin Gülmez Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 15300, Bucak-Burdur-Türkiye, ORCID: 0000-0002-6219-7246 earabaci@mehmetakif.edu.tr

thermodynamic model in which the gasoline general-purpose engines, whose swept (stroke) volume, compression ratio and stroke ratio are different, can be compared by taking into account their performance at maximum power, friction, irreversibility, exhaust and heat losses. For the numerical study, by comparing the physical properties of 10 general purpose engines of 5 different manufacturers, their performance was compared by performing thermodynamic modeling in the conditions where they produced maximum power. The power values in the catalogs of the engines and the power values calculated according to the thermodynamic model were very close to each other and this thermodynamic model was used. According to the thermodynamic model, maximum cycle temperatures, specific fuel consumption and power density of the engines were compared. In addition, the heat balance of each engines is created. Regardless of the brand, model and stroke volume and effective power, engine parameters are examined according to stroke ratio and specific fuel consumption. As a result of the study, the maximum cycle temperature, power density and mechanical efficiency decrease with the increase in the specific fuel consumption and the stroke ratio. However, the increase in the stroke ratio increases the specific fuel consumption. According to the obtained results, it is seen that the characteristics such as course rate and compression ratio as well as simple properties such as stroke volume and engine power are important and effective parameters for comparison. As a result of this study, it can be seen that the thermodynamic model presented can be used to compare gasoline general purpose engines with different physical properties.

Keywords: General purpose engine, engine performance, Otto cycle, gasoline engines

1. Giriş

1678 yılından günümüze kadar içten yanmalı motorlar üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Ganesan, 2012). Özellikle 1887 yılındaki Nikolaus August Otto'nun atmosferik gaz motoru patenti (Otto, 1887) ve 1898 yılındaki Rudolf Diesel'in içten yanmalı motor patenti (Diesel, 1898) sonrasında içten yanmalı motorların gelişimi de ivme kazanmıştır. Günümüzde içten yanmalı motorlar hem mobil hem de sabit sistemlerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Heywood, 2018).

Düşük güç kapasitelerine sahip kompakt yapıları genel kullanım amaçlı motorlar sıkıştırma ateşlemeli veya buji ateşlemeli olabilmektedir. Bu tür motorlar tek ya da çift silindirli olabilmektedir. Çapa makinesi, zincirli testere ve düşük kapasiteli taşınabilir jeneratörlerde buji ateşlemeli (benzinli) motorlar tercih edilirken, bahçe traktörleri ve yüksek kapasiteli taşınabilir jeneratörlerde ise sıkıştırma ateşlemeli (dizel) motorlar tercih edilmektedir (Arabacı, 2018a).

Isı çevrimleri için yalnızca klasik denge termodinamiği (veya klasik termodinamik) modellerin ötesinde gerçek çevrim kayıplarının da göz önünde bulundurularak daha gerçekçi modellerin oluşturulması istenmektedir. Klasik termodinamikte yer alan ısı çevrimleri kabulü sanki durağan, başka bir ifade ile ısı kayıplar, tersinmezlikler, özgül ısının sıcaklığa bağlı değişimi gibi parametrelerin göz ardı edildiği ve sonsuz sürede gerçekleşen çevrimleridir. Klasik termodinamikte yer alan bu kabullerle gerçek motorların karşılaştırılması çok yanıltıcı olmaktadır. Bu nedenle modern termodinamiğin bir konusu olan sonlu zaman termodinamiği modeli ile teorik çevrimlerin sürtünme, özgül ısı değişimi, tersinmezlikler, ısı kayıplar gibi parametrelerin etkileri dikkate alınarak sonlu zamanda gerçekleşen çevrim modelleri son zamanlarda sıklıkla kullanılmaktadır (Kaushik ve ark., 2017). Sonlu zaman termodinamiği gaz türbini, absorpsiyon termodinamik çevrimler, iki ısı kaynaklı çevrimler, mikroskobik çevrimler ve içten yanmalı motorlar gibi birçok çevrimi optimize etmek için kullanılabilir (Ge, 2018). Benzinli genel kullanım amaçlı motorların klasik termodinamikteki teorik ısı çevrimi karşılığı Otto çevrimidir (Wu, 2002). Bu çevrimde süreçler tersinirdir ve çalışma maddesi olarak ideal hava ve sabit özgül ısılar kullanılmaktadır. Bununla birlikte, sürtünme, ısı transferi gibi kayıplar ihmal edilmektedir. Bu nedenle teorik ısı çevrimlerinin ısı verimleri gerçek motorların ısı verimlerinden oldukça yüksektir (Ansermet, 2019).

Son yıllarda sonlu zaman termodinamiği yaklaşımı kullanılarak içten yanmalı motorların modellendiği birçok çalışma yapılmıştır. Bu tür çalışmalarda sıkıştırma oranı (Gonca ve ark., 2016, Ebrahimi ve ark., 2018, Ebrahimi ve ark., 2013), kurs uzunluğu (Ebrahimi, 2012, Gonca ve ark., 2016, Dobrucalı, 2016), kurs oranı (Gonca ve ark., 2013), sürtünme kaybı (Ebrahimi, 2011, Gonca ve ark., 2016), yanma verimi (Wu ve ark. 2018), ısı verim (Ge ve ark., 2018, You ve ark. 2018), termodinamik verim (Arabacı, 2018b), artık gazların oranı (Ebrahimi, 2013, Özdemir, 2018), ısı transferi kayıpları (Ge ve ark., 2017), entropi üretimi (You ve ark., 2017, Ebrahimi, 2016) gibi birçok parametrenin etkileri tartışılmıştır. Ayrıca yapılan çalışmalarda çalışma maddesi olarak sadece hava (Ge ve ark., 2017, Ge ve ark., 2005), hava-yakıt karışımı (Gonca, 2017, Ebrahimi, 2016) veya hava-yakıt-artık gaz karışımı (Ebrahimi, 2013) da kullanılmıştır. Çevrimdeki çalışma maddesinin özgül ısısı için sabit (Ebrahimi, 2013, Özdemir ve ark., 2018), sıcaklığa bağlı lineer değişen (Wu ve ark., 2018, Ge ve ark., 2017), veya sıcaklığa bağlı polinomal değişen (Ge ve ark., 2018) özgül ısı kabulü ile modeller oluşturulmuştur. Ayrıca sonlu zaman termodinamiği, Otto (Ge ve ark., 2018, Ge ve ark., 2017), Diesel (Ge ve ark., 2008), Karma (Ge ve ark. 2009), Miller (Wu ve ark., 2018, Wu ve ark., 2017), Atkinson (Ebrahimi, 2011) gibi birçok içten yanmalı motor çevriminin optimizasyonu, karşılaştırılması ve tasarım parametrelerinin incelenmesi için uygulanmaktadır.

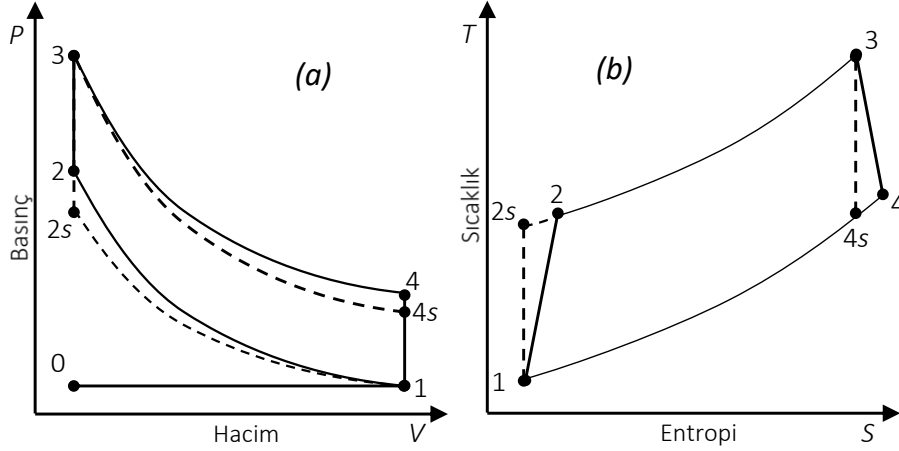
Dobrucalı ve arkadaşları, tersinmez bir Otto-Miller çevrimi için ısı transferi, sürtünme, sıkıştırma ve genişleme işlemlerindeki iç tersinmezlikler ve özgül ısının sıcaklığa bağlı değişimi göz önünde bulundurularak termodinamik bir analiz yapmışlardır. Yapılan analizde çevrim sıcaklık oranı, çevrim basınç oranı, sürtünme katsayısı, motor hızı, ortalama piston hızı, kurs uzunluğu, giriş sıcaklığı giriş basıncı, eşdeğerlik oranı, sıkıştırma oranı ve kurs oranı gibi motor tasarım parametrelerinin efektif güce, efektif güç yoğunluğuna ve efektif verime olan etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir (Dobrucalı ve ark., 2016). Ge ve arkadaşları, tersinmez Otto çevrimi için hava standardı varsayımı ile sürtünme, iç tersinmezlikler ve sürtünme kaybının etkileri göz önünde bulundurularak termodinamik bir model oluşturmuşlardır. Oluşturulan modelde entropi üretim oranı ve ekolojik fonksiyon parametreleri, motor performans parametrelerine göre detaylı olarak incelenmiştir (Ge ve ark., 2018). Ebrahimi ve arkadaşları, tersinmez hava standardı dual çevriminde özgül ısı değişiminin, sürtünme kayıplarının, iç tersinmezliklerinin ve ısı transferi kayıplarının etkilerinin kurs uzunluğu ve hacimsel

verimin etkilerinin incelendiği termdinamik bir model oluşturmuştur. Bu model ile birlikte kurs uzunluğu ve hacimsel verimin motor performans parametrelerine olan etkileri sayısal örnekle birlikte detaylı bir şekilde incelenmiştir (Ebrahimi ve ark., 2013). Özdemir ve arkadaşları, ortalama piston hızı ve artık gaz oranının Otto çevrimli motor performansı üzerindeki etkisinin incelenmesi için tersinmezliklerin hesaba katıldığı termodinamik bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde çevrim çalışma maddesi olarak yakıt-hava-artık gaz karışımı kullanılmıştır. Ayrıca çevrim başlangıç sıcaklığı, artık gaz miktarı ve sıcaklığının bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir (Özdemir ve ark., 2018). Ebrahimi, hava standardı Atkinson çevrimi performansını özgül ısı oranının sıcaklığa bağlı doğrusal olarak değiştiğini, sürtünme kaybının piston ortalama hızına göre değiştiği ve iç tersinmezliklerin hesaba katıldığı bir termodinamik model oluşturmuştur. Oluşturulan termodinamik model güç çıkışı- sıkıştırma oranı, güç çıkışı-ısı verim arasındaki ilişkiler detaylı sayısal örnekle ifade edilmiştir (Ebrahimi, 2011). Ge ve arkadaşları, hava standardı miller çevrimi için sıvı transferi ve sürtünme gibi kayıpların hesaba katıldığı termodinamik bir model oluşturmuşlardır. Yapılan çalışmada, güç çıkışı-sıkıştırma oranı ve ısı verim-sıkıştırma oranı arasındaki ilişkiler sayısal örnekle sunulmuş ve tartışılmıştır. (Ge ve ark., 2005). You ve arkadaşları, politropik süreç ve ısı transferi kayıplarının hesaba katıldığı dual-Miller çevrimi ile ilgili termodinamik bir model oluşturmuşlardır. Entropi üretim oranı, ekolojik faktör gibi ikinci yasa parametreleri sonlu zaman termodinamiği ile ele alınmıştır. Sayısal hesaplamalar neticesinde sıkıştırma oranı, kesme oranı ve politropik üslerin değişiminin motor performansı üzerindeki etkileri termodinamik olarak analiz edilmiştir (You ve ark., 2015). Ge ve arkadaşları, Ge ve arkadaşları, iç tersinmezlikler, sürtünme kaybı ve ısı transferi kaybının hesaba katıldığı hava standardı otto çevrimi için termodinamik modeli oluşturmuşlardır. Oluşturulan model ile birlikte entropi üretim oranı ve ekolojik faktör parametreleri tersinmezlik kaynaklarına göre motor performans parametrelerine olan etkileri incelenmiştir. (Ge ve ark., 2017).

Bu çalışmada farklı yapısal özelliğe ve farklı kapasiteye sahip hava soğutmalı, normal emişli ve benzinli genel amaçlı motorların tam yükteki (maksimum güçteki) performanslarının karşılaştırılabildiği bir model oluşturulmuştur. Bunun için öncelikle farklı üreticilere ait motorların teknik katalogları incelenerek, sıkıştırma oranı, maksimum güç, maksimum güçteki hız, kurs/çap oranı ve kurs hacmi değerleri elde edilmiştir. Hesaplamalarda bu değerler referans olarak kabul edilmiştir. Sonlu zaman termodinamiği modeli için çalışma maddesinin stokiyometrik oranda hava-yakıt ve belirli oranda önceki çevrimden silindir içerisinde kalan artık gaz olduğu kabul edilmiştir. Özgül ısıların sıcaklığa bağlı olarak logaritmik bir fonksiyonda değiştiği kabul edilmiştir.

2. Termodinamik Model

Şekil 1’de gösterilen Otto çevrimine ait PV ve TS diyagramında 0-1 ve 1-0 ise sırasıyla emme ve egzoz zamanını, “s” indisi ise tersinir olarak gerçekleşen sıkıştırma ve genleşme süreçlerini ifade etmektedir. (Arabacı, 2018b).



Şekil 1. Otto çevrimi için (a) PV ve (b) TS diyagramı

Otto çevriminde $2 \rightarrow 3$ sürecinde gerçekleşen birim zamandaki ısı girişi (\dot{Q}_{in}) ile $4 \rightarrow 1$ sürecinde gerçekleşen birim zamandaki çıkan ısı (\dot{Q}_{out}) arasındaki fark indike gücü (P_i) ifade etmektedir. Efektif güç (P_e) ise P_i ile sürtünme gücünün (P_{fr}) arasındaki farka eşittir. P_e/P_i oranı ise mekanik verim (η_m) olarak tanımlanmaktadır.

$$P_i = Q_{in} - |Q_{out}| \quad (1)$$

$$P_e = P_i - P_{fr} \quad (2)$$

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} = \frac{Q_{in} - |Q_{out}| - |P_{fr}|}{Q_{in} - |Q_{out}|} = 1 - \frac{|P_{fr}|}{Q_{in} - |Q_{out}|} = \frac{P_e}{P_e + |P_{fr}|} \quad (3)$$

P_{fr} , sürtünme katsayısı (μ) ve ortalama piston hızının (s_{pm}) bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$P_{fr} = -\mu(s_{pm})^2 = \frac{-\mu N^2}{900} \left[\frac{4\lambda^2 v_d}{\pi} \right]^{2/3} \quad (4)$$

Burada N , λ ve v_d sırasıyla motor hızı, kurs oranı ve kurs hacmini ifade etmektedir. Sistemdeki çalışma akışkanının (m_{mix}) yakıt (m_f), hava (m_a) ve artık gazdan (m_r) meydana geldiği varsayılmıştır. Artık gazın ise C_8H_{18} 'in stokiyometrik orandaki hava ile tam yanma sonucundaki CO_2 , H_2O ve N_2 den oluşan bir karışımından meydana geldiği kabul edilmiştir (Özdemir ve ark., 2018).

$$m_{mix} = m_f + m_a + m_r = \frac{m_f(\phi + \alpha)}{\phi(1 - x_r)} \quad (5)$$

$$\dot{m}_{mix} = \frac{m_{mix}N}{120} \quad (6)$$

Burada ϕ , α ve x_r , sırasıyla eşdeğerlik oranını, stokiyometrik hava/yakıt oranını ve artık gaz kesrini ifade etmektedir. λ ve x_r aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\lambda = \frac{L}{D} = \frac{4v_d}{\pi D^3} \quad (7)$$

$$x_r = \frac{m_r}{m_{mix}} \quad (8)$$

Çevrim başlangıç sıcaklığı olan T_1 genellikle ortam sıcaklığına eşit ve sabit bir değer olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada ise T_1 değeri T_a , T_4 ve x_r 'nin parametresi olarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$T_1 = T_a + \frac{x_r R_r (T_4 - T_a)}{R_{mix}} \quad (9)$$

\dot{Q}_{in} ve \dot{Q}_{out} ise aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_{mix} \int_{T_2}^{T_3} c_{vmix} dT \quad (10)$$

$$\dot{Q}_{out} = \dot{m}_{mix} \int_{T_4}^{T_1} c_{vmix} dT \quad (11)$$

Bu çalışmada özgül ısıların sıcaklığın logaritmik bir fonksiyonu olduğu kabul edilmiştir. Bunun için NIST-JANAF termokimyasal katsayılarından (Chase, 1998) faydalanılarak yakıt, hava ve artık gaz için özgül ısının sıcaklığa bağlı değişimi eğrisi elde edilmiş ve bu eğri $y = a + b \ln x$ genel formundaki logaritmik bir fonksiyonla ifade edilmiştir.

$$c_{vi} = a_{vi} + b_i \ln T \quad (12)$$

$$c_{pi} = a_{pi} + b_i \ln T \quad (13)$$

$$R_i = a_{pi} - a_{vi} \quad (14)$$

Buradaki “i” indisi hava (a), yakıt (f), artık gaz (r) veya çalışma akışkanını (mix) ifade etmektedir. Buradaki katsayılar tablo 1’deki gibi belirlenmiştir.

Tablo 1. NIST-JANAF tabloları yardımıyla türetilen katsayılar

Katsayı	Yakıt	Hava	Artık Gaz
a_{vi}	-8.31762	-0.12911	-0.41814
a_{pi}	-8.24469	0.15917	-0.12737
b_i	1.75018	0.14370	0.20460

Herhangi bir sıcaklık için çalışma akışkanına ait a_{vmix} , a_{pmix} ve b_{mix} katsayıları aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

$$a_{vmix} = \frac{1 - x_r}{1 + \alpha\lambda} (a_{vf} + \alpha x_r a_{va}) + x_r a_{vr} \quad (15)$$

$$a_{pmix} = \frac{1 - x_r}{1 + \alpha\lambda} (a_{pf} + \alpha x_r a_{pa}) + x_r a_{pr} \quad (16)$$

$$b_{mix} = \frac{1 - x_r}{1 + \alpha\lambda} (b_f + \alpha x_r b_a) + x_r b_r \quad (17)$$

Buna göre Eş. 10 ve Eş. 11 aşağıdaki gibi tekrar ifade edilebilmektedir.

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_{mix} b_{mix} \left[(T_3 \ln T_3 - T_2 \ln T_2) - (T_3 - T_2) \left(1 - \frac{a_{vmix}}{b_{mix}} \right) \right] \quad (18)$$

$$|\dot{Q}_{out}| = \dot{m}_{mix} b_{mix} \left[(T_4 \ln T_4 - T_1 \ln T_1) - (T_4 - T_1) \left(1 - \frac{a_{vmix}}{b_{mix}} \right) \right] \quad (19)$$

1 → 2s ve 3 → 4s süreçleri tersinir adyabatik sıkıştırma ve genişleme süreçlerini ifade etmektedir. 2 ve 4 noktalarının termodinamik özelliklerinin belirlenebilmesi için öncelikle 2s ve 4s noktalarının termodinamik özellikleri belirlenmelidir.

$$c_{vmix} \frac{dT}{T} + R_{mix} \frac{dv}{v} = 0 \quad (20)$$

$$\int_{T_1}^{T_{2s}} \left(\frac{a_{vmix} + b_{mix} \ln(T)}{T} \right) dT = -R_{mix} \int_{V_1}^{V_{2s}} \frac{dV}{V} \quad (21)$$

$$\int_{T_3}^{T_{4s}} \left(\frac{a_{vmix} + b_{mix} \ln(T)}{T} \right) dT = -R_{mix} \int_{V_3}^{V_{4s}} \frac{dV}{V} \quad (22)$$

Burada tersinir adyabatik süreçler için genel ifade Eş. 20 ile ifade edilmiştir. 1 → 2s ve 3 → 4s süreçleri için Eş. 20 düzenlenirse Eş. 21 ve Eş 22 elde edilir. Bu eşitlikler çözüldüğünde T_{2s} ve T_{4s} aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$T_{2s} = e^{\left[\frac{-1}{b_{mix}} \left[a_{vmix} - ((a_{vmix})^2 + b_{mix}(b_{mix}(\ln T_1)^2 + 2a_{vmix} \ln T_1 + 2R_{mix} \ln \epsilon))^{0.5} \right] \right]} \quad (23)$$

$$T_{4s} = e^{\left[\frac{-1}{b_{mix}} \left[a_{vmix} - ((a_{vmix})^2 + b_{mix}(b_{mix}(\ln T_3)^2 + 2a_{vmix} \ln T_3 - 2R_{mix} \ln \epsilon))^{0.5} \right] \right]} \quad (24)$$

Sıkıştırma ve genişleme süreçleri için tersinmezlikler sırasıyla sıkıştırma verimi (η_c) ve genişleme verimi (η_e) ile ifade edilmektedir ve izentropik verim olarak bilinmektedir. (Özdemir ve ark., 2018). η_c ve η_e bu çalışma için %97 olarak kabul edilmiştir (Arabacı, 2018a). İzentropik verimlerle yardımıyla T_2 ve T_4 aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$T_2 = \frac{T_{2s} - T_1}{\eta_c} + T_1 \quad (25)$$

$$T_4 = \eta_e(T_{4s} - T_3) + T_3 \quad (26)$$

Bu çalışmada çalışma akışkanı olarak hava yerine hava-yakıt-artık gaz karışımı kullanıldığından dolayı \dot{Q}_{in} aynı zamanda yakıt kimyasal enerjisi (\dot{Q}_f) ve silindir duvarından asılan ısı (\dot{Q}_{ht}) ile ifade edilmektedir.

$$\dot{Q}_{in} = \dot{Q}_f - \dot{Q}_{ht} \quad (27)$$

\dot{Q}_{ht} çevrimdeki tersinmezlik kaynaklarından birisidir ve aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\dot{Q}_{ht} = \alpha_{conv} A_{tr} \left(\frac{T_2 + T_3}{2} - T_w \right) \quad (28)$$

$$A_{tr} = \pi D \left[\frac{\epsilon L}{\epsilon - 1} + \frac{D}{2} \right] = \pi \left(\frac{4v_d}{\pi \lambda} \right)^{2/3} \left[\frac{\epsilon \lambda}{(\epsilon - 1)} + 0.5 \right] \quad (29)$$

$$\alpha_{conv} = 130 \left(\frac{\epsilon v_d}{\epsilon - 1} \right)^{-0.06} P_1^{0.8} T_1^{-0.4} (s_{pm} + 1.4)^{0.8} \quad (30)$$

$$s_{pm} = \frac{LN}{30} = \frac{D\lambda N}{30} = \frac{2}{15} \left[\frac{N^3 \lambda^2 v_d}{\pi} \right]^{1/3} \quad (31)$$

Burada α_{conv} , A_{tr} , T_w sırasıyla ısı transferi katsayısı, ısı transferi yüzey alanı ve silindir duvar sıcaklığıdır. α_{conv} genellikle sabit bir değer olarak kabul edilmektedir. Ancak bu çalışmada Hohenberg korelasyonu kullanılmıştır (Hohenberg, 1979).

\dot{Q}_f ise ϕ ve yakıt alt ısıl değerinin (H_u) bir fonksiyonu olarak aşağıdaki amprik ifade ile hesaplanabilmektedir (Ebrahimi, 2012).

$$\dot{Q}_f = \left(-1.4474 + \frac{4.1858}{\phi} - \frac{1.8671}{\phi^2} \right) \dot{m}_f H_u \quad (32)$$

Yukarıdaki eşitlikler P_e değerinin hesaplanması için yeterlidir ancak yalnızca P_e değerini kullanarak farklı güç kapasitesindeki motorların karşılaştırılması için yeterli değildir. Bu çalışmada motorların karşılaştırılması için ısıl verim, güç yoğunluğu (birim kurs hacmi başına elde edilen güç, P_{den}) ve özgül yakıt tüketimi (b_e) parametreleri kullanılmıştır.

$$P_{den} = \frac{10^3 P_e (\epsilon - 1)}{\epsilon v_d} \quad (33)$$

$$b_e = \frac{3.6 \times 10^6 \dot{m}_f}{P_e} \quad (34)$$

Genel amaçlı motorlarda marka, model ve kapasiteye bağlı olarak ε , λ , v_d ve N gibi fiziksel özellikleri birbirinden farklı olabilmektedir. P_1 , T_0 , T_w , μ , H_u , ϕ gibi diğer parametreler ise her motor için sabit olarak kabul edilmiştir.

3. Sayısal Uygulama ve Tartışma

Bu çalışma için 5 farklı üreticiye ait 10 adet genel amaçlı motorun karakteristik özellikleri referans alınarak maksimum güç ürettikleri şartlarda matematiksel modellemeleri yapılarak performansları karşılaştırılmıştır (Tablo 2). Bu motorların maksimum güçleri 4.2-10.3 kW, sıkıştırma oranları, 8.1-8.7, kurs oranları 0.716-0.970 ve kurs hacimleri 169-479 cm³ aralığında değişmektedir. Tablo 2’de yâre alan $P_{e,max}$ değerleri, motorların sürekli maksimum güç değerleridir. Ayrıca λ deperleri kataloglardaki kurs boyu ve piston çapı verilerinden hesaplanmıştır.

Tablo 2. Sayısal uygulamada kullanılan motorlar

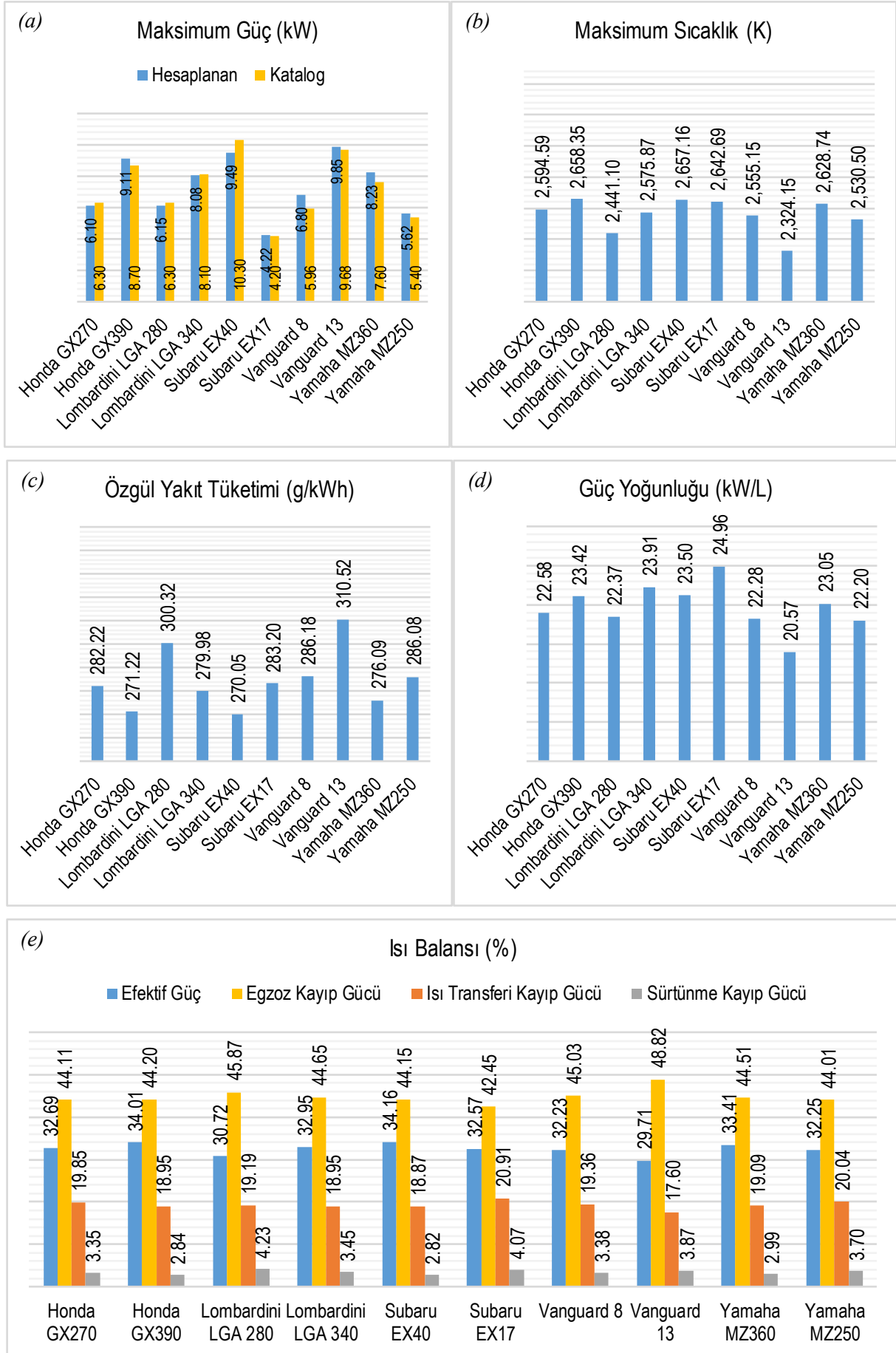
Marka-Model	v_d cm ³	$P_{e,max}$ kW@rmp	ε	λ
Honda GX270	270	6.3@3600	8.2	0.753
Honda GX390	389	8.7@3600	8.2	0.727
Lombardini LGA 280	275	6.3@3800	8.5	0.865
Lombardini LGA 340	338	8.1@3800	8.5	0.780
Subaru EX40	404	10.3@3600	8.3	0.730
Subaru EX17	169	4.2@4000	8.5	0.716
Vanguard 8	305	6.0@3600	8.1	0.782
Vanguard 13	479	9.7@3600	8.2	0.970
Yamaha MZ360	357	7.6@3600	8.1	0.741
Yamaha MZ250	253	5.4@3600	8.7	0.797

Hesaplamalarda kullanılan sabit parametrelerin değerleri Tablo 3’te gösterilmiştir (Arabacı, 2018a).

Tablo 3. Hesaplamalarda kullanılan sabit parametreler

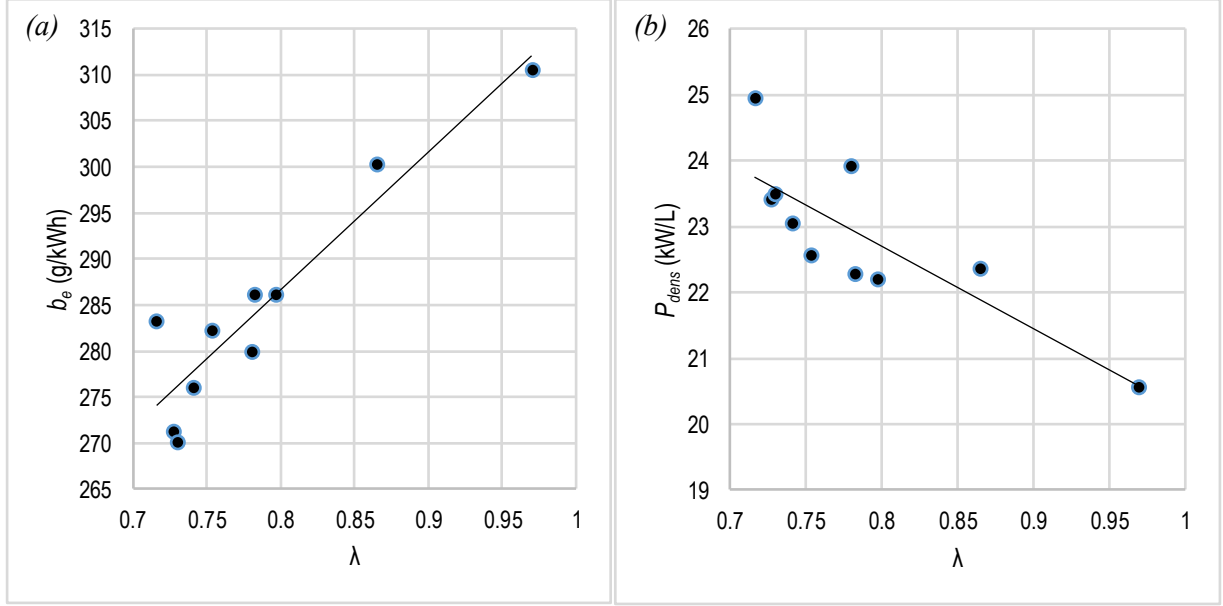
Parametre	Değer
P_1	100 kPa
T_a	300 K
T_w	350 K
μ	12.9 Ns/m
H_u	44700 kJ/kg
ϕ	1.0
x_r	%13

Şekil 2’de referans motorlara ait performans verileri gösterilmektedir. Şekil 2a’da matematiksel modele göre hesaplanan ve motor kataloglarında bulunan maksimum güç değerlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Matematiksel model ile elde edilen maksimum güç sonuçlarının katalog değerlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Şekil 2b’de çevrimde oluşan maksimum sıcaklıklar (T_3) görülmektedir. Teorik olarak T_3 sıkıştırma sonu sıcaklığı olan T_2 ve \dot{Q}_{in} ’e bağlıdır. T_2 ise T_1 , ε ve η_c ’ye bağlıdır. \dot{Q}_{in} ise b_e ’ye bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle T_3 ve b_e ’nin aynı eğilimde olması beklenmektedir. Ancak Şekil 2b ve Şekil 2c beraber incelendiğinde T_3 ’ün en yüksek olduğu durumda b_e ’nin en düşük olduğu görülmektedir. Sunulan modelde \dot{Q}_{in} , \dot{Q}_f ve \dot{Q}_{ht} ’ye bağlıdır. \dot{Q}_{ht} ise T_1 , T_2 , T_3 , ε , v_d , ve λ gibi birçok parametreye bağlıdır. b_e ise yalnızca \dot{Q}_f ile ilgili bir durumdur ve aynı \dot{Q}_f değerinde \dot{Q}_{ht} ’nin değişimine bağlı olarak \dot{Q}_{in} değişebilir. Bu durumda motorda, başta T_3 olmak üzere tüm kritik değerler değişmektedir. Bu matematiksel modelde T_3 herhangi bir formüle göre doğrudan olarak hesaplanamaz ve iteratif yöntemlerle belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 2d’de ise güç yoğunluğu görülmektedir. Güç yoğunluğu hacimsel bir kavramdır ve genel olarak b_e ’nin veya T_3 ’ün veya P_e ’nin değişimiyle birlikte güç yoğunluğunun nasıl değişeceği konusunda doğrudan bir ilişki kurmak oldukça zordur. Şekil 2e’de her motor için ısı balansı oluşturulmuştur. Isı balansındaki değerler yüzde olarak verildiği için karşılaştırma yapılabilir niteliktedir.



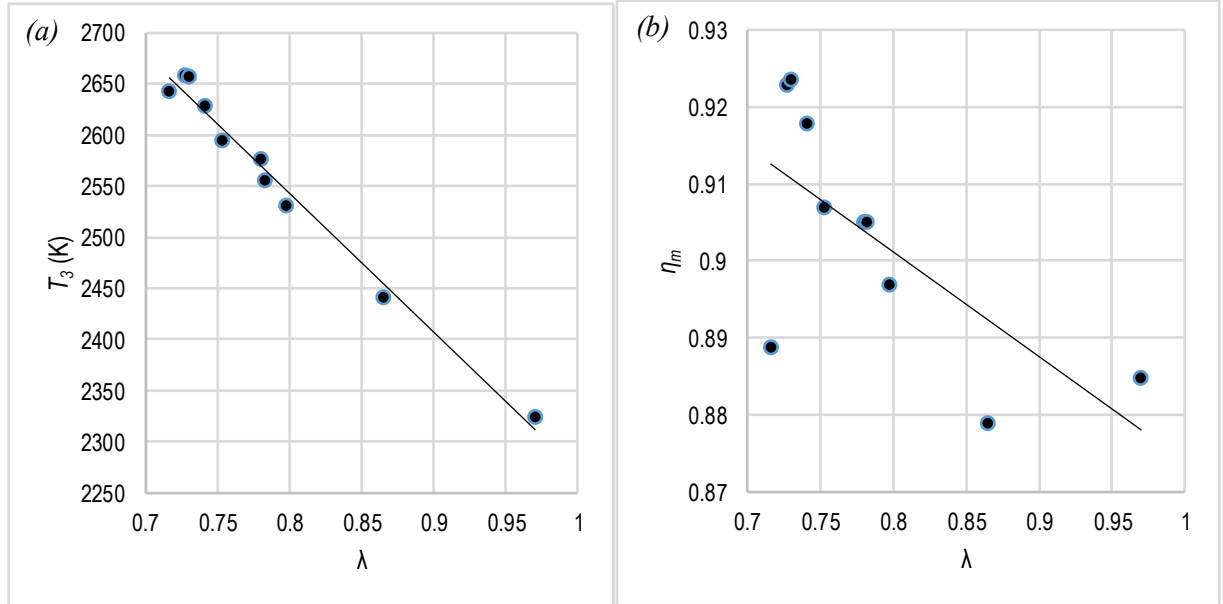
Şekil 2. Referans motorlara ait performans verilerinin karşılaştırılması
(a) Maksimum Güç, (b) Maksimum Sıcaklık, (c) Özgül Yakıt Tüketimi, (d) Güç Yoğunluğu, (e) Isı Balansı

Marka, model ve kurs hacmi ve efektif gücünden bağımsız olarak motor parametreleri λ ve b_e 'ye bağlı olarak incelenmiştir. Şekil 3'te kurs oranının (λ) özgül yakıt tüketimine (b_e) ve güç yoğunluğuna (P_{dens}) etkisi görülmektedir. Kurs oranının artmasıyla birlikte özgül yakıt tüketiminin arttığı ve güç yoğunluğunun azaldığı görülmektedir. Başka bir ifade ile kurs oranı düşük olan motorun özgül yakıt tüketimi düşük, güç yoğunluğu yüksek olmaktadır.



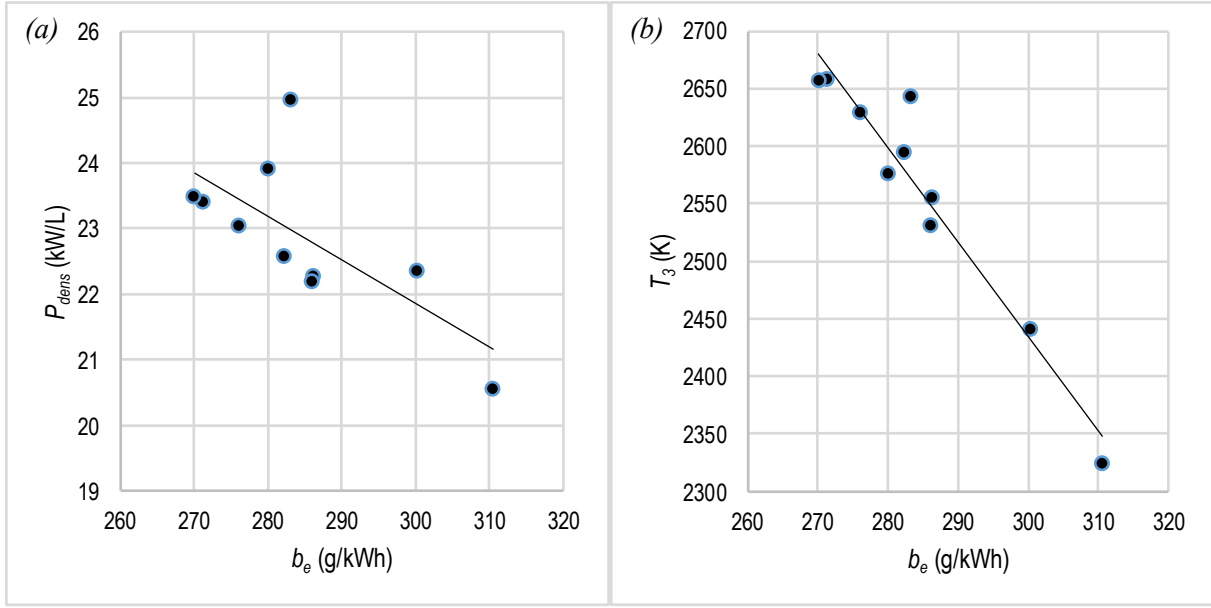
Şekil 3. (a) Özgül yakıt tüketiminin ve (b) güç yoğunluğunun λ 'ya bağlı değişimi

Şekil 4'te kurs oranının (λ) maksimum sıcaklığa (T_3) ve mekanik verime (η_m) etkisi görülmektedir. Kurs oranı arttıkça maksimum sıcaklık ve mekanik verim azalmaktadır. Kurs oranı \dot{Q}_{ht} , s_{pm} ve P_{fr} 'yi etkilemektedir. Bu nedenle kurs oranı (λ) arttıkça \dot{Q}_{ht} 'ye bağlı olarak T_3 , P_{fr} 'ye bağlı olarak η_m olumsuz etkilenmektedir. Ancak λ ile T_3 arasındaki ilişki λ ile η_m arasındaki ilişkiden çok daha güçlü olduğu görülmektedir.



Şekil 4. (a) Maksimum sıcaklığın ve (b) mekanik verimin λ 'ya bağlı değişimi

Şekil 5'te özgül yakıt tüketiminin (b_e) güç yoğunluğuna (P_{dens}) ve maksimum sıcaklığa (T_3) etkisi görülmektedir. b_e arttıkça P_{dens} ve T_3 azalmaktadır. İçten yanmalı motolarda b_e 'nin mümkün olduğunca düşük olması istenmektedir. b_e azaldığında P_{dens} beklenen bir durum olarak artmaktadır ve bu da istenen bir durumdur. Ancak b_e azaldığında T_3 artmaktadır ve bu durumda motorun daha yüksek sıcaklıklarda çalıştığını göstermektedir.



Şekil 5. (a) Güç yoğunluğunun ve (b) maksimum sıcaklığın b_e 'ye bağlı değişimi

4. Sonuç

Bu çalışmada sıkıştırma oranı, kurs oranı, kurs hacmi ve çıkış gücü birbirinden farklı benzinli genel amaçlı motorların performanslarının karşılaştırılması için basit bir termodinamik model oluşturulmuştur. Bununla birlikte giriş sıcaklığı, ısı transferi, sürtünme gibi parametreler için alt modeller oluşturulmuştur. Bu model için termodinamiğin birinci yasası ve sonlu zaman termodinamiği kabulleri kullanılmıştır. Ayrıca özgül ısı değerinin, sıcaklığın logaritmik fonksiyonu olarak değiştiği kabul edilmiştir. Termodinamik modele göre hesaplanan motorlara ait çıkış gücü değerleri, katalog değerlerine göre karşılaştırılarak modelin kullanılabilirliği kontrol edilmiştir. Daha sonra her bir referans motor için ısı balansı oluşturulmuştur. Isı balansında kayıp gücün, egzoz, sürtünme ve ısı transferi ile kaybedilen güçlerin toplamı olduğu varsayılmıştır ve termodinamik model yardımıyla bu kayıp güçlerin ayrı ayrı oranları hesaplanmıştır. Motorlar arasında marka ve modelden bağımsız olarak kurs oranı, sıkıştırma oranı, kurs hacmi, gibi fiziksel özelliklerine göre karşılaştırma yapılabilmesi için kurs oranı ve özgül yakıt tüketiminin güç yoğunluğu, maksimum sıcaklık ve mekanik verime etkisi incelenmiştir. Buna göre kurs oranının artmasıyla birlikte maksimum çevrim sıcaklığı, mekanik verim ve güç yoğunluğunun azaldığı, özgül yakıt tüketiminin arttığı görülmüştür. Yapılan çalışma neticesinde özgül yakıt tüketimi ile maksimum çevrim sıcaklığı arasında, kurs oranı ile maksimum çevrim sıcaklığı arasında ve kurs oranı ile özgül yakıt tüketimi arasında güçlü bir ilişki olduğu ve oluşturulan modelin benzinli genel amaçlı motorların performanslarının karşılaştırılması için kullanılabilir nitelikte olduğu görülmüştür.

Açıklama

Bu çalışma 13-15 Aralık 2018 tarihleri arasında gerçekleştirilen "International Conference on Technology and Science"da "A new approach to the determination of heat balance in general purpose gasoline engines" başlığı ile yazar Emre Arabacı tarafından sözlü olarak sunulan bildiriden geliştirilerek ve zenginleştirilerek hazırlanmıştır.

Kaynakça

- Ansermet, J. P., & Brechet, S. D. (2019). *Principles of Thermodynamics*. Cambridge University Press.
- Arabaci, E. (2018a). Artık gaz kesri ve kurs oranının tersinmez Otto çevriminin performansına ve entropi üretimine etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (14), 83-89.
- Arabaci, E. (2018b). A new approach to the determination of heat balance in general purpose gasoline engines. *International Conference on Technology and Science*. Retrieved January 01, 2019, from <http://dergipark.gov.tr/sjmakeu/page/5766>
- Chase Jr, M. W. (1998). NIST-JANAF thermochemical tables. *J. Phys. Chem. Ref. Data, Monograph*, 9.
- Diesel, R. (1898). *U.S. Patent No. US608845A*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Dobrucali, E. (2016). The effects of the engine design and running parameters on the performance of a Otto–Miller Cycle engine. *Energy*, 103, 119-126.
- Ebrahimi, R. (2011). Effects of mean piston speed, equivalence ratio and cylinder wall temperature on performance of an Atkinson engine. *Mathematical and Computer Modelling*, 53(5-6), 1289-1297.
- Ebrahimi, R. (2012). Performance analysis of an irreversible Miller cycle with considerations of relative air–fuel ratio and stroke length. *Applied Mathematical Modelling*, 36(9), 4073-4079.
- Ebrahimi, R. (2013). Thermodynamic Modeling of an Atkinson Cycle with respect to Relative Air-Fuel Ratio, Fuel Mass Flow Rate and Residual Gases. *Acta Physica Polonica, A.*, 124(1).
- Ebrahimi, R. (2016). Second law analysis on an air-standard Miller engine. *exergy*, 2, 17.
- Ebrahimi, R., & Dehkordi, N. S. (2018). Effects of design and operating parameters on entropy generation of a dual cycle. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 133(3), 1609-1616.
- Ebrahimi, R., & Sherafati, M. (2013). Thermodynamic simulation of performance of a dual cycle with stroke length and volumetric efficiency. *Journal of thermal analysis and calorimetry*, 111(1), 951-957.
- Ganesan, V. (2012). *Internal combustion engines*. New York: McGraw-Hill.
- Ge, Y. L., Chen, L., & Sun, F. R. (2008). Finite-time thermodynamic modelling and analysis of an irreversible diesel cycle. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 222(5), 887-894.
- Ge, Y., Chen, L., & Qin, X. (2018). Effect of specific heat variations on irreversible Otto cycle performance. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 122, 403-409.
- Ge, Y., Chen, L., & Sun, F. (2009). Finite-time thermodynamic modeling and analysis for an irreversible Dual cycle. *Mathematical and Computer Modelling*, 50(1-2), 101-108.
- Ge, Y., Chen, L., Qin, X., & Xie, Z. (2017). Exergy-based ecological performance of an irreversible Otto cycle with temperature-linear-relation variable specific heat of working fluid. *The European Physical Journal Plus*, 132(5), 209.
- Ge, Y., Chen, L., Sun, F., & Wu, C. (2005). Effects of heat transfer and friction on the performance of an irreversible air-standard Miller cycle. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 32(8), 1045-1056.
- Gonca, G. (2017). Performance Analysis of an Atkinson Cycle Engine under Effective Power and Effective Power Density Conditions. *Acta Physica Polonica, A.*, 132(4).
- Gonca, G., & Sahin, B. (2016). The influences of the engine design and operating parameters on the performance of a turbocharged and steam injected diesel engine running with the Miller cycle. *Applied Mathematical Modelling*, 40(5-6), 3764-3782.
- Gonca, G., Sahin, B., & Ust, Y. (2013). Performance maps for an air-standard irreversible Dual–Miller cycle (DMC) with late inlet valve closing (LIVC) version. *Energy*, 54, 285-290.
- Heywood, J. B. (2018). *Internal combustion engines*. New York: McGraw-Hill.
- Hohenberg, G. F. (1979). *Advanced approaches for heat transfer calculations* (No. 790825). SAE Technical paper.
- Kaushik, S. C., Tyagi, S. K., & Kumar, P. (2017). *Finite time thermodynamics of power and refrigeration cycles*. Springer International Publishing.
- Otto, N. A. (1887). *U.S. Patent No. US365701A*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Özdemir, A. O., Kılıç, B., Arabacı, E., & Orman, R. Ç. (2018). Effect of mean piston speed and residual gas fraction on performance of a four-stroke irreversible Otto cycle engine. *Scientific Journal of Mehmet Akif Ersoy University*, 1(1), 6-12.

Wu, C. (2002). *Intelligent computer based engineering thermodynamics and cycle analysis*. New York: Nova Science.

Wu, Z., Chen, L., Ge, Y., & Sun, F. (2017). Power, efficiency, ecological function and ecological coefficient of performance of an irreversible Dual-Miller cycle (DMC) with nonlinear variable specific heat ratio of working fluid. *The European Physical Journal Plus*, 132(5), 203.

Wu, Z., Chen, L., Ge, Y., & Sun, F. (2018). Thermodynamic optimization for an air-standard irreversible Dual-Miller cycle with linearly variable specific heat ratio of working fluid. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 124, 46-57.

You, J., Chen, L., Wu, Z., & Sun, F. (2018). Thermodynamic performance of Dual-Miller cycle (DMC) with polytropic processes based on power output, thermal efficiency and ecological function. *Science China Technological Sciences*, 61(3), 453-463.



Determination of Ecological and Carbon Footprints of Adıyaman Directorate of Provincial Agriculture and Forestry Staffs

Mehmet Fırat Baran^{1*}, Osman Gökdoğan², Ömer Eren³, Yılmaz Bayhan⁴

¹ Department of Biosystems Engineering, University of Siirt, Turkey(ORCID: 0000-0002-7657-1227)

² Department of Biosystems Engineering, University of Nevşehir Hacı Bektaş Veli, Turkey(ORCID: 0000-0002-4933-7144)

³ Department of Biosystems Engineering, University of Hatay Mustafa Kemal, Turkey(ORCID: 0000-0001-6283-4367)

⁴ Department of Biosystems Engineering, University of Tekirdağ Namık Kemal, Turkey(ORCID: 0000-0003-1099-3571)

(İlk Geliş Tarihi 16 Ocak 2019 ve Kabul Tarihi 4 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.513315)

REFERENCE: Baran M.F, Gökdoğan, O., Eren,Ö. & Bayhan,Y. (2019). Determination of Ecological and Carbon Footprints of Adıyaman Directorate of Provincial Agriculture and Forestry Staffs, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 280-288

Abstract

Humans have always benefited from natural sources to satisfy their needs. Today, with the increase in population, the natural resources on our earth are decreasing and assumed to be consumed in the near future because of the consciousness of the individuals and the consciousness of consumption away from sustainability. It is important to determine how many planets the world will need in the future if the individual continues to live that way with his current consumption habits. The concept of ecological footprint emerges in determining this need. In this study, ecological and carbon footprints were calculated and evaluated according to the consciousness and consumption habits of Adıyaman Directorate of Provincial Agriculture and Forestry staffs. Web-based "Ecological Footprint Calculation Survey" was used as data collection tool in the research. Descriptive statistics such as mean, standard deviation were used in the analysis of the data. As a result of the calculations, the average ecological footprint of technical and administrative staffs was determined as 2.37 gha person⁻¹, the average carbon footprint was 14.52 tons person⁻¹ and the biocapacity deficit caused by technical and administrative staffs was -0.93 gha person⁻¹. According to these results, at least 1.41 worlds are needed for Adıyaman Directorate of Provincial Agriculture and Forestry staffs for a sustainable life.

Keywords: Adıyaman, biocapacity deficit, carbon footprint, ecological footprint, sustainability

Adıyaman İl Tarım ve Orman Müdürlüğü Çalışanlarının Ekolojik ve Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi

Öz

İnsanoğu ihtiyaçlarını karşılamada daima doğal kaynaklardan faydalanmıştır. Bugün nüfusun artmasıyla birlikte, bireylerin bilinçsizce ve sürdürülebilirlikten uzak tüketim anlayışı nedeniyle dünyamız üzerindeki doğal kaynaklar azalmakta ve yakın bir gelecekte tükeneceği varsayılmaktadır. Bireyin mevcut tüketim alışkanlıkları ile yaşamına bu şekilde devam etmesi halinde, gelecekte dünya gibi kaç gezegene ihtiyaç duyacağının belirlenmesi önemlidir. Bu ihtiyacı belirlemede karşımıza ekolojik ayak izi kavramı çıkmaktadır. Bu çalışmada, Adıyaman İl Tarım ve Orman Müdürlüğü çalışanlarının bilinç ve tüketim alışkanlıklarına bağlı olarak ekolojik ayak izleri hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. Araştırmada veri toplama aracı olarak web-tabanlı "Ekolojik Ayak İzi Hesaplama Anketi" kullanılmıştır. Verilerin analizinde; ortalama, standart sapma gibi betimsel istatistikler kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucunda, teknik ve idari personellerin ekolojik ayak izi ortalaması 2.37 kha kişi⁻¹, karbon ayak izi ortalaması 14.52 ton kişi⁻¹ ve sebep oldukları biyokapasite açığı -0.93 kha kişi⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre sürdürülebilir bir yaşam için Adıyaman İl Tarım ve Orman Müdürlüğü çalışanlarına yaklaşık olarak 1.41 dünya gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Adıyaman, biyokapasite açığı, ekolojik ayak izi, karbon ayak izi, sürdürülebilirlik

* Corresponding author: Department of Biosystems Engineering, University of Siirt, Turkey ORCID: 0000-0002-7657-1227, mfb197272@gmail.com

1. Introduction

People have always benefited from natural resources as much as the day-to-day to meet their needs. Along with population growth, the natural resources on the earth are also decreasing. How many planets like the world are needed in the future if they continue to live in the context of existing consumption habits? The determination of the answer to this question is important for a habitable world to be left to future generations. The "ecological footprint" in this context is one of the methods used.

Ecological footprint is the biologically fertile soil and water area needed to produce the resources consumed by an individual, community, or activity through current technology and resource management, and to dispose of the resulting waste. It is expressed in "global hectare (gha)". This includes the infrastructure and necessary areas for plant cover to absorb waste carbon dioxide (Lin et al., 2016).

The ecological footprint is one of the most effective means of giving an idea of the impact of a person on nature. Everyone has an influence on the earth because people consume the products and services of nature. The first study on ecological footprint was made by William E. Rees in 1992. The concept and related calculation methods were first performed by Dr. Mathis Wackernagel in his doctoral dissertation. The measure obtained in the study was also called Ecological Footprint. Wackernagel and Rees, in their book published in 1995, detailed the concept of ecological footprint and the relationship between sustainable development and the methods of calculation. Ecological footprint in this direction; to give clues for sustainable life and as an important indicator at the point of putting the burden that human beings have on this planet (Akyüz et al., 2016).

According to WWF's global footprint network, the global ecological footprint of the world and Turkey in 2014 was 20.602 and 0.249 billion gha respectively. The ecological footprint per capita was calculated as 2.84 gha and 3.21 gha, respectively (Figure 1).

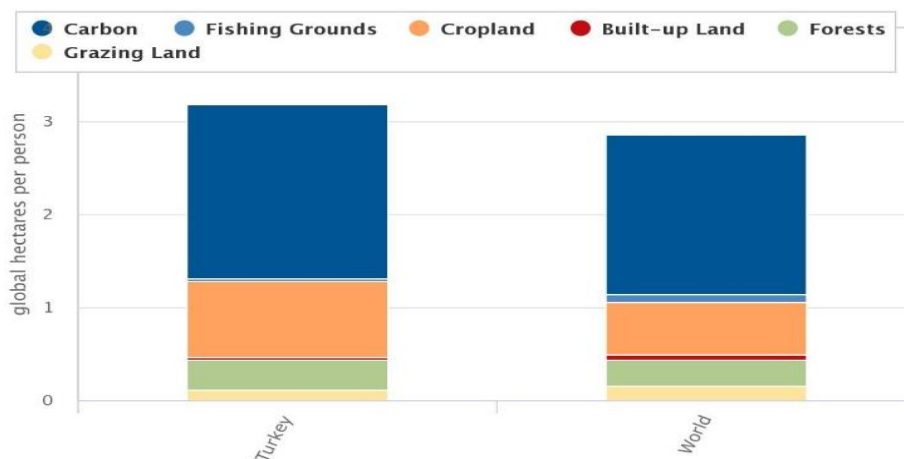


Figure 1. Ecological footprint per person for Turkey and World (GFN, 2019)

The capacity of ecosystems to regenerate what people demand from those surfaces. Life, including human life, competes for space. The biocapacity of a particular surface represents its ability to renew what people demand. Biocapacity is therefore the ecosystems' capacity to produce biological materials used by people and to absorb waste material generated by humans, under current management schemes and extraction technologies. Biocapacity can change from year to year due to climate, management, and also what portions are considered useful inputs to the human economy. In the National Footprint Accounts, the biocapacity of an area is calculated by multiplying the actual physical area by the yield factor and the appropriate equivalence factor. Biocapacity is usually expressed in global hectares (gha) (Lin et al., 2016).

Each year, the Global Footprint Network (GFN) measures the biological capacity of more than 150 countries worldwide and publishes the National Footprint Accounts (NFA). The biocapacity per capita of the world and Turkey in 2014 was calculated as 1.68 gha and 1.44 gha, respectively (Figure 2).

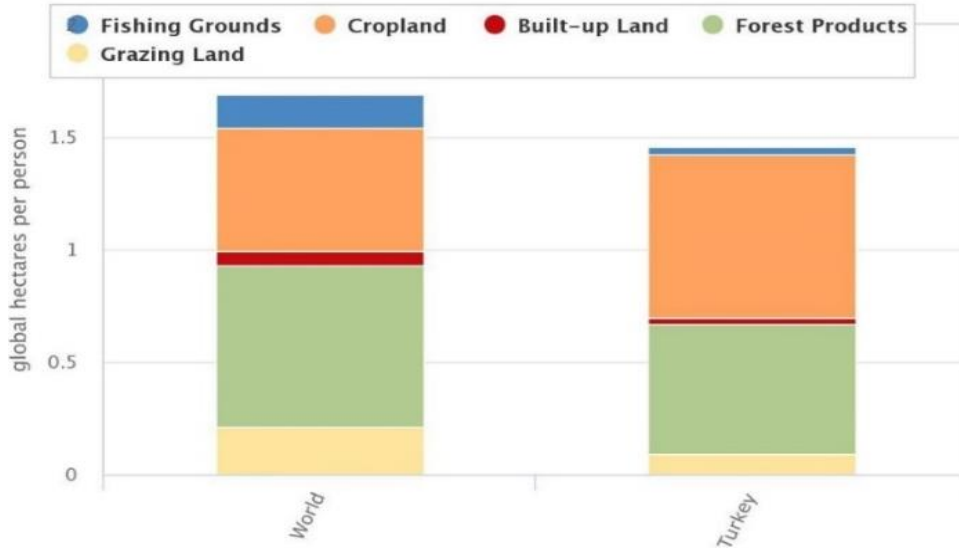


Figure 2. Biocapacity per person for World and Turkey (GFN, 2019)

There are many studies in the international literature using ecological footprint calculation methods that show that ecological footprints are an effective tool for individuals to perceive the effects of consumption habits on nature (Schaller, 1999; Dawe et al, 2004; Ryu and Brody, 2006; Janis, 2007; Wada et al., 2007; Niccolucci et al., 2012).

When the national literature studies are examined, the global importance of the ecological footprint in Turkey is explained and emphasized (Dinç, 2015). Ecological footprints have been proposed as a means of environmental education without changing the awareness, attitudes and behaviors of primary school students, prospective teachers and engineering students towards sustainable life (Keleş, 2007; Keleş et al., 2008; Erdoğan and Tuncer, 2009; Keleş, 2011; Coşkun, 2013; Çetin, 2015; Eren et al., 2016). There are researches that include ecological footprint calculations depending on consciousness and consumption habits of the university staff (Akıllı et al., 2008; Akyüz et al., 2016; Eren et al., 2017; Eren et al., 2018).

As a result of literature surveys, ecological footprint studies conducted for Turkey were found to be very low. For this purpose, ecological and carbon footprints were calculated and evaluated according to the consumption habits of Adıyaman Directorate of Provincial Agriculture and Forestry staffs.

2. Material and Method

2.1 Material

The main material of the study is the data obtained with the questionnaire applied to the instructors who are currently working at Adıyaman Directorate of Provincial Agriculture and Forestry. In addition to this, related articles, theses, reports and notifications were also used.

2.2 Method Used to Collect Data

Staff working in Adıyaman Directorate of Provincial Agriculture and Forestry were accepted as the target group. The data were collected on May 2018 through a questionnaire interviewed with the target audience. The first part of the questionnaire was prepared to determine the demographic characteristics of the participants. In the second part of the questionnaire, questions were asked about food, travel, home and other life habits to determine ecological footprints. In the preparation of these questionnaire questions, the ecological footprint calculation engine "Ecological Footprint Calculation Survey" was used.

As the main group, 145 staff working at Adıyaman Directorate of Provincial Agriculture and Forestry were taken into consideration. However, because of the fact that two staff are leaved, no questionnaire could be done with them. A total of 143 staffs were interviewed.

2.3 Method of Analysis of Data

In order to calculate the ecological footprint of the teaching staff, ecological footprint calculation engine developed by the World Wildlife Fund (WWF) was used (Figure 3).

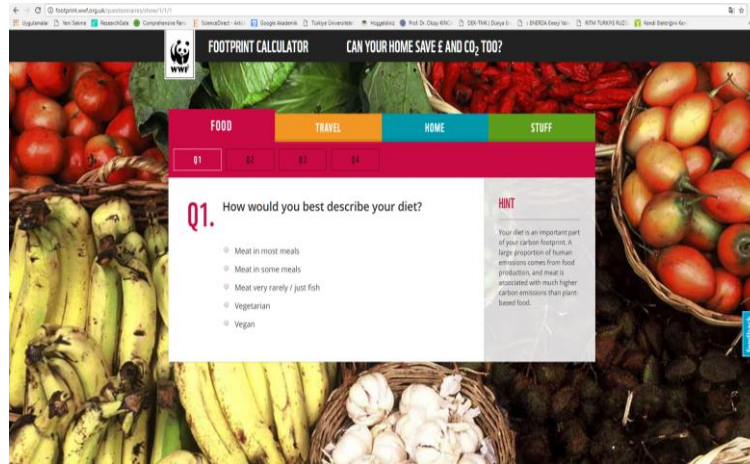


Figure 3. Ecological footprint calculation engine (WWF, 2018)

The data obtained as a result of the surveys are processed for the calculation engine and the ecological and carbon footprints of the staffs of Adiyaman Directorate of Provincial Agriculture and Forestry are calculated. The obtained findings are summarized by the frequency table. The Kolmogorov-Smirnov test was used to investigate whether the ecological and carbon footprint data were normally distributed. It has been determined that they do not show normal distribution. For this reason, the significance between the variables was questioned by the Kruskal-Wallis test.

Biocapacity (BC) reserve (+) or deficit (-) calculated by the following equations (Lin et al., 2016):

$$BC \text{ (reserve or deficit)} = BC - EF \tag{1}$$

Here BC was biocapacity per person. Biocapacity per person is the productive area that exists per resident in that country. It is their «ecological income». This value is 1.44 gha person⁻¹ for Turkey according 2014 data (GFN, 2019). EF was calculated ecological footprint per person of consumption. Biocapacity deficit is always negative values.

Number of Earths calculated by the following equations (GFN, 2019):

$$\text{Number of Earths} = \frac{EF}{BC \text{ for World}} \tag{2}$$

Biocapacity per person value for World is 1.68 gha person⁻¹ according 2014 data (GFN, 2019).

3. Results and Discussion

3.1 Demographic Characteristics

The average age of the participants in the survey is approximately 43 and the number of individuals in the family is approximately 4 persons. In addition, the duration of the staff is approximately 14 years (Figure 4). 22.38% of the staff members were female and 77.62% were male.

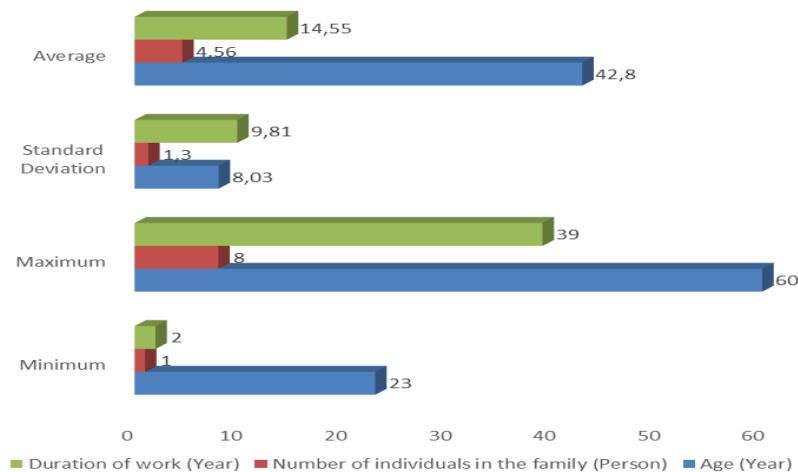


Figure 4. Demographic characteristics of participants

In addition, 41.26% of the staff were engineer, 16.08% were technician, 16.08% were veterinary, 13.99% were officer/employee, 6.99% were director, 4.90% were operator and 0.70% were sociologist (Figure 5).

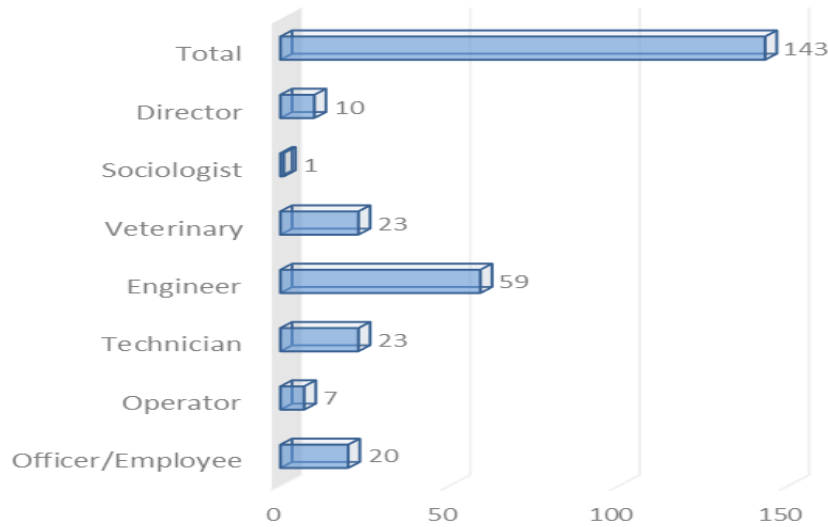


Figure 5. Titles of participants

3.2 Assessments

Ecological Footprint of Staffs

The average ecological footprint of the staffs was calculated as 2.37 gha person⁻¹. Akyüz et al (2016) calculated the ecological footprint of the academicians of Ege University Faculty of Agriculture as 3.17 gha person⁻¹. Eren et al (2017) calculated the ecological footprint of the academicians of Mustafa Kemal University Faculty of Agriculture as 3.08 gha person⁻¹. Eren et al (2018) calculated the ecological footprint of the instructors of İskenderun Technical University as 2.84 gha person⁻¹. That is, it can be said that the ecologic footprints of Adıyaman Directorate of Provincial Agriculture and Forestry staffs pollute the world less.

When the staffs were compared ecological footprints according to the titles, the lowest ecological footprint belonged to sociologist with 1.85 gha person⁻¹. Sociologist followed the operators with 1.93 gha person⁻¹ ecological footprint. The highest ecological footprints were found to belong to officer/employee with 2.45 gha person⁻¹ (Figure 6). The ecological footprint varies according to titles, but this difference is not statistically significant ($p > 0.10$).

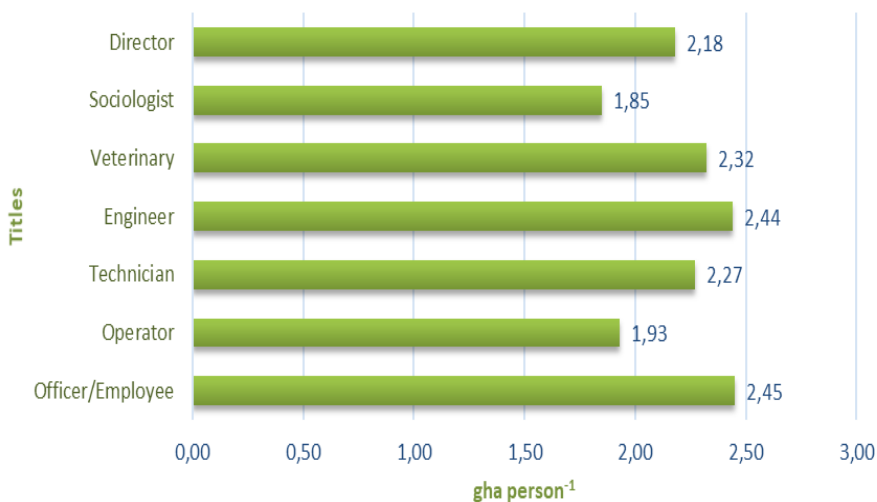


Figure 6. Ecological footprints according to titles of participants

When the staffs were compared ecological footprints according to the departments the lowest ecological footprint belonged to land consolidation and agricultural infrastructure with 2.06 gha person⁻¹. This department followed the fishing and seafood with 2.14 gha person⁻¹ ecological footprint. The highest ecological footprints were found to belong to Meadow-Pasture and forage crops with 3.25 gha person⁻¹ (Figure 7). The ecological footprint varies according to titles, but this difference is not statistically significant ($p > 0.10$).

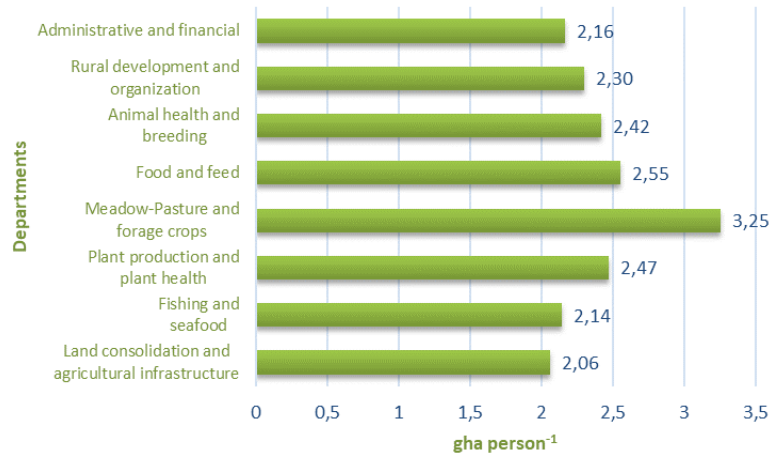


Figure 7. Ecological footprints according to departments of participants

When ecological footprints were analyzed according to the age groups and sex of the staffs, it was determined that the ecological footprints of female participants were higher than male participants. It can be said that the expenditure of jewelry and personal care which are included in the other sources components of the female participants is influential in the formation of this difference. According to age groups, it was determined that the age group of 51 and older age is the most environmentally friendly group in terms of ecological footprint, followed by the group of 35 and less age respectively, and finally the personnel of 36-50 age are in the last place (Figure 8). The ecological footprint of the academicians varied according to age groups and sex but it was determined that this difference was not statistically significant ($p > 0.10$).

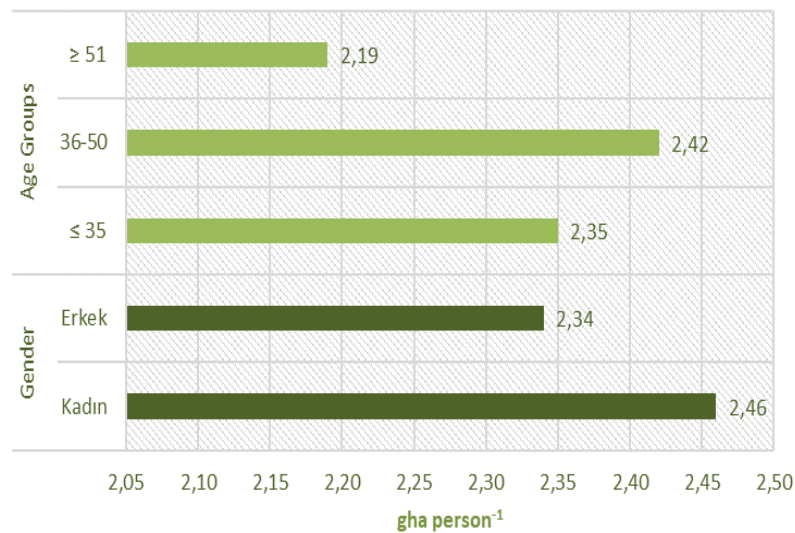


Figure 8. Ecological footprints according to age groups and gender of participants

3.3. Carbon Footprint of Staffs

The averages carbon footprint of the staffs was calculated as 14.52 tons person⁻¹. Akyüz et al (2016) calculated the carbon footprint of the academicians of Ege University Faculty of Agriculture as 15.32 tons person⁻¹. Eren et al (2017) calculated the carbon footprint of the academicians of Mustafa Kemal University Faculty of Agriculture as 14.31 tons person⁻¹. Eren et al (2018) calculated the ecological

footprint of the instructors of İskenderun Technical University as 12.44 tons person⁻¹. In other words, the carbon footprint of the Adıyaman Directorate of Provincial Agriculture and Forestry staffs is low according to Akyüz et al (2016) and Eren et al (2017).

The lowest carbon footprint was 11.30 tons person⁻¹ for sociologist when evaluated the staffs carbon footprint according to the titles. Sociologist followed the operators with 11.57 tons person⁻¹ of carbon footprint. It was determined that the highest carbon footprint belongs to officer/employee with 15.00 tons person⁻¹ (Figure 9). The carbon footprint of instructors varies according to the titles, but this difference is not statistically significant ($p > 0.10$).

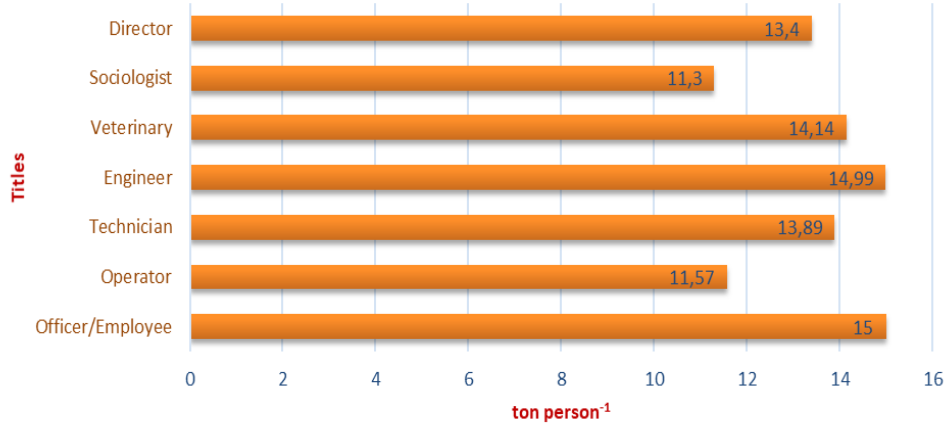


Figure 9. Carbon footprints according to titles of participants

When the staffs were compared carbon footprints according to the departments the lowest carbon footprint belonged to land consolidation and agricultural infrastructure with 12.53 ton person⁻¹. This department followed the fishing and seafood with 13.22 ton person⁻¹ carbon footprint. The highest carbon footprints were found to belong to Meadow-Pasture and forage crops with 20.35 gha person⁻¹ (Figure 10). The ecological footprint varies according to titles, but this difference is not statistically significant ($p > 0.10$).

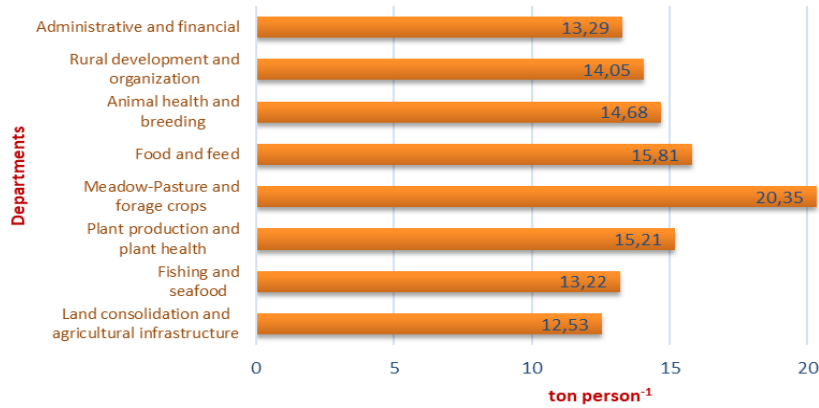


Figure 10. Carbon footprints according to departments of participants

When carbon footprint analysis was conducted according to the age groups and sex of the instructors, the carbon footprint of female participants was found to be higher than male participants. According to age groups, it was determined that the age group of 51 and older age is the most environmentally friendly group in terms of ecological footprint, followed by the group of 35 and less age respectively, and finally the personnel of 36-50 age are in the last place (Figure 11). The carbon footprint varies according to age groups and sex but this difference is not statistically significant ($p > 0.10$).

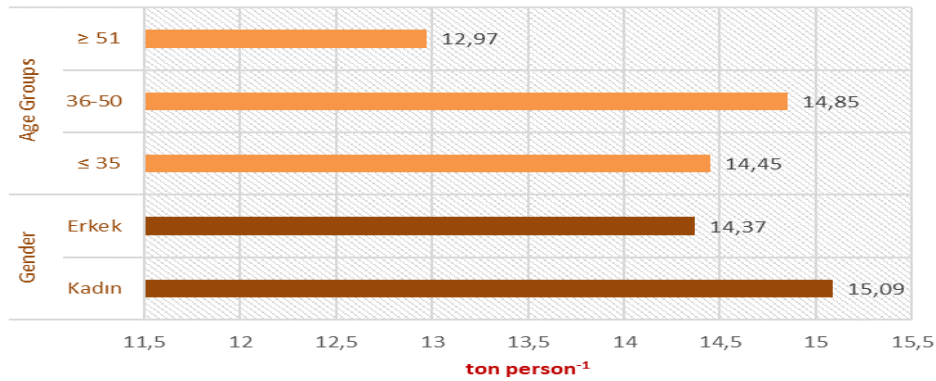


Figure 11. Carbon footprints according to age groups and gender of participants

3.4 Biocapacity Deficit and Number of Earths

Biocapacity deficit caused by staffs calculated as $-0.93 \text{ gha person}^{-1}$ according to Turkey's biocapacity value ($1.44 \text{ gha person}^{-1}$). Lastly, the staffs of Adıyaman Directorate of Provincial Agriculture and Forestry need 1.4 Earths for a sustainable life (Figure 12).

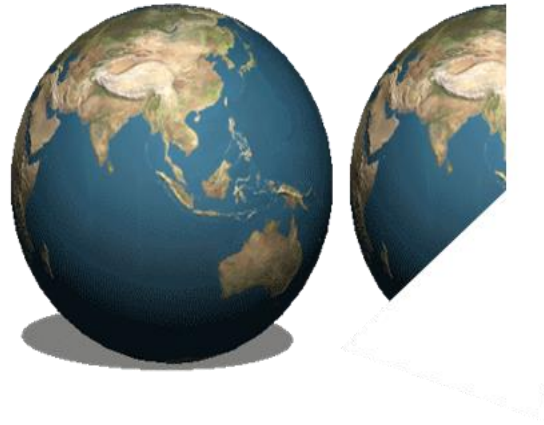


Figure 12. Number of earths

4. Conclusion

In this study, the ecological and carbon footprints of the surveyed staffs were calculated with face to face interviews with 143 participants from Adıyaman Directorate of Provincial Agriculture and Forestry. According to the results obtained; the ecological footprint of the staffs is below the average of $2.84 \text{ gha person}^{-1}$ in the world average and $3.21 \text{ gha person}^{-1}$ in Turkey.

It can be said that the sociologists are more environmentally friendly than the staffs with other titles because of their low ecological and carbon footprints and need an average of 1.3 worlds for a sustainable life.

Suggestions can be made to change the life habits of Adıyaman Directorate of Provincial Agriculture and Forestry faculty members in order to draw even lower ecological and carbon footprints, leave a more environmentally friendly nature for future generations, and prevent the depletion of biological diversity. These;

- Wherever possible, the use of public transport should be encouraged, measures must be taken to save energy in homes and offices, and household waste should be separated to enable recycling.
- Natural resources should be used in ways that do not exceed ecological boundaries and should increase protected areas.
- Environment friendly, recyclable and reusable products should be preferred rather than the production, distribution, transfer and use of synthetic, chemical, toxic substances, heavy metals, polluting gases that nature cannot convert.
- Excessive water waste should be avoided.
- Meat and meat products should be consumed without overdoing and local products should be preferred especially for food consumption.

5. Acknowledgement

This paper was submitted as oral abstract in International Congress on Agriculture and Animal Sciences (7-9 November 2018, Alanya-Turkey).

References

- Akıllı H, Kemahlı F, Okudan K, Polat F, 2008. Ekolojik ayak izinin kavramsal içeriği ve Akdeniz Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi'nde bireysel ekolojik ayak izi hesaplaması. *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi*, 15: 1-25. (Turkish)
- Akyüz Y, Atış E, Çukadar M, Salalı E, 2016. Akademisyenlerin ekolojik etkilerinin incelenmesi: E.Ü. Ziraat Fakültesi örneği. XII. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi Bildiriler Kitabı, 1427-1436, 25-27 Mayıs 2016, Isparta. (Turkish)
- Coşkun İÇ, 2013. Sınıf öğretmeni adaylarının ekolojik ayak izi farkındalık düzeylerinin belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü İlköğretim Ana Bilim Dalı Sınıf Öğretmenliği Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara. (Turkish)
- Çetin FA, 2015. Ekolojik ayak izi eğitiminin 8. sınıf öğrencilerinin sürdürülebilir yaşama yönelik tutum, farkındalık ve davranış düzeyine etkisi. Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü İlköğretim Ana Bilim Dalı Fen Bilgisi Öğretmenliği Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara. (Turkish)
- Dawe FMG, Vetter A, Martin S, 2004. An overview of ecological footprinting and other tools and their application to the development of sustainability process: Audit and methodology at Holme Lacy College, UK. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 5 (4): 340-371.
- Diñç A, 2015. Bir sürdürülebilir kalkınma göstergesi olarak ekolojik ayak izi ve Türkiye. Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir. (Turkish)
- Eren B, Aygün A, Chabanow D, Akman N, 2016. Mühendislik öğrencileri ekolojik ayak izinin belirlenmesi. 3rd International Symposium on Environment and Morality (ISEM2016), 4-6 November 2016, Alanya-Turkey. (Turkish)
- Eren Ö, Parlakay O, Hilal M, Bozhüyük B, 2017. Ziraat Fakültesi akademisyenlerinin ekolojik ayak izinin belirlenmesi: Mustafa Kemal Üniversitesi örneği. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34 (2): 138-145. (Turkish)
- Eren Ö, Uğurluay S, Söyler O, Çakır M, Kalpakçioğlu H, 2018. Determination of Ecological Footprint of Instructors and Biocapacity Deficit in Turkey: A Case Study of Hatay-Iskenderun Region. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 4 (4), 90-96.
- Erdoğan M, Tuncer G, 2009. Evaluation of a course: "Education and awareness for sustainability". *International Journal of Environmental & Science Education*, 4(2): 133-146
- GFN, 2019. Global footprint network. Online available: <http://data.footprintnetwork.org/#/> (January 15, 2019)
- Janis AJ, 2007. Quantifying the ecological footprint of the Ohio State University. Ph.D Thesis. The Ohio State University, Columbus
- Keleş Ö, 2007. Sürdürülebilir yaşama yönelik çevre eğitimi aracı olarak ekolojik ayak izinin uygulanması ve değerlendirilmesi. Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü İlköğretim Ana Bilim Dalı Sınıf Öğretmenliği Bilim Dalı Doktora Tezi, Ankara. (Turkish)
- Keleş Ö, 2011. Öğrenme halkası modelinin öğrencilerin ekolojik ayak izlerini azaltmasına etkisi. *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(3): 1143-1160. (Turkish)
- Keleş Ö, Uzun N, Özsoy S, 2008. Öğretmen adaylarının ekolojik ayak izlerinin hesaplanması ve değerlendirilmesi. *Ege Eğitim Dergisi*, 9(2): 1-14. (Turkish)
- Lin D, Hanscom L, Martindill J, Borucke M, Cohen L, Galli A, Lazarus E, Zokai G, Iha K, Eaton D, Wackernagel M, 2016. Working Guidebook to the National Footprint Accounts: 2016 Edition. Oakland.
- Niccolucci, V., Tiezzi, E., Pulselli, F.M., Capineri, C., 2012. Biocapacity vs Ecological Footprint of world regions: A geopolitical interpretation. *Ecological Indicators*, 16: 23-30.
- Ryu CH, Brody SD, 2006. Can higher education influence sustainable behavior? Examining the impacts of a graduate course on sustainable development Using ecological footprint analysis. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 7(2): 158-175.
- Schaller D, 1999. Our footprints-they're all over the place. *Newsletter of the Utah Society for Environmental Education*, 9 (4).
- Wada Y, Izumi K, Mashiba T, 2007. Development of a web-based personal ecological footprint calculator for the Japanese. *International Ecological Footprint Conference*, 8-10 May. Cardiff.
- WWF, 2018. Footprint calculator. Online available: <http://footprint.wwf.org.uk/questionnaires/show/1/1/1> , Adresinden Alındı, (May 15, 2018)



The Legendre Matrix-Collocation Approach for Some Nonlinear Differential Equations Arising in Physics and Mechanics

Duygu Dönmez Demir^{1*}, Tuğçe Çınardalı², Ömür Kıvanç Kürkcü³, Mehmet Sezer⁴

^{1*} Manisa Celal Bayar University, Faculty of Art&Sciences, Department of Mathematics, 45140, Manisa, Turkey (ORCID: 0000-0003-0886-624X)

² İzmir Turkish College, Bornova, İzmir, Turkey

³ İzmir University of Economics, Department of Mathematics, İzmir, Turkey (ORCID: 0000-0002-3987-7171)

⁴ Manisa Celal Bayar University, Faculty of Art&Sciences, Department of Mathematics, 45140, Manisa, Turkey (ORCID: 0000-0002-7744-2574)

(First received 3 January 2019 and in final form 2 March 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.507708)

REFERENCE: Demir, D. D., Çınardalı, T., Kürkcü, Ö. K. & Sezer, M. (2019). The Legendre Matrix-Collocation Approach for Some Nonlinear Differential Equations Arising in Physics and Mechanics. *European Journal of Science and Technology*, (15), 289-296.

Abstract

In this study, the Legendre operational matrix method based on collocation points is introduced to solve high order ordinary differential equations with some nonlinear terms arising in physics and mechanics. This technique transforms the nonlinear differential equation into a matrix equation with unknown Legendre coefficients via mixed conditions. This solution of this matrix equation yields the Legendre coefficients of the solution function. Thus, the approximate solution is obtained in terms of Legendre polynomials. Some test problems together with residual error estimation are given to show the usefulness and applicability of the method and the numerical results are compared.

Keywords: Legendre Polynomials and Series, Nonlinear Ordinary Differential Equation, Matrix Method, Residual Error.

Fizik ve Mekanikte Ortaya Çıkan Bazı Lineer Olmayan Diferansiyel Denklemler için Legendre Matris-Kollokasyon Yaklaşımı

Özet

Bu çalışmada, fizik ve mekanikte ortaya çıkan lineer olmayan bazı terimlere sahip yüksek mertebeden adi diferansiyel denklemlerin çözümü için, kollokasyon noktalarına dayanan operasyonel Legendre matris metodu takdim edilmiştir. Bu teknik, karışık koşullar sayesinde, bilinmeyen Legendre katsayıları ile lineer olmayan bir diferansiyel denkleme bir matris denkleme dönüştürür. Bu matris denkleminin çözümü, çözüm fonksiyonunun Legendre katsayılarını verir. Böylece, yaklaşık çözüm Legendre polinomları cinsinden elde edilir. Yöntemin faydasını ve uygulanabilirliğini göstermek için, rezidüel hata tahmini ile birlikte bazı test problemleri verilir ve nümerik sonuçlar kıyaslanır.

Anahtar Kelimeler: Legendre Polinomları ve Serisi, Lineer Olmayan Adi Diferansiyel Denklemler, Matris Metodu, Rezidüel Hata.

* Corresponding Author: Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Manisa, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0886-624X, duygu.donmez@cbu.edu.tr

1. Introduction

Orthogonal polynomials are extensively considered in many area of mathematics, sciences and engineering. One of these polynomials is the Legendre polynomials which are orthogonal on $[-1, 1]$ with respect to the weight function $w(x) = 1$. The mentioned polynomials play an important role in many branches such as mathematics, statics and other scientific (Kreyszig, 2013; El-Mikkawy et. al. 2005; Everitt et. al. 2002; Sezer and Gülsu, 2009; Gülsu et. al. 2009).

The solutions of nonlinear ordinary differential equations are frequently investigated by many researches (Yüksel et. al. 2011; Akyüz Daşcıoğlu and Çerdik Yaslan, 2011; Gürbüz and Sezer 2016). These equations are characterized by the presence of the nonlinear terms and have a great importance in explaining many different phenomena. Generally, the nonlinear differential equations have no analytical solution. Therefore, we need to numerical methods to obtain approximate solutions.

In this study, we develop a numerical method based on the matrix relations of Legendre polynomials and their derivatives by means of the matrix methods based on collocation points given by Sezer and co-workers (Sezer and Gülsu, 2009; Gülsu et. al. 2009; Yüksel et. al., 2011; Kürkçü et. al., 2017) and apply to the m-th order ordinary differential equation with first and second order nonlinear terms in the general form (Yüksel et. al., 2011; Akyüz Daşcıoğlu and Çerdik Yaslan, 2011)

$$\sum_{k=0}^m F_k(t)y^{(k)}(t) + \sum_{p=0}^2 \sum_{q=0}^p Q_{pq}(t)y^{(p)}(t)y^{(q)}(t) = g(t); \quad -1 \leq t \leq 1 \tag{1}$$

under the mixed conditions

$$\sum_{k=0}^m (a_{kj}y^{(k)}(-1) + b_{kj}y^{(k)}(0) + c_{kj}y^{(k)}(1)) = \lambda_i; \quad i=0,1,\dots,m-1 \tag{2}$$

where $F_k(t), Q_{pq}(t)$ and $g(t)$ are analytic functions on interval $-1 \leq t \leq 1$, a_{kj}, b_{kj}, c_{kj} and λ_i are convenient real constants. The aim of this study is to get the solution of the problem (1)-(2) as the truncated Legendre series defined by

$$y(t) \cong y_N(t) = \sum_{n=0}^N a_n P_n(t); \quad -1 \leq t \leq 1 \tag{3}$$

where $P_n(t)$, $n = 0, 1, \dots, N$ denotes the Legendre polynomials given in (Kreyszig, 2013; Everitt et. al. 2002).

and a_n ($0 \leq n \leq N$) are unknown Legendre coefficients ($N \geq m$).

2. Material and Method

2.1. Matrix Relations associated with Legendre Polynomials and Series

In this section, we constitute the matrix forms of each term in Eq. (1). Firstly, we can write the approximate solution $y_N(t)$ defined by truncated Legendre series (3) in the matrix form

$$y(t) \cong y_N(t) = \mathbf{P}(t)\mathbf{A} \tag{4}$$

where $\mathbf{P}(t) = [P_0(t) \ P_1(t) \ \dots \ P_N(t)]$ and $\mathbf{A} = [a_0 \ a_1 \ \dots \ a_N]^T$. Using the recurrence formulas

$(2n + 1)P_n(t) = P'_{n+1}(t) - P'_{n-1}(t)$; $n \geq 1$ where $P'_0(t) = 0$ and $P'_1(t) = P_0(t)$ for $n = 0, 1, \dots, N$, we have recurrence relation between the matrix $\mathbf{P}(t)$ and its derivate $\mathbf{P}^{(k)}(t)$ in the form

$$\mathbf{P}^{(k)}(t) = \mathbf{P}(t)\mathbf{\Pi}^k; \quad k = 0, 1, \dots, m \tag{5}$$

$$\mathbf{\Pi} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 3 & \dots & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5 & 0 & \dots & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & \dots & 7 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 2N-3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 2N-1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}_{(N+1) \times (N+1)}$$

$$\mathbf{\Pi}^0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}_{(N+1) \times (N+1)}$$

From (3) and (5), we obtain the matrix relation as follows:

$$y^{(k)}(t) \cong y_N^{(k)}(t) = \mathbf{P}^{(k)}(t)\mathbf{A} = \mathbf{P}(t)\mathbf{\Pi}^k \mathbf{A}; \quad k = 0, 1, \dots, m \tag{6}$$

Using the Legendre explicit form and taking the matrix relation (6) for $n = 0, 1, \dots, N$, the matrix relations in the following are obtained (Gülsu et. al., 2009; Yüksel et. al., 2011):

$$\mathbf{P}(t) = \mathbf{X}(t)\mathbf{D}; \quad \mathbf{P}(x) = [P_0(t) \quad P_1(t) \quad \dots \quad P_N(t)], \quad \mathbf{X}(t) = [1 \quad t \quad \dots \quad t^N] \tag{7}$$

$$\begin{aligned} (y^{(0)}(t))^2 &= \mathbf{P}(t)\bar{\mathbf{P}}(t)\bar{\mathbf{A}} & y^{(1)}(t)y^{(0)}(t) &= \mathbf{P}(t)\mathbf{\Pi}\bar{\mathbf{P}}(t)\bar{\mathbf{A}} & \bar{\mathbf{A}} &= [a_0A \quad a_1A \quad \dots \quad a_NA]^T \\ (y^{(1)}(t))^2 &= \mathbf{P}(t)\mathbf{\Pi}\bar{\mathbf{P}}(t)\bar{\mathbf{\Pi}}\bar{\mathbf{A}} & y^{(2)}(t)y^{(1)}(t) &= \mathbf{P}(t)\mathbf{\Pi}^2\bar{\mathbf{P}}(t)\bar{\mathbf{\Pi}}\bar{\mathbf{A}} & y^{(2)}(t)y^{(0)}(t) &= \mathbf{P}(t)\mathbf{\Pi}^2\bar{\mathbf{P}}(t)\bar{\mathbf{A}} \\ (y^{(2)}(t))^2 &= \mathbf{P}(t)\mathbf{\Pi}^2\bar{\mathbf{P}}(t)\bar{\mathbf{\Pi}}^2\bar{\mathbf{A}} \end{aligned}$$

$$\bar{\mathbf{P}}(t) = \text{diag} [P(t) \quad P(t) \quad \dots \quad P(t)]_{(N+1)^2 \times (N+1)^2} \quad \bar{\mathbf{\Pi}}^2 = \text{diag} [\mathbf{\Pi}^2 \quad \mathbf{\Pi}^2 \quad \dots \quad \mathbf{\Pi}^2]_{(N+1)^2 \times (N+1)^2}$$

Here, the transient matrix \mathbf{D} is given in (Sezer and Gülsu, 2010; Gülsu et. al., 2009). Now, we define the collocation points for interval $[-1, 1]$ as

$$t_i = -1 + \frac{2}{N}i; \quad i = 0, 1, \dots, N \tag{8}$$

Substituting collocation points (8) into Eq. (1) and the matrix relations (7) yields

$$\sum_{k=0}^2 \mathbf{F}_k \mathbf{Y}^{(k)} + \sum_{p=0}^2 \sum_{q=0}^p \mathbf{Q}_{pq} \mathbf{Y}^{(p,q)} = \mathbf{G} \tag{9}$$

where $\mathbf{F}_k = \text{diag} [F_k(t_0) \quad F_k(t_1) \quad \dots \quad F_k(t_N)]$ and

$$\mathbf{Y}^{(k)} = \begin{bmatrix} y^{(k)}(t_0) \\ y^{(k)}(t_1) \\ \vdots \\ y^{(k)}(t_N) \end{bmatrix} \quad \mathbf{Y}^{(p,q)} = \begin{bmatrix} y^{(p)}(t_0)y^{(q)}(t_0) \\ y^{(p)}(t_1)y^{(q)}(t_1) \\ \vdots \\ y^{(p)}(t_N)y^{(q)}(t_N) \end{bmatrix} \quad \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} g(t_0) \\ g(t_1) \\ \vdots \\ g(t_N) \end{bmatrix}$$

Putting the collocation points (8) into the matrix relations (6) and (7), we have the system in the following

$$y^{(k)}(t_i) \cong y_N^{(k)}(t_i) = \mathbf{P}(t_i)\mathbf{\Pi}^k \mathbf{A}; \quad i = 0, 1, \dots, N \text{ or } \mathbf{Y}^{(k)} = \mathbf{P}\mathbf{\Pi}^k \mathbf{A} \tag{10}$$

Thus, the nonlinear part of Eq. (9) can be written as

$$\sum_{p=0}^2 \sum_{q=0}^p \mathbf{Q}_{pq} \mathbf{Y}^{(p,q)} = \mathbf{Q}_{00} \mathbf{Y}^{(0,0)} + \mathbf{Q}_{10} \mathbf{Y}^{(1,0)} + \mathbf{Q}_{11} \mathbf{Y}^{(1,1)} + \mathbf{Q}_{20} \mathbf{Y}^{(2,0)} + \mathbf{Q}_{21} \mathbf{Y}^{(2,1)} + \mathbf{Q}_{22} \mathbf{Y}^{(2,2)}$$

Substituting the collocation points (8) into the mentioned matrix relations, then the following matrices are obtained:

$$\mathbf{Y}^{(0,0)} = \mathbf{P}_{0,0}^* \bar{\mathbf{A}}, \quad \mathbf{Y}^{(1,0)} = \mathbf{P}_{1,0}^* \bar{\mathbf{A}}, \quad \mathbf{Y}^{(1,1)} = \mathbf{P}_{1,1}^* \bar{\mathbf{A}}, \quad \mathbf{Y}^{(2,0)} = \mathbf{P}_{2,0}^* \bar{\mathbf{A}}, \quad \mathbf{Y}^{(2,1)} = \mathbf{P}_{2,1}^* \bar{\mathbf{A}}, \quad \mathbf{Y}^{(2,2)} = \mathbf{P}_{2,2}^* \bar{\mathbf{A}}$$

where

$$\mathbf{P}_{0,0}^* = \begin{bmatrix} P(t_0)\bar{P}(t_0) \\ P(t_1)\bar{P}(t_1) \\ \vdots \\ P(t_N)\bar{P}(t_N) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{P}_{1,0}^* = \begin{bmatrix} P(t_0)\Pi\bar{P}(t_0) \\ P(t_1)\Pi\bar{P}(t_1) \\ \vdots \\ P(t_N)\Pi\bar{P}(t_N) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{P}_{1,1}^* = \begin{bmatrix} P(t_0)\Pi\bar{P}(t_0)\bar{\Pi} \\ P(t_1)\Pi\bar{P}(t_1)\bar{\Pi} \\ \vdots \\ P(t_N)\Pi\bar{P}(t_N)\bar{\Pi} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{P}_{2,0}^* = \begin{bmatrix} P(t_0)\Pi^2\bar{P}(t_0) \\ P(t_1)\Pi^2\bar{P}(t_1) \\ \vdots \\ P(t_N)\Pi^2\bar{P}(t_N) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{P}_{2,1}^* = \begin{bmatrix} P(t_0)\Pi^2\bar{P}(t_0)\bar{\Pi} \\ P(t_1)\Pi^2\bar{P}(t_1)\bar{\Pi} \\ \vdots \\ P(t_N)\Pi^2\bar{P}(t_N)\bar{\Pi} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{P}_{2,2}^* = \begin{bmatrix} P(t_0)\Pi^2\bar{P}(t_0)\bar{\Pi}^2 \\ P(t_1)\Pi^2\bar{P}(t_1)\bar{\Pi}^2 \\ \vdots \\ P(t_N)\Pi^2\bar{P}(t_N)\bar{\Pi}^2 \end{bmatrix}$$

2.2. Legendre Operational Matrix Method

Substituting the matrix relations (10) and (11) into Eq. (9), we obtain the fundamental matrix equation

$$\sum_{k=0}^m \mathbf{F}_k \mathbf{P} \mathbf{\Pi}^k \mathbf{A} + \sum_{p=0}^2 \sum_{q=0}^p \mathbf{Q}_{pq} \mathbf{P}_{p,q}^* \bar{\mathbf{A}} = \mathbf{G} \quad \text{or} \quad \mathbf{W} \mathbf{A} + \mathbf{V} \bar{\mathbf{A}} = \mathbf{G} \tag{12}$$

where $\mathbf{W} = [w_{ij}] = \sum_{k=0}^m \mathbf{F}_k \mathbf{P} \mathbf{\Pi}^k$; $i, j = 0, 1, \dots, N$ and

$$\mathbf{V} = [v_{m^*,(n+1)^2}] = \sum_{p=0}^2 \sum_{q=0}^p \mathbf{Q}_{pq} \mathbf{P}_{p,q}^* \quad ; \quad m^* = 0, 1, \dots, N; \quad n = 0, 1, \dots, (N+1)^2 - 1$$

Then, the matrix equation (12) can be written in the augmented form $[\mathbf{W}; \mathbf{V} : \mathbf{G}]$ or clearly

$$[\mathbf{W}; \mathbf{V} : \mathbf{G}] = \begin{bmatrix} W_{00} & W_{01} & \dots & W_{0N} & : & V_{00} & V_{01} & \dots & V_{0,(N+1)^2-1} & : & g(t_0) \\ W_{10} & W_{11} & \dots & W_{1N} & : & V_{10} & V_{11} & \dots & V_{1,(N+1)^2-1} & : & g(t_1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & : & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & : & \vdots \\ W_{N0} & W_{N1} & \dots & W_{NN} & : & V_{N0} & V_{N1} & \dots & V_{N,(N+1)^2-1} & : & g(t_N) \end{bmatrix} \tag{13}$$

Using the matrix relation (6), the fundamental matrix equation corresponding to the mixed conditions (2) is obtained as

$$\sum_{k=0}^{m-1} (a_{kj} \mathbf{P}(-1) + b_{kj} \mathbf{P}(0) + c_{kj} \mathbf{P}(1)) \mathbf{\Pi}^k \mathbf{A} = \lambda_j ; \quad j = 0, 1, \dots, N \quad \text{or} \quad \mathbf{U} \mathbf{A} + \mathbf{O}^* \bar{\mathbf{A}} = \lambda = [\mathbf{U}; \mathbf{O}^* : \lambda] \tag{14}$$

(Here, zero matrix indicated with \mathbf{O}^* is a $(N+1) \times (N+1)^2$ matrix) or more clearly

$$[\mathbf{U}; \mathbf{O}^* : \lambda] = \begin{bmatrix} u_{00} & u_{01} & \dots & u_{0N} & : & 0 & 0 & \dots & 0 & : & \lambda_0 \\ u_{10} & u_{11} & \dots & u_{1N} & : & 0 & 0 & \dots & 0 & : & \lambda_1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & : & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & : & \vdots \\ u_{N0} & u_{N1} & \dots & u_{NN} & : & 0 & 0 & \dots & 0 & : & \lambda_{m-1} \end{bmatrix} \tag{15}$$

To calculate Legendre coefficients a_n ($n=0,1,\dots,N$) related to the approximate solution (3) of the problem (1)-(2), by replacing the m row matrices (14) by the last m rows (or any m rows) of the augmented matrix (16), we obtain the resulting matrix as follows;

$$[\tilde{W}; \tilde{V}; \tilde{G}] = \begin{bmatrix} W_{00} & W_{01} & \dots & W_{0N} & : & V_{00} & V_{01} & \dots & V_{0,(N+1)^2-1} & : & g(t_0) \\ W_{10} & W_{11} & \dots & W_{1N} & : & V_{10} & V_{11} & \dots & V_{1,(N+1)^2-1} & : & g(t_1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & : & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & : & \vdots \\ W_{N-m,0} & W_{N-m,1} & \dots & W_{N-m,N} & : & V_{N-m,0} & V_{N-m,1} & \dots & V_{N-m,(N+1)^2-1} & : & g(t_{N-m}) \\ U_{00} & \vdots & \dots & \vdots & : & 0 & 0 & \dots & 0 & : & \lambda_0 \\ U_{10} & \vdots & \dots & \vdots & : & 0 & 0 & \dots & 0 & : & \lambda_1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & : & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & : & \vdots \\ U_{m-1,0} & U_{m-1,1} & \dots & U_{m-1,N} & : & 0 & 0 & \dots & 0 & : & \lambda_{m-1} \end{bmatrix} \quad (16)$$

From this nonlinear algebraic system, that is, from the matrix equation $\tilde{W}\mathbf{A} + \tilde{V}(\bar{\mathbf{A}}) = \tilde{G}$, the unknown Legendre coefficients a_n ($n=0,1,\dots,N$) are determined. Thus, the truncated Legendre series solution (3) is obtained from Eqs. (4) and (7).

3. Accuracy of Solutions and Residual Error Estimation

We consider the residual error estimation to check accuracy of the obtained solutions. Since the truncated Legendre series (1) is an approximate solution of Eq. (1), when the solution $y_N(x)$ and its derivatives are substituted in Eq. (1), then resulting equation must be satisfied approximately as follows:

$$R_N(t_l) = \sum_{k=0}^m F_k(t_l) y^{(k)}(t_l) + \sum_{p=0}^2 \sum_{q=0}^p Q_{pq}(t_l) y^{(p)}(t_l) y^{(q)}(t_l) - g(t_l) \cong 0 \quad (17)$$

for $t_l \in [a, b]$ ($l=0,1,2,\dots$) or $R_N(t_l) \leq 10^{-k_l}$ where k_l is any positive numbers. Predetermining $\max 10^{-k_l} = 10^{-k}$, then the truncation limit N is increased until the difference $R_N(t_l)$ at each of the points becomes smaller than predetermined 10^{-k} . Therefore, if $R_N(t_l) \rightarrow 0$ when N is sufficiently large enough, then the error decreases (Everitt et.al. 2002; Sezer and Gülsu, 2010).

The accuracy of the solution can be checked and the error can be estimated via the residual function $R_N(t)$ (Balci and Sezer, 2016; Oğuz and Sezer, 2015, Kürkçü et. al., 2016, Gürbüz and Sezer, 2017) and the mean value of the function $|R_N(t)|$ on the interval $[-1,1]$. Using the inequality

$$\left| \int_{-1}^1 R_N(t) dt \right| \leq \int_{-1}^1 |R_N(t)| dt \quad (18)$$

and the mean value theorem, the upper bound of the mean error \bar{R}_N is obtained as

$$R_N(c) \leq \frac{1}{2} \int_{-1}^1 |R_N(t)| dt = \bar{R}_N \quad (19)$$

4. Applications

Example 4.1. Consider the nonlinear differential equation

$$y'' - 2y' + y + y^2 - y''y' = 2 + 4e^t; \quad y(0) = 3, \quad y'(0) = 2$$

We assume that the problem has a Legendre polynomial solution in the form for $N = 2$

$$y_2(t) = \sum_{n=0}^2 a_n P_n(t); \quad -1 \leq t \leq 1$$

Performing the necessary procedures and considering the collocation points $P_0(t)=1, P_1(t)=t, P_2(t)=\frac{3}{2}t^2 - \frac{1}{2}$, then, we find the fundamental matrix equation in the following:

$$(F_0 P \Pi^0 + F_1 P \Pi + F_2 P \Pi^2)A + (Q_{00} P^*_{0,0} + Q_{21} P^*_{2,1})\bar{A} = G$$

where

$$F_0 P \Pi^0 = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1/2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, F_1 P \Pi = \begin{bmatrix} 0 & -2 & 6 \\ 0 & -2 & 0 \\ 0 & -2 & -6 \end{bmatrix}, F_2 P \Pi^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 3 \end{bmatrix}, G = \begin{bmatrix} g(-1) \\ g(0) \\ g(1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2+4e^{-1} \\ 6 \\ 2+4e \end{bmatrix}$$

$$Q_{00} P^*_{0,0} + Q_{21} P^*_{2,1} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -2 & 2 & -2 \\ 1 & 0 & -1/2 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & -3 & 1/4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -2 & -8 \end{bmatrix}$$

$$[W; \tilde{V} : \tilde{G}] = \begin{bmatrix} 1 & -3 & 10 & : & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -2 & 2 & -2 & : & 2+4e^{-1} \\ 1 & 0 & -1/2 & : & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & : & 3 \\ 0 & 1 & 0 & : & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & : & 2 \end{bmatrix}$$

Then, the solution of the problem is obtained as the first three term in Maclaurin expansion of the exact solution $y = 1 + 2e^t$.

Table 1. Numerical results for Example 4.1.

t_i	Exact Solution	$y(t)$ for $N = 2$	Absolute Errors
0.0	3.0	3.0	0
0.2	3.4428	3.44	0.0028
0.4	3.9836	3.96	0.2364
0.6	4.6442	4.56	0.8423
0.8	5.4510	5.24	0.2110
1.0	6.4365	6.0	0.4365

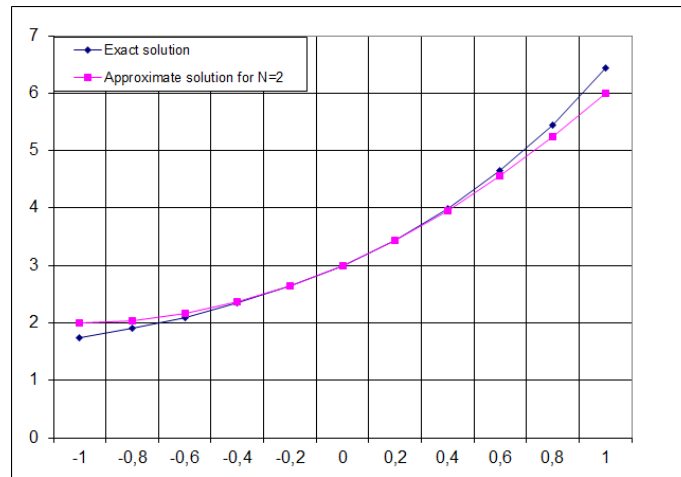


Figure 1. The comparison of numerical and exact solutions of Example 4.1 for $N = 2$.

Example 4.2. [9,13] Consider Bratu-type problem

$$y''(x) - 2e^{y(x)} = 0; 0 < x < 1$$

with $y(0) = 0$ and $y'(0) = 0$. The exact solution of this problem is $y(x) = -2\ln(\cos x)$. Expanding $e^{y(x)}$, we can write this equation [9] as

$$y''(x) - 2y(x) - y^2(x) - 2 = 0.$$

Using Legendre matrix-collocation method with truncation limit $N = 4$ and 5 , we solve this problem. The following solutions are obtained as

$$y_4(x) = -1.04 \times 10^{-17} + 0.965317x^2 - 0.0160093x^3 + 0.196559x^4$$

$$y_5(x) = 2.08 \times 10^{-17} + 0.971444x^2 + 0.00924656x^3 + 0.146425x^4 + 0.0314368x^5$$

Table 2. Comparison of the absolute errors for different N of Example 4.2.

x_i	N=4	N=5	x_i	N=4	N=5
0.1	3.60e-04	2.78e-04	0.6	1.44e-02	1.08e-02
0.2	1.47e-03	1.09e-03	0.7	2.15e-02	1.66e-02
0.3	3.34e-03	2.44e-03	0.8	3.27e-02	2.60e-02
0.4	6.00e-03	4.36e-03	0.9	5.17e-02	4.26e-02
0.5	9.56e-03	7.02e-03	-	-	-

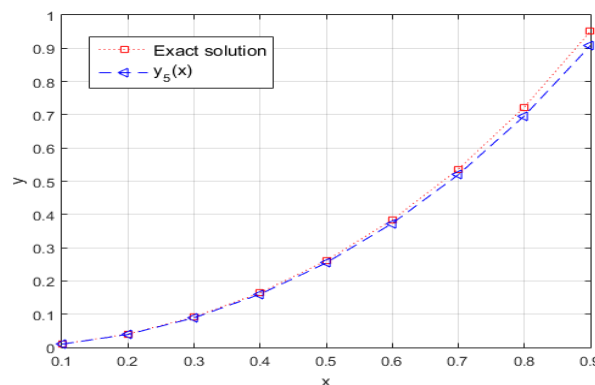


Figure 2. Comparison of the Legendre polynomial solution $y_5(x)$ and exact solution for Example 4.2.

As seen from Fig. 2 and Table 2, the Legendre polynomial solutions $y_4(x)$ and $y_5(x)$ coincide with the exact solution. Also, the absolute error decreases as N is increased. The upper bounds of the mean errors \bar{R}_4 and \bar{R}_5 are obtained as $2.07e-01$ and $1.82e-01$, respectively. It is clearly seen that the mean errors are consistent with results in tables and figures.

5. Conclusions and Recommendations

In this study, we propose a matrix-collocation method based on Legendre polynomials to obtain the approximate solutions of nonlinear ordinary differential equations with quadratic terms. Besides, the error analysis is introduced to indicate the accuracy of the method. The present method and its error analysis are applied on some examples. Comparison of the obtained results with exact solutions displays that the present method is impressive and suitable. Also, the method can be extended on different type of mathematical models together with some modifications.

6. Acknowledge

Competing interests: The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contributions: All authors read and approved the final manuscript.

References

- Akyüz Daşcıoğlu A., Çerdik Yaslan H. 2011. The solution of high-order nonlinear ordinary differential equations by Chebyshev series. *Appl. Math. and Comput.* 217, 5658-5666.
- Balcı M. A., Sezer M. 2016. Hybrid Euler-Taylor matrix method for solving of generalized linear fredholm integro-differential difference equations. *Appl. Math. Comput.* 273, 33-41.
- El-Mikkawy M.E.A., Cheon G.S. 2005. Combinatorial and hypergeometric identities via the Legendre polynomials-a computational approach. *Appl. Math. Comput.* 166, 181-195.
- Everitt W.N., Littlejohn R., Wellman L.L. 2002. Legendre polynomials, Legendre-Stirling numbers and the left-definite spectral analysis of the Legendre differential expressions. *J. Comput. Appl. Math.* 148, 213-238.
- Gülsu M., Sezer M., Tanay B. 2009. A matrix method for solving high-order linear difference equations with mixed argument using hybrid Legendre and Taylor polynomials. *Journal of the Franklin Institute* 343, 647-659.
- Gürbüz B., Sezer M. 2016. Laguerre polynomial solutions of a class of initial and boundary value problems arising in science and engineering fields. *Acta Physica Polonica A* 130 (1), 194-197.
- Gürbüz B., Sezer, M. 2017. A new computational method based on Laguerre polynomials for solving certain nonlinear partial integro differential equations. *Acta Physica Polonica A* 132, 561-563.
- Gürbüz B., Sezer, M. 2017. Laguerre polynomial solutions of a class of delay partial functional differential equations, *Acta Physica Polonica A* 132, 558-560.
- Kreyszig E. 2013. *Introductory functional analysis with applications*, John-Wiley and Sons, New York.
- Kürkçü Ö. K., Aslan E., Sezer M. 2017. A numerical method for solving some model problems arising in science and convergence analysis based on residual function. *Appl. Num. Math.* 121, 134-148.
- Kürkçü Ö. K., Aslan E., Sezer M. 2016. A numerical approach with error estimation to solve general integro-differential difference equations using Dickson polynomials. *Appl. Math. Comput.* 276, 324-339.
- Oğuz C., Sezer M. 2015. Chelyshkov collocation method for a class of mixed functional integro-differential equations. *Appl. Math. Comput.* 259, 943-954.
- Sezer M., Gülsu M. 2010. Solving high-order linear differential equations by a Legendre matrix method based on hybrid Legendre and Taylor polynomials. *Numer. Methods Partial Differential Eq.* 26, 647-661.
- Wazwaz A. M. 2005. Adomian decomposition method for a reliable treatment of the Bratu-type equations. *Appl. Math. Comput.* 166, 652-663.
- Yüksel G., Gülsu M., Sezer M. 2011. Chebyshev polynomial solutions of a class of second-order nonlinear ordinary differential equations. *Journal of Advanced Research in Scientific Computing* 3(4), 11-24.



Lean and Productivity in The Financing of Health Services

Menekşe Kiliçarslan^{1*}, Rana Özyurt Kaptanoğlu²

¹ İstanbul Aydın Üniversitesi, Sağlık Yönetimi, İstanbul- Türkiye (ORCID: 0000-0002-0580-8645)

² Medipol Üniversitesi, İktisadi İdari Bilimler Fakültesi, (DSÜ) İşletme Yönetimi Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0341-4722)

(First received 28 December 2018 and in final form 5 March 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.504719)

ATIF/REFERENCE: Kiliçarslan, M. & Kaptanoğlu, R. O. (2019). Lean and Productivity in the Financing of Health Services. *European Journal of Science and Technology*, (15), 297-301.

Abstract

Financing health services plays an important role in ensuring control and the utilization of expenditures. Because of this, the appropriate selection of the financing should be done with utmost care. Hospitals debts have doubled in the last four years. The most important reason of this is that patients can easily reach all of the hospitals, necessary tests and surgeries that the performance system has brought. When the problems of hospitals are analysed from a general perspective, because of the SSI and performance system, institutions have entered in a severe bottleneck and have been severely restricted (Erkol and Ağırbaş, 2011: 88). The same process continues in the official institutions. In the private institutions, the situation has started to be somewhat different, and the differences arising from case-by-case payments have begun to be received from the patient underhandedly.

Keywords: Budget, SSI (Social Security Institution), Health, Finance

Sağlık Hizmetlerinin Finansmanında Yalın ve Verimlilik

Öz

Sağlık hizmetlerinin finanse edilmesi, kontrolün sağlanmasında ve harcamaların kullanılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle uygun finansman seçimi özenle yapılmalıdır. Son dört yılda hastaneler borçları iki katına çıkarmıştır. Bunun en önemli nedeni, hastaların performans sisteminin getirdiği tüm hastanelere, gerekli testlere ve ameliyatlara kolayca ulaşabilmeleridir. Hastanelerin sorunları genel bir bakış açısıyla analiz edildiğinde, SGK ve performans sistemi nedeniyle kurumlar ciddi bir darboğaza girmiş ve ciddi şekilde kısıtlanmıştır (Erkol ve Ağırbaş, 2011: 88). Resmi kurumlarda da aynı süreç devam etmektedir. Özel kurumlarda durum biraz farklılaşmaya başlamış ve duruma göre ödemelerden kaynaklanan farklılıklar hastadan alınmaya başlanmıştır.

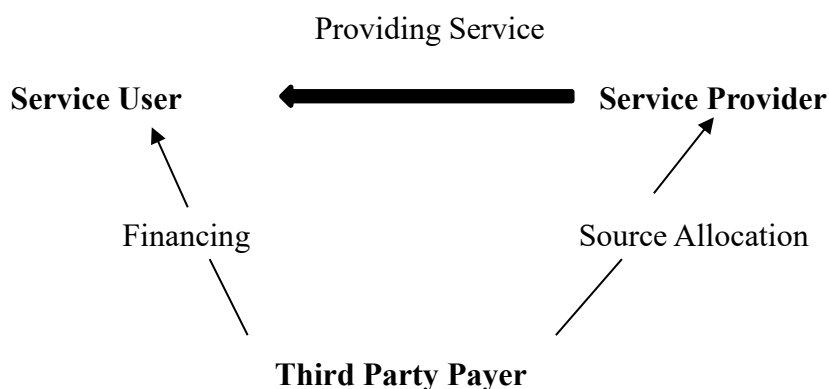
Anahtar Kelimeler: Bütçe, SGK (Sosyal Güvenlik Kurumu), Sağlık, Finans

* Corresponding Author: İstanbul Aydın Üniversitesi, Sağlık Yönetimi, İstanbul- Türkiye, ORCID: 0000-0002-0341-4722, meneksevarol69@gmail.com

1. Introduction

Pricing policy is a part of administration decisions in all sectors and price is based upon demand and supply at the end of the day. Increase in the costs of health services is a result of growing health expenses. Hence, pricing in the health services gains more importance day by day. Estimation of the costs of health service is also important in terms of prevention the unexpected results that affect the quality of health services (Raulinajtys, 2014: 341). The most significant aim in the health sector is to provide timely and quality services users need. However, not knowing the exact time when the need of service arises, increases the financial burden besides making the calculation of possible costs, which occur during the time of need, difficult (Tatar 2016:105). Health financing prevents service users from financial burden as a main goal (WHO, 2002). Health financing is defined as funding of costs, arising from health services or transfer between funds. Transfer is made between service providers, service users and a third payer part. While service providers make transfer to service users, in exchange for this provided service, third payer parts make transfer to the service providers as payment in exchange for the services they provide (Uğurluoğlu, 2008: 135). This cycle between service providers, service users and third party payer is shown in the Figure 1.

Figure 1: The Triangle of Health Service



Source: Mossailos and Dixon, 2002, Cited by Tatar,

Financing of health services has three main functions as revenue collection, fund gathering and remitting. Revenue collection includes of which health personnel makes the payment and which amount s/he makes and its scope. Financing methods like taxes, private health insurance, personal medical saving accounts, contribution of users generates the revenue collection. Financial risk is shared when financial burden, generated by suddenly occurrence of service need, is gathered on the all members. Hence, individuals that need less health service support individuals that need much more health service. Fund gathering is also named as insurance. In addition, payments of the service providers are made with various methods like payment per service, payment per day, payment per case, payment per capita, global budget (İstanbulluoğlu, Güleç and Oğur, 2010:90).

2. Financing Methods in the Health Services

There are significant inequality in the categorization of sources, which is spent for global health. The economic development of a country is closely related to the state of health of its population. In the countries with low income, annual expense per capita is under 100 dollars. This creates the lack of accessibility to the sources and hinders providing quality service. On the other hand, in the countries, where expense per capita is 5.000 dollars, this is reflected on the policies in a different way (Ensor and Ronoh, 2005: 49).

When the definition of health services is analysed, it is as practices for the protection of human health, treatment and rehabilitation when necessary. Organizations that provide health services should be handled in a different way from the other organizations, for they provide urgent and irrecusable services. Hence, the nature and characteristics of services provided by organizations that provide health services, is required financing structures, unique to them (Arık and İleri, 2016: 80). Health financing has an important role in the effective operation of health services and provides financial stimulus and source for the effective operation of health system (Akortsu and Abor, 2011: 128). The aim of health financing is to create a continuous source for the users of health services to access health services (İstanbulluoğlu and et. al. 2010:90).

For the purpose of effectively carrying out the financing of health services in the hearth systems, it is possible to mention various financing models. Financing models, such as financing with taxes, Social health insurance, and private health insurance, out-of-pocket expenses, medical saving accounts, are used in the health systems (Kılıçaslan, M. 2016:113).

Financing with taxes (Beveridge Model) In the event that private sector is used for the financing health systems, personal benefit comes into prominence, income-generating services are focused, preventive services can be neglected and people without ability-to-

pay cannot benefit from the provided services. This decreases the service quality and causes hitches in the system. That's why, how health services is financed is a significant issue (Çelikay and Gümüş, 2010:192).

In this model, also called as Beveridge Model, government assumes the guarantor role and meets all financing of provided health services. In the Beveridge model, health services are not distinguished from other types of services, they are dealt with like a road or lightning service (Daştan and Çetinkaya, 2015:106). The model, generally adopted in the Scandinavian countries such as Finland, Sweden, Norway, has some features like the control of health services financing through budget, free access of health services for service users, adopting the capitation method for the reimbursement to the service providers (Tatar, 2011: 111).

Bismarck Model It is a model, based on sickness funds, created according to the individuals' working types, or investing some part of their income on a third party payer. The model was developed by Bismarck in Germany so it is identified with the German health system. Bismarck model embraces not only the working class but also the non-active population (Arik and İleri, (2016:81).

Out-of-pocket Expenses Unnecessary service demand, one of the problems, which affects the productivity of health services, has prompted decision makers to search for new policies. Payment system with the contribution of users is one these policies. The method, one of which eliminates the risk of health services financing and meets the need of health services financing, is not only an advance payment mechanism but also a financing source that is paid directly to the service provider at the moment of getting services (www.sagem.gov.tr). Due to the ambiguity of the time when the demand for health services occur and unforeseeable of how much burden would be placed on the users, it is not suitable to use only this payment model even though it prevents the unnecessary service demand (Daştan and Çetinkaya, 2015: 108).

For the control of health expenses, growing all over the world, providing the continuity of health services financing has become an obligation. Besides, reimbursements, paid to the service providers in exchange for the health services, should be paid by determining the best method within the health systems. Selection of the method in an optimal way is highly important for the financial success of the system. Methods of reimbursements in the health services can be listed as per case payment, per service payment, per capita payment, per day payment, groups related to treatment and global budgets (Arik and İleri, (2016:83).

3. Reimbursement Methods in the Health Services

According to the **per case reimbursement method**, a predetermined amount of payment is made to the health service providers for every patient (case), who gets health services because of a disease or a certain reason. Here, payments are made to health providers under certain circumstances and considering the case. There are two methods to determine the payment. While a small amount is paid without considering the disease in the first method, payments are made with considering the diagnosis in the second method. System is developed for the prevention of the disadvantages of per service reimbursement method.

While the idea that per case reimbursement is made by minimizing the use of source is considered as one of the strong sides of the system, the blind side of the system is that health providers prefer patients with low-cost treatment or easier treatable patients (Akyürek, 2012: 192, Arik and İleri, 2016:84).

Per Service Payment Method, A predetermined fixed amount of payment is made to health providers in the per service reimbursement method, which is one of the methods of retroactive payments. There is a fixed amount of payment for each service item and services provided by health providers are charged to them at the rate of these prices (Kelat, 2015).

While the strong side of the system can be shown as the tendency of health providers to provide much more health services to patients, unpredictability of services to be provided for the service users make the costs of payments uncertain. This can be shown as one of the weak sides of the system.

Per Day Payment; Organizations, providing health services are paid per period. All expenses (treatment, prosthesis, drugs, accommodation) within this period are paid per day. Health services include different specialities and the same price is paid regardless of the differences even though costs are not the same in every unit or for every patient (Merih.net).

This reimbursement model prompts organization, providing health services, to extend the duration of hospital stay. This also causes the decrease in the service quality provided to the patient.

Per Capita Payment System: It includes the registered per capita payment in exchange for providing health services to all people, registered in a specific geographical region or a registered population defined to itself at a given time (<http://www.sdplatform.com>). The advantageous side of this payment is that it can decrease the costs. Not only health providers

prevent the possible unnecessary costs but also it prompts sources to be used in an efficient way (Arık and İleri, 2016:85). As in the other methods, this method also has negative sides like long waiting line, preference of patient with lower risk by health providers.

Global Budget: Global budget, one of the prospective payment methods, is the expense limit, which is paid for the health services provided by health providers in a fiscal year (Arık and İleri 2016:87). In this payment method, payments are made not in groups but on one payment item. Organization, providing health services, has the freedom to use this budget whichever field it needs (Çelik, 2011:229). The main aim of the global budget is to limit the total cost, which is spent to the health services and control the expenses. Global budget is generally based on an agreement. There should be a consensual amount, which includes all costs of the healthcare organizations. The more income sources in the global budget are, the more possible accessibility to the predetermined policies is (Akyürek, 2012:139). The study is based on the comparison of before and after of the transition of a health care organization to the global budget.

The Use of Global Budget in the Health System in Turkey

Both service supply and service demand are provided in a combined way in the structure of Turkish health system. While service supply is provided by different public and private healthcare organizations, service demand is made over the difference between people who has the insurance coverage and people who do not have (Yurdadoğ, 2007:592). Health expenses, formed in this complicated and fragmental structure, are met by the government and governmental institutions like the SSI (Social Security Institution) or private sector like organization payments and out-of-pocket expenses. The combined structure of the system makes the effectiveness of it difficult (Top, 2011).

The current reimbursement method in our country is that the Social Security Institution meets the handling fee, which is paid to the service providers by considering the procedures and prices in the attachment of health practices notice, which is determined according to the nature of the provided health services. These procedure charges are invoiced as “payment for diagnose based procedures” or per service payment to the SSI (Arık and İleri, 2016: 87).

4. Results and Discussion

Before the transition to global budget, beneficiaries used to apply to the primary care healthcare organization through health certificate with medical examination form or dispatch form. While patients with health card for uninsured people used apply with them, users without health insurance used to pay out of their pocket. After the examination in the primary care healthcare organizations, request slip, showing the examination and workups was kept by copying the papers of analysis and examination in the organization, the original papers were sent to the provincial directorate of health on a monthly basis.

The provincial directorate of health used to make out invoices by dividing these papers, sent by the primary care healthcare organizations in the province, on the basis of per capita and reimbursement organizations. Invoices made out by the provincial directorate of health on behalf of reimbursement organization, were sent to the organization by adding a copy in the attachment of invoices by post (SB: 2014:58-59). By copying other hospitals, additional improvement can be made. However, it is necessary to use lean concepts for new striking improvements by including workers in their own developments process and determination of lean and reframing the processes (Kılıçaslan, M. 2016:117).

Payments of these invoices and attachments were made if deemed suitable in this method, which bureaucracy and costs were high, however; organizations could not have their shares from these payments most of the time. When it was surmised that this method was inefficient during the budget discussions in 2006, the global budget practice came into effect in order to make no concessions regarding the service quality and increase the patient satisfaction (Arık and İleri 2015:87). In the study, the comparison of the efficiency of healthcare organizations before and after the transition to the global budget will be made. The waste of paper will be decreased more with the transition to digital hospitals in the reimbursements of the health sector. In addition, reimbursements will be made faster by the SSI.

References

- Akyürek, C. E. (2012).” Global Budget as a Reimbursement Method in Health and Turkey” *Journal of Social Security*. v:2 p: 124-154.
- Ağırbaş, İ. (2011). Hastanelerde Maliyet Analizi ve Faaliyet Tabanlı Maliyetleme. *Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Mecmuası*, 64(02), 087-095.
- Akortsu, M., Abor, P. (2011). “*Financing public healthcare institutions in Ghana*” *Journal of Health Organization and Management* Vol. 25 sayı: 2, 2011 pp. 128-141
- Ensor, Tim and Ronoh, Jeptenkeny (2005) “ *Effective financing of maternal health services: A review of the literature*” *Health Policy*. V (75):i(1) p:49-58.
- Uğurluoğlu and Özgen, (2008). ‘*Health Services Financing and Equity*’ *Hacettepe Journal of Health Administration*. V:11 I:2 p:133-160.
- İstanbuluoğlu, Güleç and Oğur. (2010). “*Financing Methods of Health Services*” *Dirim Medicine Paper*. V:85 I:2 p: 86-99.
- Raulinajtys, Monica. (2014) ‘*Cost accounting models used for price-setting of health services: An international review*” *Health Policy*. p: 341-353.
- Çelikay and Gümüş, (2010). “*Health Services and Financing in Turkey*” *Eskişehir Osmangazi University Journal of Social Security*. Volume: 11 issue: 1 p: 177-126.
- Arık and İleri, (2016). ‘Refund Systems in Healthcare and Global Budget’ *Gümüşhane University Journal of Health Sciences*. V:5 i:4 p:78-92
- Kelat, (2015) “Refund Systems, Financial Sustainability, Leaks in the Medical Bills and Auidt of Court of Account within the Income Aspect” retrieved from <https://www.tkhk.gov.tr/Dosyalar/f7d1ca73a5784c578742b97078504574.pptx> on 16th September 2017
- Kaptanoğlu,R.(2017) “An Application on Organisational Commitment and Emotional Intelligence” *Balkan and Near Eastern Journal of Social Sciences*, (IBANES) 2017, 3(3). http://www.ibaness.org/bnejs/2017_03_03/010_Kaptanoglu.pdf
- Kılıçaslan, M. (2016). A Study on an Integrated Model Proposal for Leaning of Healthcare Services, Beykent University, Unpublished Doctoral Dissertation, İstanbul.
- Tatar. M. (2011). ‘Financing Health Care Services: Development of Social Health Insurance in Turkey’ *The Journal of Social Security*. v:1 i:1
- T.R. The Ministry of Health. “2014 Activity Report of The Ministry of Health”, p:58-59. <https://sgb.saglik.gov.tr> (16.09.2017)
- Top, M. (2011). “Turkish Health System and Policies” retrieved from http://www.academia.edu/2923094/T%C3%BCrk_Sa%C4%9Fl%C4%B1k_Sistemi_ve_Politikalar%C4%B1 (16.09.2017).



Mineral and Heavy Metal Contents of Some Animal Livers

Erman Duman^{1*}, Mustafa Mete Özcan², Mehmet Hamurcu³, Mehmet Musa Özcan⁴

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3405-9572)

² Selçuk Üniversitesi, Karapınar Aydoğanlar Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü, Karapınar, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0608-771X)

³ Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7378-4406)

⁴ Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5024-9512)

(First received 2 January 2019 and in final form 2 March 2019)

(DOI:10.31590/ejosat.506340)

ATIF/REFERENCE: Duman, E., Özcan, M. M., Hamurcu, M. & Özcan, M. M. (2019). Mineral and Heavy Metal Contents of Some Animal Livers. *European Journal of Science and Technology*, (15), 302-307.

Abstract

The mineral and heavy metal contents of beef, chicken, goat, quail, sheep and five different ducks livers were determined by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy (ICP-AES). The P contents of livers ranged from 8172.87 mg/kg (Civil) to 10051.46 mg/kg (goat). In addition, K contents of liver samples were found between 7848.39 mg/kg (Kaşıkçı) and 10404.48 mg/kg (chicken). While Ca contents of livers change between 117.46 mg/kg (goat) and 316.78 mg/kg (quail), Mg content varied between 475.69 mg/kg (beef) and 769.32 mg/kg (chicken). This study showed that quail liver contained the highest concentrations of iron (413.41 mg/kg), followed by chicken (363.88 mg/kg), goat (138.47 mg/kg), sheep (114.40 mg/kg) and beef (102.20 mg/kg). In addition, Zn contents of samples varied between 49.69 mg/kg (quail) and 104.20 mg/kg (Civil). While Fe contents of livers range from 669.12 mg/kg (Civil) to 3808.90 mg/kg (Kıl), Na contents were found between 3142.2 mg/kg (Yeşil) to 4756.8 mg/kg (Kıl). Cu contents of livers were established between 16.48 mg/kg (Kıl) and 72.73 mg/kg (Civil). There were significant differences in mineral contents of liver types ($p < 0.05$). In this study, investigated animal livers can be used as supplement for good personal health.

Key words: Beef, Goat, Chicken, Quail, Wild duck, Livers, Minerals, Heavy metals, ICP-AES.

Bazı Hayvan Karaciğerlerinin Mineral ve Ağır Metal İçerikleri

Öz

Sığır, tavuk, keçi, bıldırcın, koyun ve beş farklı ördek karaciğerlerinin mineral ve ağır metal içerikleri, İndüktif Olarak Eşleşmiş Plazma-Atomik Emisyon Spektroskopisi (ICP-AES) ile belirlenmiştir. Karaciğerlerin P içeriği 8172.87 mg/kg (Civil) ile 10051.46 mg/kg (keçi) arasında değişmiştir. Ek olarak, karaciğer numunelerinin K içeriği 7848.39 mg/kg (Kaşıkçı) ile 10404.48 mg/kg (tavuk) arasında bulunmuştur. Karaciğerlerin Ca içerikleri 117.46 mg/kg (keçi) ile 316.78 mg/kg (bıldırcın) arasında değişirken, Mg içeriği 475.69 mg/kg (sığır eti) ve 769.32 mg/kg (tavuk) arasında değişmektedir. Bu çalışmada, bıldırcın karaciğerinin en yüksek demir konsantrasyonlarını (413.41 mg/kg) içerdiğini, ardından sırasıyla tavuk (363.88 mg/kg), keçi (138.47 mg/kg), koyun (114.40 mg/kg) ve sığır eti (102.20 mg/kg) belirlenmiştir. Ayrıca, numunelerin Zn içerikleri 49.69 mg/kg (bıldırcın) ve 104.20 mg/kg (Civil) arasında değişmiştir. Karaciğerlerin Fe içeriği 669.12 mg/kg (Civil) ile 3808.90 mg/kg (Kıl) arasında değişirken, Na içeriği 3142.2 mg/kg (Yeşil) ile 4756.8 mg/kg (Kıl) arasında bulunmuştur. Karaciğerlerin Cu içerikleri 16.48 mg/kg (Kıl) ile 72.73 mg/kg (Civil) arasında belirlenmiştir. Karaciğer tiplerinin mineral içeriğinde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Bu çalışmada araştırılan hayvanların karaciğerleri sağlık için iyi bir takviye gıda olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Sığır, Keçi, Tavuk, Bıldırcın, Yaban ördeği, Karaciğer, Mineral, Ağır metal, ICP-AES.

1. Introduction

The liver is the most important organ involved in metabolic processes and is considered to be one of the most eloquent witnesses of any disturbance in the body (Doneley, 2004). Mineral elements are essential for animal health, survival and production due to their participation in physiological, structural, catalytic and regulatory functions of animal organism (Underwood and Suttle, 2001; Reis et al., 2010). Heavy metals are included in the group of trace elements that have negative influence on human health (Lopez-Alonso et al. 2007; Pappas et al. 2010). Heavy metals often have direct physiologically toxic effects and are stored or incorporated in living tissues (Baykov et al. 1996). Birds may accumulate and concentrate heavy metals in their tissues and thus serve as more sensitive indicators of the level of environmental contamination (Guitant et al. 1994). John and Jeanne (1994) showed that levels of arsenic, cadmium, mercury and lead were detected in several tissues of goats. With increasing industrialization, more and more metals are entering into the environment. They enter into the food material and from there they ultimately make their passage into the tissue (Baykov et al. 1996; Walsh 2000; Olarifa et al. 2004). Zinc concentrations were found to be highest in meat liver, fish and eggs (Janet and Carl 1994). There has been increasing concern about the entry of potentially harmful substances into the food chain destined for human consumption (Mailman, 1980; Lacher Goldstein, 1997). Because, heavy metals can be responsible for a variety of acute and chronic toxic effects in vertebrates (Parmegianni 1983). Heavy metals often have direct physiologically toxic effects and are stored or incorporated in living tissues (Baykov et al., 1996). Due to the grazing of cattle on contaminated soil higher levels of metals have been found in beef and mutton (Sabir et al., 2003). The aim of current study is to determine mineral and heavy metal contents of several animal livers.

2. Material and Method

2.1. Material

Liver samples (sheep, beef, chicken, goat and quail) and duck liver samples (*Kaşıkcı, Yeşil, Civil, Kıl and Tıjr*) were provided from local market of Konya, Turkey. The samples were transported to the laboratory in polyethylene bags for analysis. The obtained samples were washed with distilled water to remove any contaminant particles. The samples were cut to small pieces using clean scalpel. Livers were dried in an oven at $100 \pm 5^\circ\text{C}/24$ h. After drying the livers were ground into a fine powder using a ceramic pestle, and kept in $+4^\circ\text{C}$ till used for acid digestion.

2.1.1. Determination of Mineral and Heavy Metal Contents

About 0.5 g dried and ground each liver sample was digested by using 5ml of 65% HNO_3 and 2 ml of 35% H_2O_2 in a closed microwave system (Cem-MARS Xpress, Matthews NC, USA). The volumes of the digested samples were completed to 20 ml with ultra-deionized water, and mineral contents were determined by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (Varian-Vista, Australia). Measurements of mineral concentrations were checked using the certified values of related minerals in the reference samples received from the National Institute of Standards and Technology (NIST; Gaithersburg, MD, USA) (Skujins, 1998).

Working conditions of ICP-AES:

In this study, ICP-AES (Varian-Vista) was used. Its RF Power changes between 0.7 and 1.5 kw (1.2-1.3 kw for Axial). In addition, plasma gas flow rate (Ar) ranged from 10.5 to 15 L/min. (radial) 15 “ (Axial). Auxiliary gas flow rate (Ar) is 1.5 “. Viewing height is between 5 and 12 mm. Copy and reading time change between 1 and 5 s (max.60 s).

2.1.2. Statistical analyses

Results of the research were analysed for statistical significance by analysis of variance (Püskülcü and İkiz 1989). The means were compared by the use of one way variance analyses (ANOVA) and the differences between the values were analyzed by Duncan multiple comparison test. Importance of the differences between the means were given according to $P < 0.05$ importance levels.

3. Results and Discussion

3.1. Results

As shown Table 1. P contents of livers ranged from 8172.87 mg/Kg (Civil) to 10051.46 mg/kg (goat). In addition, K contents of liver samples were found between 7848.39 mg/Kg (Kaşıkcı) and 10404.48 mg/kg (chicken). While Ca contents of livers change between 117.46 mg/Kg (goat) and 316.78 mg/Kg (quail), Mg content varied between 475.69 mg/kg (beef) and 769.32 mg/kg (chicken). Generally, the liver of goat rich in P and K. Their Ca and Mg contents were found low compared with results of other samples. The highest K was found in chicken (10404.48 mg/Kg) liver, followed by goat, sheep, quail and cow. P and K contents of goat liver were found partly similar. There were significant differences in mineral contents of liver samples ($P < 0.05$).

Table 1. Mineral contents, metal and non-metal contents of several animal livers (mg/kg)

Duck livers	Macro nutrients			
	P	K	Ca	Mg
<i>Kaşıkcı</i>	8425.08±329.67*bc	7848.39±278.21d	202.22±18.42c	501.28±20.67b
<i>Yeşil</i>	8472.59±2.17bc	8057.22±74.32c	179.76±19.91d	544.56±17.96b
<i>Civil</i>	8172.87±2105.49d	8715.79±2293.46b	297.00±11.87b	656.29±199.36a
<i>Kıl</i>	9699.64±736.91a	8900.19±410.23a	313.00±66.35a	611.08±47.07ab
<i>Tıkr</i>	8697.34±179.44b	7995.08±331.78d	261.10±49.15ab	551.71±12.06b
<i>Sheep</i>	9495.21±191.68*b	9525.85±437.19b**	175.46±20.06b	538.94±18.67b
<i>Beef</i>	8508.88±324.06c	9211.48±261.47bc	148.09±109.58bc	475.69±21.14c
<i>Chicken</i>	9599.24±103.48ab	10404.46±60.96a	159.77±25.81bc	769.32±114.27a
<i>Goat</i>	10051.46±316.36a	10023.37±374.52a	117.46±57.35c	511.57±28.58b
<i>Quail</i>	9620.87±126.12ab	9397.19±85.17bc	316.78±82.60a	736.54±91.50a

*mean±standard deviation

**within column mean with different letters are statistically significant $p<0.05$

The concentration of Fe, Zn, Mn, B, Cu, Mo and Na in the studied five different animal livers (sheep, beef, chicken, goat, quail and ducks) are shown in Table 1 (continued). This study showed that quail liver contained the highest concentrations of iron (413.41 mg/Kg), followed by chicken (363.88 mg/Kg), goat (138.47 mg/Kg), sheep (114.40 mg/Kg) and beef (102.20 mg/Kg). While Fe contents of livers range from 102.20 mg/Kg (beef) to 3808.90 mg/Kg (Kıl), Na contents were found between 2088.70 mg/Kg (goat) to 4756.8 mg/Kg (Kıl). Also this study indicated that civil liver (104.20 mg/Kg) contained the highest concentrations of zinc followed by chicken (100.87 mg/Kg), beef (87.20 mg/Kg), sheep (81.84 mg/Kg) and goat (73.50 mg/Kg).

Table 1. (continued) Mineral contents, metal and non-metal contents of several animal livers (mg/kg)

Duck livers	Micro nutrients (mg/kg)						
	Fe	Zn	Mn	B	Cu	Mo	Na
<i>Kaşıkcı</i>	2969.91±150.08*b	52.40±0.50c**	8.91±0.30a	8.55±0.13a	26.69±1.00c	2.85±0.17b	4191.1±201.5b
<i>Yeşil</i>	1885.61±77.36c	67.18±0.20b	8.90±0.01a	6.83±0.88b	48.70±1.87b	3.75±0.34a	3142.2±61.4c
<i>Civil</i>	669.12±165.46d	104.20±25.99a	8.57±1.97a	6.42±1.53c	72.73±19.14a	2.57±0.57b	3321.5±1077.9c
<i>Kıl</i>	3808.90±1798.18a	63.45±1.97b	7.15±0.17b	4.38±1.33d	16.48±1.68d	3.49±0.36a	4756.8±986.8a
<i>Tıkr</i>	2298.42±460.84b	53.85±6.99c	8.59±1.55a	2.20±0.98e	18.01±2.99cd	2.48±0.76b	3307.6±429.3c
<i>Sheep</i>	114.40±2.99*cd	81.84±3.55b**	9.12±0.25b	33.56±3.08a	58.62±24.59a	3.30±0.01b	2217.52±93.99b
<i>Beef</i>	102.20±8.76cd	87.20±2.10b	5.96±0.20d	25.71±3.28b	97.05±3.14b	30.82±0.26a	2333.83±266.29b
<i>Chicken</i>	363.88±45.60b	100.87±2.62a	9.45±0.68b	19.66±2.88c	10.82±3.46c	2.09±0.10b	3160.41±99.50a
<i>Goat</i>	138.47±11.02c	73.50±3.88c	7.17±0.34c	11.78±2.13d	4.18±0.62c	1.41±0.05b	2088.70±213.81
<i>Quail</i>	413.41±77.16a	49.69±0.94d	11.69±1.05a	2.13±0.86e	7.32±0.57c	1.86±0.30b	2910.04±70.44ab

*mean±standard deviation

**within column mean with different letters are statistically significant $p<0.05$

In addition, Cu contents of livers were established between 4.18 mg/Kg (goat) and 58.62 mg/Kg (sheep). Also, Mn contents of liver samples were found between 5.96 mg/Kg (beef) and 11.69 mg/Kg (quail). Generally, Mn, B and Mo contents of livers were found at the lowest levels. There were significant differences in mineral contents of liver types ($p<0.05$). In addition, B contents of livers were found between 2.13 mg/kg (quail) and 33.56 mg/kg (sheep). In addition, while Mo contents of liver change from 1.41 mg/Kg (goat) to 30.82 mg/Kg (cow), Na content varied from 2088.70 mg/Kg (goat) to 4756.8 mg/Kg (kıl). Mn, Cu (except sheep) and Mo content of liver samples were found at the lowest levels.

3.2. Discussion

Oforika et al., (2012) reported that chicken liver 0.0457 mg/ Kg Cd, 0.3042 mg/ Kg Pb, 0.4150 mg/ Kg Mn, 2.3245 mg/ Kg Zn and 0.1079 mg/ Kg Ni. The concentrations in Mn chicken liver is slightly above the WHO reference standard of 0.5 mg/ Kg (WHO 1996), The role of manganese in neuropsychiatric disorders is also documented (Jackson and Marris, 1989). Copper contents of samples ranged between 2.20 mg/g and 12.37 mg/g for meat and camel meat, respectively (Badiel et al. 2014). Determination of the Cu content in foods is also an important subject with respect to human consumption (Lee and Stuebing 1990; FAO 1995). The levels

of Zn in the chicken livers ranged from 4.116 mg/g to 3.266 mg/g (Hussain et al, 2012). Mariam et al. (2004) reported mean levels of Zn (28.53 mg/kg) in lean meat of poultry in Lahore. Also, Iwegbue et al. (2008) reported that the concentrations of Zn for Turkey meat, chicken meat and chicken gizzard in Delta State Southern Nigeria determined as 4.95-48.23 mg/kg, 6.12-33.21 mg/kg and 10.19-37.03 mg/kg, respectively. It was noticed that Fe contents in the livers were significantly ($p < 0.05$) higher when compared to those in the other meats. Our result shown partly differences when compared with literature values. The high metal content found in the liver samples may be caused by pollution and the environment itself, more probably by secondary contamination caused by agricultural practices and live stock feed, as well. Contamination is transferred to animals through direct sewage water and industrial effluent, vehicle emission and dirty slaughter places.

The levels of metals in the chicken livers were ranged between (0.004) mg/g and 10.124 mg/g for Cd, 0.171 mg/g and 3.269 mg/g for Pb and 4.116 mg/g and 3.266 mg/g for Zn (Hussain et al. 2012). Akan et al., (2010) established 0.43-1.26 mg/g Cr, 0.22-1.34 mg/g Pb, 0.54-1.44 mg/g Cu, 2.13-4.65 mg/g Fe, 0.09-1.09 mg/kg Ni, 0.22-1.09 mg/g Co, 1.34-4.11 mg/g Mn, 0.22-0.76 mg/g Cd, and 2.34-6.23 mg/g Zn in beef, mutton, caprine and chicken livers. Rehman et al. (2012) reported that liver of chicken 156-340 mg/kg Mn and 2320-3942 mg/kg Fe. Khan et al. (2005) assessed the risk of polluted and excessive amount of various ingredients used in animal feed. The average mineral values of chicken liver were 83.65, 50.75, 5.29, 1.15, 0.154, 0.683, 0.317 and 0.066 Mg/g of Fe, Zn, Cu, Mn, Cd, Pb, Ni, and Cr, respectively (Abu-Salem et al., 2010). In addition, the same researchers established that duck liver contained 79.60 Fe, 51.10 Zn, 3.30 Cu, 2.40 Mn and 0.80 Pb (Abu-Salem et al., 2010). Oforika et al., (2012) reported that chicken liver 0.0457 mg/kg Cd, 0.3042 mg/kg Pb, 0.4150 mg/kg Mn, 2.3245 mg/kg Zn and 0.1079 mg/kg Ni. The concentrations in Mn chicken liver is slightly above the WHO reference standard of 0.5 mg/kg (WHO 1996).

This study was carried out to determine the levels of mineral and heavy metal contents in livers of different animals. It was noticed that Fe contents in the livers were significantly ($p < 0.05$) higher when compared to those in the other meats. Determination of the Cu content in food is also an important subject with respect to human consumption (FAO, 1995, Lee and Stuebing, 1990). The high metal content found in the liver samples may be caused by pollution and the environment itself, more probably by secondary contamination caused by agricultural practices and live stock feed, as well. Contamination is transferred to animals through direct sewage water and industrial effluent. In addition, contamination of liver can also be caused by vehicle emission and from dirty slaughter places. The accumulation of heavy metals varies significantly from one tissue to another within an animal and varies also between one animal and another (John and Jeanne, 1994).

4. Conclusions and Recommendations

This study is carried out to determine the levels of heavy metals in livers of different ducks. In comparison with literature, it may be different values for almost all element parameters. Differences among the values of liver element contents can be probably due to feeding, environmental conditions, ingredients used in animal feed and analytical conditions. The Ca, K, Mg, and P contents of livers were found in the highest levels in all liver samples. Liver can be used as supplement for good personal health.

References

- Abu-Salem, F.M., Abou Arab, E.A. 2010. Chemical properties, microbiological quality and sensory evaluation of chicken and duck liver parte (foie gras). *Grasas y Aceites* 61(2),126-135.
- Akan, J.C., Abdulrahman, F.I. , Sodipo, O.A. 2010. Chiroma. Distribution of Heavy Metals in the Liver, Kidney and Meat of Beef, Mutton, Caprine and Chicken from Kasuwan Shanu Market in Maiduguri Metropolis, Borno State, Nigeria. *Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol.* 2(8), 743-748.
- Baykov, B.D., Stoyanov, M.P., Gugova, M.L. 1996. Cadmium and lead bioaccumulation in male chickens for high food concentrations. *Toxicol. Environ. Chem.* 54,155-159.
- Doneley, B., 2004. Treating liver disease in the avian patient. *Seminars in avian and exotic pet. Med.* 13, 8-15.
- FAO, 1995. Standard for contaminants and toxins in consumer products human and animal. *Codex ata.* 193.
- Guitart, R., Torra, M., Cerradelo, S., Puig-Casado, P., Mateo, R., To-Figueras, J. (1994). Pb, Cd, As, and S concentrations in livers of dead wild birds from the Ebro Delta, Spain. *Bulletin Environ. Contam. Toxicol.* 52, 523.
- Hussain, R.Th., Ebraheem, M. Kh., Moker, H.M. 2012. Assessment of heavy metals (Cd, Pb, and Zn) contents in livers of chicken available in the local markets of Basrah city, Fraq. *Basrah J. Vet. Res.*11, 43-51.
- Janet, C.K., Carl, L.K., 1994. Zinc. In: Maurice, E.S., James, A.O., Moshes, S.L., Febiger (eds.), *Modern nutrition in Health and disease.* 8th edn. Part I. pp:227-228.
- John, H.H., Jeanne, I.R. 1994. Food Additives, contaminants and Natural Toxins. In: Maurice, E.S., James, A.O., Moshe, S.L. and Febiger, (eds), *Modern Nutrition in Health and Disease,* 8th Edn, Part II, pp:1597-1598.
- Iwegbue, C.M.A. Nwajei, G.E., Iyoha, E. 2008. Heavy metal residues of chicken meat and gizzard and turkey meat consumed in southern Nigeria. *Bulgarian J. Vet. Med.* 11(4), 275-280.
- Khan, C.A., Meijer, G.A.L. 2005. The risk of contamination of food with toxic substances present in animal feed. *Animal Feed Sci. Techn.* 133, 84-108.
- Lacher, T.E. Jr., & Goldstein, M.I. 1997. Tropical ecotoxicology: status and needs. *Environ.Toxicol. Chem.* 16, 100.
- Lee, Y.H., Stuebing, R.B. 1990. Heavy metal contamination in the River Toad, *Bufojuxtasper* (Inger), near a copper mine in East Malaysia. *Bull. Environ. Contam.Toxicol.*45, 272-279.
- Lopez-Alonso, M., Miranda, M., Castillo, C., Hernandez, J., Garcia-Vaguero, M., Benedito, J.L. 2007. Toxic and essential metals in liver, kidney and muscle of pigs at slaughter in Galicia, north-west Spain. *Food Additive Contam.* 24, 943-954.
- Mailman, R.B. 1980. Heavy metals. In: Guthrie, F.E., Perry, J.J. (eds). *Introduction to Environmental Toxicology.* Elsevier, New York. pp.43.
- Mariam, I., Iqbal, S., Nagra, S.A. 2004. Distribution of some trace and micro minerals in beef, mutton and poultry. *Int. J. AB* 6, 816-820.
- Oforika, N.C., Osuji, L.C., Onwuachu, U.I. 2012. Assessment of heavy metal pollution in muscles and Internal organs of chickens raised in Rivers State, Nigeria. *J. Emergingrends in Eng. Appl. Sci.* 3(3),406-411.
- Olarifa, F.G., Olarifa, A.K., Onwude, T.E. 2004. Lethal and Sub lethal effects of copper to the African cat fish (*Clarias gariepinus*). *African J. Biomed. Res.* 7, 65-70.
- Pappas, A.C., Zoidis, E., Fegeros, K., Surai, P.F., Zervas, G. 2010. Relation of cadmium to other elements and the antioxidant system. In: Parvau, P.G., ed. *Cadmium in the Environment.* New York: Nova Science Publishers, p.263-295.
- Parmegianni, L. 1983. *Encyclopedia of Occupational Health and Safety.* Int. Labor. Org., Geneva, Switzerland.
- Püskülcü, H., İkiz, F. 1989. *Introduction to Statistic.* Bilgehan Presss, p 333, Bornova, Izmir, Turkey (in Turkish).
- Rehman, K.U., Andleeb, S., Mahmood, A. 2012. Assessment of heavy metals in different tissues of broilers and domestic layers. *Global Vet.* 9(1), 32-37.

- Reis, L.S.L.S., Pardo, P.E., Camargos, A.S., Oba, E. 2010. Mineral element and heavy metal poisoning in animals. *J. Med.mMedical Sci.* 1(12), 560-579.
- Sabir, S.M., Khan, S.W., Hayat, I. 2003. Effect of environmental pollution on quality of meat in district Bagh, Azad Kashmir. *Pak. J. Nutr.* 2(2), 98-101.
- Skujins, S. 1998. Handbook for ICP-AES (Varian-Vista). *A Short Guide To Vista Series ICP-AES Operation. Varian Int. AG Zug. Version 1.0.* pp 29. Switzerland.
- Underwood, E.J., Suttle, N.F. 2001. Occasionally beneficial elements (Goron, Chromium, lithium, molybdenum, nickel, silicon, tin, vanadium. In: Underwood, E.J., and Suttle, N.F. (eds). *The mineral nutrition of livestock 3ed*, CABI Publishing: New York, USA, pp. 513-542.
- Walsh, C.J. 2000. Urban impacts on the ecology of receiving Water: a frame work for assessment, conservation and restoration. *Hydrobiol.* 107, 111-431.
- WHO 1996. World health organization: Health criteria and other supporting information. In: *Guideline for drinking water quality Vol 2*, 2nd ed., Geneva, 31-38.



On the Forgotten Topological Index and Co Index

Gülstan Kaya Gök^{1*}

¹Hakkari University, Department of Mathematics Education, Hakkari, Turkey (ORCID: 0000-0001-9059-1606)

(First received 3 January 2019 and in final form 5 March 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.507773)

ATIF/REFERENCE: Gök, G. K. (2019). On the Forgotten Topological Index and Co Index. *European Journal of Science and Technology*, (15), 308-314.

Abstract

The forgotten topological index of G is specified the degrees d_i and d_j . In this paper, we find some bounds for the eigenvalues of forgotten topological matrix and we establish some inequalities about forgotten Estrada topological index.

Keywords: Forgotten topological index, Estrada index.

Unutulmuş Topolojiksel İndeks ve Eş İndeks

Öz

G 'nin unutulmuş topolojiksel indeksi d_i ve d_j dereceleriyle tanımlanır. Bu makalede, unutulmuş topolojiksel indeksin özdeğerleri için bazı sınırlar bulunmuştur ve unutulmuş Estrada topolojiksel indeks ile ilgili bazı eşitsizlikler belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Unutulmuş topolojiksel indeks, Estrada indeks.

* Corresponding Author: Hakkari University, Department of Mathematics Education, Hakkari, Turkey, ORCID: 0000-0001-9059-1606, gulistankayagok@hakkari.edu.tr

1. Introduction

Let G be a simple, connected graph on the vertex set $V(G)$ and the edge set $E(G)$. For $v_i \in V(G)$, the degree of the vertex v_i denoted by d_i .

The $[F](G)$ forgotten topological matrix of graphs is defined as

$$[F]_{ij} = \begin{cases} d_i^2 + d_j^2 & \text{if } i \text{ adjacent to } j \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

The eigenvalues of $[F](G)$ is denoted by $f_i, i = 1, 2, \dots, n$. Considering these eigenvalues, we apply some known lemmas and we obtain some bounds including the first eigenvalue. In addition, we set some conclusions using the complement of the first eigenvalue.

The Forgotten Topological Index (F index) of G is described in [4], [5] as

$$\sum_{v_i v_j \in E(G)} d_i^2 + d_j^2.$$

The Estrada index of the graph G in [3], [9] as

$$EE(G) = \sum_{i=1}^n e^{\lambda_i}$$

where λ is the eigenvalue of the adjacency matrix of G .

The plan of this paper is as follows: In section 2, we give some known lemmas. In section 3, we have some inequalities in terms of the degrees, the edges and the vertices. Also, we define forgotten Estrada topological index and we find different relations concepting these indices and its eigenvalues.

(See [1], [6], [8] for more details.)

2. Preliminaries

In this section, we will give some lemmas and theorems to be utilized in main results.

Lemma 2.1. [7]

Let $M = (m_{ij})$ be an $n \times n$ irreducible nonnegative matrix and $\lambda_1(M)$ be the greatest eigenvalue with $R_i(M) = \sum_{j=1}^n m_{ij}$. Then,

$$(\min R_i(M): 1 \leq i \leq n) \leq \lambda_1(M) \leq (\max R_i(M): 1 \leq i \leq n).$$

Lemma 2.2. [2]

If G is a simple, connected graph and $\lambda_1(G)$ is the spectral radius, then

$$\lambda_1(G) \leq \max(\sqrt{m_i m_j}: 1 \leq i, j \leq n, v_i, v_j \in E).$$

3. Main Results

Firstly, we set a relation for the largest eigenvalue of F matrix including the degrees, the edges and the vertices. After, we will set some inequalities concerned with F Estrada index.

Definition 3.1.

The Estrada F index of the graph G is described as

$$E^F(G) = \sum_{i=1}^n e^{f_i}$$

where $f_1 \geq f_2 \geq \dots \geq f_n$ are the eigenvalues of $[F](G)$.

Definition 3.2.

The Estrada F coindex of the graph G is specified as

$$E^F(G) = \sum_{i=1}^n e^{\bar{f}_i}$$

where $\bar{f}_1 \geq \bar{f}_2 \geq \dots \geq \bar{f}_n$ are the eigenvalues of the complement of $[F](G)$.

Theorem 3.1.

If G is a simple, connected graph then

$$f_1(G) \leq \sqrt{(nd_i^2 + 4m^2)(nd_j^2 + 4m^2)}$$

Proof. Let $D(G)^{-1}F(G)D(G) = F^+(G)$ and $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ be an eigenvector of $F^+(G)$. Also, $x_i = 1$ and $0 < x_i \leq 1$ for every k . Let $x_j = \max_k (x_k: v_i v_k \in E)$ where i is adjacent to k . Let $F^+(G)X = f_1(G)X$. If we get i -th equation from above equation, then

$$f_1(G)x_i = \sum_k (d_i^2 + d_k^2)x_k \leq (nd_i^2 + (2m)^2)x_k$$

By Lemma 2.1, we have

$$f_1(G)x_i \leq (nd_i^2 + 4m^2)x_k$$

The j -th equation of the same equation,

$$f_1(G)x_j \leq (nd_j^2 + 4m^2)x_k$$

From Lemma 2.2,

$$f_1(G) \leq \sqrt{(nd_i^2 + 4m^2)(nd_j^2 + 4m^2)}$$

Theorem 3.2.

Let G be a graph on n vertices and m edges. Then,

$$(\bar{f}_1(G)) \leq \sqrt{\mathcal{L} - (nd_i^2 + 4m^2)(nd_j^2 + 4m^2)}$$

where $\mathcal{L} = (d_i^2 + d_j^2)[(n-1)^2 + n^3(n-1)^2 - 4mn^2(n-1)] + 2n^2d_id_j[d_id_j + 2(n-1)^2] - 2(d_i + d_j)(n-1) \left[((n-1)n)^2 + d_id_j + n^2m(n-1)^2 - 4mn(n-1) + 4m^2 \right] + (n-1)^4n^2[2m + n^2] + (n-1)^3mn \left[-8 - \frac{n^2}{2} \right] + (n-1)^2m^2 \left[8m + 2n^2 - \frac{n^2}{2} \right] - 2m^3n(n-1) + 2m^4$.

Proof. Cauchy-Schwarz inequality gives that

$$\begin{aligned} (f_1(G) + \bar{f}_1(G))^2 &\leq (f_1(G))^2 + (\bar{f}_1(G))^2 \\ &\leq (nd_i^2 + 4m^2)(nd_j^2 + 4m^2) + ((n-1-d_i)^2 + 4\bar{m}^2) \left((n-1-d_j)^2 + 4\bar{m}^2 \right). \end{aligned}$$

It implies that

$$\begin{aligned} (f_1(G))^2 + (\bar{f}_1(G))^2 &\leq (n^2d_i^2d_j^2 + 4m^2n(d_i^2 + d_j^2) + 16m^4) + (n^2(n-1-d_i)^2(n-1-d_j)^2 \\ &\quad + 4\bar{m}^2n \left[(n-1-d_i)^2 + (n-1-d_j)^2 \right] + 16\bar{m}^4 \\ &= (n^2 \left((n-1-d_i)^2(n-1-d_j)^2 + d_i^2d_j^2 \right) + 16[m^4 + \bar{m}^4] \\ &\quad + 4n(d_i^2 + d_j^2)(m^2 + \bar{m}^2) + 8\bar{m}^2n[(n-1) - d_i - d_j]). \end{aligned}$$

Since $m + \bar{m} = \frac{n^2-n}{2}$ then,

$$\begin{aligned} m^4 + \bar{m}^4 &= (m^2 + \bar{m}^2)^2 - 2m^2\bar{m}^2 \\ &= ((m + \bar{m})^2 - 2m\bar{m})^2 - 2(m\bar{m})^2 \\ &= \left(\left(\frac{n^2-n}{2} \right)^2 - 2m \left(\frac{n^2-n}{2} - m \right) \right)^2 - 2 \left(m \left(\frac{n^2-n}{2} - m \right) \right)^2. \end{aligned}$$

So, we get

$$\begin{aligned} (f_1(G))^2 + (\bar{f}_1(G))^2 &\leq (d_i^2 + d_j^2)[(n-1)^2 + n^3(n-1)^2 - 4mn^2(n-1)] \\ &\quad + 2n^2d_id_j[d_id_j + 2(n-1)^2] - 2(d_i + d_j)(n-1) \\ &\quad + [((n-1)n)^2 + d_id_j + n^2m(n-1)^2 - 4mn(n-1) + 4m^2] \\ &\quad + (n-1)^4n^2[2m + n^2] + (n-1)^3mn \left[-8 - \frac{n^2}{2} \right] \\ &\quad + (n-1)^2m^2 \left[8m + 2n^2 - \frac{n^2}{2} \right] - 2m^3n(n-1) + 2m^4. \end{aligned}$$

It is conclude that,

$$(\bar{f}_1(G))^2 \leq \mathcal{L} - (f_1(G))^2.$$

From Theorem 3.1,

$$(\bar{f}_1(G)) \leq \sqrt{\mathcal{L} - (nd_i^2 + 4m^2)(nd_j^2 + 4m^2)}.$$

Theorem 3.3.

Let G be graph on n vertices, m edges and E_F be Estrada F index. Then,

$$E_F \leq ne^{\sqrt{(nd_i^2+4m^2)(nd_j^2+4m^2)}}.$$

Proof. By Theorem 3.1, we have that

$$E_F = \sum_{j=1}^n e^{f_j} \leq ne^{f_1} = ne^{\sqrt{(nd_i^2+4m^2)(nd_j^2+4m^2)}}.$$

Theorem 3.4.

Let G be graph on n vertices, m edges and E_F be Estrada F index. Then,

$$E_F \leq \sqrt{n^2 - (2n - 1)e^{2\sqrt{(nd_i^2+4m^2)(nd_j^2+4m^2)}}} - e^{\sqrt{(nd_i^2+4m^2)(nd_j^2+4m^2)}}.$$

Proof. We know that

$$\begin{aligned} (E_F - e^{f_n})^2 &= E_F^2 - 2E_F e^{f_n} + (e^{f_n})^2 \\ &= \left(\sum_{j=1}^n e^{f_j} \right)^2 - 2 \left(\sum_{j=1}^n e^{f_j} \right) e^{f_n} + e^{2f_n}. \end{aligned}$$

By the Arithmetic-Geometric Mean inequality, we result that

$$\left(\sum_{j=1}^n e^{f_j} \right)^2 \leq \left(n \left(\prod_{j=1}^n e^{f_j} \right)^{\frac{1}{n}} \right)^2 = n^2 \left(e^{\sum_{j=1}^n f_j} \right)^{\frac{2}{n}}.$$

Since $f_1 \geq f_2 \geq \dots \geq f_n$ then,

$$\begin{aligned} (E_F - e^{f_n})^2 &\leq n^2 - 2ne^{f_n} e^{f_n} + e^{2f_n} \\ &= n^2 - (2n - 1)e^{2f_n} \\ &= n^2 - (2n - 1)e^{2\sqrt{(nd_i^2+4m^2)(nd_j^2+4m^2)}}. \end{aligned}$$

It gives that

$$E_F \leq \sqrt{n^2 - (2n - 1)e^{2\sqrt{(nd_i^2+4m^2)(nd_j^2+4m^2)}}} + e^{\sqrt{(nd_i^2+4m^2)(nd_j^2+4m^2)}}.$$

Theorem 3.5.

Let G be graph on n vertices, m edges and E_F be Estrada F index. Then,

$$E_F + E_{\bar{F}} \leq \sum_{k=0}^{\infty} \frac{n\sqrt{\mathcal{L}}}{k!}$$

where $E_{\bar{F}}$ is Estrada F coindex of G .

Proof. By the sum of the Estrada F index and Estrada F coindex, we find that

$$\begin{aligned} E_F + E_{\bar{F}} &= \left(\sum_{j=1}^n e^{f_j} \right) + \left(\sum_{j=1}^n e^{\bar{f}_j} \right) \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} \left(\sum_{j=1}^n (f_j + \bar{f}_j) \right) \\ &\leq \sum_{k=0}^{\infty} \frac{n}{k!} (f_j + \bar{f}_j). \end{aligned}$$

Using Theorem 3.2, we obtain

$$E_F + E_{\bar{F}} \leq \sum_{k=0}^{\infty} \frac{n\sqrt{\mathcal{L}}}{k!}.$$

4. Conclusions

In this study, we expand forgotten topological index, we define F Estrada index and we find some bounds deal with this index. In the sequel, we describe F Estrada coindex and we obtain an inequalities for this index.

4. Acknowledge

The author would like thank for the valuable suggestions of referees.

References

- [1] Büyükköse, S., Kaya Gök, 2018. G. Graf Teoriye Giriş, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Sti, Ankara.
- [2] Das, K. C., Kumar, P. 2004. Some new bounds on the spectral radius of graphs. *Discrete Mathematics* (281), 149-161.
- [3] Estrada, E. 2000. Characterization of 3D molecular structure. *Chem. Phys. Lett.* (319), 713-718.
- [4] Furtula, B., Gutman I. 2015. A forgotten topological index. *J. Math. Chem.* (53), 1184-1190.
- [5] Gutman I. 2014. On the origin of two degree-based topological indices. *Bull. Acad. Serb. Sci. Arts (Cl. Sci. Math. Natur.)* (146), 39-52.
- [6] Kaya Gök, G. 2018. Some bounds on the distance-sum-connectivity matrix. *Journal of Inequalities and Applications.* 171.
- [7] Horn, R.A., Johnson, C.R. 1985. *Matrix Analysis.* Cambridge University Press, New York.
- [8] Sorgun, S., Büyükköse, Ş. 2012. The new upper bounds on the spectral radius of weighted graphs. *Applied Mathematics and Computation.* (218), 5231-5238.
- [9] Du, Z., Zhongzhu, L. 2011. On the Estrada and Laplacian Estrada indices of graphs. *Linear Algebra and its Applications.* (435), 2065-2076.



İki Bileşenli Weibull Dağılımı ile Rüzgâr Hızı Olasılık Dağılımlarının Modellenmesi

Kadir Doğanşahin^{1*}, Ahmet Furkan Uslu, Bedri Kekezoğlu³

¹ Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Artvin, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6763-058X)

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1202-913X)

(İlk Geliş Tarihi 4 Ocak 2019 ve Kabul Tarihi 5 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.505723)

ATIF/REFERENCE: Doğanşahin, K., Uslu, A. F. & Kekezoğlu, B. (2019). İki Bileşenli Weibull Dağılımı ile Rüzgâr Hızı Olasılık Dağılımlarının Modellenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 315-326.

Öz

Rüzgar enerjisi elektrik enerjisi üretiminde tercih edilen en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Sürdürülebilir, ekonomik ve çevre dostu bir enerji kaynağı olması yönüyle öne çıkmaktadır. Ekonomik ve çevresel endişelerin her geçen gün daha fazla hissedilmekte olduğu bir ortamda, rüzgar gibi bir enerji kaynağından olabildiğince fazla bir şekilde faydalanmak oldukça büyük önem arz etmektedir. Nitekim izlenen politikalar ve sektördeki eğilim bu yönde seyretmektedir. Diğer taraftan rüzgar hızının değişken olması, kontrol edilememesi ve başka yere aktarılamaması gibi nedenlerden dolayı rüzgar enerjisi ile elektrik üretiminde çeşitli belirsizlikler ve bu belirsizliklere bağlı bazı sorunlar yaşanabilmektedir. Söz konusu belirsizlikleri en aza indirmek ve yaşanabilecek sorunları önleyebilmek amacıyla rassal bir değişken olan rüzgar hızının olasılık dağılımları ile istatistiksel modellemesi üzerine çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Literatürde yapılan çalışmaların geneli ve uluslararası standartlardan bazıları, rüzgar hızının istatistiksel analizlerinde iki değişkenli basit Weibull dağılımının uygunluğu noktasında birleşmektedir. Bu çalışmada faaliyette olan bir rüzgar enerji santrali üzerinden alınan rüzgar hızı ve çıkış gücü verileri analiz edilmiştir. İlk olarak literatürde yaygın olarak önerilen iki değişkenli Weibull dağılımı kullanılarak mevcut verinin istatistiksel modellemesi incelenmiştir. Uygun Weibull dağılımının elde edilebilmesi amacıyla olasılık yoğunluk fonksiyonu değişkenleri, farklı matematiksel yöntemler kullanılarak hesaplanmıştır. Her bir yöntem ile elde edilen Weibull dağılımları çeşitli istatistiksel hata analizleri üzerinden değerlendirilerek, en yüksek doğruluğa sahip dağılım ve dolayısıyla değişken hesaplamaları açısından en elverişli matematiksel yöntemin tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Çalışmanın son bölümünde rüzgar hızı verilerinin, karma Weibull dağılımına uygunluğu irdelenmiştir. Bu amaçla iki bileşenli karma Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu için en başarılı matematiksel yöntem olarak öne çıkan en çok olabirlik yöntemi kullanılarak değişkenler hesaplanmıştır. Tanımlanan karma Weibull dağılımı, basit Weibull dağılımları için gerçekleştirilen hata analizlerinin tamamına tabi tutulmuştur. Elde edilen hata metrikleri, karma Weibull dağılımının, iki değişkenli basit Weibull dağılımlarına oranla daha yüksek doğrulukta olduğu kanıtlanmıştır. Son olarak, çalışmada değerlendirilen tüm olasılık dağılımları üzerinden rüzgar enerjisi ile üretilebilecek elektrik enerjisi potansiyeli hesaplanmış ve santralden alınan gerçek veriler ile karşılaştırılmıştır. Ulaşılan sonuçlar, karma Weibull dağılımının enerji potansiyeli hesaplamalarında da alternatiflerine göre daha yüksek başarı gösterdiğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar, Weibull, Kapasite Faktörü, Karma Dağılımlar.

* Sorumlu Yazar: Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Artvin, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6763-058X, dogansahin@artvin.edu.tr

Modeling of Wind Speed Probability Distribution with Two-Component Weibull Distributions

Abstract

Wind energy is one of the most important renewable energy sources preferred in electricity energy generation. Sustainable, economical and environmentally friendly features distinguish wind energy from traditional energy sources. In an atmosphere where economic and environmental concerns rise increasingly, it is of great importance to utilize from an energy source such as wind energy as much as possible. As a matter of fact, the policies followed and the tendency in the sector are in this direction. Due to the reasons such as intermittency and uncontrollability of wind speed, and the inability of wind energy to be transferred to another point, various uncertainties and some problems in relation to that uncertainties may arise in electricity generation from wind energy. Bu belirsizlikleri en aza indirmek ve oluşabilecek sorunları önlemek için, rastgele bir değişken olan rüzgar hızının olasılık dağılımı ve istatistiksel modellenmesi üzerine sayısız araştırma yapılmıştır. Most of the studies conducted in the literature and some of the international standards imply on the suitability of the two-variable basic Weibull distribution use at statistical analysis of wind speed. In this study, wind speed and power output data taken from a wind power plant in operation is analyzed. Firstly, statistical modeling of the available data has been investigated by using the two-variable basic Weibull distribution. In order to obtain the appropriate Weibull distribution, probability density function variables have been calculated by using different mathematical methods. Weibull distributions obtained by each methods are evaluated through various statistical error analysis. By this way, the distribution in the highest accuracy and hence the optimal mathematical method for the variable calculations are obtained. In the last part of the study, the suitability of wind speed data to the mixed Weibull distribution was examined. For this purpose, the variables of the two-component mixed Weibull probability density function were calculated using the maximum likelihood method, which is determined as the most successful mathematical method. The defined mixed Weibull distribution has been subjected to all of the error analyzes performed for basic Weibull distributions. The resulting error metrics proved that the mixed Weibull distribution is more accurate than the basic Weibull two-variable distributions. Finally, the electrical energy expected to be generated by wind energy is calculated and compared with the actual data obtained from the power plant. The results showed that the two-component mixture Weibull distribution is more successful in the calculation of the energy potential than the alternatives.

Keywords: Wind energy, Weibull, Capacity Factor, Karma Dağılımlar. .

1. Giriş

Dünya nüfusundaki artış, gelişmekte olan teknoloji ve yükselen yaşam standartları enerjiye olan ihtiyacı artırmaktadır. Artan enerji ihtiyacı içerisinde, nihai bir enerji çeşidi olan elektrik enerjisi, büyük bir öneme sahiptir. Nitekim gerçekleştirilen tahmin çalışmalarına göre, önümüzdeki 25 yıl içerisinde beklenen küresel enerji ihtiyacındaki artışın %70'i oranındaki kısmı elektrik enerjisi ihtiyacındaki artışlar tarafından oluşturulacağı öngörülmektedir [1]. Dolayısıyla ilerleyen zaman içerisinde enerji sektöründe gerçekleştirilecek yatırımların elektrik enerjisi üzerine yoğunlaşması beklenmektedir. Bunun yanı sıra, her geçen gün, ekonomik ve çevresel duyarlılıklar artış göstermekte ve enerji arzında sürdürülebilirlik, güvenlik, güvenilirlik ve verimlilik gibi konuların önem kazanmaktadır. Bu süreç içerisinde, düşük maliyetli, sürdürülebilir ve çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmış ve günümüzde elektrik enerjisi üretiminde oldukça fazla bir şekilde rağbet görmektedir [2].

Rüzgar enerjisi, elektrik enerjisi üretiminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olarak günümüzde önemli bir yere sahiptir. Ülkemiz açısından değerlendirildiğinde, Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından gerçekleştirilen "Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası" (REPA) çalışması neticesinde, ülkemizin rüzgar enerjisi potansiyelinin yaklaşık 66 GW olduğu tespit edilmiştir [3]. Bu potansiyelin değerlendirilmesi, elektrik enerjisi üretiminde ağırlıklı olarak fosil tabanlı yakıtlara bağımlı olan ülkemizin, enerji kaynaklarında dışa bağımlılığının azaltılması, enerji güvenliğinin ve çeşitliliğinin artırılması yönünden oldukça önemlidir.

Diğer taraftan, rüzgârın kararsız değişkenlikte kontrol edilemez yapısı, elektrik enerjisi üretiminde bir enerji kaynağı olarak kullanımı noktasında çeşitli olumsuzluklara yol açabilmektedir. Bunun yanı sıra, mevcut teknolojiler göz önünde bulundurulduğunda, her hızdaki rüzgâr ile elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilebilmek hem teknik hem de ekonomik açıdan pek mümkün değildir. Dolayısıyla, yatırımların gerçekleştirilebilirlik analizlerinde rüzgar hızı ile alakalı çeşitli öngörülere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu öngörülerin üretilmesi amacıyla rüzgar hızının istatistiksel analizi üzerine literatürde birçok çalışma gerçekleştirilmiştir [4].

Gerçekleştirilen çalışmaların geneli, bir konumda belirli bir zaman aralığına ait rüzgar hızlarının olasılık dağılımlarının belirlenmesine yöneliktir [5,6]. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, rüzgar hızları için en uygun olasılık dağılımı olarak Weibull olasılık dağılımının öne çıktığı görülmektedir. Weibull olasılık dağılımını ifade eden değişkenlerin, eldeki mevcut verilere göre belirlenebilmesi amacıyla çeşitli matematiksel yöntemler kullanılabilmektedir [7,8]. Bu matematiksel yöntemler kullanılarak belirlenen değişkenler üzerinden tanımlı olasılık dağılım fonksiyonlarının eldeki verilere uygunluğu üzerinden matematiksel modellerin doğruluğu değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalarda sıklıkla başvurulmuş çeşitli ve en temel tanımı ile iki değişkenli Weibull olasılık dağılımı şekli

ve ölçek değişkeni olmak üzere iki farklı değişken üzerinden ifade edilebilmektedir ve tek tepeli bir olasılık dağılımıdır. Bunun yanı sıra, daha fazla değişken ile ifade edilebilen çeşitli Weibull olasılık dağılımları da mevcuttur.

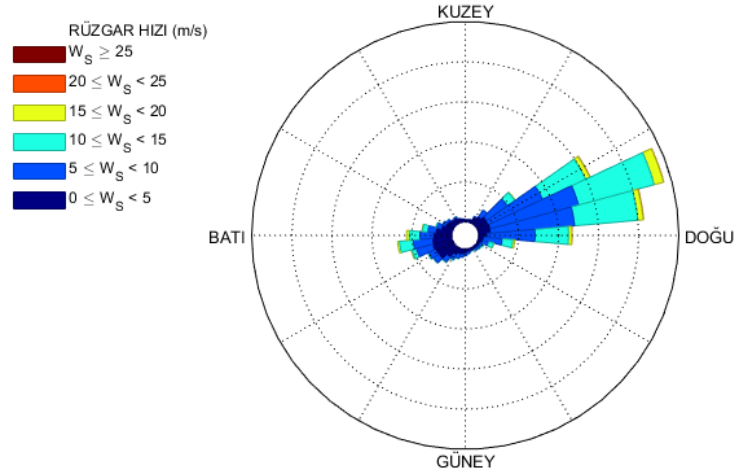
Rüzgar Enerjisi Santralleri (RES) kurulumuna yönelik yatırımların gerçekleştirilebilirlik analizlerinde, santralin kurulacağı konuma ait yıllık rüzgar verileri üzerinden teknik ve ekonomik incelemeler gerçekleştirilir [9]. Yapılan bu incelemeler sonucunda elde edilen değerlerin doğruluğu oldukça önemlidir. Yılım dönemlerine göre hakim olan rüzgar hızları farklılık gösterebilmektedir. Dolayısıyla, bir yıllık rüzgar hızı verisinde, verilerin birden farklı rüzgar hızı çevresinde yoğunlaşması mümkündür. Böylesi durumlarda, rüzgar hızı verisinin tek tepeli olasılık dağılımları üzerinden ifade yeterli uyumluluk sağlayamamaktadır. Haliyle, olasılık dağılımı kullanılarak gerçekleştirilecek analizlerde elde edilen sonuçlar, olasılık dağılımının veriye uyumsuzluğu mertebesinde hatalı olacaktır. Bu noktada, karma olasılık dağılımları öne çıkmaktadır. Çeşitli olasılık dağılımlarının farklı oranlarda katılımları ile oluşturulan karma olasılık dağılımları, çok tepeli verilerin olasılık dağılımlarını ifade etmeye daha elverişlidir [10].

Bu çalışmada, faaliyetteki bir RES'ten, rüzgar hızı ve enerji çıkışına ait bir yıllık ölçümler üzerinden çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında, sahadan alınan rüzgar verisi, iki değişkenli Weibull dağılımı üzerinden ifade edilmiştir. Olasılık dağılım fonksiyonu değişkenlerinin hesaplanmasında, literatürde sıklıkla başvurulan matematiksel yöntemlerden faydalanılmıştır. Elde edilen değişkenler ile oluşturulan Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonlarının, rüzgar verisine olan uygunluklarını incelemek amacıyla farklı istatistiksel hata analiz yöntemleri kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Aynı işlemler, karma Weibull olasılık dağılımı için tekrarlanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmanın son kısmında, sahadan alınan enerji çıkışı ölçümleri üzerinden kapasite faktörü hesaplanmış ve çalışmada elde edilen tüm Weibull dağılımları için hesaplanan kapasite faktörleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan tüm değerlendirmelerin neticesinde, Weibull dağılımlarının rüzgar enerjisi potansiyeli çalışmalarını açısından performansları yorumlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

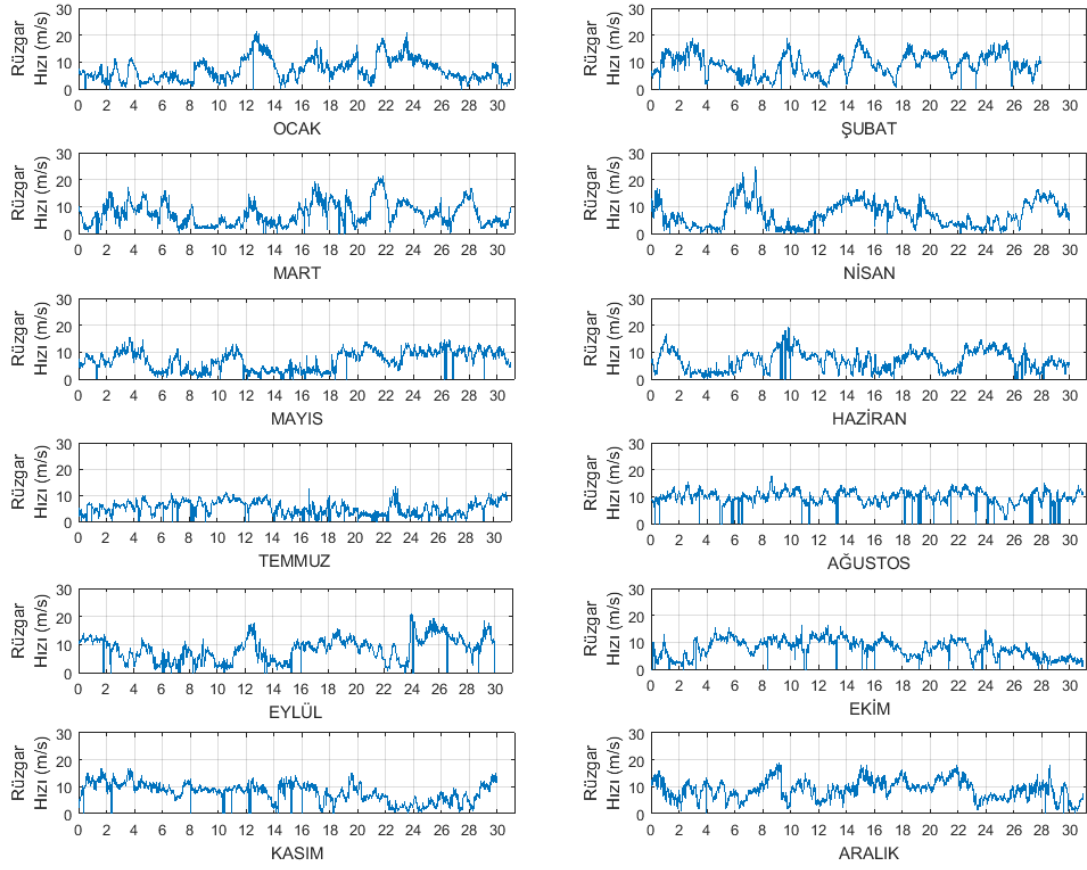
2.1. Rüzgâr Hızı Verisinin İncelenmesi

Rüzgar enerjisi potansiyeli değerlendirmelerinde en önemli faktör, atmosferik olaylar içerisinde oldukça değişken ve öngörülmesi en zor olan rüzgar hızıdır [11]. Ölçümlerin alındığı sahada yer alan rüzgar türbini yatay eksenli yapıya sahiptir. Yatay eksenli türbinlerde, rüzgar türbini, değişen rüzgar yönlerine uyum sağlayacak şekilde dönme hareketi yapabilmektedir. Ancak rüzgar yönü değişimleri, enerji dönüşümünde çeşitli kayıplara yol açabilmektedir [12]. Bu kayıplar, yapılacak değerlendirmeler açısından çok büyük etkiye sahip değildir. Rüzgar yönü ile alakalı Şekil – 1’de verilen görselden de anlaşılacağı üzere ölçümlerin alındığı saha için hakim bir rüzgar yönü bulunmaktadır. Bu nedenle çalışma içerisinde gerçekleştirilecek değerlendirmeler rüzgar yönü değişikliğinden fazlaca etkilenmeyecektir.

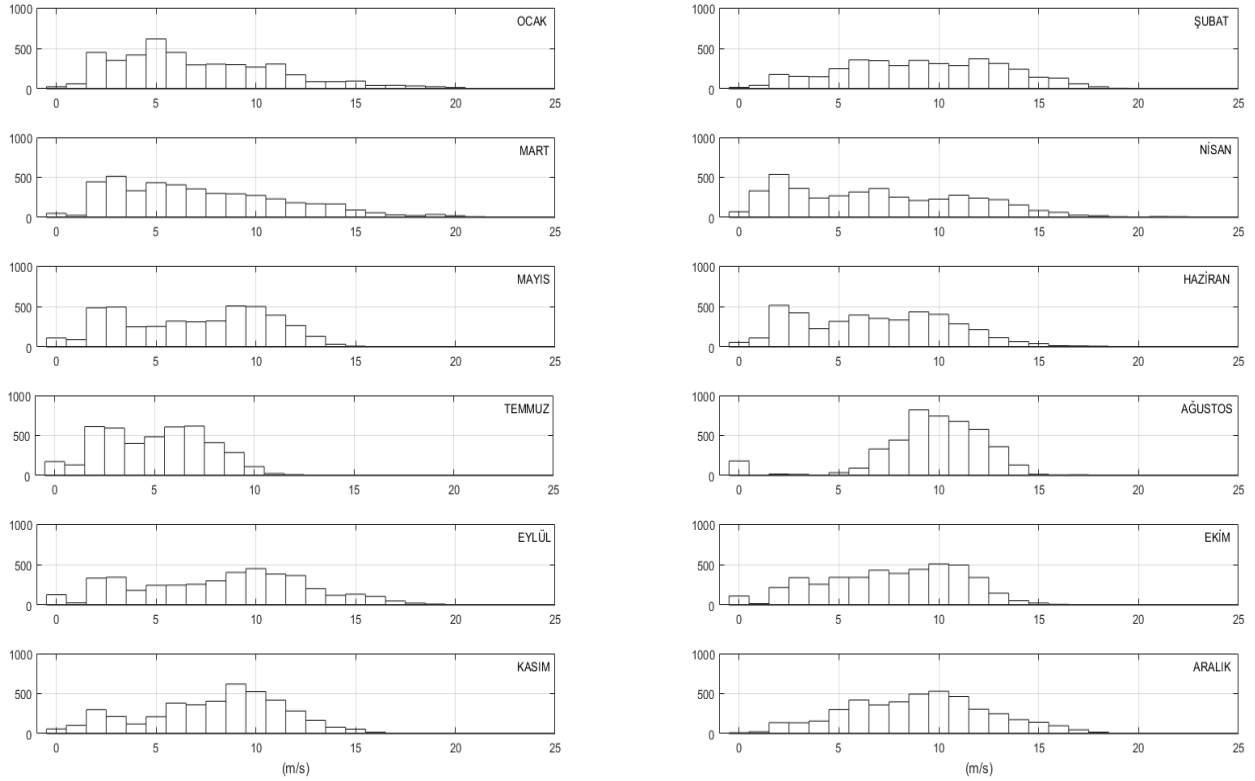


Şekil 1 Ölçümlerin alındığı sahada rüzgar hızları ve yönleri

Rüzgar enerjisi santrali yatırımları için mevcut düzenlemeler gereği en az bir yıllık veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Gerçekleştirilen çalışmada kullanılan rüzgar hızı verisi, bir yıla ait 10’ar dakikalık ortalamalardan oluşmaktadır. Ölçümler sonucu elde edilen rüzgar hızının aylar içerisinde günlere göre değişimi Şekil – 2 ile gösterilmiştir.



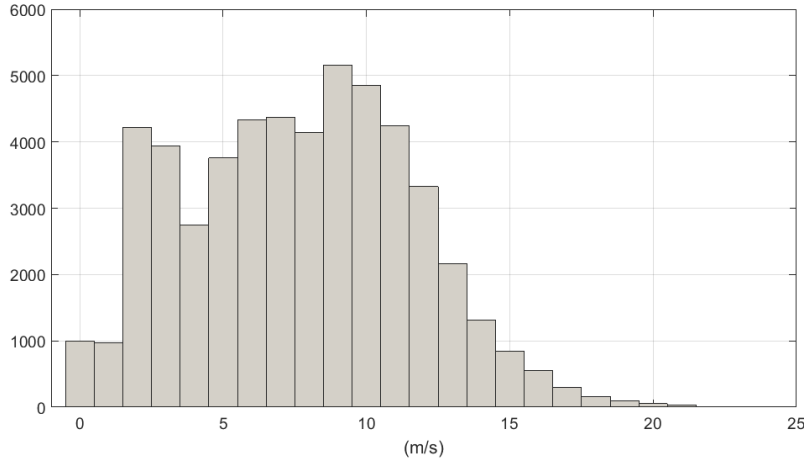
Şekil 2 Mevcut veriye göre rüzgar hızının aylar içerisindeki değişimi



Şekil 3 Rüzgar hızlarının aylar içerisindeki histogramı

Mevcut rüzgar verisine göre Ağustos ve Şubat ayları en yüksek rüzgar hızı ortalamasına sahip iken, Temmuz ve Haziran ayları en düşük rüzgar hızı ortalamasına sahip aylardır. Şekil 3'te ise aylar içerisinde ölçülen belirli aralıklardaki rüzgâr hızlarının histogramı verilmiştir. Görüldüğü üzere her ay için en çok sıklıkla gerçekleşen rüzgar hızları birbirlerinden farklıdır. Bir aya ait rüzgar hızı

histogramı ile söz konusu aya ait rüzgar hızı olasılık dağılımları birbirlerine paralellik gösterir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, bazı aylar için rüzgar hızı olasılık dağılımının ifadesinde Weibull dağılımının yetersiz kalabileceği anlaşılmaktadır.



Şekil 4 Yıl boyunca ölçümlenen rüzgar hızlarının histogramı

Verilerin alındığı yıl boyunca ölçümlenen rüzgâr hızlarının histogramı Şekil – 4 ile verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere 9 m/s ve 3 m/s değerindeki rüzgar hızlarının olasılık yoğunlukları diğerlerine göre belirgin bir şekilde fazladır.

2.2. Weibull Olasılık Dağılımı

Weibull dağılımı, farklı özelliklerdeki önemli dağılımları içeren bir dağılım ailesini ifade etmektedir. Oldukça esnek ve sürekli bir yapıya sahip olan Weibull dağılımı, literatürde kabul edilmiş olasılık yoğunluk fonksiyonu tanımı ile Eşitlik (1)'de verildiği gibidir. Görüldüğü üzere, şekil (k) ve ölçek (c) değişkenleri olmak üzere iki farklı değişken üzerinden tanımlıdır.

$$f(v; k, c) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (1)$$

İncelenen verilerin değişimine göre olasılık dağılımının davranışını ifade eden şekil değişkeni (k), eğim değişkeni olarak da anılmaktadır. Şekil değişkeninin alabileceği bazı değerler ile literatürde tanımlı özel dağılımlar elde edilebilmektedir. Örneğin şekil değişkeninin 2 değerine eşit olması (k=2) ile Rayleigh dağılımı; 1 değerini alması neticesinde (k=1) üstel dağılım elde edilmektedir. Ölçek değişkeni (c) ise olasılık dağılımının yatay eksenindeki genişliğinin ifadesidir. Literatürde kabul görmüş hali ile Weibull dağılımı tek tepeli bir yapıya sahiptir. Ölçek değişkeni arttıkça, Weibull dağılımının tepe yüksekliği azalacak ve dağılım sağa doğru genişleyecektir [13]. Uluslararası standartlarda ve çeşitli uygulama tavsiyelerine göre, rüzgar hızı verileri için en uygun olasılık dağılımı iki değişkenli Weibull dağılımıdır [14].

Weibull değişkenlerinin elde edilmesine yönelik çeşitli matematiksel yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin, işlem performanslarını ve tutarlılıklarını incelemek amacıyla birçok çalışma gerçekleştirilmiştir [7,8]. Bu çalışmalarda, en yaygın olarak dikkate alınan matematiksel yöntemler kullanılarak, rüzgar hızı verilerine ait olasılık dağılımı için söz konusu değişkenler hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada, farklı yöntemler ile değişkenleri hesaplanan Weibull dağılımlarına ek olarak, yine rüzgar hızı verilerine uygunluk gösteren ve literatürdeki çalışmalarda Weibull olasılık dağılımından sonra en fazla kullanılan Rayleigh dağılımının gerekli incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

2.3. Değişken Hesabında Kullanılan Matematiksel Yöntemler

Literatürde, Weibull değişkenlerinin hesaplanması amacıyla sıklıkla kullanılan dört farklı matematiksel yöntemin kullanımına ve uygulanmasına ilişkin detaylara aşağıdaki başlıklarda değinilmiştir.

2.3.1. Moment Yöntemi

Mevcut veriye uygun Weibull dağılımının elde edilebilmesi amacıyla verinin çeşitli kademelerden momentleri ve olasılık yoğunluk fonksiyonu ifadesi üzerinden kurulan eşitlikler ile elde edilen denklem sisteminin çözümüdür. Bir veriye ait moment ifadesi Eşitlik (2) ile aşağıda verilmiştir.

$$M_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^r \quad (2)$$

burada, M_r verinin r'ninci dereceden momentini ifade etmektedir. x_i , i'ninci veriye, n ise veri sayısına karşılık gelmektedir. Olasılık yoğunluk fonksiyonu üzerinden moment ifadesi ise Eşitlik (3)'teki gibidir.

$$M_r = c^r \Gamma\left(1 + \frac{r}{k}\right) \quad (3)$$

İki değişkenli Weibull dağılımı için birinci ve ikinci dereceden momentlerin ifadesi üzerinden oluşturulan eşitlikler, gerekli değişkenlerin bulunabilmesi için yeterli olacaktır.

2.3.2. Grafik Yöntemi

Grafik yöntemi, Weibull dağılım fonksiyonu üzerinden çeşitli işlem adımları sonrasında doğrusal bir denklemin elde edilmesi temeline dayanan bir yöntemdir. Elde edilen doğrusal denklemin çözdürülmesi ile Weibull değişkenleri elde edilebilir [15]. Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu Eşitlik (4) ile verilmiştir. Grafik yöntemi ile değişken hesaplama için takip edilen işlem adımları aşağıdaki gibidir.

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (4)$$

$$1 - F(v) = e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (5)$$

$$\ln(1 - F(v)) = -\left(\frac{v}{c}\right)^k \quad (6)$$

$$\ln(-\ln(1 - F(v))) = k \cdot \ln\left(\frac{v}{c}\right) \quad (7)$$

$$\ln(-\ln(1 - F(v))) = k \ln(v) - k \ln(c) \quad (8)$$

Eşitlik (8)'in sağ tarafında elde edilen ifade, $\ln(v)$ 'ye göre doğrusal bir değişim göstermektedir. Elde edilen doğrusal denklem çözdürüldüğünde k ve c değişkenleri elde edilir.

2.3.3. En Çok Olabilirlik Yöntemi

Olabilirlik fonksiyonunun tanımı her bir sıfırdan farklı veri için olasılık yoğunluk fonksiyonundan elde edilen değerlerin çarpımlarına karşılık gelmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde Weibull dağılımı ile ifade edilen bir verinin olabilirlik fonksiyonu Eşitlik (9)'da verildiği gibidir.

$$\mathcal{L} = \prod_{i=1}^n f(v_i) \quad (9)$$

$$\mathcal{L} = \prod_{i=1}^n kc^{-k} v_i^{k-1} e^{-\left(\frac{v_i}{c}\right)^k} \quad (10)$$

Eşitlik (10) ile verilen ifade üzerinden daha basit bir eşitlik elde edebilmek amacıyla logaritmik olabilirlik ifadesine geçiş yapılır ve elde edilen ifadenin maksimum noktası aranır.

$$\log \mathcal{L} = \sum_{i=1}^n \ln(k) - k \ln(c) + (k-1) \ln(v_i) - \left(\frac{v_i}{c}\right)^k \quad (11)$$

$$\log \mathcal{L} = \ln(k) - k \ln(c) + (k-1) \sum_{i=1}^n \ln(v_i) - c^{-k} \sum_{i=1}^n v_i^k \quad (12)$$

Eşitlik (11)'deki ifadenin k ve c değişkenine göre türevleri alınarak sıfıra eşitlenir. Elde edilen eşitlikler iteratif yöntemler yardımıyla çözdürüldüğünde k ve c değişkenleri elde edilir.

2.3.4. En Küçük Kareler Yöntemi

En küçük kareler yöntemi, büyük hacimde verilerin analizinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, mevcut veri üzerinden, her bir veriye karşılık gelen gerçek kümülatif dağılımlar ile Weibull kümülatif dağılımları arasındaki farkın kareleri toplamını minimum değerine indirmek yolu ile uygulanmıştır. Eşitlik (14), var olan hali ile doğrusal olmayan kısıtlamalı bir minimum değer problemi halini almıştır.

$$\min \sum_{i=1}^n \{P_i - F(v_i)\}^2 \quad (13)$$

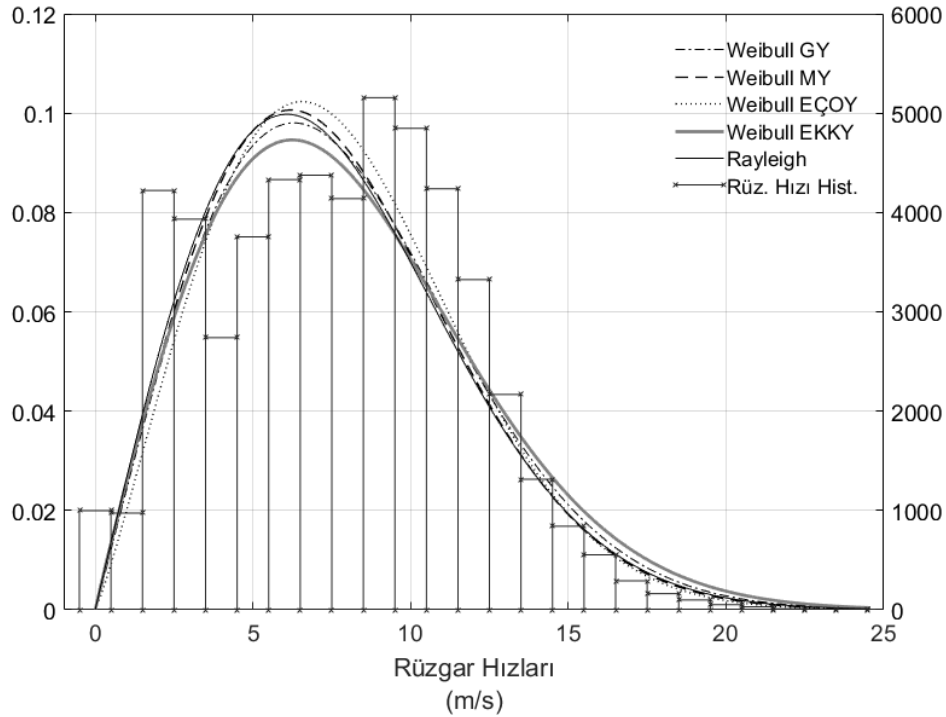
$$\min \sum_{i=1}^n \left\{ P_i - \left(1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \right) \right\}^2 \quad (14)$$

Yukarıda verilen matematiksel yöntemlerin mevcut veriye uygulanması neticesinde elde edilen Weibull değişkenleri, Tablo – 1 ile listelenmiştir. Tablonun en son satırında, bir Weibull dağılımı türü olan Rayleigh fonksiyonu için hesaplanan şekil ve ölçek değişkenleri verilmiştir. Rayleigh dağılımının ölçek değişkeninin hesaplanmasında moment yöntemine başvurulmuştur.

Hesaplanan her bir şekil ve ölçek değişkeni ile olasılık yoğunluk fonksiyonları çizdirilmiştir. Şekil – 5 ile verilen olasılık yoğunluk fonksiyonları çizimlerinin arka planında, mevcut verideki rüzgar hızlarının histogramı çizdirilmiştir. Rüzgar hızı verisine ait histogram ile elde edilen olasılık yoğunluk fonksiyonlarının biçimsel olarak birbirlerine benzer olması beklenir. Ancak şekilde de görüleceği üzere, bazı rüzgar hızlarına karşılık gelen olasılık yoğunlukları, olasılık yoğunluk fonksiyonlarınca eksik veya fazla hesaplanmaktadır. Farklı yöntemler üzerinden elde edilen weibull olasılık yoğunluk fonksiyonlarının veriye uygunluklarını incelemek amacıyla, çeşitli istatistiksel hata analiz yöntemleri kullanılabilir.

Tablo 1 Farklı matematiksel yöntemler kullanılarak elde edilen şekil ve ölçek değişkenleri

		k	c
Weibull Olasılık Dağılımları	Moment Yöntemi	2.0381	8.6307
	Grafik Yöntemi	2.0241	8.8195
	En fazla Olabilirlik Yöntemi	2.1427	8.7853
	En küçük Kareler Yöntemi	1.9662	8.9666
Rayleigh olasılık dağılımı		2	8.5972



Şekil 5 Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonları ve rüzgar hızı verilerinin histogramı

2.4. İstatistiksel Hata Metrikleri

Rüzgar verisi analizlerinin gerçekleştirildiği çalışmalarda sıklıkla tercih edilen hata metrikleri üzerinden farklı yöntemler kullanılarak elde edilen Weibull dağılımlarının, veriye uygunlukları irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo – 2 içerisinde verilmiştir.

Şekil incelendiğinde, elde edilen olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanılması durumunda, bazı rüzgar hızlarına ait olasılık yoğunluklarının eksik, bazılarında ise gerçekte olduğundan fazla elde edildiği görülmektedir. Bu durum olasılık yoğunluk fonksiyonlarının eldeki veriye uyumluluğu ile alakalı bir durumdur. İstatistiksel hata analiz yöntemleri yardımıyla söz konusu olasılık yoğunluk fonksiyonları arasından, eldeki veriye en çok uyumluluk gösteren olasılık yoğunluk fonksiyonunun tespiti yapılabilir. Bu amaçla, hata analizlerinde sıklıkla kullanılan testlerden bazıları kullanılarak gerekli görülen inceleme sonucu Tablo – 2 ile verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 2 Weibull dağılımlarının istatistiksel hata metrikleri

Matematiksel Yöntemler	Ort. Hata (MSE)	R^2	Kök Ort. Kare Hata (RMSE)	Ki-Kare Testi χ^2 (Chi-Square)	Ort. Mutlak Hata (MAE)	Ort. Mutlak Yüzde Hata (MAPE)
	10^{-7}		10^{-3}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-3}
MY	0.0099	0.9999997	0.0315	0.0257	0.0617	0.6171
GY	0.0268	0.9999993	0.0518	0.0697	0.1015	1.0155
EÇOY	0.0026	0.9999999	0.0162	0.0068	0.0318	0.3178
EKKY	0.1156	0.9999971	0.1075	0.3005	0.2108	2.1085
Rayleigh	0.0174	0.9999995	0.0417	0.0452	0.0817	0.8178

Tablo – 2 incelendiğinde, en çok olabilirlik yöntemi ile elde edilen Weibull dağılımının, diğerlerine kıyasla daha düşük hata değerleri vermiş olduğu gözlemlenebilmektedir. Elde edilen hata değerleri oldukça düşük değerlerde elde edilmiş olsa dahi, Şekil – 5 ile verilen çizim incelendiğinde, olasılık yoğunluk fonksiyonlarının bazı rüzgar hızları için doğru olasılık yoğunluklarını veremediği görülmektedir. Gerçek olasılık yoğunlukları ile olasılık yoğunluk fonksiyonları üzerinden elde edilebilecek değerler arasındaki fark, bu olasılık yoğunluk fonksiyonları ile gerçekleştirilecek çalışmaların doğruluğunu etkileyecektir. Özellikle, enerji potansiyeli çalışmalarında, rüzgar enerjisinden elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarının rüzgar hızının küpü ve olasılık yoğunluğu ile doğru orantılı olması nedeniyle, bu farklılıkların sonuç üzerindeki etkileri daha büyük olacaktır.

Basit Weibull dağılımı, en yüksek olasılık yoğunluğuna sahip olan, baskın veri etrafında merkezlenebilen tek tepeli bir dağılımdır. Ancak rüzgâr hız verisinde, özellikle yıllık verilerde, farklı dönemlerde farklı rüzgar hızlarının hâkim olması mümkün olabilir. Bunun neticesinde verilerin olasılık dağılımları, birden fazla tepeye sahip olarak şekillenebilir. Böylesi dağılımların ifadesinde, karma dağılımların kullanımı daha uyumludur.

3. Karma Weibull Dağılımı

Karma dağılımlar, birden fazla olasılık yoğunluk fonksiyonunun farklı oranlarda katılımı ile ifade edilen dağılımlardır [17]. Bu çalışmada, Weibull dağılımının rüzgar hızlarının olasılık dağılımlarının ifadesindeki kanıtlanmış başarısı dikkate alınarak, karma Weibull dağılımının kullanılması uygun görülmüştür. Rüzgar enerjisi potansiyeli çalışmalarında, genellikle 0 ile 30 m/s arasında arasındaki hızlar dikkate alınmaktadır. Çok geniş bir aralık olmaması ve yapılacak çalışmalarda işlem kalabalığını fazla artırmamak sebebiyle, iki bileşenli karma Weibull dağılımı kullanımı esas alınmıştır.

İki bileşenli Weibull dağılımına ait eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$ff(v; w, k_1, c_1, k_2, c_2) = wf(v; k_1, c_1) + (1 - w)f(v; k_2, c_2) \quad (15)$$

$$ff(v; w, k_1, c_1, k_2, c_2) = w \left\{ \frac{k_1}{c_1} \left(\frac{v}{c_1} \right)^{k_1-1} e^{-\left(\frac{v}{c_1} \right)^{k_1}} \right\} + (1 - w) \left\{ \frac{k_2}{c_2} \left(\frac{v}{c_2} \right)^{k_2-1} e^{-\left(\frac{v}{c_2} \right)^{k_2}} \right\} \quad (16)$$

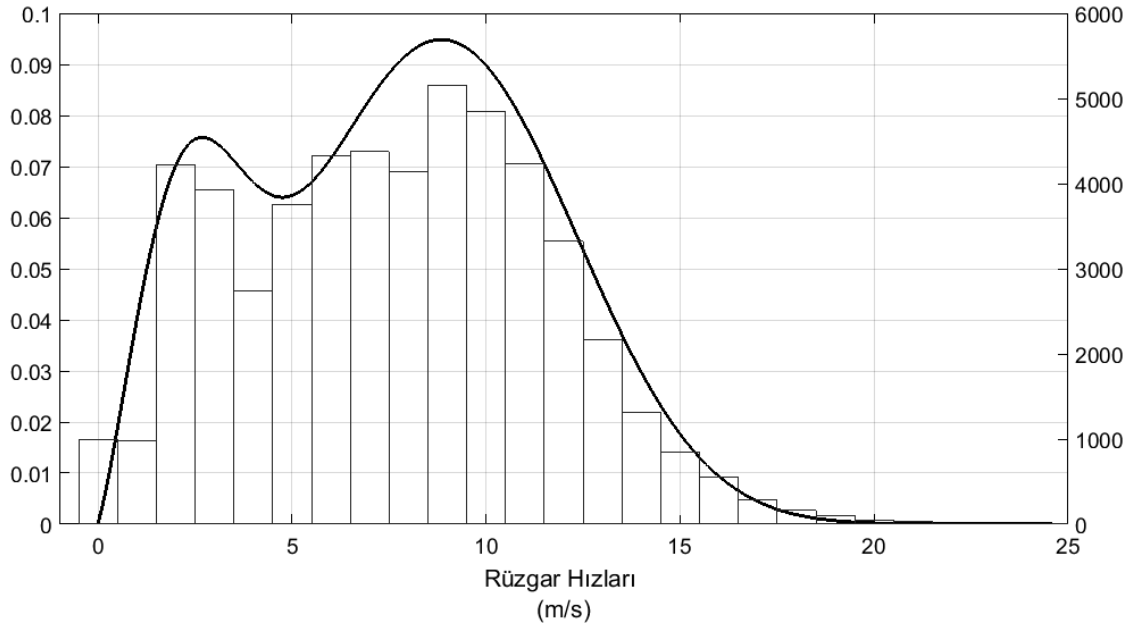
burada, k ve c değişkenleri, basit weibull dağılımında olduğu gibi, sırasıyla şekil ve ölçek değişkenlerini ifade etmektedir. Diğer bir değişken olan w ise oran değişkenine karşılık gelmektedir.

İki değişkenli Weibull dağılımı için uygulanan farklı değişken hesaplama yöntemleri arasından en düşük hata oranı, en çok olabilirlik yöntemi üzerinden elde edilmiştir. Bu nedenle, iki bileşenli karma Weibull dağılımının parametre hesaplamasında en çok olabilirlik yöntemi kullanılmıştır. Mevcut rüzgar verileri ile çalışılan iki bileşenli karma Weibull dağılımına ait değişkenler aşağıdaki Tablo – 3 ile listelenmiştir.

Tablo 3 İki bileşenli karma Weibull dağılımı değişkenleri

w	k_1	c_1	k_2	c_2
0.2118	2.1571	3.0300	3.0966	10.0425

Hesaplanan değişkenler ile iki bileşenli karma Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu, Şekil – 4’te çizdirilmiştir. Şekilden anlaşılacağı üzere elde edilen olasılık yoğunluk fonksiyonu ile mevcut verideki rüzgar hızlarının olasılık dağılımı çoğunlukla örtüşmektedir. Olasılık yoğunluk fonksiyonu, verilerin dağılımı ile uyumlu, iki tepeli bir dağılım olarak biçimlenmiştir.



Şekil 6 İki bileşenli Weibull dağılımı

İki bileşenli karma Weibull dağılımı için gerçekleştirilen hata analizlerinin sonuçları Tablo – 4 ile verilmiştir. Elde edilen sonuçlar, iki bileşenli Weibull dağılımı için elde edilen sonuçlara göre çok daha küçüktür. Anlaşılabacağı üzere, iki bileşenli karma Weibull dağılımı, mevcut rüzgâr verilerine daha uyumlu bir dağılım fonksiyonudur.

Tablo 4 İki bileşenli Weibull dağılımı istatistiksel hata metrikleri

	Ort. Hata (MSE)	R^2	Kök Ort. Kare Hata (RMSE)	Ki-Kare Testi χ^2 (Chi-Square)	Ort. Mutlak Hata (MAE)	Ort. Mutlak Yüzde Hata (MAPE)
	10^{-15}		10^{-9}	10^{-15}	10^{-9}	10^{-6}
İki Bileşenli Karma Weibull	0.0555	0	7.4473	1.4420	1.4605	0.1461

4. Kapasite Faktörü İncelemesi

Bir konumdaki rüzgâr enerjisi potansiyeli ve bu potansiyel üzerinden elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarı, RES yatırımlarının ekonomik ve teknik konularda değerlendirilmeleri açısından oldukça önemli ve belirleyici göstergelerdir. Kapasite faktörü, bu iki bilgiyi içeren önemli bir performans değişkenidir. Belirli bir zaman dilimi içerisinde mevcut rüzgâr potansiyeli ve teknik altyapı ile üretilebilecek enerjinin, aynı zaman aralığında, söz konusu tesisin sürekli anma gücünde üretim yapması ile elde edilebilecek enerjiye oranı kapasite faktörünü ifade eder [18,19]. Kapasite faktörü aşağıda verilen eşitlikler üzerinden hesaplanabilmektedir.

$$KF = \frac{P_{ort}}{P_n} \quad (17)$$

burada, P_{ort} esas alınan zaman aralığı içerisinde üretilen saatlik ortalama güç miktarını, P_n ise ilgili türbine ait anma gücünü ifade etmektedir. P_{ort} ifadesinin olasılık yoğunluk fonksiyonu üzerinden tanımlamak yolu ile eşitlik tekrar düzenlendiğinde;

$$KF = \frac{1}{P_n} \int_0^{\infty} P(v)f(v).dv \quad (18)$$

eşitliği elde edilir. Burada $f(v)$ olasılık yoğunluk fonksiyonunu, $P(v)$ ise türbin çıkışındaki gücü ifade eder. Çalışmada kullanılan ölçümlerin ait olduğu tesisteki rüzgâr türbinine ait güç çıkışının rüzgâr hızı aralıklarına göre ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$P_{av} \rightarrow \begin{cases} v < V_{cin} \rightarrow P_{av} = 0 \\ V_{cin} \leq v < V_n \rightarrow P_{ort} = P(v) \\ V_n \leq v < V_{cout} \rightarrow P_{ort} = P_n \\ V_{cout} \leq v \rightarrow P_{av} = 0 \end{cases} \quad (19)$$

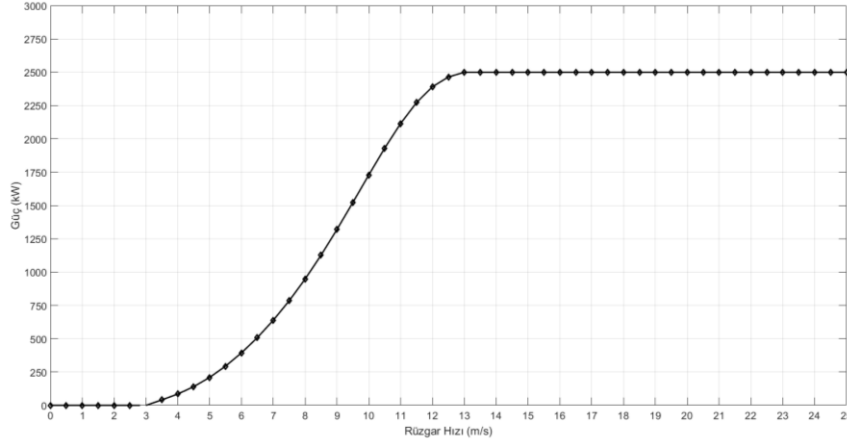
yukarıda verilen ifadelere göre denklem tekrar düzenlendiğinde,

$$KF = \frac{1}{P_n} \left[\int_{V_{Cin}}^{V_n} P(v)f(v).dv + \int_{V_n}^{V_{Cout}} P_n f(v).dv \right] \quad (20)$$

$$KF = \frac{1}{P_n} \int_{V_{Cin}}^{V_n} P(v)f(v).dv + \int_{V_n}^{V_{Cout}} f(v).dv \quad (21)$$

$$KF = \frac{1}{P_n} \int_{V_{Cin}}^{V_n} P(v)f(v).dv + F(V_{Cout}) + F(V_n) \quad (22)$$

olarak elde edilir. Burada rüzgar hızına göre değişmekte olan güç ifadesi P(v) için türbinin güç eğrisi üzerinden polinom uydurma yöntemi ile bir bağıntı elde edilebilir. Ölçümlerin alındığı tesiste kullanılan, 2,5 MW anma gücündeki rüzgar türbinine ait güç eğrisi Şekil – 7 ile verilmiştir. Güç eğrisi üretici tarafından sunulan veriler üzerinden elde edilmiştir.



Şekil 7 Ölçümlerin alındığı sahadaki rüzgar türbinine ait güç eğrisi

İncelenen güç eğrisi üzerinden V_{Cin} ile V_n hızları arasındaki güç eşitliği için güç eğrisi üzerinden, eğri uydurma yöntemleri ile aşağıdaki polinom elde edilmiştir.

$$P(v) = 0.0033v^7 - 0.1788v^6 + 3.9268v^5 - 46.1787v^4 + 316.0808v^3 - 1235.2369v^2 + 2605.8469v - 2325.8387 \quad (23)$$

Elde edilen polinom Eşitlik (22)'de yerine yazıldıktan sonra elde edilen ifade, çalışmada incelenen her bir olasılık yoğunluk fonksiyonu için ayrı ayrı çözdürülmüştür. Ulaşılan değerler Tablo – 5 ile listelenmiştir. Kapasite faktörü değerlerinin doğruluğunun sınanması amacıyla, mevcut verilerdeki üretim miktarları üzerinden sahaya ait gerçek kapasite faktörü değeri hesaplanır ve bu değer ile hesaplanan değerler arasındaki hata, tablonun en sağdaki kolonunda yüzdesel olarak verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, gerçek kapasite faktörü değerine en çok yaklaşabilen olasılık dağılımı, iki bileşenli karma Weibull dağılımı olduğu görülmüştür. En yüksek hatayı ise Rayleigh dağılımı vermiştir.

	Kapasite Faktörü	Hata
<i>Enerji Üretimi</i>	0.4432	-
<i>Weib. MY</i>	0.3906	%11.85
<i>Weib. GY</i>	0.4046	%8.70
<i>Weib. EÇOY</i>	0.4037	%8,90
<i>Weib. EKKY</i>	0.4142	%6.54
<i>Rayleigh</i>	0.3877	%12.51
<i>Weibull Mixture</i>	0.4177	%5.14

5. Sonuç

Rüzgar hızlarının olasılık dağılımlarının ifadesinde Weibull dağılımlarının kullanımı başarısını kanıtlamış bir yaklaşım olarak literatürde sıklıkla başvurulmaktadır. Ancak bazı durumlarda, özellikle geniş zamanlı rüzgar hızlarının gerçekleşebilmesi söz konusudur. Böylesi durumlarda, tek tepeli bir dağılım olan Weibull dağılımının kullanımı, yapılacak hesaplamalarda yeterli doğruluğu elde edebilmek açısından uygun olmayabilir. Bunun yerine, çok tepeli olasılık dağılımlarını ifade edebilen karma olasılık dağılımlarının kullanımı daha uygun olacaktır. Diğer taraftan, iki farklı Weibull dağılımının bir oran değişkeni üzerinden katılımı ile elde edilebilen iki bileşenli Weibull dağılımı, tek tepeli dağılımlara da uygunluk gösterebilmektedir. Bu çalışmada, faaliyette olan bir RES üzerinden alınan rüzgar ve enerji üretim verileri incelenerek, karma dağılımların rüzgar enerji potansiyeli çalışmalarına uygunluğu irdelenmiştir. Bu amaçla, sahadan alınan rüzgar hızı ölçümlerinin, farklı matematiksel yöntemler üzerinden elde edilen değişkenler ile basit Weibull dağılımları oluşturulmuştur. Sonrasında bu dağılımların veriye uygunluklarını ölçmek üzere istatistiksel hata analizleri kullanılmıştır. Yapılan hata analizleri neticesinde Weibull

değişkenleri hesaplamasına en uygun matematiksel yöntemin, ilgili literatürü destekler nitelikte, en çok olabilirlik yöntemi olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında, rüzgar hızlarının olasılık dağılımları, iki bileşenli Weibull dağılımı üzerinden ifade edilmeye çalışılmıştır. Beş değişkene sahip olan bu karma olasılık dağılımının değişkenlerinin hesaplamasında, çalışmanın önceki kısmında en düşük hata değerlerini veren yöntem olan en çok olabilirlik yönteminden faydalanılmıştır. Elde edilen iki bileşenli Weibull dağılımı, ölçümlenen rüzgar hızlarının olasılık dağılımına daha yüksek uyumluluk göstermiş ve gerçekleştirilen hata analizleri neticesinde elde edilen sonuçlar, basit Weibull dağılımı için elde edilen değerlerden çok daha düşük çıkmıştır. Çalışmanın son aşamasında ise, rüzgar enerjisi potansiyeli çalışmalarında oldukça önemli bir yere sahip olan kapasite faktörü değeri incelenmiştir. Çalışmada incelenen tüm olasılık dağılımları için kapasite faktörleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. İncelenen veri, faaliyette olan bir RES üzerinden alınan rüzgar hızı ve enerji çıkışı ölçümlerini içeriyor olması münasebetiyle, sahaya ait gerçek kapasite faktörünün elde edilebilmesine imkan sağlamaktadır. Hesaplanan kapasite faktörleri arasından, gerçek kapasite faktörüne en yakın değeri %5.14 hata ile iki bileşenli Weibull dağılımı vermiştir. Diğer dağılımlar ise, daha yüksek farklar ile kapasite faktörünü hesaplayabilmektedir. Bu durum, iki bileşenli Weibull dağılımlarının, rüzgar enerjisi potansiyeli çalışmalarına gösterdiği uyumluluğu kanıtlar niteliktedir.

Kaynakça

- [1] “BP Energy Outlook 2018 Edition”, BP, 2018
- [2] “World Energy Investment 2018”, IEA, 2018
- [3] Şenel, M. C., & Koç, E. (2015). DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE RÜZGÂR ENERJİSİ DURUMU-GENEL DEĞERLENDİRME. Engineer & The Machinery Magazine, (663).
- [4] Carta, J. A., Ramirez, P., & Velazquez, S. (2009). A review of wind speed probability distributions used in wind energy analysis: Case studies in the Canary Islands. Renewable and sustainable energy reviews, 13(5), 933-955.
- [5] Chadee, J. C., & Sharma, C. (2001). Wind speed distributions: a new catalogue of defined models. Wind Engineering, 25(6), 319-337.
- [6] Wais, P. (2017). A review of Weibull functions in wind sector. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 70, 1099-1107.
- [7] Wang, J., Huang, X., Li, Q., & Ma, X. (2018). Comparison of seven methods for determining the optimal statistical distribution parameters: A case study of wind energy assessment in the large-scale wind farms of China. Energy, 164, 432-448.
- [8] Hui, L. I., & Fang, Z. H. A. N. G. (2014). Summary on wind speed distribution and its parameter estimation. Advanced Materials Research.
- [9] Kestane, Ö., & Ülgen, K. (2017). Techno-economic analysis of wind power plants: A case study of Milas-Turkey. Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 12(12), 1088-1100.
- [10] Carta, J. A., & Ramirez, P. (2007). Analysis of two-component mixture Weibull statistics for estimation of wind speed distributions. Renewable energy, 32(3), 518-531.
- [11] Şahin, A. D. (2001). Türkiye rüzgarlarının alan-zaman modellemesi (Doctoral dissertation).
- [12] Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2010). Wind energy explained: theory, design and application. John Wiley & Sons.
- [13] Tuller, S. E., & Brett, A. C. (1984). The characteristics of wind velocity that favor the fitting of a Weibull distribution in wind speed analysis. Journal of Climate and Applied Meteorology, 23(1), 124-134.
- [14] International Electrotechnical Commission. (1998). Wind Turbine Generator Systems—Part 12: Wind Turbine Power Performance Testing. IEC Standard, Publication IEC, 61400-12.
- [15] Akdağ, S. A., & Dinler, A. (2009). A new method to estimate Weibull parameters for wind energy applications. Energy conversion and management, 50(7), 1761-1766.
- [16] Genc, A., Erisoglu, M., Pekgor, A., Oturanc, G., Hepbasli, A., & Ulgen, K. (2005). Estimation of wind power potential using Weibull distribution. Energy Sources, 27(9), 809-822.
- [17] Açıkgöz, I. (2007). Sonlu karma dağılımlarda parametre tahmini (Doctoral dissertation, PhD Thesis, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara University, Turkey).
- [18] Çetin, N. S., Çelik, H., & Baçaran, K. (2011, May). Rüzgâr türbinlerinde kapasite faktörü ve türbin sınıfı ilişkisi. In 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11) (pp. 131-136).
- [19] Akpınar, E. K., & Akpınar, S. (2005). An assessment on seasonal analysis of wind energy characteristics and wind turbine characteristics. Energy conversion and management, 46(11-12), 1848-1867.



PMSM Control using the 3DSVPWM to Decrease Motor Torque Ripple and Motor Current THD with a New Model

Ali Saygin¹, Ahmet Aksöz^{2*}

¹ Gazi University/ Electrical and Electronics Engineering Department, Ankara, TURKEY (ORCID: 0000-0003-1800-9655)

² Cumhuriyet University/ Mechatronics Engineering Department, Sivas, TURKEY (ORCID: 0000-0002-2563-1218)

(First received 5 February 2019 and in final form 6 March 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.522845)

ATIF/REFERENCE: Saygin, A. & Aksöz, A. (2019). PMSM Control using the 3DSVPWM to Decrease Motor Torque Ripple and Motor Current THD with a New Model. *European Journal of Science and Technology*, (15), 327-332.

Abstract

In this paper, a new model for a PMSM (permanent magnet synchronous motor) driver is proposed. The proposed model is envisioned as a better modulating drive current waveform. In the proposed system the modulating drive motor current waveform is more similar to ideal sinusoidal waveform. Advanced IGBTs and snubber circuits can be employed in the design of the driver to obtain high performance with a simultaneous reduction in THD (total harmonic distortion) and torque ripple of the motor. The proposed concept offers a significant decreasing for driver harmonics compared to classical SVPWM used. The inverter can be operated in 3-phase and 20 kHz switching frequency. A PMSM motor is operated at 3kW and 48V with the proposed model is evaluated via simulation with a corresponding SVPWM (space vector pulse width modulation) method. Results of torque ripple and THD of the motor currents on the model are discussed.

Keywords: Motor Torque Ripple, PMSM, SVPWM, THD

Yeni Bir Modelle Motor Tork Dalgalanmalarını ve Motor Akımının Toplam Harmonik Bozuntusunu Azaltmak için 3DSVPWM Kullanarak PMSM Kontrolü

Öz

Bu çalışmada, bir SMSM (sabit mıknatıslı senkron motor) sürücüsü için yeni bir model önerilmiştir. Önerilen model, daha iyi modüle edici bir tahrik akımı dalga biçimi olarak öngörülmüştür. Önerilen sistemde, modüasyonlu tahrik motor akımı dalga formu ideal sinüzoidal dalga formuna daha benzerdir. THB (toplam harmonik bozulma) ve tork dalgalanmasında azalma ile yüksek performans elde etmek amacıyla sürücünün tasarımında gelişmiş IGBT'ler ve sönüleme devreleri kullanılabilir. Önerilen konsept, kullanılan klasik SVPWM'ye kıyasla sürücü harmonikleri için önemli bir düşüş sunuyor. Evirici, 3 faz ve 20 kHz anahtarlama frekansında çalıştırılabilir. Bir PMSM motoru, önerilen model ile 3kW ve 48V'da çalıştırılır ve bir UVDGM (uzay vektörü darbe genişliği modülasyonu) metodu ile simülasyon yoluyla değerlendirilir. Modeldeki motor akımlarının tork dalgalanması ve THB sonuçları tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Motor Torkunda Dalgalanmalar, SMSM, UVDGM, THB.

* Corresponding Author: Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye, ORCID: 0000-0002-2563-1218, aaksoz@cumhuriyet.edu.tr

1. Introduction

Inverter design is very important for stable, compact and technologic motor drivers. Designed inverter must be overcome undesired effect of system due to nonlinear loads [1-3]. In order to get the better driver, the better PWM must be generated [1-6]. Generated PWM signals supply with desired voltage waveform in the inverter output. Moreover, better PWM signals can be achieved thanks to a better control approach. Therefore, the control strategy must be decided very well [7-11]. Although a PMSM design cannot be enough to the desired torque ripple and the desired motor current for the desired harmonics, it can be achieved to desired results by using the control strategy and PWM techniques.

This paper investigates the torque ripple and THD of motor currents issue of PMSM. Thanks to 2 cases, better results are found for these issues. Case 1 is composed of classical SVPWM and field oriented control (FOC) method and Case 2 consist of the 3DSVPWM and FOC. After the simulation results, the torque ripples and motor currents are discussed. In addition, the driver of this study is given in Fig. 1. Here, 400/50V autotransformer, a diode rectifier, 2 parallel big capacitor, a 3kW inverter, a sensor card and FOC method are given below.

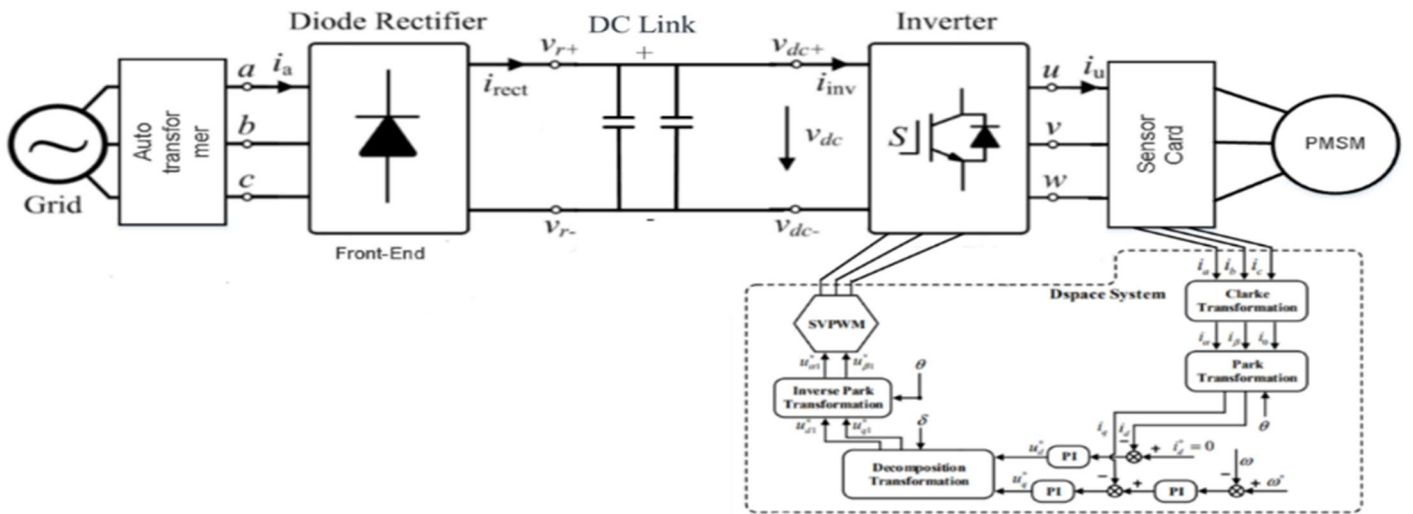


Figure 1. Driver Block Diagram.

In this paper, five sections consist of this study. In Section II, the PMSM model is described. The 3DSVPWM is explained in Section III. Then, simulated 2 cases are investigated and simulation results are discussed. Lastly, the paper is summarized in conclusion section.

2. PMSM MODEL

The mathematical equations of the modelled PMSM are given in the dq reference frame as,

$$\begin{bmatrix} v_{sd} \\ v_{sq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + sL_{sd} & -\omega_r L_{sq} \\ \omega_r L_{sd} & R + sL_{sq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega_r \lambda \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$T_e = \frac{3}{2} P (\lambda i_{sq} + (L_{sd} - L_{sq}) i_{sd} i_{sq}) \tag{2}$$

where, i_d is presumed to 0, it can be expressed that

$$V_{sd} = -\omega_r L_{sq} i_{sq} \tag{3}$$

$$V_{sq} = R i_{sq} + sL_{sq} i_{sq} + \omega_r \lambda \tag{4}$$

All parameters of the PMSM is given in Table 1.

Table 1. Parameter of the PMSM

Parameter	Description
R	stator resistor
λ	flux
P	number of pole pairs
Lsd, Lsq	stator inductances in the dq-frame
Te	electrical torque
ω_r	rotor speed
vsd, vsq	stator voltages
isd, isq	stator currents

3. 3DSVPWM

This proposed modulation technique supplies is a three phased and balanced inverter. In addition, the relationship between the A, B and C voltages are given in Eq. 5.

$$V_{A0}(t) + V_{B0}(t) + V_{C0}(t) = 0 \quad (5)$$

These voltages can be expressed in α - β planes.

$$\vec{V}(t) = V_{\alpha}(t) + jV_{\beta}(t) \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} V_{\alpha}(t) \\ V_{\beta}(t) \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{A0}(t) \\ V_{B0}(t) \\ V_{C0}(t) \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\vec{V}(t) = \frac{2}{3} (V_{A0}(t)e^{j0} + V_{B0}(t)e^{j2\pi/3} + V_{C0}(t)e^{j4\pi/3}) \quad (8)$$

Each vector switching status are given in Table 2. Here, 18 vectors are used in this proposed techniques.

Table 2. Each Vector Switching Status

$\vec{V}0$ [00 00 00] [00 00 11] [00 11 00] [00 11 11] [11 00 00] [11 00 11] [11 11 00] [11 11 11] [01 01 01] [10 10 10] [S1S2S3S4S5S6] Switch on :1 Switch off: 0	$\vec{V}1$ [00 01 01] [11 01 01] [10 00 00] [10 00 11] [10 11 00] [10 11 11]	$\vec{V}2$ [10 10 00] [10 10 11] [00 00 01] [00 11 01] [11 00 01] [11 11 01]	$\vec{V}3$ [01 00 01] [01 11 01] [00 10 00] [00 10 11] [11 10 00] [11 10 11]	$\vec{V}4$ [00 10 10] [11 10 10] [01 00 00] [01 00 11] [01 11 00] [01 11 11]	$\vec{V}5$ [01 01 00] [01 01 11] [00 00 10] [00 11 10] [11 00 10] [11 11 10]	$\vec{V}6$ [10 00 10] [10 11 10] [00 01 00] [00 01 11] [11 01 00] [11 01 11]
	$\vec{V}7$ [10 00 01] [10 11 01]	$\vec{V}8$ [00 10 01] [11 10 01]	$\vec{V}9$ [01 10 00] [01 10 11]	$\vec{V}10$ [01 00 10] [01 11 10]	$\vec{V}11$ [00 01 10] [11 01 10]	$\vec{V}12$ [10 01 00] [10 01 11]
	$\vec{V}13$ [10 01 01]	$\vec{V}14$ [10 10 01]	$\vec{V}15$ [01 10 01]	$\vec{V}16$ [01 10 10]	$\vec{V}17$ [01 01 10]	$\vec{V}18$ [10 01 10]

4. Simulation Results

The designed cases give the torque ripple results and THD of motor currents results. Torque ripple on electrical torque in given in Table 3.

Table 3. Torque Ripple on T_e .

Models	T_e (Nm)	RMS(Nm)	Torque ripple (Nm)
Case 1	4.060	3.615	0.445
Case 2	4.071	3.632	0.439

In table 3, electrical torque of Case 1 is 4.060Nm and electrical torque of Case 2 is also 4.071Nm. RMS values are respectively 3.615Nm and 3.632Nm. However, torque ripple of Case 1 is 0.445Nm and torque ripple of Case 2 is 0.439Nm. Electrical torque of two cases are illustrated in Fig 2.

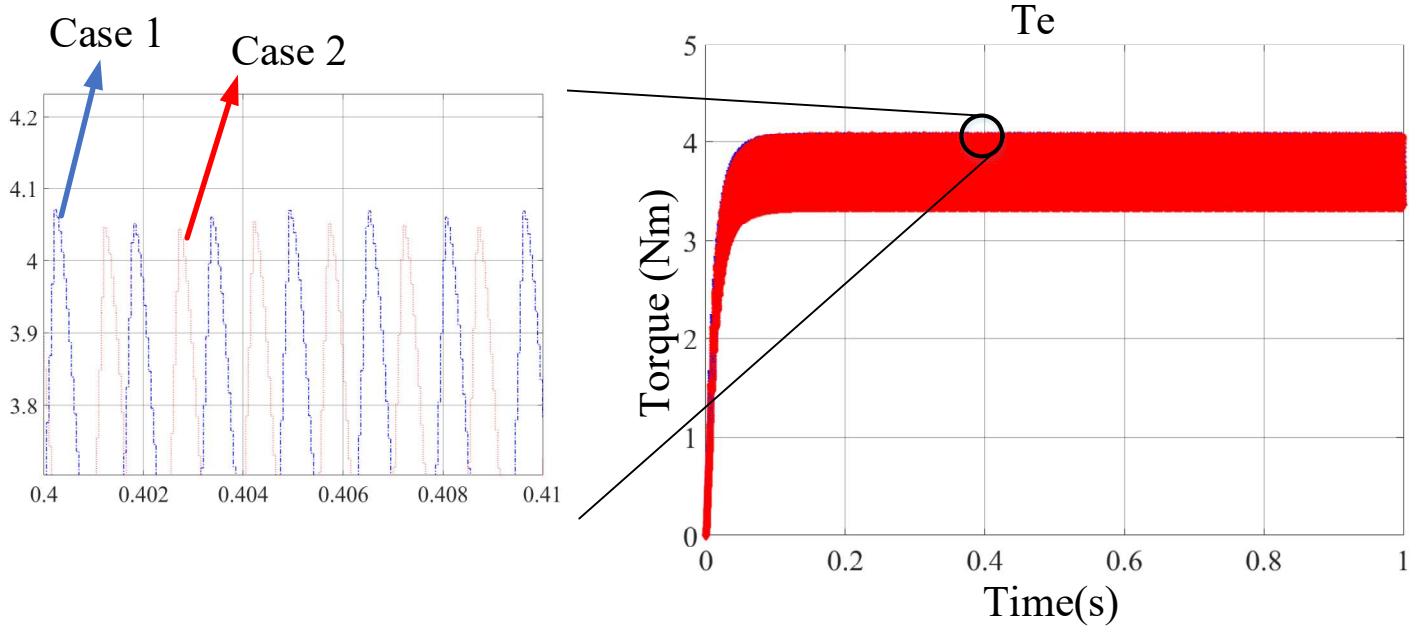


Figure 2. Electrical Torque of Two Cases

Motor currents of two cases are shown in Fig 3.

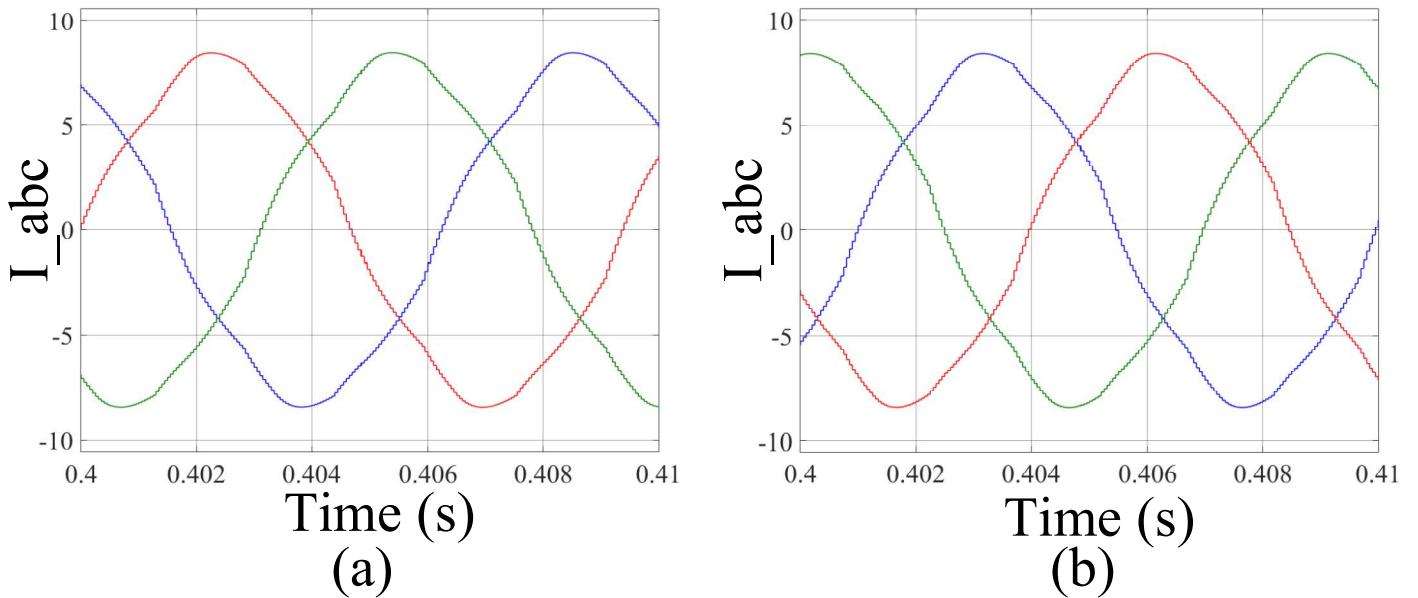


Figure 3. Motor Currents of Two Cases. ((a) is Case 1 and (b) is Case 2)

According to the Fig 3. THD of motor currents are expressed in Table 4.

Table 4. THD of Motor Current

Models	THD
Case 1	41.65%
Case 2	37.35%

Above THD of Case 1 is 41.65% and THD of Case 2 is 37.35%. It is clearly seen that both torque ripple results and THD results of Case 2 is better than results of Case 1. Thus, it is mentioned that the 3DSVPWM has good effect on torque ripple and THD.

5. Conclusion

The proposed new model with the 3DSVPWM for a PMSM driver is expressed. The proposed model is envisioned as a better modulating drive current waveform. In order to obtain high performance thanks to the decreasing THDi and torque ripple of the motor, the classical SVPWM and the 3DSVPWM is applied in two cases. After the case results, it is precisely understood that the 3DSVPWM can be preferred in many PMSM driver study. Because it has very good effect on motor torque ripple and THD of motor currents.

Acknowledgements

The authors thank TUBITAK 2211-A (Grant number: 1649B031400107).

- A. Saygin, A. Aksoz and E. N. Yilmaz, A different model of WECS connected to smart grid through matrix converter, 2016 4th International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG), Istanbul (2016), pp. 1-5. DOI: 10.1109/SGCF.2016.7492419
- A. Saygin, A.M. Rashid, Position control of a turret using LabVIEW, *Acta Physica Polonica A* (2017) 132 (3), pp. 970-973. DOI: 10.12693/APhysPolA.132.970
- A. Saygin, A. Kerem, Speed control of an induction motor by 6-switched 3-level inverter, *Open Physics*, (2017) 15 (1), pp. 1072-1076. DOI: 10.1515/phys-2017-0138
- A. Saygin and A. Aksoz, Design optimization for minimizing cogging torque in Axial Flux Permanent Magnet machines, 2017 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM) Brasov (2017), pp. 324-329. DOI: 10.1109/OPTIM.2017.7974991
- E.N. Yilmaz, A. Aksoz and A. Saygin, *Electr Eng* (2018).DOI: 10.1007/s00202-018-0734-4
- E. Can, H.H. Sayan, A novel SSPWM controlling inverter running nonlinear device, *Electrical Engineering*, (2018) 100 (1), pp. 39-46. DOI: 10.1007/s00202-016-0480-4
- E. Can, H.H. Sayan, The increasing harmonic effects of SSPWM multilevel inverter controlling load currents investigated on modulation index, *Tehnicki Vjesnik*, (2017) 24 (2), pp. 397-404. DOI: 10.17559/TV-20151020134629
- M.K. Döşoğlu, U. Güvenç, Y. Sönmez, C. Yılmaz, Enhancement of demagnetization control for low-voltage ride-through capability in DFIG-based wind farm, *Electrical Engineering*, (2018) 100 (2), pp. 491-498. DOI: 10.1007/s00202-017-0522-6
- N.G. Adar, R. Kozan, Comparison between Real Time PID and 2-DOF PID Controller for 6-DOF Robot Arm, *Acta Physica Polonica A* (2016) pp 269. DOI:10.12693/APhysPolA.130.269
- N.G. Adar, A. Egrisogut Tiryaki, R. Kozan, Real Time Visual Servoing of a 6-DOF Robotic Arm using Fuzzy-PID Controller, *Acta Physica Polonica A* (2015) pp B-348. DOI: 10.12693/APhysPolA.128.B-348
- R. Kiliç, Determination of Imbalance Problem in Electric Motor and Centrifugal Pump by Vibration Analysis, *Acta Physica Polonica A* (2016) pp487. DOI:10.12693/APhysPolA.130.487
- S. Altuntaş, H. Hapoğlu, S. Ertunç, M. Albaz, Experimental Self-Tuning Proportional Integral Derivative pH Control: Application to a Bioprocess, *Acta Physica Polonica A* (2017) pp 1006. DOI: 10.12693/APhysPolA.132.1006
- Y. Sarikaya, H. Apaydin, Ş. Kıtış, A Hydrolysis System Design and Ana-lysis for Vehicles with Microprocessor Based and PWM Controlled Card, *Acta Physica Polonica A* (2015) pp B-211. DOI: 10.12693/APhysPolA.128.B-211



Bir Hassas Yaklaşma Prosedürü Olarak ILS'in (Instrument Landing System) Önemi ve Uçuş Gecikme Maliyetlerine Etkisi

Furkan Kaba^{1*}, Satılmış Ürgün²

1 Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Havacılık Bilimi ve Teknolojileri Bölümü, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3135-7507)
2 Kocaeli Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3889-6909)

(İlk Geliş Tarihi 21 Ocak 2019 ve Kabul Tarihi 2 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.515682)

ATIF/REFERENCE: Kaba, F., & Ürgün, S. (2019). Bir Hassas Yaklaşma Prosedürü Olarak ILS'in (Instrument Landing System) Önemi ve Uçuş Gecikme Maliyetlerine Etkisi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (15), 333-342.

Öz

Bir uçağın uygun doğrultuda ve süzülüş açısıyla inmesi için gereken veriler önemli ölçüde inilen havalimanında bulunan yaklaşma sisteminden temin edilmektedir. Hassas yaklaşma türleri içinde en yaygın kullanılan ILS (aletli yaklaşma sistemi, instrument landing system) oldukça önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu çalışmada ILS'in çalışma prensipleri, kategorileri (CAT I/II/IIIa,b,c) ve bunların kullanım yerleri anlatılmıştır. Ayrıca seçilen örnek havalimanlarına dair veriler üzerinde yapılan hesaplamalar aracılığıyla, ILS kategorilerinin yükseltilmesinin önemini belirtmiştir. Limit altı görüş nedeniyle yapılamayan veya geciken uçuşların sebep olduğu maliyetlere dikkat çekilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hassas yaklaşma, ILS, Gecikme maliyeti, Düşük görüş.

The Importance of ILS (Instrument Landing System) as a Precision Approach Procedure and the Effect on the Delay Costs

Abstract

The information needed to land with an appropriate bank angle and direction is provided by the current approaching system of the airport. ILS (instrument landing system) which is the most common precision approach procedure offers significant advantages. In this study, operational principles of ILS and the usage of the categories (CAT I/II/IIIa,b,c) have been mentioned. Besides that, the benefits of upgrading an ILS category were presented via low visibility percentage that has been calculated through the statistical data on the sampled airports. It was also pointed out the airline costs of delayed or canceled flight due to below the minimum.

Keywords: Precision approach, ILS, Delay cost, Low visibility

* Sorumlu Yazar: Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Havacılık Bilimi ve Teknolojileri Bölümü, Kocaeli, Türkiye, ORCID: 0000-0003-3135-7507, furkan-kaba@hotmail.com

1. Giriş

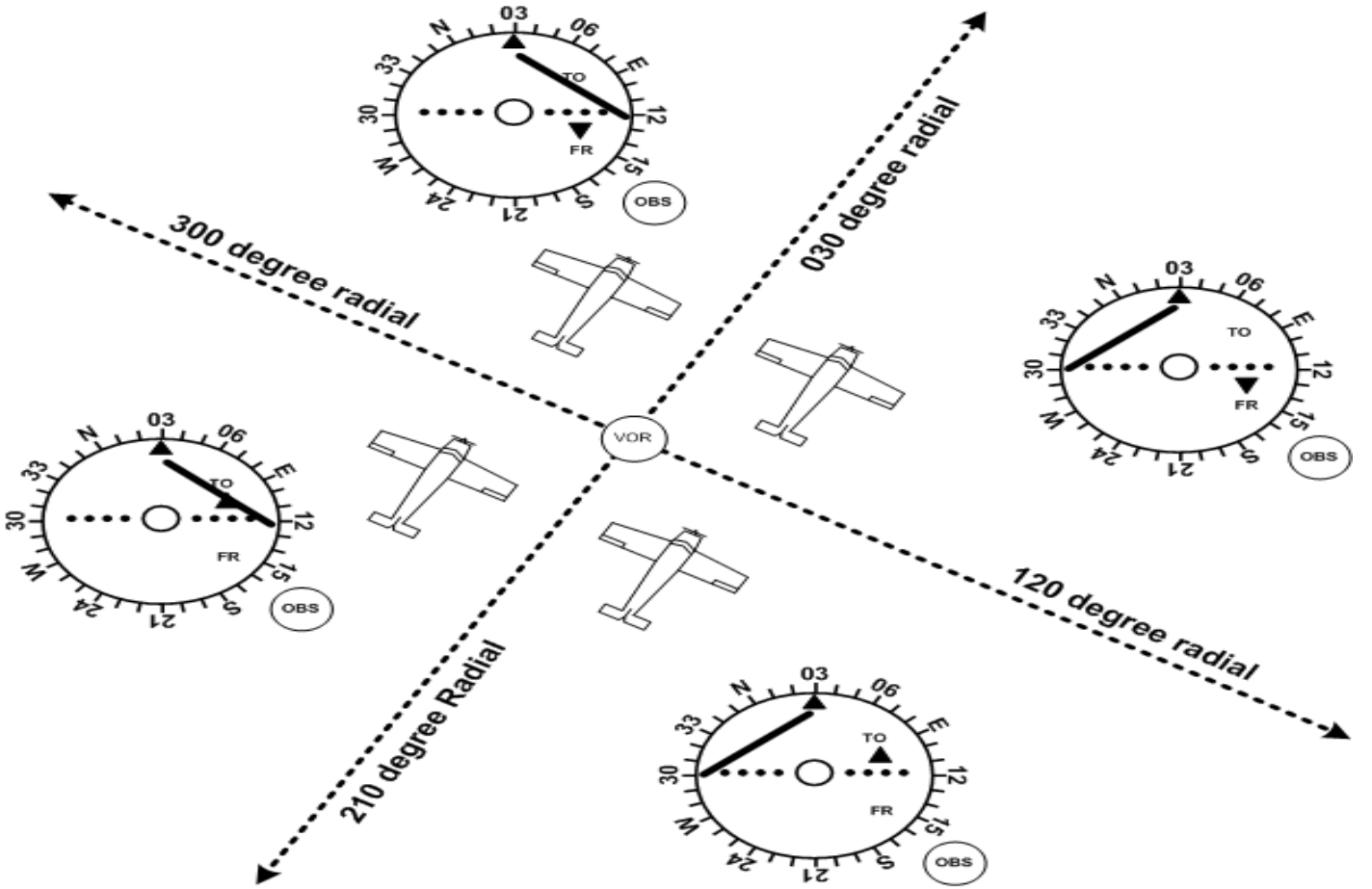
Uçuş yüz yıllardır insanların hayali olmayı sürdürürken, 1871 yılında Alphonse Pénaud, ilk defa yapısal dengeli model uçağı 11 saniyede 40 metre uçurarak havacılıkta yeni bir çığır açmıştır. Ardından yıllar sonra “Planophore” adını verdiği uçağın modellenmesi Wright kardeşlerin ilham kaynağı olmuş ve 17 Aralık 1903'te havalanan ilk uçakları havacılık tarihine damga vurmuştur.

Günümüzde ise havacılık teknolojileri her geçen gün gelişmekte ve havayolu taşımacılığı, ulaşım sektörünün hızla yükselen yıldızı olmaktadır. Uçağın güvenli şekilde uçuşu ve inişinde anahtar rol oynayan faktörlerden biri de kullanılan seyrüsefer ve yaklaşma sistemleridir. Yaklaşma, kabaca, uçağın belirli bir hat boyunca süzülerek havalimanına inişini tamamlaması süreci olarak tanımlanabilir. Bu süreçte uçağın ve pilotun güvenli yaklaşmayı gerçekleştirmesi için gereken bilgiler inilen havalimanında bulunan yaklaşma sisteminden temin edilmektedir. Yaklaşma sistemleri, farklı türdeki verileri referans olarak uçağın havalimanına olan mesafesi ve yaklaşma sırasında izlenmesi gereken süzülüş açısı, pistin coğrafi yönü gibi bilgileri uçağa gönderir.

Yaklaşma sistemleri, en temelde hassas ve hassas olmayan yaklaşma olmak üzere iki başlıkta incelenebilir. Hassas olmayan yaklaşma; yanıl yönlendirmenin kullanıldığı fakat dikey yönlendirme bulunmayan bir aletli yaklaşma ve iniş sistemleridir (Annex 6). Bu yaklaşma sistemi VOR veya NDB gibi cihazlarla sağlanır. Bu cihazlar yer konuşlu olup radyo sinyalleriyle çalışan ve VFR uçuşlar dâhil olmak üzere, hava seyrüseferinde yol gösterme araçları olarak da kullanılırlar (Beköz ve Çakmaklı, 2014).

VOR (Very High Frequency Omnidirectional Range), VHF (Very High Frequency: 108,00 - 117,95 Mhz) yani çok yüksek frekans bandında, 360 derecenin her bir derecesinde kendi eksenini etrafında radyo sinyali gönderen bir yer vericisidir (Beköz ve Çakmaklı, 2014; THY, 2008). Uçağın VOR'a göre uçuşunun radyal cinsinden görünüşü Şekil 1.1'de görülmektedir.

NDB (Non Directional Beacon) ise, uçağın ADF'i tarafından alınan düşük frekanstan mors kodu ile birlikte yayın yapan radyo vericisi ve yön bulma aracı olarak tanımlanmaktadır (THY, 2008). Hassas olmayan yaklaşma sistemlerinde meydan minimumları yüksek olduğundan, düşük görüş ve düşük bulut tavanı şartlarında, ilgili meydanlara iniş yapılamamaktadır.



Şekil 1.1: Uçuş baş derecelerinin VOR'a göre görünüşü

(<http://mattsflight.blogspot.com/2011/10/vor-navigation.html> adresinden 06.01.2019 tarihinde alınmıştır.)

Hassas yaklaşma; uçağın, operasyonel kategorilere göre yanal ve dikey bilgi sağlayarak yaptığı bir alet yaklaşması ve inişidir (Annex 6). Operasyonel Kategoriler, havalimanı yaklaşma prosedürlerine göre farklılık gösterip temelinde bulut tavanı ve görüş mesafesine göre sınıflandırılır. Pilot, ilgili havalimanındaki yaklaşma kategorisinin minimalarını kontrol edip, hali hazırdaki en güncel hava durumuyla kıyaslar ve iniş yapıp yapamayacağına bulut tavanı ve görüşe bağlı olarak karar verir. Mevcut operasyonel kategorilerde uygulanması gereken karar yükseklikleri ile pist görüş mesafelerine ait değerler Tablo 1,1’de gösterilmiştir (Annex 6).

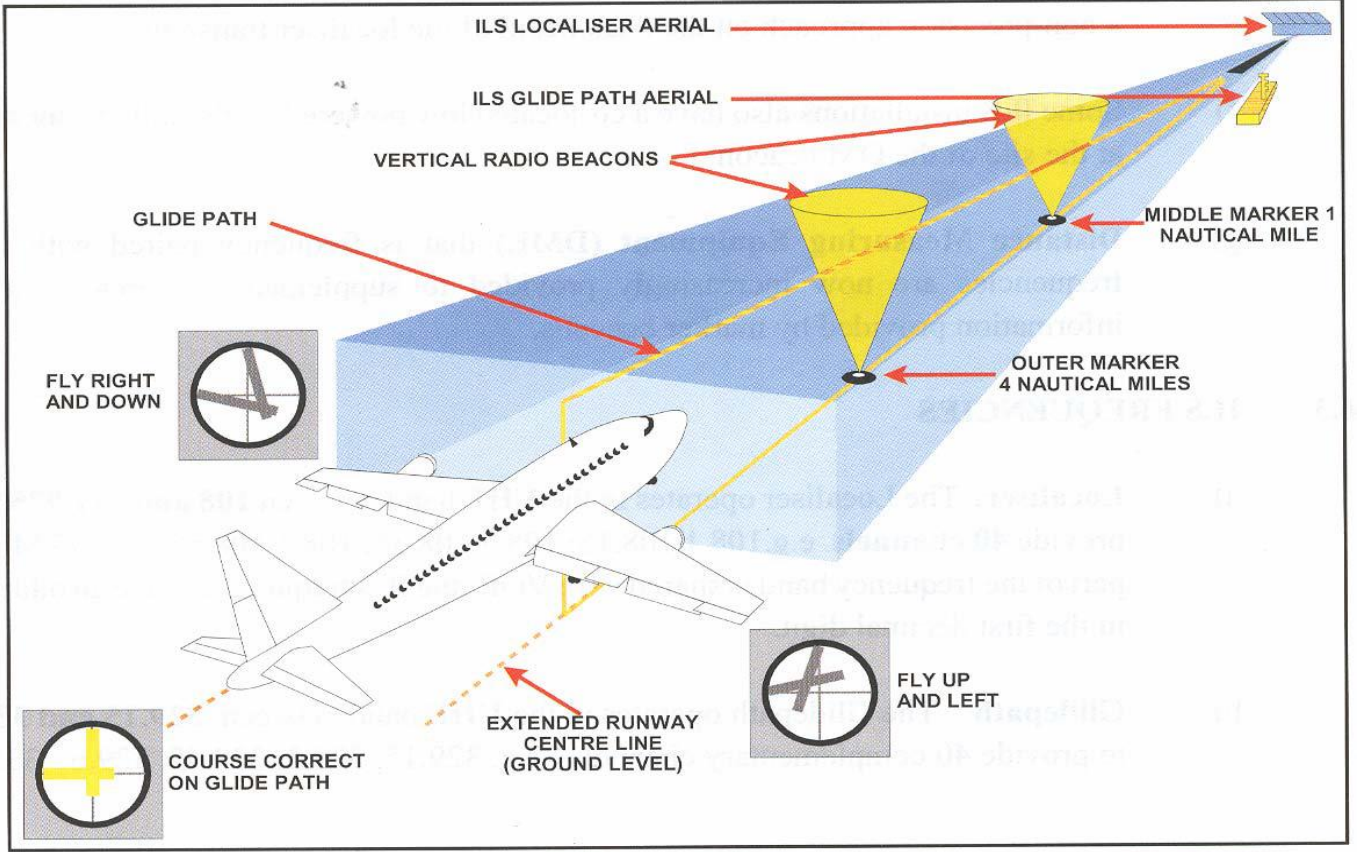
Tablo 1.1: Operasyonel Kategoriler ile RVR ve DH değerleri.

Operasyon Kategorileri	Decision Height (DH) (Karar Yüksekliği)	RVR (Runway visual range- Pist görüş mesafesi)	Görüş (Visibility)
CAT I	60 m ve üzeri (> 200 ft)	550 m ve üzeri	minimum 800 m
CAT II	30 m ile 60 m aralığında (100ft -200 ft)	350 m ve üzeri	
CAT IIIA	30 m ve altı (< 100 ft) veya DH olmadan	200 m ve üzeri	
CAT IIIB	15 m ve altı (< 50 ft) veya DH olmadan	50m - 200m aralığında	
CAT IIIC	DH olmadan	RVR limiti bulunmamakta	

Aletli hassas yaklaşma sistemi olan ILS (Instrument Landing System) uzun yıllardır kullanılmaktadır. ILS iniş sistemi, görüşün çok düşük olduğu şartlarda bile pilota ve uçağa referans sağlayarak güvenli bir şekilde inişe yardımcı olur bu nedenle günümüzde yaygın olarak kullanılmakta ve tercih edilmektedir. ILS alet alçalması sırasında, inilecek olan ilgili pist konfigürasyonu için dikey ve yatay olmak üzere bilgi vererek, hatasız şekilde yaklaşma ve inişi sağlar. ILS dört farklı bileşenden oluşmaktadır bunlar; Localizer, Glide Slope/Glide Path, Markerlar ve yaklaşma ışık sistemleri olarak adlandırılır. Localizer pist sonlarına yerleştirilen bir alet olup, yaklaşma hattı boyunca uçağa istikamet bilgisi verir ve yaklaşma esnasında yanal kaymayı önleyerek uçağın sabit bir hat boyunca yaklaşmasını sağlar. Glide Slope ise gönderdiği sinyaller sayesinde, uçağın yaklaşık 3,0 derece açı ile pist başına doğru süzülüş yapmasını ve bu şekilde dikey olarak yaklaşma stabilitesinin oluşturulmasını sağlamaktadır. Bir ILS yaklaşması profili örneği Şekil 1.2 de görülmektedir.

Bu sistemde kullanılan bir diğer bileşen ise Markerlardır. Kendilerini tanıtmak amacıyla Localizer ve Glide-Slope/Path teçhizatlarının sinyallerinin belli mesafelerde dikine keserek yayın yaparlar. Alçalma yapan uçaklara pist başına olan mesafeleri hakkında bilgi verirler. Yaklaşma ışıkları son yaklaşma esnasında, görsel olarak referans sağladığından ILS’in bir parçası olarak kullanılırlar ve hassas yaklaşma olan pistlerde 720 metreden az olmamalıdır (Annex 14).

Havayolu taşımacılığının sağladığı pek çok kolaylığın arka planında çok büyük bir organizasyonel alt yapı mevcuttur. Bu organize sistemdeki en ufak aksaklıklar bile ciddi maliyetler doğurmaktadır. Tam tersi, sistemin iyileştirilmesini sağlayacak küçük adımlar bile büyük ekonomik avantajlar getirebilmektedir. Düşük ILS kategorisine bağlı olarak birçok meydana uçakların inişi gecikmekte veya o meydana iniş yapılamamaktadır. Havayolu taşımacılığı söz konusu olduğunda bir uçuşun gecikmesinden doğacak maliyetin hesaplaması oldukça karmaşık bir işlem olup ilk etapta akla gelmeyecek pek çok faktör bu maliyete etki etmektedir. Maliyet hesabı en temelde yakıt, uçağın bakımı, filo giderleri, personel maliyeti ve yolcu maliyetlerine dayanmaktadır. Bu parametrelerden doğan masraflar, uçağın uçuşun hangi aşamasında gecikme olduğuna göre de değişmektedir. Havadaki gecikme ile taksi sırasındaki veya pak pozisyonunda beklemenin maliyeti aynı olmamaktadır. Ayrıca gecikmeye konu olan uçağın tipi (B738, B744, A319, A321 gibi...) de bu maliyetleri etkilemektedir. Avrupa’daki havayollarının esas olarak gecikme maliyetleri için referans değerleri hesaplayan rapora göre 2014 yılı esas alındığında bir uçağın gecikme maliyeti dakika başına 100 € olarak belirlenmiştir. Bu rakam yukarıda sözü edilen tüm değişkenlerin yaklaşık değerlerine dayalı olarak hesaplanmıştır. Uçağın modeli vb faktörlere göre bu ortalama değer değişmekte olup, yakıt, bakım, personel veya yolcu giderlerinin bu değere yaptığı katkı da farklılaşmaktadır. Maliyetlerle ilgili daha detaylı bilgi için söz konusu çalışma incelenebilir (University of Westminster, 2015).



Şekil 1.2: ILS yaklaşma profili. (THY, 2008)

ILS sağladığı düşük görüş minimumları sayesinde, diğer yaklaşma türlerine kıyasla operasyonel açıdan çok daha uygun ve yararlı bir iniş destek sistemidir. Havalimanında ILS kurulumu belli (yeryüzü şekilleri, yükselti, doğal ve suni mâniyeler) şartlara bağlıdır. Bu şartlar yerine getirilip kurulum yapılabilirse, havayolu şirketlerinin uçuşlarını iptal etmeden, ya da gecikme yaşanmadan yapabilmesi daha fazla oranda mümkün olacaktır. Günümüzde artan yakıt, teknik bakım gibi maliyetler nedeniyle uçuğu süre boyunca para kazanan uçaklar, uçmadıkları ya da gecikme yaşadıkları zamanlarda şirketlere ciddi mali kayıplar yüklemektedir. Buradan yola çıkan bu çalışmada, seçilmiş dört havalimanının mevcut ILS kategorisine bağlı olarak hava durumuna göre düşük görüş görölme oranları hesaplanmıştır. Düşük görüş, uçağın inişini geciktirecek veya inişini iptal ettirecek önemli bir faktör olup ILS kategorisi yükseltildiğinde bu gecikme veya iptallerden doğan yüksek maliyetlerin hangi oranda azalacağı ortaya konmak istenmiştir. Uygun koşullar sağlandığında ILS kategorisi değişikliğinin ne oranda fayda sağlayacağına dair tahmini bir değer sunulmuştur. Burada örnek verilen profiller için maliyet açısından sağlanacak avantaj kesin sayısal değerlerle ifade edilmemiştir. Bunun sebebi, hesaplamalar sonucunda elde edilen oranların ortalama değerleri vermesidir. Ayrıca bu veriler bir meydana iniş yapılamama oranı olup, o meydana yapılan seferlerin, seferleri yapmakta olan uçakların türünün ve bu seferleri düzenleyen havayolu şirketlerinin çeşitliliğine bağlı olarak ortaya çıkacak maliyet değişikliği göstermektedir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada uluslararası hava durumu yayını yapan (Metar, Spec, Taf vb.) veri tabanlarından alınan bilgiler kullanılmıştır. ILS kategorisi CATI ve CATII olan meydanlar seçilmiştir. Bunlar; Odesa (ODS), Bişkek (FRU), Priştine (PRN), Rostov (ROV) havalimanlarıdır. Bu havalimanları bölgesel olarak önemli yerlerde bulunup, coğrafi konumları ve hava durumlarından kaynaklanan düşük görüşlü zamanları sebebiyle sefer iptalleri ve bunun olası maliyetine dikkat çekmek için örnek olarak seçilmiştir. 2014'den 2019'a kadar (5 yıllık) Metar (rutin hava durumu verileri) ve Spec (rutin hava durumu meteorolojik parametrelerin, belirli kıstaslara göre değişmesi halinde yayımlanan veriler) verileri baz alınmıştır. Bu verilerin içinden de en çok limit dışı hava koşullarının görüldüğü Aralık, Ocak, Şubat ve Mart aylarının olduğu dönem seçilmiştir. Ardından bu aylarda, günlük ve saatlik olarak görüşün CATI minimumu olan 550 metrenin veya CATII minimumu olan 350 metrenin altına düşme riski yüzde (%) olarak filtrelenmiştir. Odesa havalimanının ILS kategorisi CATI, diğer üç havalimanının ise CATII olup Priştine (PRN) ve Rostov (ROV) meydanlarının CATII kategorilerinin minimumu 300 metredir.

Daha önce belirtildiği üzere, görüş ILS CAT minimumu altına düştüğü durumlarda söz konusu meydanlara iniş yapılamamaktadır. Saatlik düşük görüş riski verisinden yola çıkılarak 24 saatlik yani bir günlük düşük görüş yüzdesi hesaplanmıştır. Bu oran, söz konusu meydana iniş yapılamama oranını yansıtmakta ve maliyet hesabı için referans bir değer sunmaktadır. Ayrıca her bir meydana ait günlük ortalama sefer sayısı, Eurocontrol sistemi arşivinden alınarak maliyet hesabında kullanılabilir bir diğer parametre olarak gösterilmiştir.

Hava durumuna göre, uçağın ineceği havalimanında görüşün limit altına düşme oranına dair veri setinin bir örneği aşağıda görülmektedir. (Tablo 2.2) Bu tabloda Odesa havalimanında 2014-2019 yılları boyunca Ocak aylarındaki anlık hava durumu ve bunun limit altına düşme oranı gösterilmektedir. Gözlem sütunu, ilgili saat aralığında yayınlanan Metar ve Specı sayısını vermektedir. Gün sütunu, hava durumunun CATI minimumu olan 550 m'nin altına düşme sayısını, oran sütunu ise bu düşüşün yüzde cinsinden değerini belirtmektedir. Seçilen meydanlarda, seçilen yıllar ve aylar boyunca yapılmış saatlik gözlemler ve oranları veren istatistiki kayıtlardan yola çıkarak 4 örnek meydanın her birisi için ortalama düşük görüş görülme oranı hesaplanmıştır.

Tablo 2.2: Görüşün limit altına düşme oranı örnek veri seti

ODESA(ODS) HAVALİMANI			
2014-2019 yılları	OCAK		
Saat (Zulu Time)	Gözlem	Gün	Oran %
00:00	154	21	13,6
01:00	155	23	14,8
02:00	155	23	14,8
03:00	155	23	14,8
04:00	154	23	14,9
05:00	155	25	16,1
06:00	156	21	13,5
07:00	156	16	10,3
08:00	156	15	9,6
09:00	155	9	5,8
10:00	155	10	6,5
11:00	155	11	7,1
12:00	155	7	4,5
13:00	155	10	6,5
14:00	153	9	5,9
15:00	153	10	6,5
16:00	153	11	7,2
17:00	153	12	7,8
18:00	153	14	9,2
19:00	152	15	9,9
20:00	152	18	11,8
21:00	151	22	14,6
22:00	153	18	11,8
23:00	153	19	12,4
Saatlik ortalama düşük görüş oranı;			10,4

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Tablo 2.2 örneği ve diğer istatistikî kayıtlarda yer alan verilerden yola çıkarak seçili aylara ait saatlik ortalama limit altı görüş görülme oranları seçilen havalimanlarını her biri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. İlgili aya ait düşük görüş görülme oranı, o meydana yapılan seferlerin gecikme veya iptal olma oranı hakkında önemli bir ön bilgi sunmaktadır. Bu sebeple, her bir meydana ait aylık ortalama sefer sayıları da tablolarda verilmiştir. Buradan yola çıkarak, görüşün limit altı olma oranıyla paralel olarak, sefer sayılarının yapılamama/gecikme miktarı yaklaşık olarak tespit edilebilir ve tahmini zarar maliyeti veya riski hesaplamaları için bu oranlar kullanılabilir.

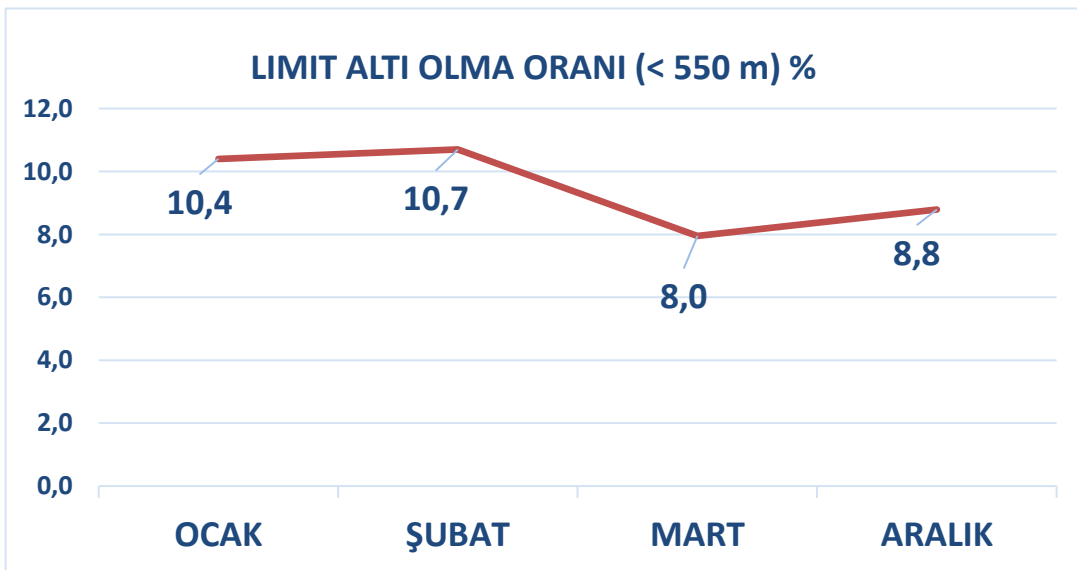
3.1. Örnek Meydan 1: Odesa Havalimanı

Odesa Havalimanı için yayınlanan istatistikî verilerden yola çıkarak Ocak, Şubat, Mart ve Aralık aylarına ait ortalama sefer sayıları ve görüşün CATI minimumu olan 550 metrenin altına düşme oranı hesaplanmıştır. Buna göre söz konusu dört ay boyunca görüşün düşme oranı yaklaşık % 9-10 civarında olup ilgili aylara göre çok fazla değişmemektedir. Bu oran havacılık sektöründeki özel koşullar göz önüne alındığında ciddi bir maliyet artış riskine işaret etmektedir. Yapılan hesaplamaların sonuçlarına ait sayısal verilerin özeti Tablo 3.1.1 ve Grafik 3.1.1'de görülmektedir.

Tablo 3.1.1: Günlük uçuş sayısı ve düşük görüş oranı

ODESA HAVALİMANI	GÜNLÜK ORTALAMA SEFER SAYISI	LIMIT ALTI OLMA ORANI (< 550 m) %
OCAK	15	10,4
ŞUBAT	16	10,7
MART	16	8,0
ARALIK	20	8,8

Grafik 3.1.1: Aylara göre düşük görüş oranları



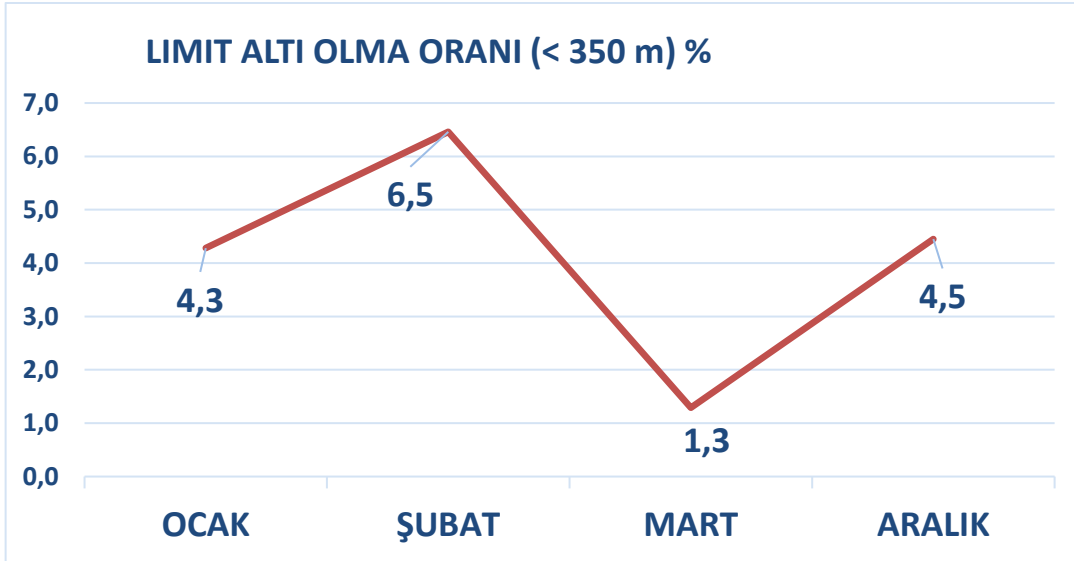
3.2. Örnek Meydan 2: Bişkek Havalimanı

Bişkek Havalimanı için yayınlanan verilerden yola çıkarak Ocak, Şubat, Mart ve Aralık aylarına ait ortalama sefer sayıları ve görüşün CATII minimumu olan 350 metrenin altına düşme oranı hesaplanmıştır. Buna göre söz konusu dört ay boyunca görüşün düşme oranı yaklaşık % 4-5 civarında olup ilgili aylara göre çok fazla değişmemektedir. Bu oran ILS kurulumuna etki eden diğer faktörlerle beraber değerlendirilip kategori yükseltmenin maliyetlere nasıl yansıtacağı belirlenebilir. Yapılan hesaplamaların sonuçlarına ait sayısal verilerin özeti Tablo 3.2.1 ve Grafik 3.2.1'de görülmektedir.

Tablo 3.2.1: Günlük uçuş sayısı ve düşük görüş oranı

BİŞKEK HAVALİMANI	GÜNLÜK ORTALAMA SEFER SAYISI	LIMIT ALTI OLMA ORANI (< 350 m) %
OCAK	19	4,3
ŞUBAT	17	6,5
MART	18	1,3
ARALIK	16	4,5

Grafik 3.2.1: Aylara göre düşük görüş oranları



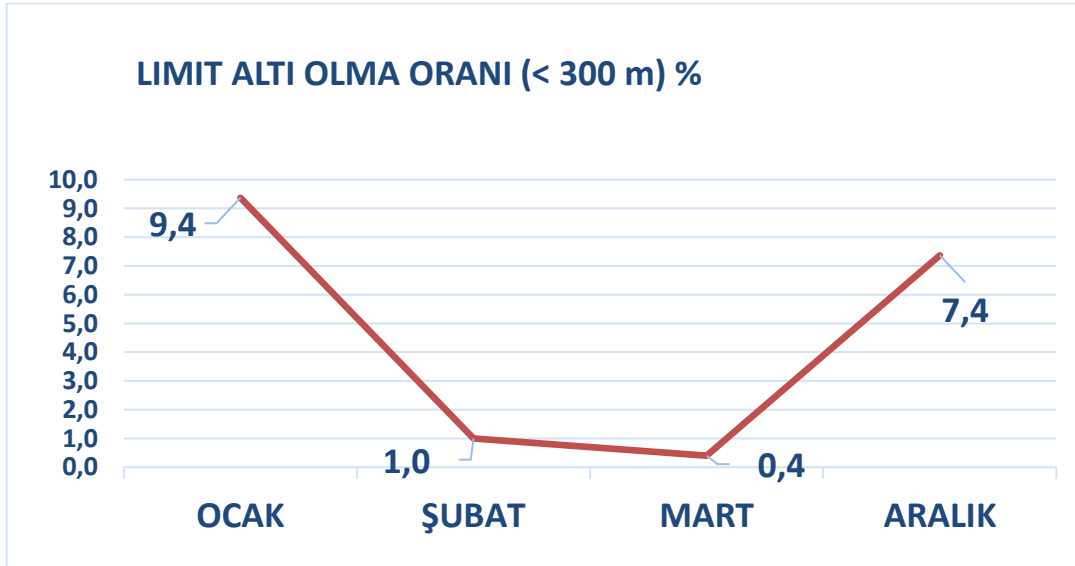
3.3. Örnek Meydan 3: Priştine Havalimanı

Priştine Havalimanı için yayınlanan istatistiksel verilerden yola çıkarak Ocak, Şubat, Mart ve Aralık aylarına ait ortalama sefer sayıları ve görüşün CATII minimumu olan 300 metrenin altına düşme oranı hesaplanmıştır. Buna göre söz konusu dört ay boyunca görüşün düşme oranı yaklaşık % 4-5 civarında olmasına karşın, Ocak ve Aralık aylarındaki oran ise % 8-9 olarak hesaplanmaktadır. Şubat ve Mart ayları için ihmal edilebilir görünen düşük görüş oranı Aralık ve Ocak aylarında ciddi bir maliyet artış riskine işaret etmektedir. Yapılan hesaplamaların sonuçlarına ait sayısal verilerin özeti Tablo 3.3.1 ve Grafik 3.3.1’de görülmektedir.

Tablo 3.3.1: Günlük uçuş sayısı ve düşük görüş oranı

PİRİŞTİNE HAVALİMANI	GÜNLÜK ORTALAMA SEFER SAYISI	LIMIT ALTI OLMA ORANI (< 300 m) %
OCAK	22	9,4
ŞUBAT	20	1,0
MART	20	0,4
ARALIK	21	7,4

Grafik 3.3.1: Aylara göre düşük görüş oranları



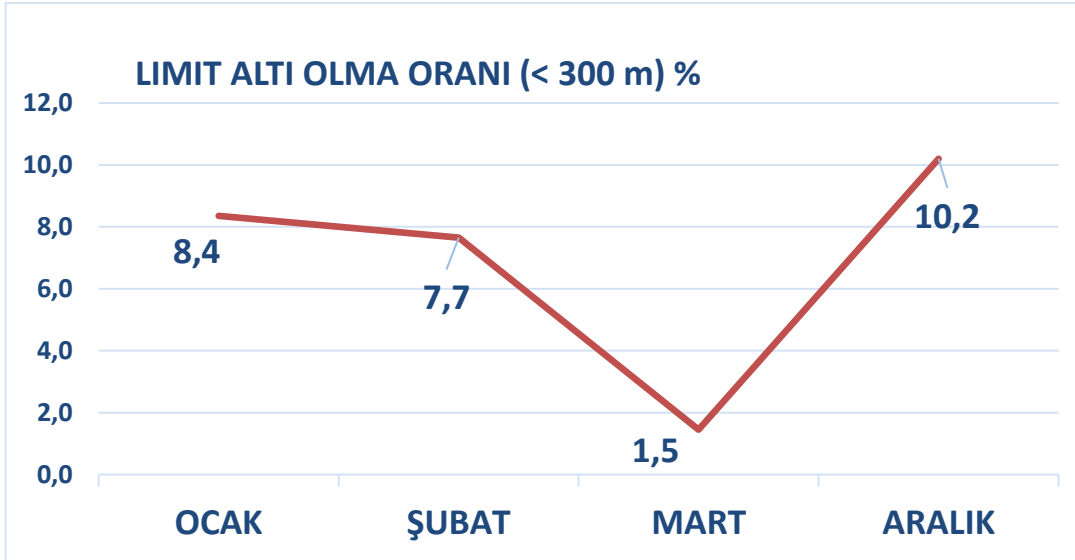
3.4. Örnek Meydan 4: Rostov Havalimanı

Rostov Havalimanı için yayınlanan istatistikî verilerden yola çıkarak Ocak, Şubat, Mart ve Aralık aylarına ait ortalama sefer sayıları ve görüşün CATII minimumu olan 300 metrenin altına düşme oranı hesaplanmıştır. Buna göre söz konusu dört ay boyunca görüşün düşme oranı yaklaşık % 8-9 civarında olup ilgili aylara göre çok fazla değişmemektedir. Mart ayı için ortaya çıkan oran düşük olsa da diğer üç ayın oranı havacılık sektöründeki özel koşullar araştırıldığında ciddi bir maliyet artış riskine işaret etmektedir. Yapılan hesaplamaların sonuçlarına ait sayısal verilerin özeti Tablo 3.4.1 ve Grafik 3.4.1’de görülmektedir.

Tablo 3.4.1: Günlük uçuş sayısı ve düşük görüş oranı

ROSTOV HAVALİMANI	GÜNLÜK ORTALAMA SEFER SAYISI	LIMIT ALTI OLMA ORANI (< 300 m) %
OCAK	27	8,4
ŞUBAT	24	7,7
MART	25	1,5
ARALIK	24	10,2

Grafik 3.4.1: Aylara göre düşük görüş oranları



Herhangi bir havalimanına ILS (Instrument Landing System) uygulaması yapılmasını etkileyen birden çok etmen vardır. İlk olarak kurulumun yapılması planlanan havalimanının ICAO/Annex 14 de belirtilen şartlar doğrultusunda CATI, CATII ve CATIII a/b/c operasyonu için uygun olup olmadığı kontrol edilmelidir. Meydanın coğrafi konumuna bağlı olan hava durumunun karakteristik özelliklerini belirlemek amacıyla, uzun yıllar boyunca gerçekleşmiş görüş değerleri kontrol edilerek havalimanının operasyonel işletme kategorisi (CAT I/II/III/IIIa/IIIb/IIIc) tespit edilmelidir. İlgili havalimanı için maniaların (doğal ve yapay yükseltiler) belirlenmesi ve bu yükseltilerin uygulanması planlanan operasyon kategorisi için uygun olup olmadığının teyit edilmesi ILS kurulumu için bir diğer önemli etmenlerden biridir. Maniaların uygun olduğu da teyit edildiğinde yaklaşma usulü oluşturulabilirse ILS teçhizatı istenilen kategoriye getirilebilir.

ILS cihazı çevresel faktörler ve arazi yapısına bağlı olarak çalışan bir teçhizat olduğundan Annex 10'da boyutları bulunan hassas bölgelere gerek duymaktadır. Bu sahaların yerleşim yeri yapılaşması veya sabit ve hareketli manialarla ihlal edilmemesi gerekmektedir. ILS cihazı bedeli ortalama 650.000 Amerikan doları civarındadır. Fakat kurulumun yapılacağı meydanın coğrafi yapısına göre kazı, dolgu gibi hafriyat maliyetleri değişecek olup bu da toplam maliyeti önemli ölçüde etkileyebilmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada ILS'in nitelikleri ve önemi anlatılmış olup ILS kategorisinin düşük olmasına bağlı olarak belirlenen zamanlarda uçuşlarda yaşanan gecikme/iptallerin oranı dört örnek meydan üzerinden ortaya konarak bunun maliyet üzerindeki etkisine dikkat çekilmiştir. Geçmiş beş yılı kapsayan istatistik verilerine dayalı olarak gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda % 4-5'ten % 10 seviyesine kadar ulaşan düşük görüş değerlerine bağlı olarak gerçekleştirilemeyen çok sayıda sefer bulunmaktadır. 2014 yılı Avrupa havayolları maliyet raporuna göre bir uçağın gecikme maliyetinin dakikada ortalama 100 € olduğu göz önüne alındığında düşük görüşe bağlı olarak gerçekleştirilemeyen seferlerin oldukça büyük maliyetlere yol açtığı söylenebilir. Üstelik bu maliyetler yalnızca havayolları için değil aynı zamanda meydan işletmeleri ve dolaylı olarak bu durumdan etkilenen diğer paydaşlar için de geçerlidir.

Öte yandan en yüksek kategori olan CAT IIIc sınıfı görüşte bile iniş sağlıyor olsa da coğrafi, mali ve teknik kısıtlar yüzünden günümüzde az sayıda yerde kullanılmaktadır. Bu sebeple düşük kategorili tüm meydanlara CAT IIIb kurulumu yapılsa bile iniş riskleri veya iptal/gecikme maliyetler sifıra inmeyecektir. Bu çalışmada amaçlanan, düşük kategorili örnek meydanlardaki düşük görüş oranını ortaya koyarak, geciken seferlerin miktarına ve bunların maliyetine dikkat çekmektir. Söz konusu meydanlar için ILS kurulumunu etkileyen diğer faktörler de göz önüne alınıp kurulumun maliyeti ile mevcut maliyetler karşılaştırılarak uygun koşullar tespit edildiğinde kurulumun yapılması makul olacaktır.

Kaynakça

- Annex 6, (2010). International Civil Aviation Organization (ICAO).
Annex 10, (2001). Volume II, International Civil Aviation Organization (ICAO).
Annex 14, (2009). International Civil Aviation Organization (ICAO).
Beköz, Ü., ve Çakmaklı, S.S., (2014). Temel Uçuş Teorisi, 1.Baskı, Kaynak Ofset, İzmir.
European Airline Delay Cost Reference Values, (2015). University of Westminster, Version 4.1.
Radio Navigation, (2008). Oxford Aviation Academy (UK) Limited.
Radio Navigation, (2004). Jeppesen Sanderson Inc.,
Seyrüsefer, (2008). THY A. O., Uçuş Eğitim Akademi Müdürlüğü.



Determination of Greenhouse Potential in Siirt Province and Districts by Using GIS and Recommendations to Producers

Burak Saltuk^{1*}

* Department of Biosystem Engineering, University of Siirt, Turkey (ORCID: 0000-0001-8673-9372)

(İlk Geliş Tarihi 12 Şubat 2019 ve Kabul Tarihi 6 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.526157)

ATIF/REFERENCE: Saltuk, B. (2019). Determination of Greenhouse Potential in Siirt Province and Districts by Using GIS and Recommendations to Producers *European Journal of Science and Technology*, (15), 343-350.

Abstract

The main source of income is livestock, and the most cultivated plant is pistachio (*Pistacia vera*) for agricultural purposes in Siirt and districts. Dry agriculture is practiced due to lackness of water sources and rainfall in the province. This limits the possibilities of generating income. The province is not sufficient in terms of agricultural production and migration from rural to other provinces is seen as a big social problem. In order to prevent this problem, agricultural supports have been increased and projects have been supported by government. However, greenhouse cultivation has not been adopted well enough in the region due to the fact that the climatic conditions are not perfectly suitable and the appropriate locations are not selected in the projects. In this study, appropriate location analyzes for greenhouses (climate and topography) were mapped with the geographical information system. In this way, it is aimed to increase the existing potential of the greenhouses of the province. An analysis was performed on open source QuantumGIS software during the study. The bioclimatic raster data set containing the climate data for the are were obtained from the World climate database. These sets, which contain temperature and precipitation data, are resolution 30 arc-seconds 1 km². After the formation of raster maps containing temperature and rainfall values for the region, the climatic data are separated into three categories as suitable, partly suitable and unsuitable classes. In order to determine suitable areas, climate and structural features required for the greenhouse were obtained from the literature and the raster analysis was made. According to the results of the study, City center, Kurtalan, and Baykan were considered partially suitable for greenhouse cultivation and other districts were not suitable. However, due to the snow and wind loads that may occur in these districts, It has been found that greenhouses need to be constructed with structurally reinforced profiles and alternative energy sources are necessary for heating greenhouses. With the maps created by QuantumGIS, the areas that are currently being used for greenhouses are overlapping with results. In addition, according to the results of this study, structural and practical recommendations were made for the producers in the region.

Keywords: Siirt, Greenhouse, Geographical Information Systems (GIS), Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)

Siirt İli ve İlçelerindeki Seracılık Potansiyelin CBS Kullanılarak Belirlenmesi ve Üreticilere Öneriler

Öz

Siirt ili ve ilçelerinde temel geçim kaynağı hayvancılık olup, bitkisel üretimde en fazla Antep fıstığı (*Pistacia vera*) yetiştiriciliği yapılmaktadır. İldeki su kaynakları ve yağış yetersizliği nedeniyle kuru tarım yapılmaktadır. Bu durum gelir olanaklarını sınırlamaktadır. İlin gerek tarımsal açıdan yeter düzeyde olmaması gerekse kırsaldan diğer illere göçü büyük bir sosyal sorun olarak görülmektedir. Bu problemi önlemek için bitkisel üretimde tarımsal destekler artırılmış, projeler hükümet tarafından desteklenmiştir. Ancak seracılığın yaygınlaştırılması için yapılan projelerde gerek iklim koşullarının dikkate alınmaması gerekse uygun lokasyonlar seçilmemesinden kaynaklı seracılık yörede benimsetilememiştir. Bu çalışmada, seracılığın Siirt ili ve ilçelerinde yapılması durumunda uygun lokasyon analizlerinin (İklim ve topografya) Coğrafi bilgi sistemi ile haritalanması yapılmıştır. Bu sayede ilin mevcut potansiyelinin artırılması amaçlanmaktadır. Çalışma analizleri açık kaynak kodlu QuantumGIS yazılımı ile yapılmıştır. İklim verilerini içeren raster veri seti Worldclimate veri tabanından elde edilmiştir. Sıcaklık ve yağış verilerini içeren bu setler 1km² çözünürlüktedir (30 saniye). Bölge için sıcaklık ve yağış değerleri içeren raster haritaların oluşturulmasından sonra, iklim verileri uygun, kısmen uygun ve uygun olmayan sınıflar olarak üç kategoriye ayrılmıştır. Uygun alanların belirlenmek için, serada ihtiyaç duyulan iklim ve yapısal özellikler literatürden

¹ Corresponding author: Department of Biosystem Engineering, University of Siirt, Turkey (ORCID: 0000-0001-8673-9372) bsaltuk@siirt.edu.tr
<http://dergipark.gov.tr/ejosat>

elde edilmiş ve raster analizi yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre Merkez, Kurtalan ve Baykan ilçesi seracılık için kısmen uygun görülmekte olup, diğer ilçeler uygun görülmemektedir. Ancak bu ilçelerde de oluşabilecek kar ve rüzgar yüküne karşılık seraların yapısal olarak güçlendirilmiş profiller ile yapılması ayrıca seraların ısıtılması için alternatif enerji kaynaklarının gerekli olduğu ortaya çıkmıştır. Şu anda seralar için kullanılan alanlar QuantumGIS ile oluşturulan haritalardaki sonuçlarla örtüşmektedir. Ayrıca, bu çalışmanın sonuçlarına göre bölgedeki üreticiler için yapısal ve pratik önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Siirt, Seracılık, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA)

1. Introduction

The applications that the climate conditions are kept under control and the production can be carried out all year is called greenhouse cultivation. Greenhouses can be used to produce plants, seeds, seedlings, to protect plants by controlling factors such as temperature, light, and humidity without being totally or partially dependent on climate-related environmental conditions. It is a plant production structure made with different shapes (Öneş, 1986; Yağanoğlu and Örüng, 1997; Yüksel, 2000).

Greenhouse production in Turkey consists of mainly plastic covered structures. As of 2011, the total greenhouse area has reached 60000 hectares, 32000 hectares of which are defined as high tunnel systems. Modern greenhouse cultivation, which has been developing rapidly with the introduction of big investor groups in the sector, has shown a great improvement in the last decade and has reached 1000 ha levels. Approximately 150-200 ha of land is added each year. Nowadays, 3% of the greenhouse areas are modern greenhouses. This rate is expected to reach 15% in the next ten years (Eker, 2012).

In order to meet the future food needs of the countries by taking into consideration the population growth, it is necessary to make the existing agricultural production cheaper and more efficient. Today, the profitability of agricultural production decreases due to the inability to increase the agricultural areas, the shrinkage of the lands, the increase on the use of agricultural land and the decrease in the quantity and quality of the products taken from the unit area. Therefore, the importance of increasing the profitability of the unit area increases day by day. The realization of crop production under controlled conditions is one of the applications that increase the efficiency and profitability taken from the unit area (Filiz and Coşkun, 1996).

While greenhouse production was made in 51 provinces in Turkey in 2011, it has reached 70 provinces in 2014. The increase rate in the last 4 years (72%) is above 15% which is the average annual growth rate (Doğaka, 2015).

In Turkey, greenhouses are established 87% in the Mediterranean Region, and 0.1% in the Southeastern Anatolia Region. In particular, with the implementation of the GAP project, it is inevitable that the welfare level of the people in the region will increase with the use of the highest solar energy potential in greenhouse cultivation in the region where irrigated agriculture is underway. In the Karaali geothermal region, which is 45 km away from Şanlıurfa in the GAP center, the largest single piece (45 decares) greenhouses in our country have been established by showing a successful working example in Turkey with 42-48°C temperature, 118 lt / sec flow, and 4.5 MW thermal potential. The first products were obtained in 1997 from the first established greenhouses in this area. Nowadays, vegetable and ornamental plants are produced in the greenhouses established in this geothermal area and the region needs are met and exported to many countries (Anonymous, 2010).

Small scale greenhouses have been built to many farmers in our region with the contributions provided by the GAP Regional Development Administration and other institutions in the previous years. But due to the lack of education and implementation, the yields on this issue have not been supported in the following years since there is not yield from these greenhouses.

It was carried out greenhouse activities in 65 (da) decares in Siirt (Kurtalan, Baykan, Eruh), which is 25 (da) with soil and 5 (da) in the village of Kılıçlı. In our greenhouses, two times crops are grown annually. Preferably, tomatoes and cucumbers produced from these greenhouses are under the income of the desired income. Furthermore, since 2009, the GAP Administration has requested them to aid the design of the Integrated Rural Development Umbrella Program in the GAP Region, predicted from GAP Action Plan (Anonymous, 2017).

Heating systems are applied in greenhouses built in recent years in Turkey. Heating in greenhouses increases product yield, quality, and quantity. Especially in greenhouses heated in the Mediterranean coastline, two-fold productivity can be increased. However, the need for heat energy increases in greenhouses where heat protection measures are not taken and an average of 100 kWh.m⁻²day⁻¹ heat energy is needed depending on the climate values of the region during the production period. Increased energy costs cause the producer to discuss the profitability of heating. For this reason, it has been determined that energy conservation in greenhouses, as well as heating in greenhouses, is important in terms of profitability and energy efficiency (Baytorun and Gügercin, 2015).

In Kırşehir province, the use of double layer instead of single layer cover material in greenhouse sidewalls and good installation of heat curtains are reported to be very important in increasing the amount of energy saved. Therefore, the use of heat curtains in greenhouses in Siirt province and the shortening of ventilation times may also be effective in decreasing production costs by using low double layer PE or polycarbonate cover materials instead of single layer PE (Boyacı, 2018).

The ability to make a greenhouse is directly proportional to economic gain. In a study conducted by Boyacı et al., 2016, the greenhouse agricultural potential of Kırşehir province has been investigated considering the climatic data, geographical location and agricultural structure of the city for many years. When the long-term climate data of Kırşehir province between 1960 and 2015 are examined in terms of greenhouse agriculture, it has been determined that the temperature increases, and the relative humidity tend to decrease. Accordingly, when the average annual temperature is low, the number of frost days is higher than the heating costs in Kırşehir province, it was revealed that the use of greenhouse cultivation was not considered to be economical in that time (Boyacı et al., 2016).

In this study, meteorological information system (MEVBIS) and daily minimum temperatures, soil structure, altitude, wind direction and velocity values of Siirt were obtained and mapping was done by entering the data in layers in QuantumGIS database in the GIS system. The results obtained with Multi Criteria Decision Analysis and QuantumGIS were interpreted in order to reveal the potential of greenhouse cultivation in the Siirt region.

2. Material and Method

2.1. Material

The research material is greenhouses with different roof types, covering materials, structural features and bearing systems in the province of Siirt and its sub-districts in the southeastern region (Figure 1). These greenhouses are plastic covered greenhouses with spring roofs in terms of roof type and covering material. The locations where the greenhouses are located are completely determined by the experience and they are built based on existing options and without considering the scientific preferences. The use of greenhouses in suitable climatic locations is beneficial in terms of cost and durability.

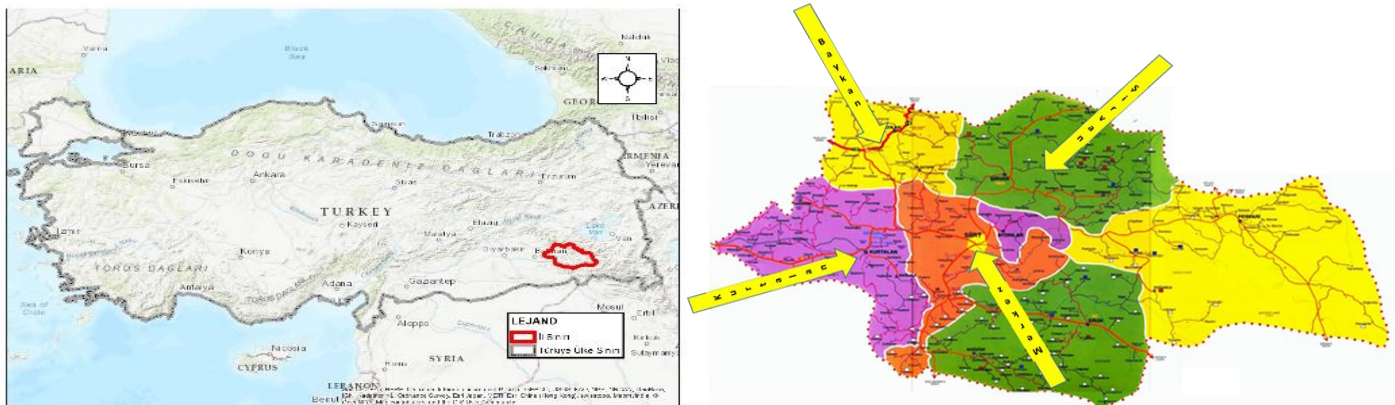


Figure 1. Maps showing the area of study

2.1.1. Climatic Situation in Siirt

According to the data of Siirt province between 1991-2017 years; average temperature 16,21 °C, monthly average maximum temperature 21,8 °C, monthly average minimum temperature 11,1 °C, total rainfall average 677,8 mm, monthly total sunshine average 228 hours, monthly average wind speed 1,595 msn⁻¹. The monthly average maximum temperature was 40.8 °C in June 2000 and the highest monthly average temperature was -4.7 °C and the lowest value in January 1983 (Anonymous, 2018).

2.2. Method

In our study, spatial analysis was made with QuantumGIS using Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) in the Siirt region. 41 greenhouses were selected in 3 locations (Kurtalan, Baykan, and Merkez) in the province of Siirt. Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) is a solution applied when multiple criteria should be considered together. The basic method of solving the problem is to divide the problem into small, simple and comprehensible pieces so that a meaningful result can be obtained from these parts. The MCDA includes the definition of the problem, the selection criteria and the stages of determining the eligibility of these criteria (Malczewski, 1999). The MCDA is a process that must be chosen from among many criteria with a pre-selection that varies according to the decision-maker. The result is obtained by the weights given to the criteria, and these criteria may have different weights according to the decision maker, so the accuracy of the criteria criterion can be tested (Özturk and Batuk, 2007). GIS has been developed as a tool for making all types of land use planning. Multifunctional applications of GIS make it possible to analyze spatial data, to combine and store the information obtained from these analyses. The GIS helps to decide on the processing and distribution of agricultural land and can be used for administrative purposes (Sönmez, and Sarı, 2004).

The study was conducted based on the basic criteria that are effective in the selection of greenhouse sites from the literature and the mapping by QuantumGIS and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA). For this purpose, slope, maximum, minimum temperature,

precipitation and wind speed values were chosen as the study subject. For the creation of the inclination map, the maps of the ASTER GTOPO 30 DEM (Digital Elevation Model) have been obtained (30 arc-seconds 1 km²). from this map, the border area of Siirt masked by cutting the area to be processed by cutting the DEM map for the province of Siirt, the obtained Siirt DEM map, raster analysis to be carried out from the geographical projection on the metric projection has been re-coordinated a new layer has been made and the percentage has been subjected to slope analysis. The values obtained as a result of the slope map are subjected to the reclassification process, and the slope is divided into three classes as appropriate, partially suitable and unsuitable areas. It has been obtained from the MEVBIS (Meteorology Information System) system which includes climate data (maximum temperature, minimum temperature, precipitation) for many years and from Worldclimate internet source as a raster data set. Temperature and precipitation data are 1 km². After the factors mentioned in Table 1 were prepared, they were subjected to analyzes by taking a layer. After the formation of raster maps containing temperature and rainfall values for the Siirt region, it is divided into three categories: re-classification, climate data suitable, partially suitable and unsuitable classes. For rainfall, 600-800 mm is suitable, 400-599 mm is partially suitable, and 100-399 mm is not suitable. In the coldest months, the lowest air temperature is determined as 5-12 °C suitable, 0-4.9 °C is partially suitable and -1-5 °C is not suitable. For the highest temperature in the hottest months, 18-22 °C is suitable, 22-30 °C is partially suitable, and 31-45 °C is determined as unsuitable classes. In order to implement multi-criteria decision making, the above-mentioned data layers are formed by following the steps described. In the last stage; The trapping analyzes were carried out by multiplying the raster with each other, and by using this method, the trapping analysis was carried out with the matrix method and the greenhouse conformity maps (30m x 30m) were prepared for Siirt province. In this study, it is aimed to determine the potential areas of Siirt province and its districts for greenhouse construction. In this context, the climate (maximum temperature of the warmest month, the minimum temperature of the coldest month and the annual rainfall, wind direction and speed), topographic characteristics (height, slope, height) and land data were used (Table 1). These data are the main material of the study and are stratified in QuantumGIS environment and a Multi-Criteria Decision Analysis was performed. In addition, it is aimed to remind producers of the importance of greenhouse for the region and increase the greenhouse potential of the basin.

Table 1. Resources used in the study.

Factor Name (Parameters)	Description	Source
Slope	The slope in degrees obtained from altitude (%)	Derived from GTOPO30
BIO5	Max temperature of the warmest month (°C)	www.worldclim.org/current
BIO6	Min temperature of coldest month (°C)	www.worldclim.org/current
BIO12	Annual precipitation (mm)	www.worldclim.org/current
Wind	Wind speed (ms ⁻¹)	worldwindatlas.com

3. Results and Discussion

3.1. Current Situation of Greenhouse Enterprises in Study Area

When the greenhouses in our region are examined in terms of their locations and session areas, it is seen that the greenhouse areas per enterprise decrease in the provincial centers, whereas it increases in the Kurtalan district and neighborhoods. In cases where the outside temperature values fall below 0-12 ° C in order to obtain high-quality high yields from greenhouses, natural ventilation at 12-22 ° C, continuous ventilation at 22-27 ° C and/or cooling and cooling above 27 ° C. greenhouse production should not be made (Zabeltitz, 2011). Located in the Tigris Basin of Southeastern Anatolia Region, Siirt province shows terrestrial and arid climate characteristics. When the average temperature and daily total radiation values of these two cities with different geographical characteristics are examined, the districts of the central and Baykan districts of Siirt (Central and Baykan) show the heating need for six months in November due to average temperature values below 10 ° C in November-April period. In the district of Garzan Kozluk, the need for heating in the greenhouse in the Garzan Kozluk basin will take place in December-January-February in the three months of the year, and in the spring production season of the 3-month heating period. Even though natural ventilation and shading materials are used in July and August, it is seen that production cannot continue. The study area is drawn in 3 different colors for convenience. The first of these areas is green (●) (suitable), second of these is yellow (●) (partly suitable) and third of these is red (●) (not suitable) In the research area, only 7% of the research area is considered suitable for greenhouse cultivation, 44% partly suitable and 51% unsuitable areas. The maximum temperature of the hottest months and the minimum temperature values of the coldest months are taken into consideration, the map is given in 300 dpi resolution. However, choosing a greenhouse location according to this value will result in a rather erroneous result (Figure 2). The areas designated as suitable for greenhouse are considered as unused areas. In the green area, only 9% of the villages in the central and southern villages were eligible, 27% were partially eligible, and 64% were unsuitable (Figure 3). The greenhouse cultivation is currently carried out in these areas and the selection of the place where the

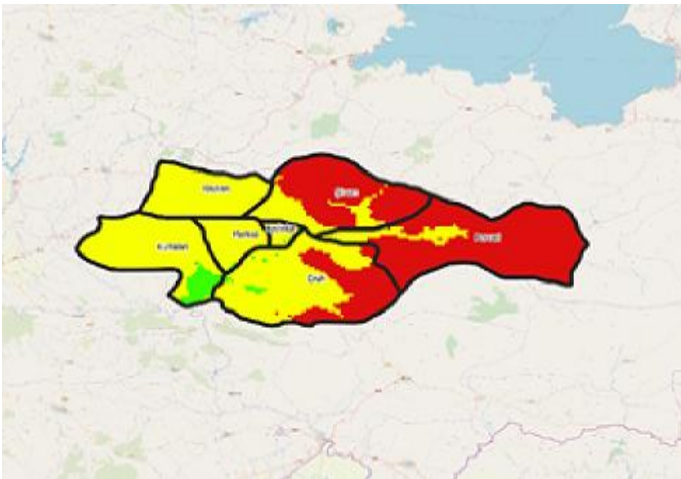


Figure 2. Suitability of temperature only of the study area on Qgis analysis.

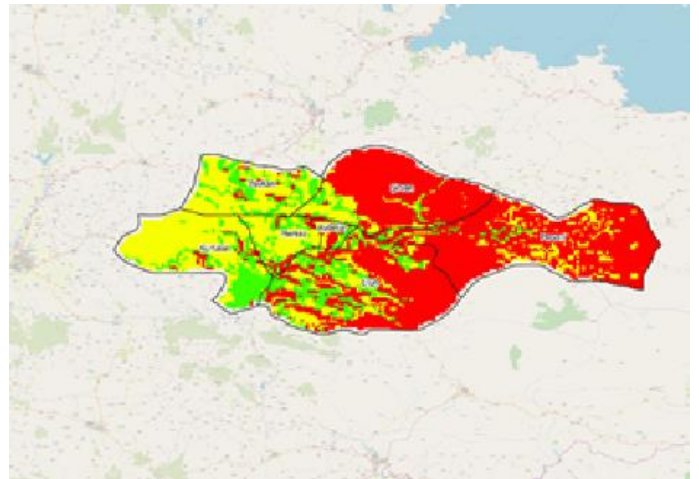


Figure 3. Suitability of slope only of the study area on Qgis analysis.

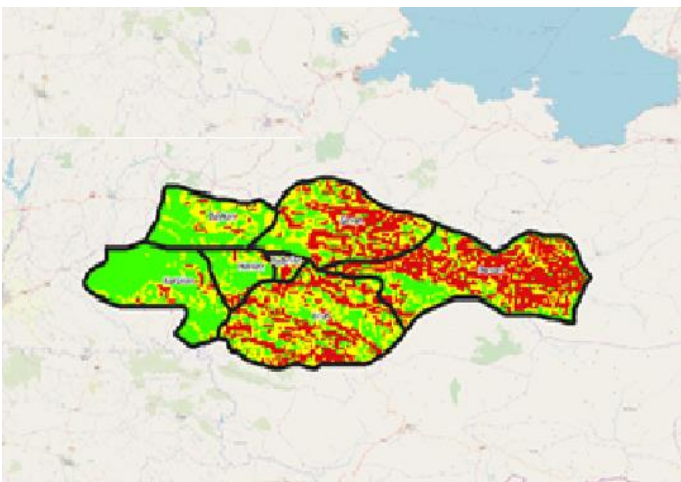


Figure 4. Suitability of wind speed of study area on Qgis analysis.

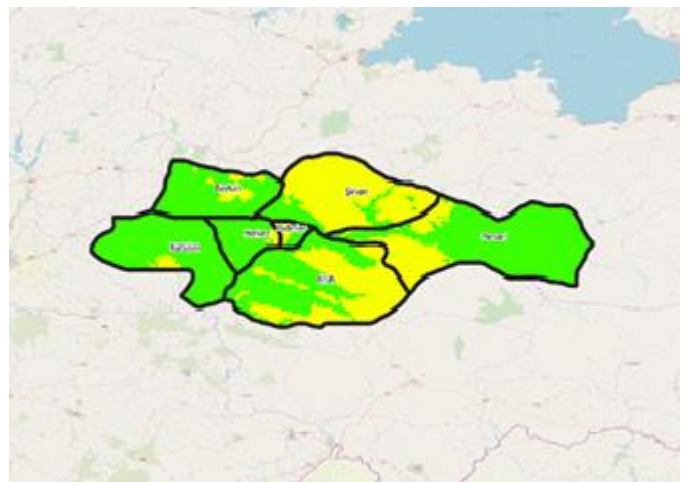


Figure 5. Suitability of annual precipitation only of the study area on Qgis analysis.

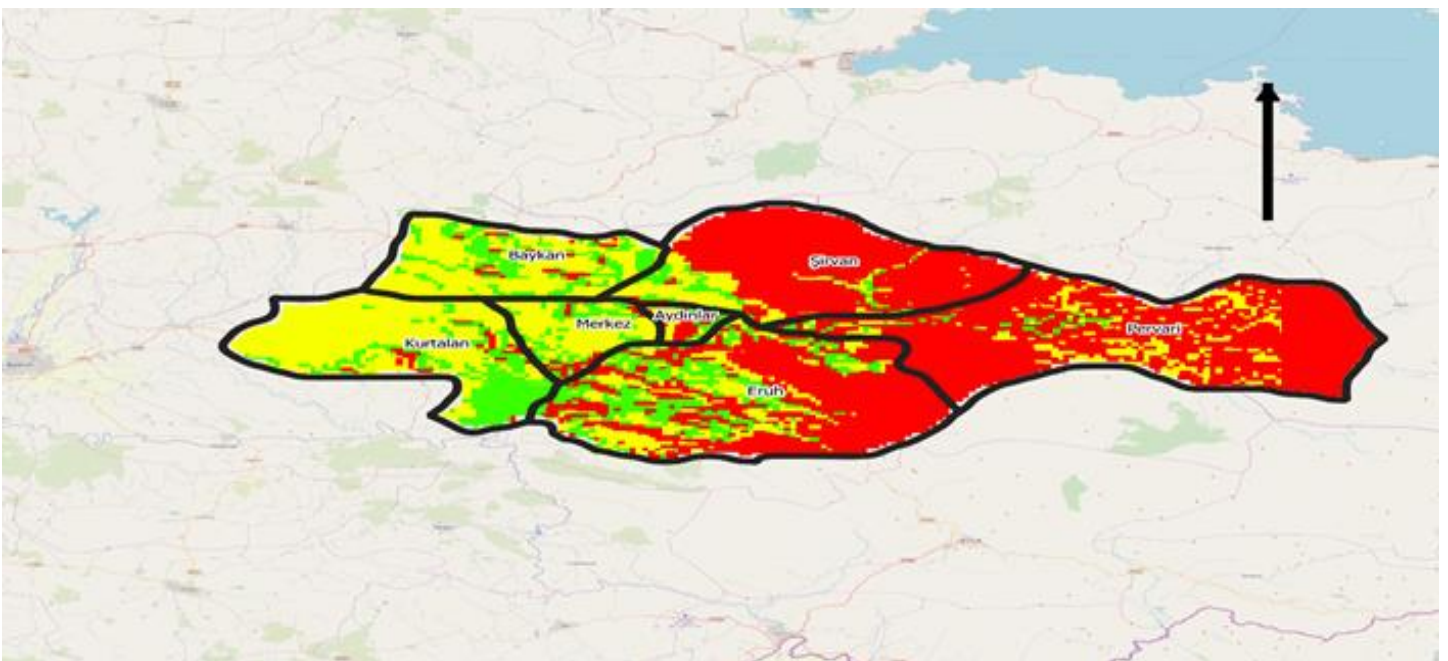


Figure 6. All factors analyzed with MCDA via Raster analysis in Qgis.

producers have made with the experience confirms our work. If the inclination is taken as the only factor, it is seen that the temperature and wind speed areas are the same as the current situation (Figure 4). Erüh district which has harsh climatic conditions has been suitable in this context and in Erüh district there is 400 m² greenhouse for experimental purposes only and producers are quite far from this subject. This district has the potential to be partly suitable for greenhouse cultivation, because of its satisfactory values in terms of the duration of the sun and low slope and low wind speed. It is thought that the greenhouse to be constructed by using photovoltaic energy in the Erüh district may have a positive effect on the economic balances of the region (Figure 5).

The evaluation of the components for greenhouse location alone does not give accurate results and the importance of obtaining results by evaluating together in other factors emerges.

In this study where the climatic and topographical values of Siirt districts and villages are evaluated, 11% of the map obtained by overlapping all the factors together is appropriate, 32% is partially suitable for greenhouse cultivation and 57% is inappropriate. (Figure 6). Natural heating or ventilation conditions were evaluated in the study. However, it is possible to make a greenhouse with appropriate regulations, but the economy will be the biggest problem. However, if it is possible to make possible these investments, greenhouse cultivation is very beneficial in terms of income generating business and social support.

In the present case, according to the meteorological measurements made inside and outside of the greenhouse with 11502 m² area covered by Polyethylene (PE) in Kılıçlı locality in the Central District of Siirt Province; In October, the temperatures in the greenhouse reach up to 40 ° C at noon, in which case the ventilation system is activated. In addition, the values of humidity at noon are low in the outdoor environment due to the indoor ventilation. In October, the lowest temperature value was 12 ° C on 31 October 03.35. During this period, it was realized as 15-25 ° C reference value for cucumber plant. During the month the total temperature for 4 days decreased by 12-14 ° C. The period did not last long and there was no damage to the plants. In the spring production season of the 3 months heating period during the autumn production period of Siirt province, production is terminated as of June. In July and August, it is seen that even if natural ventilation and shading materials are used, production cannot continue. In the first two weeks of October and the first two weeks of October, temperatures in the province of Siirt decreased from 12 ° C to 6 ° C over a period of four weeks, and temperatures continued to decline in the upcoming period (Saltuk et al., 2018). This study confirms the compliance map we have made.

As a result of the observations and interviews conducted in the field of research, the results are; since local producers have to increase their initial investment costs, they avoid making a greenhouse project and perform their production in very simple structures, making use of the existing ecological conditions, resulting in significant losses in yield and quality. cultivation was carried out as single crop and double crop period (spring and autumn); while 73,6% prefer double crop production; 26.4% prefer single crop production. Spring and autumn cultivation (double crop) are preferred due to low heating costs compared to single crop cultivation. In addition, since single crop cultivation also covers the cold period in winter, the costs of struggle against heating and diseases reach very high values, and that double crop cultivation does not cover the cold periods of winter, therefore heating costs are lower than in single crop cultivation. The producers in Kurtalan are based on their economic status, the current status of their land, the topographical and ecological characteristics of the greenhouse location and the quality of the workmanship in greenhouse production. The fact that enterprises cannot be effective in marketing their products and price formation cause the enterprises not to develop due to the decrease in yield and quality. This leads to a decrease in income and the family's inclination towards non-greenhouse activities. It was determined that the producers in the district of Kurtalan, Baykan were dependent on the existing land and financial opportunities in the dimensioning of the greenhouses in the research area. For this reason, the greenhouse areas remain small and the income from greenhouses is not enough for the families. Local people see greenhouses as covered areas rather than modern production structures. In areas where partially suitable for greenhouse cultivation (Baykan, Merkez), in order to prevent greenhouse demolitions that cause property losses, the smallest sections that can provide the required strength in planning and the largest openings to allow mechanization should be determined. For this purpose, healthy projects are needed. Type projects can be prepared by the Ministry of Agriculture and Forests to be used for the elimination of the problem. The implementation of the projects can be audited by public institutions. Thus, property losses can be minimized.

4. Conclusion

Estimating the indoor temperature values of greenhouses can prevent economic losses for producers. Especially during the seedling period, the temperature sensitivity of the plants is high. There are greenhouses in the central, Baykan and Kurtalan districts of Siirt province, and other districts are not considered as suitable for greenhouse cultivation. The mentioned Kurtalan, Merkez and Baykan districts are partly suitable for cultivation of undergrowth, and in case of production, it is considered that it is appropriate to make cultivation in places that can benefit from alternative energy (geothermal) resources. It has been concluded that heating costs are lowered from alternative energies (photovoltaic systems, geothermal resources, heat exchangers, etc.) and suitable for climatic greenhouse cultivation. For greenhouses in Siirt, heating systems in greenhouses have to be operated from the 3rd week of November. Because it is very important to keep the temperature values in the greenhouse at constant degrees, the costs of the heating load will increase the cost of production. However, in the case of production in Siirt province, there will be a decrease in the production cost as it will be less than the transportation costs of the products mainly transported from the Mediterranean region. Active or passive heating systems must be used in full performance throughout the duration of flowering and fruiting. In this period, the neglect of heating with economic concern may cause damage to the plant and less or no product. In order to reduce the amount of heating load of the greenhouse, it is concluded that it can be installed close to the geothermal fields or it can convert the solar energy into electrical energy (Photovoltaic) systems and reduce the heating costs. In addition, the building curtains in the greenhouse will have an effect on heat conservation. In terms of aquaculture calendar of Siirt, different from the provinces with Mediterranean climate, it is thought that the production date for the

autumn production date is two weeks early, and that taking two weeks late in terms of spring cultivation can have a positive effect in terms of lowering the costs of heating in the greenhouse.

Recommendations to Producers in Siirt Province and districts;

- Ignoring engineering services in order to make the greenhouse cheaper means faults in the selection of material types and sections of materials for the structural systems of greenhouses are made. Even worse is the fact that local producers have built greenhouses without projectors. This situation may cause greenhouses to collapse and consequently large financial losses.
- Construction of inner columns with wooden or metal profiles in greenhouses for carrier purposes limits the mechanization of the greenhouse.
- Greenhouse systems with spring roofs are preferred in greenhouses in the region, which are more advantageous for easy installation and ease of use.
- The need for air outlet openings that provide ventilation and ventilation, which is undeniably important in terms of plant growth and disease protection, is not known to most manufacturers. Although Kurtalan, Merkez, and Baykan are the most developed regions in terms of greenhouse cultivation, it is not even possible to say that greenhouse mechanization is sufficiently developed.
- Agricultural engineers or technicians who have the knowledge and skills to follow the progress of the technology and carry them to the enterprises and follow up the plant development and take timely measures are not given the necessary places in the greenhouses.
- It should be ensured that applications such as heating, irrigation, fertilization, ventilation, and construction planning, which require technology in greenhouses and thus bring high plant costs, should be carried out with computers and current programs in automatic control. The use of technology will affect efficiency and quality positively.

References

- Anonymous, (2010). Karacadağ Development Agency TRC2 (Diyarbakır, Şanlıurfa) Renewable Energy Report http://eng.harran.edu.tr/~aktacir/Karacadag_Rapor_07032011.pdf (Turkish) Accessed date: 27.09.2018
- Anonymous, (2017). Siirt Directorate of Agriculture and Forestry Directorate of Plant Production Records (Turkish)
- Anonymous, (2018). General Directorate of Meteorology (MEVBIS) Climate data between in Siirt 1991-2017 (Turkish)
- Baytorun, A.N., Güğercin, Ö. (2015). Improving Energy Efficiency in Greenhouses. Cukurova University Journal of Faculty of Engineering and Architecture, 30 (2): 125-135. <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/211157> (Turkish) Accessed date: 05.11.2018
- Boyacı, S., Akyüz, A., Baytorun, A.N., Çaylı, A. (2016). Determination of the Agricultural Potential of Kırşehir Province in Nevşehir Journal of Science and Technology Volume 5 (2) 142-157 2016 DOI: 10.17100 / nevbiltek.284738 (Turkish)
- Boyacı S (2018) Determination of the Heat Requirement of Greenhouses for Kırşehir and Antalya Provinces and Comparison of Energy Sources Used in Heating. Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Agriculture and Nature 21 (6), 976-986. doi: 10.18016 / ksutarimdog.vi.464627 (Turkish)
- Doğaka, (2015). Eastern Mediterranean Development Agency TR63 Region Greenhouse (Coverage Plant Breeding) Sector Report 2015.pdf http://www.dogaka.gov.tr/Icerik/Dosya/www.dogaka.gov.tr_622_LK5L43WG_Seracilik-ortulti-Bitki-Yetistiriciligi-Sektor-Raporu-2015.pdf Accessed date:5.11.2018 (Turkish)
- Eker, M.M., (2012) Target in geothermal greenhouses, 30 thousand hectares. Geothermal Municipalities Magazine Number 6. s.5-14. http://jkbb.org.tr/User_Files/jkbb_dergi_6.pdf Accessed date: 11.02.2019 (Turkish)
- Filiz, M., Coşkun, M. (1996) Developing Technologies in Greenhouse Air Conditioner Regulation and Shading in Greenhouses. 6th International Congress on Agricultural Mechanisation and Energy. 2-6.9.1996 (Turkish) Ankara – Türkiye
- GTOPO, (2018). Global 30 Arc-Second Elevation Data (<https://lta.cr.usgs.gov/GTOPO30>) Accessed date:30.01.2019
- Malczewski, J., (1999), GIS and Multicriteria Decision Analysis, John Wiley & Sons, Inc., New York. <https://www.kisa.link/Lzv2> Accessed date: 11.02.2019
- Öneş, A., (1986). Greenhouses Building Technics Ankara University Faculty of Agriculture Publications, No:970, (Turkish) Ankara
- Öztürk, D. and Batuk, F., (2007) Criterion Weighting in Multicriteria Decision Making Journal of Engineering and Natural Sciences, Vol. 25 Issue 1 86-98 page 86-98 <http://www.ytusigmadergisi.com/pdfs/216.pdf> Accessed date: 11.02.2019 (Turkish)
- Saltuk, B., Aydın, Y., Mikail, N., (2018) Siirt University Scientific Research and Projects Unit (BAP) Siuzir 2017/18 Research Project Final Report Data (Turkish)
- Sönmez, N.K., Sarı, M., (2004). Basic Principles of Geographical Information Systems and Application Areas, BATEM, 21(1), 54-68.
- Yağanoğlu A.V. and Örüng İ. (1997). Developments in Greenhouse and Greenhouse Types (Turkish) 2. Greenhouses Symposium, 31 May-01 June 1997, Kütahya (Turkish)
- Yüksel, A.N. (2000). Greenhouses Building Technics. Hasad publications İstanbul (Turkish)
- Worldclim, (2018). Global Climate Data. (www.worldclim.org) Accessed date: 30.01.2019
- Zabeltitz, Chr.Von. (2011). Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates. Springer Verlag Berlin Heidelberg page 302 <https://www.kisa.link/LIZf> Accessed date: 1.11.2018.



Anisotropic Elastic and Lattice Dynamical Properties of Cr₂AB MAX Phases Compounds

İnanç Yılmaz¹, Ülkü Bayhan¹, Aysenur Gencer^{2,3}, Gokhan Surucu^{2,4,5*}

¹Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics, Burdur, Turkey

²Middle East Technical University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics, Ankara, Turkey

³Karamanoğlu Mehmetbey University, Kamil Özdağ Faculty of Science, Department of Physics, Karaman, Turkey (ORCID: 0000-0003-2574-3516)

⁴Ahi Evran University, Kaman Vocational School, Department of Electric and Energy, Kirsehir, Turkey

⁵Gazi University, Photonics Application and Research Center, Ankara, Turkey (ORCID: 0000-0002-3910-8575)

(First received 9 January 2019 and in final form 2 March 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.510707)

ATIF/REFERENCE: Yılmaz, İ., Bayhan, Ü., Gencer, A. & Surucu, G. (2019). Anisotropic Elastic and Lattice Dynamical Properties of Cr₂AB MAX Phases Compounds. . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 351-359.

Abstract

The structural, mechanical and lattice dynamical properties of the MAX Phase borides compounds Cr_2AB ($A = Al, P, Si$) have been investigated using the first principles calculations with the generalized gradient approximation (GGA) based on Density Functional Theory (DFT). The obtained negative formation energies of Cr_2AB indicate that these compounds are stable and could be synthesized. Some basic physical parameters such as lattice constants, elastic constants, bulk modulus, Shear modulus, Young's modulus, and Poisson's ratio have been calculated. Ionic character has been found for Cr_2AB compounds. Also, Cr_2AlB is a brittle material while Cr_2SiB and Cr_2PB are ductile materials. In addition, the elastic anisotropy has been visualized in detail by plotting the directional dependence of linear compressibility, Poisson ratio, Young's and Shear moduli. Furthermore, electronic band structures and corresponding partial density of states have been examined and it has been found that these compounds have metallic character. Moreover, the phonon dispersion curves as well as corresponding phonon partial density of states (PDOS) have been obtained. This study is the first investigation of the MAX Phase borides compounds Cr_2AB ($A = Al, P, Si$) and could lead to the future studies.

Keywords: MAX phases, borides, density functional theory, electronic properties, vibrational properties.

1. Introduction

Ionic, metallic and covalent bonding of the MAX phases with $M_{(n+1)}AX_n$ formula where $n=1,2$ and 3 , provide unmatched properties [1,2]. The crystal structure of the MAX phases is hexagonal where M atom is a transition metal, A atom is an A group element, and X atom is Carbon and/or Nitrogen [2]. The MAX phases have good machinability properties, excellent electronic conductivity, thermal shock resistance, rather low weight, chemical stability and heat resistance due to having both metallic and ceramic properties [3]. As a result of these properties, the MAX phase could be used for applications such as wear and corrosion resistant coatings [4], superconducting materials [5] and nuclear industry [6].

MAX phases have three different atoms and the combination of these atoms lead to a vast number of possibilities. Until this time, the number of synthesized MAX phases is around 60 [7]. For these phases, the majority structure is 211 phase with $n=1$ and also, the most well established and the most examined materials are Ti_2AlC and Ti_3SiC_2 [8-12]. Recently, new materials and combinations from the MAX phase family have been focused in the literature. One of the most interesting and intriguing change is the replacement of Nitride or Carbide in X atom with Boron [13-15]. In this way, borides of MAX phases become an interesting study. But boron containing studies are not much in contrast to nitride and carbide containing studies in the literature. Therefore, Cr_2AB where $A = Al, P, Si$ compounds have been considered in this study. Moreover, the outcomes have been compared with Cr_2AC where $A = Al, P, Si$ and Cr_2AlN studies from the literature [3, 7-9, 11-14,16,17]. As known up to date, this is the first investigation of Cr_2AB compounds.

In this study, three A combinations for borides of MAX phases (Cr_2AB where $A = Al, P, Si$) compounds have been investigated using Ab-initio calculations. The calculation details have been presented in Section 2. The outcomes of the calculations have been detailed in Section 3 with three subsections. In Section 3.1, the Cr_2AB compounds have been examined for their structural and electronic properties. The mechanical properties have been studied in order to discuss the technological applications of these compounds in Section 3.2. The vibrational properties including phonon dispersion curves, phonon partial density of states (PDOS) and thermal properties have been presented in Section 3.3. A brief summary has been presented in Section 4.

* Gazi University, Photonics Application and Research Center, Ankara, Turkey (ORCID: 0000-0002-3910-8575),
<http://dergipark.gov.tr/ejosat>

2. Computational Methods

The Vienna Ab initio Simulation Package (VASP) [18] has been used for DFT calculations. The projector augmented-wave (PAW) method [19, 20] has been used for electron-ion interaction with cut off energy of 550 eV. The generalized gradient approximation (GGA) with Perdew-Burke-Ernzerhof (PBE) functional [21] has been chosen for the exchange and correlation terms in the electron-electron interaction. The Brillouin zone (BZ) sampling has been used for convergence tests. The converged results have been achieved with $16 \times 16 \times 4$ k-point Gamma centered mesh [22].

The ground state geometries for Cr_2AB compounds have been found using the conjugate gradient algorithm. The stresses and Hellman-Feynman forces have been minimized with a force converge criteria less than 10^{-8} eV \AA^{-1} . For the iterative solution of the Kohn-Sham equations, the energy tolerance is chosen less than 10^{-9} eV per unit cell. The Methfessel-Paxton method [23] in the order of 1 have been used for the all relaxations. In order to determine precise energy values, the tetrahedron method with Blöchl corrections [24] have been employed.

The strain-stress method implemented in VASP [18, 25] has been used to calculate the elastic constants. The calculated elastic constants have been employed to ELATE program [26] in order to get the anisotropic elastic properties. ELATE [26] is an open-source elastic tensor analysis software compiled from EIAM Code [27]. In addition, PHONOPY software [28] have been used to determine the phonon dispersion curves and phonon density of states and the density functional perturbation theory (DFPT) [29] implemented in VASP have been used to calculate the force constant matrices. Sufficient convergence with respect to the forces has been achieved for a $2 \times 2 \times 1$ (32 atoms with an $8 \times 8 \times 4$ kpoint mesh) supercell. The same kinetic energy cut off has been used for DFPT calculations.

3. Results and Discussion

3.1. Structural and Electronic Properties

The crystal structure of Cr_2AB ($A=Al, P, Si$) compounds is hexagonal structure with the space group $P6_3/mmc$ as shown in Figure 1. The Wyckoff positions of the Cr atom is $4f$ ($1/3, 2/3, z$), A atom is $2d$ ($1/3, 2/3, 3/4$), and B atom is $2a$ ($0, 0, 0$).

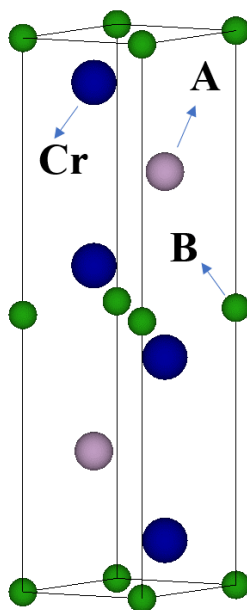


Figure 1. The crystal structure of Cr_2AB compounds

The optimized lattice parameters (a and c in \AA), c/a ratio, z parameter of the Wyckoff positions, density (ρ in g/cm^3) and formation energy (ΔH_f in eV/atom) of the Cr_2AB compounds are listed in Table 1 and the results of the Cr_2AC and Cr_2AN studies from the literature are also listed to compare the calculated parameters. For Cr_2AIB compound, both Cr_2AIC and Cr_2AIN have been studied while only Cr_2PC and Cr_2SiC have been studied for comparison of Cr_2PB and Cr_2SiB in the literature. If the X atom changes from nitrogen to boron for Cr_2AIX , the compounds have larger lattice parameters as can be concluded from Table 1. Also, Cr_2PB and Cr_2SiB has higher lattice parameters than Cr_2PC and Cr_2SiC . In addition, the formation energy has been calculated using Equation 1 as given in Table 1. Negative formation energy indicates that these compounds are energetically stable and synthesizable.

$$E_{formation}^{Cr_2AB} = E_{Total}^{Cr_2AB} - 2E_{Solid}^{Cr} - E_{Solid}^A - E_{Solid}^B \quad (1)$$

Table 1. Lattice parameters (a and c in Å), c/a ratio, z parameter of the Wyckoff positions, density (ρ in g/cm^3 and formation energy (ΔH_f in eV/atom) of the Cr_2AB compounds

Compounds	Ref	a	c	c/a	z	ρ	ΔH_f
Cr_2AlB	Present	2.885	12.710	4.405	0.089	5.140	-0.108
	[13]	2.884	12.733	4.415	0.089		
	[14]	2.884	12.729			5.136	
Cr_2AlC	[3]	2.860	12.800			5.240	
	[16]	2.863	12.814			5.210	
Cr_2AlN	[7]	2.847	12.689		0.082		
	[13]	2.841	12.694	4.469	0.082		
	[17]	2.839	12.708		0.082		
Cr_2PB	Present	3.092	10.343	3.345	0.105	5.650	-0.268
Cr_2PC	[8]	2.947	10.948	3.715			
Cr_2SiB	Present	2.917	11.741	4.025	0.098	5.570	-0.263
Cr_2SiC	[9]	2.841	11.861	4.175	0.089	5.742	

The band structures for Cr_2AB compounds have been forecasted throughout the high symmetry points in the first Brillouin zone. Figure 2 and Figure 3 show the band structures and corresponding partial density of states (PDOS), respectively. In addition, these compounds have metallic characters as can be inferred from figures.

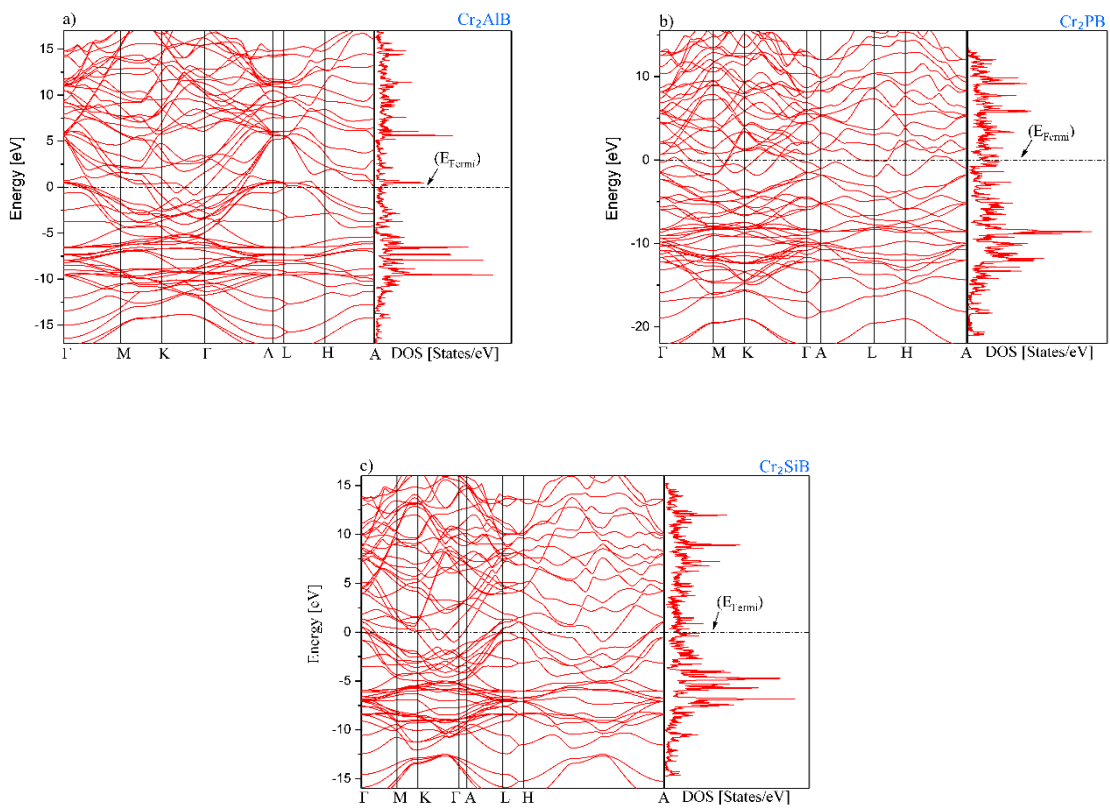


Figure 2. Band structure of (a) Cr_2AlB , (b) Cr_2PB and (c) Cr_2SiB compounds

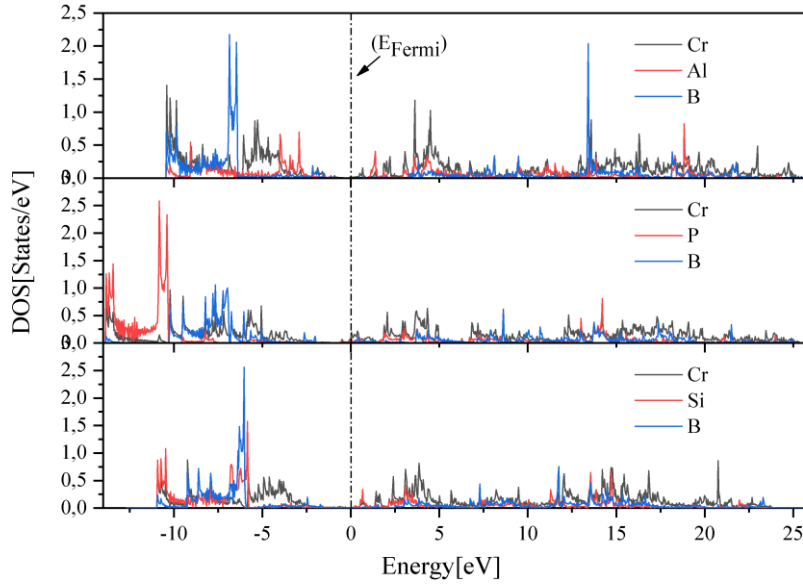


Figure 3. Partial density of states of Cr₂AB compounds

3.2. Mechanical Properties

The mechanical and dynamical behavior of a material could be determined using elastic constants (C_{ij}) which are also important for any technological applications. The material's hardness, stability and stiffness could be revealed from elastic constants which are C_{11} , C_{12} , C_{13} , C_{33} , and C_{44} for hexagonal structures. Table 2 lists the determined elastic constants for Cr_2AB compounds. The Born-Huang criteria [30] should be used to determine the mechanical stability of these compounds where the calculated constants satisfy these conditions. Therefore, all possible Cr_2AB crystal structures are mechanically stable as can be concluded from Table 2.

Table 2. Calculated elastic constants (C_{ij} in GPa) for Cr_2AB compounds

Compounds	Ref	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{33}	C_{44}
Cr_2AlB	present	296.84	83.92	127.33	295.81	106.46
	[13]	323.00	94.10	141.80	311.50	162.30
	[14]	298.78	81.86	129.78	289.62	157.37
Cr_2AlC	[13]	394.30	103.90	109.10	352.10	138.00
	[17]	369.00	77.00	102.00	355.00	143.00
	[11]	384.00	79.00	107.00	382.00	147.00
Cr_2AlN	[13]	253.40	50.00	90.90	320.50	76.00
	[17]	282.00	85.00	141.00	362.00	77.00
Cr_2PB	present	327.21	146.47	192.32	351.57	90.37
Cr_2PC	[8]	325.00	152.00	191.00	365.00	123.00
Cr_2SiB	present	313.52	126.01	179.31	348.80	93.75
Cr_2SiC	[12]	305.00	132.00	172.00	385.00	64.00
	[9]	337.00	138.00	178.00	440.00	64.00
	[8]	318.00	147.00	160.00	401.00	66.00

Bulk, shear and Young's moduli are used to determine a material's resistance to hydrostatic pressure, a material's response to shear stress and stiffness of a material, respectively. The Bulk (B) and Shear (G) moduli with the Voigt-Reuss-Hill (VRH) approximations [28] could be calculated using the elastic constants. If a strain uniformly applies to a crystal, the upper limit is Voigt bound while the lower limit is Reuss bound. Hill approximation given in Equation 2, is generally applied to obtain acceptable results.

$$B = (B_V + B_R)/2, \quad G = (G_V + G_R)/2 \quad (2)$$

Here, V and R subscripts stand for Voigt and Reuss bounds, respectively. For each crystal structure, their own elastic constants are used to obtain the inclusive expressions of these bounds. Additionally, Equation 3 has been used to determine the Young's modulus (E) and Poisson's ratio (ν).

$$E = 9BG/(3B + G), \quad \nu = (3B - 2G)/[2(3B + G)] \quad (3)$$

The values given in Table 3 have been obtained using Equation 2 and Equation 3. Cr_2PB has the highest bulk and Young's moduli while Cr_2SiB has the highest shear modulus. The bonding nature of the Cr_2AB compounds could be verified using the values of

Poisson's ratio (ν). The covalent bonding materials have ν value of about 0.1 while ν is around 0.25 for ionic materials [31]. Cr_2AB compounds have ionic bonding as can be inferred from Table 3. Also the B/G ratio provides the information about the ductility or brittleness character of a material as given in Table 3. Cr_2AlB has the B/G ratio lower than 1.75 that concluded brittleness of Cr_2AlB [15]. Cr_2PB and Cr_2SiB have the B/G ratio higher than 1.75 therefore these compounds are ductile. G/B ratio also called Pugh's modulus provide to find out the bonding nature of a material. For the dominantly covalent bonding materials, Pugh's modulus is around 1.1. If the material dominant bonding character is ionic, the Pugh's modulus is around 0.6 [31]. For the studied compounds, Pugh's moduli are around 0.6 which indicates dominant ionic bonding.

Table 3. Calculated bulk modulus (B, in GPa), Young's modulus (E in GPa), Shear Modulus (G, in GPa), Poisson's ratio (ν), B/G ratio, G/B ratio and Hardness (H_v , in GPa) for Cr_2AB compounds.

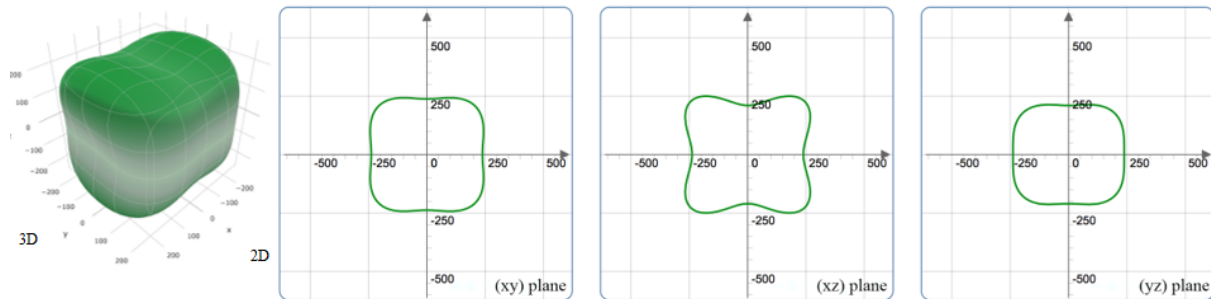
Materials	Ref	B	E	G	ν	B/G	G/B	H_v
Cr_2AlB	Present	173.64	287.44	117.41	0.22	1.48	0.68	18.24
	[13]	190.00	122.00	301.50				
	[14]	174.07	116.29	285.33	0.23			
Cr_2AlC	[13]	198.10	337.20	138.60				
	[3]	166.00	245.00	116.00	0.20			
Cr_2AlN	[13]	141.20	221.30	89.30				
Cr_2PB	Present	228.46	308.38	120.93	0.28	1.89	0.53	19.70
Cr_2PC	[8]	228.00		99.00				
Cr_2SiB	Present	214.04	306.40	121.45	0.261	1.76	0.57	25.92
Cr_2SiC	[12]	213.20	204.90	76.40	0.33			
	[9]	179.50	225.00	84.50	0.33			

Also, Chen et al. [32] developed the semi-empirical method based on Pugh's modulus ratio and it is given in Equation 4 that has been used to calculate the hardness of the compounds. The hardest compound among the studied compounds is Cr_2SiB .

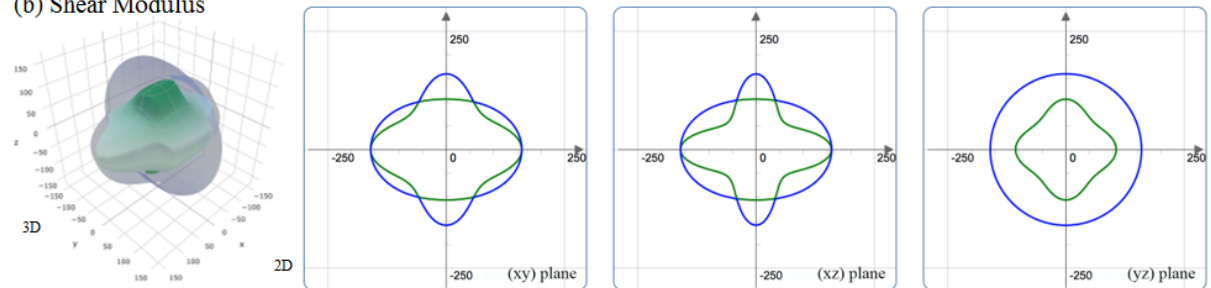
$$H_v = 2(k^2G)^{0.585} - 3; (k = G/B) \tag{4}$$

The physical or mechanical properties such as dislocation dynamics, unusual phonon modes, anisotropic plastic deformation, precipitation, and etc. [33] are affected from the anisotropy of elasticity of a material. Moreover, formation of micro-cracks originated from the elastic anisotropy must be understood in order to improve the mechanical durability of a material in any application [34]. Therefore, elastic analysis of a material could be completed with the study of anisotropic elastic calculations. Here, ELATE code has been employed to visualize and calculate the directional dependence of the Young's modulus, linear compressibility, Shear modulus, and Poisson ratio shown in Figure 4. Young's modulus, shear modulus, Poisson's ratio and linear compressibility having distorted spherical shapes are anisotropic in all planes except the linear compressibility in xy plane. Also, the minimum points are shown with green curves while the maximum points are shown with blue curves for the studied parameters. In addition, Table 4 lists the maximum and minimum values of Young's modulus, shear modulus, Poisson's ratio and linear compressibility.

(a) Young's modulus



(b) Shear Modulus



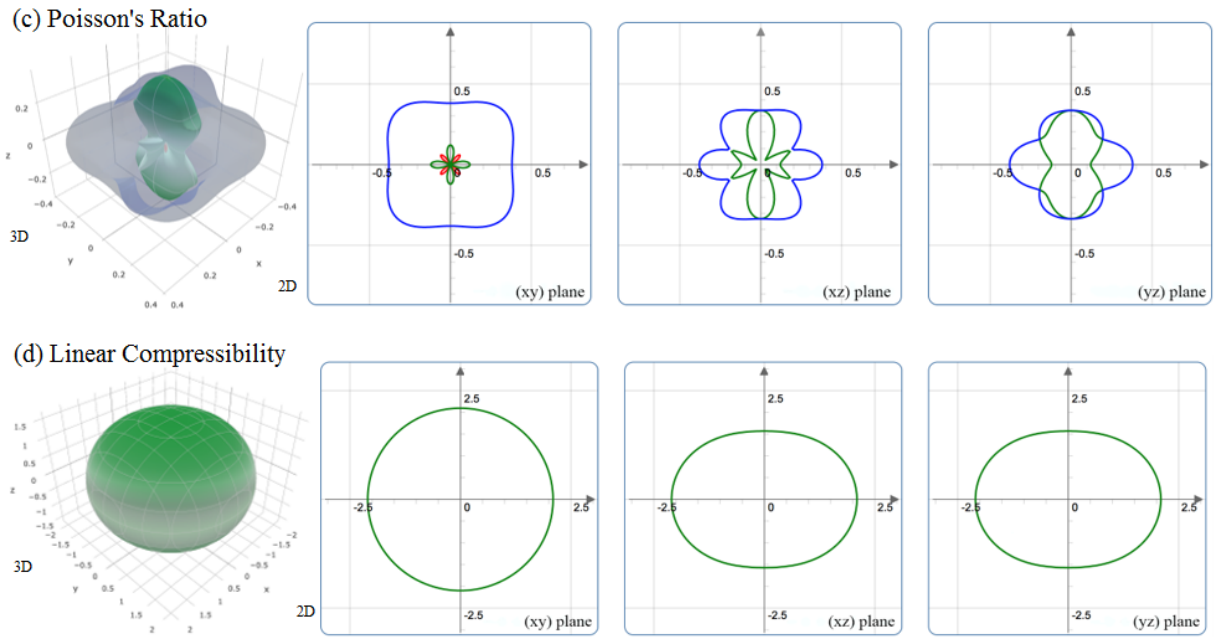


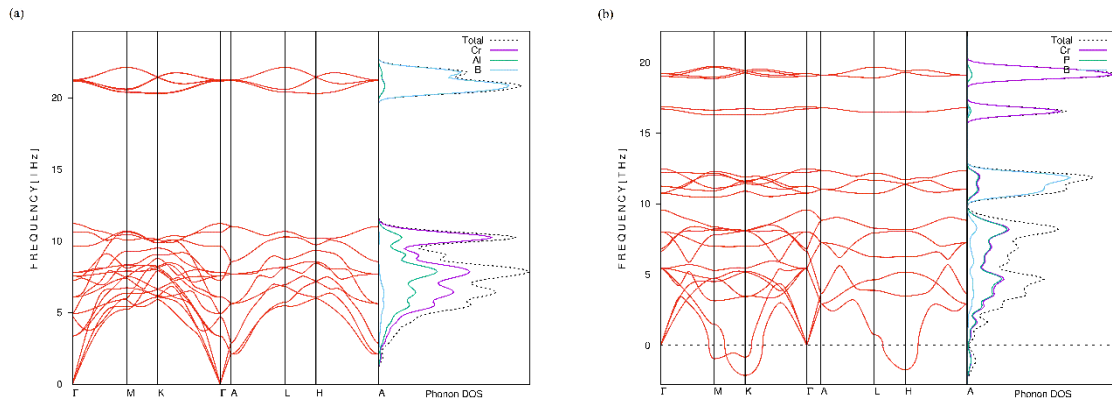
Figure 4. The calculated directional dependence of the mechanical properties; (a) Young's modulus, (b) Shear Modulus, (c) Poisson's ratio, and (d) linear compressibility for Cr_2AB compounds

Table 4. Maximum and minimum values of Young's modulus (E_{min} and E_{max} , in GPa), linear compressibility (β_{min} and β_{max} , TPa^{-1}), Shear modulus (G_{min} and G_{max} , GPa) and Poisson's Ratio (ν_{min} and ν_{max}) for Cr_2AB compounds

Materials	Young Modulus		Linear Comp.		Shear Modulus		Poisson's Ratio	
	E_{min}	E_{max}	β_{min}	β_{max}	G_{min}	G_{max}	ν_{min}	ν_{max}
Cr_2AlB	210.70	336.00	1.57	2.10	82.55	159.91	-0.08	0.46
Cr_2PB	195.40	388.90	0.96	1.72	71.74	211.43	-0.23	0.67
Cr_2SiB	202.50	385.20	0.91	1.90	73.57	204.78	-0.23	0.63

3.2. Vibrational and Thermodynamic Properties

The dynamical stabilities of Cr_2AB compounds have been checked with the calculation of the phonon frequencies and phonon dispersion curves using the supercell approach with the linear response method. Figure 5 shows the obtained phonon dispersion curves and the corresponding phonon density of states (PDOS) for Cr_2AB compounds. There are 24 branches in the figures where 3 of them are acoustic and remaining are optic branches. There are no soft modes for Cr_2AlB and Cr_2SiB compounds while Cr_2PB compound has soft modes. Therefore, Cr_2PB is dynamically unstable. Moreover, this result is consistent with the electronic band structure where at the Fermi level, Cr_2PB has electrons as can be concluded from Figure 3.



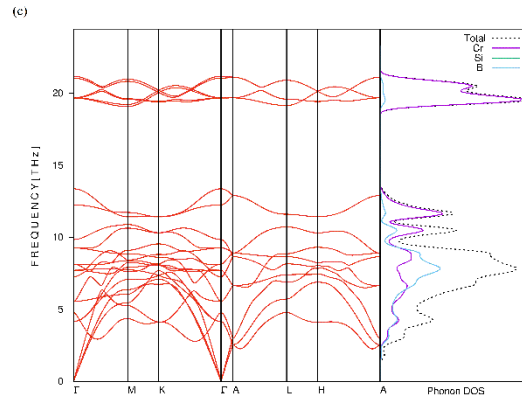


Figure 5. Phonon dispersion curves and PDOS for (a) Cr_2AlB , (b) Cr_2PB and (c) Cr_2SiB

The phonon information and the quasi-harmonic approximation have been used to determine the thermodynamic quantities, such as the Helmholtz free energy, enthalpy, entropy, and constant volume heat capacity (C_V) in 0 to 2000 K temperature range for Cr_2AlB and Cr_2SiB compounds. Figure 6a and Figure 6b show the free energy, enthalpy, entropy, and heat capacity as a function of temperature for Cr_2AlB and Cr_2SiB , respectively. Cr_2PB has not been given due to its dynamical instability. Just as the temperature goes from 0 to 2000 K, the entropy enlarges while the free energy decreases. Also, the enthalpy increases almost linearly with the temperature after 300 K. Moreover, the heat capacity reaches a constant called Dulong-Petit limit for high temperatures higher than 700 K.

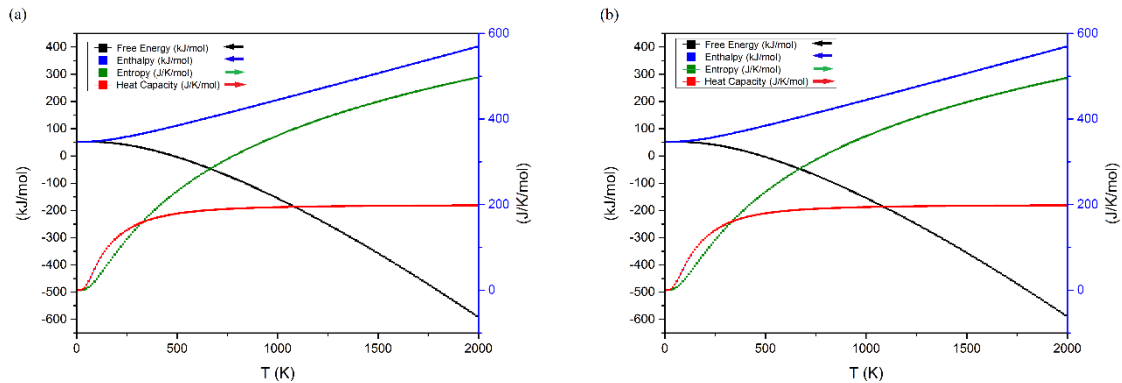


Figure 6. Free energy, enthalpy, entropy, and heat capacity as a function of temperature for (a) Cr_2AlB and (b) Cr_2SiB

4. Conclusion

The structural, mechanic, electronic, and dynamic properties of Cr_2AB compounds have been calculated using VASP. These compounds are energetically stable and synthesizable due to having negative formation energies. All materials have a metallic character as can be inferred from the obtained band structures. Furthermore, all materials are mechanically stable that have elastic constants satisfying Born-Huang stability criteria. Also, Cr_2SiB has the highest shear modulus in the studied compounds while the highest bulk and Young's moduli belong to Cr_2PB . All compounds have ionic bonding but Cr_2AlB is brittle and Cr_2PB and Cr_2SiB are ductile materials. In addition, Cr_2SiB is the hardest compound among the studied compounds. In the phonon dispersion curves, there are soft modes for Cr_2PB which is dynamically unstable material and the other materials have no soft modes that are dynamically stable materials. As a result, Cr_2AB phases can be taken into consideration for a candidate for the family of MAX phases. These calculations and analysis of the properties for hypothetical Cr_2AB phases could also be helpful in the future experimental and theoretical studies.

5. Acknowledgments

This study has been supported by 0362-NAP16 and 0147-NAP12 projects of Mehmet Akif Ersoy University

References

- [1] Surucu G., Colakoglu K., Deligoz E., Korozlu N. 2016. First-Principles Study on the MAX Phases $Ti_{n+1}Ga_n$ ($n = 1, 2, \text{ and } 3$). *Journal of Electronic Materials*. 45, 4256-4264.
- [2] Barsoum M. W. & El-Raghy T. 2001. The MAX phases: Unique new carbide and nitride materials: Ternary ceramics turn out to be surprisingly soft and machinable, yet also heat-tolerant, strong and lightweight. *American Scientist* 89, 334-343.
- [3] Barsoum M. W. & Radovic M. 2011. Elastic and Mechanical Properties of the MAX Phases. *Annual Review of Materials Research* 41, 195-227.
- [4] Lange C., Barsoum M. W. & Schaaf P. 2007. Towards the synthesis of MAX-phase functional coatings by pulsed laser deposition. *Applied Surface Science* 254, 1232-1235.
- [5] Shein R. & Ivanovskii A. L. 2011. Elastic properties of superconducting MAX phases from first-principles calculations. *Physica Status Solidi B Basic Solid State Physics* 248, 228-232.
- [6] Gencer A. & Surucu G. 2018. Electronic and Lattice Dynamical Properties of Ti_2SiB MAX Phase. *Material Research Express* 5, 7, 076303.
- [7] Sun Z., Music D., Ahuja R. & Schneider J. M. 2004. Ab initio study of M_2AlN ($M = Ti, V, Cr$). *Journal of Physics: Condensed Matter* 17, L15.
- [8] Liao T., Wang J. & Zhou Y. 2009. Chemical bonding and mechanical properties of M_2AC ($M = Ti, V, Cr, A = Al, Si, P, S$) ceramics from first-principles investigations. *Journal of Material Research* 24, 556-564.
- [9] Ghebouli B., Ghebouli M. A., Fatmi M., Louail L., Chihi T. & A. Bouhemadou 2015. First-principles calculations of structural, electronic, elastic and thermal properties of phase M_2SiC ($M=Ti, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta$ and W). *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* 25, 915-925.
- [10] Wu Z., Zhao E., Xiang H., Hao X., Liu X. & Meng J. 2007. Crystal structures and elastic properties of superhard IrN_2 and IrN_3 from first principles. *Physical Review B* 76, 054115.
- [11] Wang J. & Zhou Y. 2004. Dependence of elastic stiffness on electronic band structure of nanolaminate M_2AlC ($M=Ti, V, Nb$, and Cr) ceramics. *Physical Review B-Condensed Matter Material Physics* 69, 214111.
- [12] Ghebouli M. A., Ghebouli B., Fatmi M. & Bouhemadou A. 2011. Theoretical prediction of the structural, elastic, electronic and thermal properties of the MAX phases X_2SiC ($X = Ti$ and Cr) Intermetallics 19, 1936-1942.
- [13] Aydin S. 2015. Spin-polarized ground state properties of Cr_2AlX ($X=C, N$ and B) ceramic Gazi University Journal of Science 28, 185-193.
- [14] Khazaei M., Arai M., Sasaki T., Estili M. & Sakka Y. 2014. Trends in electronic structures and structural properties of MAX phases: a first-principles study on M_2AlC ($M = Sc, Ti, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, \text{ or } Ta$), M_2AlN , and hypothetical M_2AlB phases. *Journal of Physics Condensed Matter* 26, 1.
- [15] Surucu G. 2018. Investigation of structural, electronic, anisotropic elastic, and lattice dynamical properties of MAX phases borides: An Ab-initio study on hypothetical M_2AB ($M = Ti, Zr, Hf; A = Al, Ga, In$) compounds *Material Chemistry and Physics* 203, 106-117.
- [16] Sun Z. M. 2011. Progress in research and development on MAX phases: a family of layered ternary compounds *International Materials Review* 56, 143-166.
- [17] Cui S., Wei D., Hu H., Feng W. & Gong Z. 2012. First-principles study of the structural and elastic properties of Cr_2AlX ($X=N, C$) compounds. *Journal of Solid State Chemistry* 191, 147-152.
- [18] Kresse G. & Furthmüller J. 1996. Efficiency of ab-initio total energy calculations for metals and semiconductors using a plane-wave basis set. *Computational Material Science* 6, 15-50.
- [19] Kresse G. & Joubert D. 1999. From ultrasoft pseudopotentials to the projector augmented-wave method. *Physical Review B* 59, 1758.
- [20] Blöchl P. E. 1994. Projector augmented-wave method. *Physical Review B* 50, 17953.
- [21] Perdew J. P., Burke K. & Ernzerhof M. 1996. Generalized Gradient Approximation Made Simple. *Physical Review Letters* 77, 3865.
- [22] Pack J. D. & Monkhorst H. J. 1977. "Special points for Brillouin-zone integrations"—a reply. *Physical Review B* 16, 1748.
- [23] Methfessel M. & Paxton A. T. 1989. High-precision sampling for Brillouin-zone integration in metals. *Physical Review B* 40, 3616.
- [24] Blöchl P. E., Jepsen O. & Andersen O. K. 1994. Improved tetrahedron method for Brillouin-zone integrations. *Physical Review B* 49, 16223.
- [25] Le Page Y. & Saxe P. 2002. Symmetry-general least-squares extraction of elastic data for strained materials from ab initio calculations of stress. *Physical Review B* 65, 104104.
- [26] Gaillac R., Pullumbi P. & Coudert F.-X. 2016. ELATE: an open-source online application for analysis and visualization of elastic tensors. *Journal of Physics: Condensed Matter* 28, 275201.
- [27] Marmier A., Lethbridge Z. A. D., Walton R. I., Smith C. W., Parker S. C. & Evans K. E. 2010. ElAM: A computer program for the analysis and representation of anisotropic elastic properties. *Computer Physics Communications* 181, 2102-2115.
- [28] Togo A., Oba F. & Tanaka I. 2008. First-principles calculations of the ferroelastic transition between rutile-type and $CaCl_2$ -type SiO_2 at high pressures. *Physical Review B* 78, 134106.
- [29] Gonze X. & Lee C. 1997. Dynamical matrices, Born effective charges, dielectric permittivity tensors, and interatomic force constants from density-functional perturbation theory. *Physical Review B* 55, 10355.
- [30] Wu Z., Zhao E., Xiang H., Hao X., Liu X. & Meng J. 2007. Crystal structures and elastic properties of superhard IrN_2 and IrN_3 from first principles. *Physical Review B* 76, 054115.

- [31] Bannikov V. V., Shein I. R. & Ivanovskii A. L. 2007. Electronic structure, chemical bonding and elastic properties of the first thorium-containing nitride perovskite TaThN₃. *Physica Status Solidi - Rapid Research Letters* 1, 89-91.
- [32] Chen X. Q., Niu H., Li D. & Li Y. 2011. Modeling hardness of polycrystalline materials and bulk metallic glasses. *Intermetallics* 19, 1275-1281.
- [33] Ledbetter H. & Migliori A. 2006. A general elastic-anisotropy measure. *Journal of Applied Physics* 100, 063516.
- [34] Chang J., Zhao G. P., Zhou X. L., Liu K. & Lu L. Y. 2012. Structure and mechanical properties of tantalum mononitride under high pressure: A first-principles study. *Journal of Applied Physics* 112, 083519.



GAO Algoritma tabanlı YSA modeliyle İHA motorunun performansının ve uçuş süresinin maksimizasyonu

Mehmet Konar^{1*}

¹ Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Elektrik-Elektronik Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9317-1196)

(İlk Geliş Tarihi 19 Şubat 2019 ve Kabul Tarihi 6 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.529093)

ATIF/REFERENCE: Konar, M. (2019). GAO Algoritma tabanlı YSA modeliyle İHA motorunun performansının ve uçuş süresinin maksimizasyonu. *European Journal of Science and Technology*, (15), 360-367.

Öz

İnsansız hava araçları (İHA), istenen görevleri yerine getirebilme kabiliyetine sahip olarak tasarlanmış hava araçlarıdır. Bu hava araçlarının tasarımında, motor performansı ve uçuş süresinin maksimizasyonu büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, İHA'nın fırçasız motorunun performansının ve uçuş süresinin maksimizasyonu ele alınmıştır. Bu amaçla, Geri-İzleme Arama Optimizasyon (GAO) algoritması tabanlı Yapay Sinir Ağlarına (YSA) dayanan bir model önerilmiştir. Önerilen modelde, fırçasız motor hızını ayarlayan elektronik hız kontrol (EHK) ünitesi sinyali, fırçasız motorun dakikadaki dönüş sayısı (DDS), pervanenin çapı ve hatvesi giriş parametreleri olarak belirlenmiş; gerekli itki kuvveti, uçuş süresi ve motor verimliliği çıkış parametreleri olarak belirlenmiştir. Böylece, 4 giriş 3 çıkışa sahip bir model oluşturulmuştur. Önerilen modelin eğitim işleminde kullanmak için, fırçasız motordan RCbenchmark firmasının 1580 modeli dinamometresi yardımıyla, farklı değer aralıklarında veriler üretilmiştir. Üretilen bu veriler kullanılarak optimum YSA yapısına ait parametreler GAO algoritması ile belirlenmiştir. Optimum olarak belirlenen bu YSA yapısı amaç fonksiyonunu gerçekleştirmek üzere GAO algoritması ile entegre edilmiştir. Bu entegrasyonla birlikte GAO algoritmasına dayanan model ile maksimum motor performansı ve uçuş süresi için giriş parametre değerlerinin elde edilmesi sağlanmıştır. Yani, GAO algoritması hem YSA yapısının optimizasyonu hem de fırçasız motor performansı ve uçuş süresinin maksimizasyonu için gerekli parametrelerin elde edilmesi için kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar tablolar ve şekiller vasıtasıyla sunulmuştur. GAO algoritması tabanlı YSA modeli ile yapılan simülasyon çalışmalarında elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin İHA tasarımcıları için kolaylık sağlayacağını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: İHA, Geri-izleme arama optimizasyon algoritması, Uçuş süresi, Optimizasyon, Yapay sinir ağları.

The Maximization of the UAV Engine Performance and Flight Time by BSA based ANN model

Abstract

Unmanned aerial vehicles (UAVs) are aircraft that designed to carry out the desired tasks. In the design of these aircraft, the maximization of engine performance and flight time is very important. In this study, the maximization of the UAV's brushless motor performance and flight time are discussed. For this purpose, a model based on Artificial Neural Networks (ANN) depending on Back-Tracking Search Optimization (BSO) algorithm is proposed. In the proposed model, four parameters including the signal of electronic speed control (ESC) unit that adjusts the brushless engine speed, the number of rotations of the brushless motor (RPM) per minute, the propeller size, and the propeller pitch were selected as input parameters. The required thrust, flight time and engine efficiency were selected as output parameters. Thus, a model with 4 inputs and 3 outputs was formed. To use the in the training process of the proposed model, data was obtained from the brushless motor with the help of RCBenchmark's 1580 model dynamometer. By using these produced data, the parameters of the optimum ANN structure were determined by BSO algorithm. The ANN structure that

* Corresponding Author: Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Elektrik-Elektronik Bölümü, Kayseri, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9317-1196, mkonar@erciyes.edu.tr

optimally determined was integrated with the BSO algorithm to achieve the objective function. With this integration, the model based on the BSO algorithm provided the values of input parameters for maximum engine performance and maximum flight time. That is, the BSO algorithm was used both to optimize the ANN structure and to obtain the parameters required for maximization of brushless engine performance and flight time. The results of the study were presented by tables and figures. The results obtained in the simulation process with the BSO Algorithm based ANN model showed that the proposed method will be facilitated the UAV design for designers.

Keywords: UAV, Backtracking search optimization algorithm, Flight time, Optimization, Artificial neural networks.

1. Giriş

İnsansız hava araçları (İHA), sahip olduğu teknolojik yetenekleriyle hem askeri hem de sivil alanlardaki uygulamaların gerekliliklerini karşılamaktadır. İHA teknolojilerine, havacılık, robotik, elektronik donanım, yazılım ve uygulama enstrümantasyonu gibi birçok alan katkı sağlamaktadır. Kullanılan teknolojik alt yapıyla birlikte, İHA sistemleri günümüzde sıradan bir yapıya sahip gibi görünse de, güvenlik protokolleri ve operatör gereksinimleri geliştirilmiştir. Geliştirilen operatör desteklerine göre yarı otonom ya da tam otonom olarak İHA'lar görevlerini gerçekleştirebilmektedir [1].

Görev gereksinimlerine göre İHA'lar farklı boyutlarda tasarlanmıştır. Mini boyuttan, insanlı uçakların boyutlarına kadar çeşitli İHA'lar bulunmaktadır. Büyük boyutlu İHA'lar geleneksel insanlı uçaklarla benzer altyapıları kullanan sabit kanatlı hava araçlarıdır. Küçük boyutlu İHA'ların ise sabit ve döner kanatlı gibi farklı türleri bulunmaktadır [2].

Küçük İHA'lar genellikle birçok tasarımcı tarafından yüksek oranda yapılandırılabilir. Kamera sistemleri gibi çeşitli yük kombinasyonları ile entegre edilebilmektedir. Aynı zamanda çeşitli pil, motor ve pervane konfigürasyonları gerçekleştirilebilmektedir. Belirli bir konfigürasyonun performansının yeterli olduğunu doğrulamak için doğrudan deneysel test yapılması gerekmektedir. Fakat test sürelerinin vakit alıcı olması, tasarım sürelerini arttırmaktadır. Bu gibi nedenlerle, birçok tasarımcı farklı yöntemlere başvurmuştur. Tasarım sürecinde başvurulan yöntemlerden biride sezgisel algoritmaların kullanılmasıdır. Sezgisel algoritmalar, sınırlı sayıda üretilen veriler ile istenen en iyi çözümün elde edilmesinde tasarımcılara büyük katkı sağlamaktadır [3-5].

Bir yaklaşımda en iyilemeyi ifade eden optimizasyon, problem çözümlerine yardımcı olmaktadır. Farklı problemlerin çözümünde, belirli şartlar dahilinde, minimum ve maksimum değerleri veren parametre değerlerinin, en uygun şekilde belirlenmesinde farklı bir çok sezgisel algoritmadan yararlanılmıştır. Aerodinamik tasarım, itki sistemi tasarımı, havada kalış süresinin ve menzilin artırılması, otonom sistem tasarımı gibi birçok çalışmada sezgisel algoritmalar kullanılmıştır [3-12]. Batarya ile çalışan İHA'ların menzilin artırılması üzerine çalışma Traub [6] tarafından yapılmıştır. İHA'ların optimum tahrik sistemi üzerine tasarım Gur ve Rosen [7] tarafından yapılmıştır. Uzun menzilli İHA'nın analizi üzerine çalışmalar ise Lawrance ve Mohseni [8] tarafından yapılmıştır.

Bu çalışmada İHA'nın fırçasız motor performansının ve uçuş süresinin maksimizasyonunun eş zamanlı hesaplanması amaçlanmaktadır. Hesaplama için Yapay Sinir Ağları (YSA) ile entegre edilmiş Geri-İzleme Arama Optimizasyon (GAO) algoritmasına dayanan bir yöntem sunulmuştur. İki aşamadan oluşan bu yöntemin ilk aşamasında dinamometreden elde edilen veriler kullanılarak, en uygun YSA modelinin parametreleri GAO algoritmasıyla belirlenmiştir. Daha sonra, elde edilen optimum YSA yapısı amaç fonksiyonunu gerçekleştirmek amacıyla GAO algoritmasına entegre edilmiştir. Böylece, GAO algoritması kullanılarak maksimum fırçasız motor performansının ve uçuş süresinin eş zamanlı ve eşit önemde dikkate alınmasıyla optimum giriş değerleri hesaplanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde GAO algoritması açıklanmıştır [13,14]. Üçüncü bölümde YSA'nın eğitim işleminde kullanılan verilerin deneysel olarak elde edilmesinden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde problem formülasyonu ve YSA açıklanmıştır [15-17]. Ayrıca, YSA parametrelerinin ayarlanması ve GAO algoritmasıyla yapılan maksimizasyon işlemi de bu bölümde açıklanmıştır. Beşinci bölümde, yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar tablo ve şekillerle sunulmuştur. Son bölümde ise sonuçlara yer verilmiştir.

2. GAO Algoritması

GAO algoritması, süre tabanlı bijektif bir evrimsel algoritmadır. GAO algoritması, optimizasyon problemlerindeki lokal çözümlerden kaçınarak global çözümlerin elde edilmesini sağlamaktadır. Algoritmanın çalışması; ilk değerlerin verilmesi, birinci seçim aşaması, mutasyon, çaprazlama ve ikinci seçim aşaması olmak üzere 5 temel aşama üzerine kurulmuştur [13].

İlk değerlerin verilmesi aşaması, Eşitlik 1 ile tanımlanmaktadır. Burada, P popülasyon büyüklüğü, D problemin boyutu, $P_{i,j}$ popülasyon içerisindeki bir hedef bireyi, low_j ve up_j ise sırasıyla çözüm uzayındaki en alt ve en üst sınır değerlerini ifade etmektedir.

$$P_{i,j} \sim U(low_j, up_j) \quad (1)$$

Birinci seçim aşaması, arama yönünü hesaplamak için $oldP$ tarihsel popülasyonunu belirler. Böylece, GAO algoritması geçmişte elde edilen değerleri, bir sonraki karar alma mekanizmasında kullanılmak üzere hafızaya alır. $oldP$ 'nin belirlenmesiyle birlikte popülasyon üyeleri rastgele olarak yeniden sıralanır.

Mutasyon (M) aşamasında, mutant popülasyonunun ilk değerleri hesaplanır (Eşitlik 2). Burada F değeri, arama matrisinin genliğini ayarlamaktadır. Böylece, daha önceden elde edilen tecrübeler, arama yönünü belirlerken kullanılmış olmaktadır.

$$M = P + F (oldP - P) \quad (2)$$

Çaprazlama aşaması, değerlendirmeye alınacak popülasyonun son halini verir. Değerlendirmeye alınan popülasyon üyelerinden, optimizasyon probleminde göre iyi değerlere sahip olanlar, hedef popülasyon bireylerini belirlemek için kullanılır.

GAO algoritması, mutasyona uğrayan popülasyon bireylerinin, çözüm uzayı sınırlarını aşmasını engellemek için sınırlandırma mekanizması da kullanılmaktadır.

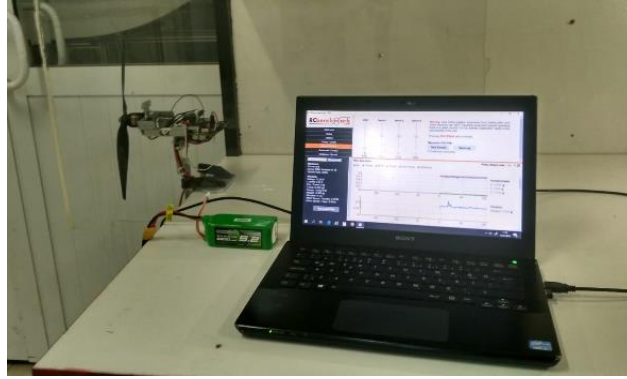
İkinci seçim aşaması, güncelleme işleminin yapıldığı ve iyi olanın seçildiği aşamadır. Küresel en iyi değer, her bir iterasyon çevriminde bütün popülasyon bireyleri ile karşılaştırılarak tekrar kontrol edilir. Eğer herhangi bir bireyin amaç fonksiyon değeri, mevcut küresel en iyi değerden daha iyi ise, bu durumda yeni küresel en iyi değer bu bireyin sahip olduğu konum olacaktır.

GAO algoritması, uygulama mantığının oldukça basit olmasından dolayı çeşitli mühendislik problemlerine kolayca uygulanabilmektedir [13,14].

3. Deneysel Çalışma

Çalışmanın bu bölümünde, İHA'larda kullanılan fırçasız motorun performans analizi incelenmiştir. Yapılan çalışmada RCbenchmark firması tarafından üretilen 1580 modeli dinamometre ve bu dinamometreye ait arayüz yazılımı kullanılmıştır. Kullanılan yazılım ve dinamometre aracılığıyla İHA için tasarlanmış olan bir elektronik motorun performansı incelenmiştir. Çalışmada, Emax firmasına ait GT2215/09 model fırçasız motorun itki, tork, pervane ve sistem verimliliği üzerine çeşitli testler yapılmıştır. Test esnasında fırçasız motorun hızını ayarlamak için 40 amper EHK ünitesi kullanılmıştır. Gerekli elektriksel enerji, Multistar 5200 mAH, 12 C ve 11,1 volt özelliğine sahip Lityum polimer (Lipo) pilden sağlanmıştır.

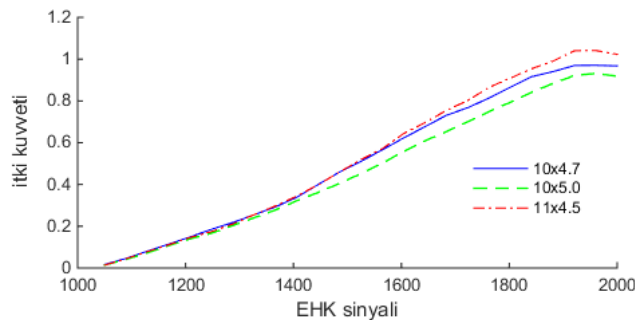
Kullanılan programda EHK tetikleme aralığı 1000-2000 arasında belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada, üç farklı pervane için motora ait 25 farklı çalışma noktasında örnek alınmıştır. Her bir örnek oluşturulurken, EHK örnek değerinde, motor 3 sn boyunca çalıştırılmıştır. Bu çalışma süresince soğutulma yapılmamıştır. Motorun iki örnek değeri arasındaki geçiş süresi 10 sn olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmanın test düzeneği Şekil 1'de verilmiştir.



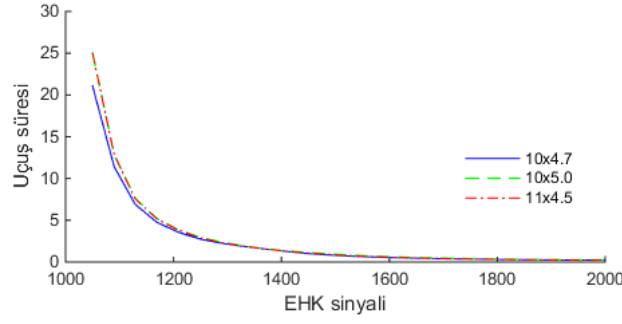
Şekil 1. Test düzeneği

Yapılan çalışmada farklı boyut ve hatvelere sahip pervaneler kullanılmıştır. Kullanılan pervane boyutları sırasıyla 10x4.7, 10x5 ve 11x4.7'dir. Farklı pervaneler kullanıldığında motor aynı örnek değerlerinde çalıştırılmıştır. Bu da, pervanelerin performansının karşılaştırılmasına olanak sağlamıştır.

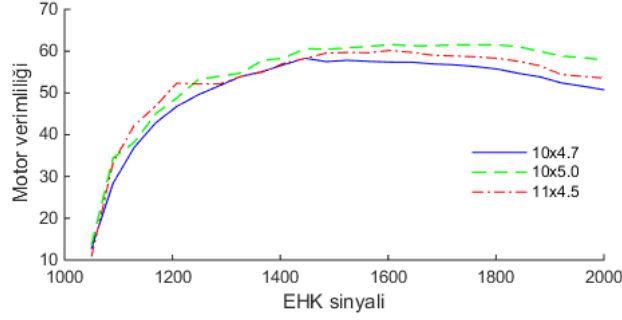
Deney sonucunda elde edilen değerler şekiller vasıtasıyla sunulmuştur. Şekil 2'de, üç farklı pervane için EHK ünitesi sinyaline karşılık itki kuvvetinin değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, EHK sinyaliyle itki kuvveti doğru orantılı olarak artmıştır. Şekil 3'de, seçilen pervaneler için EHK sinyaline karşılık uçuş süresinin değişimi verilmiştir. EHK sinyalinin artmasıyla birlikte, çekilen akım miktarı arttığı için uçuş süresinde azalma eğilimi gözlemlenmiştir. Şekil 4 ve Şekil 5'te ise üç farklı pervane için sırasıyla EHK sinyaline karşılık motor verimliliğinin değişimi ve DDS'ye karşılık uçuş süresinin değişimi verilmiştir.



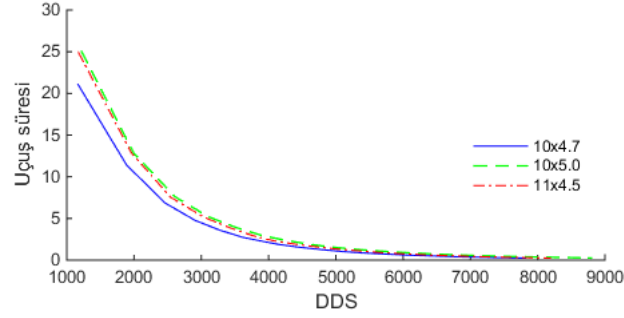
Şekil 2. EHK sinyaline karşılık itki kuvvetinin değişimi



Şekil 3. EHK sinyaline karşılık uçuş süresinin değişimi



Şekil 4. EHK sinyaline karşılık motor verimliliğinin değişimi

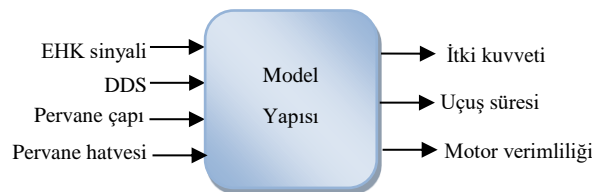


Şekil 5. DDS'ye karşılık uçuş süresinin değişimi

4. Problem Formülasyonu ve Optimizasyon

Bu çalışmada, İHA'nın fırçasız motor performansının ve uçuş süresinin maksimizasyonu ele alınmıştır. Bu amaç için, GAO algoritması tabanlı YSA'ya dayanan bir model önerilmiştir. Önerilen modelin ilk aşamasını giriş ve çıkış parametrelerinin belirlenmesi oluşturmuştur.

Fırçasız motor hızını ayarlayan EHK ünitesi sinyali, fırçasız motorun dakikadaki dönüş sayısı, fırçasız motorda kullanılan pervanenin çapı ve hatvesi giriş parametreleri olarak seçilmiştir. Model çıkışı olarak ise itki kuvveti, uçuş süresi ve motor verimliliği seçilmiştir. Böylece, 4 giriş 3 çıkışa sahip bir model yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan modelin performansını belirlemek için ortalama karesel hata (OKH) kriteri kullanılmıştır [18,19]. Oluşturulan model yapısının blok diyagramı Şekil 6'da sunulmuştur. Çalışmada 75 adet veriden faydalanılmıştır.



Şekil 6. Model Yapısı

Yapay Sinir Ağları

YSA'lar, örnekler yoluyla problemi öğrenebilen, edindiği bilgilere göre genelleme yaparak yeni bilgiler oluşturabilen, bilgi işleme sistemleridir [15].

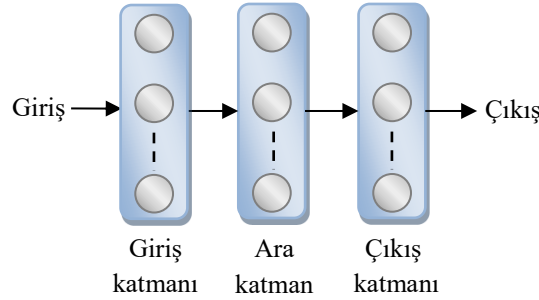
YSA, giriş, ara ve çıkış olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır. Giriş katmanı, uygulanan probleme ait eğitim örneklerinden oluşan veri kümesinden gelen bilgileri ara katmana iletmektedir. Ara katman, giriş katmanından gelen bilgiyi işleyip çıkış katmanına göndermektedir. Ara katman sayısı birden fazla olabilmektedir. Çıkış katmanı ise ara katmandan gelen bilgiyi işleyerek, ilgili girişe karşı üretilecek çıkışı hesaplamakta ve çıkış veri kümesinin oluşumunu sağlamaktadır [15-17]. YSA'nın temel yapısı Şekil 7'de verilmiştir.

YSA hücre modellerinde kullanılan çeşitli tipte aktivasyon fonksiyonları bulunmaktadır. En uygun tanımlamanın yapılabilmesi için aktivasyon fonksiyonunun seçilmesi önemlidir. Lineer, basamak, eşik, hiperbolik tanjant gibi türleri olan aktivasyon fonksiyonunun en yaygın kullanılan tipi sigmoid fonksiyonlardır. YSA'nın eğitiminde, tanjant sigmoid (tansig), logaritmik sigmoid (logsig) ve lineer (purelin) aktivasyon fonksiyonları ara katman ve çıkış katmanları için literatürde sıklıkla tercih edilmektedir [3-4].

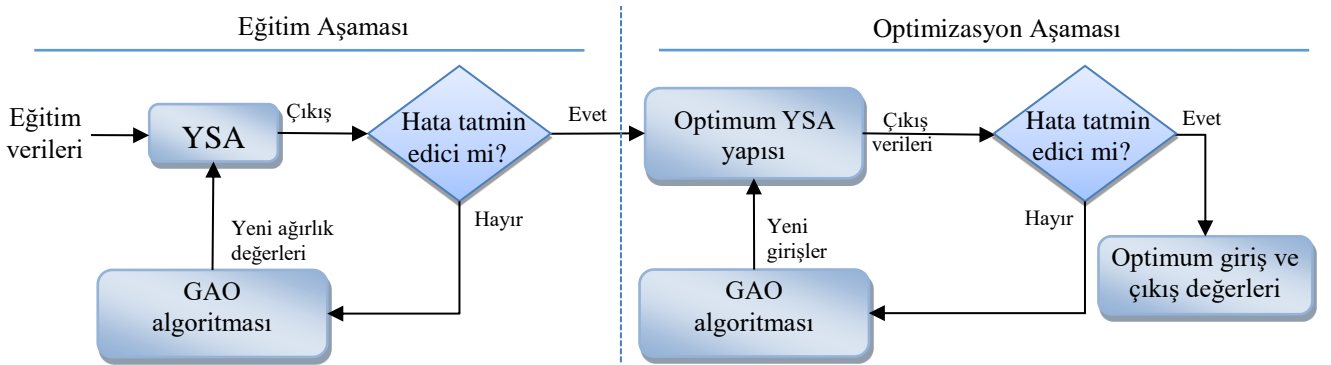
Problem Formülizasyon Aşaması

Problemin çözümü, eğitim ve optimizasyon olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Bu aşamaların blok diyagramı Şekil 8'de verilmiştir. Eğitim aşamasında, seçilen parametrelerden oluşan veriler kullanılarak en uygun YSA modelinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu aşamada, optimum YSA yapısının elde edilmesi için, YSA'nın ağırlıkları GAO algoritması kullanılarak ayarlanmıştır. Bu amaçla, gerçek sistem çıkışı ile YSA model çıkışı arasında ki hata farkının minimizasyonu için, her çevrimde YSA yapısına ait ağırlık değerleri güncellenerek, optimum YSA modelinin elde edilmesi sağlanmıştır.

Eğitim aşamasında en uygun YSA model yapısının GAO algoritmasıyla belirlenmesinden sonra, çalışmanın bir sonraki aşaması başlatılmıştır. Bu aşamada, motor performansının ve uçuş süresinin daha iyi hale getirilmesi için optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, bir önceki aşamada elde edilen optimum YSA yapısı, maksimum çıkış değerlerinin elde edileceği amaç fonksiyonunu gerçekleştirmek için GAO algoritmasına entegre edilmiştir. Algoritma, üretilen hata değerini minimize edecek şekilde, çıkış parametre değerlerini maksimuma yaklaştırmayı sağlamıştır. Böylece, optimum çıkış parametrelerini veren optimum giriş parametreleri elde edilmiştir.



Şekil 7. YSA'nın temel yapısı



Şekil 8. Eğitim ve optimizasyon aşamalarının blok diyagramı

5. Similasyon sonuçları

YSA'nın eğitim aşamasında, ara ve çıkış katmanlarında kullanılan aktivasyon fonksiyonları sırasıyla logsig-logsig, tansig-purelin ve logsig-purelin şeklinde seçilmiştir.

GAO algoritmasının eğitim aşamasında kontrol parametreleri; koloni büyüklüğü 50, iterasyon sayısı sırasıyla 2500, 5000, 10000 ve runtime (tekrarlama sayısı) 30 olarak seçilmiştir. Optimizasyon aşamasında ise optimum YSA yapısının kullanılmasıyla birlikte

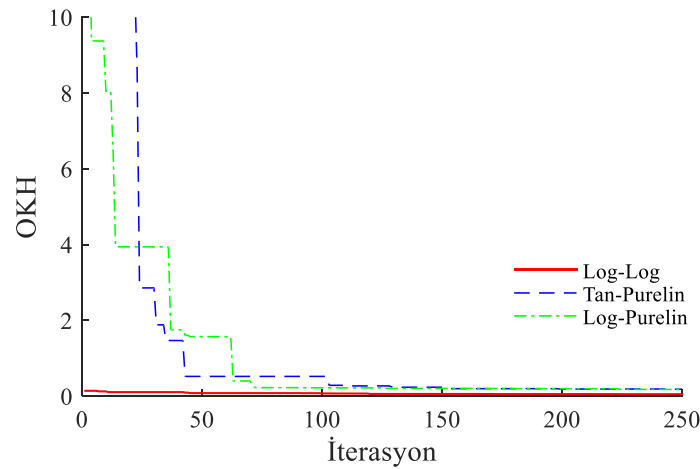
GAO algoritmasının kontrol parametreleri; 50 koloni, 250 iterasyon ve 1 runtime olarak belirlenmiştir. Seçilen bu parametreler ile eğitim ve optimizasyon işlemleri için elde edilen OKH değerleri Tablo 1’de sunulmuştur. Eğitim aşamasında 0.0011 ile en küçük OKH değerine sahip optimum YSA yapısı, logsig-logsig aktivasyon fonksiyonu ile elde edilmiştir. Aynı modelin optimizasyon aşamasında elde edilen OKH değeri 1.0172 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen düşük OKH değerine sahip yapılar, İHA’nın en uygun motor performansı ve uçuş süresi maksimizasyonunun belirlenmesinde önerilen yöntemin güvenilirliğini desteklemektedir.

En iyi performansa sahip YSA modelinin iterasyon sayısına karşılık OKH değişim grafiği Şekil 9’da gösterilmiştir. Aynı modelin optimizasyon aşamasındaki iterasyon sayısı-OKH değişim grafiği ise Şekil 10’da gösterilmiştir.

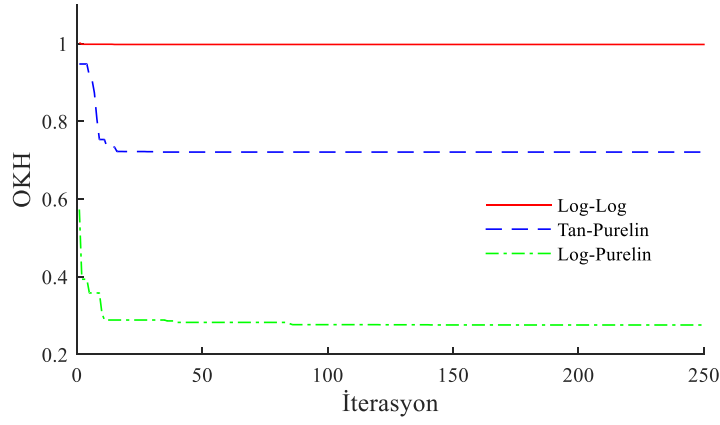
GAO algoritmasıyla yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilen en iyi modele sahip İHA’ya ait EHK, DDS, pervanenin çapı, pervanenin hatvesi, itki kuvveti, uçuş süresi ve motor verimliliğinin parametre değerleri sırasıyla 10.9847, 4.8185, 2000, 8850, 0.9558, 0.2029 ve 57.0171’dir.

Tablo 1. Eğitim ve optimizasyon işlemlerinde elde edilen OKH değerleri

Eğitim Aşaması					Optimizasyon Aşaması				
İterasyon	Nöron Sayısı	Aktivasyon Fonksiyonları			İterasyon	Nöron Sayısı	Aktivasyon Fonksiyonları		
		Log-Log	Tan-Purelin	Log-Purelin			Log-Log	Tan-Purelin	Log-Purelin
2500	2	0.0042	0.0492	0.0100	250	2	1.0209	1.1138	1.0496
	3	0.0037	0.0465	0.0110		3	1.0082	0.4563	1.0734
	4	0.0046	0.0554	0.0107		4	1.0108	0.5032	0.5645
	5	0.0039	0.0459	0.0184		5	0.9980	0.9942	0.5032
	10	0.0057	0.0514	0.0223		10	0.3182	0.0828	0.0865
5000	2	0.0026	0.0394	0.0032		2	1.0037	0.2469	0.9301
	3	0.0028	0.0414	0.0070		3	1.0078	0.0385	0.7948
	4	0.0025	0.0370	0.0029		4	1.0136	0.1631	0.7471
	5	0.0036	0.0309	0.0084		5	0.0081	0.5748	0.3207
	10	0.0039	0.0342	0.0121		10	0.9851	0.0079	0.0098
10000	2	0.0023	0.0130	0.0025	2	1.0032	1.0337	0.6450	
	3	0.0013	0.0226	0.0032	3	1.0163	0.8890	0.3792	
	4	0.0011	0.0205	0.0022	4	1.0172	0.5491	0.6495	
	5	0.0017	0.0207	0.0025	5	0.9735	0.1743	0.7762	
	10	0.0032	0.0208	0.0031	10	0.8202	0.0333	0.6424	



Şekil 9. Optimum YSA yapısı için iterasyon sayısı-OKH değişim grafiği (İlk 250 iterasyon)



Şekil 10. Optimizasyon aşamasındaki iterasyon sayısı-OKH değişim grafiği

6. Sonuçları

İHA'lar, amatör ya da profesyonel olarak sivil, askeri ve ticari alanlarda kullanılmaktadırlar. Her kullanım alanının gereksinimine göre, kullanıcılar tarafından, farklı özelliklerde İHA'lar tercih edilmektedir. Farklı İHA'lar için yapılan tasarımların en iyi performansı sergilemesi beklenmektedir. İHA performansının geliştirilmesi için kullanılan klasik yöntemlere ek olarak, sezgisel yöntemlerin sağlayacağı katkıların da irdelenmesi önemli bir konudur. Bu nedenle, literatürde sezgisel algoritmaların İHA tasarımına katkısını konu alan pek çok çalışma mevcuttur.

Bu çalışmada ise, GAO algoritması tabanlı YSA modeline dayanan yöntemin, fırçasız motorun performansındaki ve uçuş süresinin maksimizasyonundaki etkileri incelenmiştir. İncelemede, fırçasız motor hızını ayarlayan elektronik hız kontrol ünitesi sinyali, fırçasız motorun dakikadaki dönüş sayısı, pervanenin çapı ve hatvesi giriş parametreleri olarak; gerekli itki kuvveti, uçuş süresi ve motor verimliliği çıkış parametreleri olarak seçilmiştir. GAO algoritması ilk önce, deneysel olarak elde edilen veriler kullanılarak, optimum YSA model parametrelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Daha sonra, optimum olarak belirlenen YSA yapısı amaç fonksiyonunu gerçekleştirmek için kullanılmış ve GAO algoritmasına entegre edilerek maksimum çıkış parametrelerini veren optimum giriş parametrelerinin elde edilmesi sağlanmıştır.

Fırçasız motor performansının ve uçuş süresinin eş zamanlı ve eşit önemde dikkate alınmasında geniş bir kombinasyonun değerlendirilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmanın sonuçları, GAO algoritması tabanlı YSA modelinin, farklı olasılıkların, daha az maliyet ve zaman kaybıyla değerlendirilmesinde etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Böylece, farklı özelliklerdeki İHA problemlerinin çözümünde, önerilen yöntemin, mevcut yöntemlere alternatif olacağı söylenebilir.

Kaynaklar

- [1] Austin, R. (2011). Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment (Vol. 54). John Wiley & Sons.
- [2] Daniel, P. R. (1992). Aircraft design: a conceptual approach. Published by American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc.
- [3] Oktay, T., Arik, S., Turkmen, I., Uzun, M., & Celik, H. (2018). Neural network based redesign of morphing UAV for simultaneous improvement of roll stability and maximum lift/drag ratio. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 90(8), 1203-1212.
- [4] Arik, S., Turkmen, I., & Oktay, T. (2018). Redesign of morphing UAV for simultaneous improvement of directional stability and maximum lift/drag ratio. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 18(4), 57-62.
- [5] Konar, M. (2018). Determination of UAVs thrust system parameters by artificial bee colony algorithm. *ICENS 4th International Conference on Engineering and Natural Science*, Kiev, Ukraine.
- [6] Traub, L. W. (2011). Range and endurance estimates for battery-powered aircraft. *Journal of Aircraft*, 48(2), 703-707.
- [7] Gur, O., & Rosen, A. (2009). Optimizing electric propulsion systems for unmanned aerial vehicles. *Journal of Aircraft*, 46(4), 1340-1353.
- [8] Lawrence, D., & Mohseni, K. (2005). Efficiency analysis for long duration electric MAVs. In *Infotech@ Aerospace Conferences*, Arlington, Virginia.
- [9] Avanzini, G., & Giulietti, F. (2013). Maximum range for battery-powered aircraft. *Journal of Aircraft*, 50(1), 304-307.
- [10] Elkhedim, B., Benard, E., Bronz, M., Gavrilovic, N., & Bonnin, V. (2016). Optimal design of long endurance mini UAVs for atmospheric measurement. *Applied Aerodynamics Conference*, Bristol, United Kingdom.
- [11] Hepperle, M. (2012). Electric flight-potential and limitations. *Energy Efficient Technologies and Concepts of Operation*, Lisbon, Portugal.
- [12] Chang, T., & Yu, H. (2015). Improving electric powered UAVs' endurance by incorporating battery dumping concept. *Procedia Engineering*, 99, 168-179.

- [13] Civicioglu, P. (2013). Backtracking search optimization algorithm for numerical optimization problems. *Applied Mathematics and Computation*, 219(15), 8121-8144.
- [14] Civicioglu, P., & Besdok, E. (2018). A+ Evolutionary search algorithm and QR decomposition based rotation invariant crossover operator. *Expert Systems with Applications*, 103, 49-62.
- [15] Haykin, S., *Neural networks-a comprehensive foundation*, 2nd ed., Prentice Hall, 1999.
- [16] Bağış A., & Konar M. (2010). Uçuş kontrol sistemi yakıt parametresinin yapay sinir ağları kullanılarak belirlenmesi. *Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu (ASYU'2010)*, Kayseri, Türkiye, 104-108.
- [17] Konar, M., & Bağış, A. (2016). Simultaneous computation of the speed and fuel parameters of flight control system by using Anfis and artificial neural networks. *24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU 2016)*, 1389-1392.
- [18] Bağış, A., & Konar, M. (2016). Comparison of Sugeno and Mamdani fuzzy models optimized by artificial bee colony algorithm for nonlinear system modelling. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 38(5), 579-592.
- [19] Konar, M., & Bağış, A. (2016). Performance comparison of particle swarm optimization, differential evolution and artificial bee colony algorithms for fuzzy modelling of nonlinear systems. *Elektronika ir Elektrotechnika*, 22(5), 8-13.



Evaluation of Drinking Water Network Chlorination Performance for Ondokuzmayıs District Using MIKE URBAN

Arife Şimşek^{1*}, M. Baran Ulutaş², Gülfem Bakan³

¹Ondokuz Mayıs University, Engineering Faculty, Environmental Engineering Department, Samsun, Turkey. (ORCID : 0000-0002-7177-1764)

²İlBank Diyarbakır Regional Directorate, Diyarbakır, Turkey. (ORCID : 0000-0002-8404-3301)

³Ondokuz Mayıs University, Engineering Faculty, Environmental Engineering Department, Samsun, Turkey. (ORCID : 0000-0002-2752-1303)

(First received 10 December 2018 and in final form 9 March 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.494521)

REFERENCE: Şimşek, A., Ulutaş, M. B. & Bakan, G.. (2019). Evaluation of Drinking Water Network Chlorination Performance for Ondokuzmayıs District Using MIKE URBAN. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 368-374.

Abstract

The quality of water must be suitable for the process until the last subscriber is treated from drinking water in the drinking water network. The chlorination process is an important process in order to keep certain parameters of water quality at certain intervals. The chlorination process must be managed in accordance with the drinking water demand. The operation of a drinking water network without the right chlorination strategy increases the cost of the water as well as the healthy transportation of the water to the end user point. The aim of this study is to create maps of chlorination according to seasons of Ondokuzmayıs district of Samsun and ensure implementation of correctly strategy. After collecting samples at predetermined time and points according to seasons at Ondokuzmayıs district, chlorine values were determined in laboratory. The average chlorine results measured at five points were found to be 1.2158 mg L⁻¹. After the determination of quality values of chlorine was identified, locations at MIKE URBAN water supply system geographic information system are defined according to each season. Value of chlorine in the entire network system Ondokuzmayıs district has been identified. By obtaining this data, city chlorination maps have been derived. At the maps, where and why chlorine value is low or high have been determined, and that must be followed correctly strategy has been created.

Keywords: chlorination, MIKE URBAN, modelling, water quality.

Ondokuzmayıs İlçesi İçme Suyu Şebekesi Klorlama Performansının MIKE URBAN İle Değerlendirilmesi

Öz

İçme suyu şebekesindeki içme suyunun arıtılmasından son aboneye ulaşıncaya kadar ki süreçte suyun kalitesinin uygun olması gerekmektedir. Su kalitesinin bazı parametrelerini belirli aralıklarda tutulabilmesi için klorlama prosesi önemli bir prosedir. Klorlama prosesi, içme suyu talebine göre uygun olarak yönetilmesi gerekmektedir. Bir içme suyu şebekesinin doğru klorlama stratejisi yapılmadan işletilmesi hem maliyetini artırmaktadır, hem de son kullanıcı noktasına kadar suyun sağlıklı bir şekilde ulaştırılabilmesi sağlanamamaktadır.

Bu çalışmanın amacı Samsun Ondokuzmayıs ilçesinin mevsimlere göre klorlama haritalarının oluşturulması ve doğru stratejilerin uygulanmasının sağlanmasıdır. Ondokuzmayıs ilçesinde mevsimlere göre önceden belirlenmiş zaman ve noktalarda numuneler alındıktan sonra laboratuvarında klor değerleri belirlenmiştir. Beş noktada ölçülen klor değerleri ortalama 1,2158 mg/l olarak bulundu. Bulunan klor değerleri ,MIKE URBAN'da içme suyu şebekesi coğrafi bilgi sisteminde yerleri tespit edilerek her mevsime ayrı ayrı tanımlanmıştır. Bu çalışmalarla Ondokuzmayıs ilçesindeki şebeke sisteminin tamamında klor değerleri belirlenmiştir. Bu verilerle

¹ Corresponding Author: Ondokuz Mayıs University, Engineering Faculty, Environmental Engineering Department, Samsun, Turkey. ORCID : 0000-0002-7177-1764, arife.simsek@omu.edu.tr

birlikte mevsimlere göre şehrin klorlama haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalarda klor değerlerinin nerede neden düşük veya yüksek olduğu tespit edilmiş ve izlenilmesi gereken strateji oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Klorlama, MIKE URBAN, modelleme, su kalitesi.

*Corresponding Author: Ondokuz Mayıs University, Engineering Faculty, Environmental Engineering Department, Samsun, Turkey (ORCID: 0000-0002-7177-1764), arife.simsek@omu.edu.tr

1. Introduction

Chlorine, an efficient, inexpensive and stable disinfectant, has been in continuous use for water disinfection for a long time. Chlorine in the network disappears due to reactions with ammonia, organic compounds, deposits on pipes and the pipes themselves (Zhang et al.,1992). Chlorine containing disinfectants are effective for most known pathogenic microorganisms and completely destroys or prevents from being reproduced them. Chlorine takes control of biological growth, block formation of living things can clog and cause malfunction pipes and devices or can develop in storages. Chlorine provides chemical control, disintegrate hydrogen sulphide, ammonia and other nitrogen compounds that may be present in water (Oğur et al.,2004). When chlorinated water enters the distribution system, chlorine residual tends to dissipate. Three factors that frequently influence chlorine consumption are: (1) reactions with organic and inorganic chemicals in the bulk aqueous phase; (2) reactions with biofilm at the pipe wall; and (3) consumption by the corrosion process. (Munavalli et al.,2005). Chlorine given to network decreases with the reaction of various organic and inorganic substances in water. Therefore, chlorine consumption rate is directly related to drinking water quality (Muhammetoğlu et al.,2011). Water quality models that simulate chlorine decay are valuable tools for the management of chlorine residual. Such models are currently used for dosage optimization, chlorination facilities siting and prediction of critical locations where chlorine may decay to ineffective levels (Monteiro et al.,2014). MIKE URBAN is developed by the Danish Hydraulic Institute (DHI) which is an integration of mathematical modelling procedures developed for hydrologic, hydraulic and water quality simulations. In the research study, the time-area method was selected as the hydrologic modelling approach due to its simplicity, but at the same time the ability to provide relatively accurate results (Liu et al.,2010). The important parameter for MIKE URBAN model selection is usability of simulation engine, workflow, flexibility and integration of GIS (geographic information system) as well as physical robustness, productivity and steady urban water modelling software (URL-1). The aim of this study is to determine the use of chlorine in the drinking water network of Ondokuzmayıs districts of Samsun according to the seasons and to implement the correct strategies. For this, MIKE URBAN modelling program is used in modelling. Similar disinfection and modelling studies are included in the literature (Paraskevas et al.,2007;Günel and Kösen,2015).

2. Materials and Methods

2.1 Study Area-Ondokuzmayıs District in Samsun

Sampling activities were carried out in drinking water network of Ondokuzmayıs district in Samsun province. Ondokuzmayıs district is 33 kilometers away from Samsun, located on Samsun - Sinop highway. The height to water of the district center located at eastern end of Kızılırmak river bring delta lowland is 10 meters. The territory to north of district center constitutes a part of lowland formed by Kızılırmak. This area has some of fish lakes. The district is surrounded by Samsun at east, Bafra at west, Black Sea at north, Samsun and Bafra at south. The highest place is southern hill where Nebiyan forests are located (URL-2).

2.2 Sampling of Samples

Samples were collected from five different points in August 2013 in summer, October 2013 in autumn, December 2013 in winter and March 2014 in spring. Names of sampling points selected for analysis are tabulated in Table 1. Five different geographical locations have been identified. In Figure 1, points in each region and names of points are shown as schematically.

Table 1. Sampling points at Ondokuzmayıs city

S1	Main Reservoir
S2	19 Mayıs State Hospital
S3	Aşık Kutlu Education Center
S4	Tekel İsmail Çolak Primary
S5	Vali Şinasi Kuş Park

S1 point is the biggest water reservoir provides general water distribution to network. S2 is state hospital in district where population of the district is more than population density. S3 is an education center located at a distance from center and away from lower regions. S4 point is a primary school near the city's tobacco factory. S5 point is a park near sea level. Sampling is usually complete mornings between 10 and 12 hours. At all points, samples were collected from a tap near street. Before samples were collected tap was opened for 5 minutes to ensure that public came directly from water mains and that building wasn't from plumbing system. Immediately after samples were collected, they were moved to laboratory for analysis at the same day. Chlorination analysis was measured by T70/T70+ UV-VIS Spectrophotometers device in laboratory.

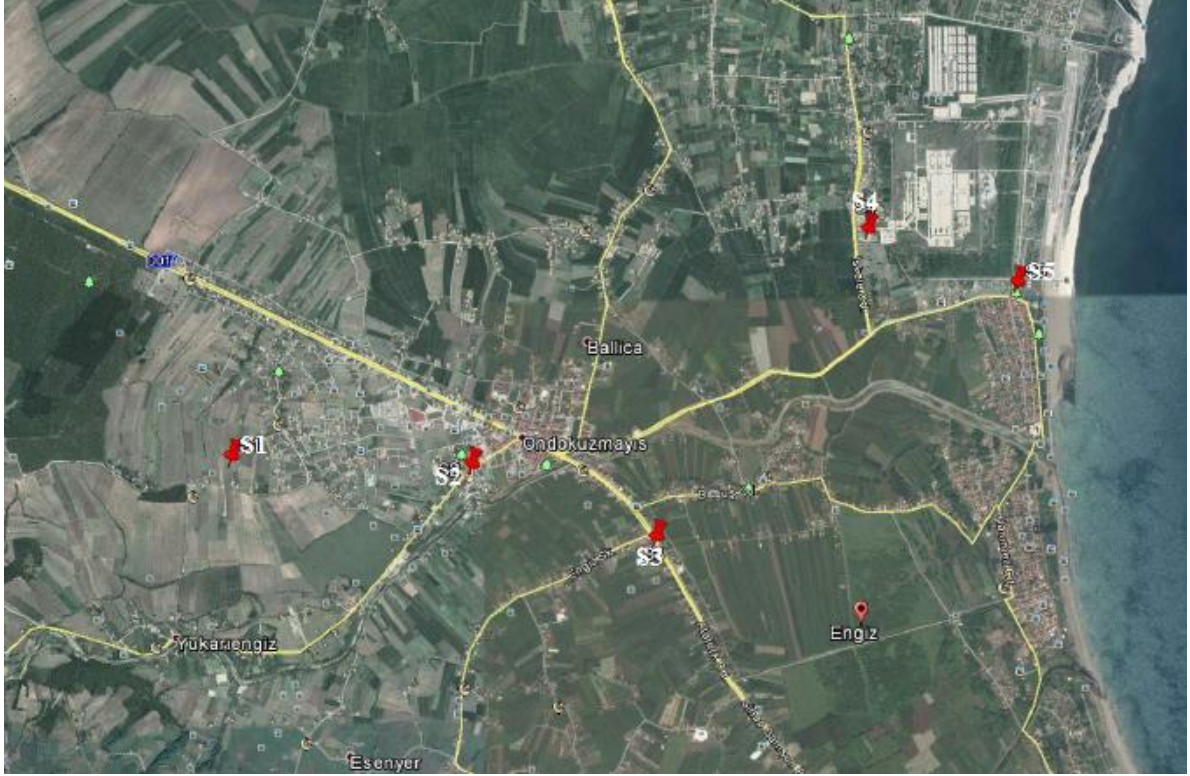


Figure 1. Sampling points at Ondokuzmayıs District

2.3 Modelling Application

Firstly in MIKE URBAN software such as diameters, materials, altitude according to sea of all pipes, intersection points, reservoirs and pumping stations, reservoir volumes, pump values of Ondokuzmayıs district were entered. Once hydraulic infrastructure of network has been completed, it becomes suitable for modelling. Modelling studies have been carried out on chlorine values every season separately. Certain roughness coefficients have to be used in modelling studies. These coefficients can be obtained in two different ways, locally and globally. In this study, roughness coefficient of pipe surface was taken as -0.4. There are 5 points in model of drinking water network that we introduce to measurement and modelling. Calibration bubbles are created as shown in Figure 2 to calibrate model of these points. In these balloons, M.V. shows modelling analysis result values, A.V. shows actual analysis result values.

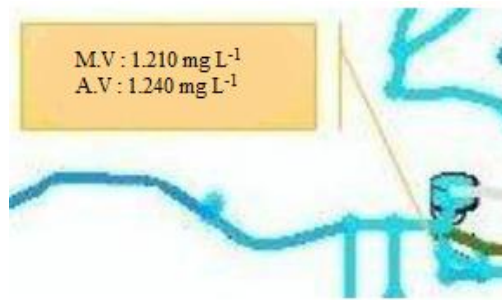


Figure 2. Calibration bubbles comparing modelling - analysis values

Concentration of chlorine in drinking water varies from 0 to 1 mg L⁻¹ to light blue to dark blue. When chlorine concentration is 1-5 mg L⁻¹, it changes from light green to dark green tones. Chlorine concentrations is in range of 5-6 mg L⁻¹ in yellow color, red color turns from yellow in range of 6-10 and 10 mg L⁻¹ and above values will be black tone (Ulutas, 2015).

3. Results and Discussion

Samples were collected at the site and analyzed in laboratory. After analysis, results were determined and entered into the modelling software, modelling results were obtained.

3.1 Laboratory Results

Analysis results are given in Table 2. Units of all results in Table 2 are mg L⁻¹.

Table 2. Chlorine analysis results of Ondokuzmayis District

	Summer	Autumn	Winter	Spring	Ave.	St. Deviation
	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	
S1	1.240	0.514	0.130	0.223	0.527	0.503
S2	1.238	1.587	1.048	1.302	1.294	0.220
S3	4.598	0.472	0.243	0.133	1.362	2.160
S4	2.207	0.652	0.288	0.090	0.809	0.960
S5	2.101	5.891	0.141	0.214	2.087	2.690

According to results of analysis, increase in chlorination values and increase in regional differences are due to increase of chlorination activity in water together with increase of usage of drinking water in summer months. In other months, results of sampled points are close to each other, indicating that chlorination activity is lower than summer. During fall season, the point where chlorine value is high due to the lowest point as level between measuring points of S5 point is hitting surface. The level of chlorination in city is determined by taking community health center at S2 point as a reference.

3.2 Modelling Predictions

Modelling predictions were obtained for separately each season after hydraulics infrastructure of Ondokuzmayis district was prepared.

Summer - 2013

Modelling of summer Cl⁻ values of drinking water network formed from obtained analysis results is provided at Figure 3. According to results of this modelling, difference of Cl⁻ values according to location of network is multiplied. Main reason for this increase in amount of Cl⁻ given to drinking water network with increase in summer water consumption. In addition, chlorine is present in entire city drinking water network, even if it is less especially at high altitudes. This indicates that entire drinking water network is disinfected.

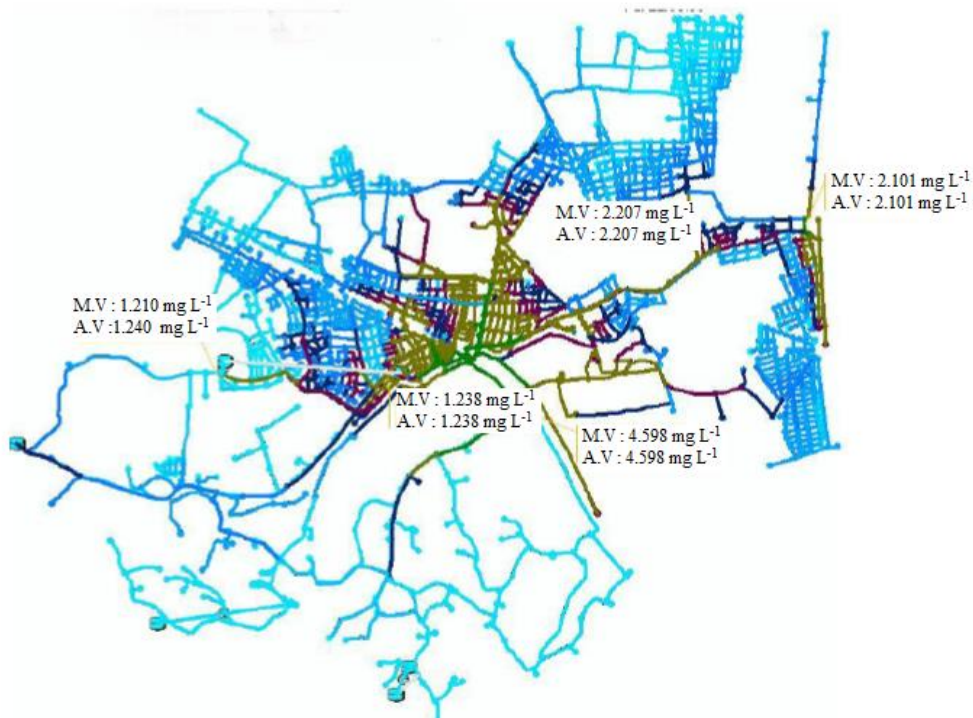


Figure 3. Chlorine modelling predictions of Ondokuzmayis in summer season of 2013

Autumn - 2013

Chlorine model of fall season of drinking water network formed from obtained analysis results is given in Figure 4 Chlorine values are adjusted with reference to state hospital in the city center. Therefore, there is around 1 mg L^{-1} of chlorine value around state hospital. It has a chlorine value to keep quality of drinking water at an average level until less to sea level.

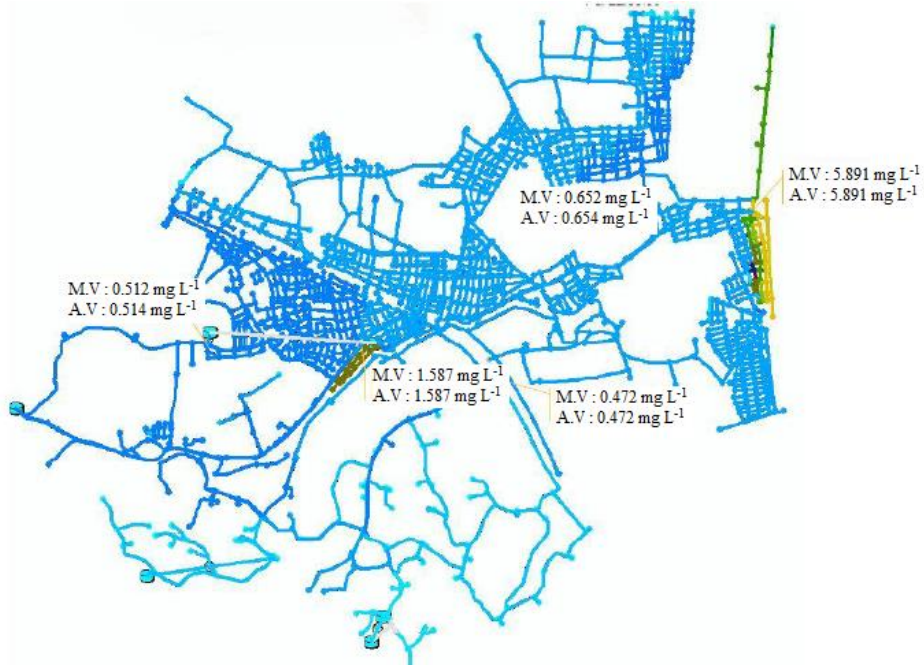


Figure 4. Chlorine modelling predictions of Ondokuzmayis in autumn season of 2013

Winter - 2013

Chlorine model of winter season of drinking water network formed from obtained analysis results is given in Figure 5. According to these results, there is around 1 mg L^{-1} of chlorine value around state hospital. Chlorine is present in entire city drinking water network, even if it is low in elevated places.



Figure 5. Chlorine modelling predictions of Ondokuzmayis in winter season of 2013

Spring - 2014

Cl⁻ model of spring season of drinking water network formed from obtained analysis results is given at Figure 6. According to results of modelling, near 1 mg L⁻¹ Cl⁻ is in network close to city center. Elsewhere lower levels of chlorine have been found.



Figure 6. Chlorine modelling predictions of Ondokuzmayis in spring season of 2014

4. CONCLUSION

Evaluation and suggestions were made after modelling predictions were obtained.

1. Instead of high-level chlorination at a few points, mean-level chlorination should be preferred at many points. Intermediate chlorination stations should be installed in areas that aren't at low elevation levels in drinking water network and in areas remote from main storage zone. With establishment of intermediate chlorination stations chlorination levels will decrease. Water containing high chlorine will have negative effects on health of human beings and other living beings when used as drinking water. Concentration of chlorine and organic-inorganic matter increases, concentration of trihalomethanes increases. Trihalomethanes are substances that can cause carcinogenic effects.

2. In summer, fall and spring seasons, concentration of chlorine suddenly arrives at colors that correspond to high values, as can be understood from intervals in color palettes near sea as a result of analysis of model. Low slaughter didn't results in high quotas but chlorine influenced all of settlement at sea level. Reducing chlorine level in network will be accompanied by a reduction in level of chlorine added to drinking water as well as an increase in number of chlorination points and construction of intermediate chlorination stations at suitable locations.

3. High flow chlorination process at lower points increases cost of chlorination due to chlorine flying. Average flow chlorination from a many of points will be an investment that also saves operating costs. Therefore, number of chlorination points should be increased and chlorination doses should be reduced in parallel with increase of number.

Acknowledgements

This study was supported by Ondokuzmayis University PYO.MUH.1904.11.016 project and "Water quality monitoring and modelling in water distribution systems" with master's thesis.

References

- Günel, M. and Kösen, A., (2015) . Application of GIS for Predicting Quality of Underground Water for Drinking.” ACTA PHYSICA POLONICA A, DOI: 10.12693/APhysPolA.128.B-107.
- Liu A., Egodawatta P., Kjolby M.J., (2010). Goonetilleke A. Development of pollutant build-up parameters for Mike Urban for Southeast Queensland, Australia, Proceedings of the International MIKE by DHI Conference. Copenhagen, Denmark, P024.
- Monteiro L., Figueiredo D., Dias S., Freitas R., Covas D. , Menaia J. , Coelho S. T. (2014). Modelling of chlorine decay in drinking water supply systems using EPANET MSX, 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, CCW12013, Procedia Engineering 70. 1192 - 1200.
- Muhammetoğlu H., Soyupak S., Karadirek İ. E. (2011). İçme suyu dağıtım şebekelerinde optimum klorlama uygulamalarının matematiksel modeller kullanılarak gerçekleştirilmesi ve dezenfeksiyon sistemlerinin yönetimi projesi el kitabı, Antalya Büyükşehir Belediye Başkanlığı, Antalya Su ve Atık Su İdaresi Genel Müdürlüğü, TÜBİTAK-KAMAG 107G088 nolu proje, Antalya.
- Munavalli G. R. and Mohan Kumar M. S. (2005). Water quality parameter estimation in a distribution system under dynamic state, Water Research 39 4287 - 4298. DOI: 10.1016/j.watres.2005.07.043
- Oğur R., Tekbaş Ö. F., Hasde M. (2004) . Klorlama rehberi, Gülhane Askeri Tıp Akademisi, Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Ankara.
- Paraskevas D. Tzanavaras I, Demetrius G. Themelis , Fotini S. Kika. (2007). Review of analytical methods for the determination of chlorine dioxide. Central European Journal of Chemistry, Vol 5(1) 1–12, DOI: 10.2478/s11532-006-0054-9 Mini-review.
- Ulutaş M. B. (2015). Su dağıtım sistemlerinde su kalitesinin izlenmesi ve modellenmesi, Yüksek lisans tezi, Ondokuzmayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 425821.
- URL-1: <http://www.dhissoftware.com/Products/Cities/MIKEURBAN.aspx> (Date of visit: April 27, 2013).
- URL-2: http://www.l9mayis.gov.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=138&Itemid=56(Date of visit: May 26, 2015).
- Zhang G. R. , Kiene L. , Wable O. , Chan U. S. , (1992). Duguet J. P. Modelling of chlorine residual in the water distribution network of Macao, Environmental Technology, Vol. 13, pp 937-946. DOI:10.1080/09593339209385229



Enzime Dirençli Nişasta Kullanarak Fonksiyonel Galeta Geliştirilmesi

Gökçen Garipoğlu^{1*}

¹Bahçeşehir Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü (ORCID: 0000-0001-7430-5163)

(İlk Geliş Tarihi 17 Ocak 2019 ve Kabul Tarihi 4 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.514165)

ATIF/REFERENCE: Garipoğlu, G. (2019). Enzime Dirençli Nişasta Kullanarak Fonksiyonel Galeta Geliştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 375-380.

Öz

Bu çalışmada ülkemizde diyabet, kilo kontrolü gibi durumlarda sık tüketilen bir atıştırmalık olan galetaya işlevsel özellik kazandırılması amacıyla enzime dirençli nişasta (EDN) ilave edilerek yeni bir ürün geliştirilmesi amaçlanmıştır. Kimyasal olarak laboratuvar ortamında buğday nişastasından elde edilen enzime dirençli nişasta, galeta yapımında toplam un içeriğinin % 10-15-20-30 ve 40 olacak şekilde ilave edilmiştir. Bu karışım ile pişirilen galetaların glikemik indeks değerleri in vitro olarak nişasta sindirimi baz alınarak ölçülmüş ve standart galeta ile karşılaştırılmıştır. Son ürünlerin makrobesin ögeleri, diyet lif miktarı, enerji değeri ve glikemik indeks değeri ölçülmüştür. Galetaların enerji değeri sade galetada 422,3±0,5 kkal/100 g ölçülmüş, EDN ilavelisi ile sırayla 413,1±0,5 kkal/100 g, 411,14±0,5 kkal/100 g, 409,1±0,5 kkal/100 g, 406,06±0,5 kkal/100 g ve 398,66±0,5 kkal/100 g'ye düşmüştür. Diyet lifi miktarı ise sade galetada 4,7±0,5 g iken, EDN oranı arttıkça 17,27±0,5 g'a yükselmiştir. İn vitro glikemik indeks değeri sade galetada 85±1'den sırasıyla 60±1 - 56±0,5 - 54±0,5 - 52±0,05 - 51±0,5'e düşmüştür.

Anahtar Kelimeler: Dirençli Nişasta, Fonksiyonel Besin, Galeta, Sağlık, Obezite

Development of Functional Grissini Using Enzyme Resistant Starch

Abstract

In this study, it is aimed to develop a new product by adding enzyme resistant starch (RS) in order to provide a functional property to grissini, which is a frequently consumed snack in cases such as diabetes and weight control in our country. Enzyme-resistant starch obtained from wheat starch in the laboratory environment was added to the grissini as the amount of 10-15-20-30 and 40% of the total flour content in the grissini. The glycemic index values of the grissini containing the RS were measured as in vitro method based on starch digestion and the values were compared with the standard one. Macronutrients, fiber content, energy value and the glycemic index value of end products were measured. The energy value of the grissini was measured as 422,3 ± 0,5 kcal / 100 g on a without RS and 413,1 ± 0,5 kcal / 100 g, 411,14 ± 0,5 kcal / 100 g, 409,1 ± 0,5 kcal / 100 g, 406,06 ± 0,5 kcal / 100 g and 398,66 ± 0,5 kcal / 100 g respectively, by the addition of RS. The amount of dietary fiber was 4.7 ± 0.5 g on the pure grissini, while the RS ratio increased, the dietary fiber amount increased to 17.27 ± 0.5 g. In vitro glycemic index value decreased from 85 ± 1 to 60 ± 1 - 56 ± 0,5 - 54 ± 0,5 - 52 ± 0.05 - 51 ± 0,5, respectively.

Key Words: Resistant Starch, Functional Food, Grissini, Health, Obesity

¹ Sorumlu Yazar: Bahçeşehir Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, ORCID: 0000-0001-7430-5163, gokcen.garipoglu@hes.bau.edu.tr

1. Giriş

Yıllar içerisinde dünyada teknolojiden, gıda üretimine kadar pek çok alanda görülen gelişmeler yaşam biçimlerinin ve beslenme alışkanlıklarının da değişmesine sebep olmuştur. Özellikle kentleşme ile geleneksel beslenme kültüründen uzaklaşma ve hızlı hazır besinlerin tüketimi artmıştır. Bu artış beslenmede doymuş yağ, şeker ve tuz içeriğinin artmasına, özellikle diyet lifi ile bazı vitamin ve minerallerin de yetersiz alınmasına yol açmıştır (TSB Mevzuatı, 2010-2014; TÜBER, 2015).

Türkiye’de yapılan beslenme ve sağlık araştırmalarının sonuçlarına göre obezite ve kardiyovasküler hastalıklar, tip II diyabet, bazı kanser türleri gibi beslenmeye bağlı bulaşıcı olmayan kronik hastalıklar toplumda sıklıkla görülmektedir (ÇSGB Yayını, 2016). Bu durum artan tedavi maliyetleri ile hem ekonomik kayıplara hem de sosyal sorunlara neden olarak bireylerin yaşam kalitesini bozmakta hatta yaşam süresinin kısalmasına da neden olmaktadır (TÜBER, 2015).

Beslenme insan gereksinimlerinin başında gelir ve besinler insan sağlığını iyileştirmeyi sağlayan pek çok biyobileşen içerir (Baysal, 2018; Gul ve ark., 2016). Besinlerde bulunan ve sağlık faydaları yüksek olan fonksiyonel bileşenler temel olarak biyoaktif karbonhidratlar (CHO), biyoaktif peptidler, çoklu doymamış yağ asitleri, vitamin ve mineraller ile fitokimyasallar olarak sınıflandırılabilir (Hasler ve ark., 2014). Son 50 yıldır epidemiyolojik veriler özellikle bitkisel kaynaklı biyoaktif bileşenlerin (meyveler, sebzeler, tam tahıllar) ve diyet lifinin kronik hastalık (Obezite, diyabet, kanser vb.) riskinde azalma ve/veya iyileşme üzerine güçlü etkilerini ortaya koymaktadır (Balsano ve Alisi, 2009; Gul ve ark., 2016).

Biyoaktif CHO türü olan EDN, kuru baklagiller, tam tahıllar, patates ve yeşil muz gibi besinlerde bulunur. İnce bağırsakta sindirime dirençli yapısı nedeniyle besinlerin glisemik indeksi düşürür ve postprandiyal kan glukozunu iyileştirir (Robertson, 2012). Dirençli nişastanın yavaş sindirilmesi kan glukoz seviyesinin daha iyi kontrol edilmesi ve buna bağlı olarak depo yağların kullanılmasını artırır. Ayrıca kan glukozu üzerine kontrollü etki göstermesi açlık hissini baskıladığı için toplam enerji alımının azalmasını sağlar ve kilo kontrolüne destek olur. Bu nedenle obezite tedavisinde EDN içeren besin tüketiminin artırılması önerilmektedir (Robertson, 2012; EFSA, 2011).

Dirençli nişastanın genel kabul gören bu yararlı etkilerinin yanında lipid metabolizması ve minerallerin biyoyararlılığını olumlu yönde etkileyebilmektedir. Enzime dirençli nişasta (Miller ve ark., 1995) kullanımının potansiyel faydalı kullanım alanları; diyabet, obezite, kolon kanseri, immün sistem hastalıkları ve diğer kanser türleri ve kardiyovasküler hastalıklar (KVH) olarak tanımlanmıştır (Bindels ve ark., 2015).

Avrupa Gıda Birliği Kurumu (EFSA), 2011 yılında dirençli nişasta için fonksiyonel sağlık beyanlarını onaylamış ve CHO yönünden zengin fırıncılık ürünlerinde belli oranlarda EDN kullanımının tokluk kan şekeri ve insülin düzenlenmesine yardımcı olabileceğine ilişkin olumlu görüş bildirmiştir (EFSA, 2011). Böylece EFSA’nın onayı ile birlikte dirençli nişastanın yüksek CHO içerikli fırıncılık ürünlerinde kullanımına yönelik inovasyonların da önü açılmıştır (EFSA, 2011; Fujii ve ark., 2013).

Hastalıklardan korunmada ve daha sağlıklı bir yaşama ulaşmada etkinlik gösteren inovatif ve geleneksel besinler “Fonksiyonel Besin” olarak tanımlanmış, “Food For Specified Health Uses (FOSHU)” kavramı ile sunulan fonksiyonel besinlere ilgi 1990’lardan sonra tüm dünyaya yayılmıştır (Hacıoğlu ve Kurt, 2012; Shimizu, 2012).

Dünyada fonksiyonel besinlerin pazar payı her yıl % 10 büyümektedir. Bu pazarda süt ürünlerinden sonra % 25,9’luk oranla unlu mamüller 2. sırada yer almaktadır. Türkiye’de ise, fonksiyonel gıda pazarı, özellikle son beş yılda büyük gelişme göstermiş, artan sağlık bilinci ve tüketicilerin fonksiyonel gıda ürünlerine yönelik talebine paralel olarak, birçok firma, pazara fonksiyonel gıdalar sunmaya başlamıştır (Hacıoğlu ve Kurt, 2012). 2013 yılında 43,2 milyar dolar büyüklüğe ulaşan fonksiyonel gıda ve içecek pazarının % 25 büyüyeceği ve 2017 yılında 54 milyar dolar büyüklüğe ulaşacağı tahmin edilmektedir. Özellikle 2000’li yıllarda “sağlık”, tüketicilerin satın alma kararını birinci sırada etkileyen kriter haline gelmiş, tüketicinin besinden beklentisi değişmiştir. Tüketim talebini destekleyen uygulamalar da bu alandaki arzı artmaya da devam edecektir (Hacıoğlu ve Kurt, 2012; Kranz ve ark., 2012).

Bu çalışmada beslenmemizde sık tüketilen fırıncılık ürünlerinden galetaya çeşitli oranlarda dirençli nişasta ilave edilerek enerjisi azaltılmış, düşük glisemik indeksli ve yüksek lifli bir fonksiyonel besin geliştirmek amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem:

Un, su, sıvıyağ, tuz ve ticari maya olarak bilinen *Saccharomyces cerevisiae* ile farklı oranlarda dirençli nişasta ilavesi yapılarak hazırlanan hamurlardan yapılan galetalar üst sıcaklığı 250 °C, alt sıcaklığı 175 °C olan fırında 45 dk süresince pişirilerek 5 farklı galeta elde edilmiştir.

Sade, % 10, % 20, % 30 ve % 40 oranında buğday dirençli nişastası içeren galetalara nem, kül, protein, yağ ve toplam sindirilebilir CHO analizleri yapılmış ve değerler 100 gram üzerinden hesaplanmıştır. Nem, kül, yağ, protein ve toplam sindirilebilir CHO sonuçlarının toplamı 100’den çıkarılarak numunelerdeki diyet lif miktarı ve kalori değerleri hesaplanmıştır. Analizler paralel olacak şekilde tekrarlanmıştır (Elgün ve ark., 2001; AOAC International, 2010; High Speed Analysis of Amino Acids by Pre-Column Derivatization, 1999; Büyüktuncel, 2012; Goni ve ark., 1997; Buyken ve ark., 2018; Megazyme, 2005).

Besin öğelerinin ve bütün bileşenlerin birim ağırlığının sağladığı kullanılabilir enerji değerinin hesaplanması için Türk Gıda Kodeksi, Etiketleme Yönetmeliği Ek 10’da bulunan “enerji çevrim faktörleri” kullanılmıştır. Dirençli Nişastanın enerjisi 0,4 kkal/g olarak kullanılmıştır (TGK, 2017; TURKOMP, 2019; Campbell, 2008). Nem, kül, yağ, protein ve toplam sindirilebilir CHO sonuçlarının toplamı 100’den çıkarılarak numunelerdeki diyet lif miktarı hesaplanmıştır (TGK, 2017).

Niştasta sindirim hızları ölçülen numunelerin referans besin olan beyaz ekmek hidrolizi üzerinden hidroliz indeksi hesaplanmıştır. In vitro glisemik indeks değeri Goni metodu ($G\dot{I}=39.71 \times 0.549HI$) kullanılarak hesaplanmıştır (Goni ve ark., 1997) Glisemik indeks aralıkları; ≥ 70 Yüksek, 56-69 Orta ve ≤ 55 Düşük olarak kabul edilmiştir (TSB Yayını, 2008).

3. Bulgular ve Tartışma:

Analizler sonucunda elde edilen sonuçlardan makro besin öğeleri miktarı ve enerji değerleri Tablo 1’de gösterilmiştir. Sade ve EDN içeren galetalarda protein oranı EDN ilavesi arttıkça düşük oranda azalmış (% 0,16 azalma), yağ değerleri değişmemiştir. Toplam kullanılabilir CHO miktarının sade galetada % $70 \pm 0,5$ olduğu, EDN ilavesi ile azaldığı görülmüştür (% 40 EDN içeren galeta % $58 \pm 0,5$). Enzime dirençli niştasta oranı arttıkça örneklerin enerji değerlerinin de giderek azaldığı görülmüştür (sade galeta için $422,3 \pm 0,5$ kkal/100 g, % 40 EDN içeren galeta için $398,66 \pm 0,5$ kkal/100 g). Protein içeriğindeki azalma ilave edilen EDN nedeniyle unun toplam niştastasındaki artışa, dolayısıyla unun kompozisyonunun değişmesine bağlanabilir. Enzime dirençli niştasta oranı artan galetalarda, kullanılabilir CHO azaldığından, sindirime ve emilime uğrayan CHO’da azalmış, dolayısıyla toplam enerji değeri düşmüştür.

Analiz sonuçları değerlendirildiğinde, galetaların EDN oranı arttıkça diyet lifi miktarı artmıştır. Sade galetada % $4,7 \pm 0,5$ olan diyet lifi % 40 EDN içeren galeta için % $17,27 \pm 0,5$ olarak ölçülmüştür. Besinlerin sindirilmeden atılan kısmı diyet lifi olarak değerlendirilmektedir. Unlardaki niştastanın bir kısmının sindirime dirençli hale getirilmesi ile diyet lifi içeriği artırılabilir.

Glisemik indeks değerleri açısından karşılaştırıldığında ise sade galetanın % 85 ± 1 glisemik indekse sahip olduğu ve EDN oranı arttıkça bu değer % $51 \pm 0,05$ ’e kadar azaldığı görülmüştür. Diyet lifi içeriği yüksek besinlerin glisemik indeksi daha düşüktür. Bu sonuçlara göre, EDN ilavesi ile galetaların diyet lifi miktarı arttığından glisemik indeks değerinin düşmesine katkı sağladığı değerlendirilmiştir. Diyet lif miktarı ve glisemik indeks değerleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Toplumda artan obezite, diyabet, kalp damar hastalıkları gibi hastalıklar önemli bir halk sağlığı sorunudur. Bu sorunun temel sebeplerinin başında yanlış ve/veya aşırı beslenme gelmektedir. Modern hayatın hızlanan temposunda bireyler sağlıklı beslenmek için daha fazla çaba ve para harcamak zorunda kalmakta, ekonomik gücü yeterli olmayanların ise temel besinini yüksek CHO’lu unlu besinler oluşturmaktadır (Schmier, 2014). Bu nedenle toplumun çoğunluğu tarafından tüketilen bu ürünlere dirençli niştasta ilavesi ile diyet lifi içeriği artırılabilir, obezite, diyabet, sindirim sistemi kanserleri ve KVH gibi kronik hastalıkların riski de azaltılabilir (Birt, 2013; Guine ve ark., 2016).

Diyetle alınan lif miktarı ile ilgili olarak pek çok araştırma yapılmış, diyet lifi ile hastalıklar arasındaki ilişkiler ve diyet lifinin potansiyel sağlık faydaları gösterilmiştir (TÜBER, 2015; Chen ve ark., 2017; Veronese ve ark., 2018).

Tablo 1: Galetaların Makrobesin Öğeleri Miktarları ve Enerji Değerleri

Numuneler	Protein (%)	Yağ (%)	CHO (%)	Enerji (kkal/100 g)
Sade Galeta	$1,95 \pm 0,09$	$13,9 \pm 1,9$	$70 \pm 0,5$	$422,3 \pm 0,5$
10% EDN içeren galeta	$1,95 \pm 0,04$	$13,9 \pm 1,9$	$65 \pm 0,5$	$413,1 \pm 0,5$
15% EDN içeren galeta	$1,79 \pm 0,04$	$13,9 \pm 1,9$	$64 \pm 0,5$	$411,14 \pm 0,5$
20% EDN içeren galeta	$1,79 \pm 0,04$	$13,9 \pm 1,9$	$63 \pm 0,5$	$409,1 \pm 0,5$
30% EDN içeren galeta	$1,79 \pm 0,05$	$13,9 \pm 1,9$	$62 \pm 0,5$	$406,06 \pm 0,5$
40% EDN içeren galeta	$1,79 \pm 0,06$	$13,9 \pm 1,9$	$58 \pm 0,5$	$398,66 \pm 0,5$

Lif içeriği yüksek besinlerin günlük beslenmede artırılması çığneme için harcanan zamanı artıracığından kilo kontrolüne destek olur. Lifli besin tüketimi ile glukoz emilimi yavaşlar ve dolayısıyla insülin yanıtını iyileştir. Diyet lifi ince bağırsakta kolesterol emilimini azaltarak kalp damar hastalıkları riskini de azaltır (Chen ve ark., 2017; Veronese ve ark., 2018).

Diyet lifinin yetişkinlerde günlük 20-35 g olarak alınması önerilmektedir. Ayrıca bu miktarın 5-8 g’ının da prebiyotik etkisi yüksek lifler (inülin, beta glukan, pektin vb.) olması önerilmektedir (Schmier ve ark., 2014; TÜBER, 2015). Yapılan bir çalışmada kadınların sadece % 3’ünün, erkeklerin ise % 6’sının önerilen diyet lifini karşıladığı gösterilmiştir. Çalışmada aynı zamanda diyet lifinde 1 gr artış sağlandığında, kabızlıkta % 1,9 oranında iyileşme olduğu bildirilmiş, günlük lif alımında ortalama günde 9 g artış sağlandığında hem kabızlığa bağlı hastalıklarda azalma, hem kabızlık tedavisinde kullanılan ilaç, bitkisel desteklerde azalma sağlanacağı, hem de çalışma saatlerinden kayıpların azalmasıyla yıllık 12 milyar dolar tasarruf edilebileceği ön görülmüştür (Schmier ve ark., 2014).

Tahıla dayalı beslenmede işlenmiş un kullanımını nedeniyle, elde edilen ürünler lif kaybına uğradığından özellikle bu ürünlere EDN ilavesi diyet lifi alımını artırmada etkili bir yol olabilir. Enzime dirençli niştasta sindirilmeden kolona ulaşması nedeniyle prebiyotik etki

gösteren bir diyet lifidir (Stewart ve Zimmer, 2015; Zhang ve ark., 2015). Prebiyotik liflerin kolonda fermentasyonu sonucu kısa zincirli yağ asitlerinin (KZYA) oluşumu artar, bu da bağırsak epiteli için enerji kaynağı olarak kullanılır.

Kısa zincirli yağ asitleri kolonda bulunan probiyotik bakterilerin çoğalmasını sağlayarak, bağışıklık sistemini destekler ve gastrointestinal sistem kanserleri başta olmak üzere pek çok kronik hastalıktan korunmaya ve iyileşmeye katkı sağlar (Birt ve ark., 2013; Gul ve ark., 2016).

Tablo 2: Galetaların Diyet Lif Miktarları ve Glisemik İndeks Değerleri

Numuneler	Diyet Lif (%)	GI (%)
<i>Sade Galeta</i>	4,7±0,5	85±1
<i>10% EDN içeren galeta</i>	10,1±0,5	60±1
<i>15% EDN içeren galeta</i>	11,05±0,5	56±0,5
<i>20% EDN içeren galeta</i>	12,44±0,5	54±0,5
<i>30% EDN içeren galeta</i>	12,96±0,5	52±0,005
<i>40% EDN içeren galeta</i>	17,27±0,5	51±0,05

Plasebo kontrollü, çift kör olarak yapılan bir çalışmada 26 gönüllüye 12 hafta boyunca normal un ve 12 hafta boyunca da % 30 DN içeren un ile hazırlanan atıştırma tükettirilmiştir. Enzime dirençli nişastalı ürün tüketenlerde serum kolesterol, açlık kan şekeri, HbA1c değerleri daha düşük bulunmuş, bel çevresi ve vücut yağ oranları da benzer azalma göstermiştir. Aynı çalışmada EDN alımı ile intestinal mikroflorada değişimler, KZYA üretiminde artış olduğu da bildirilmiştir (Upadhyaya ve ark., 2016). Fırıncılık ürünlerine eklenen ve prebiyotik bir diyet lifi de olan EDN tüketiminin artırılması, sağlığın iyileştirilmesinde ve hastalıkların tedavisinde önemli rol oynayabilir.

Enzime dirençli nişasta alımının kolonik florada *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* sayısını artırdığını gösteren çalışmalarda, kolon mikrobiyom çeşitliliği ve probiyotik bakterilerdeki bu artış KZYA üretimini de artırarak bağırsak mukoza kalınlığını desteklemekte ve bakteriyal geçişi azaltmaktadır (Shang ve ark., 2017; Upadhyaya ve ark., 2016). Bu etkilerinden dolayı EDN, kabızlık, kolon kanserleri ve otoimmün hastalıkların oluşmasında azalmaya ve iyileşmeye katkı sağlayabilir.

Deney hayvanları ile yapılan bir çalışmada EDN'nin plazma kolesterol ve trigliserid (TG) seviyesini düşürmede etkili bir yöntem olduğu gösterilmiştir. Normal diyete göre tahıl nişastası % 30 oranında EDN ile değiştirildiğinde 28 günlük beslenmenin sonunda serum kolesterolünde % 25 azalma, TG düzeyinde ise % 47 azalma olduğu görülmüştür (Bronkowska ve ark., 2013). Başka bir çalışmada ise fazla kilolu bireylerin olağan beslenmesine 24 g/gün EDN ilavesi yapılmış ve 3 hafta sonra serum kolesterol değerleri ölçülmüştür. Bireylerin vücut ağırlıklarında anlamlı bir değişim olmasa da total kolesterol ve LDL kolesterol seviyeleri anlamlı olarak düşük bulunmuştur (Park ve ark., 2004). Türkiye Beslenme Rehberi (TÜBER) 2015 raporunda da belirtildiği gibi toplumun temel besini olan tahılların, EDN ile zenginleştirilmesi kalp damar hastalıkları açısından bir halk sağlığı politikası olarak uygulanabilir ve bu uygulama sağlık harcamalarının azalmasına katkı sağlayabilir.

Enzime dirençli nişasta içeren muffin tüketiminin biyokimyasal parametrelere etkisinin incelendiği bir çalışmada, 11,6 g EDN içeren muffin tüketen 28 gönüllü katılımcının, 0,9 g EDN içeren muffin tüketenlere göre tokluk kan şekeri düzeyi % 33 daha düşük ölçülmüş, en yüksek kan şekeri ölçümlerinin ise % 8 daha düşük olduğu gösterilmiştir. Lif oranı artan EDN'li muffinler ile tokluk insülin seviyeleri de diğer gruba göre % 38 daha düşük cevap oluşturmuştur (Stewart ve Zimmer, 2018). Bu sonuçlar diyabetli bireylerde ağırlık kontrolünün sağlanması ve komplikasyon gelişimini yavaşlatmak açısından önemli katkı sağlayabilir.

Kronik hastalıkların daha sık görüldüğü yaşlı bireylerde EDN kullanımının etkilerinin değerlendirildiği bir çalışmada, 70 yaş üstü bireyler ile 30-50 yaş arası bireyler karşılaştırılmıştır. On iki hafta boyunca günlük 30 g EDN içeren prebiyotik takviyesi kullanan ve plasebo alanlar her iki grupta, grup içi ve gruplara arası karşılaştırıldığında; yaşlı bireylerde kan şekeri, insülin düzeyleri ve HOMA-IR skorlarının daha düşük olduğu, gösterilmiştir. Bu çalışmada yaşlı bireylerde başlangıç seviyesine göre inflamatuvar bir gösterge olan TNF- α 'nın da düştüğü görülmüştür. Bu sonuçlar özellikle yaşlılarda bağışıklık sistemini güçlendirmek ve kronik hastalıkların azalmasına ve iyileşmesine katkı sağlaması açısından EDN kullanımının faydalı olabileceğini göstermektedir. Ayrıca EDN'nin sindirim sistemi üzerine her iki grupta da olumsuz herhangi bir etki göstermemiştir. Bu durum sindirim açısından iyi tolerasyon olarak değerlendirilmiştir (Alfa ve ark., 2018). Sindirim tolerasyonunun iyi olması nedeniyle toplumun geneli tarafından tüketilen ürünlere EDN ilave edilmesi kabul edilebilir olacaktır.

4. Sonuç

Dünya nüfusunun hızla artması, yaşam sürelerinin uzaması besin kaynaklarının daha verimli kullanılmasını zorunlu hale

getirmiştir. Yapılan araştırmalarla ortaya çıkarılan hastalık ve beslenme ilişkileri, yaşlanan nüfusla birlikte artan tedavi maliyetleri toplumun besinlerden beklentisi de artırmıştır. Tüketiciler daha sağlıklı bir hayat için sadece beslenmek amacıyla değil, kendilerine ek faydalar sağlayacak alternatif besin arayışı ile fonksiyonel besinlere yönelmektedir.

Sağlık üzerine potansiyel faydaları değerlendirildiğinde toplum sağlığı açısından, sağlıklı nesillerin sürdürülmesi için fonksiyonel besinlerin kullanımı teşvik edilmeli ve günlük beslenme düzenine dahil edilebilmelidir. Her ne kadar birçok araştırma ile bu faydalar gösterilmiş olsa da tek başına bir besinin mucize olmadığı hatırlanmalıdır. Obezite, diyabet, kalp damar hastalıkları gibi beslenme ile ilişkili hastalıklardan korunmada ve iyileşmede sağlıklı davranış modelleri geliştirilmelidir.

Bu çalışma sağlıklı beslenmek için sağlıklı besin geliştirmek amacıyla bir ön çalışma olarak yapılmıştır. Galetada uygulanan bu yöntem pek çok fırın ürünüde uygulanabilir ve alternatif fonksiyonel besinler geliştirilebilir.

5. Bilgilendirme

Çalışma kapsamında kullanılan EDN Konya'da EDN üretimi yapan Dermirpolat Şirketler Grubu'ndan temin edilmiştir. Galetaların besin değerlerinin analizi için Helal Gıda Ar-Ge Merkezi'nden ve Arş. Gör. Ezgi Şenol'dan destek alınmıştır. Katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Kaynaklar

Alfa, M.J., Strang, D., Tappia, P.S., Olson, N., DeGagne, P., Bray, D., Murlay, B., Hiebert, B. (2018). Randomized Placebo Controlled Clinical Trial to Determine the Impact of Digestion Resistant Starch MSPrebiotic on Glucose, Insulin, and Insulin Resistance in Elderly and Mid- Age Adults. *Front Med.* 22;4:260.

AOAC International (2010) Official Methods of Analysis, Total Solids (total) and Moisture in Flour Air Oven Method, 925.10 / Behr Distillation Unit-S5, Almanya

Balsano, C., Alisi, A. (2009). Antioxidant effects of natural bioactive compounds. *Current pharmaceutical design*, 15(26), 3063-3073.

Bindels, L. B., Walter, J., and Ramer-Tait, A. E. (2015). Resistant starches for the management of metabolic diseases. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care*, 18(6), 559.

Bronkowska, M., Orzel, D., Lozna, K., Styczynska, M., Biernat, J., Gryszkin, A., Kapelko, M. (2013). Effect of resistant starch RS4 added to the high-fat diets on selected biochemical parameters in Wistar rats. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 64 (1).

Buyken, A.E., Mela, D. J., Dussort, P., Johnson, I. T., MacDonald, I. A., Stowell, J. D., and Brouns, F. J. P.H. (2018). Dietary carbohydrates: A review of international recommendations and the methods used to derive them. *Eur J Clin Nutr.* Dec;72(12):1625-1643. doi: 10.1038/s41430-017-0035-4.

Büyüktuncel, E. (2012). Gelişmiş ekstraksiyon teknikleri I. Hacettepe Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi, 32(2), 209-242.

Campbell, G. M. (2008). A history of aerated foods Bubbles in Food 2 (pp. 1-21): Elsevier.

Chen, J.P., Chen, G.C., Wang, X.P., Qin, L., and Bai, Y. (2017). Dietary fiber and metabolic syndrome: A meta-analysis and review of related mechanisms. *Nutrients*, 10 (1), 24.

EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). (2011). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to resistant starch and reduction of postprandial glycaemic responses (ID 681), "digestive health benefits"(ID 682) and "favours a normal colon metabolism"(ID 783) pursuant to Article 13 (1) of Regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA Journal*, 9(4), 2024.

Schmier J.K., Miller P.E., Levine J.A., Perez Vi Maki K.C., Rains T.M., Devareddy L., Sanders L.M. and Alexander D.D. Cost savings of reduced constipation rates attributed to increased dietary fiber intakes: a decision-analytic model. *BMC Public Health*2014,14:374

Elgün, A., Türker, S., and Bilgiçli, N. (2001). Tahıl ve ürünlerinde analitik kalite kontrolü. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Ders Notları. Konya Ticaret Borsası Yayın (2).

Fujii, H., Iwase, M., Ohkuma, T., Ogata-Kaizu, S., Ide, H., Kikuchi, Y., Uchida, K. (2013). Impact of dietary fiber intake on glycemic control, cardiovascular risk factors and chronic kidney disease in Japanese patients with type 2 diabetes mellitus: the Fukuoka Diabetes Registry. *Nutrition journal*, 12 (1), 159.

Goñi, I., García-Alonso, A., and Saura-Calixto, F. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*, 17(3), 427-437.

Guiné, R. P., Ferreira, M., Correia, P., Duarte, J., Leal, M., Rumbak, I., Sarić, M. M. (2016). Knowledge about dietary fibre: a fibre study framework. *International journal of food sciences and nutrition*, 67 (6), 707- 714.

Gul, K., Singh, A., and Jabeen, R. (2016). Nutraceuticals and functional foods: The foods for the future world. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(16), 2617-2627.

- Hacıoğlu, G., Kurt, G., 2012. Business and Economics Research Journal Volume 3, Number 1 pp. 161-171 ISSN: 1309-2448. S:161-170.
- Hasler, C.M., Bloch, A.S., Thomson, C.A., Enrione, E., Manning, C. (2004). Position of the American Dietetic Association: Functional foods. *J Am Diet Assoc.* 104 (5):814-26.
- High Speed Analysis of Amino Acids by Pre- Column Derivatization (1999). Shimadzu Corporation, Instructions, Phenylisothiocyanate (PITC), 26922, Pierce Chemical Company, 6/1999, U.S.A.
- Kranz, S., Brauchla, M., Slavin, J. L., and Miller, K.B. (2012). What do we know about dietary fiber intake in children and health? The effects of fiber intake on constipation, obesity, and diabetes in children. *Advances in Nutrition*, 3(1), 47-53.
- Miller, J. B., Pang, E., & Broomhead, L. (1995). The glycaemic index of foods containing sugars: comparison of foods with naturally- occurring v. added sugars. *British Journal of Nutrition*, 73(4), 613-623.
- Miller, J. B., Pang, E., & Broomhead, L. (1995). The glycaemic index of foods containing sugars: comparison of foods with naturally- occurring v. added sugars. *British Journal of Nutrition*, 73(4), 613-623.
- Park, O.J, Kang, N.E., Chang, M.J., Kim, W.K. (2004). Resistant starch supplementation influences blood lipid concentrations and glucose control in overweight subjects. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*;Apr;50(2):93-9.
- Robertson, M. D. (2012). Dietary-resistant starch and glucose metabolism. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 15(4), 362-367.
- Schmier, J. K., Miller, P. E., Levine, J. A., Perez, V., Maki, K. C., Rains, T. M., and Alexander, D. D. (2014). Cost savings of reduced constipation rates attributed to increased dietary fiber intakes: a decision-analytic model. *BMC Public Health*, 14 (1), 374.
- Sağlık bakanlığı Mezuatı, Türkiye Obezite (Şişmanlık) İle Mücadele Ve Kontrol Programı (2010-2014).s:15-16.
- Shang W., Si, X., Zhou, Z., Li, Y., Stappappe, P., and Blanchard, C. (2017). Characterization of fecal fat composition and gut derived fecal microbiota in high-fat diet fed rats following intervention with chito-oligosaccharide and resistant starch complexes. *Food & function* 8(12), 4374-4383.
- Stewart, M. L., Zimmer, J. P. (2018). Postprandial glucose and insulin response to a high-fiber muffin top containing resistant starch type 4 in healthy adults: a double-blind, randomized, controlled trial. *Nutrition*, 53, 59-63.
- TC Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, Sağlıkli Yaşam Rehberi, https://www.csgb.gov.tr/media/4614/rehber_23.pdf Erişim tarihi: 11.12.2018
- Türkiye'ye Özgü Beslenme Rehberi (2015); s:26-28 http://www.bdb.hacettepe.edu.tr/TOBR_kita_p.pdf Erişim tarihi: 11.12.2018
- Türk Gıda Kodeksi, Etiketleme Yönetmeliği, Ek 10, 2017.
- Upadhyaya, B., McCormack, L., Fardin-Kia, A.R., Junemann, R., Juenemann, R., Nichenametla, S., Clapper, J. and Dey, M. (2016). Impact of dietary resistant starch type 4 on human gut microbiota and immunometabolic functions. *Scientific reports*, 6, 26797.
- Veronasa, N., Solmi, M., Caruso, M.G., Giannelli, G., Osella, A. R., Evangelou, E., ... & Tzoulaki, I. (2018). Dietary fiber and health outcomes: an umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. *The American journal of clinical nutrition*, 107 (3), 436-444.
- Zhang, L., Li, H.T., Li, S.H.E.N., Fang, Q.C., Qian, L.L. and Jia, W.P. (2015). Effect of dietary resistant starch on prevention and treatment of obesity-related diseases and its possible mechanisms. *Biomedical and Environmental Sciences*, 28 (4), 291-297.



Polipropilenin Eğilme Özelliklerine Geri Dönüşümlü EPDM Boyutlarının Etkisi

Halil Demirer¹, Yunus Tezcan², Kenan Büyükkaya³, İlyas Kartal^{1*}

¹ Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi ABD, İstanbul, Türkiye

³ Giresun Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Giresun, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 5 Şubat 2019 ve Kabul Tarihi 9 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.522907)

ATIF/REFERENCE: Demirer, H., Tezcan, Y., Büyükkaya, K. & Kartal, İ. (2019). Polipropilenin Eğilme Özelliklerine Geri Dönüşümlü EPDM Boyutlarının Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 381-386.

Öz

EPDM (etilen propilen dien monomer) önemli bir sentetik kauçuktur ve birçok farklı sektörde önemli miktarlarda kullanılır. Kullanım miktarındaki artışa paralel olarak EPDM atığı ortaya çıkmaktadır. Bu tür malzemeler, çapraz bağlanmalarından dolayı tekrar eritilip tekrar işleme ihtimaline sahip değildir. EPDM atıkları, genellikle, ithal bazlı plastik endüstrisi için zaten önemli bir kayıp olup yakıt olarak tüketilmektedir. EPDM kalıntılarının değerlendirilmesinin bir başka yöntemi, bunları küçük boyutlara getirerek farklı polimerlere eklemektir. Bu çalışmanın amacı atık EPDM tozlarının, polipropilen EPDM karışımlarının bükülme özellikleri üzerindeki etkisini araştırmaktır. Dört farklı boyda (0-50, 50-75, 75-150 ve 150-300 μ) öğütülmüş EPDM, ekstrüzyon yoluyla dört farklı oranında % 0, % 10, % 20, % 30 ve % 50 ile polipropilene eklendi. Bu karışımlara ayrıca % 1 oranında kaydırıcı ve % 0.2 oranında antioksidan ilave edildi. Test numuneleri bu karışımlardan enjeksiyonlu kalıplama ile hazırlandı. Standartlara göre hazırlanan numunelere eğilme ve HDT testi yapıldı.

Anahtar Kelimeler: EPDM (etilen propilen dien monomeri), karışım, eğilme özellikleri.

Effect of Addition of Recycled EPDM Size on The Bending Properties of Polypropylene

Abstract

EPDM (ethylene propylene diene monomer) is an important synthetic rubber and is used in significant quantities in many different sectors. In parallel with the increase in the amount of usage, EPDM waste is emerging. Such materials do not have the possibility of being melted and processed again due to their cross-linking. EPDM waste is usually consumed in the form of fuel, which is already a significant loss for the import-based plastic industry. Another method of evaluation of EPDM residues is to add them to different polymers by bringing them into small dimensions. The aim of this study is to investigate the effect of waste EPDM powders on the bending properties of polypropylene EPDM mixtures. Ground EPDM (GEPDM) with four different sizes (0-50, 50-75, 75-150 and 150-300 μ) were added to polypropylene with four different weight ratios 0% 10%, 20%, 30% and 50% via extrusion method. These mixtures were also added with a 1% slider and 0.2% antioxidant. Test samples were prepared by injection molding from these mixtures. Bending and HDT tests were performed on the samples prepared according to the standards.

Keywords: EPDM (ethylene propylene diene monomer), mixture, bending properties.

* Sorumlu Yazar: Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID:0000-0001-9677-477X, ilyaskartal@marmara.edu.tr

1. Giriş

Kauçuklar diğer adıyla elastomerler dış kuvvetlerinden dolayı geri dönüşümlü deformasyon yetenekleri ile karakterize edilen polimerik malzemelerdir. Onların deformasyon hızı, deforme olmuş kauçuğun yapısına ve molar kütesine ve deformasyonun dış koşullarına bağlıdır. Elastik ve/veya hiper elastik deformasyon olarak adlandırılan bu özellikler kauçuk makromoleküllerinin, polimer zincirinin atomları arasındaki veya kimyasal bağların deformasyonu olmadan deforme kuvvetlerinin etkisi altında daha organize bir durum oluşturma kabiliyetinden kaynaklanır (Vahapoğlu ve ark. 2006, Bismarck ve ark. 2006).

Kauçuklar en çok vulkanize edilmiş formda kullanılır. Bu forma vulkanizasyon ile getirilebilirler. Bu işlem, malzemeye benzersiz özellikler kazandıran, bir uzaysal vulkanizat ağına yol açan kauçuk makromoleküller arasında kimyasal ve fiziksel enine bağların oluşturulmasına dayanır. Vulkanizasyon işleminde uygun fonksiyonel kauçuk grupları ile reaksiyona girebilen kauçuk makromolekülleri (örneğin, kükürt, peroksitler, metal oksitler, reçineler, kinonlar ve diğerleri) arasında kimyasal çapraz bağlar oluşturmak için çeşitli kimyasal - vulkanize edici maddeler kullanılır (Wolcott 1996, Aşık 1997).

Kauçuk grubunun en önemli polimerlerinden biri de EPDM'dir. EPDM, etilen ve propilenin kopolimerizasyonu ile üretilen bir polimerdir. Reaksiyonda çift bağ yoktur, yani tamamen doymuş bir yapıdır. Bu yapı, kopolimerlerin ozon ve oksijene karşı mükemmel dayanıklılık göstermesini sağlar. Ancak diğer polimerlerle karıştırılma imkanı yoktur. Peroksit ve radyasyon dışında vulkanize edilemezler (Geng 2004).

EPDM kimyasal yapısı gereği sıcaklığa, havaya, ozona, ışığa, oksidasyona ve suya mükemmel direnç gösterir. Sülfür ile vulkanize edilmiş EPDM kauçuklarında uygun sülfür hızlandırıcının seçilerek 120 °C 'ye kadar ısıl yaşlanma direnci ve maksimum kullanım sıcaklığı elde edilebilir. Benzer şekilde peroksit karışımı seçilerek 150 °C 'ye kadar ısıl direnç ve maksimum kullanım sıcaklığı elde edilebilir. Metallerle yapışabilme özelliği çok iyi olmamakla birlikte, mükemmel elektrik yalıtımı, -50 °C 'ye düşük sıcaklık dayanımı vardır. Yüksek dolgu ve yağ alabilme özelliğinden dolayı düşük maliyette karışımlar oluştururlar. Sulu ve konsantre asit ve alkalilere dayanıklılık gösterirler. Düşük yoğunluklu oldukları için hafif malzemeler üretmek mümkündür. Ayrıca iyi sayılabilecek kopma mukavemeti, aşınma direnci ve yırtılma direnci vardır. Ancak yağa karşı direnci ve alev direnci oldukça sınırlıdır. EPDM kauçuğunun mineral, yağ ürünleri, yağlayıcılar, yağlar ve petrol ürünleri ile kullanımı uygun değildir. Özellikle petrol ürünlerine karşı dirençsiz olması onun otomobil uygulamalarında kullanımını sınırlar (Stark 2004, Dhakal ve ark. 2006).

EPDM'in günlük yaşamda kapı ve cam fitili, sünger fitili, radyatör ve ısıtma hortumları, beyaz eşya körük ve contaları, konveyör kayışları, tank kaplama ve silindir kaplamada kullanılmakla birlikte hayatımızın bir çok alanında uygulamaları mevcuttur (Törmala ve ark. 1985, Gastedt ve ark. 2007).

Kauçuk esaslı malzemeler malzemeler çapraz bağlı olmaları nedeniyle termoplastiklerde olduğu gibi tekrar eritilip işleme imkanına sahip değildirler (Xiao ve ark. 2004). Bununla birlikte, kauçuk türü malzemeler belirli boyutlara getirilerek dolgu olarak kullanılabilir. Termoplastiklerle karışım yapılacaksa karışım öncesi özel bir şekilde ufalanmaları gerekmektedir. Bu tür karışımlarda anahtar nokta kauçuk fazın olabildiğince küçük boyutlara indirilmesidir (Jacob ve Bhowmick (2001).

Doğal veya sentetik kauçukların geri dönüşüme hazırlanmasında oda sıcaklığında kırma ve sıvı azotla soğutarak kırma olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır. Sıvı azot yönteminde ilk yatırım ve işletme masrafları göreceli yüksek olmakla birlikte oda sıcaklığında kırma işlemine göre daha küçük boyutlu taneler elde edilebilmektedir. Sıvı azotla soğutarak yapılan kırma işlemi kriyojenik olarak adlandırılan düşük sıcaklıkların malzemeler üzerindeki gevrekleştirici etkisinden faydalanılmaktadır. Oda sıcaklığında yapılan kırma işlemi kauçuk malzemelerin rijit olmamaları yani olabildiğince elastik özellik sergilemeleri dolayısıyla sıvı azot yönteminde elde edilen küçük boyutlar bu yöntemde mümkün olmamaktadır. Sıvı azot yönteminde birkaç mikronluk tane boyutları mümkünken oda sıcaklığı yönteminde etkin olarak 100 mikronluk boyutlara inilebilmektedir (Çetin 2009). Dolayısıyla kırma yönteminin belirlenmesinde elde edilmesi düşünülen nihai ürün belirleyici olmaktadır. Bazı uygulamaları için oda sıcaklığında yapılan öğütme yeterli olurken, bazı uygulamalar için mutlaka sıvı azotla soğutma sonrası öğütme gerekli olmaktadır.

Kompozitlere ilave edilen dolguların boyutlarının etkisi üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Homkhiew ve ark. 2018, Charoenwong 2016, Khodabandelou ve ark. 2015). Dolguların boyutlarının değişimiyle mekanik özelliklere etkisinin de değiştiği bilinmektedir. Bu çalışmada da EPDM dolgusunun boyut etkisi incelenmiştir. Bunun için oda sıcaklığında öğütme yöntemi tercih edilmiştir. Ancak özel çeneleri bulunan bir öğütme sistemi yerine bir taş motoruna bağlanmış disk şeklindeki tel fırçanın aşındırıcı etkisinden faydalanılmaya çalışılmıştır. Elde edilen malzeme çok küçük tanecikleri de içeren geniş bir boyut dağılımına sahiptir. Bu malzeme elenmek suretiyle aşırı büyük tanelerden arındırılabilirdiği gibi farklı boyutlara da ayrıştırılabilir.

Bu çalışmanın amacı, önceden kür edilmiş belirli bir toz boyutlarına sahip EPDM kauçuğunun polipropilen ile karıştırılmasıdır. Elde edilen karışım sayesinde, bir taraftan atık EPDM değerlendirilirken diğer taraftan tokluğu daha yüksek bir plastik malzeme karışımı elde edilebilecektir. Bu çalışmada PP+öğütülmüş EPDM karışımı granüllerden enjeksiyon yöntemiyle deney numuneleri hazırlanarak eğilme ve HDT testine tabi tutuldu.

2. Materyal ve Metot

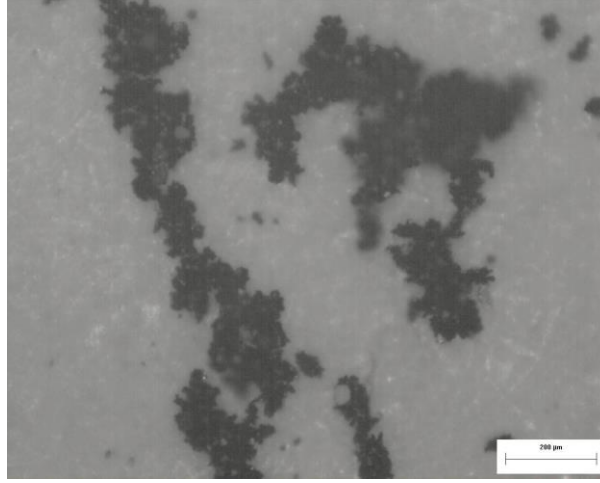
2.1. Malzemeler

Bu çalışmada polimer matris olarak İzotaktik yapılı PETKİM'in PETOPLIN ticari isimli PP MH418 kodlu polimeri kullanıldı. Çalışmada kullanılan EPDM kauçuğu Düzce'de Standart Profil Firması tarafından yaklaşık 15 mm kalınlığında plakalar halinde üretildi. Söz konusu EPDM kauçuğu Standart Profil Firmasının, taşıt araçlarının kapı fitillerinin üretiminde kullandığı malzemenin aynısı olup siyah renge sahiptir. Standart Profil Firmasının kullandığı EPDM kauçuğu Royalene 525 ticari ismi ile piyasaya sunulan bir malzemedir. İşlemeyi kolaylaştırmak maksadı ile Innospec Leuna firmasının üretmiş olduğu OX.PE WAX LE 262 kodlu polietilen vaks ERAL Türkiye firmasından temin edilip kullanıldı. Gerek ekstrüderde karışım sırasında gerekse enjeksiyon safhasında olası bir oksidasyon etkisini olabildiğince azaltmak maksadı ile Ciba Geigy firmasının üretmiş olduğu IRGANOX 1010 kodlu antioksidant Ciba Türkiye Temsilciliğinden temin edilip kullanıldı.

2.1.1. Numunelerin hazırlanması

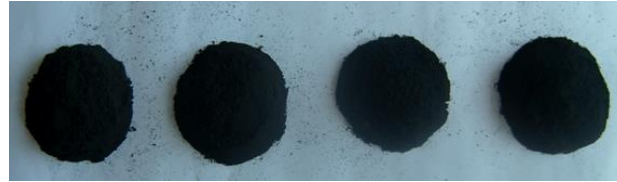
Bu çalışmada Standart Profil Firması tarafından yaklaşık 15 mm kalınlığında 30X40 cm ebatlarında özel olarak üretilen plakalar kullanıldı. Bu plakalar aslında otomotiv sektöründe kapı fitilleri imalatında kullanılan EPDM formülasyonu ile aynı kür koşulları altında üretildi. Plaka halindeki bu malzeme 40 mm genişliğinde şeritler halinde dilimlendi. Bu şeritler öğütme sistemine itme usulü sokularak yüzeylerine taşlama motoruna bağlı döner bir tel fırça sürtülmek suretiyle ince partiküller elde edildi.

Bu toz üretim metodunun doğal bir sonucu olarak toz partikülleri oldukça farklı boyutlarda ortaya çıktı. Işık mikroskopundan elde edilen fotoğraflardan görüldüğü üzere küçük boyutlu partiküller mevcut olmakla birlikte daha büyük boyutlu partiküller çoğunluğu oluşturmaktadır. Buna ilaveten; toz haline getirilmiş EPDM malzemenin elektrostatik etkilerle topaklanma eğilimi nedeniyle partiküller olduğundan çok büyük boyutlarda gözükmektedir. EPDM partiküllerinin ışık mikroskopundan elde edilen tipik görüntüleri şekil 1'de verildi.



Şekil 1. EPDM Partiküllerinin Işık Mikroskopundan Elde Edilen Tipik Görüntüleri

Öğütülmüş olan bu malzeme daha sonra özel eleklerden geçirilmek suretiyle sınıflandırıldı. Bu çalışmada 0-50, 50-75, 75-150 ve 150-300 mikron boyutlarına sahip öğütülmüş EPDM tozları kullanıldı. Bu tozlara ait bir fotoğraf şekil 2'de görülmektedir. Toz halindeki EPDM, nem alma riskine karşı kullanım anına kadar sıkı kapaklı cam kavanozlar içerisinde saklandı.



Şekil 2. Özel eleklerden geçirilerek sınıflandırılan EPDM Partikülleri

Karışım hazırlanmadan hemen önce hava sirkülasyonlu bir kurutma fırınında ÖEPDM 100 oC'de 2 saat kurutuldu. PP matrise ağırlıkça %10, 20, 30 ve 50 oranlarında ÖEPDM ilave edildi. Bu karışımlara ayrıca % 1 oranında kaydırıcı ve % 0.2 oranında antioksidan ilave edildi. Standartlara göre hazırlanan numunelere eğilme ve HDT testi yapıldı. Eğilme testi ZWICK marka Z010 model çekme cihazı kullanılarak ISO 178 standardına göre ve HDT testi CEAST marka cihaz kullanılarak ISO 307 standardına göre gerçekleştirildi.

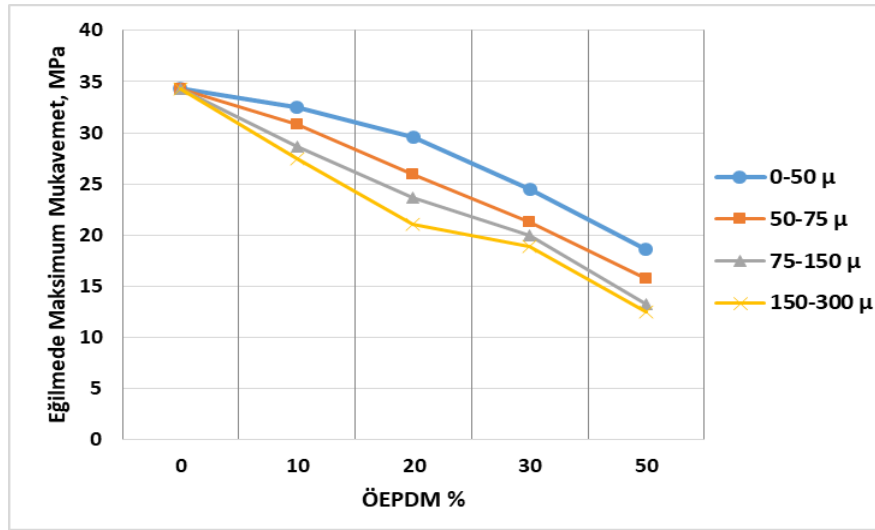
Tablo 1. PP/ÖEPDM Karışımının Enjeksiyonla Kalıplanmasında Kullanılan Değerler

Parametreler	Değer
Enjeksiyon Sıcaklığı °C	190-210
Enjeksiyon Basıncı (bar)	800-1000
Kalıpta Bekleme Süresi (sn)	25

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

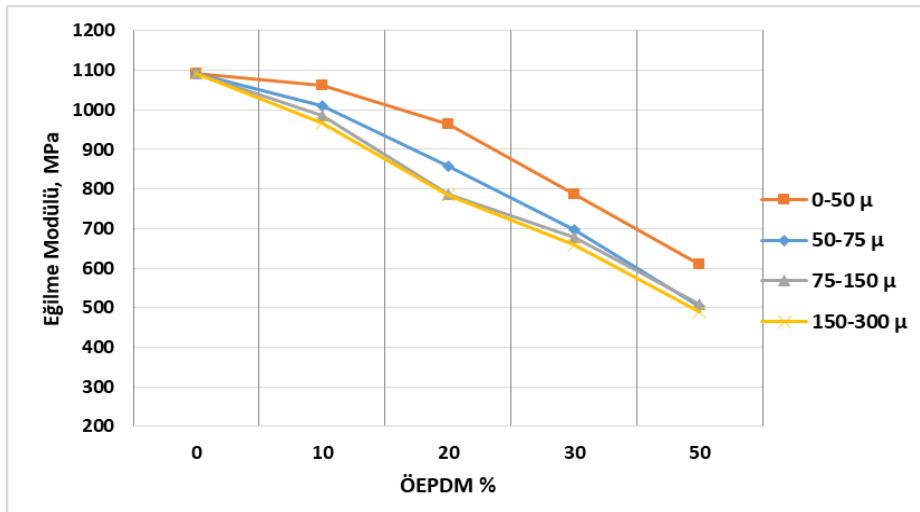
Bu çalışmada, polipropilen matrise belirli bir boyuta sahip öğütülmüş EPDM kauçuğu dolgu malzemesi olarak ilave edildi ve elde edilen karışımın eğilme özellikleri incelendi.

PP/ÖEPDM karışımlarının eğilmede maksimum mukavemet değerleri şekil 3'de verilmiştir. PP ile öğütülmüş EPDM karışımlarının eğilme özellikleri incelendiğinde ÖEPDM oranının artmasıyla maksimum eğilme mukavemeti azalmıştır. ÖEPDM boyutları arttıkça mukavemet değeri beklenildiği gibi düşmüştür.



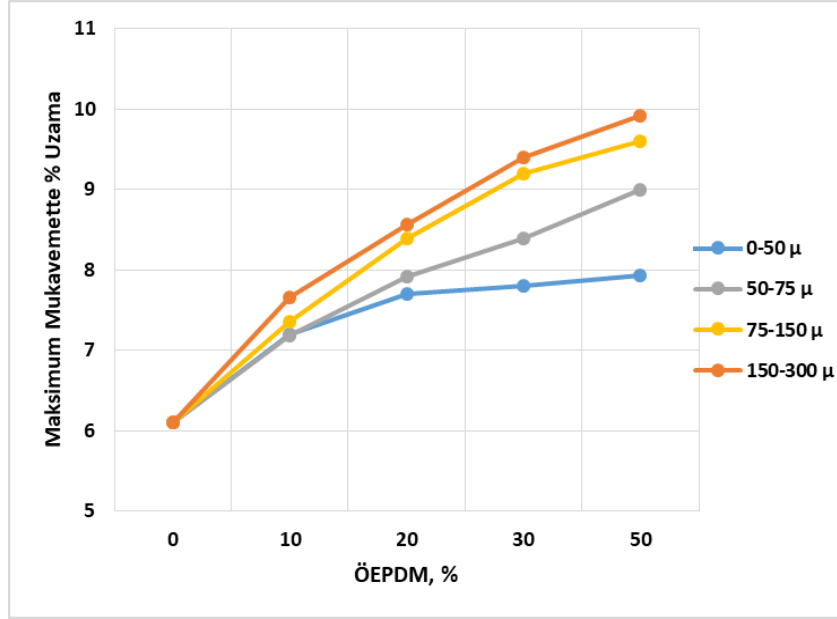
Şekil 3. PP/ÖEPDM karışımlarının eğilmede maksimum mukavemet değerleri

PP/ÖEPDM karışımlarının eğilme modül değerleri şekil 4'te verilmiştir. ÖEPDM ilavesi ile PP kompozitinin modül değerinde düşme görülmüştür. EPDM boyutunun artmasıyla modül değerinde azalma olmuştur.



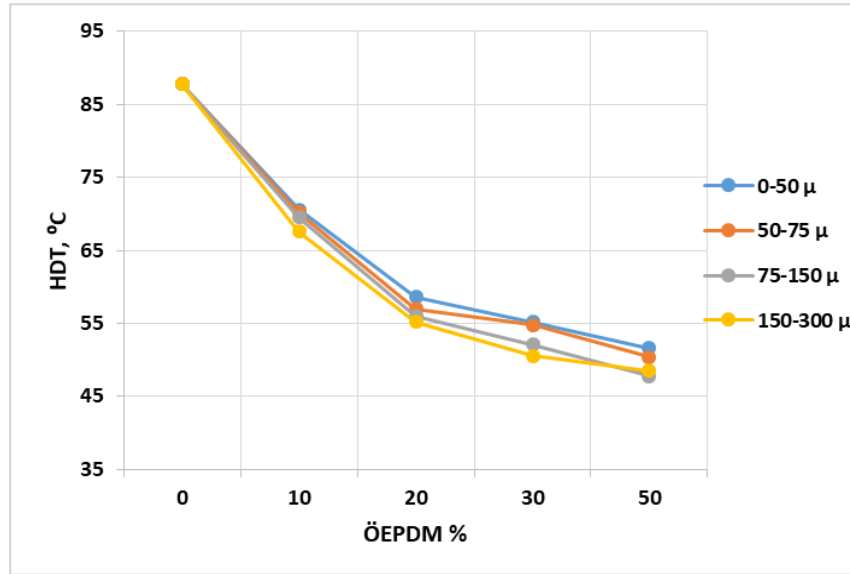
Şekil 4. PP/ÖEPDM karışımlarının eğilme modül değerleri

PP/ÖEPDM karışımlarının maksimum mukavemette % uzama değerleri şekil 5'te verilmiştir. % uzama miktarı ÖEPDM miktarının artması ile yaklaşık olarak % 50 oranında artmıştır. EPDM boyutu 0-50 mikron boyutunda olan numunede % uzama bir miktar artmış, sonra da nerdeyse sabit kalmıştır.



Şekil 5. PP/ÖEPDM karışımlarının maksimum mukavemette % uzama değerleri

Şekil 6'da PP/ÖEPDM karışımlarının HDT testi sonuçları verilmiştir. PP/ÖEPDM karışımlarının HDT değerleri incelendiğinde ÖEPDM oranının artmasıyla HDT değerlerinin azaldığı, boyutun artmasıyla bu azalmanın kısmi olarak da olsa daha da düştüğü gözlemlendi.



Şekil 6. PP/ÖEPDM karışımlarının HDT testi sonuçları

4. Sonuç

EPDM farklı alan ve sektörlerde yoğun kullanıma sahip polimerlerden biri olup kullanım sonrası ciddi miktarlarda EPDM atığı ortaya çıkmaktadır. EPDM gibi polimerler çapraz bağlı yapıları sebebiyle eritilip tekrar işleme imkânı olmadığından ya yakıt olarak tüketilmekte ya da çok küçük boyutlara getirilmesiyle karışımlara ilave edilmektedir.

EPDM kauçuğunun geri dönüşümde öğütülerek polipropilene ilave edilmesi beklenildiği gibi polipropilen matrisli karışımların eğilme rijitliğini düşürmüştür. Karışıma ilave edilen miktar arttıkça mukavemet değerleri düşmüştür. % 50 EPDM tozu ilave edildiğinde polipropilenin eğilme özellikleri de % 50 oranında düşmüştür. Fakat bu düşüş boyut değişimi ile değişiklik göstermiştir. ÖEPDM toz boyutu azalmasıyla bu düşüş daha az olmuştur. Dolayısı ile bu mukavemet değerleri, kabul edilebilir durumlarda olduğunda atık EPDM'in geri dönüşüm malzemesi olarak kullanılabilmesi sonucuna varıldı.

Kaynakça

- Vahapoğlu V., Yüksel H. T. (2006). EPDM Sentetik Kauçuğu, Proceedings of 11th International Materials Symposium, Denizli, April 19–21 333–337.
- Bismarck A., Baltazar-Yjimenay A., Sarlkakis K., (2006). Green Composites on Panacea Socio-economic aspects of green materials. Environment, development and sustainability 8 (3), 445-463
- Wolcott, M. P.: (1996) Proceedings of the 30th Washington State University International Particleboard/Composites Materials Symposium, J. Appl. Polym. Sci., Pullman, WA; 37
- Aşık, M., (1997). Fındıkkabuklarının Değerlendirilmesi, Doktora Tezi İTÜ Kimya Müh. Böl., İstanbul
- Geng, Y.; Li, K.; Simonsen, J.: (2004) Effects of a Compatibilizer System on the Flexural Properties of Wood-Polyethylene Composites, J. Appl. Polym. Sci., 91 3667-3672
- Stark NM, Matuana LM, Clemons CM. (2004) Effect of processing method on surface and weathering characteristics of wood-flour/HDPE composites. J Appl Polym Sci; 93, 1021–1030.
- Dhakal, H.N., Zhang, Z.Y., Richardson, M.O.W., (2006). Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites, Composites Science and Technology, doi.org/10.1016/j.compscitech.2006.06.019
- Törmälä, P., Pääkkonen and Luoto, K., (1985). Injection molding and extrusion of composites of low-density polyethylene and plywood grindings, Journal of Applied Polymer Science, 30, 423-427.
- Gamstedt EK, Nygård P, Lindström M. (2007). Transfer of knowledge from papermaking to manufacture of composite materials. In: Proceedings of the 3rd wood fibre polymer composites international symposium, Bordeaux, 12 p.
- Xiao W. H., Huang S. O., Tao J.; (2004). Morphology Rheology and Mechanical Properties of Dynamically Cured EPDM/PP Blend: Effect of Curing Agent Dose Variation", Journal of Applied Polymer Science Vol. 92, 357–362.
- Jacob C., (2001). Bhowmick S.; Recycling of EPDM Waste. II. Replacement of Virgin Rubber by Ground EPDM Vulcanizate in EPDM/PP Thermoplastic Elastomerik Composition, Journal of Applied Polymer Science Vol.82.; 3304-3312.
- Çetin, C.; (2009). Lastik, Kauçuk, Poliüretan Geri Dönüşüm Teknolojisi, Kauçuk Derneği Dergisi Sayı: 35, 28-29.
- Homkhiew C., Rawangwong S., Boonchouytan W., Ratanawilai T.; (2018) Composites from Thermoplastic Natural Rubber Reinforced Rubberwood Sawdust: Effects of Sawdust Size and Content on Thermal, Physical, and Mechanical Properties, International Journal of Polymer Science 2018(3):1-11
- Charoenwong C., (2016) Effect of adhesives and particle sizes on properties of composite materials from sawdust, Proceedings of the 7th IMT-GT UNINET and the 3rd International PSU-UNS Conferences on Bioscience, page 108-121
- Khodabandelou M., Aghjeh M.K.R.; (2015) Impact behavior of CNT-filled PP/EPDM blends: effect of dynamic vulcanization and PP-g-MA compatibilizer, Polym. Bull. DOI 10.1007/s00289-015-1566-2



Yenilenebilir Enerji Kaynağı Kurulum Gücü Minimize Katsayısının Belirlenmesi

Cihan Şahin^{1*}, Mevlüt Karaçor², Harun Özbay³

¹ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6430-7827)

² Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, Manisa, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5408-9117)

³ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1068-244X)

(İlk Geliş Tarihi 14 Şubat 2019 ve Kabul Tarihi 13 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.526918)

ATIF/REFERENCE: Şahin, C., Karaçor, M. & Özbay, H (2019). Yenilenebilir Enerji Kaynağı Kurulum Gücü Minimize Katsayısının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 404-411.

Öz

Dünyamız gün geçtikçe daha fazla enerji ihtiyacı ile karşı karşıya kalmaktadır. İhtiyaç duyduğu enerji miktarını büyük oranda fosil yakıtlardan elde etmektedir. Günümüz dünyasında Fosil yakıtlarının fiyatlarında önlenemeyen artışlar, gelecekte tükenme olasılığı ve çevreye bırakmış olduğu kalıcı etkiler sebebiyle son yıllarda alternatif enerji kaynaklarına büyük bir yönelim başlamıştır. Bu alanda Güneş enerjisi, Rüzgar enerjisi, Dalga enerjisi, Gelgit enerjisi vb. alternatif enerji kaynaklarına örnek olarak verilebilir. Özellikle Güneş ve Rüzgar enerjisi dünyada ve ülkemizde alternatif enerji kaynaklarının kullanımında en önde gelen enerji türleridir. Ülkemizin farklı bölgelerinde kurulan değişik büyüklükte rüzgar ve güneş çiftliklerinin sayılarında da artışlar görülmektedir. Bunlarla birlikte gelişen dünyamızda yaşanan teknolojik gelişmeler, birçok alanda olduğu gibi enerji sektörüne de doğrudan katkı sağlamaktadır. Gelişen teknolojilerle birlikte alternatif enerjilerin verimli bir şekilde kullanılması bu enerjilere olan ilgiyi de arttırmaktadır. Özellikle otomasyon ve kontrol dünyasında yaşanan teknolojik gelişmeler, birçok alanda kolaylıkları da beraberinde getirmiştir. Endüstri 4.0'ın doğması otomasyon ve kontrol dünyasını farklı bir boyuta ve bir çok alanda vazgeçilmezler noktasına getirmiştir. PLC, SCADA, DCS sistemlerinin yenilenebilir enerjiler alanında da kullanılması enerji yönetiminin verimliliği açısından oldukça önemlidir. Elde edilen alternatif enerji, otomasyon sistemleri sayesinde daha verimli ve tasarruflu kullanılabilir. Bu çalışmada, alternatif enerji kaynağı ve otomasyon sistemlerinin birbirine entegrasyonu ile birlikte kurulum maliyet oranlarının düşürülmesi hedeflenmiştir. Çalışma için alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisi tercih edilmiş, laboratuvar ortamında 320 W'lık prototip test sistemi kurularak deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışma sayesinde ihtiyaç duyulduğu düşünülen enerji miktarından % 40 daha az enerjiye ihtiyaç olduğu gözlemlenmiş, güneş enerjisi kurulum gücü için bir katsayı oluşturulmuştur. Bununla birlikte, enerjinin verimli ve kontrollü bir şekilde kullanılması sağlanarak, hesaplanan kurulum gücünün düşürüldüğü görülmüştür. Elde edilen sonuç diğer alternatif enerji kaynakları içinde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, PLC, Otomasyon.

Determination of the Minimization Coefficient of Renewable Energy Source Installation Power

Abstract

The world is confronted with more energy needs day by day. The energy that needed is largely derived from fossil fuels. In today's world, a great tendency towards alternative energy sources has started in recent years due to unpredictable price increases of fossil fuels, the possibility of extinction in the future and the lasting effects on the environment. In this area, solar energy, wind energy,

* Sorumlu Yazar: Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Bilecik, Türkiye, ORCID: 0000-0001-6430-7827, cihan.sahin@bilecik.edu.tr

wave energy, tidal energy etc. are examples of alternative energy sources. In particularly Solar and Wind energy are the leading energy types in the use of alternative energy sources in the world and in our country. There are also increases in the number of different sizes of wind and solar farms established in different regions of our country. Together with these, technological developments in developing world directly contribute to the energy sector as in many other areas. With developing technologies, the efficient use of alternative energies increases the interest in these energies. Technological developments especially in the world of automation and control have brought convenience in many areas. The emergence of Industry 4.0 brought the world of automation and control to a different dimension and to the point of indispensable in many areas. The use of PLC, SCADA, DCS systems in the field of renewable energies is also very important for the efficiency of energy management. The alternative energy obtained can be used more efficiently and economically owing to the automation systems. In this study, it is aimed to reduce the installation cost ratios with the integration of alternative energy source and automation systems. Solar energy is preferred for alternative energy sources and a 320 W prototype test system has been installed and experimental study was carried out in the laboratory. Owing to this study, it was observed the energy amount that needed is %40 less than the amount of expected energy needed and the coefficient was created for solar power installation power. In addition, it has been observed that the calculated installation power is reduced by ensuring that the energy is used in an efficient and controlled. The result obtained can be used for other alternative energy sources.

Keywords: Solar energy, PLC, Automation.

1. Giriş

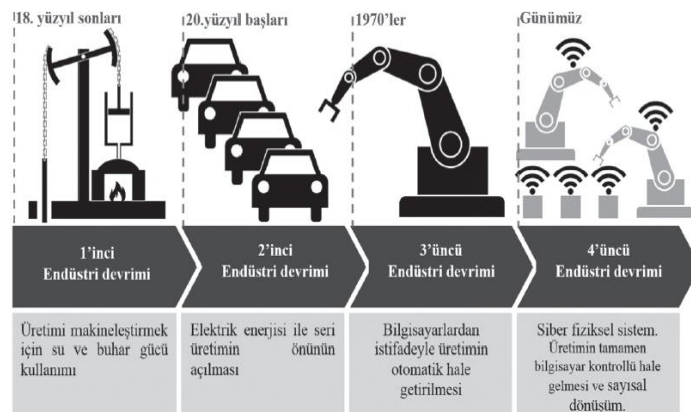
Teknolojik yenilikler, insanoğlunun hayatının her noktasına etki etmektedir. Otomotiv, sağlık, alışveriş vb. birçok değişik sektörde geliştirilen modern cihazlar insanoğlunun memnuniyet noktasını daha yükseklerle taşımaktadır. İnsanoğlunun hayatın her noktasında maksimum konfor istemesi nedeniyle enerji ihtiyacını da günden güne arttırmaktadır. Otomotiv sektörü, yakıt performansı yüksek araçlar üretmesine rağmen fosil yakıt rezervlerin her geçen gün daha da azalmasından dolayı elektrikli araç çalışmalarına büyük önem vermektedirler. Üreticiler araç yakıt tipini değiştirmekle kalmayıp, aynı zamanda verimli şekilde enerji tasarrufu yapmak için çalışmalara devam etmektedirler. Benzer şekilde sağlık sektöründen, kişisel kullanıma kadar tüm cihazlarda enerji verimliliği ön plana çıkmaktadır. Tüm bu çalışmalara rağmen enerji kaynaklarının yetersizliği, insanoğlunu alternatif enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Güneş Enerjisi, Rüzgar Enerjisi, Jeotermal Enerji, Biyokütle Enerjisi, Hidrojen Enerjisi ve Dalga Enerjisi alternatif enerji kaynakları olarak sıralanabilir. Bunlar içerisinde en yaygın olanı ve en ön plana çıkması hiç kuşkusuzdur ki, Güneş ve Rüzgar enerjisidir. Her iki alternatif enerji de ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada güneş enerjisi tercih edilmiştir.

Gelişen dünyamızda enerji alanında alternatif enerji kaynaklarına doğru bir yönelim olmasının paralelinde, tüm dünyayı etkileyecek önemli bir devrim de Endüstri 4.0'dır. Buhar sistemlerinin mekanik sistemlere entegre edilmesi birinci sanayi devrimini gerçekleştirmiştir. 1760-1830 yılları arasındaki dönemleri etkileyen birinci sanayi devrimi dokuma tezgahları üzerinde etkisini göstermiştir. Odunun yerine maden kömürünün ve buharın kullanılmasıyla hareket gücü artırılmış, buna bağlı olarak makineleşmeyi başlatmış ve üretim evlerinden fabrikalara taşınmıştır (Eldem, 2017).

İkinci sanayi devrimi ise 1870 yılında başlamış 1989 doğu bloğunun çöküşüyle biten bir süreçtir. Bu dönemde petrolün endüstri ve ulaşımdaki etkinliği keşfedilmiş, petrol tabanlı içten yanmalı motorların üretimini tetiklemiştir (Eldem, 2017; Bulut ve Akçaçı, 2017). Üretimde elektrik enerjisi sayesinde seri üretim başlamıştır.

Üçüncü sanayi devrimi, elektronik ve bilgi teknolojilerinde yaşanan gelişmelerle başlamıştır. Özellikle Telekomünikasyon teknolojileri, üçüncü sanayi devrimiyle birlikte daha güçlü bir konuma gelmiştir. Programlanabilir mantıksal denetleyici (PLC)'lerin gelişmesi sonucunda üretimde otomasyon ileri aşamalara taşınmaya başlamıştır (Eldem, 1994; Kılıç ve Alkan, 2018)

Günümüzde ise 2011 yılında Hannover fuarında ilk olarak gündeme gelen, Alman hükümeti tarafından 2012 yılında özel bir çalışma grubuna hazırlatılan, 2013 yılında sonuç raporuyla açıklanan Endüstri 4.0 olarak adlandırılan sanayi devrimine geçiş yapılmaktadır (Kılıç ve Alkan, 2018). Şekil 1'de endüstrileşme aşamaları görülmektedir (Eldem, 2017).



Şekil 1. Endüstrileşme aşamaları (Eldem, 2017)

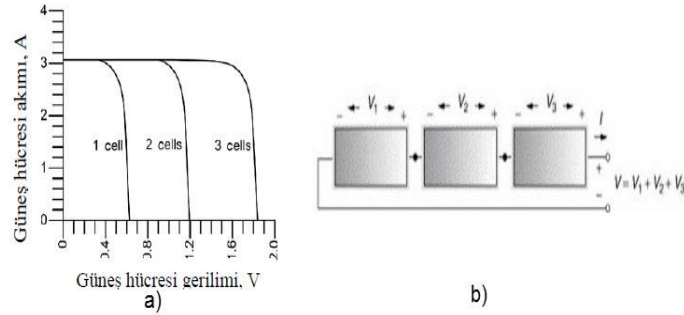
Endüstri 4.0 devriminin gerçekleştirilmesiyle birlikte otomasyon sistemlerinin kullanılmadığı bir yapı düşünülmez hale gelmiştir. Tüm dünyanın birbirine entegrasyonu, beraberinde enerji verimliliği, üretim maliyet verimliliği vb. birçok noktada avantajları da beraberinde getirmektedir. Gerçekleşen Endüstri 4.0 devriminde sahada bir çok cihaz aktif olarak kullanılmasına rağmen, PLC sistemleri büyük bir öneme sahip olmaya devam etmektedir. Ayrıca, Endüstri 4.0 devriminde güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması da enerji yönetimi ve verimlilik açısından oldukça önemli bir yere sahiptir.

Gerçekleştirilen çalışmada; güneş enerjisi sisteminin kurulu gücünün tespit edilmesinde kullanılacak, verimlilik ile ilgili yeni bir parametre geliştirilmiştir. Bu parametre; üretim veya meskenin ihtiyacı olan gerçek verimli gücün tespitinde kullanarak, kurulum gücünün ve dolayısıyla maliyetinin düşürülebileceği öngörülmüştür. Tesisin veya meskenin salt tükettiği enerji miktarına bakılarak ihtiyaç duyulan gücün belirlenmemesi, bunun yerine enerji verimliliği ile ilgili iyileştirmeler göz önünde bulundurularak belirlenmelidir. Mesken veya tesis enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında yenilenebilir enerji ciddi bir alternatif haline geleceği öngörülmektedir. Gerçekleştirilen otomasyon sistemi sayesinde işletmeler; alternatif enerji kullanımında verimli bir enerji yönetimi gerçekleştirmenin yanında, kurulum maliyetinden de tasarruf etmektedirler. Bunlarla birlikte, gerçekleştirilmiş otomasyon sistemleri sayesinde Endüstri 4.0'ın genel felsefesi ile diğer cihazlarında verimliliği gerçekleştirilebilmektedir.

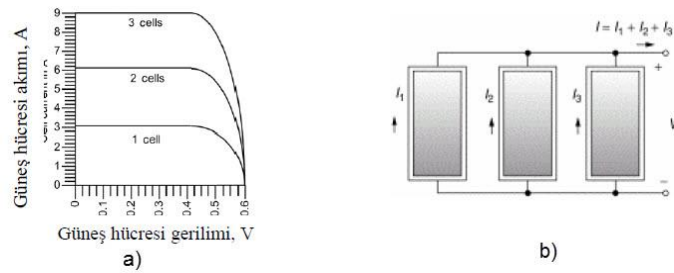
2. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi; insanlığın varoluşundan günümüze kadar sürekli faydalanılmak istenen enerji türlerinden biridir. Tarih boyunca insanlığı, Güneş'ten çeşitli şekillerde faydalanmıştır. İnsanların ilk çağlarda zaman kavramını çözmek için kullandıkları güneş, zamanla ısınmadan elektrik enerjisi üretimine kadar çeşitli şekillerde fayda sağlamıştır. Özellikle güneşin yoğun olduğu bölgelerde geçmişten günümüze bunların izleri daha da net görülmektedir.

Günümüzde uygulama türlerinden biri de güneş pilleri kullanarak yapılan fotovoltaik uygulamalardır. Güneş pilleri, üzerine düşen ışınımı direk olarak elektrik enerjisine çevirirler. doğru gerilim üreten bu piller seri veya paralel bağlanarak, ürettikleri akım ve gerilim değerleri yükseltilebilmektedir. Üretilen enerji akülerde depolanabilmekte veya doğrudan inverter üzerinden şebekede kullanılabilir (Karafil ve Özbay, 2018; Karamanav, 2007). Şekil 2'de birbirine seri olarak bağlanmış üç adet güneş pili akım gerilim grafiği ve şeması görülmektedir (Grozdev, 2010). Şekil 3'de birbirine paralel olarak bağlanmış üç adet güneş pili akım gerilim grafiği ve şeması görülmektedir (Grozdev, 2010).



Şekil 2. (a) I-V grafiği (b) Bağlantı Şeması (Grozdev, 2010)



Şekil 3. (a) I-V grafiği (b) Bağlantı Şeması (Grozdev, 2010)

Fotovoltaik güneş teknolojileri genel elektrik şebekesiyle ilişkisine göre; ada şeklinde çalışan yani şebekeden bağımsız olarak çalışan sistem ve şebekeye bağlı çalışan sistem olarak ikiye ayrılmaktadır (Saner, 2015). Ada tipi bağımsız çalışan fotovoltaik sistemler şebekeden uzak bölgelerde tercih edilerek bölgenin elektrik enerji ihtiyacı için kullanılmaktadırlar. Bu sistemde ihtiyaç kadar enerji üretilir ve ek bir ünite enerji depolaması yapılır (Durusu ve Erduman, 2018; Saner, 2015). Şebekeye bağlı çalışan fotovoltaik sistemlerde üretilen enerji şebekeye aktarılmaktadır. Yüksek güçteki enerji santralleri ya da güneş çiftlikleri olarak da adlandırılan sistemler, genel elektrik enerjisi için üretim yapmaktadır (Saner, 2015). Güneş teknolojilerinin gelişmesi, kullanımın yaygınlaşması, otomasyon dünyasının bu teknolojilere entegrasyonunu kaçınılmaz kılmıştır. Süreç denetiminin tarihsel gelişimi akademik olarak birçok çalışmaya da ilham kaynağı olmuştur. Son yıllarda alternatif enerjini kaynaklarına olan ilgi otomasyon sistemleriyle entegre olarak yeni akademik çalışmalar da sunmuştur.

Pasc ve arkadaşlarının 2016 yılında yaptıkları çalışma da, solar fotovoltaik MPPT (Maximum Power Point Tracker) kontrolörünün simülasyonu gerçekleştirilmiştir. CitectSCADA gerçekleştirilen uygulamada, verilen lokasyondaki solar radyosyan ve yük eğrisi için matematiksel fonksiyon tabanlı MPPT simülasyonu gerçekleştirilmiştir (Pasc ve Dumitru, 2016). Dumitru ve arkadaşlarının 2012 yılında yaptıkları çalışmada, yenilenebilir enerji yönetimi için SCADA tabanlı yazılım gerçekleştirilmiştir. Sahadan PLC, RTU gibi yapılardan alınan bilgiler lokal noktalarda ve uzak noktalarda gözleme ve denetlenebileceğini anlatmışlardır (Dimitru ve Gligor, 2012). Moghavvemi ve arkadaşlarının 2013 yılında yaptıkları çalışmada, uzak bölgelere yerleştirilmiş uzaktan kontrolü sağlayan FM transmitterlar için PV/dieselhybrid sistemlerin geliştirilmesi ve optimizasyonu gerçekleştirilmiştir (Moghavvemi ve ark. 2013). Shariff ve arkadaşlarının 2015 yılında yapmış oldukları çalışmada şebeke bağlantılı Fotovoltaik sistemin online görüntülenmesi için düşük güç tüketimi ve düşük data transfer oranına sahip kablosuz haberleşme sistemi olan Zigbee tabanlı data toplama sistemi yapılmıştır. Farklı noktalara yerleştirilen data toplama merkezleriyle modüllere ait veriler toplanmıştır (Shariff ve ark. 2015). Alphonsus ve arkadaşlarının 2016 yılında yaptığı çalışma PLC'lerin yenilenebilir enerji alanında uygulamalarına dönük bir incelemedir. PLC'ler tanıtılmış, Güneş, Rüzgar, Fotovoltaik gibi yenilenebilir enerji alanlarında kullanımlarına örnekler verilmiştir (Alphonsus ve Abdullah, 2016). Guozhen ve arkadaşlarının 2009 yılında yapmış oldukları çalışma fotovoltaik güç santrallerinde SCADA sistemleri haberleşmeleri güvenilirlik için çözümler sunulmuştur. Bunun için Güvenlik erişim kontrolü stratejisi ve yedekleme mekanizmasından oluşan iki etkili çözüm sunulmuştur (Guozhen ve ark. 2009). Georgescu'nun 2014 yılında yapmış olduğu çalışma fotovoltaik tarlalar için oluşturulan sevk merkezleri için SCADA yazılımı gerçekleştirilmiştir (Georgescu, 2014). Zapata ve arkadaşlarının 2016 yılında yapmış oldukları çalışmada solar fotovoltaik yapının IEC 61850 and ISA S101 uluslararası standartları ve OPC, Modbus TCP haberleşme protokolleri kullanılarak SCADA sistemi gerçekleştirilmiştir (Zapata ve ark. 2016). Zhaoxia ve arkadaşları tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada fotovoltaik, rüzgar gülü ve bataryalardan oluşan sistemin SCADA tabanlı denetimi gerçekleştirilmiştir (Zhaoxia ve ark. 2017)

3. Malzeme ve Yöntem

Çalışmanın gerçekleştirilebilmesi amacıyla, laboratuvar ortamında aydınlatma ve havalandırma sisteminin prototipi gerçekleştirilmiştir. Prototip temel olarak üç gruba ayrılmaktadır. Birinci grup güneş enerjisinin sisteme entegrasyonu için; 2 adet polikristal 160 Watt güneş paneli, 1 adet 1kVA inverter, 1 adet 12 V 100 Ah jel akü ve 100 Watt IP66 Led projektörden oluşmaktadır. İkinci grup otomasyon grubu olup, temel olarak 1 adet ışık şiddeti ölçüm transmitteri, 1 adet S7 1200 PLC, 2 adet PAC3200 enerji analizörü, 1 adet Sinamics G120C motor sürücü ve akımların analizörler tarafından ölçülmesi için 5/1 oranlı akım trafolarından oluşmaktadır. Kullanılan güneş panelleri ve inverterin özellikleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2 de verilmiştir.

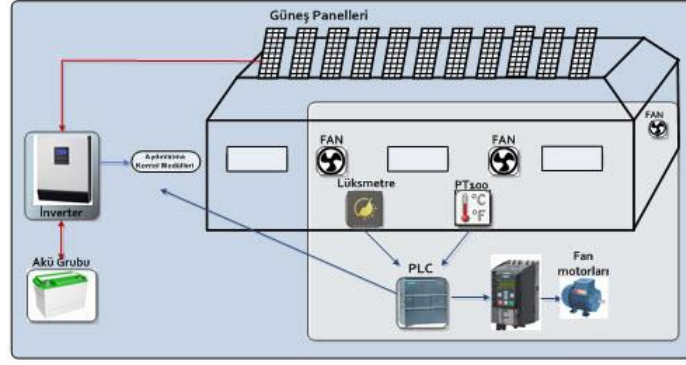
Tablo 2. PV modüllerinin özellikleri

Özellikler	Değer
MPP Gerilimi	18.8 V
MPP Akımı	8.53 A
Açık Devre Gerilimi	23.2 V
Kısa Devre Akımı	9.12 A
Güç Toleransı	±3%

Tablo 1. İnverterin Özellikleri

Mode	Özellik	Değer
Inverter	Anma Gücü	1kVA /1kW
	DC Giriş	12 VDC
	AC Çıkış	230 VAC ±5%
AC	AC Giriş	230 VAC / 50 Hz
	DC Çıkış	12 VDC
Solar	Anma Gücü	1000 W
	Sistem Gerilimi	12 VDC
	Oper. Gerilimi	15-18 VDC
	Max. Sol. Gerilimi	55 VDC

Üçüncü grup aydınlatma ve havalandırma sisteminde oluşmaktadır. Aydınlatma sistemi prototipi için, 550 Watt'lık akkor flamanlı ampul seti kullanılmıştır. Bu sayede gerçek bir işletme ortamında harcanan aydınlatma gücüne denk enerji sarfiyatı sağlanması hedeflenmiştir. Benzer şekilde havalandırma sistemlerinin prototipi amacıyla 3 faz 1,1 kW 'lık asenkron motor deney seti kullanılmıştır. Asenkron motor'a yabancı uyarımlı generatör akuple edilmiş, generatör çıkışlarına omik yük bağlanarak havalandırma enerji sarfiyatı benzetimi yapılmıştır. Şekil 4'de prototipi gerçekleştirilen işletme dizaynı gözükmektedir.

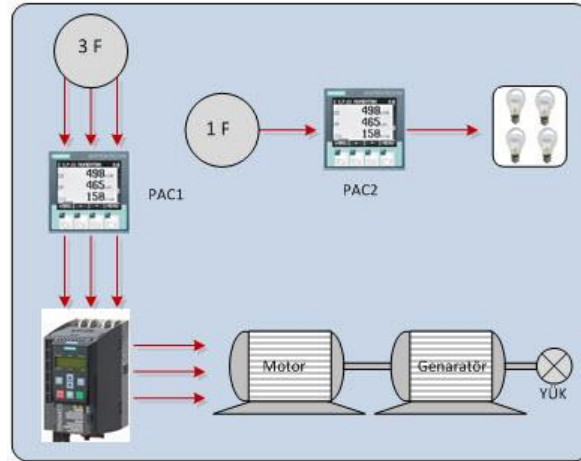


Şekil 4. Prototipi gerçekleştirilen işletme dizaynı

3.1. Sistemin İhtiyaç Duyduğu Standart Enerjinin Belirlenmesi

Prototipi gerçekleştirilen sistemde enerji sarfiyatı yapan iki birim bulunmaktadır. Bunların birincisi aydınlatma grubu, ikincisi motor gruplarıdır. Her iki birimin enerji sarfiyatını ölçmek amacıyla PAC enerji analizörleri kullanılmıştır. Yüklerin çektiği akım değerleri akım trafosu üzerinden ölçülmüştür. Otomasyon sisteminin dahil edilmediği ham durumda sistemin standart durumunda ihtiyaç duyduğu enerji belirlenmiştir. Şekil 5'te sistemin ham durumuna ait ölçüm yapısı görülmektedir.

Prototip sistemin enerji tüketimi PAC3200 enerji analizörleri üzerinden saatlik ölçülmüştür. Tablo 3'te aydınlatma grubu enerji tüketim ölçümleri, Tablo 4'te motor grubu enerji tüketim ölçümleri görülmektedir.



Şekil 5. Sistemim enerji tüketim ölçüm şeması

Tablo 3. Aydınlatma grubu saatlik enerji tüketimi

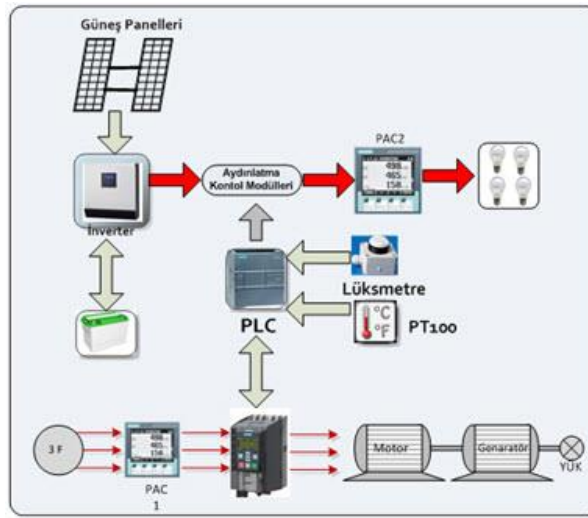
V_{ph-ph} ANLIK	225 V
Görünen Enerji	0,55 kVAh
Aktif Enerji	0,55 kWh

Tablo 4. Motor grubu saatlik enerji tüketimi

V_{ph-ph} ANLIK -L12	397 V
V_{ph-ph} ANLIK -L23	394 V
V_{ph-ph} ANLIK -L31	396 V
Aktif Enerji	0,87 kWh
Görünen Enerji	1,76 kVAh

3.2. Sistemin İhtiyaç Duyduğu Alternatif Enerji Kaynağının Kurulması

Prototipi gerçekleştirilen işletme de aydınlatma sisteminin güç tüketimi 0,55 kWh, Motor grubu güç tüketimi 0,87 kWh olarak ölçülmüştür. Tasarımı prototiplenen işletme ortamında aydınlatma grubu güneş enerjisinden elde edilen enerji ile beslenmektedir. Buna karşın motor grubu şebekeden beslenmektedir. Aydınlatma grubunun saatlik 0,55 kWh enerji tükettiği düşünüldüğünde, en az bu gücü karşılayacak güneş panellerinin kurulması gerekmektedir. Geliştirilen sistem; standart sisteme güneş panelleri, ışık ölçüm sensörü, PLC entegre edilerek elde edilmiştir. Ayrıca sabit olarak enerji tüketimi gerçekleştiren motor fan grubu da kurulmuş olan PLC tabanlı otomasyon sistemine entegre edilmiştir. Standart sistemde; aydınlatma grubu hiçbir otomasyon ve kontrol sistemine tabi değildir. Bu sebeple enerji tüketimi sürekli olarak sabit olmaktadır. Geliştirilen sistemde aydınlatma grubu ortam ışık miktarına bağlı olarak otomasyon tabanlı kontrol edilmiştir. Ortamdaki ışık miktarı ışık ölçüm transmitteri tarafında ölçülerek PLC ortamına analog değer olarak aktarılmaktadır. PLC ölçülen analog değere bağlı olarak dijital çıkışlara bağlı olan röle grubunu kontrol etmektedir. Röle grubu dört farklı aydınlanma bölgesi için ayrı olarak tasarlanmıştır. Bu sayede ortam ışık miktarına göre hangi grupların aktif veya pasif olacağı belirlenmektedir. Diğer bir ifadeyle sürekli sabit enerji sarfiyatı yerine ihtiyaç oranında enerji tüketimi gerçekleşmektedir. PLC sistemi kullanıcıya geniş bir alanı denetleme ve kontrol olanağı sunmaktadır. Gerçekleştirilen PLC tabanlı otomasyon sistemine motor grubu da entegre edilmiştir. PLC S7-1200 ve motor sürücü Sinamics G120C ethernet protokolü üzerinden haberleştirilmiştir. Entegre edilen motor grubu ortam ısısına bağlı olarak PLC üzerinden denetlenmiş, bu sayede fan grubu enerji sarfiyatında da ek bir enerji verimliliği sağlanmıştır. Motor grubundan elde edilen enerji verimliliği sayesinde işletme giderlerinden kar elde edilerek, güneş enerjisi tabanlı kurulan otomasyon sisteminin amortisman giderlerine katkı sağlanmıştır. Şekil 6'da geliştirilen otomasyon tabanlı, güneş enerjisi beslemeli aydınlatmaya sahip işletme ölçüm yapısı görülmektedir.



Şekil 6. Geliştirilen otomasyon tabanlı, güneş enerjisi beslemeli aydınlatmaya sahip işletme ölçüm yapısı

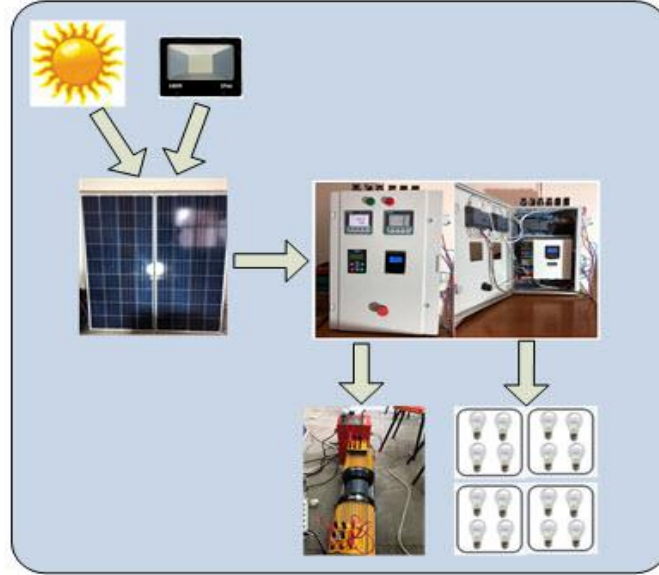
Şekil 6'de geliştirilen sistemde aydınlatma grubu tamamıyla güneş panellerinden elde edilen enerjiden beslenmektedir. Standart sisteme PLC tabanlı otomasyon sisteminin entegre edilmesi sayesinde hem aydınlatma hemde motor enerji sarfiyatında güç tüketimi azalmıştır. Tablo 5'te motor kontrol biriminin otomasyon tabanlı güç tüketimi, Tablo 6'da aydınlatma sisteminin otomasyon tabanlı güç tüketim ölçümleri görülmektedir. Otomasyon tabanlı gerçekleştirilen prototip denetimli işletmede aydınlatma sisteminin enerji tüketimi 0,33 kWh, Motor grubu enerji tüketimi 0,48 kWh olarak ölçülmüştür. Şekil 7'de otomasyon panosu, güneş panelleri ve motor deney seti görülmektedir.

Tablo 5. Motor grubu saatlik enerji tüketimi

V_{ph-ph} ANLIK -L12	397 V
V_{ph-ph} ANLIK -L23	394 V
V_{ph-ph} ANLIK -L31	396 V
Aktif Enerji	0,48 kWh
Görünen enerji	0,99 kVAh

Tablo 6. Aydınlatma sisteminin otomasyon tabanlı güç tüketimi

V_{ph-ph} ANLIK	225 V
Görünen Enerji	0,33 kVAh
Aktif Enerji	0,33 kWh



Şekil 7. Uygulama panosu, Güneş panelleri ve motor deney seti görülmektedir

4. Bulgular Ve Tartışma

Yapılan ölçümlerde, otomasyon sisteminin entegre edilmesi sayesinde enerji tüketiminin her iki birimde de azaldığı görülmüştür. Aydınlatma sisteminde enerji sarfiyatı 0,55 kWh tüketimden 0,33 kWh tüketime düştüğü görülmüştür. Motor kontrol sisteminde 0,87 kWh tüketimden 0,48 kWh tüketime düştüğü görülmüştür. Fotovoltaik sistem kurularak, aydınlatma sisteminin alternatif enerjiyle beslenmesiyle, entegre edilen otomasyon sistemi her iki birime de katkı sağlamıştır. Otomasyon sistemi aydınlatma gruplarını ortam ışık şiddetine bağlı olarak devreye almıştır. Bu sayede sabit tüketim yerine ortam aydınlığına bağlı tüketim gerçekleştirilmiştir. Aydınlatma sisteminin standart güç tüketimine bakıldığında, kurulacak Fotovoltaik sistemin en az 0,55 kWh olması gerekmektedir. Fakat otomasyon sistemi sayesinde 0,33 kWh değerine düşmektedir. Bu durumda %40 oranında kazanç olmaktadır. Kurulan sistem için istenen güç miktarı olması gerekenden %40 daha fazladır. Elde edilen enerjinin otomasyon sistemi sayesinde tasarruflu ve verimli kullanılması sayesinde kurulum gücü standart belirlenenden güçten daha düşük olarak gerçekleşebilmektedir. Bu durumdan dolayı otomasyon tabanlı bir fotovoltaik sistem kurulurken standart güç tüketiminin belli bir katsayıyla çarpılıp elde edilen güç miktarına göre kurulması, kurulum maliyetlerini azaltacaktır. Bu noktada kullanıcı otomasyon denetimli alternatif enerji kaynağı kurulum gücünü belirleyebilmesi için bir katsayıya ihtiyaç duymaktadır. Kazanç katsayısı, otomasyon tabanlı enerji tüketiminin, standart enerji tüketimine oranı şeklinde bulunabilir. Kazanç katsayısı “K” olarak, Otomasyon tabanlı enerji tüketimi “OTET”, standart enerji tüketimi “SET” olarak adlandırılırsa, Eş. 1’de gösterildiği şekilde yazılabilir.

$$K = \frac{OTET}{SET} \quad (1)$$

Kurulan sistemin SET değeri Tablo 3’ten 0,55 kW, OTET değeri Tablo 5’ten 0,33 kW olarak alınıp denklem 1’de yerine konduğunda kazanç katsayısı “K” ‘0,6’ olarak bulunmuştur.

5. Sonuç

Günümüzde Alternatif enerjiye artan ilgiyle beraber alternatif enerji kaynaklarının verimli kullanılması ve elde edilmesi için gereken kurulum maliyetinin minimumlarda olması ayrı bir hedef olmuştur. Bu noktada otomasyon sistemleri büyük rol oynamaktadır. Özellikle endüstri 4.0’ın doğmasıyla günümüz dünyasında otomasyon sistemlerinin olmadığı bir yapı eksik olarak düşünülmektedir. Yapılan bu çalışmada kurulacak olan fotovoltaik sistemin, kurulum maliyetlerinin azalması için ‘K’ katsayısı elde edilmeye çalışılmıştır. Standart olarak kurulacak sistemin gücü doğrudan ihtiyaç olan güç miktarıdır. Fakat enerjinin verimli ve kontrollü bir şekilde kullanılmasıyla ihtiyaç olarak hesap edilen güç miktarı azaltılmaktadır. Prototip olarak kurulan sistemde aydınlatma denetimi gerçekleştirilmiş, sistem her iki şekilde test edilerek denetimli bir yapıyla harcanan enerjinin düştüğü görülmüştür. Bu durumda kurulum gücü de standart belirlenenden aşağı olabileceği belirlenmiştir. Bunu belirlemek için “K” katsayısı 0.6 olarak elde edilmiştir. Bu katsayı sayesinde tüketilen güce göre değil, otomasyon sistemleri sonucu verimliliği artırılmış enerji tüketimine göre fotovoltaik sistemin kurulması önerilmiştir. Ayrıca kurulacak otomasyon sistemi diğer birimlere de entegre edilmiş bunun sonucunda enerji tüketim verimliliği %40 yükselmektedir. Bu sayede otomasyon sisteminin kurulum maliyeti de kendini zamanla amorti etmektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2017-01.BŞEÜ.11-01).

Kaynakça

- Alphonsus, E.R., & Abdullah, M.O. (2016). A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1185–1205.
- Bulut, E., & Akçacı, T. (2017). Endüstri 4.0 ve inovasyon göstergeleri kapsamında Türkiye analizi. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 4(7), 50-72.
- Dimitru, C.D., & A. Gligor, A. (2012). SCADA based software for renewable energy management system, *Procedia Economics and Finance*, 3, 262-267.
- Durusu, A., & Erduman, A. (2018). An Improved Methodology to Design Large-Scale Photovoltaic Power Plant, *Journal of Solar Energy Engineering* 140(1), 011007.
- Eldem, M.O. (2017) Endüstri 4.0, TMMOB EMO Ankara Şubesi Haber Bülteni.
- Georgescu, V.C. (2014). SCADA Software used in Dispatch Centre for Photovoltaic Parks, 6th Edition *Electronics, Computers and Artificial Intelligence*, Bucharest, Romania, 1-4.
- Guozhen, H., Tao, C., Changsong, C. & Shanxu, D. (2009). Solutions for SCADA system Communication Reliability in Photovoltaic Power Plants, *IEEE 6th International Power Electronics and Motion Control Conference*, Wuhan, China, 2482- 2485.
- Grozdev, M. (2010). Alternatif enerji kaynakları, Yüksek lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Karafil, A., & Özbay H. (2018). Design of Stand-Alone PV System on a Farm House in Bilecik City, Turkey, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5(3), 909-916.
- Karamanav, M. (2007). Güneş enerjisi ve güneş pilleri, Yüksek lisans Tezi, Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye.
- Kılıç, S., & Alkan, R.M. (2018). Dördüncü sanayi devrimi Endüstri 4.0: Dünya ve Türkiye değerlendirmeleri, *Girişimcilik İnovasyon ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, 2(3), 29-49.
- Moghavvemi, M., Ismail, M.S., Murali, B., Yang, S.S., Attaran, A., & Moghavvemi, S. (2013). Development and optimization of a PV/diesel hybrid supply system for remote controlled commercial large scale FM transmitters, *Energy Conversion and Management*, 75, 542-551.
- Pasc, P.C. & Dumitru, C.D. (2016). SCADA system for solar MPPT controller monitoring, *Procedia Technology*, 23, 803-807.
- Saner, H.S. (2015). Türkiye'de güneş enerjisi santrallerinin yer seçimi ve çevresel etkileri: karapınar ve karaman enerji ihtisas endüstri bölgeleri örneklerinin değerlendirilmesi, Yüksek lisans Tezi, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Shariff, F., Rahim N.A. & Ping, H.W. (2015). Zigbee-based data acquisition system for online monitoring of grid-connected photovoltaic system, *Expert Systems with Applications*, 42, 1730–1742.
- Zapata, G., Salazar, A., Moreno, D., & García, R. (2016). Supervision of a Distributed Energy Resources Generation System Using IEC and ISA Standards,” *IEEE Colombian Conference on Robotics and Automation*, Bogota, Colombia..
- Zhaoxia, X., Zhijun, G., Guerrero J.M., & Hongwei, F. (2017). SCADA System for Islanded DC Microgrids. 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Beijing-China, 2669-2674.



Plazma Sprey Tekniği ile Cr₂O₃ Kaplanmış Fren Diskinin Frenleme Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi

Ali Öz^{1*}, Abdullah Demir², Selami Sađırođlu³, Ali Kemal Yakut⁴

¹ Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, TBMYO, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Burdur, alioz@mehmetakif.edu.tr

² Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği, İstanbul, ademir@marmara.edu.tr

³ Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Karabük, Türkiye; ssagiroglu@karabuk.edu.tr

⁴ Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Isparta, Türkiye; kemalyakut@isparta.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 7 Şubat 2019 ve Kabul Tarihi 13 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.522361)

ATIF/REFERENCE: Öz, A., Demir, A., Sağıroğlu, S. & Yakut, A. K. (2019). Plazma Sprey Tekniği ile Cr₂O₃ Kaplanmış Fren Diskinin Frenleme Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 394-403.

Öz

Bu çalışmada hafif ticari araca ait kanatçıklı soğutmalı ön fren diskleri kullanılmıştır. Testlerde kullanılan disk 257 mm dış, 150 mm iç çapa, 22 mm kalınlığa, 5328,73 g kütleyle sahiptir. Numune ise plazma sprej tekniği kullanılarak Cr₂O₃ ile kaplanmıştır. Kaplanmış diskin performans standartlarına uygun olarak atalet dinamometresinde alış(tır)ma ve ısıl titreşim (hot judder I-II) özellikleri incelenmiştir. Yapılan testler öncesi ve sonrasında disklerin kalınlık ve kütsel ölçümlerinin yanında yüzey pürüzlülük değerleri de ölçülerek aşınma oranları tespit edilmiştir. Ayrıca testler sonrası disklerden alınan numuneler TS EN ISO 9227 test standardına uygun olarak korozyon testine tabi tutulmuştur. Yapılan test ve ölçümlerde; tüm frenleme prosedürlerinde her iki diskin sıcaklıklarının birbirine yakın ve frenleme sayısına bağlı olarak çalkantılı gerçekteştiği, alıştırma test prosedüründe orijinal diskin belirgin şekilde sürtünme katsayısının yüksek olduğu; testler neticesinde kaplamalı diskin dış yüzeyinin tahrip olduğu ve dış balatasının ağır hasar gördüğu ve ayrıca gerçekteştirilen korozyon testinde ise orijinal diskin yoğun korozyona maruz kaldığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fren diski, Kaplama, Cr₂O₃, Atalet dinamometresi, Frenleme performansı

Experimental Investigation of Braking Performance on Cr₂O₃ Coated Brake Disk by Plasma Spray Technique

Abstract

In this study, front brake discs with air ventilated belonging to a light commercial vehicle were used. The disk used in the tests has an outer diameter of 257 mm, inner diameter of 150 mm, 22 mm thickness, 5328.73 g. The samples were plated with Cr₂O₃ by using a plasma spray technique. OEM and coated discs are tested in inertia dynamometer according to performance standards; bedding-in and hot judder I-II. In addition to the thickness and mass measurements of the disks before and after the tests performed in inertia dynamometer, the surface roughness values were also measured and the wear rates were determined. In addition, the samples taken from the discs after the tests were subjected to corrosion test in accordance with TS EN ISO 9227 test standard. After the tests and measurements carried out, it has been determined that; both disc temperatures were close and fluctuating depending on the number of braking in every braking procedure; OEM disc had significantly higher friction coefficient in the bending test procedure, the outer surface of the coated disc was worn out and the outer pad was heavily damaged and also in the corrosion test, the original disc was exposed to intensive corrosion.

Keywords: Brake disk, Coating, Cr₂O₃, Inertia dynamometer, Brake performance

* Sorumlu Yazar: Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, TBMYO, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, alioz@mehmetakif.edu.tr

1. Giriş

Frenler, güvenli sürüş için taşıtlarda bulunan en önemli aktif emniyet donanımdır. Hareket halindeki taşıtı yavaşlatmak, durdurmak, taşıtın hızını kontrol altında tutmak ve duran taşıtı yerinde sabitlemek amacıyla kullanılırlar (Göktaş ve ark., 1995; Demir, 2009). Taşıtlarda tekerlek freni olarak yaygın bir biçimde sürtünmeli disk frenler kullanılmaktadır. Frenleme etkisiyle disk-balata ara yüzeyindeki sıcaklık ve hız değişimi sürtünme katsayısını etkilemektedir. Artan sıcaklık ve artan kayma hızı ile sürtünme katsayısı düşerek sıcaklık zayıflaması ve hız zayıflaması meydana gelmektedir (Göktaş ve ark., 1995). Fren zayıflaması, sürtünmeli fren sistemine sahip olan tüm taşıtlarda sıcaklığa bağlı olarak sürtünme katsayısının belirgin bir şekilde düşmesiyle meydana gelmektedir (Göktaş ve ark., 1995; Stanford ve Jain, 2001; Limpert, 2001; Orthwein, 2004; Thuresson, 2004; Bijwe ve ark., 2005; Demir, 2008-2009). Frenleme esnasında oluşan yüksek sıcaklık değerleri; fren zayıflamasına, erken aşınmalara, fren sıvısının buharlaşmasına, yatak arızalarına, termik çatlaklara ve titreşimlere sebep olabilmektedir (Lee, 1999).

Yapılan bir çalışmada binek otomobillerin frenlemesi için gerekli sürtünme katsayısının 0,30 ile 0,35 arasında (Bijwe ve ark., 2005), bir diğer çalışmada ise; sürtünme çiftleri arasındaki sürtünme katsayısının binek otomobiller için 0,45, spor otomobiller için 0,50'nin üzerinde ve raylı taşıtlar için ise 0,35 düzeylerinde olacağı bilgisi verilmiştir (Dmitriev ve ark., 2008). Yapılan bir başka çalışmada ise gri dökme demir esaslı kanatçıklı disk ve yarı metalik balata sürtünme çiftleri 98 – 632 °C arasındaki sıcaklıklarda 0,246 - 0,412 arasında sürtünme katsayısına sahip olmuştur² (Demir, 2009).

Lee ve Barber (1994) yaptıkları çalışmada, kayma hızının yeteri derecede büyük olması durumunda, balata-disk etkileşiminde kararsızlık olacağını belirtmişlerdir. Termoelastik kararsızlık (TEI) ile ilişkili yüksek lokal sıcaklıkların; malzemede bozulmaya, termik çatlak oluşumuna ve olumsuz frenleme performansına (fade) neden olduğu belirtilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada TEI, dönme hızına ve fren basıncına bağlı olarak araştırılmıştır. Çalışmada balata konfigürasyonu gibi diğer değişkenler sabit tutulmuştur. Ayrıca 250 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda sıcaklığa bağlı fren zayıflamasının olduğu tespit edilmiştir. Özellikle uzun süreli frenlemelerde sürtünme yüzeyindeki sıcaklık değişimlerinin, sürtünme katsayısının azalmasına sebep olduğu saptanmıştır (Lee ve Barber, 1994).

Ellis (1998) tarafından yapılan bir çalışmada, dört farklı malzemeden imal edilmiş diskler -GG20'ye eşdeğer orta bir karbon derecesine sahip disk (A), GG25'e eşdeğer ve titanyum içerikli disk (B), bakır içeren yüksek karbonlu disk (C) ve GG35'e eşdeğer molibden ve krom içeren disk (D)- sürtünme testine tabii tutulmuştur. Testler, atalet dinamometre test cihazında ve ECE 90 Test Regülasyonuna uygun olarak yapılmış ve diskler; aşınma, sürtünme ve yapısal kararlılık açısından değerlendirilmiştir. Tip I fren zayıflaması testinde (fade testing); B diski genellikle daha yüksek sürtünme tepkisi sağlamıştır. Hız duyarlılık testinde ise daha düşük negatif ivmelenme göstermiştir. Aşınma testlerinde sıcaklık artışı B ve D disklerinin aşınma oranını artırmış ancak genel aşınma oranı açısından D diski en düşük aşınma değeri sağlamıştır. Aynı çalışmanın kararlılık testinde titanyum alaşımli disklerin en yüksek termik odaklı titreşim direnci sağlamalarına rağmen en düşük kararlılığa sahip olduğu da tespit edilmiştir. Yüksek karbonlu yarı otomobili diski iyi düzeyde kararlılık sağlarken zayıf bir aşınma direnci göstermiştir. Düşük ve orta karbonlu molibden alaşımli diskler, iyi düzeyde aşınma direnci göstermesine rağmen zayıf bir kararlılık sağladığı da tespit edilmiştir (Ellis, 1998).

Stanford ve Jain (2001) tarafından yapılan çalışmada sistemlerin termal verimliliğini arttırmak, çalışma sıcaklığını yükseltmek, korozyon, oksidasyon veya aşınma davranışını iyileştirmek amacıyla uygulanan termal sprey kaplamaların yüzey bileşen özellikleri için iyi bir mühendislik yaklaşımı sunduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada diskler ticari olarak uygulanabilecek sert kaplamalarla kaplanmıştır. Yapılan bu çalışmada, Fe-3.45C-2.15Si-0.5Mn-0.25Cr-0.2Cu kompozisyonuna sahip bir diskin sürtünme, aşınma ve korozyon direncini iyileştirmek için dört çeşit sert kaplama [Ni-17Cr-2.5Fe-2.5Si-2.5B-0.15C (Metco), Fe-30Mo-2C (Diamalloy), Co-30Cr-12W-2.4C (Stellite), and Zn-50SiC (Zn-SiC)] uygulanmıştır. Yapılan testlerde; en iyi korozyon direncini stellite kaplamalı disk göstermiştir. Tüm kayma hızlarında en düşük aşınma oranını stellite kaplamalı disk ile dökme demir disk sağlamıştır. Çalışmada genel olarak **sürtünme katsayısının kayma hızının artışıyla azaldığı** da tespit edilmiştir. Bununla birlikte en kararlı sürtünme davranışını yine stellite kaplamalı disk ile dökme demir disk göstermiştir. Ayrıca çalışmada Metco kaplamanın, sıcaklıkla fren zayıflamasına daha yatkın olabileceği üzerinde durulmuştur (Stanford ve Jain, 2001).

Thuresson (2004) tarafından yapılan çalışmada ise; kaymalı temasta, sıcaklık ve basınç gibi parametrelerin, sistemin geometrisinden, malzeme özelliklerinden ve sınır koşullarından etkilendiği belirtilmiştir. Frenlemelerde temas basıncı ve sıcaklık değişimleri, frenleme esnasında termik genleşme, aşınma ve sürtünmeden kaynaklanan ısıyla sürekli olarak değişir. Aşınma katsayısı sıcaklığa bağlı olarak değerlendirilmiş ve 600 °C'ye kadar lineer ve bu sıcaklığın üzerinde eksponansiyel artan bir fonksiyon olarak modellenmiştir. Sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısının azalması fren zayıflamasının ana nedeni olduğu ifade edilmiştir. Aynı çalışmada aşınma davranışı Archard'ın aşınma yasasıyla incelenmiştir (Thuresson, 2004). Bijwe ve arkadaşları (2005) tarafından yapılan bir çalışmada; sıcaklıkla fren zayıflamasının 300-400 °C arasındaki fren arayüz sıcaklıklarında kinetik sürtünme katsayısındaki düşmeden kaynaklandığı belirtilmiştir. Frenleme elemanlarının işletme esnasında maruz kaldığı tribolojik durumun sıcaklıkla fren zayıflaması üzerinde dominant bir etkisi olduğu belirtilmiştir. Çalışmada bir otomobilin ön fren diski ile farklı reçine kompozisyonları kullanılan beş balatanın sıcaklıkla fren zayıflaması ve kararlılık (recovery) özellikleri incelenmiştir (Bijwe ve ark., 2005).

² Disk sıcaklığı 632 °C'de, iç balata sıcaklığı 451 °C ve dış balata sıcaklığı ise 441 °C'dir. Aynı sıcaklıkta sürtünme katsayısı 0,381 olarak tespit edilmiştir (Demir, 2009).

Natarajan ve ark. (2006), A356-%25SiC bileşeninin, otomobil fren balata malzemesine karşı aşınma miktarını konvansiyonel gri döküm malzeme ile karşılaştırmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre, A356-%25SiC bileşeni eşit şartlar altında sürtünme malzemesi üzerinde kullanıldığında, sıradan gri döküm malzemedan daha fazla aşınma direnci göstermiştir. Ayrıca hem gri döküm malzeme hem de A356-%25SiC bileşene uygulanan yük miktarı arttıkça aşınma katsayısının azaldığını gözlemlemişlerdir.

Uyyuru ve ark. (2006), AlSi-SiC parçacıklı bileşenleri otomobil fren balatalarına sürtmeleri durumunda, frenleme yükündeki artışla aşınma oranının da arttığını, sürtünme hızının artması durumunda ise aşınma oranının düştüğünü göstermiştir. Ancak, frenleme yükü ve sürtünme hızının artması durumunda sürtünme katsayısının düştüğünü tespit etmişlerdir.

Düşük korozyon direncine ve optimum düzeyde termik iletkenlik ile aşınma mukavemetine sahip olan gri dökme demir, fren disklerinin imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak disk için aracın bulunduğu ya da kullanıldığı yerlerde/bölgelerde suyun, nemin ve tuzun bulunması halinde ciddi sorunlarla karşılaşılabilir. Bu amaçla disklerin ısı verimliliğini arttırmak, korozyon, oksidasyon veya aşınma davranışını iyileştirmek amacıyla kaplama uygulamaları tercih edilebilir (Demir, 2009).

Yüzey kaplama, yeni bir yüzey tabakası elde etmek amacıyla kaplama yöntemleri kullanılarak ana malzemedan farklı özellikte ve kimyasal bileşimi bilinen bir metal veya alaşımın ana malzeme yüzeyine kaplanması işlemidir. Yüzey kaplama; aşınmayı, yıpranmayı, darbeyi, erozyonu ve oyulmayı azaltmak için orijinal parçalara uygulandığı gibi bozulan parçaların tamiri amacıyla da uygulanır. Yüzey kaplama işlemi ergitme kaynak yöntemleri ile yapılabildiği gibi, ısıl püskürtme, lazer, kaynak yöntemi vs. kullanılarak da gerçekleştirilebilmektedir (Mingxi ve ark., 2005). Kaplamalar, genellikle mekanik bağlanma ve bölgesel olarak çeşitli sınıflarda kimyasal bağ kuvvetleri ile oluşmaktadır (Smith and Fast, 1994).

Metal püskürtme yönteminde toz veya tel halindeki kaplama maddeleri, bir püskürtme tabancasından yanıcı, yakıcı ve taşıyıcı gazların eşliğinde püskürtülerek iş parçasının yüzeyine kaplama oluşturulur. Bu grupta yer alan teknikler arasında toz alev püskürtme, tel püskürtme, plazma püskürtme gibi sıralanabilir (Halamoğlu, 2003).

Krom-oksit, tüm oksitler Sulzer Metco'da geçen tozlar arasında kimyasal olarak en hareketsizi ve en az aşınanıdır. 540 °C'nin altındaki çalışma sıcaklıklarında kullanılabilir. Seramik krom-oksit kullanılarak yapılacak kaplamalar plazma işlemi uygulanarak elde edilir. Titanyum oksit ve silisyum oksit eklendiğinde bağlama gücü, sertlik ve abrasiv aşınma direnci artar. Bu kaplamalar zirkonya tabanlı seramiklerle kıyaslandığında ısı iletkenlikleri daha fazladır ancak daha yüksek mikro, makro sertlik ve aşınma direnci gösterirler (Sulzer Metco, 2006).

Blau ve ark. (2007), iki adet ticari titanyum alaşım, dört adet titanyum sert toz kompozitleri ve bir adet termal spreyle kaplanmalı Titanyum alaşımı kullanarak yaptıkları çalışmalarında, sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimlerini araştırmışlardır. Çalışmalarında sürtünen parça olarak ticari amaçlı üretilmiş balata kullanılmıştır. Sonuç olarak; 0,6 mm kalınlığındaki termal spreyle kaplanmalı titanyum alaşım diskin (Ti-6Al-4V ThSp) en düşük aşınma değerine sahip olduğunu ve hafif olmasının yanında diğer disklerle oranla daha yüksek korozyon direncine sahip olması sebebiyle tercih edilebilir olduğunu belirtmişlerdir (Blau ve ark., 2007).

Öz (2012) tarafından yapılan doktora çalışmasında, hafif ticari bir aracın ön tekerlek frenleme sisteminde kullanılan tolerans limitleri dışında aşınmış 4 adet fren disklerine farklı kaplama yöntemleri, kaplama kalınlıkları ve tozları kullanılarak kaplama işlemi uygulanmış ve incelemeler yapılmıştır. Çalışmada orijinal disk olarak (83,2Fe4,9Si0,4Mn2,8P0,9S0,2Cr1,8Al2,4Cu2,5Zn0,1Sn0,2Zr) [R0] ve balata olarak ta (11,6Fe4Si2,7P2S11Cr31,3

Ni6Sn7,3Zr0,3Bi8,9W13,8Hf0,6Ti) kullanılmıştır. Kaplanmış disklerden birincisi [R1], seramik kromoksit (Cr₂O₃) tozu kullanılarak ve 95/5 oranına sahip NiAl ara bağlayıcı kullanılarak plazma spreyle yöntemi ile kaplanmış ve 0,7 mm kalınlığında kaplama elde edilmiştir. İkincisi [R2], 88/12 oranına sahip tungsten karbür kobalt (W₂C-Co) tozu ve 80/20 NiCr ara bağlayıcı kullanılarak yüksek hızlı oksijen yakıtı ile püskürtme (HVOF) yöntemi ile kaplanmış ve 0,5 mm kalınlığında kaplama elde edilmiştir. Üçüncüsü [R3], Colmonoy 88RH (Ni3B4Si3,5Fe15Cr17,3W0,8C) tozu ve 80/20 NiCr ara bağlayıcı kullanılarak HVOF yöntemi ile kaplanmış ve 0,6 mm kalınlığında kaplama elde edilmiştir. Dördüncüsü [R4] ise, Colmonoy 88SA (Ni3B4Si3,5Fe15Cr17,3W0,8C) tozu uygulanarak herhangi bir ara bağlayıcı kullanılmadan ergitme ve püskürtme yöntemi ile kaplanmış ve 0,8 mm kalınlığında kaplama elde edilmiştir. Kaplanmış ve kaplanmamış orijinal diskler, FIAT 7-H4020 standardına uygun olarak atalet dinamometresinde; alıştırma, judder, fren tork değişimi, geçici-kalıcı deformasyon ve yapısal dayanım testlerine tabi tutulmuştur. Ayrıca atalet dinamometresinde elde edilen test sonuçlarından sıcaklıkla fren zayıflaması tespit edilmiştir. Yapılan tüm testler sonucunda; aşınmış fren disklerinin, tungsten-karbür kobalt ile kaplanması durumunda orijinal diske yakın frenleme performansı gösterebileceği ve ticari kullanım için ümit verici özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir (Öz, 2012).

Bu çalışmada ise hafif ticari araca ait biri kanatçıklı orijinal gri dökme demir (D0) ve diğeri ise seramik kromoksit (Cr₂O₃) tozu kullanılarak ve 95/5 oranına sahip NiAl ara bağlayıcıyla plazma spreyle yöntemi kullanılarak kaplanmış ve 0,7 mm kalınlığında kaplanmalı disklerdir. Akabinde her iki disk atalet dinamometresinde alış(tr)ma ve ısıl titreşim (hot judder I-II) özellikleri açısından incelenmiştir. Bu incelemede her iki diskin son sıcaklığı, ortalama sürtünme katsayısı ve gürültü değerleri grafiklenmiştir. Yapılan testlerin öncesi ve sonrasında disklerin hem kalınlık hem de kütleli olarak durumları ölçülmüş ve aşınma oranları tespit edilmiştir. Ayrıca testler sonrası disklerden alınan numuneler TS EN ISO 9227 test standardına uygun olarak korozyon testine tabi tutulmuştur.



2. Materyal ve Metot

Kaplanmış ve kaplanmamış disk, FIAT 7-H4020 ve 7-H2000 standartlarına uygun olarak atalet dinamometresinde alış(tır)ma ve ısıl titreşim (hot judder I-II) testlerine tabi tutulmuştur. Testler öncesi ve sonrası kaplanmış ve kaplanmamış diskin üzerinde yapılan boyutsal ve kütle ölçümler neticesinde disklerde meydana gelen aşınma oranları tespit edilmiştir. Kaplanmış ve kaplanmamış diskten alınan numunelerin standart metalografik incelemesi yapılmıştır³. Son olarak her iki diskten alınan numuneler TS EN ISO 9227 ve ASTM B117 test standartlarına uygun olarak korozyon testine tabi tutulmuştur.

2.1. Testlerde kullanılan disklerin genel özellikleri

Testlerde hafif ticari bir araca ait kanatçıklı ön fren diskleri kullanılmıştır. Testlerde kullanılan orijinal diskin ve balatanın özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Testlerde kullanılan orijinal disk ve balataya ait geometrik boyutlar


Teknik özellikler	D0 Orijinal disk	Balata
Kalınlık (mm)	21,805	17,663
Disk çapı (mm)	257	-
Kütle (g)	5328,73	335,43
Disk çarpılma limiti (mm)	0.05	-
Kimyasal Kompozisyon	83,2Fe - 4,9Si- 0,4Mn - 2,8P- 0,9S-0,2Cr-1,8Al- 2,4Cu-2,5Zn- 0,1Sn-0,2Zr	11,6Fe-4Si-2,7P-2S- 11Cr- 31,3N-i 6Sn- 7,3Zr- 0,3Bi- 8,9W- 13,8HF-0,6Ti
		

2.2. Disk kaplama malzemesi, kaplama yöntemi ve diskin hazırlanması

Bu çalışmada, hafif ticari aracın ön tekerlek frenleme sisteminde kullanılan tolerans limitleri dışında aşınmış 1 adet fren diski plazma sprey tekniği kullanılarak Cr₂O₃ ile kaplanmıştır. Kaplama yapılmış diskin özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Plazma sprey yöntemi ile kaplanacak numunelerin hazırlanması: Dökme demir disk malzemesi üzerine NiAl ara bağlayıcının kuvvetli bağ oluşturabilmesi için disklerin yüzeyleri taşlanarak oksit tabakası uzaklaştırılmıştır. Seramik kaplama yüzeye mekanik bağlanma ile tutunacağından yüzey yeterince pürüzlü hale getirilmiştir. NiAl ara bağlayıcı kaplanmadan önce dökme demir disk yüzeyleri 35 grit alümina ile kumlanarak temizlenmiş ve Ra=13,4 µm ortalama pürüzlülük değeri elde edilerek yüzeyler bağ mukavemeti açısından aktif duruma getirilmiştir. Plazma püskürtme yöntemiyle NiAl ara bağlayıcı kaplama uygulanması esnasında diskte aşırı ısınmayı önlemek için diskin arkasından basınçlı hava ile soğutma yapılmıştır. Diskin yüzeyine uygulanan yaklaşık 50 µm kalınlığındaki kaplamanın ortalama pürüzlülük değeri Ra= 12,7 µm olarak perthometre (perthometer) ile ölçülmüştür.

Tablo 2. Kaplama yapılmış diskin özellikleri

Kaplama Malzemesi	D1- Seramik Krom-oksit	Kaplanmış Diskin Resmi
Ağırlık (kg)	5267,12	
Disk kalınlığı (mm)	21,894	
Balata ağırlığı (gr)	334,54	
Kaplama tozlarının bileşenleri ve % oranları	3,5Fe- 2,3Si-0,3Mn-1,3P- 86,4Cr-1,6Al- 1,7Cu-2,6Zn- 0,2Ti-0,14Zr	
Ara bağlayıcı (astar)	Ni/Al-95/5 50µ	
Kaplamayı uygulayan firma	Sermet firması kaplama atölyesi İstanbul	
Kaplama türü	Plazma püskürtme yöntemi	
Kaplama kalınlığı (mm)	0,7	
Ergime sıcaklığı (°C)	1160	
Isı iletim katsayısı (W/mK)	1,99	

2.3. Tam ölçekli atalet dinamometresi ve testler

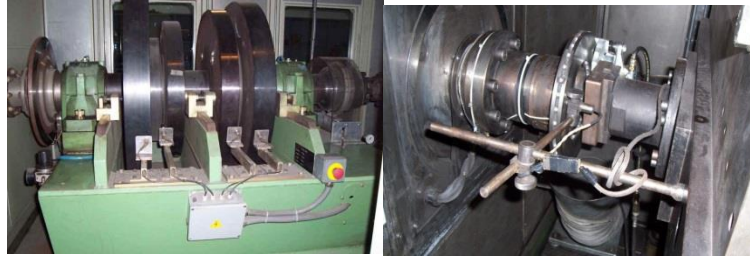
Hidrolik ya da havalı frene sahip binek taşıtların testlerinde kullanılan atalet dinamometreleri; kaplanmış disklerin hızlı sürtünme katsayısı analizlerinden FMVSS 105 ya da 135 simülasyonlarına kadar çeşitli testlerin yapılması için kullanılan bir fren test ünitesidir. Dinamometrelerde; performans, dayanıklılık, kapasite ve gürültü testleri yapılan en yaygın testlerdir. OEM, balata tedarikçileri ve

³ Bu çalışmada metalografik incelemeye yer verilmemiştir.

komponent üreticileri tarafından kullanılan ataletli dinamometre prosedürlerinin çoğu (SAE, JASO, ISO, AK, FMVSS, JIS ya da hususi) dinamometrelerde gerçekleştirilebilmektedir (Demir, 2009). Atalet dinamometresinde yapılan ölçümlerde kullanılan sensörlerle; hız, tork, basınç, akışkanın yer değiştirmesi ve sıcaklık gibi parametreler ölçülebilmektedir (Anonymous, 2002). Bu çalışmada kullanılan tam ölçekli atalet dinamometresinin resmi Şekil 1’de gösterilmiş ve teknik özellikleri ise Tablo 3’de verilmiştir. Atalet dinamometresinde yapılan alıştırma ve hot judder I ve II testleri $23 \pm 5^\circ \text{C}$ sıcaklık, 0,86-1,060 bar atmosfer basıncı ve %45-%70 bağıl neme sahip ortam şartlarında gerçekleştirilmiştir.

Alıştırma (Bedding) testleri: Alıştırma testleri, 80 km/h başlangıç hızında 100°C başlangıç sıcaklığında, 20 bar frenleme basıncında 6 s’de bir aralıkta 100 frenleme sayısı için fren disk-balata çiftinin sürtünen yüzeylerinin birbirleriyle uyumlu bir şekilde çalışması için yapılan test işlemidir.

Hot judder testleri I ve II: Kaplanmış ve kaplanmamış fren diskleri üzerinde atalet dinamometresinde yapılan “hot judder” testleri 2 aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Bunlardan ilki, hot judder I testidir. Bu test, 152 km/h başlangıç hızında, 100°C başlangıç sıcaklığında, 1, 2 ve 3 m/s^2 olmak üzere 3 farklı frenleme ivmesinde 6 s’de bir aralıkta 15 frenleme sayısı için yapılmıştır. Hot judder II testi ise; 152 km/h başlangıç hızında, 300°C başlangıç sıcaklığında, 1, 2 ve 3 m/s^2 olmak üzere 3 farklı frenleme ivmesinde 6 s’de bir aralıkta 15 frenleme sayısı için yapılmıştır. Hot judder I ve II testleri dönen fren disk hızının 0 km/h hıza eşit olacağı duruma kadar frenleme işleminin yapılması şeklinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Testlerde kullanılan ESAM marka tam ölçekli atalet dinamometresi.

Disklerin iç ve dış çap ölçülerinin tespiti: Disklerin iç ve dış çapları mikron hassasiyetinde (0,001 mm) Hartford VMC-1020 CNC tezgâhında ölçülmüştür. OEM diskin üretim katalog değerleri mikron olarak tespit edilmiştir.

Yüzey salgılarının ölçülmesi: Bu çalışmada kullanılan disklerin yanal salgıları⁴ diskin hem iç hem de dış çalışma yüzeyinden ölçülmüştür. Disklerin salgı ölçümü; kadranlı komparatörle CNC tezgâhına tek tek bağlanarak yapılmıştır. Aynanın başlangıç noktası sıfırlandıktan sonra disk 360 derece döndürülerek, bir tam turda kadranın hareketi incelenerek geldiği en son noktalar (uç) tespit edilmiştir.

2.4. Korozyon testi

Kaplamaların korozyon testleri 168 saat boyunca %5 NaCl çözeltisinde, ASTM B117 standardına uygun olarak yapılmıştır. Malzemenin korozyon direnci, kızıl pasla kaplanmış yüzey miktarı ile belirlenir. Parçanın bu değerlendirmeyi geçebilmesi için %5’ten az kızıl pas olması gerekir. Korozyon testlerinde tuz solüsyonu 3 yöntemle uygulanabilmektedir. Bunlar; daldırma, püskürtme ve hava atomizasyonlu sis yöntemleridir. Bu çalışmada kaplanmış ve kaplanmamış disk korozyon direnci için hızlandırılmış TS EN ISO 9227 ve ASTM B117 test standartlarına uygun olarak 7 gün (168 saat) tuz püskürtme testine tabi tutulmuş ve Tablo 4’de gösterilen H₂O solüsyonu kullanılmıştır.

Tablo 3. Tam ölçekli atalet dinamometresinin teknik özellikleri

Teknik Özellik Parametreleri	Birim	Değer
Maksimum Motor Devri	rpm	2400
Maksimum Atalet Momenti	Kgm ²	166
Maksimum Fren Torku	Nm	5000
Her İki Yön için Maks. Hız (Donanım Limiti)	rpm	2400
Her İki Yön için Max. Hız (Yazılım Limiti)	rpm	2160
Havalandırma Maksimum Hızı	rpm	2600
Test Ekipman Ağırlığı	DA.N	13.000
Maksimum Dinamometre Yüku	kgmsq	166
Motoru Durduran Minimum Devir	rpm	± 20
Hidrolik Sistem Güç Ünitesi Basınç Limiti	bar	160
Hidrolik Sistem Uygulanabilir Basınç Ölçüsü	bar	150
Hidrolik Sistem Basınç Alarm Sınırı	bar	152
Maksimum Gövde Hareketi	mm	1.900
Maksimum ve Minimum Tork Aralığı	Nm	± 4500

⁴ Disk üreticilerine bağlı olarak bir diskin maksimum yanal salgısı 0,05 ile 0,13 mm arasında olabilmektedir (Halderman, 2000). Aşırı salgı, diskin aşınmasına ve bu aşınmaya bağlı olarak disk kalınlık değişimine neden olabilmektedir (Demir, 2009).

Torkmetre Mekanik Doğruluğu	Nm	± 2,5
Termokupl Sıcaklık Aralığı	°C	0...1000
Termokupl Telemetre Kanal Duyarlılığı	°C	± 3
Basınç Dönüştürme Skalası	bar	200
Basınç Dönüştürme Duyarlılığı	bar	± 0,1
Debimetre Akış Aralığı	l/min	0,004 - 4
Debimetre duyarlılığı	mm ³	10
Havalandırma Boru Çapı	mm	255
Maksimum Hava Debisi	m ³ /h	2.200
Motor Gücü	kW	140
Yükseklik	mm	2.250
Volan	N°	4
Boy	mm	6.950

Tablo 4. Disklere uygulanan korozyon testi solüsyonu (Malcolm ve ark., 2001)

Solüsyonlar	Standart değerler [%]	Test değerleri [%]
NaCl	0,5	0,7
CaCl ₂	0,1	0,1
NaHCO ₃	0,075	0,075

3. Bulgular

Bu çalışmada kaplanmış ve kaplanmamış orijinal disk, FIAT 7-H4020 ve 7-H2000 standartlarına uygun olarak atalet dinamometresinde alıştırma (bedding) ve hot judder I ve II testlerine tabi tutulmuştur.

3.1. Tam ölçekli atalet dinamometresinde yapılan testler

Tam ölçekli atalet dinamometresinde yapılan testin parametreleri Tablo 5’de verilmiştir. Bu standart, otomobillerde kullanılan gri dökme demir fren disklerinin teknik işleme süreçlerinin ardından, işlevsel özelliklerini bulmayı hedeflemektedir. Standart hem ön hem de arka olmak üzere her çeşit fren diskine uygulanmaktadır.

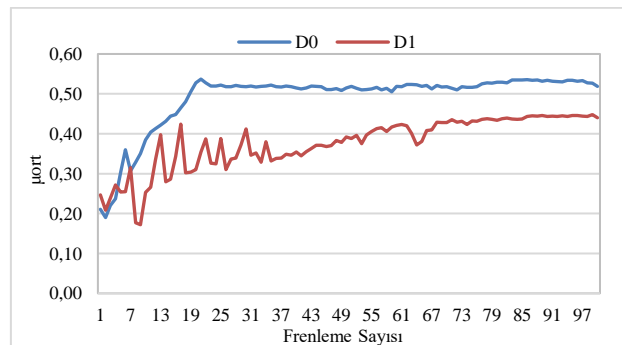
Tablo 5. Atalet dinamometresinde yapılan test

Testin Adı	Fren Sayısı	İlk Hız (km/h)	Son Hız (km/h)	Fren Başlangıç Sıcaklığı (°C)	Frenleme İvmesi (m/s ²)
Alıştırma	100	80	0	100	-
Hot Judder-1	15	152	0	100	1, 2 ve 3
Hot Judder-2	15	152	0	300	1, 2 ve 3

3.1.1. Alıştırma (bedding) testleri

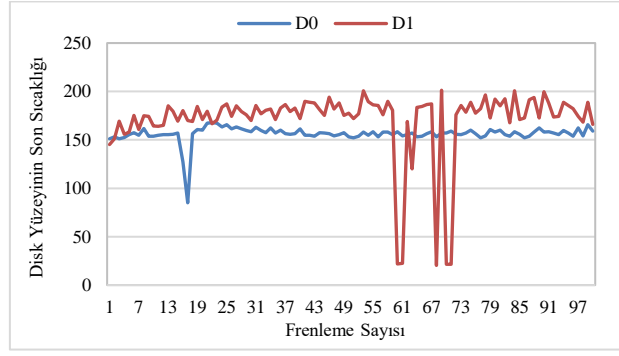
Alıştırma testlerinde elde edilen sonuçlardan; ortalama sürtünme katsayısının fren sayısı ile değişimi Şekil 2’de, disk yüzey sıcaklığının fren sayısı ile değişimi Şekil 3’de, ortalama fren torkunun fren sayısı ile değişimi Şekil 4’de gösterilmiştir.

Şekil 2’de görüldüğü gibi alıştırma testinde kaplanmış ve kaplanmamış diskte meydana gelen ortalama sürtünme katsayısı değeri; D0 diskinde D1 diskine oranla daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Her iki diskin ortalama sürtünme katsayısının (μ_{ort}) 0,3’ün üzerinde olması, literatürde bu alanda yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlara uygun görülmektedir. Frenleme tekrar sayısı 60’dan sonra sürtünme katsayısındaki salının daha kararlı bir hale gelmiştir. Son frenleme de her iki diskinde sürtünme katsayısı 0,35’in üzerinde olmuştur.



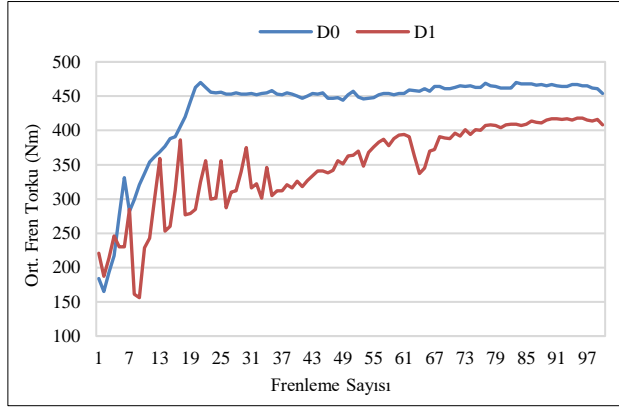
Şekil 2. Alıştırma testinde ortalama sürtünme katsayısının fren sayısı ile değişimi

Şekil 3’de görüldüğü gibi alıştırma testinde D0 diskinin yüzeyi sıcaklık değeri, D1 diski yüzeyi sıcaklık değerinden daha düşüktür. Her iki diskin sıcaklık farkı yaklaşık 20 °C düzeyinde olmuştur. Ayrıca maksimum sıcaklık 200 °C’nin altında gerçekleşmiştir.



Şekil 3. Alıştırma testinde disk yüzey sıcaklığının fren sayısı ile değişimi

Şekil 4’den görüldüğü gibi alıştırma testinde ilk 30 frenleme testinden sonra daha stabil bir frenleme tork değişimi görülmektedir. D0 diski, düşük frenleme tork değişimi ve yüksek ortalama frenleme tork değeri ile daha iyi bir frenleme performansına sahiptir.

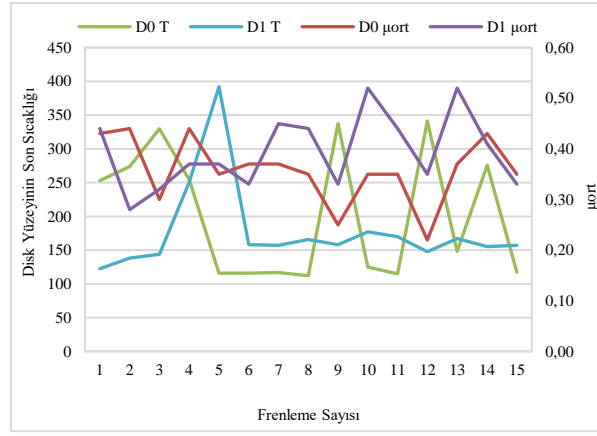


Şekil 4. Alıştırma testinde ortalama fren torkunun fren sayısı ile değişimi

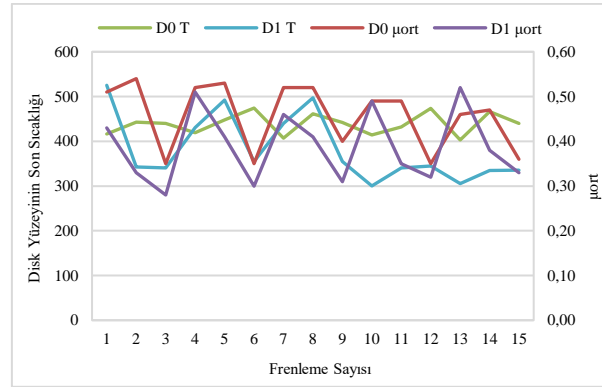
3.2. Hot judder testi

Frenlerdeki sürtünmeden kaynaklanan ısı, temas halindeki balata ile diskin termoelastik distorsiyonuna neden olur. Neticede termomekanik bağlantı termoelastik kararsızlığa (TEI) sebep olabilir. Kritik hız aşıldığında basınç dağılımı kararsız olur ve yükün lokalizasyonu ile ısı üretimine yol açar. Bundan dolayı sürtünen yüzeylerde kızgın noktalar oluşabilmektedir (Thuresson, 2004). Bu durum özellikle fren ve kavrama gibi enerji harcanan sistemlerde hüküm süren bir olaydır. Kızgın noktalar, malzemenin zarar görmesine ve aşınmaya neden olmasının yanı sıra sürtünmeden kaynaklanan ve arzu edilmeyen titreşimlerin de kaynağı olur. Bu durum “ısı pürüzlülük” ya da “ısı titreşim” olarak tanımlanır. TEI ile ilgili yüksek lokal sıcaklıklar malzemelerin bozulmasına, termik çatlaklara ve fren zayıflaması gibi olumsuzlukların başlıca nedenidir (Demir ve ark., 2006).

Atalet dinamometresinde yapılan “hot judder” testleri 2 aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Bunlardan ilki olan hot judder-I testi; 152 km/h başlangıç hızında, 100 °C başlangıç sıcaklığında, 1, 2 ve 3 m/s² olmak üzere 3 farklı frenleme ivmelerinde 6 s’lik aralıklarla 15 tekrarla yapılmıştır. İkinci olarak yapılan hot judder-II testi; 152 km/h başlangıç hızında 300 °C başlangıç sıcaklığında, 1, 2 ve 3 m/s² olmak üzere 3 farklı frenleme ivmelerinde 6 s’lik aralıklarla 15 tekrarla gerçekleştirilmiştir. Hot judder I ve II testleri dönen fren disk hızının 0 km/h hıza eşit olacağı duruma kadar frenleme işleminin yapılması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu testlerde elde edilen sonuçlardan; hot judder I’de ortalama sürtünme katsayısı ve ortalama disk yüzey sıcaklığının değişimi Şekil 5’de, hot judder II’nin ise Şekil 6’da gösterilmiştir.



Şekil 5. Hot judder I'de ortalama sürtünme katsayısı ve diskin son sıcaklığının değişimi



Şekil 6. Hot judder II'de ortalama sürtünme katsayısı ve diskin son sıcaklığının değişimi

Şekil 5 ve 6 birlikte değerlendirildiğinde, yapılan tüm frenleme ivme değerleri için artan frenleme başlangıç sıcaklığı (100 °C'den 300 °C'ye) ile ortalama sürtünme katsayısının arttığı tespit edilmiştir. Ortalama disk sıcaklığının değişimi incelendiğinde ise her iki diskte de artan frenleme başlangıç sıcaklığı ile disk son sıcaklığının arttığı saptanmıştır. D0 diskindeki ortalama frenleme torku; diskin artan başlangıç sıcaklıklarında, D1 diskinde oranla daha fazla etkilenmektedir. Burada göze çarpan bir diğer hususta, hot judder I ve II testlerinden değişik frenleme ivmeleri için yüksek disk sıcaklığında (300 °C) disklerde frenleme kararlılığının daha iyi olduğunu söylemek mümkündür.

Tüm testlerden sonra D1 diskinin dış yüzeyinin tahrip olduğu ve dış balatasının ağır hasar⁵ gördüğü tespit edilmiştir (Şekil A1-A2).

3.4. Korozyon testinin değerlendirilmesi

TS EN ISO 9227 ve ASTM B117 standartlarına göre uygulanan 7 gün (168 saat) tuz püskürtme testi sonucunda; kaplanmış ve orijinal (kaplanmamış) disk, Şekil A3'deki resimlerde de görüldüğü gibi kaplanmış diske nazaran çok daha fazla korozyona maruz kalmıştır. Resimler orijinal ve kaplanmış numunelerin iç, dış ve alın yüzeylerinden korozyon testi sonrası alınmıştır. İç yüzey 1 numara, dış yüzey 2 numara ve alın yüzeyi (disk kalınlığı) 0 numara ile kodlanmıştır. Resimlerden açıkça görüldüğü gibi tüm disklerin alın yüzeyinde kaplama olmadığı için çok fazla korozyon oluşmuştur. Resimlerden D0 diskinde yoğun korozyon olduğu görülebilmektedir (Şekil A3). Tüm numunelerde; Vickers sertlik ölçme sonucu belirlenen noktalarda, atalet dinamometresi testleri sonucunda meydana gelen çizik ve aşınma yüzeylerinde bariz bir şekilde korozyon gözlemlenmiştir. Bu durum açıkça göstermektedir ki; darbe alan ve deformasyona uğrayan disk malzemelerinde korozyon oluşumu kaçınılmazdır. Bu yüzden korozyona ve darbelerle karşı dayanımı yüksek malzemelerle yüzey kaplama işlemi gerçekleştirilerek, korozyon miktarında azalma sağlanacaktır.

4. Sonuç

Bu çalışmada, hafif ticari aracın ön tekerlek frenleme sisteminde kullanılan tolerans limitleri dışında aşınmış bir fren diskine kaplama işlemi uygulanmıştır. Kaplanmış ve kaplanmamış disk, FIAT 7-H4020 ve 7-H2000 standartlarına uygun olarak atalet dinamometresinde alıştırma (bedding) ve hot judder test prosedürlerine tabi tutulmuştur. Testler öncesi ve sonrası kaplanmış ve kaplanmamış diskin hem boyutsal hem kütesel aşınması ve yüzey pürüzlülükleri tespit edilmiştir. Ayrıca her 2 diskten alınan numuneler TS EN ISO 9227 ve ASTM B117 test standartlarına uygun olarak korozyon testine tabi tutulmuştur. Bu testlerde;

⁵ Bundan dolayı hem boyutsal hem de geometrik aşınma yanıltıcı olabileceğinden dolayı makaleden çıkarılmıştır.

- Alıştırma testinde D0 diskindeki ortalama sürtünme katsayısı değeri D1 diskinde oranla daha yüksek değere ulaşmıştır. Her iki diskinde sürtünme katsayısının 0,3'ün üzerinde olması, literatürde bu alanda yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlara uygun görülmektedir. Frenleme tekrar sayısı 60'dan sonra sürtünme katsayısındaki salının daha kararlı bir hale gelmiştir. Yani diskler ön alıştırma evresini tamamlamıştır. Son frenleme de her iki diskinde sürtünme katsayısı 0,35 değerinin üzerinde tespit edilmiştir.
- Alıştırma testinde D0 diskinin yüzey sıcaklık değeri, D1 diski yüzeyi sıcaklık değerinden daha düşüktür. Her iki diskin sıcaklık farkı yaklaşık 20 °C düzeyinde oluşmuştur. Ayrıca maksimum sıcaklık 200 °C'nin altında gerçekleşmiştir.
- Alıştırma testinde ilk 20 frenleme testinden sonra daha stabil bir fren tork değişimi olduğu tespit edilmiştir. D0 diski, düşük frenleme tork değişimi ve yüksek ortalama frenleme tork değeri ile daha iyi bir frenleme performansı sağlamıştır.
- Hot judder I ve II testlerinin sonuçları birlikte irdelendiğinde; yapılan tüm frenleme ivme değerleri için artan frenleme başlangıç sıcaklığı (100 °C'den 300 °C'ye) ile ortalama sürtünme katsayısının arttığı tespit edilmiştir. Ortalama disk sıcaklığının değişimi incelendiğinde ise her iki diskte de artan frenleme başlangıç sıcaklığı ile disk son sıcaklığının arttığı saptanmıştır. D0 diskindeki ortalama frenleme torku; diskin artan başlangıç sıcaklıklarında, D1 diskinde oranla daha fazla etkilenmektedir. Burada göze çarpan bir diğer hususta, hot judder I ve II testlerinden değişik frenleme ivmeleri için yüksek disk sıcaklığında (300 °C) disklerde frenleme kararlılığının daha iyi olduğunu söylemek mümkündür.
- Testler öncesi ve sonrası disk yüzeylerinde yapılan pürüzlülük ölçümlerinde; testler öncesinde D0 diskinin pürüzlülük değerinin kaplamalı diskten fazla ve testler sonrasında ise hem D0 hem de D1 diskinin yüzey pürüzlülük değerlerinde azalma olduğu; ayrıca tüm testlerden sonra D1 diskinin dış yüzeyinin tahrip olduğu ve dış balatasının ağır hasar gördüğü tespit edilmiştir (Şekil A1-A2).
- TS EN ISO 9227 ve ASTM B117 standartlarına göre uygulanan korozyon testinde; orijinal disk, kaplanmış diske nazaran çok daha fazla korozyona maruz kalmıştır. Ayrıca iki diskinde alın yüzeyinde kaplama olmadığı için çok fazla korozyon oluşmuştur. D0 diskinde yoğun korozyon olduğu görülebilmektedir (Şekil A3). İki numunede; Vickers sertlik ölçme sonucu belirlenen noktalarda, atalet dinamometresi testleri sonucunda meydana gelen çizik ve aşınma yüzeylerinde bariz bir şekilde korozyon gözlemlenmiştir. Bu durum açıkça göstermektedir ki; darbe alan ve deformasyona uğrayan disk malzemelerinde korozyon oluşumu kaçınılmazdır. Bu yüzden korozyona ve darbelere karşı dayanımı yüksek malzemelerle yüzey kaplama işlemi gerçekleştirilerek, korozyon miktarında azalma sağlanacaktır.

Kısaltmalar

TEI : Termoelastik kararsızlık
D : Disk
FMVSS : Federal Motor Vehicle Safety Standards
SAE : Society of Automotive Engineers
JASO : Japan Automobile Standards Organization
ISO : International Organization for Standardization
JIS : Japanese Industrial Standard
OEM : Orijinal Ekipman Üreticileri

Semboller

μ : Sürtünme Katsayısı

Alt İndisler

ort : Ortalama

Not: Bu çalışma Öz (2012) tarafından yapılan "Aşınmış Taşıt Fren Disklerinin Kaplama Tozları ile Kaplanarak Yeniden Kullanılabilirliğinin Deneysel Araştırılması" konulu doktora tezinden yararlanılarak gerçekleştirilmiştir.

Kaynakça

- Anonymous, How to read and understand the aftermarket standard SAE J2430/brake effectiveness evaluation procedure test report, Link Testing Laboratories B.E.E.P. task force, 2002.
- Bijwe, J., Nidhi., Majumdar, N., Satapathy, B.K., Influence of modified phenolic resins on the fade and recovery behavior of friction materials, *Wear*, 259, 1068–1078, 2005.
- Blau P.J., Jolly, B.C., Qu, J., Peter, W.H., Blue, C.A., Tribological investigation of titanium-based materials for brakes, *Wear*, 203, 1202-1211, 2007.
- Chichinadze, A. V., Temperature Distribution in Disk Brake", *Friction and Wear in Machinery -15*, 259-275, 1962.
- Clare, J.H., Crawmer, D.E., Thermal spray coatings, *Metals Handbook*, 5, 361-Halamoğlu, T., Metal Püskürtme Yöntemiyle Aşınmaya Dayanıklı Kaplamalar, *Yüzey İşlemler Dergisi*, Eylül-Ekim,2003 Syf.154-159375, 1982.
- Demir, A., Çavdar, A., Kılıçaslan, İ., Diskli Frenlerde Termo-Elastik Kararsızlığın İncelenmesi", *Uluslararası Mesleki ve Teknik Eğitim Teknolojileri Kongresi – MTET*, 2006.
- Demir, A., Fren Disklerine Uygulanan Kaplamaların Frenleme Performansına Etkisinin Deneysel İncelenmesi, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı*, 2009.
- Demir, A., Samur, R. and Kılıçaslan, İ., Investigation of the coatings applied onto brake discs on disc-brake pad pair, 12-20, 2008.
- Dmitriev, A.I., Yu Smolin, A., Psakhie, S.G., Österle, W., Kloss, H. ve Popov, V.L., "Computer modelling of local tribological contact by the example of the automotive brake friction pair", *Physical Mesomechanics*, 11, 1-2, 73-84, 2008
- Ellis, K., The effect of cast iron disc brake metallurgy on friction and wear characteristic, *The 2nd International Seminar on Automotive Braking Recent Developments and Future Trends*, Britol, UK, (1998).
- Göktan, A., Güney, A., Ereke, M., Taşıt Frenleri, *Alliedsignal Automotive, Türkiye, Panel Matbaacılık*, ISBN 975-95017-0-8, 1995.

- Halderman, J.D., *Automotive Brake Systems*, Second Edition, Prentice-Hall, 2000.
- Lee, K., Barber, J.R., An experimental investigation of frictionally excited thermoelastic instability in automotive disk brakes under a drag brake application, *Journal of Tribology*, 116, 3, 409–414, 1994.
- Lee, K., Numerical prediction of brake fluid temperature rise during braking and heat soaking, SAE Technical Paper Series, 1999-01-0483, 1999.
- Limpert, R., “*Brake Design and Safety*”, Third Edition, Society of Automotive Engineers, Warrendale, 2001.
- Malcolm K. Stanford, Vinod K. Jain., Friction and wear characteristics of hard coatings, *Wear* 251, 990-996, 2001.
- Mingxi, L., Yizhu, H, Xiaomin, Y., “Effect of nano-Y2O3 on microstructure of laser cladding cobalt-based alloy coatings”, *Applied Surface Science*, 252, 8, 2882-2887, (2005)
- Natarajan N, Vijayarangan S, Rajendran I., Wear behavior of A356/25SiCp aluminum matrix composites sliding against automobile friction material. *Wear* 261, 812–822, 2006.
- Öz, A., Aşınmış Taşıt Fren Disklerinin Kaplama Tozları İle Kaplanarak Yeniden Kullanılabilirliğinin Deneysel Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 2012.
- Smith, R.W., Fast, R.D., The future of thermal spray, *Welding Journal*, 7, 3 (8), 43-50, (1994)
- Stanford, M.K. ve Jain, V.K., Friction and wear characteristics of hard coatings, *Wear*, 250/51, 990–996, 2001.
- Sulzer Metco: *Thermal Spray Materials Guide*, Şubat 2006.
- Thuresson, D., Influence of material properties on sliding contact braking applications, *Wear*, 257, 451-460, 2004.
- Uyyuru RK, Surappa MK, Brusethaug S., Effect of reinforcement volume fraction and size distribution on the tribological behavior of Al-composite/ brake pad tribo-couple, *Wear*, 260, 1248–1255, 2006.
- William C. Orthwein, *Clutches and Brakes Design and Selection*, Second Edition, ISBN: 0-8247-4876-X, Marcel Dekker, 2004.



Yenilenebilir Enerji Kaynağı Kurulum Gücü Minimize Katsayısının Belirlenmesi

Cihan Şahin^{1*}, Mevlüt Karaçor², Harun Özbay³

¹ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6430-7827)

² Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, Manisa, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5408-9117)

³ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1068-244X)

(İlk Geliş Tarihi 14 Şubat 2019 ve Kabul Tarihi 13 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.526918)

ATIF/REFERENCE: Şahin, C., Karaçor, M. & Özbay, H. (2019). Yenilenebilir Enerji Kaynağı Kurulum Gücü Minimize Katsayısının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 404-411.

Öz

Dünyamız gün geçtikçe daha fazla enerji ihtiyacı ile karşı karşıya kalmaktadır. İhtiyaç duyduğu enerji miktarını büyük oranda fosil yakıtlardan elde etmektedir. Günümüz dünyasında Fosil yakıtlarının fiyatlarında önlenemeyen artışlar, gelecekte tükenme olasılığı ve çevreye bırakmış olduğu kalıcı etkiler sebebiyle son yıllarda alternatif enerji kaynaklarına büyük bir yönelim başlamıştır. Bu alanda Güneş enerjisi, Rüzgar enerjisi, Dalga enerjisi, Gelgit enerjisi vb. alternatif enerji kaynaklarına örnek olarak verilebilir. Özellikle Güneş ve Rüzgar enerjisi dünyada ve ülkemizde alternatif enerji kaynaklarının kullanımında en önde gelen enerji türleridir. Ülkemizin farklı bölgelerinde kurulan değişik büyüklükte rüzgar ve güneş çiftliklerinin sayılarında da artışlar görülmektedir. Bunlarla birlikte gelişen dünyamızda yaşanan teknolojik gelişmeler, birçok alanda olduğu gibi enerji sektörüne de doğrudan katkı sağlamaktadır. Gelişen teknolojilerle birlikte alternatif enerjilerin verimli bir şekilde kullanılması bu enerjilere olan ilgiyi de arttırmaktadır. Özellikle otomasyon ve kontrol dünyasında yaşanan teknolojik gelişmeler, birçok alanda kolaylıkları da beraberinde getirmiştir. Endüstri 4.0'ın doğması otomasyon ve kontrol dünyasını farklı bir boyuta ve bir çok alanda vazgeçilmezler noktasına getirmiştir. PLC, SCADA, DCS sistemlerinin yenilenebilir enerjiler alanında da kullanılması enerji yönetiminin verimliliği açısından oldukça önemlidir. Elde edilen alternatif enerji, otomasyon sistemleri sayesinde daha verimli ve tasarruflu kullanılabilir. Bu çalışmada, alternatif enerji kaynağı ve otomasyon sistemlerinin birbirine entegrasyonu ile birlikte kurulum maliyet oranlarının düşürülmesi hedeflenmiştir. Çalışma için alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisi tercih edilmiş, laboratuvar ortamında 320 W'lık prototip test sistemi kurularak deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışma sayesinde ihtiyaç duyulduğu düşünülen enerji miktarından % 40 daha az enerjiye ihtiyaç olduğu gözlemlenmiş, güneş enerjisi kurulum gücü için bir katsayı oluşturulmuştur. Bununla birlikte, enerjinin verimli ve kontrollü bir şekilde kullanılması sağlanarak, hesaplanan kurulum gücünün düşürüldüğü görülmüştür. Elde edilen sonuç diğer alternatif enerji kaynakları içinde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, PLC, Otomasyon.

Determination of the Minimization Coefficient of Renewable Energy Source Installation Power

Abstract

The world is confronted with more energy needs day by day. The energy that needed is largely derived from fossil fuels. In today's world, a great tendency towards alternative energy sources has started in recent years due to unpredictable price increases of fossil fuels, the possibility of extinction in the future and the lasting effects on the environment. In this area, solar energy, wind energy,

* Sorumlu Yazar: Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Bilecik, Türkiye, ORCID: 0000-0001-6430-7827, cihan.sahin@bilecik.edu.tr

wave energy, tidal energy etc. are examples of alternative energy sources. In particularly Solar and Wind energy are the leading energy types in the use of alternative energy sources in the world and in our country. There are also increases in the number of different sizes of wind and solar farms established in different regions of our country. Together with these, technological developments in developing world directly contribute to the energy sector as in many other areas. With developing technologies, the efficient use of alternative energies increases the interest in these energies. Technological developments especially in the world of automation and control have brought convenience in many areas. The emergence of Industry 4.0 brought the world of automation and control to a different dimension and to the point of indispensable in many areas. The use of PLC, SCADA, DCS systems in the field of renewable energies is also very important for the efficiency of energy management. The alternative energy obtained can be used more efficiently and economically owing to the automation systems. In this study, it is aimed to reduce the installation cost ratios with the integration of alternative energy source and automation systems. Solar energy is preferred for alternative energy sources and a 320 W prototype test system has been installed and experimental study was carried out in the laboratory. Owing to this study, it was observed the energy amount that needed is %40 less than the amount of expected energy needed and the coefficient was created for solar power installation power. In addition, it has been observed that the calculated installation power is reduced by ensuring that the energy is used in an efficient and controlled. The result obtained can be used for other alternative energy sources.

Keywords: Solar energy, PLC, Automation.

1. Giriş

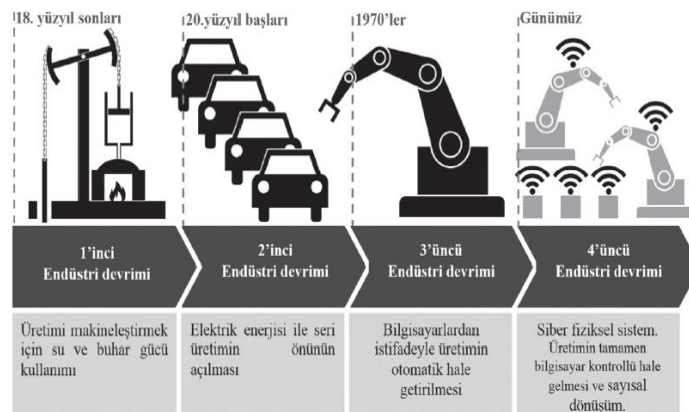
Teknolojik yenilikler, insanoğlunun hayatının her noktasına etki etmektedir. Otomotiv, sağlık, alışveriş vb. birçok değişik sektörde geliştirilen modern cihazlar insanoğlunun memnuniyet noktasını daha yükseklerle taşımaktadır. İnsanoğlunun hayatın her noktasında maksimum konfor istemesi nedeniyle enerji ihtiyacını da günden güne arttırmaktadır. Otomotiv sektörü, yakıt performansı yüksek araçlar üretmesine rağmen fosil yakıt rezervlerin her geçen gün daha da azalmasından dolayı elektrikli araç çalışmalarına büyük önem vermektedirler. Üreticiler araç yakıt tipini değiştirmekle kalmayıp, aynı zamanda verimli şekilde enerji tasarrufu yapmak için çalışmalara devam etmektedirler. Benzer şekilde sağlık sektöründen, kişisel kullanıma kadar tüm cihazlarda enerji verimliliği ön plana çıkmaktadır. Tüm bu çalışmalara rağmen enerji kaynaklarının yetersizliği, insanoğlunu alternatif enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Güneş Enerjisi, Rüzgar Enerjisi, Jeotermal Enerji, Biyokütle Enerjisi, Hidrojen Enerjisi ve Dalga Enerjisi alternatif enerji kaynakları olarak sıralanabilir. Bunlar içerisinde en yaygın olanı ve en ön plana çıkanı hiç kuşkusuzdur ki, Güneş ve Rüzgar enerjisidir. Her iki alternatif enerji de ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada güneş enerjisi tercih edilmiştir.

Gelişen dünyamızda enerji alanında alternatif enerji kaynaklarına doğru bir yönelim olmasının paralelinde, tüm dünyayı etkileyecek önemli bir devrim de Endüstri 4.0'dır. Buhar sistemlerinin mekanik sistemlere entegre edilmesi birinci sanayi devrimini gerçekleştirmiştir. 1760-1830 yılları arasındaki dönemleri etkileyen birinci sanayi devrimi dokuma tezgahları üzerinde etkisini göstermiştir. Odunun yerine maden kömürünün ve buharın kullanılmasıyla hareket gücü artırılmış, buna bağlı olarak makineleşmeyi başlatmış ve üretim evlerinden fabrikalara taşınmıştır (Eldem, 2017).

İkinci sanayi devrimi ise 1870 yılında başlamış 1989 doğu bloğunun çöküşüyle biten bir süreçtir. Bu dönemde petrolün endüstri ve ulaşımdaki etkinliği keşfedilmiş, petrol tabanlı içten yanmalı motorların üretimini tetiklemiştir (Eldem, 2017; Bulut ve Akçaçı, 2017). Üretimde elektrik enerjisi sayesinde seri üretim başlamıştır.

Üçüncü sanayi devrimi, elektronik ve bilgi teknolojilerinde yaşanan gelişmelerle başlamıştır. Özellikle Telekomünikasyon teknolojileri, üçüncü sanayi devrimiyle birlikte daha güçlü bir konuma gelmiştir. Programlanabilir mantıksal denetleyici (PLC)'lerin gelişmesi sonucunda üretimde otomasyon ileri aşamalara taşınmaya başlamıştır (Eldem, 1994; Kılıç ve Alkan, 2018)

Günümüzde ise 2011 yılında Hannover fuarında ilk olarak gündeme gelen, Alman hükümeti tarafından 2012 yılında özel bir çalışma grubuna hazırlatılan, 2013 yılında sonuç raporuyla açıklanan Endüstri 4.0 olarak adlandırılan sanayi devrimine geçiş yapılmaktadır (Kılıç ve Alkan, 2018). Şekil 1'de endüstrileşme aşamaları görülmektedir (Eldem, 2017).



Şekil 1. Endüstrileşme aşamaları (Eldem, 2017)

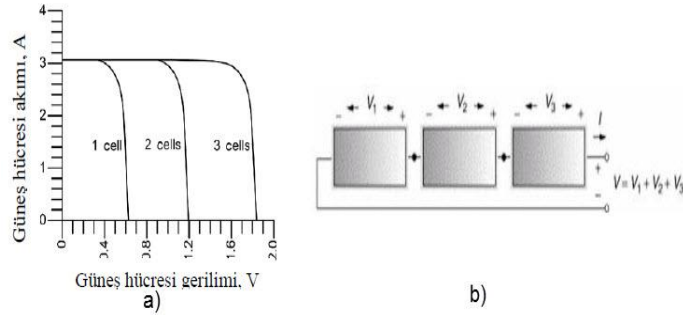
Endüstri 4.0 devriminin gerçekleştirilmesiyle birlikte otomasyon sistemlerinin kullanılmadığı bir yapı düşünülmez hale gelmiştir. Tüm dünyanın birbirine entegrasyonu, beraberinde enerji verimliliği, üretim maliyet verimliliği vb. birçok noktada avantajları da beraberinde getirmektedir. Gerçekleşen Endüstri 4.0 devriminde sahada bir çok cihaz aktif olarak kullanılmasına rağmen, PLC sistemleri büyük bir öneme sahip olmaya devam etmektedir. Ayrıca, Endüstri 4.0 devriminde güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması da enerji yönetimi ve verimlilik açısından oldukça önemli bir yere sahiptir.

Gerçekleştirilen çalışmada; güneş enerjisi sisteminin kurulu gücünün tespit edilmesinde kullanılacak, verimlilik ile ilgili yeni bir parametre geliştirilmiştir. Bu parametre; üretim veya meskenin ihtiyacı olan gerçek verimli gücün tespitinde kullanarak, kurulum gücünün ve dolayısıyla maliyetinin düşürülebileceği öngörülmüştür. Tesisin veya meskenin salt tükettiği enerji miktarına bakılarak ihtiyaç duyulan gücün belirlenmemesi, bunun yerine enerji verimliliği ile ilgili iyileştirmeler göz önünde bulundurularak belirlenmelidir. Mesken veya tesis enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında yenilenebilir enerji ciddi bir alternatif haline geleceği öngörülmektedir. Gerçekleştirilen otomasyon sistemi sayesinde işletmeler; alternatif enerji kullanımında verimli bir enerji yönetimi gerçekleştirmenin yanında, kurulum maliyetinden de tasarruf etmektedirler. Bunlarla birlikte, gerçekleştirilmiş otomasyon sistemleri sayesinde Endüstri 4.0'ın genel felsefesi ile diğer cihazlarında verimliliği gerçekleştirilebilmektedir.

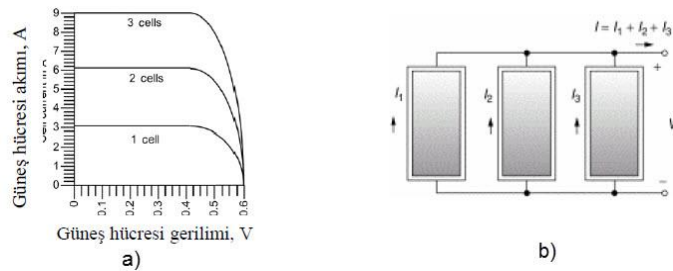
2. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi; insanlığın varoluşundan günümüze kadar sürekli faydalanılmak istenen enerji türlerinden biridir. Tarih boyunca insanlığı, Güneş'ten çeşitli şekillerde faydalanmıştır. İnsanların ilk çağlarda zaman kavramını çözmek için kullandıkları güneş, zamanla ısınmadan elektrik enerjisi üretimine kadar çeşitli şekillerde fayda sağlamıştır. Özellikle güneşin yoğun olduğu bölgelerde geçmişten günümüze bunların izleri daha da net görülmektedir.

Günümüzde uygulama türlerinden biri de güneş pilleri kullanarak yapılan fotovoltaik uygulamalardır. Güneş pilleri, üzerine düşen ışınımı direk olarak elektrik enerjisine çevirirler. doğru gerilim üreten bu piller seri veya paralel bağlanarak, ürettikleri akım ve gerilim değerleri yükseltilebilmektedir. Üretilen enerji akülerde depolanabilmekte veya doğrudan inverter üzerinden şebekede kullanılabilir (Karafil ve Özbay, 2018; Karamanav, 2007). Şekil 2'de birbirine seri olarak bağlanmış üç adet güneş pili akım gerilim grafiği ve şeması görülmektedir (Grozdev, 2010). Şekil 3'de birbirine paralel olarak bağlanmış üç adet güneş pili akım gerilim grafiği ve şeması görülmektedir (Grozdev, 2010).



Şekil 2. (a) I-V grafiği (b) Bağlantı Şeması (Grozdev, 2010)



Şekil 3. (a) I-V grafiği (b) Bağlantı Şeması (Grozdev, 2010)

Fotovoltaik güneş teknolojileri genel elektrik şebekesiyle ilişkisine göre; ada şeklinde çalışan yani şebekeden bağımsız olarak çalışan sistem ve şebekeye bağlı çalışan sistem olarak ikiye ayrılmaktadır (Saner, 2015). Ada tipi bağımsız çalışan fotovoltaik sistemler şebekeden uzak bölgelerde tercih edilerek bölgenin elektrik enerji ihtiyacı için kullanılmaktadırlar. Bu sistemde ihtiyaç kadar enerji üretilir ve ek bir ünite enerji depolaması yapılır (Durusu ve Erduman, 2018; Saner, 2015). Şebekeye bağlı çalışan fotovoltaik sistemlerde üretilen enerji şebekeye aktarılmaktadır. Yüksek güçteki enerji santralleri ya da güneş çiftlikleri olarak da adlandırılan sistemler, genel elektrik enerjisi için üretim yapmaktadır (Saner, 2015). Güneş teknolojilerinin gelişmesi, kullanımın yaygınlaşması, otomasyon dünyasının bu teknolojilere entegrasyonunu kaçınılmaz kılmıştır. Süreç denetiminin tarihsel gelişimi akademik olarak birçok çalışmaya da ilham kaynağı olmuştur. Son yıllarda alternatif enerjini kaynaklarına olan ilgi otomasyon sistemleriyle entegre olarak yeni akademik çalışmalar da sunmuştur.

Pasc ve arkadaşlarının 2016 yılında yaptıkları çalışma da, solar fotovoltaik MPPT (Maximum Power Point Tracker) kontrolörünün simülasyonu gerçekleştirilmiştir. CitectSCADA gerçekleştirilen uygulamada, verilen lokasyondaki solar radyosyan ve yük eğrisi için matematiksel fonksiyon tabanlı MPPT simülasyonu gerçekleştirilmiştir (Pasc ve Dumitru, 2016). Dumitru ve arkadaşlarının 2012 yılında yaptıkları çalışmada, yenilenebilir enerji yönetimi için SCADA tabanlı yazılım gerçekleştirilmiştir. Sahadan PLC, RTU gibi yapılardan alınan bilgiler lokal noktalarda ve uzak noktalarda gözleme ve denetlenebileceğini anlatmışlardır (Dimitru ve Gligor, 2012). Moghavvemi ve arkadaşlarının 2013 yılında yaptıkları çalışmada, uzak bölgelere yerleştirilmiş uzaktan kontrolü sağlayan FM transmitterlar için PV/dieselhybrid sistemlerin geliştirilmesi ve optimizasyonu gerçekleştirilmiştir (Moghavvemi ve ark. 2013). Shariff ve arkadaşlarının 2015 yılında yapmış oldukları çalışmada şebeke bağlantılı Fotovoltaik sistemin online görüntülenmesi için düşük güç tüketimi ve düşük data transfer oranına sahip kablosuz haberleşme sistemi olan Zigbee tabanlı data toplama sistemi yapılmıştır. Farklı noktalara yerleştirilen data toplama merkezleriyle modüllere ait veriler toplanmıştır (Shariff ve ark. 2015). Alphonsus ve arkadaşlarının 2016 yılında yaptığı çalışma PLC'lerin yenilenebilir enerji alanında uygulamalarına dönük bir incelemedir. PLC'ler tanıtılmış, Güneş, Rüzgar, Fotovoltaik gibi yenilenebilir enerji alanlarında kullanımlarına örnekler verilmiştir (Alphonsus ve Abdullah, 2016). Guozhen ve arkadaşlarının 2009 yılında yapmış oldukları çalışma fotovoltaik güç santrallerinde SCADA sistemleri haberleşmeleri güvenilirlik için çözümler sunulmuştur. Bunun için Güvenlik erişim kontrolü stratejisi ve yedekleme mekanizmasından oluşan iki etkili çözüm sunulmuştur (Guozhen ve ark. 2009). Georgescu'nun 2014 yılında yapmış olduğu çalışma fotovoltaik tarlalar için oluşturulan sevk merkezleri için SCADA yazılımı gerçekleştirilmiştir (Georgescu, 2014). Zapata ve arkadaşlarının 2016 yılında yapmış oldukları çalışmada solar fotovoltaik yapının IEC 61850 and ISA S101 uluslararası standartları ve OPC, Modbus TCP haberleşme protokolleri kullanılarak SCADA sistemi gerçekleştirilmiştir (Zapata ve ark. 2016). Zhaoxia ve arkadaşları tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada fotovoltaik, rüzgar gülü ve bataryalardan oluşan sistemin SCADA tabanlı denetimi gerçekleştirilmiştir (Zhaoxia ve ark. 2017)

3. Malzeme ve Yöntem

Çalışmanın gerçekleştirilebilmesi amacıyla, laboratuvar ortamında aydınlatma ve havalandırma sisteminin prototipi gerçekleştirilmiştir. Prototip temel olarak üç gruba ayrılmaktadır. Birinci grup güneş enerjisinin sisteme entegrasyonu için; 2 adet polikristal 160 Watt güneş paneli, 1 adet 1kVA inverter, 1 adet 12 V 100 Ah jel akü ve 100 Watt IP66 Led projektörden oluşmaktadır. İkinci grup otomasyon grubu olup, temel olarak 1 adet ışık şiddeti ölçüm transmitteri, 1 adet S7 1200 PLC, 2 adet PAC3200 enerji analizörü, 1 adet Sinamics G120C motor sürücü ve akımların analizörler tarafından ölçülmesi için 5/1 oranlı akım trafolarından oluşmaktadır. Kullanılan güneş panelleri ve inverterin özellikleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2 de verilmiştir.

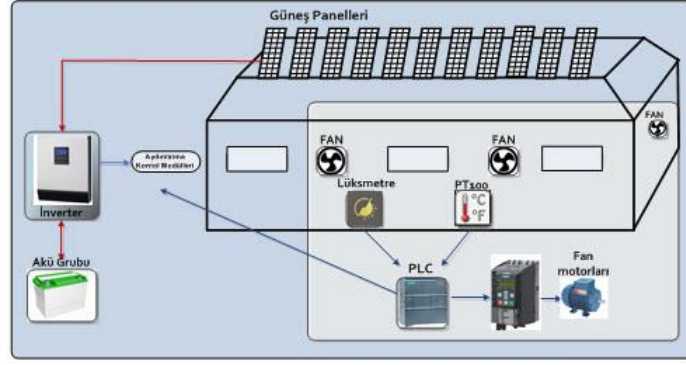
Tablo 2. PV modüllerinin özellikleri

Özellikler	Değer
MPP Gerilimi	18.8 V
MPP Akımı	8.53 A
Açık Devre Gerilimi	23.2 V
Kısa Devre Akımı	9.12 A
Güç Toleransı	±3%

Tablo 1. İnverterin Özellikleri

Mode	Özellik	Değer
Inverter	Anma Gücü	1kVA /1kW
	DC Giriş	12 VDC
	AC Çıkış	230 VAC ±5%
AC	AC Giriş	230 VAC / 50 Hz
	DC Çıkış	12 VDC
Solar	Anma Gücü	1000 W
	Sistem Gerilimi	12 VDC
	Oper. Gerilimi	15-18 VDC
	Max. Sol. Gerilimi	55 VDC

Üçüncü grup aydınlatma ve havalandırma sisteminde oluşmaktadır. Aydınlatma sistemi prototipi için, 550 Watt'lık akkor flamanlı ampul seti kullanılmıştır. Bu sayede gerçek bir işletme ortamında harcanan aydınlatma gücüne denk enerji sarfiyatı sağlanması hedeflenmiştir. Benzer şekilde havalandırma sistemlerinin prototipi amacıyla 3 faz 1,1 kW 'lık asenkron motor deney seti kullanılmıştır. Asenkron motor'a yabancı uyarımlı generatör akuple edilmiş, generatör çıkışlarına omik yük bağlanarak havalandırma enerji sarfiyatı benzetimi yapılmıştır. Şekil 4'de prototipi gerçekleştirilen işletme dizaynı gözükmektedir.

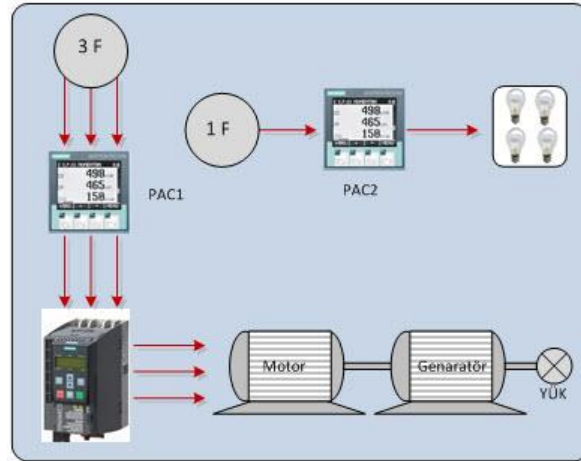


Şekil 4. Prototipi gerçekleştirilen işletme dizaynı

3.1. Sistemin İhtiyaç Duyduğu Standart Enerjinin Belirlenmesi

Prototipi gerçekleştirilen sistemde enerji sarfiyatı yapan iki birim bulunmaktadır. Bunların birincisi aydınlatma grubu, ikincisi motor gruplarıdır. Her iki birimin enerji sarfiyatını ölçmek amacıyla PAC enerji analizörleri kullanılmıştır. Yüklerin çektiği akım değerleri akım trafosu üzerinden ölçülmüştür. Otomasyon sisteminin dahil edilmediği ham durumda sistemin standart durumunda ihtiyaç duyduğu enerji belirlenmiştir. Şekil 5'te sistemin ham durumuna ait ölçüm yapısı görülmektedir.

Prototip sistemin enerji tüketimi PAC3200 enerji analizörleri üzerinden saatlik ölçülmüştür. Tablo 3'te aydınlatma grubu enerji tüketim ölçümleri, Tablo 4'te motor grubu enerji tüketim ölçümleri görülmektedir.



Şekil 5. Sistemim enerji tüketim ölçüm şeması

Tablo 3. Aydınlatma grubu saatlik enerji tüketimi

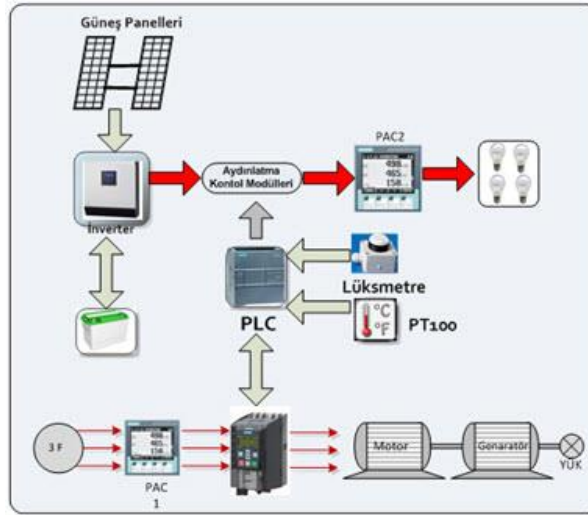
V_{ph-ph} ANLIK	225 V
Görünen Enerji	0,55 kVAh
Aktif Enerji	0,55 kWh

Tablo 4. Motor grubu saatlik enerji tüketimi

V_{ph-ph} ANLIK -L12	397 V
V_{ph-ph} ANLIK -L23	394 V
V_{ph-ph} ANLIK -L31	396 V
Aktif Enerji	0,87 kWh
Görünen Enerji	1,76 kVAh

3.2. Sistemin İhtiyaç Duyduğu Alternatif Enerji Kaynağının Kurulması

Prototipi gerçekleştirilen işletme de aydınlatma sisteminin güç tüketimi 0,55 kWh, Motor grubu güç tüketimi 0,87 kWh olarak ölçülmüştür. Tasarımı prototiplenen işletme ortamında aydınlatma grubu güneş enerjisinden elde edilen enerji ile beslenmektedir. Buna karşın motor grubu şebekeden beslenmektedir. Aydınlatma grubunun saatlik 0,55 kWh enerji tükettiği düşünüldüğünde, en az bu gücü karşılayacak güneş panellerinin kurulması gerekmektedir. Geliştirilen sistem; standart sisteme güneş panelleri, ışık ölçüm sensörü, PLC entegre edilerek elde edilmiştir. Ayrıca sabit olarak enerji tüketimi gerçekleştiren motor fan grubu da kurulmuş olan PLC tabanlı otomasyon sistemine entegre edilmiştir. Standart sistemde; aydınlatma grubu hiçbir otomasyon ve kontrol sistemine tabi değildir. Bu sebeple enerji tüketimi sürekli olarak sabit olmaktadır. Geliştirilen sistemde aydınlatma grubu ortam ışık miktarına bağlı olarak otomasyon tabanlı kontrol edilmiştir. Ortamdaki ışık miktarı ışık ölçüm transimteri tarafında ölçülerek PLC ortamına analog değer olarak aktarılmaktadır. PLC ölçülen analog değere bağlı olarak dijital çıkışlara bağlı olan röle grubunu kontrol etmektedir. Röle grubu dört farklı aydınlanma bölgesi için ayrı olarak tasarlanmıştır. Bu sayede ortam ışık miktarına göre hangi grupların aktif veya pasif olacağı belirlenmektedir. Diğer bir ifadeyle sürekli sabit enerji sarfiyatı yerine ihtiyaç oranında enerji tüketimi gerçekleşmektedir. PLC sistemi kullanıcıya geniş bir alanı denetleme ve kontrol olanağı sunmaktadır. Gerçekleştirilen PLC tabanlı otomasyon sistemine motor grubu da entegre edilmiştir. PLC S7-1200 ve motor sürücü Sinamics G120C ethernet protokolü üzerinden haberleştirilmiştir. Entegre edilen motor grubu ortam ısısına bağlı olarak PLC üzerinden denetlenmiş, bu sayede fan grubu enerji sarfiyatında da ek bir enerji verimliliği sağlanmıştır. Motor grubundan elde edilen enerji verimliliği sayesinde işletme giderlerinden kar elde edilerek, güneş enerjisi tabanlı kurulan otomasyon sisteminin amortisman giderlerine katkı sağlanmıştır. Şekil 6'da geliştirilen otomasyon tabanlı, güneş enerjisi beslemeli aydınlatmaya sahip işletme ölçüm yapısı görülmektedir.



Şekil 6. Geliştirilen otomasyon tabanlı, güneş enerjisi beslemeli aydınlatmaya sahip işletme ölçüm yapısı

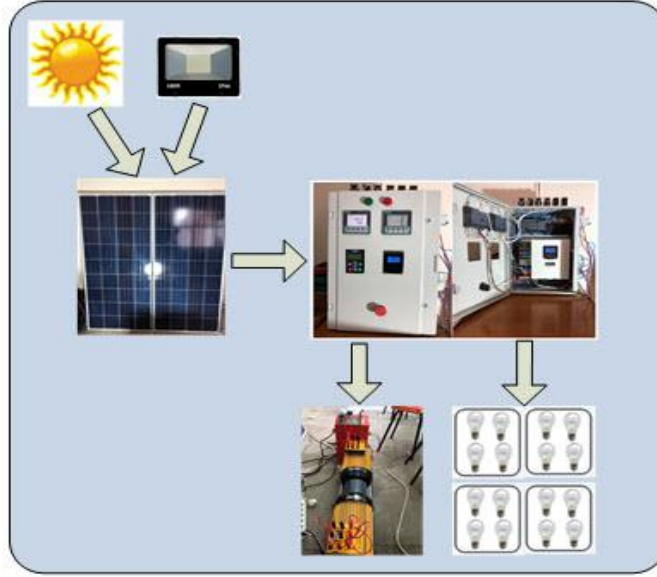
Şekil 6'de geliştirilen sistemde aydınlatma grubu tamamıyla güneş panellerinden elde edilen enerjiden beslenmektedir. Standart sisteme PLC tabanlı otomasyon sisteminin entegre edilmesi sayesinde hem aydınlatma hemde motor enerji sarfiyatında güç tüketimi azalmıştır. Tablo 5'te motor kontrol biriminin otomasyon tabanlı güç tüketimi, Tablo 6'da aydınlatma sisteminin otomasyon tabanlı güç tüketim ölçümleri görülmektedir. Otomasyon tabanlı gerçekleştirilen prototip denetimli işletmede aydınlatma sisteminin enerji tüketimi 0,33 kWh, Motor grubu enerji tüketimi 0,48 kWh olarak ölçülmüştür. Şekil 7'de otomasyon panosu, güneş panelleri ve motor deney seti görülmektedir.

Tablo 5. Motor grubu saatlik enerji tüketimi

V_{ph-ph} ANLIK -L12	397 V
V_{ph-ph} ANLIK -L23	394 V
V_{ph-ph} ANLIK -L31	396 V
Aktif Enerji	0,48 kWh
Görünen enerji	0,99 kVAh

Tablo 6. Aydınlatma sisteminin otomasyon tabanlı güç tüketimi

V_{ph-ph} ANLIK	225 V
Görünen Enerji	0,33 kVAh
Aktif Enerji	0,33 kWh



Şekil 7. Uygulama panosu, Güneş panelleri ve motor deney seti görülmektedir

4. Bulgular ve Tartışma

Yapılan ölçümlerde, otomasyon sisteminin entegre edilmesi sayesinde enerji tüketiminin her iki birimde de azaldığı görülmüştür. Aydınlatma sisteminde enerji sarfiyatı 0,55 kWh tüketimden 0,33 kWh tüketime düştüğü görülmüştür. Motor kontrol sisteminde 0,87 kWh tüketimden 0,48 kWh tüketime düştüğü görülmüştür. Fotovoltaik sistem kurularak, aydınlatma sisteminin alternatif enerjiyle beslenmesiyle, entegre edilen otomasyon sistemi her iki birime de katkı sağlamıştır. Otomasyon sistemi aydınlatma gruplarını ortam ışık şiddetine bağlı olarak devreye almıştır. Bu sayede sabit tüketim yerine ortam aydınlığına bağlı tüketim gerçekleştirilmiştir. Aydınlatma sisteminin standart güç tüketimine bakıldığında, kurulacak Fotovoltaik sistemin en az 0,55 kWh olması gerekmektedir. Fakat otomasyon sistemi sayesinde 0,33 kWh değerine düşmektedir. Bu durumda %40 oranında kazanç olmaktadır. Kurulan sistem için istenen güç miktarı olması gerekenden %40 daha fazladır. Elde edilen enerjinin otomasyon sistemi sayesinde tasarruflu ve verimli kullanılması sayesinde kurulum gücü standart belirlenenden güçten daha düşük olarak gerçekleşebilmektedir. Bu durumdan dolayı otomasyon tabanlı bir fotovoltaik sistem kurulurken standart güç tüketiminin belli bir katsayıyla çarpılıp elde edilen güç miktarına göre kurulması, kurulum maliyetlerini azaltacaktır. Bu noktada kullanıcı otomasyon denetimli alternatif enerji kaynağı kurulum gücünü belirleyebilmesi için bir katsayıya ihtiyaç duymaktadır. Kazanç katsayısı, otomasyon tabanlı enerji tüketiminin, standart enerji tüketimine oranı şeklinde bulunabilir. Kazanç katsayısı “K” olarak, Otomasyon tabanlı enerji tüketimi “OTET”, standart enerji tüketimi “SET” olarak adlandırılırsa, Eş. 1’de gösterildiği şekilde yazılabilir.

$$K = OTET/SET \quad (1)$$

Kurulan sistemin SET değeri Tablo 3’ten 0,55 kW, OTET değeri Tablo 5’ten 0,33 kW olarak alınıp denklem 1’de yerine konduğunda kazanç katsayısı “K” ‘0,6’ olarak bulunmuştur.

5. Sonuç

Günümüzde Alternatif enerjiye artan ilgiyle beraber alternatif enerji kaynaklarının verimli kullanılması ve elde edilmesi için gereken kurulum maliyetinin minimumlarda olması ayrı bir hedef olmuştur. Bu noktada otomasyon sistemleri büyük rol oynamaktadır. Özellikle endüstri 4.0’ın doğmasıyla günümüz dünyasında otomasyon sistemlerinin olmadığı bir yapı eksik olarak düşünülmektedir. Yapılan bu çalışmada kurulacak olan fotovoltaik sistemin, kurulum maliyetlerinin azalması için ‘K’ katsayısı elde edilmeye çalışılmıştır. Standart olarak kurulacak sistemin gücü doğrudan ihtiyaç olan güç miktarıdır. Fakat enerjinin verimli ve kontrollü bir şekilde kullanılmasıyla ihtiyaç olarak hesap edilen güç miktarı azaltılmaktadır. Prototip olarak kurulan sistemde aydınlatma denetimi gerçekleştirilmiş, sistem her iki şekilde test edilerek denetimli bir yapıyla harcanan enerjinin düştüğü görülmüştür. Bu durumda kurulum gücü de standart belirlenenden aşağı olabileceği belirlenmiştir. Bunu belirlemek için “K” katsayısı 0.6 olarak elde edilmiştir. Bu katsayı sayesinde tüketilen güce göre değil, otomasyon sistemleri sonucu verimliliği artırılmış enerji tüketimine göre fotovoltaik sistemin kurulması önerilmiştir. Ayrıca kurulacak otomasyon sistemi diğer birimlere de entegre edilmiş bunun sonucunda enerji tüketim verimliliği %40 yükselmektedir. Bu sayede otomasyon sisteminin kurulum maliyeti de kendini zamanla amorti etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2017-01.BŞEÜ.11-01).

Kaynakça

- Alphonsus, E.R., & Abdullah, M.O. (2016). A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1185–1205.
- Bulut, E., & Akçacı, T. (2017). Endüstri 4.0 ve inovasyon göstergeleri kapsamında Türkiye analizi. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 4(7), 50-72.
- Dimitru, C.D., & A. Gligor, A. (2012). SCADA based software for renewable energy management system, *Procedia Economics and Finance*, 3, 262-267.
- Durusu, A., & Erduman, A. (2018). An Improved Methodology to Design Large-Scale Photovoltaic Power Plant, *Journal of Solar Energy Engineering* 140(1), 011007.
- Eldem, M.O. (2017) Endüstri 4.0, TMMOB EMO Ankara Şubesi Haber Bülteni.
- Georgescu, V.C. (2014). SCADA Software used in Dispatch Centre for Photovoltaic Parks, 6th Edition *Electronics, Computers and Artificial Intelligence*, Bucharest, Romania, 1-4.
- Guozhen, H., Tao, C., Changsong, C. & Shanxu, D. (2009). Solutions for SCADA system Communication Reliability in Photovoltaic Power Plants, *IEEE 6th International Power Electronics and Motion Control Conference*, Wuhan, China, 2482- 2485.
- Grozdev, M. (2010). Alternatif enerji kaynakları, Yüksek lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Karafil, A., & Özbay H. (2018). Design of Stand-Alone PV System on a Farm House in Bilecik City, Turkey, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5(3), 909-916.
- Karamanav, M. (2007). Güneş enerjisi ve güneş pilleri, Yüksek lisans Tezi, Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye.
- Kılıç, S., & Alkan, R.M. (2018). Dördüncü sanayi devrimi Endüstri 4.0: Dünya ve Türkiye değerlendirmeleri, *Girişimcilik İnovasyon ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, 2(3), 29-49.
- Moghavvemi, M., Ismail, M.S., Murali, B., Yang, S.S., Attaran, A., & Moghavvemi, S. (2013). Development and optimization of a PV/diesel hybrid supply system for remote controlled commercial large scale FM transmitters, *Energy Conversion and Management*, 75, 542-551.
- Pasc, P.C. & Dumitru, C.D. (2016). SCADA system for solar MPPT controller monitoring, *Procedia Technology*, 23, 803-807.
- Saner, H.S. (2015). Türkiye'de güneş enerjisi santrallerinin yer seçimi ve çevresel etkileri: karapınar ve karaman enerji ihtisas endüstri bölgeleri örneklerinin değerlendirilmesi, Yüksek lisans Tezi, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Shariff, F., Rahim N.A. & Ping, H.W. (2015). Zigbee-based data acquisition system for online monitoring of grid-connected photovoltaic system, *Expert Systems with Applications*, 42, 1730–1742.
- Zapata, G., Salazar, A., Moreno, D., & García, R. (2016). Supervision of a Distributed Energy Resources Generation System Using IEC and ISA Standards,” *IEEE Colombian Conference on Robotics and Automation*, Bogota, Colombia..
- Zhaoxia, X., Zhijun, G., Guerrero J.M., & Hongwei, F. (2017). SCADA System for Islanded DC Microgrids. 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Beijing-China, 2669-2674.



Gümüş Katkılı Bakır (II) Oksit İnce Filmlerin Yüzey Aktif Madde Yardımıyla SILAR Metoduyla Büyütülmesi

Halit Çavuşoğlu^{1*}

¹ Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7215-651X)

(İlk Geliş Tarihi 20 Şubat 2019 ve Kabul Tarihi 13 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.529778)

ATIF/REFERENCE: Çavuşoğlu, H. (2019). Gümüş Katkılı Bakır (II) Oksit İnce Filmlerin Yüzey Aktif Madde Yardımıyla SILAR Metoduyla Büyütülmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 412-419.

Öz

Bu çalışmada, gümüş (Ag) katkılı bakır(II) oksit (CuO) ince filmler, cam yüzeyler üzerinde, oda sıcaklığında bir yüzey aktif maddesi yardımıyla ardışık iyonik tabaka adsorpsiyon ve reaksiyon (SILAR) tekniği ile büyütülmüştür. Farklı konsantrasyonlardaki Ag'nin (0 % ila 3.0 M%) sodyum sitrat yüzey aktif maddesi içeren CuO ince filmlerin yapısal, morfolojik ve optiksel özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Üretilen tüm ince filmlerin yapısal analizi, X-ışını difraktometresi (XRD) ile gerçekleştirilmiştir. Yapısal analiz sonuçlarına göre, tüm filmlerin çok kristalli bir yapıda ve monoklinik kristal formda olduklarını doğrulamaktadır. Farklı oranlarda katılan Ag konsantrasyonlarına bağlı olarak, kristalit büyüklüğü değerleri 14.83 ila 17.09 nm arasında değişmiştir. CuO ince filmlerin yüzey morfolojisi metalürjik mikroskop kullanılarak incelenmiştir. Yüzey çalışmaları CuO nanoyapılarının film yüzeylerinde homojen olarak dağıldığını göstermiştir. Tüm ince filmlerin optik analizleri UV-Vis-NIR spektrofotometresi kullanılarak incelenmiştir. Optiksel analiz sonuçları, CuO ince filmlerin optik bant aralığı enerjilerinin, gümüş konsantrasyonunun 0 M'den 2.0 M'ye yükselmesiyle, 1.34 eV'den 1.72 eV'ye yükseldiğini ortaya koymuştur. Gümüş konsantrasyonunun 3.0 M'ye yükseltilmesiyle, bant aralığı enerjisi 1.68 eV'ye düşmüştür. Tüm filmlerin ortalama geçirgenliği, artan gümüş konsantrasyonu ile 2.0 %'dan 32.5 %'e yükselmiştir.

Anahtar Kelimeler: CuO ince film, Katkılama, Yüzey aktif madde, Gümüş, SILAR.

Surfactant-Assisted Growth of Silver-Doped Cupric Oxide Thin Films Fabricated by SILAR Method

Abstract

In the present work, silver-doped cupric oxide (CuO) thin films have been deposited on glass substrates by a surfactant-assisted successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) technique at room temperature. The effects of different concentrations of silver from 0 to 3.0 M% on the structural, morphological, and optical properties of CuO thin films with sodium citrate surfactant were studied. The structural analysis of all produced thin films was performed with X-ray diffractometer (XRD). Structural analysis confirm that all the films were polycrystalline nature having a monoclinic crystalline form. The crystallite size values ranged from 14.83 to 17.09 nm depending on the concentration of silver doping in different proportions. The surface morphology of CuO thin films was examined using metallurgical microscope studies. Surface studies showed that homogeneously distributed CuO nanostructures on the film surfaces. Optical analysis of all thin films were examined using UV-Vis-NIR spectrophotometer. The optical analysis results revealed that optical band gap energies of the CuO thin films increased from 1.34 to 1.72 eV with increasing molarity of silver concentration from 0 M to 2.0 M%. For further increase of molarity to 3.0 M%, the band gap energy decreased to 1.68 eV. The average transmittance of all the films had increased from 2.0 % to 32.5% with the increasing silver concentration.

* Sorumlu Yazar: Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Konya, Türkiye, ORCID: 0000-0002-7215-651X, hcavusoglu@selcuk.edu.tr

Keywords: CuO thin film, doping, surfactant, silver, SILAR.

1. Giriş

Hem bilimsel hem de teknolojik açıdan ele alındığında, metal oksitler çok önemli bir malzeme sınıfını teşkil etmektedirler. Son zamanlarda bu alanda yapılan araştırmalar, özellikle metal oksit ince filmler üzerinde yoğunlaşmıştır. Öne çıkan metal oksit malzemeler arasında çinko oksit (ZnO) (Znaidi, 2010), kadmiyum oksit (CdO) (Chandiramouli ve Chandiramouli, 2013), kalay oksit (SnO₂) (Das ve Jayaraman, 2014), nikel oksit (NiO) (Ukoba ve ark., 2018), mangan oksit (Xia ve ark., 2011) ve kuprik oksit (CuO) (Dey, 2018) sayılabilir. Bu metal oksitler arasında CuO ince filmler, optik, yarı iletken, manyetik, ve optoelektronik özellikler başta olmak üzere çok işlevli özelliklerin ilginç bir kombinasyonunu göstermektedirler (Vila ve ark., 2010; Raghavendra ve ark., 2018; Shrividhya ve ark., 2014; Baturay ve ark., 2016). CuO ince filmler, gaz sensörleri, güneş pilleri, katalizörler ve lityum pilleri gibi elektronik cihazlarda birçok uygulamaları bulunmaktadır (Papurello ve ark., 2017; Baratto ve ark., 2015; Jackson ve ark., 2016; Diachenko ve ark., 2018; Ramírez-Ortiz ve ark., 2001). CuO malzemelerin tercih sebebi kılınmasında en önemli unsurlar arasında; maliyet etkinliği, mükemmel reaktivitesi ve toksik olmaması sayılabilir (Gevorkyan ve ark., 2012). CuO, optik bant aralık değeri 1.2 eV ile 1.8 eV arasında değişen monoklinik yapıya sahip bir yarı iletken malzemedir (Dodoo-Arhin ve ark., 2012).

Günümüzde, CuO ince filmlerin hazırlanması için çeşitli fiziksel ve kimyasal biriktirme teknikleri kullanılmaktadır. Yapılan gözlemler sonucunda, kimyasal biriktirme tekniklerinin, fiziksel tekniklere nazaran daha ekonomik ve uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Başlıca kimyasal biriktirme teknikleri arasında sol-gel spin kaplama metodu [Al-Ghamdi ve ark., 2009; Qin ve ark., 2010; Bae ve Choi, 1999], ultrasonik sprej piroliz tekniği [Oh ve ark., 2007; Sing ve ark., 2011], mikrodalga ve hidrotermal sentezi [Qiu ve ark., 2012; Yang ve ark., 2011], elektrokimyasal biriktirme (Mukherjee ark., 2011), kimyasal banyo biriktirme (CBD) [Terasako ve ark., 2015; Nair ve ark., 1999] ve ardışık iyonik tabaka adsorpsiyon ve reaksiyon (SILAR) [Cavusoglu ve Aydin, 2019; Rafea ve Roushdy, 2009; Das ve Mitra, 2018] yöntemi sayılabilir. Bu kimyasal biriktirme teknikleri arasında, SILAR yöntemi, kontrollü film kalınlığının elde edilmesi, düşük biriktirme sıcaklığına sahip olması ve vakum ortamına gerek duyulmaması gibi özelliklerinden ötürü ince filmlerin hazırlanması için uygun bir tekniktir.

Solüsyon bazlı depolama tekniklerinde, nanoyapılı ince filmlerin fiziksel özelliklerini geliştirmek amacıyla büyütme sırasında çözelti içerisinde çeşitli yüzey aktif maddeleri (süfaktan) ve katkı maddeleri (dopant) ilave edilir. Literatürde, yüzey aktif maddeler ve metal malzemelerin, polikristal ince filmlerin büyüme, film kalınlığı, yapısal, morfolojik, optik ve elektriksel özelliklerine etkileri ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Das ve Alford (Das ve Alford, 2013) düşük sıcaklıkta mikrodalga tavlama tekniği ile üretilen bakır(II) oksit filmlere gümüş katkılı olarak, elde edilen malzemenin mikroyapısal ve optiksel parametrelerindeki değişimleri gözlemlemiştir. Huang ve ark. (Huang ve ark., 2012) CuO nanolevhalarla gümüş katkılı olarak süperkapasitör uygulamalarda kullanım açısından elektrokimyasal davranışlarına önemli katkılar sağladıklarını tespit etmişlerdir. Fadavieslam (Fadavieslam, 2018) ise sprej piroliz tekniği ile hazırlanmış olduğu kalay sülfür ince filmlerin optoelektronik uygulamalarda kullanımı açısından gümüş katkılı malzemenin fiziksel özelliklerine olumlu yönde etkilerinin olduğunu tespit etmiştir. Agawane ve ark. (Agawane ve ark., 2012) ise kimyasal banyo tekniği kullanılarak büyütülen çinko sülfür (ZnS) ince filmlerin büyütülme mekanizmasına tri-sodyum sitrat yüzey aktif maddesinin etkilerini kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Ramírez-Ceja ve ark. (Ramírez-Ceja ve ark., 2016) da aynı tekniği kullanarak PbS ince filmlerin büyütülmesine sodyum sitratın etkilerini detaylı olarak irdelemiştir. Kihal ve ark. (Kihal ve ark., 2017) ise elektrokaplama yöntemiyle elde ettikleri SnS ince filmlerin güneş pili uygulamalarına sodyum sitratın etkilerini analiz etmişlerdir.

Literatürde yapılmış olan çalışmalar göstermektedir ki, çözelti bazlı sentezlenmiş olan ince filmlerin yapısal, morfolojik ve optik özelliklerin geliştirilmesinde Ag ve sodyum sitrat sıklıkla kullanılmaktadır. Bu bağlamda, mevcut çalışmada SILAR tekniğiyle CuO ince filmlere sodyum sitrat yüzey aktif maddesinin yüzdelik oranı sabit tutularak (1.0 M%), farklı konsantrasyonlara sahip Ag (sırasıyla 1.0 M%, 2.0 M% ve 3.0 M%) katkılanmıştır. Sentezlenmiş olan CuO ince filmlerin yapısal, morfolojik ve optik özellikleri üzerine Ag konsantrasyon oranlarının etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. CuO İnce Filmlerin Büyütülmesi

Katkısız CuO ve 1.0 M% konsantrasyona sahip sodyum sitratlı farklı konsantrasyonlardaki nanoyapılı Ag katkılı CuO ince filmler, oda sıcaklığında kalsiyum oksit karışımı cam altlıklar üzerinde büyütüldü. Filmlerin büyütülme işlemine geçilmeden önce cam altlıklar sırasıyla aseton, izopropil alkol ve deiyonize su kullanılarak ultrasonik banyoda 10 dakika süreyle organik kirlerden arındırıldı. Temizlenen cam altlıklar etüvde 100 °C'de kurutulmuştur. Daha sonra, CuO filmlerin elde edilmesi için bakır kaynağı olarak bakır(II) klorür dihidrat [CuCl₂•2H₂O] kimyasal tuzu kullanılmıştır. Çözelti molaritesi 0.1 M, miktarı ise 100 mL olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan CuCl₂ çözeltisinin pH değeri yaklaşık 11 olana kadar, 25 % derişimli sulu amonyum hidroksit çözeltisi eklendi. Oksitleyici olarak 90 °C sıcaklıktaki 100 mL'lik saf su kullanılmıştır. Çözeltilerin hazırlanmasının ardından daha önceden temizlenmiş olan cam altlıklar üzerinde film büyütme işlemine geçilmiştir. Filmlerin büyütülmesi süreci oda sıcaklığında iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk adımda cam altlıklar 90 °C sıcaklıktaki bakır klorür-amonyum hidroksit bileşik çözeltisine ([Cu(NH₃)₄]²⁺) daldırılıp 20 s bekletilmesi sonucunda, bakır iyonlarının cam yüzeyine tutunması sağlanır. İkinci adımda ise 90 °C sıcaklıktaki saf suya daldırılıp 20 s bekletilmesiyle OH⁻ iyonlarının daha önce Cu²⁺ iyonlarıyla reaksiyona girerek Cu(OH)₂ tabakasının oluşumu gerçekleşir. Bu döngü 10 kez tekrarlanmıştır. Daldırma işlemleri tamamlandıktan sonra filmler kurumaya bırakılmış ve daha sonra hava ortamındaki OH⁻dan kurtulmak amacıyla 400 °C sıcaklıkta 1 saat süreyle kül fırınında tavlansmıştır. Katkısız CuO ince filmler elde edilmesinden sonra molaritesi 0.1 M CuCl₂ çözeltisine 1.0 M% sodyum sitrat (Na₃C₆H₅O₇) ve 1.0 M%, 2.0 M% ve 3.0 M% konsantrasyonlarına sahip gümüş nitrat (AgNO₃) ilave edilmiştir. Hazırlanan bu çözeltiler yardımıyla

katkısız olarak elde edilen CuO ince filmlerin deney şartlarını kullanarak katkılı CuO ince filmler elde edilmiştir. Elde edilen katkılı ince filmler kül fırınında aynı şartlarda tavlansmıştır.

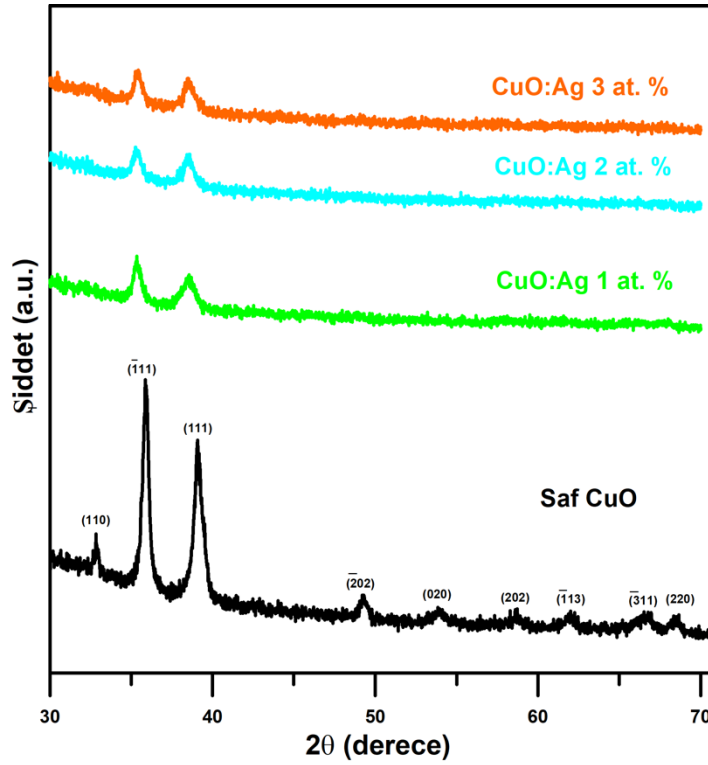
2.2. CuO İnce Filmlerin Karakterizasyonu

Üretilen tüm ince filmlerin yapısal analizi, Bruker D8 Advance X-ışını difraktometresi (Cu-K α , $\lambda=1.5418 \text{ \AA}$, XRD, Bruker AXS Inc., Madison, WI, ABD) ile gerçekleştirilmiştir. Kırınım açılarının aralığı 30° ile 70° arasında seçildi. Büyütülen filmlerin yüzey morfolojileri, Zeiss Axioscope metalürjik mikroskop (MM, Carl Zeiss, Oberkochen, Almanya) kullanılarak karakterize edilmiştir. Tüm ince filmlerin soğurma ve geçirgenlik spektrumları 190-1100 nm aralığında UV-Vis-NIR spektrofotometresi (Jasco Inc., MD, ABD) kullanılarak kaydedildi.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Yapısal Analiz

Katkısız CuO ve 1.0 M% sodyum sitrat içeren 1.0 M%, 2.0 M% ve 3.0 M% Ag katkılı CuO ince filmlerin yapısal özellikleri X-ışını kırınımı (XRD) analizi ile incelenmiştir. XRD parametresi kullanılarak pik şiddetleri, kristalit boyutu ve zorlanma derecesi gibi parametreler hesaplandı. Şekil 1'de tüm ince filmlere ait XRD kırınım desenleri gösterilmiştir. Üretilen CuO ince filmlerin tümü tamamen kristal bir yapıda olup tüm kırınım desenleri monoklinik CuO fazına karşılık gelmektedir (JCPDS dosya no. 01-080-0076). Şekil 1'deki XRD desenlerinden CuO ince filmlerine ait $(\bar{1}11)$ ve (111) düzlemlerinin diğer düzlemlere kıyasla en baskın iki düzlem olduğu görülmektedir. Bu iki baskın düzlemin dışında, yedi tane daha kırılma düzlemi bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla (110) , $(\bar{2}02)$, (020) , (202) , $(\bar{1}13)$, $(\bar{3}11)$ ve (220) düzlemleridir. CuO'nun diğer fazlarına karşılık gelen başka hiçbir faz tespit edilememiştir. CuO ince filmlerin baskın olan $(\bar{1}11)$ ve (111) düzlemlerine ait pik şiddeti değerleri Şekil 1'de gösterilip, Tablo 1'de listelenmiştir. Bu değişim analiz edildiğinde CuO ince filmlerin düzlemlerindeki pik şiddetleri, Ag katkılama oranı arttıkça azaldığı gözlenmiştir.



Şekil.1. Katkısız CuO ve 1.0 M%, 2.0 M% ve 3.0 M% Ag katkılı CuO ince filmlerin XRD desenleri.

Farklı konsantrasyonlarda Ag katkısının CuO ince filmlerin mikroyapısal parametrelerinden kristalit boyut (D) ve zorlanma derecesi (ϵ) üzerindeki etkileri de incelenmiştir. CuO ince filmlere ait kristalit boyutu (D) ve zorlanma derecesi (ϵ) değerleri, aşağıdaki denklemler kullanarak elde edilmiştir (Çavuşoğlu, 2019);

$$D = \frac{0.94\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

ve

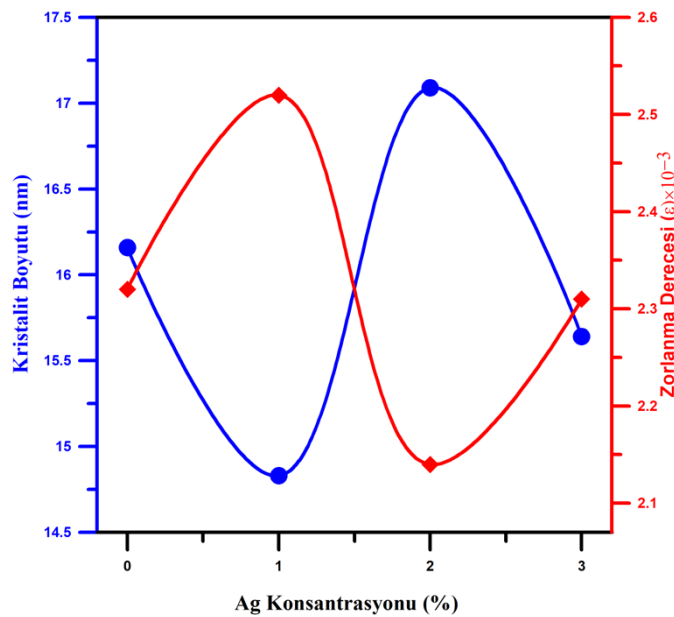
$$\epsilon = \frac{\beta \cos \theta}{4} \quad (2)$$

Burada θ Bragg kırılma açısı, β pik yarı yükseklik genişliği (FWHM) değeri ve λ ise X ışını dalga boyudur. Tüm CuO ince filmlere ait ortalama kristalit boyutu ve zorlanma derecesi değerleri Tablo-1'de gösterilmiştir. Tablo 1'de görüldüğü gibi, CuO ince filmlerine ait kristalit büyüklüğü değerleri, Ag katkılama oranına bağlı olarak değişkenlik göstermiştir.

Tablo 1. Katkısız CuO ve farklı konsantrasyonlarda Ag katkılı CuO ince filmlerin pik şiddetleri, kristalit boyutu, zorlanma dereceleri ve bant aralığı değerleri.

Numune	Pik Şiddetleri (cps) ($\bar{1}11$)	Pik Şiddetleri (cps) (111)	Kristalit Boyutu (nm)	Zorlanma Derecesi (ϵ) x 10 ⁻³	Bant Aralığı (eV)
CuO	1645	1180	16.16	2.32	1.34
Ag _{0.01} Cu _{0.99} O	685	571	14.83	2.52	1.52
Ag _{0.02} Cu _{0.98} O	608	568	17.09	2.14	1.72
Ag _{0.03} Cu _{0.97} O	618	563	15.64	2.31	1.68

Şekil 2'de, Ag konsantrasyonu ile kristalit boyutunun ve zorlanma derecesinin değişimini gösterilmektedir. Şekil 2 ve Tablo 1'de görüldüğü gibi, artan Ag konsantrasyonu sonucunda kristalit büyüklüğü değerleri ile zorlanma derecesi değerleri birbirleriyle zıt bir şekilde değişim göstermektedir. Bir başka deyişle, Ag konsantrasyonu arttıkça kristalit büyüklüğü artarken zorlanma derecesi değerleri azalmaktadır ya da azalma durumunda artış görülmektedir.

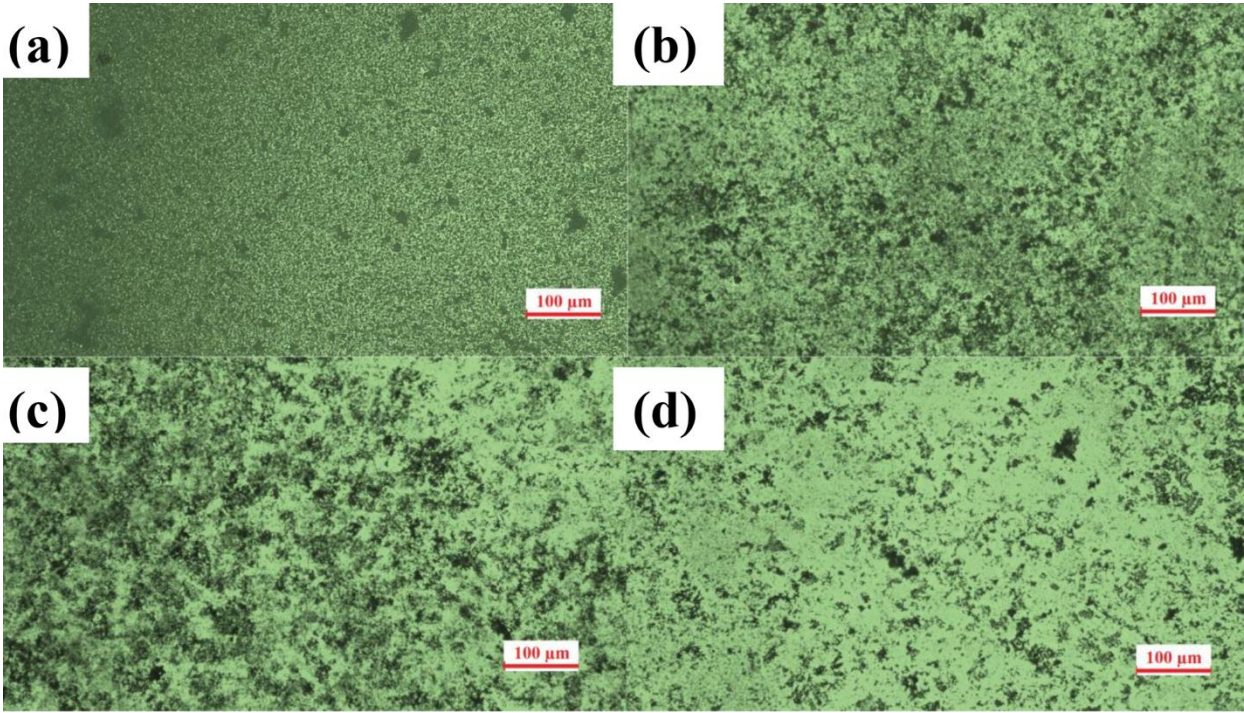


Şekil.2. Ag konsantrasyonlarının bir fonksiyonu olarak CuO ince filmlerin kristalit boyutunun zorlanma derecesine göre değişimi.

3.2. YüzeY Morfoloji Analizi

3.2.1. Metalürjik Mikroskop (MM) Analizi

YüzeY morfolojisi, ince filmlerin fiziksel performanslarını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Bu bağlamda metalürjik mikroskop (MM), Ag'nin CuO ince filmlerin yüzeY morfolojileri üzerindeki etkilerini incelemek için kullanılmıştır. Katkısız CuO ve sırasıyla 1.0 M%, 2.0 M% ve 3.0 M% oranlarında Ag katkılı, 1.0 M% sodyum sitrat içeren CuO ince filmlerin MM görüntüleri Şekil 3(a-d)'de gösterilmiştir. Katkısız CuO ince filme ait mikroskop görüntüsü Şekil 3(a)'da görüldüğü üzere karanlık ve çukur bölgelerin bir hayli fazla olmadığı tespit edilmiştir. Bu durum bize üretilen ince filmin homojenliğinin yüksek olduğu göstermektedir. Şekil 3(b,c) incelendiğinde, 1.0 M% sodyum sitrat içeren CuO ince filme 1.0 M% ve 2.0 M% oranında Ag katkılı olduğunda ilk etapta filmin homojenliği bozulmaya başladığı ve yüzeY pürüzlülüğünün arttığı gözlenmiştir. Şekil 3(d)'de ise Ag'nin katkı oranı 3.0 M% olduğunda ise gayet parlak, homojen ve tekdüze bir yapı ile karşılaşılmaktadır. Buradan en yüksek oran olan 3.0 M% Ag katkılması ile pürüzlülüğün azaldığı ve parlaklığın belirgin şekilde arttığı görülmüştür. Böylece nanoyapılı CuO ince filmlerin yüzeY morfolojisi üzerine Ag katkısının ciddi bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.



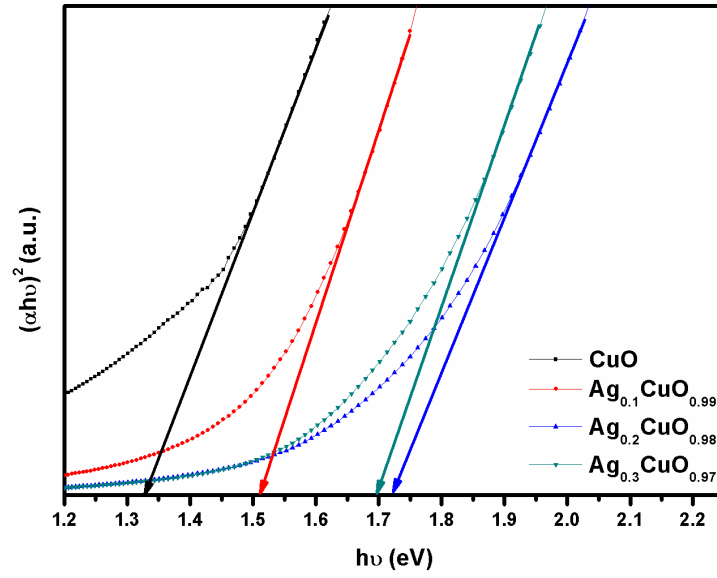
Şekil.3. (a) Katkısız CuO, (b) 1.0 M%, (c) 2.0 M% ve (d) 3.0 M% Ag katkılı CuO ince filmlerin MM görüntüleri.

3.3. Optiksel Analiz

Katkısız ve farklı oranlarda Ag katkılı CuO ince filmlerin optik özellikleri UV-Vis spektrofotometre kullanılarak incelendi. Elde edilen ince filmlere ait bant aralığı değerleri, aşağıda yer alan bağıntı ile elde edilmiştir (Çavuşoğlu, 2018);

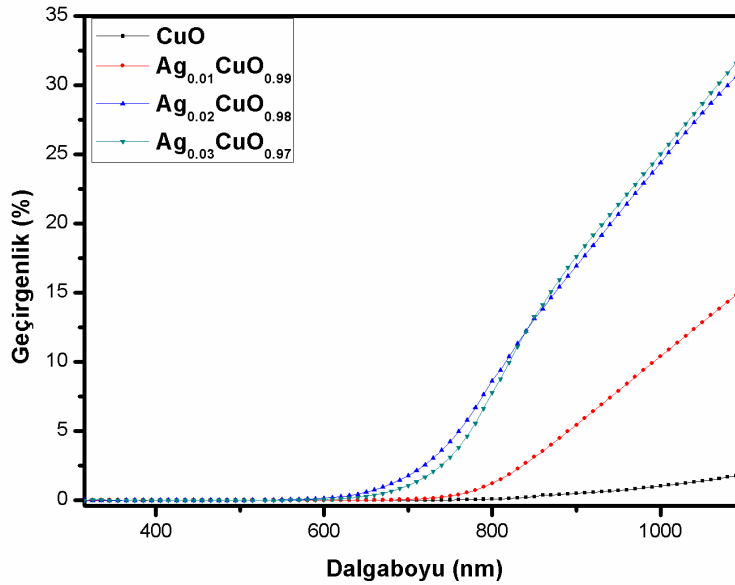
$$\alpha h\nu = C(h\nu - E_g)^m \quad (3)$$

Burada m üstel bir sabit olup izinli doğrudan geçişlerde $\frac{1}{2}$ değerini alır. E_g bant aralığı enerjisi, ν frekans, h Planck sabiti, C orantı sabiti ve α is soğurma katsayısıdır. Şekil 4'de katkısız CuO ve farklı konsantrasyonlarda Ag katkılanmış CuO filmlerin $(\alpha h\nu)^2$ 'nin foton enerjisi olan $h\nu$ 'ye bağlı değişimleri görülmektedir. Elde edilen katkısız ve farklı konsantrasyonlarda Ag katkılı (1.0 M%, 2.0 M%, 3.0 M%) CuO ince filmlerinin hesaplanan E_g değerleri yaklaşık olarak sırasıyla 1.34, 1.52, 1.72 ve 1.68 eV olarak bulunmuştur ve Tablo 1'de listelenmiştir. Filmlerin optik bant aralık değerlerindeki bu değişiklik farklı oranlarda Ag katkılanması sonucunda sodyum sitrat içeren CuO filmlerin kristal yapılarındaki değişimin bir sonucudur. Yapısal analiz kısmında da belirtilen filmlerin kristalit boyutlarındaki değişim doğrudan malzemenin optik özellikleri etkilemektedir.



Şekil.4. Katkısız CuO ve farklı konsantrasyonlarda Ag katkılı CuO filmlerin $(\alpha h\nu)^2$ nin foton enerjisi ($h\nu$) ye göre değişimi.

CuO ince filmlerin optik geçirgenlik spektrumları, Şekil 5'te gösterildiği gibi 300-1100 nm spektral bölgesinde farklı Ag konsantrasyonlarında (1.0 M%, 2.0 M%, 3.0 M%) elde edilmiştir. Şekil 5'te görüldüğü gibi, Ag katkısı olmadan elde edilen CuO ince filmlerin, en düşük geçirgenliğe (~2.0 %) sahiptir. Optik geçirgenlik, sulu büyüme çözeltisinde artan gümüş içeriği ile birlikte hızlı bir şekilde ~ 2.0 %'dan 32.5 %'e yükselmiştir. Maksimum geçirgenlik (~% 32.5), 3.0 M% gümüş içeriği ile gözlenmiştir. CuO ince filmlerin geçirgenlik değerindeki bu değişiklik, filmlerin kalınlık ve saydamlıklarındaki farklılıktan kaynaklandığı söylenebilir (Aly ve Akl, 2015; Sanguanruang ve ark., 2011).



Şekil.4. Katkısız CuO ve farklı konsantrasyonlarda Ag katkılı CuO filmlerin optik geçirgenlik spektrumları.

4. Sonuç

CuO ince filmler maliyeti uygun SILAR tekniği ile üretildi ve yapısal, morfolojik ve optik karakteristiklerine değişen gümüş konsantrasyonunun (0.00 M%, 1.00 M%, 2.00 M% ve 3.00 M%) etkileri kapsamlı olarak incelendi. Kristalografik ve yüzey morfolojik özellikleri, gümüş katkılama derişimleri modüle edilerek modifiye edildi. CuO ince filmlerin kristalit boyutunun artan gümüş konsantrasyonu ile birlikte azaldığı gözlenmiştir. Metalürjik mikroskop çalışmaları, CuO ince filmlerin yüzey morfolojisinin, büyütme çözeltisine gümüş ve sodyum sitrat ilavesiyle modifiye edildiğini ortaya koymuştur. Değişen gümüş konsantrasyonuna bağlı olarak ince filmlerin optik bant aralığı enerji değerleri oldukça değişmiştir. Filmlerin bant aralığı değerleri, gümüş konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak 1.34 eV ile 1.72 eV arasında değişmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma sonucunda elde edilen SILAR yöntemiyle üretilen farklı gümüş konsantrasyonuna sahip CuO ince filmlerin, çeşitli optoelektronik cihaz uygulamaları için uygun olduğu öngörülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından (BAP Proje No: 19401015) desteklenmiştir.

Kaynakça

- Agawane, G.L., Shin, S.W., Moholkar, A.V., Gurav, K.V., Yun, J.H., Lee, J.Y. ve Kim, J.H. (2012), Non-Toxic Complexing Agent Tri-Sodium Citrate's Effect on Chemical Bath Deposited ZnS Thin Films and Its Growth Mechanism, *Journal of Alloys and Compounds*, 535, 53–61.
- Al-Ghamdi, A.A., Mahmoud, W.E., Yagmour, S.J. ve Al-Marzouki, F.M. (2009), Structure and Optical Properties of Nanocrystalline NiO Thin Film Synthesized by Sol–Gel Spin-Coating Method, *Journal of Alloys and Compounds*, 486, 9–13.
- Aly, S.A. ve Akl, A.A. (2015), Influence of Film Thickness on Optical Absorption and Energy Gap of Thermally Evaporated Cd_{0.1}Se_{0.9} Thin Films, *Chalcogenide Letters*, 12, 489–496.
- Bae, H.Y. ve Choi, G.M. (1999), Electrical and Reducing Gas Sensing Properties of ZnO and ZnO–CuO Thin Films Fabricated by Spin Coating Method, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 55, 47–54.
- Baratto, C., Kumar, R., Faglia, G., Vojisavljević, K. ve Malić, B. (2015), P-Type Copper Aluminum Oxide Thin Films for Gas-Sensing Applications, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 209, 287–296.
- Baturay, S., Tombak, A., Kaya, D., Ocak, Y.S., Tokus, M., Aydemir, M. ve Kilicoglu, T. (2016), Modification of Electrical and Optical Properties of CuO Thin Films by Ni Doping, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 78(2), 422–429.
- Cavusoglu, H. ve Aydin R. (2019), Complexing Agent Triethanolamine Mediated Synthesis of Nanocrystalline CuO Thin Films at Room Temperature via SILAR Technique, *Superlattices and Microstructures*, 128, 37–47.
- Çavuşoğlu, H. (2019), Evaluating the Influence of Polyethylene Glycol as a Surfactant on CdO Films Grown by SILAR Method, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 124, 67–72.
- Çavuşoğlu, H. (2018), Structural, Morphological and Optical Studies of Nanostructured Cadmium Oxide Films: The Role of pH, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29, 12777–12784.
- Chandiramouli, R. ve Jeyaprakash, B.G. (2013), Review of CdO Thin Films, *Solid State Sciences*, 16, 102–110.
- Das, M.R. ve Mitra, P. (2018), Influence of Nickel Incorporation on Structural, Optical and Electrical Characteristics of SILAR Synthesized CuO Thin Films, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 87, 59–73.
- Das, S. ve Alford, T.L. (2013), Structural and Optical Properties of Ag-Doped Copper Oxide Thin Films on Polyethylene Naphthalate Substrate Prepared by Low Temperature Microwave Annealing, *Journal of Applied Physics*, 113, 244905.
- Das, S. ve Jayaraman, V. (2014), SnO₂: A Comprehensive Review on Structures and Gas Sensors, *Progress in Materials Science*, 66, 112–255.
- Dey, A. (2018), Semiconductor Metal Oxide Gas Sensors: A Review, *Materials Science and Engineering: B*, 229, 206–217.
- Diachenko, O.V., Dobrozhan, O.A., Opanasyuk, A.S., Ivashchenko, M.M., Protasova, T.O., Kurbatov, D.I. ve Čerškus, A. (2018), The Influence of Optical and Recombination Losses on the Efficiency of Thin-Film Solar Cells with A Copper Oxide Absorber Layer, *Superlattices and Microstructures*, 122, 476–485.
- Dodoo-Arhin, D., Leoni, M. ve Scardi, P. (2012), Microemulsion Synthesis of Copper Oxide Nanorod-Like Structures, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 555, 17–31.

- Fadavieslam, M.R. (2018), Effect of Ag Doping on the Physical Properties of Tin-Sulfide Thin Films for Optoelectronic Applications Prepared by Spray Pyrolysis, *Applied Physics A*, 124, 596–602.
- Gevorkyan, V.A., Reymers, A.E., Nersesyan, M.N. ve Arzakantsyan, M.A. (2012), Characterization of Cu₂O Thin Films Prepared by Evaporation of CuO Powder, *Journal of Physics: Conference Series*, 350, 012027.
- Huang, J., Wu, H., Cao, D. ve Wang, G. (2012), Influence of Ag Doped CuO Nanosheet Arrays on Electrochemical Behaviors for Supercapacitors, *Electrochimica Acta*, 75, 208–212.
- Jackson, E.D., Mosby, J.M. ve Prieto, A.L. (2016), Evaluation of The Electrochemical Properties of Crystalline Copper Antimonide Thin Film Anodes for Lithium Ion Batteries Produced by Single Step Electrodeposition, *Electrochimica Acta*, 214, 253–264.
- Kihal, R., Rahal, H., Affoune, A.M. ve Ghers, M. (2017), Electrodeposition of SnS Thin Film Solar Cells in the Presence of Sodium Citrate, *Journal of Electrochemical Science and Technology*, 8, 206–214.
- Mukherjee, N., Show, B., Maji, S.K., Madhu, U., Bhar, S.K., Mitra, B.C., Khan, G.G. ve Mondal, A. (2011), CuO Nano-Whiskers: Electrodeposition, Raman Analysis, Photoluminescence Study and Photocatalytic Activity, *Materials Letters*, 65, 3248–3250.
- Nair, M.T.S., Guerrero, L., Arenas, O.L. ve Nair, P.K. (1999), Chemically Deposited Copper Oxide Thin Films: Structural, Optical and Electrical Characteristics, *Applied Surface Science*, 150, 143–151.
- Oh, S.W., Bang, H.J., Bae, Y.C. ve Sun, Y.-K. (2007), Effect of Calcination Temperature on Morphology, Crystallinity and Electrochemical Properties of Nano-Crystalline Metal Oxides (Co₃O₄, CuO, And NiO) Prepared via Ultrasonic Spray Pyrolysis, *Journal of Power Sources*, 173, 502–509.
- Papurello, R.L., Cabello, A.P., Ulla, M.A., Neyertz, C.A. ve Zamaro, J.M. (2017), Microreactor with Copper Oxide Nanostructured Films for Catalytic Gas Phase Oxidations, *Surface and Coatings Technology*, 328, 231–239.
- Qin, H., Zhang, Z., Liu, X., Zhang, Y. ve Hu, J. (2010), Room-Temperature Ferromagnetism in CuO Sol–Gel Powders and Films, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 322, 1994–1998.
- Qiu, G., Dharmarathna, S., Zhang, Y., Opembe, N., Huang, H. ve Suib, S.L. (2012), Facile Microwave-Assisted Hydrothermal Synthesis of CuO Nanomaterials and Their Catalytic and Electrochemical Properties, *The Journal of Physical Chemistry C*, 116, 468–477.
- Rafea, M.A. ve Roushdy, N. (2009), Determination of the Optical Band Gap for Amorphous and Nanocrystalline Copper Oxide Thin Films Prepared by SILAR Technique, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 42, 015413.
- Raghavendra, P.V., Bhat, J.S. ve Deshpande, N.G. (2018), Visible Light Sensitive Cupric Oxide Metal-Semiconductor-Metal Photodetectors, *Superlattices and Microstructures*, 113, 754–760.
- Ramírez-Ceja, D., González, L.A., Escorcia-García, J. ve Martínez-Enríquez, A.I. (2016), Characterization of PbS Thin Films Obtained by Chemical Bath at Low Temperature Using Sodium Citrate as Complexing Agent, *MRS Advances*, 1, 2623–2628.
- Ramírez-Ortiz, J., Ogura, T., Medina-Valtierra, J., Acosta-Ortiz, S.E., Bosch, P. de los Reyes, J.A. ve Lara, V.H. (2001), A Catalytic Application of Cu₂O and CuO Films Deposited Over Fiberglass, *Applied Surface Science*, 174(3–4), 177–184.
- Sanguanruang, S., Leotphayakkarat, R., Fangern, N., Koonsaeng, N. ve Chawengkijwanich, C. (2011), Preparation and Characterization of Thin Films TiO₂ Prepared by Various Amount of Triton X-100 Surfactant for Photodegradation of a Dye Pollutant, *Advanced Materials Research*, 233-235, 2863–2870.
- Shrividhya, T., Ravi, G., Hayakawa, Y. ve Mahalingam, T. (2014), Determination of Structural and Optical Parameters of CuO Thin Films Prepared by Double Dip Technique, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 25(9), 3885–3894.
- Singh, I., Kaur, G. ve Bedi, R.K. (2011), CTAB Assisted Growth and Characterization of Nanocrystalline CuO Films by Ultrasonic Spray Pyrolysis Technique, *Applied Surface Science*, 257, 9546–9554.
- Terasako, T., Murakami, T., Hyodou, A. ve Shirakata, S. (2015), Structural and Electrical Properties of CuO Films and n-ZnO/p-CuO Heterojunctions Prepared by Chemical Bath Deposition Based Technique, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 132, 74–79.
- Ukoba, K.O., Eloka-Eboka, A.C. ve Inambao, F.L. (2018), Review of Nanostructured NiO Thin Film Deposition Using the Spray Pyrolysis Technique, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2900–2915.
- Vila, M., Díaz-Guerra, C. ve Piqueras, J. (2010), Optical and Magnetic Properties of CuO Nanowires Grown by Thermal Oxidation, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 43(13), 135403.
- Xia, H., Lai, M.O. ve Lu, L. (2011), Nanostructured Manganese Oxide Thin Films as Electrode Material for Supercapacitors, *Journal of The Minerals, Metals & Materials Society*, 63(1), 54–59.
- Yang, C., Su, X., Xiao, F., Jian, J. ve Wang, J. (2011), Gas Sensing Properties of CuO Nanorods Synthesized by A Microwave-Assisted Hydrothermal Method, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 158, 299–303.
- Znaidi, L. (2010), Sol–Gel-Deposited ZnO Thin Films: A Review, *Materials Science and Engineering: B*, 174(1–3), 18–30.



Bir Ameliyathanenin İklimlendirilmesi Süresince Hava Akımının Modellenmesi

Yasin Polat¹, Hüseyin Yağlı², Yıldız Koç^{3*}

¹ Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1255-9990)

² İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9777-0698)

³ İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2219-645X)

(İlk Geliş Tarihi 22 Şubat 2019 ve Kabul Tarihi 14 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.531362)

ATIF/REFERENCE: Polat, Y., Yağlı, H. & Koç, Y. (2019). Bir Ameliyathanenin İklimlendirilmesi Süresince Hava Akımının Modellenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 420-432.

Öz

Günümüz ameliyathanelerinin iklimlendirilmesinde kullanılan klima sistemleriyle; sıcaklık ve nem kontrolünün yapılmasının istenmesinin yanı sıra havada taşınabilen mikroorganizma ve toz miktarının, atık anestezi gazı ve kötü koku oranının önemli ölçüde azaltılması da istenmektedir. Ayrıca kullanılan klima sistemleri ile standartlarda belirtilen koruma alanının oluşturabilmesi hedeflenmektedir. Bu sayede ameliyat esnasında kesi yapılan bölgeden hastaya enfeksiyon bulaşma riski de en aza indirgenmelidir. Bu nedenle mevcut çalışmada, Türkiye’de mevcut durumda bulunan bir devlet hastanesinin ameliyathanesinin iklimlendirilmesi sonucunda oluşabilecek sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Çalışma kapsamında ameliyathanenin incelenmesinde iki farklı model (Model 1 ve Model 2) tasarlanmış ve tasarlanan bu modeller ANSYS Fluent programı ile simüle edilerek sayısal olarak analiz edilmiştir. Model 1 tavandan üfleme, kenarlardan emme menfezleri ile hava emen bir sistem olarak tasarlanırken Model 2 aseptizör cihazı ile iklimlendirme yapacak şekilde tasarlanmıştır. Tasarlanan her bir model için x düzlemi boyunca beş ve z düzlemi boyunca üç farklı kesitte inceleme yapılmıştır. Çalışma sonucunda, Model 1’de ameliyat lambalarının cerrahi alan üzerinde konumlandırılması sonucu ölü kış bölgelerinin oluştuğu görülmüştür. Ayrıca bu modelde incelenen kesitlerde salondaki sıcaklık değerlerinin personeli ve hastayı rahatsız edici değerler olmadığı görülmüştür. Model 2’de yüksek hava akış hızı nedeniyle ameliyathane personelinin konforsuzluk yaşadığı, cerrahi alan üzerinde laminer akışın sağlanamaması nedeniyle de cerrahi alan enfeksiyonu gelişiminin mümkün olabileceği görülmüştür. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde, standartlara ve literatürdeki çalışmaların sonuçlarına paralel olarak ameliyathanelerde en uygun havalandırma tekniğinin bu çalışmada Model 1 olarak tanımlanan tavandan üfleme ve kenarlardan emme menfezleri ile hava emen iklimlendirme sistemi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ameliyathane, İklimlendirme, Aseptizör, Modelleme, Fluent.

Modelling of Air Flow During Air Conditioning in an Operating Room

Abstract

With the air conditioning systems used in the air conditioning of today's operating rooms; it is desirable that the amount of microorganism and powder that can be carried in the air to be significantly reduced as well as the temperature, humidity, waste anaesthesia gas, the odour ratio control. In addition, it is aimed to be able to form the protection area specified in the standards with the air-conditioning systems used. In this way, the risk of infection to the patient from the incision site during the operation should be minimized. Therefore, in the present study, the temperature distribution in an operating room of a state hospital in Turkey were examined. In the study, two different models (Model 1 and Model 2) were designed and the designed models were numerically analysed and simulated by using ANSYS Fluent software. Model 1 is designed as a system that blows air from the ceiling, sucking air from the sides with suction grilles, while the Model 2 is designed to air-conditioning with the aseptizer. For each designed model, five different sections along the x-plane and three along the z-plane were examined. In Model-1, it was observed that the dead winter regions were formed as a result of the positioning of the surgical lamps on the surgical area. In addition, it was observed that the temperature values in the room were not disturbing for the personnel and the patient. Because of the high air flow rate in the Model 2, it was seen that the operating room is uncomfortable for the personnel due to high air flow rate and also surgical area infection development is possible due to the lack of laminar flow on the surgical area. When the results of the study are examined, it is seen that the most suitable air-conditioning

* Sorumlu Yazar: İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye, yildiz.koc@iste.edu.tr

system for the operating rooms in accordance with the standards and the results of the studies in the literature is air-blowing from the ceiling and air-sucking from the sides with suction grilles system, which is defined as Model 1 in the present study.

Keywords: Operating Room, Air Conditioning, Aseptizer, Modelling, Fluent.

1. Giriş

Ameliyathaneler hastaların en savunmasız olduğu ve ortamdaki olumsuz şartlardan en çok etkilendiği alanlardan birisidir. Sterilizasyon ve havalandırma sorunlarından dolayı ameliyathanelerde meydana gelen başlıca komplikasyon ve ölümlerin başında enfeksiyon gelmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde ameliyathanelerde her 6 hastadan birisi enfeksiyon nedeni ile ölürken bu oran Avrupa ülkelerinde %45'lere kadar çıkmaktadır [1]. Üriner sistem enfeksiyonlarından sonra en sık karşılaşılan enfeksiyonlar cerrahi alan enfeksiyonlardır [2]. Ameliyathane, acil cerrahi müdahale bölümü, yoğun bakım üniteleri, bulaşıcı hastalık şüphesi olanların teşhis ve tedavi üniteleri vb. gibi önemli ortamlar enfeksiyonların en fazla görüldüğü yerlerdir [3]. Buralarda enfeksiyon miktarının artmasının en önemli nedeni hastaya steril olmayan ortamda ve steril olmayan biçimde müdahalede bulunulmasıdır. Hastanın kendisi, ameliyat aletleri, cerrahi kadro enfeksiyon miktarının artmasındaki diğer önemli etkenlerdir [4]. Dünya'da tahminen yıllık 234 milyon ameliyat gerçekleştirilmekte ve bu durum günden güne cerrahi alan enfeksiyonun görülme riskini arttırmaktadır [3]. Bu nedenle ameliyathane ortamlarının iklimlendirme sistemlerinin projelendirilmesinde daha fazla dikkat edilmesi gerekmektedir [5]. Çünkü hastanelerin riskli alanlarından birisi olan ameliyathanelerde enfeksiyon riskini arttıran en önemli faktörlerden birisi ameliyathanelerin havalandırılması ve soğutulmasında doğru iklimlendirme ve filtrasyon sisteminin seçilmemesidir.

Günümüze kadar ameliyathanelerde birçok iklimlendirme sistemleri kullanılmıştır. Tasarlanan iklimlendirme sistemlerinde sıcaklık, nem, üfleme hızı, cerrahi kadro ameliyathane cihazları gibi birçok etken göz önüne alınmıştır. Sıcaklığın ortalama 21 °C olması ve statik elektriklenmeden dolayı oluşabilecek tehlikeleri engellemek için nemin %30 ile %60 aralığında olması gerekmektedir [6]. Sıcaklık ve nemin belirli bir oranda tutulması enfeksiyonun çoğalmasının minimize edilmesini, cerrahi kadronun daha rahat çalışmasını ve iklimlendirme sisteminin daha verimli olmasını sağlar. İklimlendirme ile eş zamanlı olarak ameliyathanede görev yapan cerrahi kadroda dikkate alınması gereken önemli parametrelerdendir. Personelin hareketinin hava akımı düzenini etkilemesi ve ameliyathane havasındaki enfeksiyonların ameliyathaneye giriş-çıkış yapan insan sayısı ile doğru orantılı olması cerrahi kadroya dikkat edilmesinin temel sebeplerindendir [7]. Bu nedenle ameliyathanelerde insan giriş çıkışı minimum düzeyde tutulmalıdır [8].

İklimlendirme de kullanılan havalandırma sistemlerinde istenilen sıcaklık ve nemin yanı sıra dışarıdaki havadan ameliyathane ortamına girmesi muhtemel olan toz ve partiküllerin temizlenebilmesi için, iklimlendirme sistemi ile entegre çalışan %90 veya üzerinde havayı temizleye bilen filtrasyon sisteminin de olması önemlidir. Ayrıca kullanılan havalandırma sistemlerinde enfeksiyonlar üreyip çoğalma yoluyla daha fazla yayıldığı için ameliyathane havalandırma sisteminin bakımı düzenli olarak yapılmalı ve filtreler belirlenen zaman aralıklarında değiştirilmelidir [9,10]. Fakat, burada da tasarlanan iklimlendirme ve havalandırma sisteminin bakım ve onarımının yapılması esnasında, ameliyathanedeki çalışma düzenine etki etmemesi ve bakım sırasında içerisindeki zararlıları ameliyathane ortamına bırakmaması dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli parametrelerdendir.

Bu çalışmada, Türkiye'de mevcut durumda bulunan bir devlet hastanesinin ameliyathanesinin iklimlendirilmesi sonucunda sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Çalışma kapsamında ameliyathanenin incelenmesinde iki farklı model (Model 1 ve Model 2) tasarlanmış ve tasarlanan bu modeller ANSYS Fluent programı ile simüle edilerek sayısal olarak analiz edilmiştir. Model 1 tavandan üfleme, kenarlardan emme menfezleri ile hava emen bir sistem olarak tasarlanırken Model 2 aseptizör cihazı ile iklimlendirme yapacak şekilde tasarlanmıştır. Sıcaklık dağılımının x ve z eksenler boyunca değişen mesafelerdeki dağılımını görmek, ameliyathanede bulunan ekipmanların sıcaklık dağılımına etkisini belirlemek ve ölü kış bölgelerini bulabilmek için; tasarlanan her bir modelde x düzlemi boyunca beş ve z düzlemi boyunca üç farklı kesitte inceleme yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Ameliyathanelerin İklimlendirilmesi

Ameliyathaneler, hasta sağlığı açısından mikroorganizmaların bulunmadığı yerler olmalıdır. Bu nedenle ameliyathanelere özel iklimlendirme sistemleri tasarlanmaktadır. Genel olarak ameliyathanelerin iklimlendirilmesinde ortamın sıcaklığı ve nemi, personel aktiviteleri ve kıyafetleri, havanın akış yönü, hava basıncı, kullanılan aletlerin temizliği, ameliyathanenin günlük bakımları vb. gibi parametrelere dikkat edilmektedir. Ameliyathanelerin klima sistemlerinde; birinci adımda ön filtre (elyaf filtreler), ikinci adımda duyarlı filtre (torba filtreler) ve üçüncü adımda mutlak filtre (HEPA filtreler) kullanılmalıdır. Kokuların yok edilmesi ve korozyonu etkisini en aza indirmek için kullanılan filtreler ise dördüncü adım filtreleri olarak kullanılabilir [11].

Ameliyathanelerin iklimlendirilmesinde

1. Paket tip hijyen klima
2. Aseptizörler
3. Merkezi sistemler

kullanılmaktadır [12]. Aseptizörler ve paket tip hijyen klimalar %30-%100 arasında ki taze havayı alıp filtrelerden geçirip sonra %70 e kadar ortamda ki havayla karıştırmaktadırlar. Sonrasında karıştırılan hava tekrar filtrelerden geçirilmektedir. İhtiyaca göre sıcaklığını değiştirme, içerisindeki nem miktarını ayarlama gibi işlemler yapılarak istenilen hava elde edilmektedir [12]. Aseptizörler ve paket tip hijyen klimalar en az %30 temiz havayı kullanarak en fazla %70 oranında ki iç ortam havasıyla karıştırarak havayı temizlemekte ve tekrar kullanıma hazırlamaktadır [12]. Taze hava ayarlanabilir olduğu için %30-%100 arasında ayarlanabilmektedir. Bu sistem aseptizör

ve paket tip hijyen klimaların enerji maliyetini merkezi sistemlere göre %60 oranında düşürmektedir. Dahası aseptizör ve paket tip hijyen klimaların kurulumları basittir ve kurulması için fazla bir işlem gerektirmezler [12].

Klimalarda kullanılan HEPA filtrelerinin ömrü en az 1 en fazla 3 yıldır. Aseptizör ve paket tip hijyen klimaların havalandırma kanalları az ve küçük olduğundan bakım işlemleri daha kolay olur. Bakımları düzenli yapıldığı takdirde ise 15-20 yıl boyunca kullanılabilirler. Kapladığı hacim, merkezi sistemlere çok küçüktür ve taşınabilirlerdir [12].

Aseptizör ve paket tip hijyen klimalarında ultraviyole sistemlerde kullanılmaktadır. Ultraviyole sistemler, hava filtreden geçtikten sonra filtrede yakalanamayan 0,03 mikrondan küçük mikroorganizmaların DNA sisteminin bozarak etkisiz hale getirmektedir [12].

Aseptizörler; genel olarak duvardan direkt üfleme ve laminer hava akış ünitesi olarak ikiye ayrılmaktadırlar [12]. Duvardan direkt üfleme aseptizörlerde türbülanslı akış kullanılmaktadır. Türbülanslı hava akımı, havanın daha çok yayılmasını sağlar. Bu durum hava içerisinde mikroorganizmaların hızlı bir şekilde etrafa yayılmasını neden olur [9]. Etrafa yayıldıkları için çoğalmaları daha hızlı bir şekilde olur ve bu istenilen bir durum değildir. Hem bu nedenden dolayı hem de tavan yüksekliğinden dolayı diğer aseptizörlerin kullanılmadığı yerler de kullanılırlar.

Laminer hava akış ünitesinde ortama verilen havada laminer akış kullanılmaktadır. Laminer akış kullanımı daha hijyenik bir ortam sağlamaktadır. Dahası laminer akışla mikroorganizmaların yayılması minimum seviyelere düşürülür ve bu sayede bu organizmaların çoğalmaları engellenir [9]. Laminer hava akış üniteleri ultraviyole sistemleri de içermektedir. Laminer akış, havanın akışının homojen olmasını sağlamanın yanı sıra ameliyat masası ve çevresindeki mikroorganizmalarında ortalama 0,25 m/s'lik akış hızıyla dışarı atılmasını sağlar [13].

Merkezi sistemler; aseptizör ve paket tip hijyen klimalardan daha büyüktür. Ayrıca hava aktarımının sağlandığı kanallar daha uzun ve fazladır. Merkezi sistemler havayı ortamdaki alırlar ve alınan hava direkt filtrelere gönderildiği için hava içerisindeki partiküller zamanla filtreye zarar verir buda filtre kullanım süresini azaltır. Filtre ömürleri kısa olacağı için 1 yıl içerisinde değiştirilmesi gerekir. Merkezi sistemler, havayı içerisindeki partikülleri arındırmadan aldığı için hava aktarımını sağlayan kanallarda bulunan mikroorganizmaların da hızla artmasına neden olur [12]. Kanallar zamanla aşındı için basınç, verim ve debi kayıplarına yüksektir ve bu durumda maliyetin artmasına neden olur. Enerji maliyetleri diğer sistemlere göre daha fazladır. Merkezi sistemlerin kapladıkları hacim fazla olması nedeniyle genellikle ameliyathanelerin dışarısında kalır ve taşınması mümkün değildir. Ameliyathane dışarısında kalması temiz havanın ameliyathaneye gelme süresini uzatır ve iç yapısının değişmesine neden olur. Bu yüzden istenilen verim elde edilemez [12].

2.2. Modellenen Sistemin Tasarım Parametreleri

Deney sisteminde kullanılan ameliyathane, Türkiye'de bulunan bir devlet hastanesi içerisinde bulunan ameliyathanenin fiziki ölçüleriyle aynıdır. Ameliyathane 600 cm eninde 600 cm boyunda 290 cm yüksekliğindedir. Model 1 ve Model 2 olarak iki farklı iklimlendirme sistemi kullanılmıştır. Deneyde kullanılan her iki iklimlendirme sistemi de yaz ve kış şartlarındaki çalışma durumunun belirlenebilmesi için ocak ve temmuz ayları için modellenmiştir.

Model 1'in tasarım parametreleri:

Model 1 için; tavandan üfleme yapan 6 adet 57x59 cm üfleme menfezi ve yan duvarlardan emme yapan 2 adet 14x29 cm emme menfezi kullanılmıştır. Çalışma boyunca hava hızı 0,4 m/s olarak alınmıştır.

Ocak ayı için;

Ortam havasının sıcaklığı:15 °C Üfleme havasının sıcaklığı:21 °C

Temmuz ayı için;

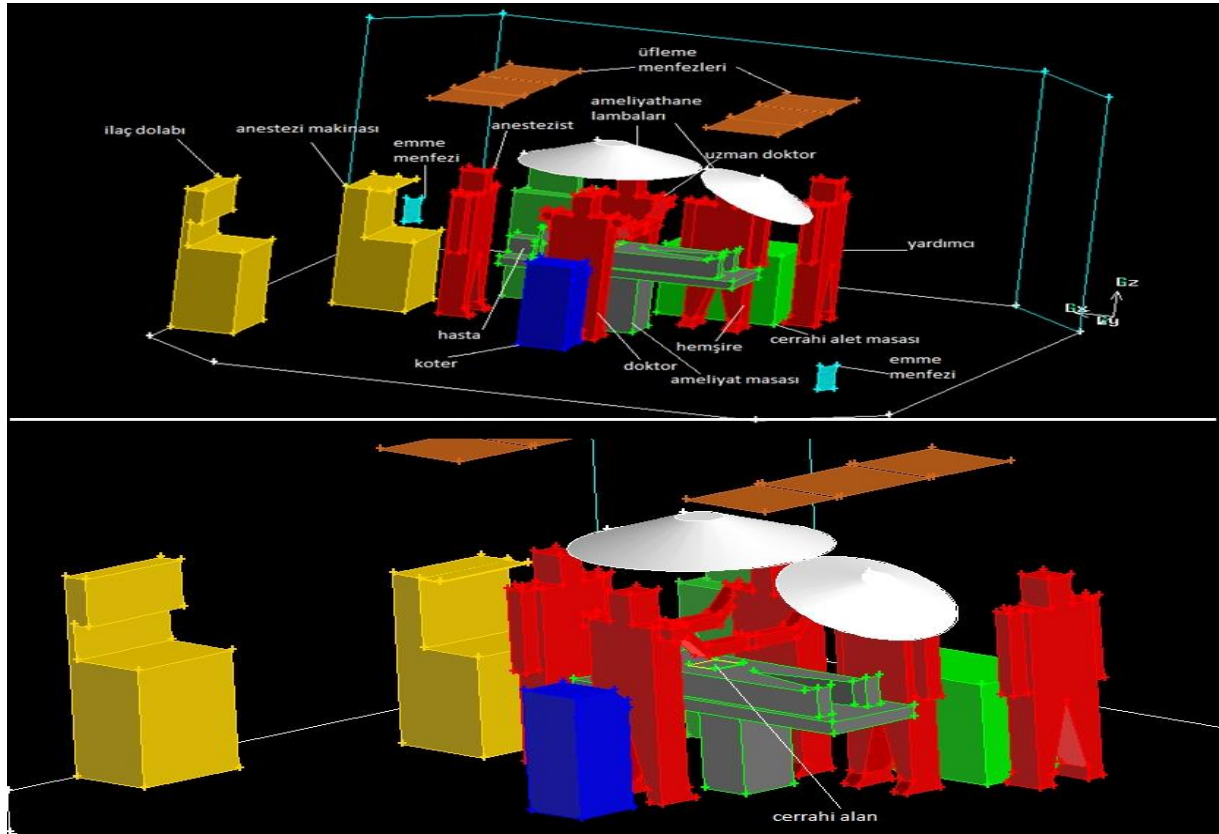
Ortam havasının sıcaklığı:25 °C Üfleme havasının sıcaklığı:20 °C

olarak alınmıştır.

Tablo 1. Model 1'de Ameliyathane İçerisinde Bulunan Cihaz ve İnsanların Ölçüleri ve Isı Yayımları

	Ölçüler	Isı Yayımları
Ameliyat Masası	190x60x70 cm	Yok
Cerrahi ışıklar	70 cm çap,25 cm yükseklikte yarı küre	50 °C
	50 cm çap,20 cm yükseklikte yarı küre	40 °C
Cerrahi kadro	20x66x175 cm	37 °C
Cerrahi alan	20x25 cm	37 °C

Hasta	20x60x175 cm	20 °C
Anestezi makinesi	60x65x145 cm	70 °C
Koter cihazı	38x38x103 cm	45 °C
Monitör ve standı	Monitör; 10x40x35 cm Stant; 45x50x130 cm	40 °C
Cerrahi alet masası	60x95x85 cm	Yok
İlaç dolabı	50x70x170 cm	Yok
Üfleme menfezi	57x59 cm	Yok
Emme menfezi	14x29 cm	Yok



Şekil 1. Model 1 için yapılan çalışmada ameliyathanenin ve içerisinde bulunanların şematik gösterimi

Model 2'in tasarım parametreleri:

Model 2'nin iklimlendirmesi için kullanılan aseptizör cihazında 2 adet 54x54 cm üfleme çıkışı, 2 adet 35x60 cm emme girişi bulunmaktadır. Kullanılan aseptizör sisteminde sıcaklık 16-25 °C aralığında ayarlanabilirken bağıl nem değeri de %30-%70 aralığında tutulabilmektedir. Hava üfleme hızı 1 m/s olarak kabul edilmiştir.

Ocak ayı için;

Ortam havasının sıcaklığı:15 °C Üfleme havasının sıcaklığı:21 °C

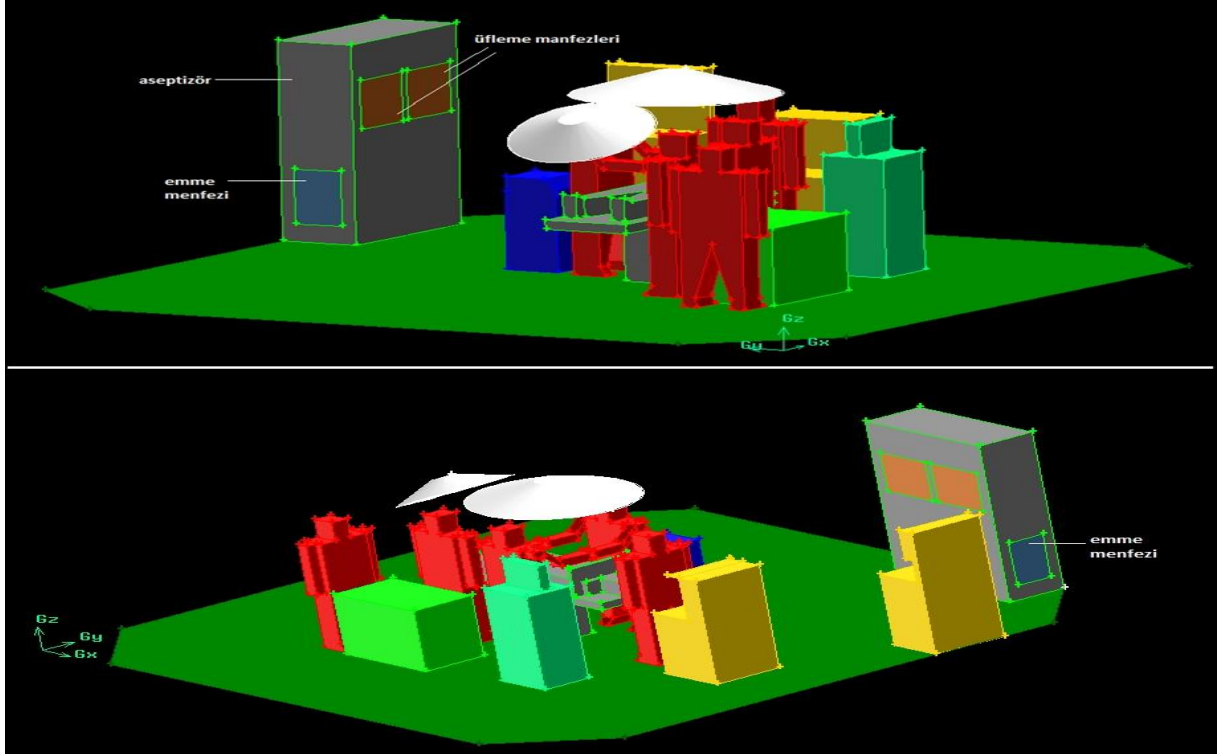
Temmuz ayı için;

Ortam havasının sıcaklığı:25 °C Üfleme havasının sıcaklığı:17 °C

olarak alınmıştır.

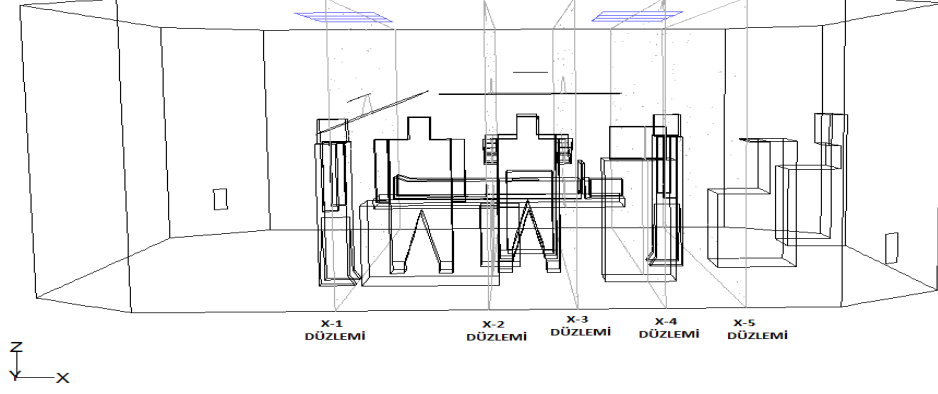
Tablo 2. Model 2'de Ameliyathane İçerisinde Bulunan Cihaz ve İnsanların Ölçüleri ve Isı Yayım Değerleri

	Ölçüler	Isı Yayımı
Ameliyat Masası	190x60x70 cm	Yok
Cerrahi ışıklar	70 cm çap, 25 cm yükseklikte yarı küre 50 cm çap, 20 cm yükseklikte yarı küre	50 °C 40 °C
Cerrahi kadro	20x66x175 cm	37 °C
Cerrahi alan	20x25 cm	37 °C
Hasta	20x60x175 cm	20 °C
Anestezi makinesi	60x65x145 cm	70 °C
Koter cihazı	38x38x103 cm	45 °C
Monitör ve standı	Monitör; 10x40x35 cm Stant; 45x50x130 cm	40 °C
Cerrahi alet masası	60x95x85 cm	Yok
İlaç dolabı	50x70x170 cm	Yok
Aseptizör cihazı	55x135x220 cm	Yok

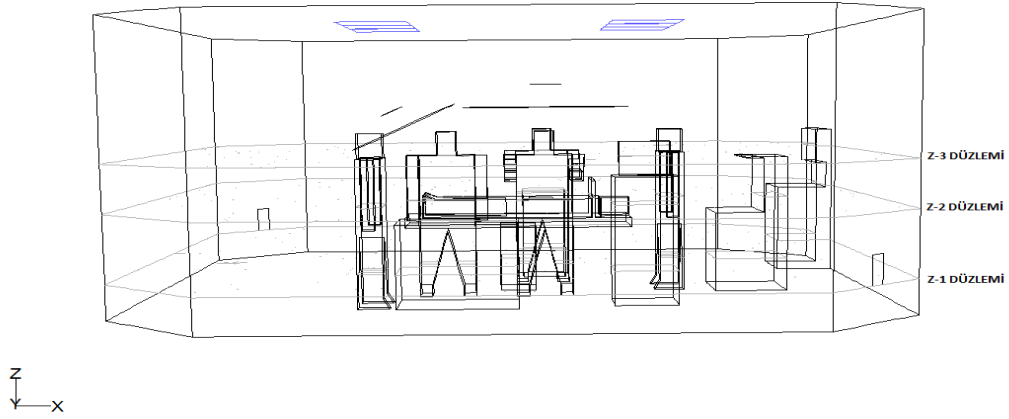


Şekil 2. Model 2 için yapılan çalışmada ameliyathanenin ve içerisinde bulunan cihazların şematik gösterimi

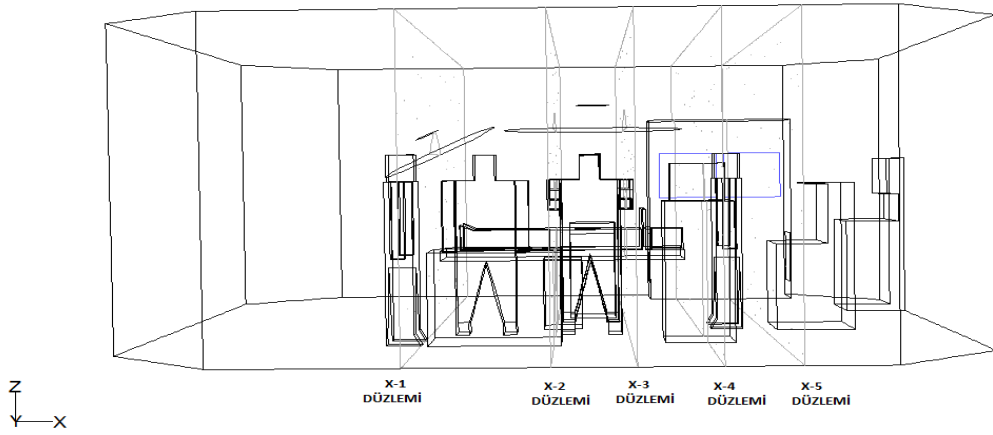
Model 1 ve Model 2’de üfleme menfezi çıkışlarındaki ve cerrahi kadronun etrafındaki hava akışının en iyi şekilde incelenmesi için; x düzleminde 5 ayrı kesit alınmıştır. Ayrıca, cerrahi kadronun rahat çalışmasının incelenmesi için personelin baş seviyesindeki kesiti, cerrahi alandaki hava akışının incelenmesi için cerrahi alan üstündeki kesit ve zemindeki havanın akışını incelemek için zemin seviyesi kesitlerini incelemek için 3 farklı z kesiti incelenmiştir.



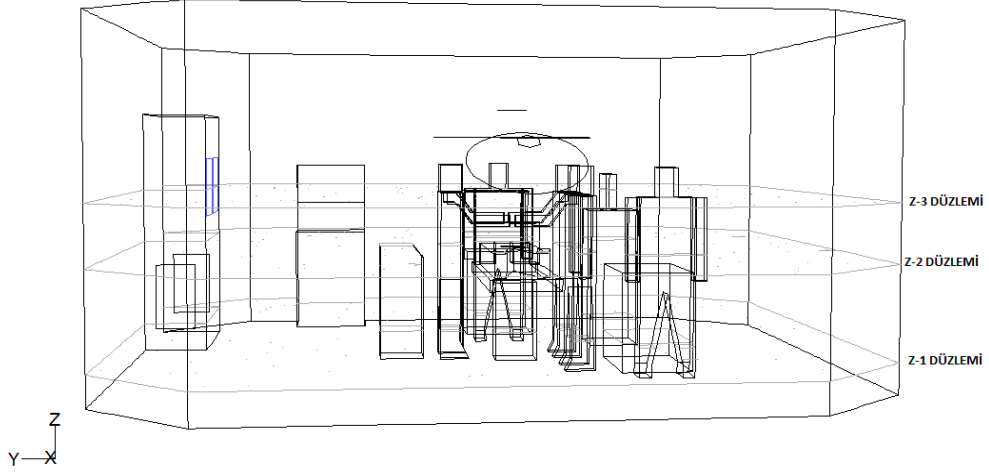
Şekil 3. Model 1 için x düzleminde alınan kesit görüntüleri



Şekil 4. Model 1 için z düzleminde alınan kesit görüntüleri



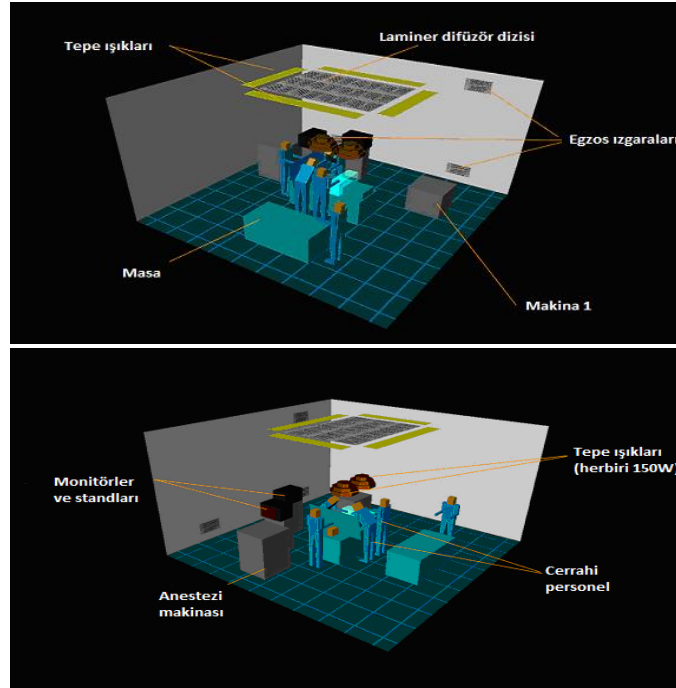
Şekil 5. Model 2 için x düzleminde alınan kesit görüntüleri



Şekil 6. Model 2 için z düzleminde alınan kesit görünüşleri

2.3. Matematiksel Model ve Kabuller

Akışkan dinamiğinin çözümü ve modellenmesi için ANSYS Fluent 6.3 programı kullanılmıştır. Fakat program içeriğinde ameliyathane şeklini oluşturmak için çizim programı bulunmamaktadır. Bu nedenle ameliyathanenin tasarımı için Fluent 6.3 programıyla uyumlu olan Gambit çizim programı kullanılmıştır. Gambit programı ile tasarlanan ameliyathane sonrasında Fluent 6.3 programına aktarılmış ve sistemin modellenmesi yapılmıştır. Ameliyathanedeki ekipmanlar ve cerrahi kadronun yerleşim planının belirlenmesinde Memarzadeh ve Manning'in çalışmalarında kullandıkları yerleşim planı baz alınmıştır [14].



Şekil 7. Memarzadeh ve Manning'in çalışmalarında kullandıkları yerleşim planı [14]

Çalışmada kullanılan hava, ideal gaz ve sıkıştırılmaz olarak kabul edilmiştir. Yapılan kabuller doğrultusunda kararsız akım için süreklilik denklemi, enerji denklemleri, hareket denklemleri ve türbülanslı akım oluşması durumunda k-ε türbülanslı denklemleri belirlenmiştir. Sürekli rejim şartlarında üç boyutlu sıkıştırılmaz laminer akım için süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Burada,

u : x yönünde ki hareket hızı

v : y yönünde ki hareket hızı

w: z yönünde ki hareket hızı

belirtmektedir. Süreklilik şartlarında momentum denklemleri;

$$\frac{\partial u}{\partial t} = 0 \quad \frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad \frac{\partial w}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

olarak yazılabilmektedir. x doğrultusunda;

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

y doğrultusunda;

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + g\beta(T - T_1) \quad (4)$$

z doğrultusunda;

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

Bu eşitliklerde;

β : Isıl genleşme katsayısını

T : Ortam sıcaklığını

T_1 : İşlem sırasındaki sıcaklığı

ifade etmektedir. Enerji denklemi ise;

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (6)$$

eşitliği şeklinde yazılır. Isıl difüzyonu ifade eden α ,

$$\alpha = \frac{k}{c_p} \quad (7)$$

formülüyle hesaplanır. Burada;

α : Isıl difüzyon katsayısını (m^2/s)

k : Isı iletim katsayısını (W/mK)

c_p : Sabit basınç altında özgül ısıyı (J/kgK)

ifade etmektedir. Bu denklemler Fluent 6.3 programında belirlenmiş sınır şartları altında çözülerek tasarlanmış olan sistemlerin kabuller altında modellenmesi yapılmıştır.

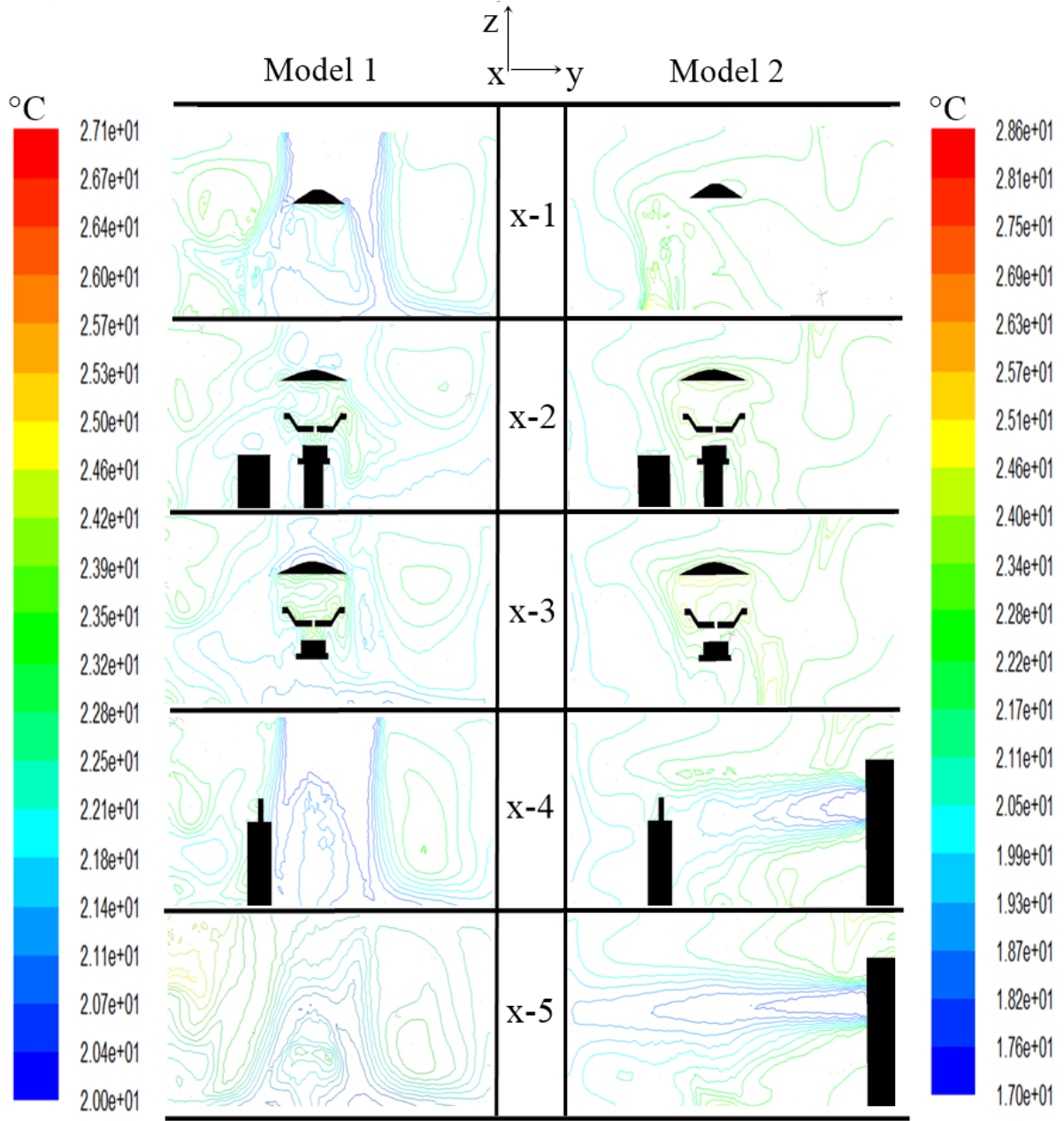
Bu denklemleri çözmek için Boussinesq yaklaşımı basit iterasyon yöntemi ve kapalı şema çözümleme yöntemi uygulanmıştır. Basit iterasyon yöntemi kararlı ve kararsız akımlar için kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada akım lineer olmayan kararsız bir akım olduğundan iteratif sonlu farklar çözüm yöntemi kullanılmıştır. Bunun nedeni ise kapalı hacimlerde ısı transferi ve akışkan hareketi problemlerinin çözümü için süreklilik, enerji ve momentum denklemlerinin aynı anda çözülmesi gerekesidir. Fakat, bu üç denklem de lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemlerdir ve analitik olarak çözülememektedirler.

Denklemlerin çözülmesi için ilk önce cebirsel denklemlere dönüştürülmeleri gerekir. Cebirsel denklemlere dönüştürmek için Taylor serisi kullanılır. Dönüştürmelerde merkezi, ileri ve geri farklar kullanılmıştır. Taylor serisi ile elde edilen cebirsel denklemlerin çözümü için Successive Under Relaxation (SUR) metodu kullanılmıştır. Çözüm için akış alanı küçük parçalara bölünmüştür. Teorik olarak çözümün akış alanının her bir noktası için yapılması gerekmektedir. Fakat bu durum sonsuz sayıda nokta ve sonsuz sayıda denklem demektir. Bu nedenle akış alanı küçük bölgelere bölünerek bölgelerin kesiştiği noktalara elde edilen cebirsel denklemler uygulanmıştır. Çözümün hassasiyetini etkileyen durumlardan birisi cebirsel denklemlerin uygulandığı yerler olan düğüm noktalarıdır. Bu nedenle optimal düğüm sayısının belirlenmesi çok önemlidir.

Boussinesq yaklaşımında ise sıcaklık farkının düşük olduğu durumlarda momentum denklemleri yazılmış ve yoğunluğun sıcaklığa bağlı olduğu kabul edilerek y yönündeki kaldırma kuvvetinde ki yoğunluk değişimi değişken x ve z yönündeki yoğunluklar ise sabit alınmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışma kapsamında var olan bir ameliyathane için iklimlendirme sisteminin Fluent 6.3 programı kullanılarak modellenmesi yapılmıştır. Ameliyathane için belirlenen Model 1 ve Model 2 tasarımları için sabit ocak ve temmuz ayı ortalama sıcaklıkları ile Tablo 1 ve Tablo 2'de kabuller bir arada ele alınmış ve fluent programından 1 saatlik çalışma süresi boyunca elde edilen akış görüntüleri kaydedilmiştir. x ve z eksenlerinde belirlenen kesitlerden alınan akış modelleri detaylı olarak incelenmiştir. Model 1 ve Model 2'nin ocak ayında x düzlemlerindeki sıcaklık konturları Şekil 8'de verilmektedir.



Şekil 8. Model 1 ve Model 2 için ocak ayında x düzlemlerindeki sıcaklık konturları (°C)

Şekilde her bir satırdaki resimler x ekseninde boyunca 5 farklı kesitten alınan görüntülerdir. Sol taraftaki sütun ve sıcaklık dağılım skalası Model 1 için alınan sonuçları ifade ederken sağ taraftaki sütun ve sıcaklık dağılım skalası Model 2 için alınan sonuçları ifade etmektedir. Model 1 için elde edilen görüntüler incelendiğinde x-1 kesitinde üfleme menfezi çıkışında ameliyat lambası altında sıcaklığın yaklaşık olarak 20 °C olduğu, diğer bölgelerde ise 18 °C olduğu görülmektedir. Ameliyat lambasının altı ölü bölge olmasına rağmen sıcaklığın 20 °C olmasının temel nedeni ameliyat lambasının ve cerrahi kadronun ürettiği ısıdır.

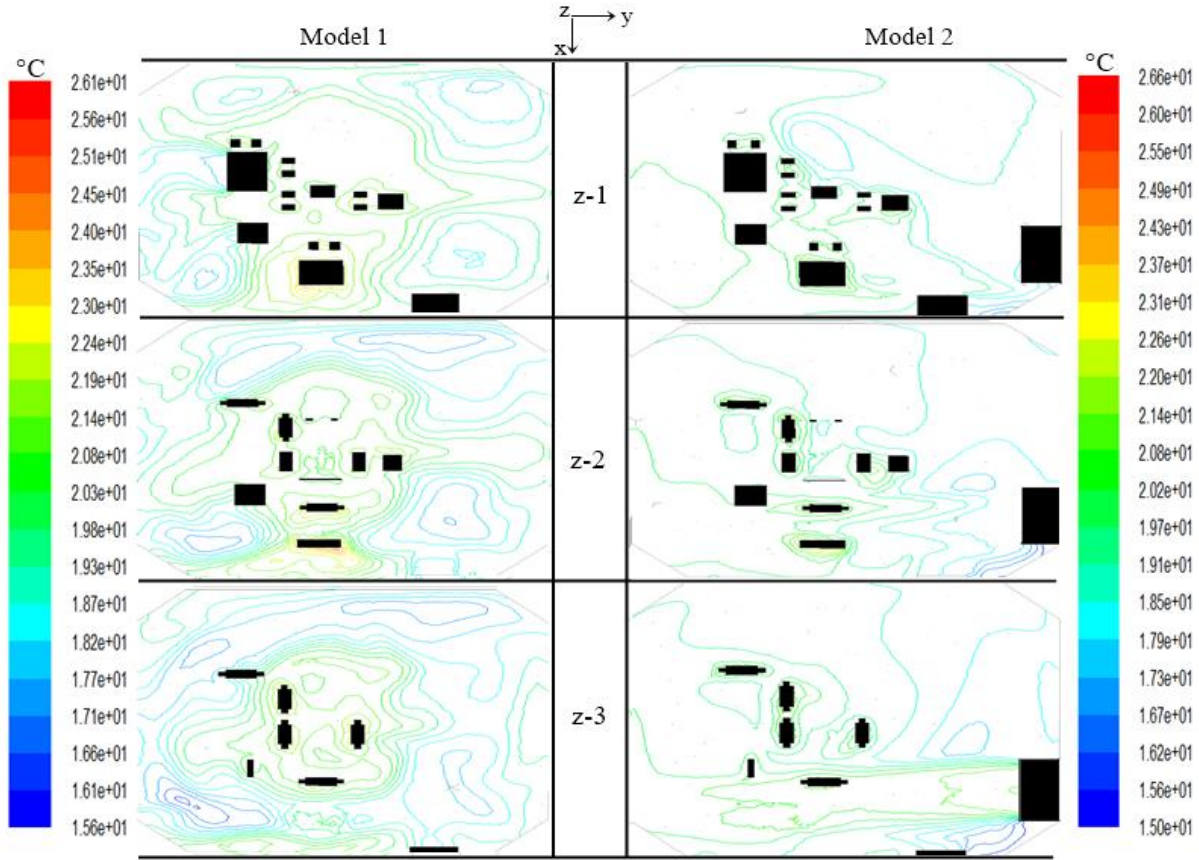
Ocak ayında Model 1 için x-2 kesitinde alınan görüntü incelendiğinde ameliyat lambası ve cerrahi kadronun bulunduğu bölgede sıcaklığın yaklaşık 21 °C olduğu görülmüştür. Diğer bölgelerde ise sıcaklık 18 °C civarındadır. Bu sonuçlar bir arada irdelendiğinde ameliyat masasının ve cerrahi alet masasının sıcaklık dağılımına etkisi belirgin bir şekilde görülmektedir.

Ocak ayında Model 1 için x-3 kesitindeki hesaplamalarda cerrahi kadronun bulunduğu bölgede sıcaklık 21 °C civarında ve diğer bölgelerde 18 °C civarında hesaplanmıştır.

Ocak ayında Model 1 için x-4 kesitinde, cerrahi alet masası ile monitör standı arasındaki bölgeden sürüklenen havanın etkisiyle kesitin orta kısmının küçük bir alanında sıcaklığın 21 °C civarında olduğu ve ameliyathanenin diğer bölgeleri 18 °C olduğu görülmektedir.

Ocak ayında Model 1 için x-5 kesitinin orta kısmında anestezi makinesi önünde 23 °C'lik küçük bir bölgenin oluştuğu ve incelenen kesitin solunda ölü akış bölgesi oluşmasından dolayı 17 °C sıcaklıkta bir bölge oluştuğu görülmüştür. Ameliyathanenin diğer bölgelerinin sıcaklığı ise 18 °C'dir.

Ocak ayında Model 2’de incelenen x kesitlerinde cerrahi alanda ve cerrahi kadronun bulunduğu alanda sıcaklığın 21 °C civarında olduğu ve bu alanda yerden personelin baş hizasına kadar olan seviyede sıcaklık değerlerinin standartlarda belirlenen sınırlara uyduğundan dolayı sıcaklık yönünden Model 2 de kritik bir durumun oluşmadığı görülmüştür.



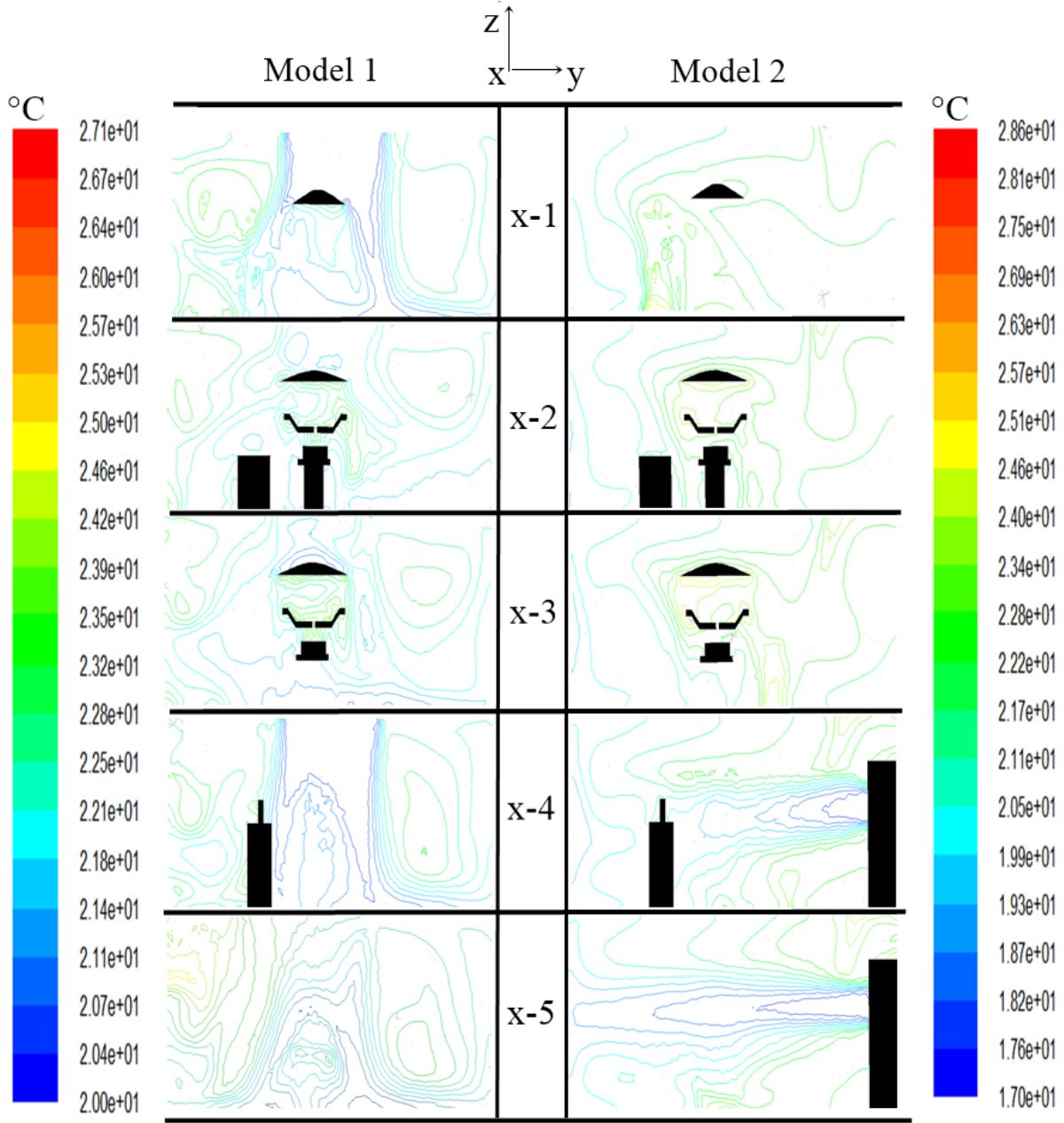
Şekil 9. Model 1 ve Model 2 için ocak ayında z düzlemlerindeki sıcaklık konturları (°C)

Ocak ayında Model 1 için z-1 kesitinin orta bölgesinde 21 °C civarında bir sıcaklığın hakim olduğu görülmektedir. Köşe bölgelerde ise sıcaklık 18 °C civarındadır. Ameliyathane içerisinde bulunan engellerden dolayı sıcaklık farklı bölgelerde değişiklik göstermektedir.

Ocak ayında Model 1’in z-2 kesitinde ise z-1 kesitine benzer bir durum vardır. Sıcaklık orta bölgede 21 °C civarında ve köşe bölgelerde 18 °C civarındadır. Burada sıcaklığın orta bölgeden kenar bölgelere doğru azaldığı görülmektedir.

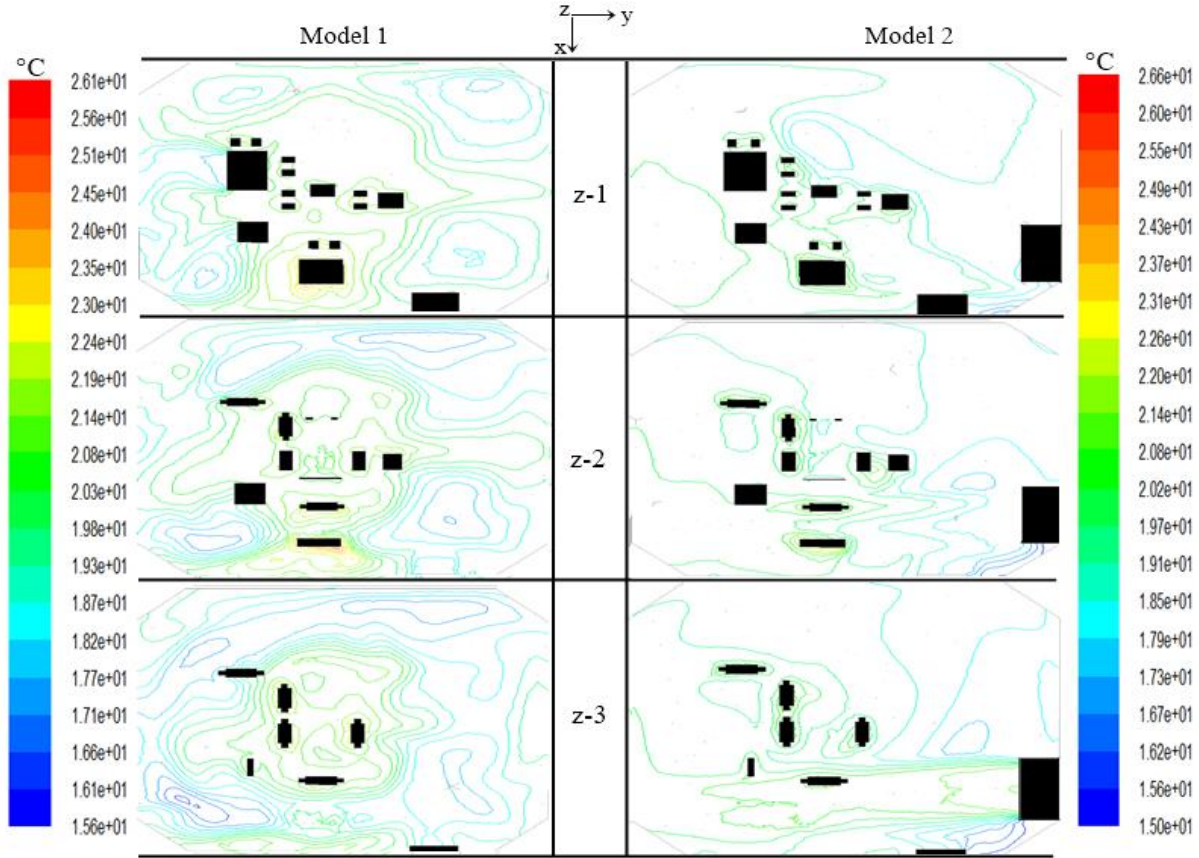
Ocak ayında Model 1’in z-3 kesitinde sıcaklık orta bölgede 21 °C civarında, orta bölgenin alt kısmında anestezi makinesinin oluşturduğu ısıdan dolayı 22 °C civarında ve hava akışının az olduğu kısımlarda 17 °C ile 18 °C arasında olduğu görülmektedir.

Ocak ayında Model 2’de incelenen z kesitlerinde cerrahi alanda ve cerrahi kadronun bulunduğu alanda sıcaklığın 21 °C civarında olduğu ve bu alanda yerden personelin baş hizasına kadar olan seviyede sıcaklık değerlerinin standartlarda belirlenen sınırlara uyduğundan dolayı sıcaklık yönünden Model 2 de kritik bir durumun oluşmadığı görülmüştür. Şekil 9’da Model 2’de aseptizör sağ kısma doğru üfleme yaparken üfleme menfezleri sol kısma doğru üfleme yapmaktadır. Sıcaklık sağdan sola doğru katmanlı olarak artmaktadır.



Şekil 10. Model 1 ve Model 2 için temmuz ayında x düzlemlerindeki sıcaklık konturları (°C)

Temmuz ayında Model 1 için incelenen x kesitinde cerrahi alanda ve cerrahi kadronun bulunduğu bölgede sıcaklığın 23 °C civarında olduğu ve bu bölgede yerden personelin baş hizasına kadar olan seviyede sıcaklık değerlerinin standartlarda belirlenen sınırlara uyduğu görülmüştür. Standartlarda belirlenen sınırlara uyduğundan dolayı sıcaklık yönünden Model 1'in x-kesitlerinde kritik bir durum oluşmamıştır. Ameliyathane lambalarından kaynaklanan ısının oluşturduğu alan Şekil 10'da Model 1 için alınan x-1, x-2 ve x-3 kesitlerinde net bir şekilde görülmektedir. Model 1'de üfleme menfezlerinden çıkan havanın ameliyathane lambalarına çarparak etrafa dağılmasından dolayı cerrahi alan üzerinde verimli bir iklimlendirme yapılamadığı görülmüştür.



Şekil 11. Model 1 ve Model 2 için temmuz ayında z düzlemlerindeki sıcaklık konturları (°C)

Temmuz ayında Model 1 için alınan z kesitleri incelendiğinde üfleme menfezlerinin alt bölgelerinin yaklaşık olarak 20 °C civarında olduğu görülmektedir. Salonun diğer bölgelerinde 23 °C sıcaklık görülmekte olup sıcaklığın yukardan aşağıya doğru artış gösterdiği de açık bir şekilde görülmektedir. Buda ameliyat lambalarının cerrahi alan üzerinde bulunmasından kaynaklanmaktadır.

Temmuz ayında Model 2’de incelenen x ve z kesitlerinde cerrahi alanda ve cerrahi kadronun bulunduğu alanda sıcaklığın yaklaşık olarak 22 °C olduğu ve bu alanda yerden personelin baş hizasına kadar olan seviyede sıcaklık değerlerinin standartlarda belirlenen sınırlara uyduğu gözlemlenmiştir. Sıcaklık değerlerinin standartlarda belirlenen sınırlara uymasından dolayı sıcaklık yönünden Model 1 gibi Model 2’de de kritik bir durumun oluşmadığı görülmüştür. Model 2’de aseptizör, sağ kısma doğru üfleme yaparken üfleme menfezleri sol kısma doğru üfleme yapmaktadır. Sıcaklık sağdan sola doğru katmanlı olarak artmaktadır. Şekil 10’da Model 2 için x-4 ve x-5 kesitlerinde aseptizörün üfleme menfezleri çıkışlarında sıcaklığın sağdan sola doğru katmanlı olarak arttığı görülmüştür.

4. Sonuç

Bu çalışmada, Türkiye’de mevcut durumda bulunan bir devlet hastanesinin ameliyathanesinin iklimlendirilmesi sonucunda sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Çalışma kapsamında ameliyathanenin incelenmesinde iki farklı model (Model 1 ve Model 2) tasarlanmış ve tasarlanan bu modeller ANSYS Fluent programı ile simüle edilerek sayısal olarak analiz edilmiştir. Her bir model için x düzlemi boyunca beş ve z düzlemi boyunda üç farklı kesitte inceleme yapılmıştır. Model 1 için tavandan üfleme ve kenarlardan emme menfezleri ile hava emme şeklinde iklimlendirme yapılırken Model 2 için aseptizör cihazı ile üfleme ve emme yapılmıştır.

Analizler sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde, Model 1 olarak tasarlanan tavandan üfleme, kenarlardan emme menfezleri ile hava emilen modelde incelenen kesitlerden ameliyat lambalarının cerrahi alan üzerinde konumlandırılması sonucu ölü kış bölgelerinin oluştuğu görülmüştür. Yine benzer şekilde monitör, cerrahi alet masası, koter vb. cihazlar tavandan askılı olmadığı için hava sirkülasyonunun engellendiği ve ölü akış bölgelerinin oluştuğu görülmüş olup ameliyat salonu içindeki cihazların mümkünse tavandan askılı olmasının uygun olacağı kanaatine varılmıştır. Bu modelde incelenen kesitlerde salondaki sıcaklık değerlerinin personeli ve hastayı rahatsız edici değerler olmadığı görülmüştür.

Model 2 olarak tasarlanan aseptizör cihazı ile iklimlendirme yapılan modelde incelenen kesitlerde yüksek hava akış hızı nedeniyle ameliyathane personelinin konforsuzluk yaşadığı, cerrahi alan üzerinde laminer akışın sağlanamaması nedeniyle cerrahi alan enfeksiyonu gelişiminin mümkün olabileceği görülmüştür. Bu modelde de model 1’e benzer şekilde monitör, cerrahi alet masası, koter vb. cihazlar tavandan askılı olmadığı için hava sirkülasyonunun engellendiği ve ölü akış bölgelerinin oluştuğu görülmüştür. Ölü akış bölgelerinin oluşumuna aseptizör cihazının yerinin, üfleme menfezleri ve emme menfezlerinin konumunun neden olduğu düşünülmektedir. Aseptizör cihazı ameliyathane salonu içerisinde yer aldığı için filtrelerinin bakımı ve değiştirilmesi esnasında filtrelerdeki partiküllerin salona dökülmesi sonucu ameliyathanede enfeksiyon oluşma riski mevcuttur. Ayrıca aseptizör cihazı içerisinde

emme girişinde emilen havanın nemini almaya yönelik bir düzenek olmadığından, aseptizör içerisindeki havanın yoğunlaşması ve bunun neticesinde cihaz içinde nem oluşumu nedeniyle enfeksiyon üreme riski bulunduğu görülmüştür.

Çalışmanın sonuçları incelendiğinde, standartlara ve literatürdeki çalışmaların sonuçlarına uygun olarak ameliyathanelerde en uygun havalandırma tekniğinin bu çalışmada Model 1 olarak tanımlanan tavandan üfleme menfezleri vasıtasıyla iklimlendirme olduğu görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü bünyesinde ve Dr. Öğr. Üyesi Yıldız KOÇ danışmanlığında yapılmış olan “İklimlendirilen Bir Ameliyathane Salonundaki Hava Akışının Sayısal Analizi” başlıklı tezden üretilmiştir. Yazarlar, çalışma boyunca katkılarından dolayı Üniversite ve Enstitü yönetimine teşekkürü bir borç bilmektedirler.

Kaynakça

- [1] Azizoğlu, F., Onat, B., Sönmez, B., & Hapçioğlu, S. B. (2018) Temiz Oda Standartına Göre Ameliyathane ve Yoğun Bakımların Değerlendirilmesi. *SDÜ Sağlık Bilimleri Dergisi*, 9(4), 26-31.
- [2] Polat Y. (2011). Bir ameliyathane salonu iklimlendirilirken oluşan hava akımının sayısal analizi. Mustafa Kemal Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi Ocak-2011.
- [3] Gezgin, E., & Gökaş, S. Ameliyathanede iklimlendirme. *Hemşirelik Bilimi Dergisi*, 1(1), 100-109.
- [4] Pittet, D., & Duce, G. (1994). Infectious risk factors related to operating rooms. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 15(7), 456-462.
- [5] Tosun MF, Karakuş C, Yağlı H, Baltacıoğlu H. (2015) Yoğun Bakım Ünitesinin Hijyenik İklimlendirme Hesabı ve Örnek Uygulama. *TTMD Dergisi*; 95: 30-36.
- [6] Oğuzalp, E.H. (2011). Ameliyathanelerin steril yapılmasında mimari detaylar ve bir şartname altyapı çalışması. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26(1), 10-22.
- [7] Chow, T. T., & Yang, X. Y. (2004). Ventilation performance in operating theatres against airborne infection: review of research activities and practical guidance. *Journal of Hospital Infection*, 56(2), 85-92.
- [8] Sağlık Bakanlığı (2018). Hastanelerde havalandırma ve kontrolü talimatı. (Erişim tarihi: 20.02.2019) <https://dosyahastane.saglik.gov.tr/Eklenti/80537,entl07-hastanelerde-havalandirma-ve-kontrolu-talimatipdf.pdf?0>
- [9] Erciyes Üniversitesi. Hastanelerde Havalandırma Sistemi İlkeleri Raporu. (Erişim tarihi: 20.02.2019) <http://hastaneler.erciyes.edu.tr/Content/files/pdf/pdf/Hastane%20havalandirmasi.pdf>
- [10] Peker T. (2007). Ameliyathanelerde standart, yönetmelik ve denetim boşluğu ve MMO yaklaşımı. *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*. Ekim-2007, İzmir.
- [11] Süngü A. (2007). Ameliyathane havalandırma sistemleri IVF ve genetik laboratuvar havalandırma sistemleri. *5. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi*. Nisan-2007, Antalya.
- [12] Taşdemir C. Hastane Ameliyathane ve Yoğun Bakımlarda Modüler Hijyen Klima Teknolojisi ve Enerji Maliyetleri. (Erişim tarihi: 20.02.2019) <https://docplayer.biz.tr/7959664-Hastane-ameliyathane-ve-yogunbakimlarda-moduler-hijyen-klima-teknolojisi-ve-enerji-maliyetleri.html>
- [13] AirTech (Erişim tarihi: 21.01.2019) <http://www.air-tek.com.tr/laminer-akim-uniteleri-ve-hepa-filtre-kutulari/sayfa/2/40>
- [14] Memarzadeh, F., & Manning, A. P. (2002). Comparison of operating room ventilation systems in the protection of the surgical site/Discussion. *ASHRAE transactions*, 108, 3.



Cancer Risk Determination for IDA villages by using Annual Gamma Doses in Air, around Edremit & Ayvacık Districts; Balıkesir & Çanakkale, TURKEY

Muttalip Ergun Turgay^{1*}

¹ Engineering Faculty, Yalova University, 77200, Yalova, Turkey

(First received 14 January 2019 and in final form 14 March 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.512562)

ATIF/REFERENCE: Turgay, M. E. (2019). Cancer Risk Determination for IDA villages by using Annual Gamma Doses in Air, around Edremit & Ayvacık Districts; Balıkesir & Çanakkale, TURKEY. *European Journal of Science and Technology*, (15), 433-439.

Abstract

Main focus of this study is to measure outdoor gamma dose rates for IDA villages around Edremit and Ayvacık districts. This touristy location, is so closest to seismic zone and thermal water sources, has lodgings huge human population especially in summer season. It is important that not only local people but also for visitors, too. Total measurements on 75 different stations, were obtained and then calculated the annual dose. Average dose rate was calculated to $162.04 \text{ nGyhr}^{-1}$. Annual dose is $198.66 \text{ } \mu\text{Sv}$. On the other hand, access life time cancer risk was calculated for studing area. It is equal to 6.95×10^{-4} . These values were compared with the World's references (UNSCEAR) and assumed. . This study would be referenced for futher works, besides it will be usefull while comparing with the different studies for IDA which, will be completed in the future, for example after a radioactive pollution, such as a reactor leakage, weapon's effect, etc., too.

Keywords: Radioactivity, ADRA, AEDE, air, Outdoor gamma dose, Cancer risk, Mount IDA.

Balıkesir&Çanakkale Bölgesi, Edremit&Ayvacık Sınırlarındaki Kazdağı Köylerinde Havadaki Yıllık Gama Dozlarını Kullanarak Kanser Risk Hesabı

Öz

Çalışmada Edremit ve Ayvacık ilçeleri sınırlarında bulunan Kazdağı Köylerinde, öncelikle havadaki gama doz hızlarının ölçülmesi hedeflenmiştir Deprem kuşağına ve termal su kaynaklarına yakın olan bu turistik bölgeyi de kapsayan Kazdağında, özellikle yaz sezonunda oldukça yoğun nüfus ağırlanmaktadır. Bu suretle sadece yöre insanını değil aynı zamanda ziyaretçilerini de ilgilendirmektedir. Toplamda 75 farklı ölçüm noktasında gama doz hızları alınmıştır. Ortalama doz hızı $162.04 \text{ nGyhr}^{-1}$ ve yıllık doz ise $198.66 \text{ } \mu\text{Sv}$ hesaplanmıştır. Bu değerler yardımıyla kanser risk hesabı yapılmış ve 6.95×10^{-4} bulunmuştur. Her üç değer de, literatürde geçen diğer ulusal/uluslararası değerlerle mukayese edilmiştir. Yine UNSCEAR değerleriyle de nisbeti görülmektedir. Bu çalışma, ileride yapılacak benzer/bölgesel araştırmalara referans olabilecektir. Yine muhtemel bir radyoaktif sızıntı sonrasında aynı ölçüm noktalarında yeniden alınacak değerlerle mukayesesi, sızıntı boyutu hakkında detaylı bilgi verebilecektir.

Anahtar Kelimeler: Radyoaktivite, ADRA, AEDE, Hava, Dış ortam Gama dozu, Kanser riski, Kazdağı.

1. Introduction

From beginning of humanity, radioation energy had been exposed to all over the world continuously. Radioactivity which a randomize event, occurs naturally (primordial nuclides) or by artificial processes. The largest contribution to total radiation dose received by humans, comes from Natural Radiation. Therefore environmental radioactivity measurements are necessary for

¹ Corresponding Author: Yolava University, Engineering Faculty, Yalova University, 77200, Yalova, Turkey

determining the background radiation level especially due to natural radioactivity sources. The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR, 2008) estimates the global average human exposure from natural radiation sources as 2400 μ Sv per year [1]. Whenever measure the outdoor gamma dose rates, it contains of the additive values both terrestrial and cosmic effects. That's important in advance to analysis the initial data.

1.a. Literature Survey

Over the past two decades, there are a lot of papers due to radioactivity levels have been published for absorbed dose in air for Turkish provinces [7],[9],[10],[11],[12],[13],[15],[17]. By the way there is not observed study for special **IDA** villages in literature. Besides there are also stated the worldwide studies in literature. As an example of them; in 2002, Ghiassi and Mortavazi have measured the absorbed gamma dose rates in air for Ramsar region of Persia. They have studied the effects of radiation on human life. The annual dose was also calculated that it is 260 mSv and this value is more higher than the stipulated annual limit of 20 mSv in North Persia. In genetic works, the effects of this high level were obtained the differency of the blood lenfosid samples of humans [8]. In this study, main thema is to measure dose rates in air where different locations throughout the IDA villages around Edremit and Ayvacık districts, and then assess the cancer risk to human life, after calculation of outdoor gamma doses.

2. Material and Method

2.a. Inhalation

The natural radiation which measured outdoor gamma dose, consist of cosmic rays and terrestrial radiation. Cosmic dose depends on the altitude and latitude as directly proportional. While measuring of outdoor gamma dose, cosmic and terrestrial doses, both are counted totally. Near by, Terrestrial effect can be measured via gamma-ray spectroscopy separately, too. To obtain of airborne radioactivity, provides the first oppurtunity to identify the spectrum of radionuclides making up the contamination. Radionuclides will very rapidly appear in ground level air, and air samples can give the first indication of the nature of the contamination. Radioactive materials in the air may result in exposure to human by inhalation.

2.b. Measuring Area

IDA mountains, the northwestern region of Turkey, are closed to Egean Sea. some 20 miles southeast of the ruins of **Troy**, along the north coast of the **Gulf of Edremit**. It is located to 39°37'- 39°27' N as latitudes and 26°56'- 26°16' E as longitudes. Highest pick is Karataş (1774 m). It is located between Edremit (Balıkesir) and Ayvacık (Çanakkale). The summit is windswept and bare with a relatively low tree line due to exposure, but the slopes of this mountain, at the edge of mild Mediterranean and colder central Anatolian climate zones, hold a wealth of endemic flora, marooned here after the Ice Age. The climate at lower altitudes has become increasingly hot and dry in the deforested landscape. The dry period lasts from May to October. Rainfall averages between 631 and 733 mm per year. The mean annual temperature is 15.7 degrees Celsius. Currently a modest 2.4 km² of Mount Ida are protected by Kaz Dağı National Park, created in 1993 [2]. Location of Mount Ida is shown in Figure 1.



Figure 1: Regional Map of IDA Mountains, Turkey [3]

2.c. Measurement System

The outdoor air dose gamma rate measurements around Hatay province were perfected by using a counter (Eberline, ESP-2), portable device and connected with a SPA-6 model plastic scintillator. Instrument was kept up to 1m from soil surface and at the sampling point, measurement duration was 60 second. Then the average dose rates were recorded. The main instrument is ESP-2. Related detector was connected to the ESP-2 via an MHV-series coaxial connector. Readout of detector has been presented with 2×16 alphanumeric display, LCD. This ratemeter is operated by CPU/Intel 80C31 processor family and has got external RAM 8KB, EPROM 16KB. The scintillation detector body (SPA-6) connected to the counter (ESP-2), was selected to optimize its output for the radiation of interest. It provides the pulse signal to the electronics for counting. The pulse rate from the detector is proportional to the radiation field intensity at the detector. The high voltage supply provides the required bias voltage to the detector. The high voltage is keyboard adjustable and provides the correct operating voltages for a large selection of detectors. The low voltage supply regulates the operating voltage for the ESP-2 electronics (Figure 2). The amplifier is a linear, adjustable gain, multistage design. It amplifies the signal from the probe to a usable level at the amplifier output. The discriminator provides a signal on its output only if the signal from the amplifier exceeds the adjustable threshold. This provides a means for rejecting noise and/or unwanted signal.



Figure 2: ESP-2 Rate meter and SPA-6 scintillation detector, Eberline [4]

3. Results and Discussion

3.a. Outdoor dose rates as originated to both terrestrial and cosmic ray effects totally.

Absorbed gamma doses are originated to terrestrial and cosmic rays together. In order to obtain the absorbed gamma dose rates in air, the instrument was kept about 1 meter upperside from ground level. Because about on this level; it is important that how much dose exposed in air against to human gonad. The human gonad is the more important organ against to radiation damage. Annual doses in air were also calculated by using the gamma dose rates. Coordinates, dose rates, annual doss and cancer risk which related to 75 pcs points were given in **Table 1**. Besides, dose rate map was also given in Figure 3. Bar chart for Annual dose was depicted in Figure 4. Due to village's name, the vertical bars are arranged consequently as well as in Table 1.

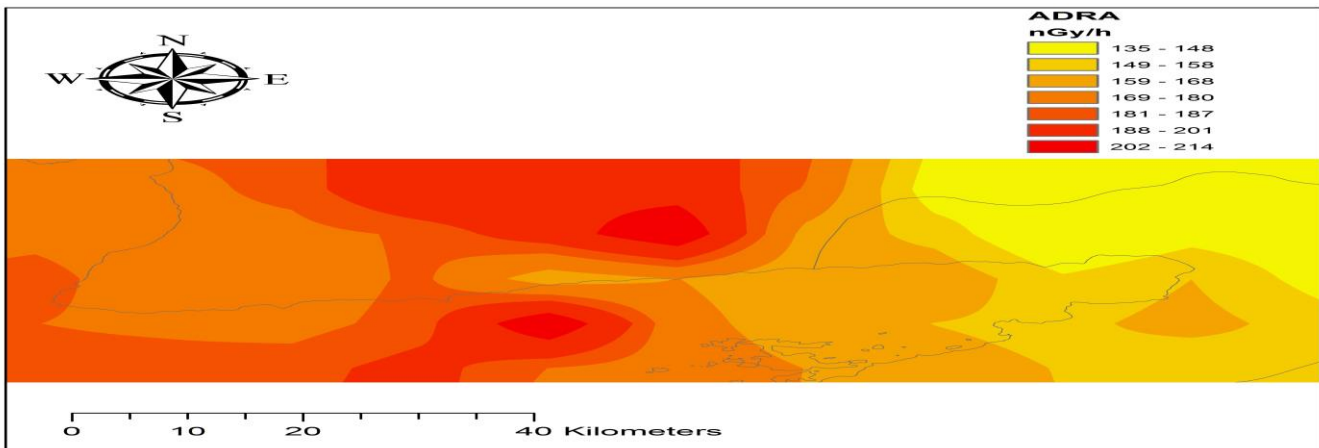


Figure 3: Outdoor gamma dose rate map (nGyh⁻¹) [5]

3.b. Determination of Annual Effective Dose Equivalent (AEDE) by using absorbed gamma dose rates in air (ADRA)

It is possible to calculate annual effective dose equivalent (AEDE) by using average measured (absorbed) gamma dose rate for all counties via using the values given in Table 1 with reference of (UNSCEAR, 2008) [1]:

$$AEDE = ADRA * DCF * OF * T \quad Eq. 1$$

where *ADRA* is absorbed dose rate in air ($nGy\text{h}^{-1}$), *DCF* is dose conversion factor (0.7 Sv Gy^{-1}), *OF* is outdoor occupancy factor (0.2), *T* is exposure time (8760 h y^{-1}). *AEDE* is annual effective dose equivalent (μSv). The annual effective dose equivalent values were shown for all counties in the **Table 1**.

The outdoor gamma dose rate map is given in Figure 3. The average outdoor gamma dose rate was calculated to **162.04 nGyhr⁻¹**. By using average gamma dose rate; the *average* annual outdoor gamma dose was determined to **198.66 μSv** for IDA villages.

3.c. Determination of Excess Lifetime Cancer Risk

Excess Lifetime Cancer Risk was calculated using by AEDE value (ICRP, 2007);

$$ELCR = AEDE * DL * RF \quad Eq. 2$$

where *AEDE* is annual effective dose equivalent (μSv), *DL* is duration of life (70 year), *RF* is risk factor (Sv^{-1}) as fatal cancer risk per Sv [calculate to stochastic effects; ICRP 60 [6] uses values of 0.05 for the public (ICRP, 2007). *AEDE* and *ELCR* values were given in Table 1.

Table 1: Coordinates, Dose Rates, Annual Doses and Cancer Risk for 75 different stations around IDA

Village's Name (nm. of sampling)	Latitude [(° ' ") , N], range	Longitude [(° ' ") , E], range	Abrosbed Dose Rate [nGyhr ⁻¹], range/average	Annual av. Dose (μSv)	Excess Lifetime Cancer Risk [$*10^{-4}$]
Zeytinli (10)	39 37 21- 39 37 34	26 56 17- 26 56 36	26.07-295.46/137.15	168.15	5.89
K.keçili (6)	39 37 08- 39 37 57	26 55 07- 26 55 16	69.52-269.39/145.54	178.43	6.25
Güre (7)	39 36 46- 39 37 08	26 52 52- 26 55 07	69.52-295.46/162.95	199.78	6.99
Avcılar (6)	39 34 09- 39 34 57	26 48 11- 26 54 19	43.45-269.39 /140.42	172.16	6.03
Altınoluk (7)	39 33 50- 39 34 58	26 44 03- 26 44 28	43.45-295.46/144.92	177.67	6.22
Narlı (5)	39 32 57- 39 34 24	26 37 19- 26 43 45	52.14-295.46/150.34	184.32	6.45
EDREMIT (41)	39 32 57- 39 37 57	26 37 19- 26 56 36	26.07-295.46/146.20	179.24	6.27
Adatepe (5)	39 32 56- 39 34 02	26 36 57- 26 37 28	69.52-321.53/163.48	200.43	7.02
Yeşilyurt (5)	39 33 14- 39 33 27	26 34 12- 26 34 18	52.14-443.19/216.50	265.43	9.29
Nusratlı (2)	39 34 39- 39 34 46	26 32 38- 26 32 39	104.28-321.53/183.23	224.64	7.86
Arıklı (3)	39 30 48- 39 33 55	26 28 42- 26 31 48	78.21-321.53/173.02	212.12	7.42
Ahmetçe (3)	39 30 46- 39 32 49	26 28 39- 26 29 31	34.76-434.50/186.57	228.74	8.00
Sazlı (3)	39 30 52- 39 31 15	26 27 49- 26 29 27	34.76-199.87/116.85	143.26	5.01
Kozlu (3)	39 27 57- 39 29 17	26 28 32- 26 29 00	104.28-356.29/226.64	277.86	9.73
Büyükhusun (3)	39 30 32- 39 30 51	26 24 13- 26 29 24	78.21-312.84/178.70	219.09	7.67
Behram (7)	39 29 13- 39 29 34	26 16 57- 26 20 18	43.45-391.05/178.12	218.38	7.64
AYVACIK (34)	39 27 57- 39 34 46	26 16 57- 26 37 28	34.76-443.19/181.13	222.07	7.77
TOTAL (75)	39 27 57- 39 37 57	26 16 57- 26 56 36	26.07-443.19/162.04	198.66	6.95

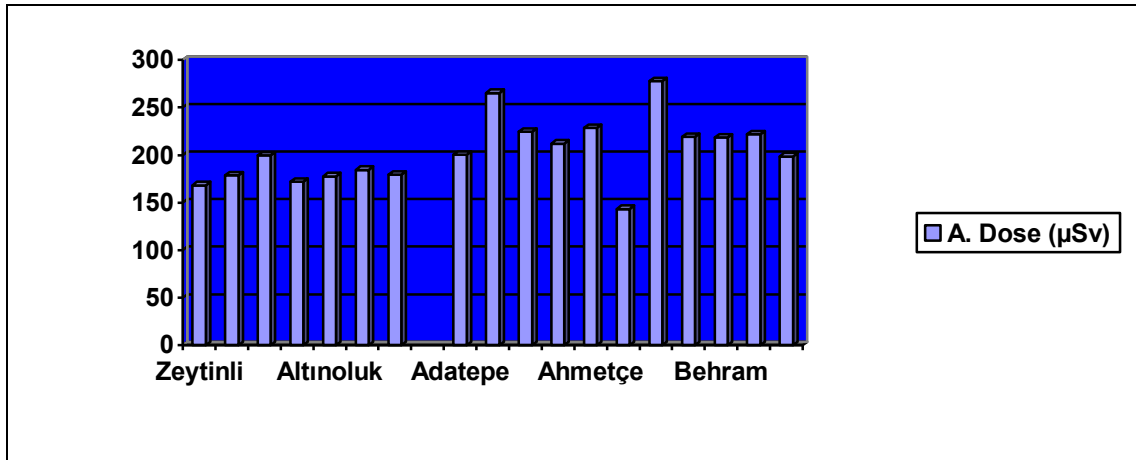


Figure 4: Bar chart for Annual Dose

4. Conclusions and Recommendations

4.a. Statistics and comparison

In our study, the mean values of outdoor gamma dose rate and annual outdoor gamma dose were obtained to **162.04** nGy hr⁻¹ and **198.66** µSv, respectively. Excess Lifetime Cancer Risk was also calculated to **6.95** (*10⁻⁴). With analyzing of Table 4, it could be seen the annual dose and cancer risk, both are up to the World's averages. Near by less than the Artvin's values, too. It is may be geographical similarity and will be usefull to compare both interland due to soil and water samples. That's are also closed to the Balıkesir's averages. This study's results are matched them. It is necessary to do further research to assess the causing after soil and water samplings were perfected.

Table 4: Comparison Chart for AEDE and ELCR

[ref no], Region (Nm. of sampling)	Av. Annual Effective Dose Equivalent [µSv]	Av. Excess Lifetime Cancer Risk [x10 ⁻⁴]	Reference, year
[10] Adana	82.00	2.87	Değerlier, 2008
[17] Ankara (341)	71.83	2.69	Kapdan, et all, 2018
[15] Artvin (204)	214.5	7.50	Taşkın, et all, 2015
[**] Bolu (74)	27.23	0.95	Turgay, et all.
[**] Hatay (215)	63.93	2.24	M. E. Turgay.
[13] Balıkesir (92)	156.3	6.30	Kapdan, et all, 2011
[12] Çanakkale (379)	81.4	2.85	Kam, et all, 2007
[7] İstanbul (105)	79.72	2.79	G. Karahan, A. Bayülken, 2000
[11] Kastamonu (60)	58.88	2.06	Kam, et all, 2007
[9] Şanlıurfa	74.7	2.62	Kam, et all, 2007
IDA villages (75)	198.66	6.95	This study
[1] World	73.6	2.90	UNSCEAR, 2008
[14] R. De Janeiro, Brasil	90.0	3.15	Licinio, et all, 2013
[8] Ramsar, Iran	105.0	3.68	Ghiassi, et all, 2002
[16] Canary Island, Spain	91.95	3.22	Arnedo, et all, 2017

**not published yet

4.b. Conclusion

Human population in these villages is around 50,000 just for eight months of the year and may be ten times more for summer season. So, this study is important not only for local population but also for the summer house vacationist, too. Maximum dose is calculated for Kozlu village as 277.86 µSv and also minimum cancer risk is obtained to 5.01[x10⁻⁴] for village Sazlı. This study would be also reference for future investigations. Besides it will be usefull and baseline while comparing with the different studies for around IDA which, will be completed in the future, for example after a radioactive pollution, such as a reactor leakage, or regional/global weapon's attacks, etc., too.

References

- [1] UNSCEAR., Report of the United Nations scientific committee on the effects of atomic radiation, sources, effects, and risks of ionizing radiation. United Nations Sales Publication, New York, 2008.
- [2] IDA villages/ Wikipedia.
- [3] IDA villages/ Google Earth.
- [4] <http://www.pchemlabs.com/manuals/pdf/eberline-esp2-technical-manual.pdf>
- [5] Drawing Software was used by CNAEM/TAEK.
- [6] ICRP., ICRP Publication 103 recommendations of the ICRP: annals of the ICRP volume 37/2-4. International Commission on Radiological Protection. Pergamon Pres, 2007.
- [7] G. Karahan, A. Bayülken, (2000), Assessment of gamma dose rates around **Istanbul** (Turkey), Journal of Environmental Radioactivity, 47, 213-221, doi: 10.1016/S0265-931X(99)00034-X
- [8] Ghiassi M., Mortazavi S. M., Cameron J. R., (2002). Very High Background Areas of **Ramsar**, Iran: Preliminary Biological Studies, Health Physics, 82(1), 87-93.
- [9] A. B., N. Y., E. Kam, G. Karahan and A.E. Osmanlioglu, (2007a), Assessment of environmental radioactivity for **Sanliurfa** region of southeastern Turkey, Radiat. Meas., 42, 1387-1391, <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2007.05.052>.
- [10] Değerlier, M.,KARAHAN G. (2007b). Ph.D. Thesis: Annual Effective Dose of Natural Environmental Radioactivity Measurements for **Adana** region. N.S. Institue- CU/ Adana.
- [11] E. Kam,et all., (2007c), Environmental radioactivity measurements in **Kastamonu** region of northearn Turkey, Applied Radiation and Isotopes, v.65, pp. 440-444, <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2006.11.005>.
- [12] E. Kam, et all., (2010), A study of background radioactivity level for **Canakkale**, Turkey. Environ Monit Assess, 168: 685–690, doi: 10.1007/s10661-009-1143-y.
- [13] E. Kapdan., et. all, (2011), Outdoor Radioactivity and Health Risks in **Bahkesir**, Northwestern Turkey, Radiation Protection Dosimetry, pp: 1-9, doi:10.1093/rpd/ncr038.
- [14] Lic'inio MV, et al. (2013), A high spatial resolution outdoor dose rate map of the **Rio de Janeiro** city, Brasil, risk assessment and urbanization effects. J Environ Radioact 126, 32-9. doi: 10.1016/j.jenvrad.2013.07.012.
- [15] Yaşar Kobya, et all., (2015), Evaluation of Outdoor Gamma Dose Rate and Cancer Risk in **Artvin** Province, Turkey, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 21:8, 2077-2085, doi: 10.1080/10807039.2015.1017876.
- [16] M. A. Arnedo, et all., (2017), Mapping natural radioactivity of soils in the eastern **Canary Islands**, Spain, Journal of Environmental Radioactivity, 166, 242-258, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.07.010>.
- [17] Enis Kapdan, et all., (2018), Outdoor radioactivity and health risk assessment for capital city **Ankara**, Turkey, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 318. 1033-1042, doi: 10.1007/s10967-018-6060-5.



A comparison of blood glucose and insulin responses in subjects with non-insulin dependent diabetes mellitus consuming potato alone, and potato with sunflower oil

Sabiha Zeynep Aydenk Koseoglu ^{1*}

¹ Istanbul Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7936-8462)

(İlk Geliş Tarihi 13 Aralık 2018 ve Kabul Tarihi 18 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.497012)

ATIF/REFERENCE: Aydenk Koseoglu, S. Z. (2019). A comparison of blood glucose and insulin responses in subjects with non-insulin dependent diabetes mellitus consuming potato alone, and potato with sunflower oil. *European Journal of Science and Technology*, (15), 440-449.

Abstract

Aim: The objective of this study was to compare between carbohydrate intake and carbohydrate with sunflower oil intake effects on blood glucose and insulin levels for using to plan the diets for type II diabetes mellitus.

Material and method: In our study, two types of test foods were given to 10 voluntary type II diabetic patients (4 male, 6 female, mean age 50.3 ± 14.6 years and mean duration of diabetes 3.1 ± 0.3 years), and fasting and postprandial blood sugar and insulin parameters were examined and compared.

As the 1st test meal: 250 grams of potato (containing 50 grams of carbohydrate) were boiled for 45 minutes, then fed to the subjects.

As a 2nd test meal: after 14 days from the 1st test meal, 250 grams of potato were boiled for 45 minutes, peeled and fed in puree form with the addition of 20 ml sunflower oil.

Blood samples were taken before and 30, 60, 90 and 120 minutes after the test meals, respectively.

Results: When the serum glucose and insulin levels in blood samples from patients were examined, the relationship between potato alone and potato with sunflower oil co-administration was not statistically significant ($p > 0.05$, for all times)

Similarly, there was no difference in glucose areas after the 1st and 2nd test meals ($p = 0.562$, $p > 0.05$). There was also no significant difference in the serum insulin area after the 1st and 2nd test meals ($p = 0.90$, $p > 0.05$).

Conclusion: There is not a difference in terms of serum glucose and insulin responses in the type II diabetic patients when they are only fed boiled potatoes, a food with high glycaemic index, compared to when the boiled potato is added 20 ml of sunflower oil. As can be understood from this study, when regulating the diet of the type II diabetic patients, it should be planned considering the glycaemic index of the food given as it is, since adding fat to the food does not affect the serum glucose and insulin response.

Keywords: Carbohydrate, Potato, Fat, Blood Glucose, Blood Insulin, Glucose Response, Insulin Response, Type II Diabetes

* Sabiha Zeynep Aydenk Koseoglu: Istanbul Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye ORCID: 0000-0001-7936-8462, sabiha.koseoglu@izu.edu.tr & szaydenk@gmail.com

1. Introduction

Diabetes mellitus is considered to be a condition that develops as an absolute or relative insulin deficiency and its most prominent feature is hyperglycaemia, which can lead to significant changes in lipid metabolism [Jarret, 1976]. When diabetes is considered as a whole, it constitutes the primary cause of blindness in some countries, and the cause of 75% of lower limb amputations. One of the most important complications of diabetes is vascular complications, which in conjunction with carbohydrate metabolism facilitates the formation of anomalous vascular dysfunction in lipid metabolism [Bağrıaçık, 1988]. In this study of Type II DM, which is one of the major problems in the world, blood glucose and insulin responses have been investigated in patients with Type II DM, against ingestion of potato alone and potato ingestion with oil.

Carbohydrates in foods are generally divided into two groups as simple (sugar) or compound (starch). Simple carbohydrates, which are often used in foods, raise blood glucose levels more and more rapidly than complex carbohydrates in starchy foods. It is much bigger than the response of all foods containing 50 g starch [Anderson, 1994]. Jenkins et al. [1994] use the term glycaemic index to compare the glycaemic response to a reference food such as white bread or glucose with the glycaemic response to test food containing the same amount of carbohydrates [Anderson, 1994].

It is not possible to predict what kind of physiological response will result by looking at the chemical composition of a food, since many factors in the foods can affect digestive and absorption rates and glycaemic responses of these foods, many of these factors are not included in the food lists and most of them are not related to the foods content. Therefore, in order to predict the physiological effects of foods, the "glycaemic index", which has been tested with chemical compounds, should also be reported. It is thought that this information will help to better understand the effects of carbohydrate foods and to select appropriate foods for treatment diets. Glycaemic index values may differ according to the method of calculation and other methodological variables [Anderson, 1994; Jenkins, 1994]. Glycaemic index value shows the ratio and rate of digestion and absorption of different starchy foods [Jenkins, 1995].

In many studies, the response variability to carbohydrates in certain foods has been determined to be due to their characteristics that may look minor (such as processing rice grain, variety of potato, ripeness of banana) [Anderson, 1994; Jenkins, 1994].

Different people may have different glycaemic responses to the same food according to their glucose tolerance. Glycaemic indexes of the same foods are the same in normal and diabetic individuals [Anderson, 1994]. It is not right to determine the glycaemic index of foods with a single test because blood glucose response in individuals changes from day to day. Glycaemic index can also be used in mixed meals if appropriate methods are used. The glycaemic index of a meal is the weighted average of the glycaemic index values of all carbohydrate foods at that meal. When taking the weighted average rate, the contribution of each food to the total carbohydrate at that meal is taken as proportioned [Jenkins, 1994].

The way the food is cooked and the carbohydrates contained in the various ingredients involved affect the glycaemic index. Potato is one of the foods often added to oil, and it can affect the glycaemic index, especially by changing the gastric emptying. We also aimed to investigate the effects of adding oil to potato, which has the most common glycaemic index in our study and is widely used by the public because of its cheap price and practical usage, to plasma glucose levels and to insulin response.

2. Material and method

Patients with Type II diabetes mellitus (untreated, at the diet arrangement stage, given no antidiabetic) were taken to study. The age, gender, and diabetes age of the patients are shown in Table I.

Table 1 The age, gender and diabetes age of patients

Subject number	Sex	Age (year)	Diabetes Age (year)
1	M	50	3
2	M	70	2
3	M	27	0,66
4	F	60	4
5	F	37	3
6	F	33	0,92
7	F	65	5
8	F	64	7
9	F	51	2
10	M	46	3
General Assessment	6F/4M	50.3 ± 14.62	3.1 ± 0.31

-1st Test Food: Potatoes (250 grams) containing 50 grams of carbohydrates were boiled for 45 minutes, peeled and prepared in pieces.
 -2nd Test Food: Potatoes (250 grams) containing 50 grams of carbohydrates were boiled for 45 minutes, peeled, mashed with a spoon. This puree was mixed well with 20ml sunflower oil.

-1st test meal (when people were taking at least 200 grams of carbohydrate per day on their usual diet) was fed within 15 minutes after a night's fasting.
 -2nd test meal was fed 14 days after the first test meal (when people were taking at least 200 grams of carbohydrate per day on their usual diet).

Blood samples were taken before the test meals and 30, 60, 90 and 120 minutes after the meals. In those samples, serum glucose was determined. Serum samples were stored in deep freeze for insulin determinations. Glucose determinations were made by the glucose 6 phosphate dehydrogenase hexokinase (G6PDH) method using Abott commercial kits. Insulin determinations were performed by the RIA method using Coat-a-Count insulin kits from DPC.

The average age of the patients was 50.3 ± 14.62 years and the average age of diabetes mellitus was 3.1 ± 0.31 years, with 4 male (40%) and 6 female patients (60%). Glucose and insulin areas were calculated based on the following formula [Gannon, 1990; Jenkins, 1994].

Student-t test was used for matched sequences and the significance limit was accepted as $p < 0.05$.

3. Results and Discussion

3.1. Results

Average serum glucose levels and serum insulin levels of the participants before the 1st test meal and at the 30th, 60th, 90th and 120th minutes after the 1st test meal are provided (Table 2 and 3, Figures 1 and 2).

Average serum glucose levels and serum insulin levels before the 2nd test meal and at the 30th, 60th, 90th and 120th minutes after the 2nd test meal are provided (Table 2 and 3, Figures 1 and 2).

Table 2 – The average Serum Glucose responses to the 1st meal and 2nd meal (mg/dl) and P values

	Fasting	30th minute	60th minute	90th minute	120th minute
1st meal	121.77 ± 31.28	157.39 ± 43.09	177.44 ± 67.87	157.27 ± 69.32	148 ± 55.99
2nd meal	130.52 ± 36.05	159.61 ± 46.57	185.99 ± 58.29	181.23 ± 61.12	163.23 ± 52.07
P values	0.569	0.913	0.765	0.423	0.536

Figure 1 – The average Serum Glucose responses to the 1st meal and 2nd meal (mg/dl)

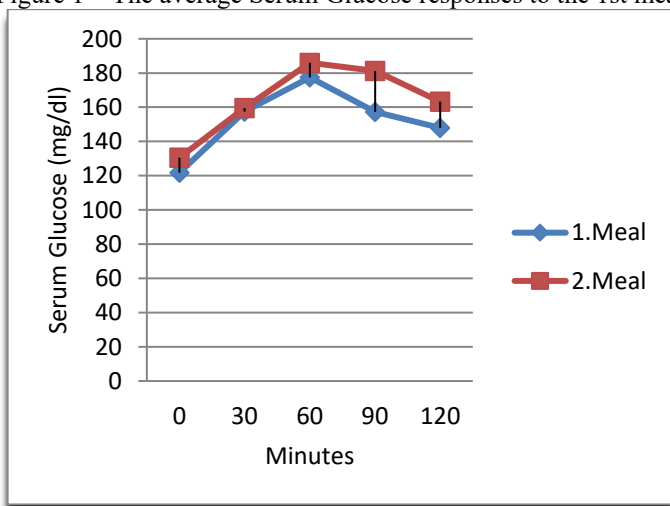
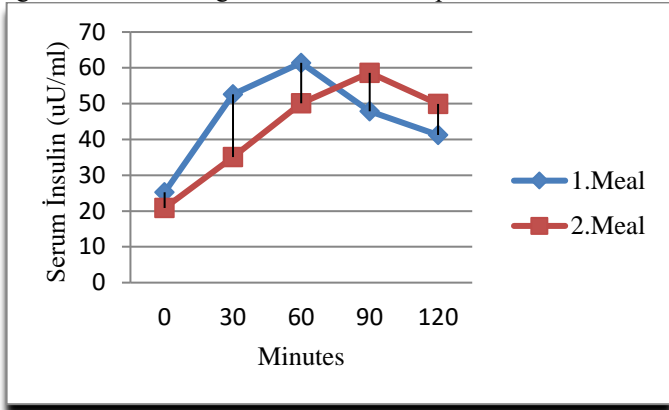


Table 3 – The average Serum Insulin responses to the 1st meal and 2nd meal (uU/ml) and P values (Supplementary Files Table 3)

	Fasting	30th minute	60th minute	90th minute	120th minute
1st meal	25.24 ± 7.42	52.60 ± 20.40	61.40 ± 28.94	47.88 ± 24.36	41.27 ± 19.28
2nd meal	20.85 ± 8.38	35.05 ± 19.18	50.10 ± 20.04	58.62 ± 26.05	49.90 ± 19.72
P values	0.231	0.06	0.323	0.353	0.339

Figure 2 – The average Serum Insulin responses to the 1st meal and 2nd meal (uU/ml)



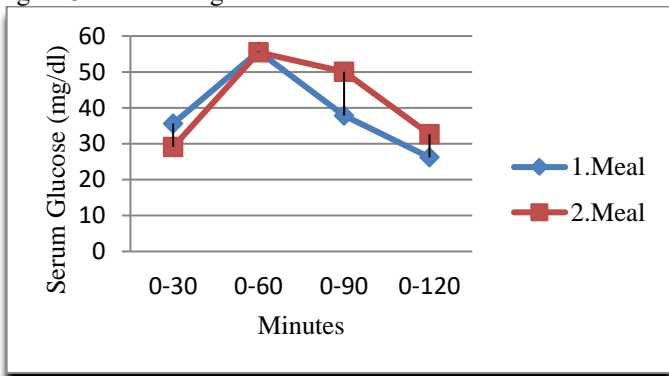
As seen in Table 2 and Table 3, the p values were not significant for the averages of the glucose and insulin values at all times after 1st and 2nd meals ($p > 0.05$). The average values of the serum glucose responses to the 2nd meals were 0.569 at fasting; 0,913 at the 30th minute; 0,765 at the 60th minute; 0,423 at the 90th minute and 0,536 at the 120th minute. The p values obtained from the average of serum insulin responses to the 2nd meals were 0.231 for fasting, 0.06 at 30th minute; 0.323 at 60th minute; 0.353 for the 90th minute and 0,339 for the 120th minute. The average values (mg/dl) of the serum glucose responses to the 1st and 2nd meals are shown in Figure 1 and the average values (uU/ml) of the serum insulin responses to the 1st and 2nd meals are shown in Figure 2.

The average values of the serum glucose elevations and the p values of the cases in response to the 1st and 2nd meals are given in Table 4. It is seen in Figure 3. As can be seen, the p values are not significant ($p > 0.05$).

Table 4 - The average values of the Serum Glucose elevations response to the 1st and 2nd meal (mg/dl) and P values (Supplementary Files Table 4)

	0-30 Minutes	0-60 Minutes	0-90 Minutes	0-120 Minutes
1st meal	35.62 ± 17.28	55.72 ± 39.70	37.82 ± 37.66	26.24 ± 27.09
2nd meal	29.09 ± 16.28	55.47 ± 26.47	50.71 ± 32.15	32.71 ± 24.39
P values	0.396	0.986	0.421	0.581

Figure 3 - The average values of the Serum Glucose elevations response to the 1st and 2nd meal (mg/dl) (Supplementary Files Figure3)



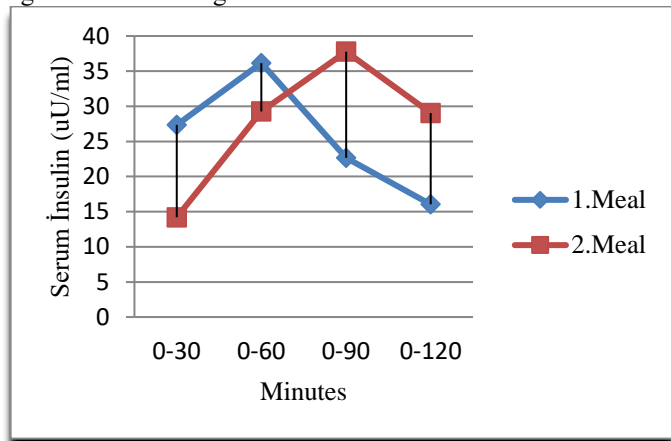
Also, the averages and the p values of the elevations in the serum insulin responses of the cases to the 1st and 2nd test meals are given in Table 5. The p values were determined as 0,073 for 0-30 minutes; 0,469 for 0-60 minutes; 0,114 for 0-90 minutes and 0,068 for 0-120 minutes.

As can be seen, the p values are not significant ($p > 0.05$). Figure 4 shows the average serum insulin elevations.

Table 5 - The average values of the Serum Insulin elevations response to the 1st and 2nd meal (uU/ml) and P values (Supplementary Files Table 5)

	0-30 Minutes	0-60 Minutes	0-90 Minutes	0-120 Minutes
1st meal	27.36 ± 17.36	36.16 ± 25.26	22.64 ± 18.63	16.03 ± 13.68
2nd meal	14.20 ± 13.37	29.25 ± 15.31	37.77 ± 21.99	29.05 ± 16.30
P values	0.073	0.469	0.114	0.068

Figure 4 - The average values of the Serum Insulin elevations response to the 1st and 2nd meals (uU/ml) (Supplementary Files Figure4)



The average values of the serum glucose responses (mg/dL) of the female subjects to the first and second meals and the average glucose responses (mg/dL) of the female subjects to the first test meal were 113.21 ± 29.01 for fasting; 146.26 ± 37.16 at the 30th minute; 145.48 ± 37.67 at 60th minute; 137.58 ± 59.43 at 90th minute and 129.43 ± 45.61 at the 120th minute.

The average glucose response (mg/dL) to the second test meal for the female subjects was 121.13 ± 32.66 at fasting, 152.20 ± 44.49 at the 30th minute; 174.38 ± 57.49 at the 60th minute; 131.56 ± 60.73 at the 90th minute; and at the 120th minute it was 151.55 ± 50.09 . The p values were 0.666 (fasted); 0.807 (30 min); 0.327 (60 min); 0.865 (90 min); 120 min. and 0.442. These values were not found statistically significant ($p > 0.05$).

The averages of the serum insulin responses of the female subjects to the first and second test meals were: the average serum insulin values after the first test meal (u/mL) were 25, 38, 31 at fasting; 57.83 ± 19.07 at the 30th minute; 66.83 ± 24.22 at the 60th minute; 50.36 ± 25.74 at the 90th minute and 38.23 ± 17.01 at the 120th minute. The average values of the insulin responses (uU/mL) of the female subjects to the second test meal were 21.61 ± 9.96 at the 0th min; 39.20 ± 18.12 at the 30th minute; 53.33 ± 11.39 at the 60th minute; 59.66 ± 15.18 at the 90th minute; and for the 120th minute, it was 51.16 ± 9.98 .

The p values were found 0.493 at the 0th minute; 0.113 at the 30th minute; 0.245 at the 60th minute; 0.463 at the 90th minute and 0.139 for the 120th minute. Based on this, p values were not found significant ($p > 0.05$).

The average values of glucose responses (mg/dL) given by the male subjects to the first test meal were 134.6 ± 34.44 for fasting; 174.07 ± 51.48 at the 30th minute; 160.37 ± 65.48 at the 60th minute; 186.8 ± 81.22 at the 90th minute and 175.85 ± 64.91 at the 120th minute. For the second test meal, the values (mg/dL) were 144.6 ± 40.99 for fasting, 170.72 ± 54.14 at the 30th minute, 203.4 ± 63.35 at the 60th minute; 184.95 ± 80.38 at the 90th minute; and for the 120th minute, it was 205.75 ± 29.91 . The p values were 0.721 (fasting); 0.931 (30th min); 0.381 (60th min); 0.975 (90th min); and 0.434 (120th min). Those values were not statistically significant ($p > 0.05$).

The average insulin responses of the male subjects to the 1st meal (uU/mL) were 27.52 ± 2.97 at the 0th minute; 44.95 ± 22.32 at the 30th minute; 53.25 ± 37.25 at the 60th minute; 44.15 ± 25.41 at the 90th minute; and 45.82 ± 21.94 at the 120th minute.

The average insulin responses (μ U/mL) of the male subjects to the second test meal were 19.7 ± 6.52 at the 0th minute; 28.85 ± 21.69 at the 30th minute; 45.25 ± 30.60 at the 60th minute; 47.05 ± 34.16 at the 90th minute; and 48 ± 31.50 at the 120th minute.

The p values were 0.071 (fasted); 0.340 (30th min); 0.751 (60th min); 0.896 (90th min); and 0.917 (120th min). These values were not statistically significant ($p > 0.05$).

The average serum glucose area (area under the glucose curve) (min/mg) in response to the 1st and 2nd test meals and the p values are shown in Table 6 in Figure 5.

The average serum glucose area (min/mg) was 3.24 ± 1.17 for the 1st test meal, while the average serum glucose area (min/mg) 3.54 ± 1.07 for the 2nd test meal. P value is 0.562, which is not significant ($p > 0.05$).

In Table 7, the averages of the serum insulin area (area under the insulin curve) (min uU) and the p value in response to the 1st and 2nd test meals are provided, which are shown in Figure 6.

The average insulin content for the 1st meal is 0.97 ± 0.39 . The p value is 0.900 and is not statistically significant ($p > 0.05$).

Table 6 - Serum Glucose Area (dk.mg) and P value (Supplementary Files Table 6)

1st meal	2nd meal	P value
3.24 ± 1.17	3.54 ± 1.07	0.562

Figure 5 - Serum Glucose Area (dk.mg) (Supplementary Files Figure 5)

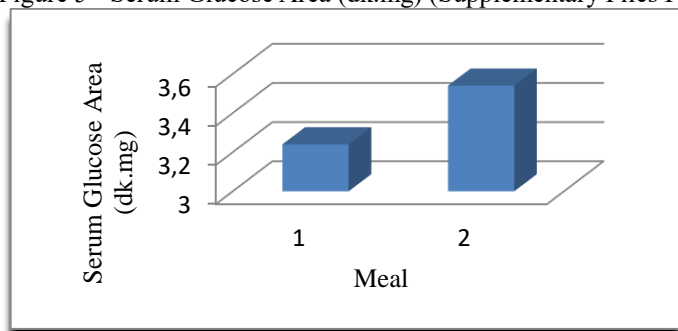


Table 7 - Serum Insulin Area (dk.uU) and P value (Supplementary Files Table 7)

1st meal	2nd meal	P value
0.99 ± 0.38	0.97 ± 0.39	0.9

Figure 6 - Serum Insulin Area (dk.uU) (Supplementary Files Figure 6)



3.2. Discussion

As a result of the epidemiological studies carried out, it is known that with the enrichment of nations, the structure of carbohydrates consumed by people has changed and the use of complex carbohydrates has decreased compared to simple carbohydrates. It is thought that this change in diets can lead to diseases such as atherosclerosis, diabetes and hyperlipidaemia [Gürcan, 1993]. In Type II diabetes, the CHO ratio in the diet is of great importance, and carbohydrate-restricted diets are recommended in treatment. A decrease in the CHO ratio of the diet is known to decrease the postprandial blood glucose and insulin levels. One of the aims of diabetic treatment is to prevent large changes in blood glucose levels that occur throughout the day [Behall, 1989]. Choosing carbohydrate foods that minimize the postprandial blood glucose changes is recommended for diabetic patients [Nelson, 1994; Nuttall, 1991; Wolever, 1986]. In studies conducted in this area, it has been shown that various foods containing carbohydrates produce very different glycaemic responses in diabetic patients [Anderson, 1994; Gürcan, 1993; Jenkins, 1995; Nelson, 1994]. Often, simple CHOs in foods raise blood glucose levels more than complex carbohydrates in starchy foods [Anderson, 1994]. Many researchers compared the glycaemic responses of foods rich in complex carbohydrates. In order to know the physiological effects of foods in advance, the concept of glycaemic index has been developed along with their chemical compounds. It has been thought that this information will help to better understand the effects of carbohydrate foods and to select appropriate foods for the treatment of diabetes [Jenkins, 1994].

Glycaemic index is defined as an index showing the relative ratio of postprandial blood glucose elevations to food intake. Glycaemic index values are used to classify foods according to their glycaemic effects [Anderson, 1994; Nishimune, 1991]. The positive effects of foods with low glycaemic index on blood glucose regulation are known [Brand, 1991; Jenkins, 1984a].

These positive effects can even be reflected in the next meal. In a study conducted in 1988, Wolever et al. [1988] found that the glycaemic response to morning breakfast was quite low when eating low-glycaemic index foods at dinner. There are many factors that affect the blood glucose level that occurs in response to the food ingested and cause differences in the calculation of GI values [Anderson, 1994; Jenkins, 1995; Mann, 1987].

These factors and their effects are:

1. The effect of carbohydrates: Nutrient carbohydrates have different absorption rates. Galactose and glucose are the fastest absorbed monosaccharides. These are followed by fructose, mannose, xylose and arabinose [Mayes, 1988]. The simple CHOs contained in foods are absorbed more rapidly than complex carbohydrates and lead to sudden increases in plasma glucose and insulin levels [Davidson, 1991; Jenkins, 1984b].

2. Effect of fibre content: Foods containing too much fibre are slowly digested, and in diabetic and non-diabetic individuals, they may cause a slight increase in satiety blood glucose and insulin levels. The slowing of the rate of gastric digestion of starch polysaccharides, the shortening of the duodenal passage of stomach contents and the upper passages of the small intestines and the slowing of the absorption rate of monosaccharides from the jejunum and upper ileal epithelial cells is considered to be the mechanism of hypoglycaemic action of dietary fibre [Blackburn, 1984; Sandhu, 1987; Schwartz, 1988; Wolever, 1990].

3. Effect of starch: Because the starch contained in foods cannot be digested at the same rate, it cannot increase the blood glucose level at the same rate either. Amylose and amylopectin ratio in starch is effective on digestion. Because it is very slowly hydrolysed by the intestinal enzymes, starchy foods containing too much amylose are reported to have a lowering effect on blood glucose levels [Gürcan, 1993; Jenkins, 1994].

4. Effects of protein and fat: Eating fat and protein along with carbohydrate foods can have a glycaemic response-reducing effect in non-diabetic and NIDDM individuals, by delaying the gastric emptying and increasing insulin secretion. However, in order for fat and protein to have significant effects, it may be necessary to ingest them in much more amounts than what is normally eaten or recommended on the diet [Nuttall, 1984; Wolever, 1991]. In a study conducted by Gannon et al. [1988], the addition of various proteins to glucose meal increased the area of glycaemia in type II diabetes.

5. Nutrient Inhibitors: Phytates, lectins, tannins, enzyme inhibitors, and saponins, which are nutrient inhibitors in foods, have a characteristic that affects digestibility and glycaemic response of starch in the gastrointestinal tract. Such inhibitors reduce the digestion rate of starch and allow the elevation of postprandial glycaemia to be at a lower rate [Jenkins, 1984a; Wolever, 1990]. Therefore, the use of these nutrient inhibitors may be effective in dietary therapy as well.

6. Quantity, shape and type of process applied to the food served: The GI value of a food can be determined using an amount of 50 g digestible CHO [Anderson, 1994; Jenkins, 1994; Jenkins, 1995]. The difference in the GI value of the examined food may be avoided by determining the actual portion size [Wolever, 1991]. Another factor that is effective in the digestion of carbohydrates is the physical condition of the food. Foods that are not grinded or shredded give lower GI values [Anderson, 1994; Gürcan, 1993; Jenkins, 1984b; Wolever, 1991]. The way the foods are cooked also has an effect on the glycaemic results. Cooking of starch facilitates digestion and absorption in the small intestine. This leads to increased blood glucose levels. This may be attributed to the deterioration of the structure of the starch granules and the increased sensitivity to amylase due to the cooking process. With less processed foods, lower glycaemic results can be obtained [Brand, 1985; Ross, 1987]. Crapo et al. [1977] have shown that rice and wheat bread have lower glycaemic effects than potatoes. This is attributed to the fact that the amount of amylose in the potato starch is less and therefore its digestion is faster.

Other factors affecting glycaemic index are physiological effects, including pregastric hydrolysis, gastric emptying rate, intestinal hydrolysis and absorption, pancreatic and gastric hormone responses, and colonic effects [Anderson, 1994; Jenkins, 1995]. The interactions of the different nutrients in the food play a role in the glycaemic index, or, with a broader definition, in the plasma glucose response to the food ingested [Gannon, 1993]. Essentially, food is often taken as a combination of several kinds of nutrients [Gannon, 1988]. Potato is an important CHO source and is one of the foods with the highest glycaemic index. It is usually ingested with oil, and how adding oil to potato affects the glycaemic index of potato is an important issue. We also did this work to see the glycaemic response that takes place when potato is ingested with oil. In our study, we boiled 250 grams of potatoes (equal to 50 grams of CHO) for 45 minutes, then peeled off the skin and fed to 10 patients with type II diabetes. Then again, after a period of 1-2 weeks, we added 20 ml sunflower oil (rich in unsaturated fatty acids) to the same type and amount of potatoes, and fed them to the same individuals.

Comparison of values after the 1st and 2nd test meals showed that the amount of fat we added did not affect the glycaemic response and there was no significant difference between the time when we gave potatoes alone and the time we gave potatoes + 20 ml sunflower oil. Similarly, there was no significant difference in glucose levels after the 1st and 2nd test meals (Figure 5).

In another study that could be paralleled with this study, it was shown that 5,15,30,50 gr of butter added to the potatoes did not affect the glycaemic field in the normal individuals and the type II diabetics, however, increased the insulin area. The increase in insulinemia is thought to be due to a reduction in hepatic clearance rather than an increase in insulin secretion [Gannon, 1993].

In our study, there was no significant difference in insulin responses between the two test diets in terms of both time and insulin area (Figure 6). However, in a study by Collier et al. [1983], it has been shown that adding oil (butter) to carbohydrates significantly reduces the glycaemic response as well as the insulin response. Researchers have attributed these findings to the delayed gastric emptying by fat. Indeed, experimental studies have shown that fat slows gastric emptying [Gannon, 1988; Waugh, 1936]. Flatt et al. [1985] reported that the presence of 50 gr mid-chain fats in the diet alleviated the elevation of glucose, while adding margarine did not

have the same effect They attributed this to the fact that instead of coming together with the chylomicrons and being transported by ductus thoracicus, medium-chain fatty acids bind to albumin and directly go to the liver through the portal and are retained less by the adipose tissue, that they are used more in energy production, and that the glucose that is not used for energy in the process is stored in the liver as glycogen. However, oils composed of medium-chain fatty acids are used for special dietary purposes and are not widely available.

Such oils, usually obtained from coconut oil or palm oil, are used in the treatment of some hyperlipidaemias and malabsorption symptoms, but they can disrupt the transport of vitamin E and amino acids because they are transported with serum albumin and saturate it [Linscheer, 1988].

Despite the fact that in some studies it has been shown that addition of fat to potatoes or other foods rich in CHO affects glucose and insulin response [Collier, 1983; Flatt, 1985; Gannon, 1993; Nuttall, 1991], the oils added in those studies consisted of either butter or medium-chain fatty acids and the amount was 50 g.

We, however, used sunflower oil and added 20 ml. We wanted to try this oil as 50 ml, but the patients could not have the potato puree mixed with so much fat.

As a result, adding moderate quantities of sunflower oil (20 ml) to potatoes, a commonly used carbohydrate source with a high glycaemic index, does not affect glucose and insulin response in type II diabetics.

4. Conclusion

It has been seen that, there is not a difference in terms of serum glucose and insulin responses in the type II diabetic patients when they are only fed boiled potatoes, a food with high glycaemic index, compared to when the boiled potato is added 20ml of sunflower oil. In other words, the addition of oil to potatoes did not significantly affect serum glucose and insulin levels. No statistically significant relationship was found between them ($p>0.05$).

As can be understood from this study, when regulating the diet of the type II diabetic patients, it should be planned considering the glycaemic index of the food given as it is, since adding fat to the food does not affect the serum glucose and insulin response.

References:

- [1] Anderson JW, & Gail PB. [1994]. Nutritional management of diabetes mellitus. In M.E. Shils, J.A. Olson, & M. Shike (Ed.) Modern nutrition in health and disease (8th ed.) (1259-1287). Lea and Febiger. (ISBN-13: 978-0812114850)
- [2] Bağrıaçık N. [1988]. Diyabetin uzun süreli komplikasyonları. Diyabet ve tedavisi. İstanbul: Nurettin Uycan Basım. p: 79.
- [3] Behall KM, Scholfield DJ, Melver ME, Van Duyn MS, Leo TA, Michnowski LE, et al. [1989]. Effect of guar gum on mineral balances in NIDDM adults. *Diabetes Care* 12(5): 357-363. Available: <http://care.diabetesjournals.org/content/12/5/357.short> [Accessed 20.03.2018]
- [4] Blackburn NA, Redfern JS, Jarjis H, Holgate AM, Hanning I, Scarpello JH, et al. [1984]. The mechanism of action of guar gum in improving glucose tolerance in man. *Clinical Science* 66(3): 329-336. Available: <https://europepmc.org/abstract/med/6362961> [Accessed 20.03.2018]
- [5] Brand JC, Nicholson PL, Thorburn AW, & Truswell AS. [1985]. Food processing and the glycaemic index. *Am.J.Clin.Nutr.* 42(6): 1192-1196. Available: <https://academic.oup.com/ajcn/article-abstract/42/6/1192/4691800> [Accessed 20.03.2018]
- [6] Brand JC, Colagiuri S, Crossman S, Allen A, Roberts DCK, & Truswell AS. [1991]. Low-glycaemic index foods improve long-term glycaemic control in NIDDM. *Diabetes Care* 14(2): 95-101. Available: <http://care.diabetesjournals.org/content/14/2/95.short> [Accessed 20.03.2018]
- [7] Collier G, & O'Dea K. [1983]. The effect of coingestion of fat on the glucose, insulin and gastric inhibitory polypeptide responses to carbohydrate and protein. *Am. J.Clin. Nutr* 37(6): 941-944. Available: <https://academic.oup.com/ajcn/article-abstract/37/6/941/4690802> [Accessed 20.03.2018]
- [8] Crapo PA, Reaven G, & Olefsky J. [1977]. Postprandial plasma-glucose and insulin responses to different complex carbohydrates. *Diabetes* 26(12): 1178-1183. Available: <http://diabetes.diabetesjournals.org/content/26/12/1178.short> [Accessed 20.03.2018]
- [9] Davidson MB, & Botnick TD. [1991]. Diagnosis and classification of diabetes mellitus. In M.B. Davidson (Ed.) *Diabetes mellitus, diagnosis and treatment* (3rd ed.) (1-10). Churchill: Livingstone.
- [10] Flatt JP, Ravussin E, Acheson KJ, & Jequier E. [1985]. Effects of dietary fat on postprandial substrate oxidation and on carbohydrate and fat balances. *J. Clin. Invest.* 76(3): 1019-1024. Available: <https://www.jci.org/articles/view/112054> [Accessed 20.03.2018]
- [11] Gannon MC, Nuttall FQ, Neil BJ, & Westphal SA. [1988]. The insulin and glucose responses to meals of glucose plus various proteins in type II diabetic subjects. *Metabolism* 37(11): 1081-1088. Available: [https://www.metabolismjournal.com/article/00260495\(88\)90072-8/fulltext](https://www.metabolismjournal.com/article/00260495(88)90072-8/fulltext) [Accessed 20.03.2018]
- [12] Gannon MC, & Nuttall FQ. [1990]. Quantitation of the glucose area response to a meal. *Diabetes Care* 13(10): 1095. Available: <http://care.diabetesjournals.org/content/13/10/1095.1.abstract> [Accessed 20.03.2018]
- [13] Gannon MC, Ercan N, Westphal SA, & Nuttall FQ. [1993]. Effect of added fat on plasma glucose and insulin response to ingested potato in individuals with NIDDM. *Diabetes Care* 16(6): 874-880. Available: <http://care.diabetesjournals.org/content/16/6/874.short> [Accessed 20.03.2018]
- [14] Gürcan T, Pala M, Korugan Hacıbekiroğlu M, & Yardımcı T. [1993]. Glisemik İndeks: Önemi ve etki eden faktörler. In *Endokrinolojide Yönelişler*. Cilt 2, Sayı 3, p: 9-12.
- [15] Jarret RJ, & Keen H. [1976]. Hyperglycaemia and diabetes mellitus. *The Lancet* 308(7993): 1009-1012. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140673676908448> [Accessed 20.03.2018]
- [16] Jenkins DJ, Wolever TM, Wong GS, Kenshole A, Josse RG, Thompson LU, et al. [1984a]. Glycemic responses to foods: possible differences between insulin-dependent and noninsulin-dependent diabetics. *Am. J. Clin. Nutr.* 40(5): 971-981. Available: <https://academic.oup.com/ajcn/article-abstract/40/5/971/4691447> [Accessed 20.03.2018]
- [17] Jenkins DJA, Wolever TMS, Jenkins AL, Josse RG, & Wong GS. [1984b]. The glycaemic response to carbohydrate foods. *The Lancet* (324.8399): 388-391. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140673684905543> [Accessed 20.03.2018]
- [18] Jenkins DJA, Wolever TMS, & Jenkins AL. [1994]. Diet factors affecting nutrient absorption and metabolism. In Shils ME, Olson JA, & Shike M (Ed.) *Modern nutrition in health and disease* (8th ed.) (583-602). Lea and Febiger. (ISBN-13: 978-0812114850)
- [19] Jenkins DJA, & Jenkins AL. [1995]. Nutrition principles and diabetes: A role for "lente carbohydrate"? *Diabetes Care* 18(11): 1491-1498. Available: <http://care.diabetesjournals.org/content/18/11/1491.short> [Accessed 20.03.2018]
- [20] Linscheer WG, & Vergrossen AJ. [1988]. Lipids. In Shils ME, & Young VR (Ed.) *Modern Nutrition in Health and Disease*. (7th ed.) (82) Lea and Febiger.
- [21] Mann J. [1987]. Complex carbohydrates: replacement energy for fat or useful in their own right? *Am. J. Clin. Nutr.* 45(5): 1202-1206. Available: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US883246788> [Accessed 20.03.2018]
- [22] Mayes PA. [1988] Part 53: Nutrition, Digestion and Absorption. In Murray RK, Granner DK, Mayes PA, & Rodwell VW. (Ed.). *Harper's Biochemistry*. (571-588). Lange Medical Publications.
- [23] Nelson JK, Moxness KE, Jensen MD, & Gastineau CF. [1994]. Part 8: Endocrine / Metabolism Diseases and Disorders. In *Mayo Clinic Diet Manual: A handbook of nutrition practices*. (8th ed.) (29-37). St. Louis: Mosby Publishing. (ISBN-13: 978-0815163480)
- [24] Nishimune T, Yakushiji T, Sumimoto T, Taguchi S, Konishi Y, Nakahara S, et al. [1991]. Glycemic response and fiber content of some foods. *Am. J. Clin. Nutr.* 54(2): 414-419. Available: <https://academic.oup.com/ajcn/article-abstract/54/2/414/4694211> [Accessed 20.03.2018]
- [25] Nuttall FQ, Mooradian AD, Gannon MC, Billington C & Krezowski P. [1984]. Effect of protein ingestion on the glucose and insulin response to a standardized oral glucose load. *Diabetes Care* 7(5): 465-470. Available: <http://care.diabetesjournals.org/content/7/5/465.short> [Accessed 20.03.2018]
- [26] Nuttall FQ, & Gannon MC. [1991]. Plasma glucose and insulin response to macronutrients in nondiabetic and NIDDM subjects. *Diabetes Care* 14(9): 824-838. Available: <http://care.diabetesjournals.org/content/14/9/824.short> [Accessed 20.03.2018]

- [27] Ross SW, Brand JC, Thorburn AW, & Truswell AS. [1987]. Glycemic index of processed wheat products. *Am. J. Clin.Nutr.* 46(4): 631-635. Available: <https://academic.oup.com/ajcn/article-abstract/46/4/631/4694553> [Accessed 20.03.2018]
- [28] Sandhu KS, El Samahi MM, Mena I, Dooley CP, & Valenzuela JE. [1987]. Effects of pectin on gastric emptying and gastroduodenal motility in normal subjects. *Gastroenterology* 92(2): 486-492. Available: [https://www.gastrojournal.org/article/0016-5085\(87\)90146-6/fulltext](https://www.gastrojournal.org/article/0016-5085(87)90146-6/fulltext) [Accessed 20.03.2018]
- [29] Schwartz SE, Levine RA, Weinstock RS, Petokas S, Mills CA, & Thomas FD. [1988]. Sustained pectin ingestion: effect on gastric emptying and glucose tolerance in non- insulin-dependent diabetic patients. *The American Journal of Clinical Nutrition* 48(6): 1413-1417. Available: <https://academic.oup.com/ajcn/article-abstract/48/6/1413/4716087> [Accessed 20.03.2018]
- [30] Waugh JM. [1936]. Effect of fat introduced into the jejunum by fistula on motility and emptying time of the stomach. *Arch Surgery* 33(3): 451-66. Available: <https://jamanetwork.com/journals/jamasurgery/article-abstract/542865> [Accessed 20.03.2018]
- [31] Wolever TMS, & Jenkins DJA. [1986]. The use of the glycemie index in predicting the blood glucose response to mixed meals. *Am. J. Clin. Nutr.* 43(1): 167-172. Available: <https://academic.oup.com/ajcn/article-abstract/43/1/167/4691817> [Accessed 20.03.2018]
- [32] Wolever TM, Jenkins DJ, Ocean AM, Rao VA, & Collier GR. [1988]. Second-meal effect: low-glycaemic index foods eaten at dinner improve subsequent breakfast glysemic response. *The American Journal of Clinical Nutrition* 48(4): 1041-1047. Available: <https://academic.oup.com/ajcn/article-abstract/48/4/1041/4716157> [Accessed 20.03.2018]
- [33] Wolever TM. [1990]. Relationship between dietary fiber content and composition in foods and the glycaemic index. *The American Journal of Clinical Nutrition* 51(1): 72-75. Available: <https://academic.oup.com/ajcn/article-abstract/51/1/72/4695000> [Accessed 20.03.2018]
- [34] Wolever TM, Jenkins DJ, Jenkins AL, & Josse RG. [1991]. The glycaemic index: methodology and clinical implications. *Am.J.Clin.Nutr* 54(5): 846-854. Available: <https://academic.oup.com/ajcn/article-abstract/54/5/846/4694343> [Accessed 20.03.2018]



İpek Serisin ve Potansiyel Uygulama Alanları

Zehra Gün Gök^{1,2*}, Mustafa Yiğitoğlu¹, İbrahim Vargel³

¹ Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Kırıkkale, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6024-9129)

² Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomühendislik Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6426-0395)

³ Hacettepe Üniversitesi Hastaneleri, Plastik ve Rekonstrüktif Cerrahi Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7657-8170)

(İlk Geliş Tarihi 24 Ocak 2019 ve Kabul Tarihi 18 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.517226)

ATIF/REFERENCE: Gün Gök, Z., Yiğitoğlu, M. & Vargel, İ. (2019). İpek Serisin ve Potansiyel Uygulama Alanları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 450-459.

Öz

İpek, fibroin (lifli protein) ve serisin (globüler, zamklama proteini) olarak isimlendirilen iki ana proteinden oluşmaktadır. Fibroin tekstil üretiminde ve çeşitli biyomalzeme uygulamalarında kullanılırken, serisin tekstil endüstrisinde bir atık malzeme olarak kabul edilmektedir. Serisin, belirsiz bir yapıya sahip çok bileşenli bir protein olması nedeniyle, fibroinden daha az dikkat çekmiştir, ancak bu proteinin de biyolojik aktivitesi sahip olduğu ve biyoyumlu olduğu yapılan çalışmalarla gösterilmiştir. Serisin değişken amino asit bileşimi ve çeşitli fonksiyonel grupları ile biyomedikal uygulamalar için ilgi çekici biyoaktif özelliklere sahiptir. Antioksidan karakteri, nemlendirme yeteneği ve memeli hücreleri üzerindeki mitojenik etkisi nedeniyle, serisinin hücre kültürü ve doku mühendisliğinde yararlı olduğu son yıllarda yapılan çalışmalarla gösterilmiştir. Ayrıca, keratinositler ve fibroblastlar üzerindeki olumlu etkileri, başta yara bakım malzemeleri olmak üzere deri dokusu onarımı için serisin bazlı biyomalzemelerin gelişmesine yol açmıştır. Ek olarak, serisin, kemik benzeri hidroksiapatit nükleasyonunu indüklemeye kabiliyeti nedeniyle kemik doku mühendisliği için kullanılma potansiyeline de sahip olduğu gösterilmiştir. Filmler, süngerler ve hidrojeller gibi kararlı ipek serisin biyomalzemeleri, çapraz bağlama veya diğer polimerler ile karıştırılarak hazırlanmaktadır. Serisin aynı zamanda ilaç salımı için de kullanılma potansiyeline sahiptir, çünkü kimyasal reaktivitesi ve pH yanıtı, serisin bazlı nano-mikropartiküllerin, hidrojellerin ve konjuge moleküllerin üretimini kolaylaştırmakta ve ilaçların biyoaktivitesini arttırmaktadır. Bu çalışmada, önemli bir protein olan ipek serisinin özellikleri ve kullanım alanları özetlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyomalzeme, İpek, Serisin, Fibroin

Silk Sericin and Potential Application Areas

Abstract

Silk consists of two main proteins called fibroin (fibrous protein) and sericin (globular, glued protein). While fibroin is used in textile production and various biomaterial applications, sericin is considered as a waste material in the textile industry. Sericin is a multicomponent protein with an indefinite structure and has received less attention than fibroin, but it has been shown to be biocompatible and has biological activity. Sericin has interesting bioactive properties for biomedical applications with variable amino acid composition and various functional groups. Because of its antioxidant character, its moisturizing ability and its mitogenic effect on mammalian cells, in recent years, it has been shown that sericin is useful in cell culture and tissue engineering. In addition, the positive effects on keratinocytes and fibroblasts have led to the development of sericin-based biomaterials for the repair of skin tissue, especially for wound care materials. In addition, sericin has the potential to be used for bone tissue engineering because of its ability to induce bone-like hydroxyapatite nucleation. Stable silk sericin biomaterials such as films, sponges and hydrogels are prepared by cross-linking or mixing with other polymers. Sericin also has the potential to be used for drug release because its chemical reactivity and pH response facilitate the production of sericin-based nano-microparticles, hydrogels and conjugated molecules, and increase the bioactivity of drugs. In this study, the properties and usage areas of silk sericin, which is an important protein, are summarized.

Keywords: Biomaterials, Silk, Sericin, Fibroin

* Sorumlu Yazar: Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Kırıkkale, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6024-9129, zzehragungok@gmail.com

1. Giriş

Doğada ipek; ipek böceği ve örümcekler tarafından özel epitel hücreleri ile sentezlenen doğal bir polimerdir. En yaygın olarak *Bombyx mori* ipek böceği ile *Araneus diadematus* ve *Nephila calavipes* gibi bazı örümcek türlerinden elde edilmektedir (Hardy vd., 2008; Ak, 2013). İpek böceği kozaları iki ana proteinden oluşmaktadır. İpek fibroin, biyoyuyluluk ve yüksek mekanik özellikleri gibi birçok olumlu özelliğe sahip doğal bir makromoleküldür. Çeşitli uygulamalar için gözenekli sünger, nanolif, membran gibi birçok biyomalzemenin eldesinde yıllardır kullanılmaktadır (Eslah vd., 2015). İpek serisin ise, fibroin fiberlerini saran ve onları koza içinde birbirine yapıştıran, globüler bir proteindir. İpeğin zamklanması sırasında serisin bir atık olarak uzaklaştırılmaktadır (Zhang, 2002). Bu polipeptit, 18 amino asitten (Padamwar ve Pawar, 2004) oluşmakta ve yapısında serin, glisin, lizin vb. gibi çok sayıda hidrofilik amino asit bulunmaktadır (Aramwit vd., 2011). Serisinin yapısında ana amino asit, insan derisinde doğal bir nem faktörü olan serindir (Padamwar vd., 2005). Bundan dolayı serisin, Blossom®, Dr. Temt®, Revital® ve Kristida® gibi çeşitli kozmetik ürünlerinde bir bileşen olarak kullanılmaktadır (Dash vd., 2007; Fan vd, 2009; Ang-atikarnkul vd., 2014). Literatürde ekstraksiyon yöntemine bağlı olarak serisinin moleküler ağırlığının 24-250 kDa aralığında olduğu bildirilmiştir (Eslah vd., 2015). Serisin, tıbbi ve kozmetik alanlarda kullanılabilen önemli bir biyomalzemedir, çünkü insan dokularına karşı biyoyuyludur, biyolojik bozulmaya ve oksidasyona dirençlidir, antibakteriyel özelliğe ve UV direncine sahiptir. Bütün bunlara ek olarak, serisin nemi kolayca emer ve serbest bırakır, tirozin ve kinazim inhibe edici aktivite gösterir ve bu özelliklerinden dolayı medikal uygulamalarda kullanılma potansiyeline sahiptir (Zhang, 2002; Zhang vd., 2011).

Serisinin, biyomedikal, ilaç, kozmetik, gıda ve tekstil endüstrilerinde katma değerli ürünlerde kullanılma potansiyeline rağmen, şu anda serisin çoğunlukla ipek işleme tesislerinde atık olarak atılmaktadır (Islam vd., 2013). İpek serisinin kozalardan geri kazanılması, önemli ekonomik ve sosyal faydalar sağlayacaktır. Bu çalışmada, ipek kozalarından elde edilen serisin proteinin kimyasal yapısı, kozalardan ekstraksiyon yöntemleri, kullanım alanları ve gelecekteki yeri tartışılmıştır.

2. İpek Serisinin Yapısı ve İpek Kozalarından Serisin Eldesi

Koza üretimi yaklaşık üç gün sürmekte ve ipek iplikleri serisinin yapıştırıcı özelliği ile bir araya gelerek kozayı oluşturmaktadır (Şekil 1). Koza, boyutu 900 ila 1500 metre arasında değişen uzun bir ipek iplikten oluşmakta ve milyonlarca yıllık evrimi, metamorfoz sırasında, olumsuz çevresel koşullarına, kuşlar, böcekler ve bakteriler gibi biyolojik ajanların saldırılarına karşı ipek güvesine koruma sağlamaktadır. İpek kozasında bulunan ana proteinler olan serisin ve fibroin kozanın yapısının % 98'ini oluştururken, kozada, ipek bezleri tarafından salgılanan ve kozanın mantarlara ve mikroorganizmalara karşı dirençli olmasını sağlayan p25 proteini ve seroin de bulunmaktadır. Ayrıca, koza içerisinde yağ ve balmumu (% 0,4 ila 0,8), inorganik tuzlar (% 0,7) ve pigment (% 0,2) gibi diğer maddeler de bulunmaktadır (Mondal vd., 2007; Chen vd., 2012; Kunz vd., 2016).

Serisin ve fibroin iki ayrı protein familyasıdır. Fibroin lifi, yaklaşık 350 kDa ağırlığında olan ağır zincir (H) ve 27 kDa ağırlığında olan hafif zincir (L) ve kovalent olmayan etkileşimlerle fibroine bağlı olan p25 olarak bilinen ve 25 kDa ağırlığında olan küçük glikoproteinden oluşmaktadır (Çalamak, 2012). *B. mori* ipek böceğinde, L ve H genleri sırasıyla 14 ve 25 numaralı kromozomlar üzerinde bulunmaktadır (Kimura vd., 1985; Kunz vd., 2016).



Şekil 1. İpek kozaları (sol) ve ipek demetlerinin taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüsü (sağ)

Serisin Ser1, Ser2 ve Ser3 olarak isimlendirilen 3 gen tarafından sentezlenen ve kozanın ağırlıkça % 25-30'unu oluşturan bir glikoproteindir. İlk keşfedilen gen, 11. kromozomda bulunan ve yaklaşık 23 kb uzunluğunda, 9 ekzon içeren tek bir kopyadan oluşan ve RNA splicing (uçbirleştirme) mekanizması ile dört ana mRNA'yı (10,5, 9,0, 4,0 ve 2,8 kb) kodlayan, Ser1 genidir (Garel vd., 1997). Michaille vd. (1990), 28 ila 2574 bp arasında değişen, 13 ekson içeren ve iki mRNA'yı (3,1 ve 5,0-6,4 kb) kodlayan Ser2 genini keşfetmiştir. Ser2 geninin, ipek proteinlerini kodladığı bilinen diğer herhangi bir genenden daha karmaşık ve değişken olduğu da kanıtlanmıştır. Serisin sentezinde yer alan son gen olan Ser3 geni, Takasu vd. (2007) tarafından keşfedilmiş ve bu genin de 11. kromozomda bulunduğu ve yaklaşık 3,5 kb büyüklüğünde olduğu ve 4,5 kb'lik basit bir transkripti kodladığı bulunmuştur.

Polarizasyon mikroskobu analizleri ile ipek serisinin bir fibroin lifi çevresinde üç katman oluşturduğu gösterilmiştir (Tokutake, 1980). İpek kozalarından elde edilen serisin 18 amino asitten oluşmakta ve serisinin içindeki toplam amino asit içeriğinin yüzde yetmiş esas olarak polar amino asitlerden, özellikle serin ve aspartik asitten oluşmaktadır (Aramwit vd., 2011). Serisinin moleküler konfigürasyonunun esas olarak rastgele kıvrım (düzensiz sarmal) olduğu yapılan dairesel dikroizm spektrumu ve kızılötesi absorpsiyon spektrumu (FTIR) analizleri ile gösterilmiştir (Kweon vd., 2000). X ışını kırınım ve diferansiyel termal analizleri ile serisinin amorf bir yapıya sahip olduğu gösterilmiş, ancak su varlığında serisinin β -yapısına dönüştüğü de keşfedilmiştir (Takasu vd., 2002).

Serisinin sekonder yapısı, nasıl hazırlandığına bağlı olarak değişmektedir (Aramwit vd., 2011). Yapısal olarak, serisin düzensiz sarmal ve β tabakalardan oluşan küresel bir proteindir. Düzensiz sarmal yapıdan β -takabaya dönüşmesi sıcaklık ve nem gibi çevre koşullarına bağlıdır. Serisin sıcak suda, 50-60 °C veya daha yüksek bir sıcaklıkta, çözünmektedir. Düşük sıcaklıklarda, serisinin çözünürlüğü azalmakta ve düzensiz sarmal yapısı β tabakalara dönüştürülmekte, bu da bir jel oluşumu ile sonuçlanmaktadır (Zhu vd., 1998). Serisin yapısında bulundurduğu hidrofilik amino asitlerin fonksiyonel grupları sayesinde diğer moleküller ile çapraz bağlar, kopolimerizasyon ve polimerlerle kombinasyonlar oluşturabilmektedir (Dash vd., 2009). Serisinin organik bileşimi ise % 46,5 karbon, % 31 oksijen, % 16,5 azot ve % 6 hidrojenidir (Rajput ve Kumar, 2015).

Serisinin çözünürlüğü ve moleküler ağırlığı, bir sınıflandırma standardı olarak kullanılabilir özelliklerdir. Shaw ve Smith (1951), serisini suda çözünürlüğüne göre üç fraksiyonda (A, B ve C) sınıflandırmıştır. Sıcak suda daha fazla çözünen fraksiyon olan Serisin A, kozanın en dış tabakasında bulunmakta ve ana amino asitler olarak serin, treonin, glisin ve aspartik asit ile yaklaşık % 17,2 azot içermektedir. Ara katmanda, % 16,8 azot ve bir triptofan ilavesi içeren serisin B; serisin A ile aynı amino asitlerden oluşmaktadır. Son bölümde olan serisin C, fibroine bitişiktir ve en içteki tabakada bulunmaktadır. Serisin C sıcak suda çözünmez ve daha düşük oranda azot (% 16,6) içermektedir. Serisin A ve B'de bulunan amino asitlere ek olarak, fraksiyon C prolin amino asidini içermektedir (Shaw ve Smith, 1951).

Serisinin ipek kozalarından uzaklaştırılması, tamamen sudaki çözünürlüğüne dayanmaktadır (Padamwar ve Pawar, 2004). Serisinin *B. mori* kozasından ekstrakte edilmesi ve kullanılması amacı ile bir kaç yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerde, serisin yüksek sıcaklıkta, yüksek basınç altında otoklavlama, asit kullanımı (çoğunlukla sitrik asit çözeltisi), baz kullanımı (sodyum karbonat çözeltisi) ya da üre gibi bir kimyasal kullanımı ile kozada bulunan diğer bileşenlerden ayrılmaktadır (Kunz vd., 2016). Bütün bu yöntemler sıcaklık, zaman, kullanılan kimyasal, katkı maddesi, çözeltinin konsantrasyonu gibi parametreleri değiştirilerek uygulanabilmektedir. Bununla birlikte, bu yöntemler, genellikle ipek endüstrisinde uygulanmamaktadır, çünkü yöntemlerin uygulanması zor ve uzundur ve ayrıca yüksek sıcaklık ya da basınç fibroin fiberlerine zarar verebilmektedir (Aramwit vd., 2011). Günümüzde neredeyse tüm endüstriyel yöntemlerde, fibroinin bozulmasına neden olmadığından ve enzimler, ısı veya basınçla çıkarılmasından nispeten daha basit bir işlem olduğundan dolayı sabunlar ve deterjanlarla ekstraksiyon yapılmaktadır (Freddi vd., 2003). Ancak, bu yöntemler daha ileri çalışmalar veya uygulamalar için yüksek kalitede serisin elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Serisinden alkali, sabun ve deterjan safsızlıklarının ilave uygulamalardan önce giderilmesi gerekmektedir (Aramwit vd., 2011).

Literatürde bulunan ve serisin kullanıma yönelik geliştirilen ekstraksiyon yöntemlerinden bir kaçını Tablo 1'de gösterilmektedir. Tabloda da görüldüğü gibi ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen serisin moleküler ağırlığı değişmektedir.

Tablo 1. Serisin ekstraksiyonunda kullanılan çeşitli yöntemler ve elde edilen serisinin moleküler ağırlıkları

Metot	Moleküler ağırlık	Kaynak
LiSCN doygun çözeltisi ile	20-400 kDa	Takasu vd. (2002)
% 0,2 Na ₂ CO ₃ içeren 95°C'deki sıcak su ile	6-67 kDa	Tereda vd. (2003)
Damıtılmış su-bromelain çözeltisi içerisinde 60 dk. 55 °C'de	10-250 kDa	Sonjui vd. (2009)
% 0,5 Na ₂ CO ₃ içeren 80°C ve 120°C'deki sıcak su ile	<100 kDa	Gimenes vd. (2014)
80°C ve 120°C'deki sıcak su ile	20-400 kDa	Gimenes vd. (2014)
120 °C'de 30 dk otoklav ile	12-66 kDa	Yang vd. (2014)

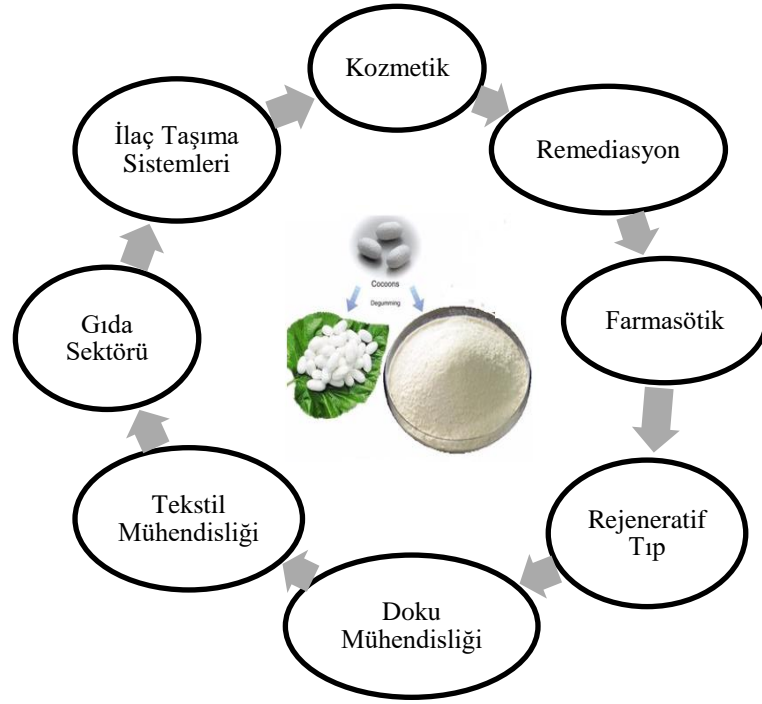
İpek kozalarından serisin eldesinde sık kullanılan bir yöntem olan sodyum karbonat çözeltisi içerisinde kozaların kaynatılması ile serisin eldesi Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. İpek kozalarından serisin eldesi

3. Serisinin Kullanım Alanları

Birkaç çalışmada, ipek proteinlerinin bağışıklık sistemini aktive ettiğini gösterilmiş, ancak aşırı duyarlılık reaksiyonlarının serisin ile ilişkili olduğunu belirtilmiştir. Çünkü ipek fibroinin biyuyumlu olduğu bilinmekte ve bu özelliğinden dolayı birçok biyomedikal uygulamada fibroin kullanılmaktadır (Altman vd., 2003). Ancak, yapılan sonraki çalışmalarda, ipek kozalarından kaynaklanan immünojenik reaksiyonların serisinden dolayı olmadığı kanıtlanmıştır. İpeğe karşı immünojenik cevaplarla ilgili ilginç bir bulgu Panilaitis vd. (2003) tarafından bildirilmiştir. Yapılan bu çalışmada, ipek liflerinin ve in-vitro özütlerinin enflamatuar potansiyelleri incelenmiştir. Yazarlar ipek liflerinin ve çözünmüş formdaki serisinin makrofaj hücrelerinin kültüründe immünojenik olarak etkisiz olduğunu bulmuşlar ve çözünmemiş fibroin partiküllerinin ise, TNF- α (tümör nekroz faktörü- α) salımında belirgin bir artışa sebep olduğunu göstermişlerdir. Bu nedenle yazarlar, ipek liflerinin düşük enflamatuar potansiyelini doğrulayarak, biyomedikal uygulamalar için umut verici adaylar olduğunu doğrulamışlardır. Yine yapılan başka çalışmalar ile, serisinin çözünmüş formda sitotoksik etkisinin olmadığı gösterilmiş ve bunun yanı sıra çözünmüş serisin proteinin hücre büyümesini artırdığı da tespit edilmiştir (Aramwit vd., 2009). Biyoyumluluk, antioksidan etki, antibakteriyel özellik, nemi absorp ve salma yeteneği, UV koruyucu özelliği gibi eşsiz özellikleri sayesinde serisin proteini doku mühendisliği uygulamalarında, yara örtü materyali eldesinde, ilaç salım sistemlerinde, remediasyon işlemlerinde, tekstil mühendisliği gibi birçok biyoteknolojik alanda kullanılma potansiyeline sahip doğal bir polimerdir (Aramwit vd., 2011; Kuns vd., 2016). Şekil 3'te ipek serisinin uygulama alanları gösterilmiş ve bu başlık altında ipek serisinin kullanım alanına yönelik literatürde bulunan çalışmalar özetlenmiştir.



Şekil 3. İpek serisin kullanım alanları

Zhaorigetu vd. (2001), % 30 serisin takviyesinin, bir kolon tümörüne hayvan modelinin diyetindeki etkisini araştırmışlardır. Araştırmanın sonucuna göre, 115 gün boyunca serisin tüketimi vücut ağırlığını ve yiyecek tüketimini etkilememiş ve hayvanlarda kolon adenomu insidansında bir azalma olmuştur. Serisinin antitümör etkisi, düşük hücre proliferasyon hızına, onkogen ekspresyonunda azalmaya ve oksidatif stresin azalmasına neden olmuştur. Sasaki vd. (2000) aynı zamanda kolon tümör modelinde de serisin desteği ile benzer etkiler bulmuşlardır. Yapılan bu çalışma ile, 5 hafta boyunca farelerin yemlerine yapılan % 3 serisin takviyesinin anormal kript odaklarının sayısını azalttığı görülmüş ve serisinin antitümör etkisi ortaya koyulmuştur.

Terada vd. (2003) tarafından yapılan bir çalışmada, ipek kozalarından elde edilen serisin tek başına ve BSA (bovine serum albümin) ile birlikte memeli hücre kültürü ortamına eklenmiştir. Serisin eklenmiş besiyerlerinde murin hibridomas 2E3-0, insan hepatoblastoma HepG2, insan epitel HeLa hücreleri ve insan embriyonal böbrek 293 hücreleri ayrı ayrı kültür edilmiş ve hücrelerin gelişimi takip edilmiştir. Moleküler ağırlığı 6 ila 67 kDa aralığında olan serisin ilaveli besiyerlerinde serisinin derişimi % 0,01 ile 0,1 aralığında olduğunda 4 hücre hattında da hücre canlılığının arttığı görülmüştür. Ayrıca bu çalışma ile serisinin, otoklavlanmanın ardından yapısının değişmediği ve hücre çoğalmasını uyarmak için kültür ortamında bir destek olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Padamwar vd. (2005) serisinin insan derisi üzerinde nemlendirici etkisini *in vivo* çalışmalarla incelemiş ve serisinin hidroksiprolin ve epidermal hücrelerin hidrasyon seviyesini artırma eylemini bulmuşlardır. Hidrasyondaki artış, serisinin nem adsorbe yeteneği ile cilt kuruluğundan sorumlu olan transepidermal su kaybını önlemesine bağlanmıştır. Ayrıca, yazarlar, serisinin cildin stratum korneumunda bulunan ve cildin doğal hidrasyonunda rol oynayan filagrinle aynı amino asit yapısına sahip olduğunu ve bu nedenle serisinin önemli bir nemlendirici madde olduğunu belirtmişlerdir.

Aktürk vd. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada, ipek serisin/kollojen membranlar sentezlenmiş ve çeşitli karakterizasyon yöntemleri ile karakterize edilen membranların yara immünolojik etkileri Wistar sıçanlar üzerinde test edilmiştir. Çalışmanın sonunda, serisin/kollajen membranların biyoyumlu olduğu bulunmuş ve serisinli membranların serisin içermeyen kollajen membranlara göre sıçanlarda akut enflamatuar ve hücrese cevapta anlamlı bir farklılık göstermediği görülmüştür.

Nishida vd. (2011) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, farklı derişimlerde serisin ile hazırlan film, jel ve sünger malzemelerinden flüoresan izotiyosiyano-albümin proteininin salınım özellikleri test edilmiştir. Yapılan bu çalışmada, kullanılan serisin derişiminin salınıma önemli ölçüde etkilediği ve en iyi salınım film formdaki malzemedeki malzemenin olduğu görülmüştür. Sonrasında sıçanlarda yapılan *in-vivo* çalışmalarla, serisin filmlerinin sıçanlarda kollajen benzeri malzemeyle kapsüllendiği ve ağırlıklarının zamanla azaldığı görülmüştür. Yapılan bu *in-vivo* çalışmada, ilaç, serisin filminde 6 haftadan fazla bir zaman kalmış ve serisin filminin implantasyondan sonra sıçanlarda herhangi bir imflamatuar ya da alerjik reaksiyon görülmemiştir. Yapılan bu çalışma ile, serisinin değişik formlarda ilaç salım malzemesi olarak kullanılabileceği kanıtlanmıştır.

Aramwit vd. (2013) tarafından yapılan klinik bir çalışmada, ikinci derece yanıklardan kaynaklanan açık yaraların tedavisinde % 8 serisin içeren standart antibiyotik kremi (gümüş sülfadiazin) kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmada, 29 hastanın yanıkları serisinin topikal uygulamasıyla tedavi edilmiş ve kontrol gruplarına göre serisin uygulanan gruplarda yara iyileşmesinin hızlandığı görülmüştür. Ayrıca serisin uygulanan hastalarda, hastanede kalış sürelerinde ve hastaların ağrılarında bir azalma ve yaşam kalitesinde bir artış olmuştur. Bu çalışmadan önce, Aramwit vd. (2009) sıçanların sırt bölgesinde açmış oldukları yaralarda % 8'lik bir serisin

kreminin kullanılmasını araştırmış ve tedavi edilen hayvanlarda doku enflamatuar sitokinlerinde bir azalma gözlemlenmiş ve genel yara iyileşmesinin hızlandığı belirlenmiştir.

Yine yapılan başka bir çalışmada selüloz nanofiber (CLNF), kitin ve ipek serisin içeren bionano kompozit sünger geliştirilmiştir. Farklı oranlarda selüloz, kitin ve ipek serisin içeren süngerler, dondurarak kurutma işlemi ile üretilmiş ve daha sonra yapısal kararlılık elde etmek için glutaraldehit buharı ile muamele edilmiştir. Elde edilen malzemenin potansiyel bir yara bakım ürünü olma olasılığını açıklığa kavuşturmak için, bionano-kompozit süngerlerden ipek serisin salımı araştırılmıştır (Ang-atikarnkul vd., 2014).

Nayak ve Kundu (2014) ipek serisin/karboksümetil selüloz gözenekli hidrojel matrisleri yara örtüsü uygulamalarında kullanılmak üzere sentezlemişlerdir. Sentezlenen hidrojel matrisler glutaraldehit ve alüminyum klorür ile çapraz bağlanmıştır. Çapraz bağlı matrislere fare rekombinant transforme büyüme faktörü b1 (TGFb1) immobilize edilmiş ve TGFb1'in matrislerden salınımı araştırılmıştır. TGF-b1'in saf karboksümetil selüloz matrislerinden salınması, glutaraldehit çapraz bağlı ipek serisin/karboksümetil selüloz matrislerinden salınmasından önemli ölçüde daha yüksek olduğu görülmüştür. Çalışmada elde edilen serisin/karboksümetil selüloz matrislerinin sitotoksik etkisinin olmadığı yapılan MTT analizi ile de gösterilmiştir.

Eslah vd. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada doku mühendisliği uygulamaları için PVA (polivinil alkol)-serisin nanofiberleri sentezlenmiştir. Bu araştırmada, organik bir çözücü olarak dimetil sülfoksiti (DMSO) kullanarak elektroçizme yöntemi ile farklı oranlarda PVA-ipek serisin içeren nanofiberler elde edilmiştir. Ayrıca, X-ışını difraktometresi ve diferensiyel tarama kalorimetrisi incelemeleri ile PVA ve ipek serisin arasında herhangi bir reaksiyon olmadığını da gösterilmiştir.

Pankaew vd. (2015) tarafından yapılan başka bir çalışmada, yara örtü materyali olarak kullanılmaya potansiyeline sahip ipek serisin-kitosan kompozit filmler sentezlenmiştir. Sentezlenen filmler FTIR ve SEM ile analiz edilmiş ve ipek serisin/kitosan kompozit filmleri UV koruyucu kabiliyeti açısından araştırılmıştır. Farklı oranlarda serisin-kitosan içeren tüm filmlerin 280 nm dalga boyunda güçlü absorpsiyon gösterdiği görülmüş ve sentezlenen filmlerin UVB koruma uygulamaları için kullanılabileceği gösterilmiştir.

Serisinin antioksidan potansiyeli ve serbest radikalleri yok etme kabiliyeti göz önüne alındığında, Kumar vd. (2015) yapmış oldukları bir çalışmada farklı serisin konsantrasyonları (% 0,25-0,5-1,5- 2) kullanarak serisinin bufalo spermatozoaları üzerindeki kriyoprotektif etkisini test etmişlerdir. Serisin'in % 0,25, 0,5 ve 1'lik takviyesi ile, spermatic motilitenin arttığı, % 0,25 ve 0,5 derişimlerinde ise, spermatozoanın plazma membranının bütünlüğünün korunmasında ve bir antioksidan enzim olan SOD'un (süperoksit dismutaz) aktivitesinde bir artışın olduğu görülmüştür. Bu çalışma ile düşük doz serisin takviyesinin, semen kalitesini koruduğu ve oksidatif stresi önlediği görülmüştür.

Tao vd. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, serisin jelleri içerisine immobilize edilmiş gümüş iyonları UV altında gümüş nanopartiküllere (AgNPs) indirgenmiştir. Serisin jeli yüzeyinde immobilize edilen AgNPs'lerin miktarı ışınlama süresi ile düzenlenebilir olduğu görülmüş ve AgNPs'lerin serisin jellerinin gözenekli ve kimyasal yapısını bozmadığı yapılan SEM, X-ışını difraktometrisi ve FTIR analizleri ile kanıtlanmıştır. AgNPs immobilize edilen serisin hidrojelilerin hem gram negatif hem de gram pozitif bakteriler üzerinde antimikrobiyal etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Ersel vd. (2016) tarafından yapılan başka bir çalışmada, Wistar-Albino sıçanların sırtlarında 9x3 cm boyutlarında sırt flebi açılmış ve açılan sırt fleplerine periyodik olarak karboksümetil selüloz ve % 1 oranında ipek serisin içeren karboksümetil selüloz jeli uygulanmıştır. Hiçbir uygulama yapılmayan kontrol grubuna ve sadece karboksümetil selüloz uygulanan gruba göre, serisin uygulanan grupta, epidermal kalınlık ve vaskülarizasyon artmış, saç kökü dejenerasyonu, ödem, hücrel infiltrasyon, kollajen renk değişikliği ve nekroz azalmıştır. Yapılan bu çalışma ile ipek serisinin, yara iyileşmesi üzerinde önemli olumlu etkileri olduğu ve serisin bazı formülasyonların, insizyon yaralarının iyileşmesini hızlandıracağı görülmüştür.

Lamboni vd. (2016) tarafından yapılan başka bir çalışmada, *Acetobacter xylinum* bakterisi tarafından sentezlenen bakteriyel selüloz membranlara farklı oranlarda ipek serisin immobilize edilmiş ve elde edilen kompozit malzemeden *in-vitro* serisin salımı araştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, yapıya serisin eklenmesi ile bakteriyel selüloz membranların termal ve mekanik kararlılığında önemli bir değişiklik gözlenmemiş ve membranlardan salınan serisinin yapısında bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Bunlara ek olarak, hem bakteriyel selüloz hem de normal hücre kültürü ortamı ile karşılaştırıldığında, serisin katkılı membranların ekstrakt solüsyonları fibroblast hücrelerinin canlılığını önemli ölçüde arttırmıştır. Bu çalışmada elde edilen kompozit malzeme doku mühendisliği uygulamalarında kullanılmaya potansiyeli bulabilir.

Karahaliloglu vd. (2017) tarafından yapılan başka bir çalışmada, yara örtü materyali olarak kullanılmaya üzere biyoyumlu, laurik asit (LA) ve çinko oksit nanotanicikler (nZnO) içeren kitosan-serisin iskeleleri dondurarak kurutma yöntemi ile sentezlenmiştir. Sentezlenen iskelelerin hem gram negatif hem de gram pozitif bakteriler üzerinde antimikrobiyal etkiye sahip olduğu görülmüş ve hücre iskelesi olarak kullanıldığında HaCaT hücrelerinin proliferasyonunu ve canlılığını arttırdığı gözlemlenmiştir.

He vd. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, ipek serisin/PVA karışım filmini hazırlamak için yeşil, kolay ve ekonomik bir yaklaşım geliştirilmiştir. Ayrıca, AgNPs'ler, UV ışığı altında yeşil bir sentez yöntemi ile serisin/PVA filminin yüzeyinde sentezlenmiştir. Yapılan mekanik, şişme, kütle kaybı ve su tutma testleri, hazırlanan filmlerin iyi mekanik performans, su tutma kapasitesi ve düşük kütle kaybı oranına sahip olduğunu göstermiştir. Yapılan TEM (Transmisyon Elektron Mikroskopu), FTIR ve XRD (X-ışını Difraktometresi) incelemeleriyle, ipek serisin ve PVA arasında hidrojen bağ ağının oluşumu tespit edilmiş ve yapıya AgNPs eklenmesinin, serisin/PVA filminin iç kristal yapısını etkilemediği görülmüştür. Oluşan inhibisyon zonları ve bakteri büyüme eğrisi testi ile, AgNPs-serisin/PVA filminin gram negatif ve gram pozitif bakteriler üzerinde iyi antibakteriyel etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Bu çalışmada elde edilen AgNPs-serisin/PVA filmi, yara pansumanı ve cilt doku mühendisliği gibi biyomedikal malzemelerde kullanılmaya potansiyeline sahiptir.

Ampawong ve Aramwit (2017) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, dondurarak kurutma ve tuz-süzme teknikleri ile üretilen serisin/PVA/gliserin iskelelerinin yara örtüsü olarak performansının ticari ürünle (Allevyn®) kıyaslanarak değerlendirilmesini amaçlayan *in-vivo* çalışmalar, ortalama ağırlıkları 250 g olan Sprague-Dawley cinsi 48 adet erkek sıçan kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan irritasyon testleri ile her iki yöntemle sentezlenen ve ipek serisin içeren malzemelerin tahriş edici etkisi olmadığı kanıtlanmıştır. Dondurarak kurutulan serisin/PVA/gliserin iskelesinin, muhtemelen kimyasal olmayan bir işlemle sentezlediği için doku ile daha uyumlu olduğu görülmüş ve ayrıca *in-vivo* çalışmalarda, tam kalınlıkta yara iyileşmesini en iyi hızlandıran malzeme olduğu görülmüştür. Bu çalışma ile üretim sürecinin elde edilen biyomalzemenin özelliklerine etki ettiği ve sonuç olarak farklı yara iyileştirme potansiyellerine sahip oldukları görülmüştür. Bu nedenle, yara iyileştirme uygulamasında, biyomalzeme sentez sürecinin seçimi, malzeme seçimi kadar önemli olduğu vurgulanmıştır.

He vd. (2018) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, ipek serisine hidrojen peroksit ve peroksidaz (HRP) enzimi kullanarak serbest radikal polimerizasyon yöntemi ile hidrofobik bir vinil monomeri olan metil metakrilat (MMA) aşılantısıdır. Elde edilen serisin aşılı kopolimeri (SS-g-PMMA) FTIR, SDS-PAGE (SDS Poliakrilamid Jel Elektrofrezisi) ve SEC (Büyükölçüce Ayırma Kromatografisi) ile incelenmiştir. Yapılan analizler, MMA'nın serisin zincirlerindeki reaktif bölgelere başarılı bir şekilde kopolimerize edildiğini ve sentezlenen kopolimerin molekül ağırlığında bir artışa neden olduğunu göstermiştir. Daha sonra elde edilen aşılı kopolimeri dondurarak kurutma yöntemi ile membran haline getirilmiş ve elde edilen membranın biyoyuurluluğu, ISO 10993-5-2009'a göre CKK-8 testi ve NIH/3T3 hücreleri kullanılarak test edilmiş ve elde edilen SS-g-PMMA membranların hücreler üzerinde bir toksik etkiye sahip olmadığı görülmüştür. Mevcut çalışmada serisin gibi endüstriyel atıkların yeniden kullanımı için çevre dostu bir teknik geliştirmekte ve ayrıca serisin bazı biyomalzemelerin hazırlanması için yeni bir yöntem sunulmaktadır.

Kwak ve Lee (2018) tarafından yapılan başka bir çalışmada, polietilenimin (PEI) ile modifiye edilmiş ipek serisin küreleri üretilmiştir. PEI modifikasyon işlemi FTIR, SEM ve X-ışını spektroskopisi analizleri ile doğrulanmıştır. PEI ile modifiye edilmiş serisin küreleri, Cr (VI) iyonunu uzaklaştırmada kullanılmıştır. Adsorpsiyon çalışmalarının sonuçları, PEI ile modifiye edilmiş serisin kürelerinin Cr (VI) uzaklaştırma kapasitesinin 365,3 mg/g olduğunu ve bunun, saf serisin kürelerinin kapasitesine (34,56 mg/g) göre önemli ölçüde yüksek olduğunu göstermiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, PEI ile modifiye edilmiş serisin kürelerinin, Cr (VI) iyonunun adsorpsiyonu ve detoksifikasyonu için umut verici bir malzeme olduğunu ortaya koymaktadır.

Gilotra vd. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, ipek serisin içeren PVA nanofiberler elektroçizme yöntemi ile sentezlenmiştir. Elde edilen materyalin serbest radikal süpürme kapasitesi, antibakteriyel aktivitesi, şişme kapasitesi ve biyoyuurluluk analizleri yapılmıştır. İpek serisin içeren PVA nanolifleri üzerinde, murin fibroblastları (L929) ve insan keratinositleri serisin içermeyen PVA iskelelerine kıyasla daha yüksek proliferasyon göstermiştir. Buna ek olarak, serisin içeren PVA nanoliflerinde, H₂O₂ kaynaklı oksidatif stres altında bile hücre canlılığını engellenmemiş ve serisin mükemmel antioksidan potansiyel sergilemiştir. Ayrıca, farelere nanofiber matların deri altı implantasyonunun, konakçı dokuda herhangi bir enflamatuvar reaksiyon meydana getirmediği yapılan çalışmalarla gösterilmiştir.

Literatürde, ipek kozalarından elde edilen serisinin biyomedikal, eczacılık, kozmetik, gıda ve tekstil endüstrisi gibi önemli endüstriyel alanlarda kullanıma potansiyeli olduğunu gösteren çalışmalar olmasına rağmen, ipek serisin çoğunlukla ipek işleme tesislerinde atık olarak atılmaktadır. Birçok alanda uygulama potansiyeli bulunan ipek serisinin kozalardan geri kazanılması, önemli ekonomik ve sosyal faydalar sağlayacaktır. Ancak literatürde, serisin ve serisin ile modifiye edilmiş malzemeler hakkında yapılan iddiaların çoğunu destekleyen az sayıda spesifik ve nesnel araştırma çalışmaları bulunmaktadır.

4. Sonuç

İpek serisin, ipek böceği *B. mori* tarafından üretilen ve salgılanan doğal bir polimerdir. Serisin suda çözünebilen bir glikoproteindir ve koza ağırlığının % 25 ila 30'unu oluşturmaktadır. Serisin yapısında güçlü polar yan grupları (hidroksil, karboksil ve amino grupları) bulunan 18 amino asitten oluşmaktadır. Serisin, kozalardan elde edilme yöntemine göre 20-400 kDa ağırlığı arasında bulunan ve Ser1, Ser2 ve Ser3 genleri tarafından sentezlenen yüksek moleküler bir heterojeniteye sahip bir proteindir. Serisinin fiziksel ve kimyasal özellikleri ekstraksiyon yöntemine göre değişse de, serisin birçok biyoteknolojik uygulamada avantaj sağlayan biyoyuurluluk, antioksidan özellik, antibakteriyel aktivite gibi eşsiz özelliklere sahip doğal bir proteindir. Ancak günümüzde serisin, ipek işleme tesislerinde yan ürün olarak uzaklaştırılmakta ve bir atık olarak kabul görmektedir. Bu denli eşsiz özelliklere sahip bir protein olan serisinin atık olarak doğaya atılması bir kayıptır. Son yıllarda, ipekten kaynaklanan immünolojik reaksiyonların serisinden kaynaklanmadığı ve çözülmüş formdaki serisinin immünolojik reaksiyonlara sebep olmadığı birçok araştırmacı tarafından kanıtlanmış ve serisin üzerine literatürde bulunan çalışmaların sayısında ciddi bir artış olmuştur. Yapılmış olan ve ileride yapılacak olan araştırma çalışmaları ile, serisinin biyoteknolojik alanda kullanımı yaygınlaşacak ve ipek serisin tabanlı ürünlerin ticarileşmesi için işleme tesislerinde atılan serisin için daha verimli ve daha ucuz yöntemlerin geliştirilmesi gerekecektir.

Kaynakça

- Ak, F. 2013. İpek Fibroin Kriyojellerinin Sentezi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 93s, İstanbul.
- Akturk, O., Tezcaner, A., Bilgili, H., Deveci, M.S., Gecit, M.R., Keskin, D. 2011. Evaluation of sericin/collagen membranes as prospective wound dressing biomaterial. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 112(3), 279-288.
- Altman, G.H., Diaz, F., Jakuba C., Calabro, T., Horan, R.L., Chen, J., Lu, H., Richmond, J., Kaplan, D.L. 2003. Silk-based biomaterials. *Biomaterials* 24(3), 401-416.
- Ampawong, S., Aramwit. P. 2017. In vivo safety and efficacy of sericin/poly(vinyl alcohol)/glycerin scaffolds fabricated by freeze-drying and salt-leaching techniques for wound dressing applications. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*, 1-14. <https://doi.org/10.1177/0883911517694398>
- Ang-atikarnkul, P., Watthanaphanit, A., Rujiravanit R. 2014. Fabrication of cellulose nanofiber/chitin whisker/silk sericin bionanocomposite sponges and characterizations of their physical and biological properties.. *Composites Science and Technology* 96, 88-96.
- Aramwit, P., Kanokpanont, S., De-Eknankul, W., Srichana, T. 2009. Monitoring of inflammatory mediators induced by silk sericin. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 107, 556-561.
- Aramwit, P., Palapinyo, S., Srichana, T., Chottanapund, S., Muangman, P. 2013. Silk sericin ameliorates wound healing and its clinical efficacy in burn wounds. *Archives of Dermatological Research* 305, 585-594.
- Aramwit, P., Siritientong, T., Srichana, T. 2011. Potential applications of silk sericin, a natural protein from textile industry by-products. *Waste Management & Research* 30(3), 217-224. DOI: 10.1177/0734242X11404733
- Chen, F., Porter, D., Vollrath, F. 2012. Structure and physical properties of silkworm cocoons. *Journal of the Royal Society Interface* 9, 2299-2308.
- Çalamak, S. 2012. Yara Örtüsü Olarak İpek Bazlı Antibakteriyel Biyonanotekstillerin Üretimi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 104s, Ankara.
- Dash, B.C., Mandal, B.B., Kundu, S.C. 2009. Silk gland sericin proteinmembranes: fabrication and characterization for potential biotechnological applications. *Journal of Biotechnology* 144(4), 321-329.
- Dash, R., Acharya, C., Bindu, P.C., Kundu, S.C. 2007. Antioxidant potential of silk protein sericin against hydrogen peroxide-induced oxidative stress in skin fibroblasts. *BMB Reports* 41, 236-41.
- Ersel, M., Uyanikgil, Y., Karbek Akarca, F., Ozcete, E., Altunci, Y.A., Karabey, F., Cavusoglu, T., Meral, A., Yigitturk, G., Cetin, E.O. 2016. Effects of Silk Sericin on Incision Wound Healing in a Dorsal Skin Flap Wound Healing Rat Model. *Medical Science Monitor*, 22, 1064-1078. DOI: 10.12659/MSM.897981
- Eslah, S., Tavanai, H., Morshed, M. 2016. Electrospinning and characterization of poly (vinyl alcohol)-sericin nanofibers as a potential for tissue engineering applications,. *The Journal of The Textile Institute* 107, 949-957. <http://dx.doi.org/10.1080/00405000.2015.1072328>
- Fan, J.B., Wu, L.P., Chen, L.S., Mao, X.Y., Ren, F.Z. 2009. Antioxidant activities of silk sericin from silkworm *Bombyx mori*. *Journal of Food Biochemistry* 33, 74-88.
- Freddi, G., Mossotti, R., Innocenti, R. 2003. Degumming of silk fabric with several proteases. *Journal of Biotechnology* 106, 101-112.
- Garel, A., Deleage, G., Prudhomme, J.C. 1997. Structure and organization of the *Bombyx mori* sericin 1 gene and of the sericins 1 deduced from the sequence of the Ser 1B C_{dn}. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 27(5), 469-477.
- Gilotra, S., Chouhan, D., Bhardwaj, N., Nandi, S.K., Mandal, B.B. 2018. Potential of silk sericin based nanofibrous mats for wound dressing applications. *Materials Science & Engineering C* 90, 420-432. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.04.077>
- Gimenes, M.L., Silva, V.R., Vieira, M.G.A, Da Silva, M.G.C., Scheer, A.P. 2014. High molecular sericin from *Bombyx mori* cocoons: extraction and recovering by ultrafiltration. *International Journal of Chemical Engineering and Applications* 5(3), 266-271.
- Hardy, J.G., Römer, L.M., Scheibel, T.R. 2008. Polymeric materials based on silk proteins. *Polymer* 49, 4309-4327.
- He, H., Cai, R., Wang, Y., Tao, G., Guo, P., Zuo, H., Chen, L., Liu, X., Zhao, P., Xia, Q. 2017. Preparation and characterization of silk sericin/PVA blend film with silver nanoparticles for potential antimicrobial application. *International Journal of Biological Macromolecules* 104, 457-464.
- He, M., Hu, H., Wang, P., Fu, H., Yuan, J., Wang, Q., Fan, X. 2018. Preparation of a bio-composite of sericin-g-PMMA via HRP-mediated graft copolymerization. *International Journal of Biological Macromolecules* 117, 323-330.

- Islam, S., Shahid, M., and Mohammad, F. 2013. Green Chemistry Approaches to Develop Antimicrobial Textiles Based on Sustainable Biopolymers A Review. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 52, 5245-5260. dx.doi.org/10.1021/ie303627x
- Karahaliloglu, Z., Kilicay, E., Denkbas, E.B. 2017. Antibacterial chitosan/silk sericin 3D porous scaffolds as a wound dressing material. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology* 45, 1172-1185.
- Kimura, K., Oyama, F., Ueda, H., Mizuno, S., Shimura, K. 1985. Molecular cloning of the fibroin light chain complementary DNA and its use in the study of the expression of the light chain gene in the posterior silk gland of *Bombyx mori*. *Experientia* 41(9), 1167-1171.
- Kumar, P., Kumar, D., Sikka, P., Singh, P. 2015. Sericin supplementation improves semen freezability of buffalo bulls by minimizing oxidative stress during cryopreservation. *Animal Reproduction Science* 152, 26-31.
- Kunz, R.I., Brancalhão, R.M.S., Ribeiro, L.F.C., Natali, M.R.M. 2016. Silkworm Sericin: Properties and Biomedical Applications. *BioMed Research International* 2016, Article ID 8175701, 19 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2016/8175701>
- Kwak, H.W., Lee, K.H. 2018. Polyethylenimine-functionalized silk sericin beads for highperformance remediation of hexavalent chromium from aqueous solution. *Chemosphere* 207, 507-516. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.158>
- Kweon, H.Y., Yeo, J.H., Lee, K.G., Lee, Y.W., Park, Y.H., Nahm, J.H., Cho, C.S. 2000. Effects of poloxamer on the gelation of silk sericin. *Macromolecular Rapid Communications* 21, 1302-1305.
- Lamboni, L., Li, Y., Liu, J., Yang, G. 2016. Silk Sericin-Functionalized Bacterial Cellulose as a Potential Wound-Healing Biomaterial. *Biomacromolecules* 17, 3076-3084. DOI: 10.1021/acs.biomac.6b00995
- Michaille, J.J., Garel, A., Prudhomme, J.C. 1990. Cloning and characterization of the highly polymorphic Ser2 gene of *Bombyx mori*. *Gene* 86(2), 177-84.
- Mondal, M., Trivedy, K. Kumar, S.N. 2007. The silk proteins, sericin and fibroin in silkworm, *Bombyx mori* Linn.-a review. *Caspian Journal of Environmental Sciences* 5(2), 63-76.
- Nayak, S., Kundu, S.C. 2014. Sericin-carboxymethyl cellulose porous matrices as cellular wound dressing material. *Journal of Biomedical Material Research Part A* 2014:102A, 1928-1940.
- Nishida, A., Yamada, M., Kanazawa, T., Takashima, Y., Ouchi, K., Okada, H. 2011. Sustained-release of protein from biodegradable sericin film, gel and sponge," *International Journal of Pharmaceutics* 407, 44-52.
- Padamwar, M.N., Pawar, A.P. 2004. Silk sericin and its applications: A review. *Journal of Scientific and Industrial Research* 63, 323-329.
- Padamwar, M.N., Pawar, A.P., Daithankar, A.V., Mahadik, K.R. 2005. Silk sericin as a moisturizer: an *in vivo* study. *Journal of Cosmetic Dermatology* 4, 250-257.
- Panilaitis, B., Altman, G.H., Chen, J., Jin, H.J., Karageorgiou, V., Kaplan, D.L. 2003. Macrophage responses to silk. *Biomaterials* 24(18), 3079-3085.
- Pankaew, P., Klumdong, P., Naemchanthara, K. 2015. A Study of the Preparation of Silk Sericin/Chitosan Composite Film for Future Wound Dressing Applications. *Applied Mechanics and Materials* 804, 179-182.
- Rajput S.K., Kumar, M. 2015. Sericin-a unique biomaterial. *IOSR Journal of Polymer and Textile Engineering* 2(3), 29-35.
- Sasaki, M., Kato, N., Watanabe, H., Yamada, H. 2000. Silk protein, sericin, suppresses colon carcinogenesis induced by 1,2-dimethylhydrazine in mice. *Oncology Reports* 7(5), 1049-1052.
- Shaw, J.T.B., Smith, S.G. 1951. Amino-acids of silk sericin. *Nature* 168 (4278), 745.
- Sonjui, T., Noomhorm, C., Promboon, A. 2009. Sericin recovery from silk cocoon degumming wastewater by a membrane process. *Kasetsart Journal-Natural Science* 43(3), 538-549.
- Takasu, Y., Yamada, H., Tsubouchi, K. 2002. Isolation of three main sericin components from the cocoon of the silkworm, *Bombyx mori*. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 66, 2715-2718.
- Takasu, Y., Yamada, H., Tamura, T., Sezutsu, H., Mita, K., Tsubouchi, K. 2007. Identification and characterization of a novel sericin gene expressed in the anterior middle silk gland of the silkworm *Bombyx mori*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 37(11), 1234-1240.
- Tao, G., Liu, L., Wang, Y., Chang, H., Zhao, P., Zuo, H., He, H. 2016. Characterization of Silver Nanoparticle In Situ Synthesis on Porous Sericin Gel for Antibacterial Application. *Journal of Nanomaterials*, Article ID 9505704, 8 pages.
- Terada, S., Nishimura, T., Sasaki, M., Yamada, H., Miki, M. 2003. Sericin, a protein derived from silkworms, accelerates the proliferation of several mammalian cell lines including a hybridoma. *Cytotechnology* 40, 3-12.
- Tokutake, S. 1980. Isolation of the smallest component of silk protein. *Biochemistry Journal* 187, 413-417.

- Yang, M., Shuai, Y., Zhou, G., Mandal, N., Zhu, L., Mao, C. 2014. Tuning molecular weights of *Bombyx mori* (*B. mori*) silk sericin to modify its assembly structures and materials formation. *ACS Applied Materials & Interfaces* 6(16), 13782-13789.
- Zhang, X., Tsukada, M., Morikawa, H., Aojima, K., Zhang, G., Miura, M. 2011. Production of silk sericin/silk fibroin blend Nanofibers. *Nanoscale Research Letters* 6 (1), 510.
- Zhang, Y.Q. 2002. Applications of natural silk protein sericin in biomaterials. *Biotechnology Advances* 20, 91-100. doi:10.1016/S0734-9750(02)00003-4
- Zhaorigetu, S., Sasaki, M., Watanabe, H., Kato, N. 2001. Supplemental silk protein, sericin, suppresses colon tumorigenesis in 1,2-dimethylhydrazine-treated mice by reducing oxidative stress and cell proliferation. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 65(10), 2181-2186.
- Zhu, L.J., Yao, J., Youlu, L. 1998. Structural transformation of sericina dissolved from cocoon layer in hot water. *Zhejiang Nongye Daxue Xuebao* 24(3), 268-272.



Kinetics of Fluorescein Sodium Salt /Polystyrene (FFS/PS) Composites by TG Technique

Ayşegül Dere^{1*}

¹ Firat University, Nanoscience and Nanotechnology Laboratory, Elazig 23169, Turkey (ORCID: 0000-0003-1744-1315)

(First received 1 February 2019 and in final form 18 March 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.521174)

REFERENCE: Dere, A. (2019). Kinetics Of Fluorescein Sodium Salt /Polystyrene (Ffs/Ps) Composites By TG Technique. *European Journal of Science and Technology*, (15), 460-465.

Abstract

The fluorescein sodium salt (FSS) /polystyrene (PS) composites were prepared by powder metallurgy method (PM). The thermal behavior of the composites was characterized by thermogravimetric analysis (TG) technique. It is observed that the composites decompose in two steps. The kinetic parameters (activation energy, frequency factor) and thermodynamic parameters (enthalpy $\Delta H\#$ change, entropy change $\Delta S\#$ and Gibbs free energy change $\Delta G\#$) were calculated from the TG curves. Eight $g(\alpha)$ functions for decomposition mechanism (DM) were used to evaluate the kinetic parameters and analysis of experimental results suggests that in the first decomposition step, the actual DM is D3 type which is the three-dimensional diffusion mechanism for the first decomposition step of the composites. But, in the second decomposition step, it was observed that the decomposition mechanism is from one-dimensional diffusion (D1) to the random nucleation mechanism (F1).

Keywords: Composite, Kinetic-Thermodynamic Parameters, Thermal Analysis.

TG Tekniği ile Floresin Sodyum Tuzu / Polistiren (FFS / PS) Kompozitlerinin Kinetiği

Öz

Floresin sodyum tuzu (FSS) / polistiren (PS) kompozitleri toz metalurjisi metodu (PM) ile hazırlandı. Kompozitlerin termal davranışı, termogravimetrik analiz (TG) tekniği ile karakterize edildi. Kompozitlerin iki adımda bozunduğu gözlemlendi. Kinetik parametreler (aktivasyon enerjisi, frekans faktörü) ve termodinamik parametreler (entalpi $\Delta H \#$ değişimi, entropi değişimi $\Delta S \#$ ve Gibbs serbest enerji değişimi $\Delta G \#$) TG eğrilerinden hesaplandı. Bozunma mekanizması (DM) için sekiz $g(\alpha)$ fonksiyon kinetik parametreleri değerlendirmek için kullanıldı ve deneysel sonuçların analizi, birinci bozunma adımında, gerçek DM'nin kompozitlerin birinci bozunma adımı için üç boyutlu difüzyon mekanizması olan D3 tipi olduğunu göstermiştir. Fakat, ikinci bozunma aşamasında, bozunma mekanizmasının bir boyutlu difüzyondan (D1), rastgele çekirdeklenme mekanizmasına (F1) olduğu gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler: Kompozit, Kinetik-Termodinamik parametreler, Termal Analiz.

1. Introduction

The thermal analysis techniques such as differential scanning calorimetry (DSC) and thermogravimetry analysis (TG) methods have been widely used to determine thermal behavior of the solid materials [1-6]. In general these methods are used to constantly measure the changes occurring in the physical properties of a material. Differential thermal analysis (DTA) and differential scanning calorimetry

* Corresponding Author: Firat University, Nanoscience and Nanotechnology Laboratory, Elazig 23169, Turkey (ORCID: 0000-0003-1744-1315), a.dere@firat.edu.tr

(DSC) are of particular importance. Both procedures permit the amount of heat to be determined that are taken up from or emitted to the surroundings per unit time during isothermal procedures or during heating and cooling. In this manner heat capacities, melt enthalpies, transition temperatures, heat capacity etc, can be measured and from this information further indications regarding phase transitions, crystallization processes etc. can be derived.

Thermogravimetry is a process in which a substance is decomposed in the presence of heat, which causes bonds the molecules to be broken. The TG technique has been widely used to determine non-isothermal decomposition kinetics because of simplicity and the information afforded by a simple thermogram.

The thermal behavior of the composites plays an important role in determining the transport mechanism, thermal stability and practical applications. The thermodynamic parameters are very important for the studying of heat transport phenomena mechanism in various solid state compounds such as composites.

This study is mainly aimed to determine kinetic and thermodynamic parameters and possible decomposition mechanism in these materials.

2. Material and Method

2.1. Composites fabrication and thermal analysis measurements

The fluorescein sodium salt (FSS) and polystyrene (PS) were purchased from the Sigma–Aldirch. Polystyrene of varying compositions (10-40%wt.) is mixed at room temperature until the PS powder surrounded the FSS particles. Four mixtures were prepared at different compositions as FSS+10%PS, FSS+20%PS, FSS+30%PS, and FSS+40%PS by powder metallurgy technique. Each mixture was cold compacted in a floating die using hydraulic press at compaction pressure of 50 MPa. The compacts were in shape of pellets of 10 mm diameter. The compacts were sintered in a furnace at 140 °C in nitrogen atmosphere.

TG analyzer of the composites was carried out using a TG-50 Schimadzu thermogravimetric instrument. The composites (about 10 mg) were heated to 500 °C with a heating rate of 20 °C/min under nitrogen atmosphere using an aluminum crucible.

3. Results and Discussion

The TG curves of the composites indicate that the composites decompose in two steps in the investigated temperature range (Fig. 1a). The decomposition of FSS+10%PS composite starts at 307 K and this step continues up to 433 K, when a rest appears in the curve and in this step the fluorescein sodium salt (FSS) decomposes. The next decomposition step starts at 633 K and continues up to 773 K corresponding to decomposition of the PS when compared TG curve of polystyrene. Beyond 773 K there is no weight loss. Similarly, the other composites decompose two steps. The decomposition temperatures ranges for each step are given in Table 1.

The onset decomposition temperature of the second step increases when the PS content in the FSS was increased, the decomposition starts at higher temperatures and the composites exhibited higher transition glass temperature. Thus, in the second step, the onset decomposition temperature increases due to the interfacial interaction between FSS and PS when compared to PS (see Fig. 1b)

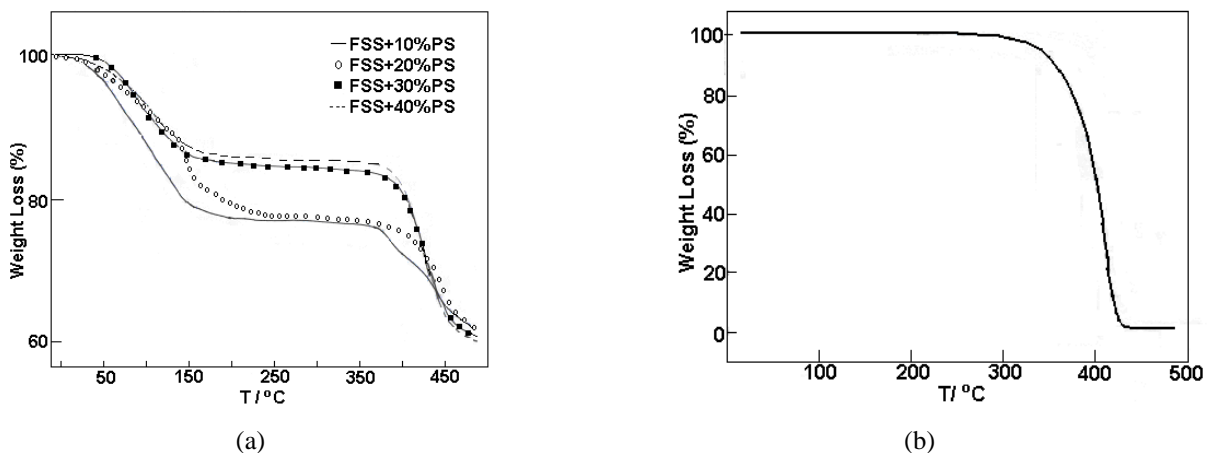


Fig. 1 a) The TG curves of the composites b) The TG curve of PS

Table 1. The kinetic and thermodynamic parameters for the composites (TG)

Composite	Dec. Range(°C)	$\Delta H^\#$ (kJ/mol)	$\Delta S^\#$ (J/mol.K)	$\Delta G^\#$ (kJ/mol)	A (s ⁻¹)	E (kJ/mol)
FSS+10%PS	34-160 1 st step	26.7	-238.8	130.1	3.03	30.31
	360-500 2 nd step	17.16	-269.8	225.7	0.13	23.59
FSS+20%PS	46-205 1 st step	28.20	-242.0	143.9	2.26	32.18
	374-500 2 nd step	26.23	-254.2	222.8	0.85	32.66
FSS+30%PS	45-152 1 st step	48.21	-185.33	126.9	1.85 10 ³	51.73
	381-460 2 nd step	45.55	-210.6	199.9	152.7	51.65
FSS+40%PS	31-150 1 st step	36.88	-216.88	128.6	41.42	40.40
	383-460 2 nd step	61.70	-184.4	196.9	3.55 10 ³	67.80

The thermal behavior process is generally well understood when kinetic parameters such as activation energy E , and frequency factor A are known. The basic equation for the fraction of conversion at a constant temperature,

$$\alpha = \frac{(m_o - m)}{(m_o - m_f)} \quad (1)$$

where m is the weight of composite, m_o is the weight at the beginning of the decomposition and m_f is the end of weight loss event of interest. The basic equation for the rate of conversion can be expressed by the following relationship,

$$\frac{d\alpha}{dt} = f(\alpha)K(T) \quad (2)$$

where $K(T)$ is the rate of weight loss and $f(\alpha)$ is the function of conversion and $K(T)$ is defined by an Arrhenius relationship,

$$K(T) = A \exp(-E/RT) \quad (3)$$

where A is the Arrhenius frequency factor, E is the activation energy and R is the gas constant ($R=8.315$ J/mol.K). A combination of Eq(2) and Eq(3) gives

$$\frac{d\alpha}{dt} = \beta \frac{d\alpha}{dT} = f(\alpha)A \exp(-E/RT) \quad (4)$$

where β is the heating rate $\beta=dT/dt$. This method is so-called Friedman-Reich-Levi method which is a differential method [7]. If

conversion function is taken as $f(\alpha) = (1 - \alpha)^n$, combining of Eq(3) and Eq(4) gives the complete rate equation for nth-order reactions,

$$\frac{d\alpha}{dt} = A \exp(-E/RT)(1 - \alpha)^n \quad (5)$$

In logarithmic form, the equation can be written as,

$$\ln\left(\frac{d\alpha}{dt}\right) = \ln A - E/RT + n \ln(1 - \alpha) \quad (6)$$

If $\ln(d\alpha/dt)$ is plotted as a function of $1/T$, A and E values can be obtained from the intercept and slope of the regression line.

The kinetic parameters can be also calculated using Coats-Redfren method [8-11]:

$$\ln\left[\frac{g(\alpha)}{T^2}\right] = \ln\left[\frac{AR}{\beta E}\left(1 - \frac{2RT}{E}\right)\right] - \frac{E}{RT} \quad (7)$$

where α is the fraction decomposed at temperature T . The kinetic parameters such as activation energy and Arrhenius factor for the composites can be calculated graphically from this equation by selecting a $g(\alpha)$ function listed in Table 1. On the other hand, thermodynamic parameters for decomposition such as such enthalpy $\Delta H^\#$ change, entropy change $\Delta S^\#$ and Gibbs free energy change $\Delta G^\#$ of the composites can be calculated using the following relations:

$$\Delta S^\# = \ln\left(\frac{Ah}{kT}\right)R \quad (8)$$

$$\Delta H^\# = E - RT \quad (9)$$

$$\Delta G^\ddagger = \Delta H - T\Delta S^\ddagger \quad (10)$$

where h is the Planck constant and T is the temperature involved in the calculations selected as the temperature at the end of the decomposition step, A is the Arrhenius constant. The entropy and activation energy were calculated using intercept and slope of the plot of $\ln[g(\alpha)/T^2]$ vs. $1000/T$ using [12-15],

$$\text{intercept} = \ln\left(\frac{AR}{\beta E}\right) \quad (11)$$

and

$$E = -\text{slope} \times 8.315 \text{ (kJ/mol)} \quad (12)$$

Eight $g(\alpha)$ functions were used to evaluate the kinetic parameters. The goodness of fit is checked by calculating the correlation coefficient. The correlation coefficients for each function were calculated and the correlation coefficient having maximum value is chosen as the mechanism of decomposition. The highest value of correlation coefficient is obtained for $[1-(1-\alpha)^{1/3}]^2$ in the first decomposition step of the composites. On the other hand, α^2 and $-\ln(1-\alpha)$ functions were, respectively, obtained for the second steps of FSS+10%PS, FSS+20%PS and FSS+30%PS, FSS+40%PS composites. Hence in the first step of the composites, the mechanism of decomposition is D3 type which is the three-dimensional diffusion mechanism. But, in the second step, the decomposition mechanism is from one-dimensional diffusion (D1) to the random nucleation mechanism (F1). (see Table 2). The other models gave less satisfactory fit of data [16,17].

The plots for decomposition mechanisms of the composites were given in Figs. 2(a-c). A computer program was written to calculate the data analysis using different models. All the calculations for the decomposition mechanisms were done with the help of this computer program and the best fit for the results was calculated by the least square method. The activation energies E for first and second steps of the thermal decomposition of the composites are respectively in the range of 30.31-51.73 and 23.59-67.80 kJ/mol. It is observed that while the values of E for 2nd decomposition step are showing a definite trend along the compositions, they do not a definite trend for 1st step. The entropy values also indicated negative value. This means that the activated composite has a more ordered structure than the reactants.

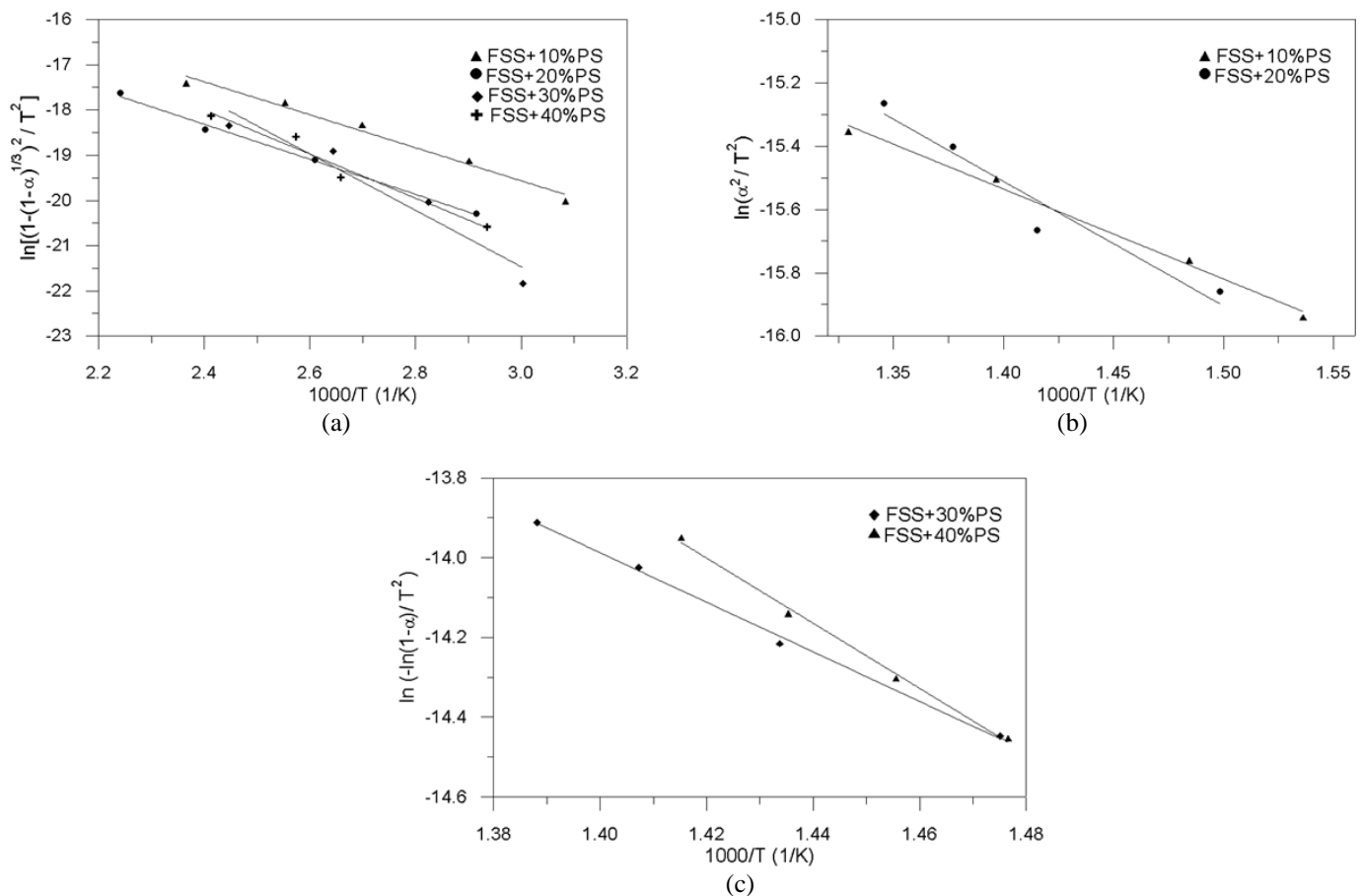


Fig. 2 Plots of $\ln[g(\alpha)/T^2]$ vs $1000/T$ for the composites a) 1st step for composites b) 2nd step for FSS+10%PS and FSS+20%PS c) 3rd step for FSS+30%PS and FSS+40%PS

The low thermal stability of the composites is reflected in the calculated values of activation energy as shown in Table 2. It is observed that in the first and second decomposition steps, the activation energies changed with PS content. Activation energies calculated from the first step indicated that the decomposition started from the soft segment has the bond FSS groups. On comparing the activation energies of the second steps, FSS+30%PS and FSS+40%PS composites show a higher value. None of the kinetic parameters for the second decomposition step show a definite trend. But, in the first step, all the kinetic parameters show a definite trend.

Table 2 The kinetic and thermodynamic parameters for the composites (TG)

No	$g(\alpha)$	Correlation coefficient (R)							
		FSS+10%PS		FSS+20%PS		FSS+30%PS		FSS+40%PS	
		Step I	Step II	Step I	Step II	Step I	Step II	Step I	Step II
1	$-\ln(1-\alpha)$	0.9698	0.9884	0.9935	0.8992	0.9193	0.9971	0.9534	0.9889
2	$[-\ln(1-\alpha)]^{1/2}$	0.8699	0.7066	0.9796	0.8939	0.8535	0.9720	0.8940	0.9316
3	α^2	0.9777	0.9974	0.9964	0.9793	0.9330	0.9647	*.9659	0.9429
4	$\alpha+(1-\alpha)\ln(1-\alpha)$	0.9794	0.9972	0.9961	0.9793	0.9345	0.9668	0.9660	0.9412
5	$[1-(1-\alpha)^{1/3}]^2$	0.9809	0.9969	0.9987	0.9793	0.9361	0.9690	0.9662	0.9393
6	$[1-(2/3)\alpha]-(1-\alpha)^{2/3}$	0.9799	0.9971	0.9959	0.9791	0.9351	0.9676	0.9660	0.9405
7	$1-(1-\alpha)^{1/2}$	0.9655	0.9949	0.9942	0.9426	0.9161	0.9680	0.9530	0.9387
8	$1-(1-\alpha)^{1/3}$	0.9670	0.9959	0.9940	0.9450	0.9172	0.9692	0.9531	0.9381

4. Conclusions and Recommendations

The TG measurements show that the composites studied decomposed in two steps. The kinetic parameters in non isothermal conditions are investigated and thermodynamic parameters such as enthalpy and entropy of the composites were calculated. The results show that in the first decomposition step of the composites, the decomposition mechanism is D3 type. But, in the second step, D1 type decomposition mechanism was changed to F1 mechanism when the PSS content was increased.

4. Acknowledge

The author thanks to Prof.Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU for his supporting.

References

- 1 M. Zayed and F.A. Nour El-dien, *Thermochem. Acta*, 114(1987) 359
- 2 A.A. Salman, *J. Therm. Anal. Cal.*, 63 (2001) 22
- 3 L. Nunez, F. Fraga, M.R. Nunez, M.T Villanueva, *Polymer* 41 (2000) 4635.
- 4 X. Wang, K. Yang, Y. Wang, B. Wu, Y. Liu, B. Yang, *Polymer Degradation and Stability*, 81 (2003) 415.
5. M.I. Nad-Elrahman, M.O. ahmed, S.M. Ahmed, T. Aboul-Fadl, A. El-Shorbagi, *Biophysical Chemistry*, 97 (2000) 113.
- 6 N. Bmanaragan, N.S. Saxena, D. Bhandari, M.M. Imran and D.D. Paudyal, *Bull. Mater. Sci.*, 23(5) (2000) 369
- 7 H.L. Friedman, *J. Poly. Sci. Polym. Symp.*, 41 (1964) 183
- 8 H.H. Horowitz, A. Metzger, *Anal. Chem*, 35 (1963) 1464.
- 9 A.W. Coats, J.P. Redfren, *Nature* 201 (1964) 68.
- 10 R.M. Mahfouz, K.A. Al-Farhan, G.Y. Hassen, A.I. Al-Wassil, S.M. Alshehri, A.A. Al-Wallan, *Synth. React. Inorg. Met-Org. Chem.* 32(3) (2002) 489.
- 11 Wenhan Cao, Jun Li, Leo Lue, *Energy Procedia*, 142 (2017) 136.
- 12 Fahrettin Yakuphanoglu, *J. mater. electron. Device*, 1 (2017) 21.
- 13 M Sekerci, F. Yakuphanoglu, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 75 (2004) 189.
- 14 Fahrettin Yakuphanoglu, Mehmet Sekerci, Ertan Evin, *Physica B* 382 (2006) 21.
- 15 Jing Ma, Hainan Luo, Yi Li, Zhengang Liu, Dong Li, Chao Gai, WentaoJiao, *Bioresource Technology*, Accepted 2019.
- 16 F.Yakuphanoglu, A.O.Gorgulu, A.Cukurovali, *Physica B: Condensed Matter*, 353 (2004) 223.
- 17 F. Yakuphanoglu, Y. Aydogdu, U. Schatzschneider, E. Rentschler, *Physica B* 334 (2003) 443.



PV-Batarya Hibrit Sistemi İçeren Elektrikli Araç Otoparkının Şarj Yönetimi

Alper Çiçek^{1*}, Ozan Erdinç¹

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

(İlk Geliş Tarihi 14 Şubat 2019 ve Kabul Tarihi 20 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.527350)

ATIF/REFERENCE: Çiçek, A. & Erdinç, O. (2019). PV-Batarya Hibrit Sistemi İçeren Elektrikli Araç Otoparkının Şarj Yönetimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 466-474.

Öz

Dünyada enerji tüketiminde taşımacılık sektörünün önemli bir payı vardır. Bu enerjinin büyük çoğunluğu karbon salınımına sebep olan petrol ve türevi yakıtlar kullanılarak elde edilmektedir. Dolayısıyla sera gazı emisyonlarına sebep olmayan ve temiz enerji olarak adlandırılan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına gereksinim vardır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına olanak veren ve içten yanmalı motorlara bir alternatif sunan elektrikli araçlar çevresel problemlerin bir çözümü olarak düşünülebilir. Elektrikli araç sayısına bakıldığında son yıllarda önemli bir artış olmuştur. Çok sayıda elektrikli aracın şarj olacağı düşünüldüğünde bu durum pik yükün artması, transformatörlerin aşırı yüklenmesi ve sistem kayıplarının artması gibi elektrik şebekesi açısından bir çok probleme sebep olabilir. Bu nedenle güç sistemlerinde şarj talebiyle ilgili endişeleri ortadan kaldırmak için uygun şarj stratejisinin belirlenmesi bu problemlerin giderilmesine yardımcı olabilir. Elektrikli araç sahipleri araçlarını şarj etmek için genellikle elektrikli araç otoparklarını tercih etmektedirler. Elektrikli araç otoparkları, elektrikli araç sahiplerine ekonomik şarj olanağı tanınması açısından avantajlı olarak düşünülebilir. Çünkü elektrikli araç otoparkına entegre edilen PV (Fotovoltaik sistem) - batarya hibrit sistemi elektrikli araç sahiplerine şarj maliyetlerini düşürmek için iyi bir fırsat sunmaktadır. Ayrıca elektrikli araç otoparkları elektrik piyasasında yer alabilirler. Bu çalışmada PV-batarya hibrit sistem içeren bir otoparkta elektrikli araçların ekonomik açıdan en iyi şekilde şarj edilmesi için bir karışık tamsayı doğrusal programlama modeli oluşturulmuştur. Yapılan çalışmada elektrikli araç otoparkı dinamik elektrik fiyatları ile enerji satın almaktadır. PV sistem araçlara gölge yapacak konumda düşünülmüştür. Batarya enerji depolama sistemi PV sistemde üretilen fazla enerjinin ve şebeke elektrik fiyatlarının düşük olduğu periyotlarda şebekeden satın alınan enerjinin depo edilmesi amacıyla modele dahil edilmiştir. Bataryadaki enerji, PV üretiminin olmadığı ya da şebeke elektrik fiyatının pahalı olduğu periyotlarda sisteme enjekte edilmektedir. Önerilen modelin doğruluğunu kanıtlamak için çeşitli durum çalışmaları yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre PV-batarya hibrit sisteminin toplam elektrik maliyetini düşürdüğü görülmüştür. Dikkat çekici bir sonuç da PV üretiminin gerçekleştiği bazı periyotlarda şebekeden hiç güç çekilmemesidir. Genel olarak PV sistemin toplam elektrik maliyetini azaltma konusunda önemli bir katkısının olduğu sonucuna varılabilirken, batarya enerji depolama sisteminin elektrik maliyetinin düşürülmesi konusunda çok etkili olmadığı ifade edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araç, elektrikli araç otoparkı, PV-batarya hibrit sistemi, şarj stratejisi.

Charge Management of Electric Vehicle Parking Lot With PV-Battery Hybrid System

Abstract

The transportation sector has an important share in energy consumption in the world. The majority of this energy is obtained by using petroleum and derivative fuels that cause carbon emissions. Therefore, there is a need for the use of renewable energy sources which are called clean energy and don't cause greenhouse gas emissions. Furthermore, electric vehicles which allow the use of renewable

¹ Sorumlu Yazar: Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, alper_ciccek92@hotmail.com

energy sources and provide an alternative to internal combustion engines, can be considered as a solution to environmental problems. There has been a significant increase in recent years in terms of the number of electric vehicles. Considering the fact that a large number of electric vehicles will be charged, this can cause many problems in terms of the power system such as peak load, overloading of transformers and increasing systems losses. Therefore, identifying the appropriate charging strategy to eliminate concerns about charging in the power system can help to address these problems. The electric vehicle owners generally prefer electric vehicle parking lots to charge their vehicles. The electric vehicle parking lots can be considered as an advantage in terms of providing economical charging to the electric vehicle owners. Because the PV-battery hybrid system integrated into the parking lot offers a good opportunity for the electric vehicle owners to reduce charging costs. The parking lots can be included in the electricity market. In this study, a mixed integer linear programming model was created for the economical charging of electric vehicles in a parking lot with PV-battery hybrid system. The parking lot buys energy with dynamic electricity prices in the study. The PV system is designed to shade the vehicles. The battery is included in the model in order to store the energy of the excess energy produced in the PV system and purchased from the power system in periods when the electricity prices are low. The energy in the battery is injected into the system during periods when there is no PV production or electricity price are expensive. Several case studies have been conducted to prove the accuracy of the proposed model. According to the results of the study, it was seen that the PV-battery hybrid system reduced the total electricity cost. A remarkable result is that no power is drawn from the power system at certain periods when PV production takes place. In general, it can be concluded that the PV system has a significant contribution to reducing the total electricity cost, while the battery is not very effective in reducing the electricity cost.

Keywords: Electric vehicle, electric vehicle parking lot, PV-battery hybrid system, charge strategy.

Adlar dizini

A. Kümeler

m	Elektrikli araçlar kümesi
t	Gün periyodu [dakika]

B. Parametreler

CE^{ESS}	Batarya enerji depolama sisteminin şarj verimliliği
CE_m^{EV}	m elektrikli aracının şarj verimliliği
DE^{ESS}	Batarya enerji depolama sisteminin deşarj verimliliği
DE_m^{EV}	m elektrikli aracının deşarj verimliliği
CR^{ESS}	Batarya enerji depolama sisteminin şarj gücü [kW]
CR_m^{EV}	m elektrikli aracının şarj gücü [kW]
DR^{ESS}	Batarya enerji depolama sisteminin deşarj gücü [kW]
DR_m^{EV}	m elektrikli aracının deşarj gücü [kW]
P_t^{PV}	PV sistemde üretilen güç [kW]
$SoE^{ESS,ini}$	Batarya enerji depolama sisteminin başlangıçtaki enerji durumu [kWh]
$SoE^{ESS,max}$	Batarya enerji depolama sisteminin maksimum enerji düzeyi [kWh]
$SoE^{ESS,min}$	Batarya enerji depolama sisteminin minimum enerji düzeyi [kWh]
$SoE_m^{EV,ini}$	m elektrikli aracının başlangıçtaki enerji durumu [kWh]
$SoE_m^{EV,max}$	m elektrikli aracının maksimum enerji düzeyi [kWh]
$SoE_m^{EV,min}$	m elektrikli aracının minimum enerji düzeyi [kWh]
T_m^a	m elektrikli aracının elektrikli araç otoparkına geliş zamanı
T_m^d	m elektrikli aracının elektrikli araç otoparkından ayrılma zamanı

ΔT	Zaman çözünürlüğü
λ^{price}	Saatlik elektrik birim fiyatları [\$/kWh]

C. Değişkenler

$P_t^{ESS,ch}$	Batarya enerji depolama sisteminin t anındaki şarj gücü [kW]
$P_{m,t}^{ESS,dis}$	Batarya enerji depolama sisteminin t anındakideşarj gücü [kW]
$P_{m,t}^{EV,ch}$	m elektrikli aracının t anındaki şarj gücü [kW]
P_t^{grid}	t anında şebekeden çekilen güç [kW]
SOE_t^{ESS}	t anında batarya enerji depolama sisteminin enerji durumu [kWh]
$SOE_{m,t}^{EV}$	t anında m elektrikli aracının bataryasının enerji durumu [kWh]
u^{ESS}	Batarya enerji depolama sistemi şarj vedeşarj için ikili karar değişkeni

1. Giriş

1.1. Motivasyon ve Geçmiş Çalışmalar

Dünyadaki toplam enerji tüketiminin %27'sini ve sera gazı emisyonunun %33'ünü taşımacılık sektörü oluşturmaktadır (Tie ve ark., 2012). Taşımacılık sektöründe tüketilen enerjinin çoğunluğu çevre kirliliğine ve sera gazı emisyonlarına sebep olan fosil yakıtlar kullanılarak temin edilmektedir. Fosil yakıtların azaltılması ihtiyacı elektrikli araçları içten yanmalı motorlara alternatif bir duruma getirmiştir (Jozi ve ark., 2017).

Elektrikli araçlar temiz ve verimli bir enerji olarak adlandırılan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına olanak tanımaktadır. PV (Fotovoltaik) sisteme sahip otoparklarda güneş panelleri park halindeki elektrikli araçlara gölge sağlamak ve şarj için elektrik üretimi gerçekleştirmektedir. Ayrıca PV sistem bir batarya ile entegre edilerek şarj maliyeti azaltılabilir. Enerji depolama sisteminde hem PV sistemde üretilen fazla enerji hem de elektrik fiyatının düşük olduğu periyotlarda şebekeden satın alınan enerji depo edilebilir (Nunes ve ark., 2016).

Açıklanan bir rapora göre, dünyada toplam elektrikli araç sayısı 2016'ya kıyasla %50'den fazla artmış durumdadır ve 3 milyonu aşmıştır (International Energy Agency, 2018). Çok sayıda aracın katılımı ile elektrik şebekesinin işleyişinde ve kontrolünde değişiklikler meydana gelmiştir. Sonuç olarak elektrikli araçların şarj edilmesi ile ilgili ortaya çıkan yük dalgalanmalarının önlenmesi, pik yükün azaltılması ve şebeke verimliliğinin artırılması ele alınması gereken önemli konulardandır. Elektrikli araçların şarj stratejisinin doğru belirlenmesinin elektrik şebekesinde yaşanabilecek problemlerin üzerinde doğrudan etkili olabileceği ifade edilebilir (P. Zhang ve ark., 2016).

1.2. Literatür Taraması

Son yıllarda elektrikli araçlar oldukça popüler bir konuma gelmiştir. Elektrikli araç sayısının artmasının sonucunda şebekede bu araçların şarjları konusunda yaşanabilecek problemlerin olması sebebi ile bu konuda yapılan çalışmaların sayısı giderek artmaktadır.

Neyestani ve ark. (2015) dağıtım sistemi operatörü ve elektrikli araç otopark sahibi arasındaki etkileşimde karar verme aşamasında yaşanabilecek çatışmaların denge noktasını belirlemek için bir model önermişlerdir. Amaç fonksiyonunu dağıtım sistemi operatörü ve elektrikli araç sahibi açısından kârı maksimize etmek olarak belirlemişlerdir. Shafie-Khah ve ark. (2016) elektrikli araç otoparklarının enerji ve rezerv piyasalarındaki optimum davranışı konusunu ele almışlardır. Ayrıca talep cevabı programlarının otoparkların işletimsel davranışlarına olan etkilerini incelemişlerdir. Zhang L. ve ark. (2017) ticari binalarda yer alan elektrikli araç otoparklarının şarj yönetimi problemini ele almışlardır. Her bir aracın şarj talebini gözönüne alarak toplam şarj maliyetini minimize etmeye çalışmışlardır. Ayrıca otoparktan ayrılırken aracın enerji seviyesi istenen seviyenin altında kaldığında araç sahibine ceza ödemesi yapılmıştır. Mohammadi ve ark. (2017) yük profilini iyileştirmek için elektrikli araç otoparkının enerji yönetim problemini ele almışlardır. Ayrıca problemin çözümünde gerilimdeki değişimleri, gerilim kararlılığını ve sistemdeki enerji kayıplarını da hesaba katmışlardır. Chen ve ark. (2017) elektrikli araç otoparklarında toplu olarak yer alan ve esnek bir yük olarak değerlendirilen elektrikli araçların elektrik piyasasına katılımını teşvik etmek için eVoucher adlı bir program önermişlerdir. Zare ve ark. (2018) elektrikli araç otoparklarının şarj gücü taleplerini dikkate alarak yeni bir dağıtım sistemi planı önermişlerdir. Önerilen yapı fiderlerin ve transformatör merkezlerinin yükünün azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Fakat yukarıda bahsedilen çalışmalarda PV güç üretim sistemi ve batarya enerji depolama sisteminin olmadığına altı çizilmelidir. Mohammadi ve ark. (2013) 24 saatlik bir süre için toplam enerji kaybının azaltılması ve gerilim profilinin iyileştirilmesi için elektrikli araç otoparkı ve PV güç üretim sisteminin optimum yerinin belirlenmesi için bir model sunmuşlardır. Chukwu ve ark. (2014) şebekeye enerji satabilen PV tabanlı yenilenebilir enerji

kaynağına sahip bir otoparkın güç kapasitesini tahmin etmek için matematiksel bir model oluşturmuşlardır. Çalışmada şarj etmek amacıyla otoparka gelen araçların enerji yönetim problemini ele almışlardır. Rahmani-andebili (2016) PV güç üretim sistemine sahip elektrikli araç otoparklarının en uygun şekilde boyutlandırılması, yerleştirilmesi ve güç faktörü ayarının yapılması için bir model önermiştir. Yapılan çalışma ile toplam elektrik maliyeti azaltılmış ve sistemdeki tüm baraların gerilimi uygun seviyeye getirilmiştir. Nunes ve ark. (2016) PV güç üretim sistemine sahip otoparkların yaygınlığının artmasına engel olan teknik, çevresel ve finansal problemleri ele alan bir inceleme yapmışlardır. Mathur ve ark. (2018) PV güç üretim sistemine sahip bir elektrikli araç otoparkının pik fiyatlandırma döneminde şebekeden çektiği gücü minimize etmek amacıyla elektrikli araçların optimum şekilde yönetildiği bir algoritma önermişlerdir. PV güç üretim sistemi şebekeden çekilen gücün azaltılması ve elektrikli araç otopark sahibinin kârının artırılması amacı ile kullanılmıştır. Alkan ve ark. (2018) PV güç üretim sistemi içeren bir elektrikli araç otoparkının çeşitli çalışma koşullarında dağıtım sistemine olan etkilerini analiz etmişlerdir. Zhang Y. ve ark. (2018) elektrikli araç otoparkı için kârı maksimize eden bir yapı önermişlerdir. Bu yapıda elektrikli araçlar ile ilgili veriler merkezi bir kontrolör tarafından toplanmaktadır. Ayrıca PV güç üretim sistemi için öngörü değerleri de hesaba katılmıştır. Fakat Mohammadi ve ark. (2013), Chukwu ve ark. (2014), Rahmani-andebili (2016), Nunes ve ark. (2016), Mathur ve ark. (2018), Alkan ve ark. (2018), Zhang Y. ve ark. (2018) yapmış oldukları çalışmalarda PV güç üretim sistemine yer vermelerine rağmen enerji depolama sistemine yer vermemişlerdir. Sarker ve ark. (2018) toplayıcının bir grup elektrikli araç otoparkını yönettiği ve gün öncesi piyasasına katıldığı bir yapıyı incelemişlerdir. Ayrıca toplam geliri artırmak için bir enerji depolama sistemi de değerlendirilmiştir. Fakat bu çalışmada PV güç üretim sistemi yer almamıştır.

1.3. Katkılar ve Çalışma Organizasyonu

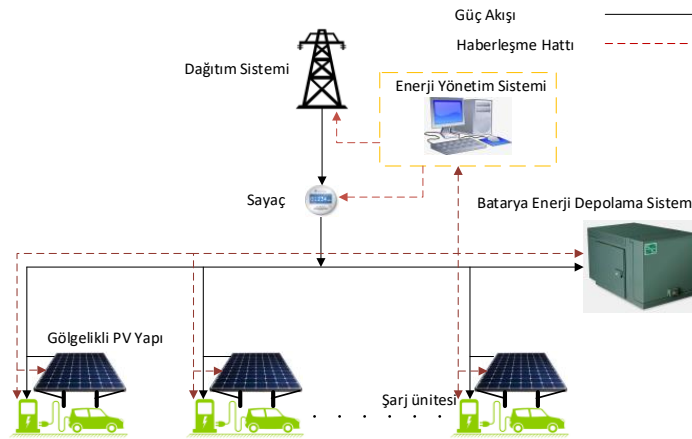
Bu çalışmada PV-batarya hibrit sistemi içeren bir elektrikli araç otoparkının şarj yönetiminin karışık tamsayı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Hibrit sistemin yer aldığı ve dinamik elektrik fiyatlarının uygulandığı çalışmada toplam şarj maliyetinin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmanın katkıları şunlardır.

- Şebekeden daha az enerji kullanılması ve toplam elektrik maliyetinin düşürülmesi amacıyla PV-batarya hibrit sistemi çalışmaya dahil edilmiştir. PV sistem temiz ve ucuz olarak enerji temin edebilmektedir ve otoparktaki araçlara gölge sağlayabilmektedir. Ayrıca diğer çalışmalardan farklı olarak toplam kârın artırılması amacıyla batarya enerji depolama sistemine de yer verilmiştir. Hem PV sistemde üretilen fazla enerji hem de şebeke elektrik fiyatının ucuz olduğu periyotlarda şebekeden satın alınan enerji, enerji depolama sisteminde depo edilmektedir.
- Araçların otoparka gelme zamanları ve geldikleri andaki enerji durumları hesaba katılmıştır. Ayrıca gerçek hayata uygunluğu açısından çalışmada 10 farklı elektrikli araç modeline yer verilmiştir.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir. Önerilen matematiksel modelleme Bölüm 2’de açıklanmıştır. Daha sonra, Bölüm 3’te farklı durum çalışmaları gerçekleştirilmiştir ve ilgili sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. Son olarak, Bölüm 4’te önemli sonuçlar vurgulanmıştır.

2. Matematiksel Modelleme

Bu çalışmada, PV ve batarya sisteminin yer aldığı bir elektrikli araç otoparkında elektrikli araçların şarjları yönetilerek şarj maliyetleri açısından optimum şarj durumlarının belirlendiği bir yapı önerilmiştir. Önerilen yapı Şekil 1’de verilmiştir. PV sistemin araçlara gölgelik yapacak şekilde yer aldığı düşünülmüştür. Batarya, PV sistemde üretilen fazla enerjinin veya şebeke elektrik fiyatının ucuz olduğu periyotlarda şebekeden satın alınan enerjinin depo edilmesi için kullanılmaktadır. PV ve batarya hibrit sistemi elde edilen kârın artırılarak elektrik maliyetinin düşürülmesine yardımcı olmaktadır. Elektrikli araç sahipleri, elektrikli araç otoparkı içerisinde şarj maliyetlerini düşürebilme imkânına sahip olmaktadır.



Şekil 1. PV ve batarya sisteminin yer aldığı elektrikli araç otopark yapısı

Çalışmanın amacı PV ve batarya sistemi içeren bir elektrikli araç otoparkındaki araçların toplam şarj maliyetinin minimize edilmesidir. Amaç fonksiyonu (1) numaralı ifadede verilmiştir.

$$\min \sum_t (P_t^{grid} \cdot \Delta T \cdot \lambda^{price}) \quad (1)$$

(2) numaralı eşitlik güç dengesini ifade etmektedir. Burada şebekeden çekilen güç, enerji depolama sisteminin deşarj gücü ve PV sistemde üretilen gücün toplamının elektrikli araçların şarj güçlerinin toplamı ve enerji depolama sistemi şarj gücünün toplamına eşit olduğu belirtilmiştir.

$$P_t^{grid} + P_t^{ESS-dis} \cdot DE^{ESS} + P_t^{PV} = P_t^{ESS-ch} + \sum_m P_t^{EV-ch}, \forall t \quad (2)$$

Elektrikli araçların şarj güçlerinin sınırları (3) numaralı eşitsizlik ile ifade edilmiştir.

$$P_{m,t}^{EV-ch} \leq CR^{EV}, \forall m, \quad t \in [T_m^a, T_m^d] \quad (3)$$

Elektrikli araçların t anındaki enerji durumlarının ifadesi (4) numaralı eşitlikte yer almaktadır. t anındaki enerji durumu $t-1$ anındaki enerji durumu ile eğer gerçekleşirse $t-1$ anından t anına kadar şarj edilen enerjinin toplamına eşittir.

$$SoE_{m,t}^{EV} = SoE_{m,(t-1)}^{EV} + CE_m^{EV} \cdot P_{m,t}^{EV-ch} \cdot \Delta T, \quad \forall m, t \in [T_m^a, T_m^d] \quad (4)$$

Elektrikli araçlar için izin verilen maksimum enerji durumlarının ifadesi ise (5) numaralı eşitsizlikte yer almaktadır.

$$SoE_{m,t}^{EV} \leq SoE_m^{EV,max}, \quad \forall m, \forall t \quad (5)$$

(6) numaralı eşitlikte elektrikli araçların otoparka geldikleri andaki enerji durumlarının ifadesi yer almaktadır.

$$SoE_{m,t}^{EV} = SoE_m^{EV,ini}, \quad \forall m, t = T_m^d \quad (6)$$

Elektrikli araçların otoparkta yer almadıkları zamanlarda şarj olmaması durumu için ise aşağıdaki (7) numaralı eşitliğe yer verilmiştir.

$$P_{m,t}^{EV-ch} = 0, \quad \forall m, t \notin [T_m^a, T_m^d] \quad (7)$$

(8) ve (9) numaralı ifadelerde enerji depolama sisteminin sırasıyla şarj ve deşarj gücü sınırları yer almaktadır.

$$P_t^{ESS-ch} \leq CR^{ESS} \cdot u_t^{ESS}, \forall t \quad (8)$$

$$P_t^{ESS-dis} \leq DR^{ESS} \cdot (1 - u_t^{ESS}), \forall t \quad (9)$$

Enerji depolama sisteminin t anındaki enerji durumunun ifadesi (10) numaralı eşitlikte yer almaktadır. Burada t anındaki enerji durumu bir önceki enerji durumu ile şarj/deşarj edilen enerjinin toplanması/çıkarılması ile elde edilmektedir.

$$SoE_t^{ESS} = SoE_{(t-1)}^{ESS} + CE^{ESS} \cdot P_{m,t}^{ESS-ch} \cdot \Delta T - P_{m,t}^{ESS-dis} \cdot \Delta T, \quad \forall t \quad (10)$$

(11), (12), (13) numaralı ifadelerde ise enerji depolama sisteminin sırasıyla başlangıçtaki enerji durumu, izin verilen maksimum ve minimum enerji düzeyi yer almaktadır.

$$SoE_t^{ESS} = SoE^{ESS,ini}, \quad t = 1 \quad (11)$$

$$SoE_t^{ESS} \leq SoE^{ESS,max}, \quad \forall t \quad (12)$$

$$SoE_t^{ESS} \geq SoE^{ESS,min}, \quad \forall t \quad (13)$$

3. Test ve Sonuçlar

3.1. Giriş Verileri

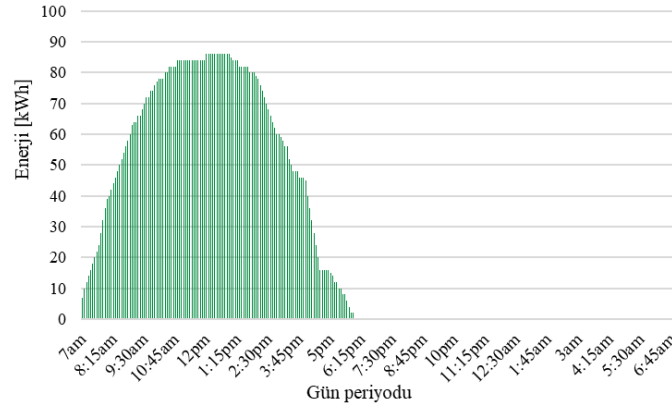
Otoparkta her biri farklı karakteristiklere sahip 10 araçtan her birinden 10 adet olmak üzere toplamda 100 araç yer almaktadır. Her aracın elektrikli araç otoparkına gelme zamanları ve geldikleri anda bataryalarındaki enerji durumları farklı olarak belirlenmiştir. Araç sahiplerinin otoparktan ayrılırken tam şarj durumu ile ayrılmak istedikleri ve araçların tam şarj olması için 1469,63 kWh enerji ihtiyacının olduğu varsayılmıştır. Otoparkta bir batarya enerji depolama sistemi ve PV güç üretim sistemi yer almaktadır. Otoparkta yer alan 10 farklı elektrikli araca ait özellikler Tablo I.'de verilmiştir. Önerilen çalışma GAMS v.24.1.3'da test edilmiştir. Problemin çözümü için ticari çözücü CPLEX v.12 kullanılmıştır.

Tablo 1. Elektrikli Araçların Karakteristikleri

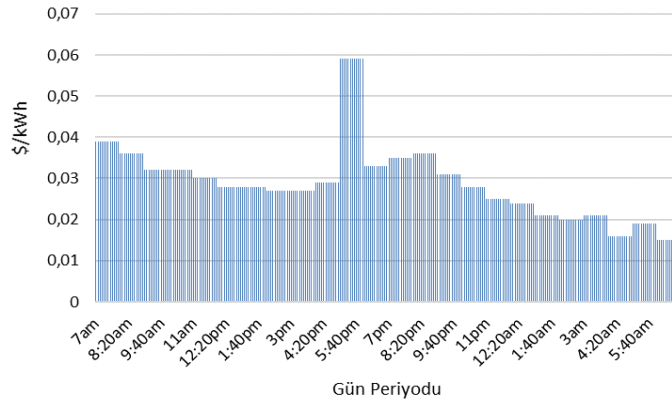
Elektrikli Araç Tipleri	Batarya Kapasitesi [kWh]	Şarj Gücü [kW]
Volkswagen E-Golf [Volkswagen]	36	7.2
BMW i-3 [BMW]	33	7.7
Mercedes B-Class [Mercedes]	28	10
Tesla Model-S [Tesla]	100	10
Fiat 500E [Fiat]	24	6.6
Ford Focus Electric [Ford]	23	6.6
Kia Soul EV [Kia]	27	6.6
Mitsubishi i-MiEV [Mitsubishi]	16	3.6
Chevy Volt [Chevy]	18	3.6
Nissan LEAF [Nissan]	40	6.6

Elektrikli araç otoparkında yer alan 100 kW'lık PV güç üretim sisteminin yaz aylarını kapsayan günlük ortalama enerji üretim eğrisi Şekil 2'de verilmiştir. Güç üretiminin 07:00 ile 18:00 saatleri arasında gerçekleştiği belirtilmelidir.

Elektrikli araç otoparkı için şebekeden enerji satın alımlarında uygulanan birim elektrik fiyat tarifesi Şekil 3'te saatlik olarak verilmiştir. 17:00-18:00 aralığında enerji birim fiyatının en yüksek seviyede olduğu görülmektedir.



Şekil 2. 100 kW'lık PV sisteme ait enerji üretimi



Şekil 3. Saatlik elektrik birim fiyatları

3.2. Simulasyon ve Karşılaştırmalar

Önerilen yapıyı kanıtlamak için aşağıda verilen durum çalışmaları yapılmıştır.

- *Temel Durum:* Enerji depolama sistemi ve PV sistem yer almamaktadır.
- *Durum 1:* 50 kWh'lik batarya enerji depolama sistemi ve 50 kW'lık PV sistem yer almaktadır.
- *Durum 2:* 100 kWh'lik batarya enerji depolama sistemi ve 50 kW'lık PV sistem yer almaktadır.
- *Durum 3:* 50 kW'lık PV sistem yer alıp enerji depolama sistemi yer almamaktadır.
- *Durum 4:* 50 kWh'lik batarya enerji depolama sistemi ve 100 kW'lık PV sistem yer almaktadır.
- *Durum 5:* 100 kWh'lik batarya enerji depolama sistemi ve 100 kW'lık PV sistem yer almaktadır.

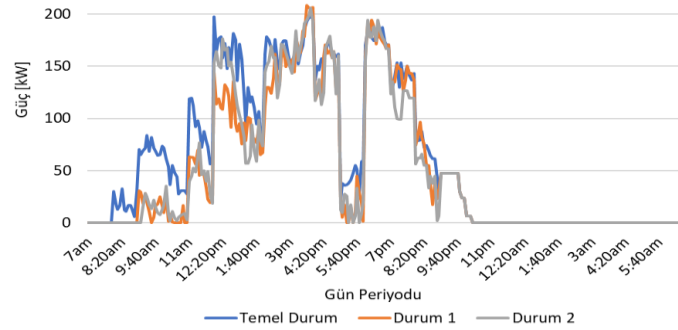
- *Durum 6:* 100 kW'lık PV sistem yer alıp enerji depolama sistemi yer almamaktadır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre toplam enerji maliyetinin en çok durum 5'te azaldığı görülmüştür. PV güç üretim sisteminin kapasitesinin artırılması ile enerji maliyetinin önemli derecede azaltılabildiği görülmüştür. Fakat Durum 1 ve Durum 2 ile Durum 4 ve Durum 5'te aynı özellikteki PV sistem içeren yapıya yerleştirilen farklı boyutlardaki enerji depolama sistemleri ile enerji maliyetinde önemli derecede bir azalma meydana gelmediği görülmektedir. PV sistemin yer alıp enerji depolama sisteminin yer almadığı Durum 3'ün Durum 1 ve Durum 2 ile, Durum 6'nın Durum 4 ve Durum 5 ile karşılaştırması yapıldığında enerji depolama sisteminin toplam elektrik maliyetini önemli derecede azaltmadığı sonucuna varılabilir. En kötü durum ise toplam elektrik maliyetinin 45,71 \$ olduğu temel durumdur. En iyi durumda en kötü durum olan temel duruma göre 19,36 \$ tasarruf elde edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre elektrikli araç otoparkları için özellikle PV sistemlerin dahil edilmesi ile toplam şarj maliyetlerinde önemli bir azalma sağlanabileceği görülmektedir.

Tablo 2. Durum Çalışmaları Sonuçları

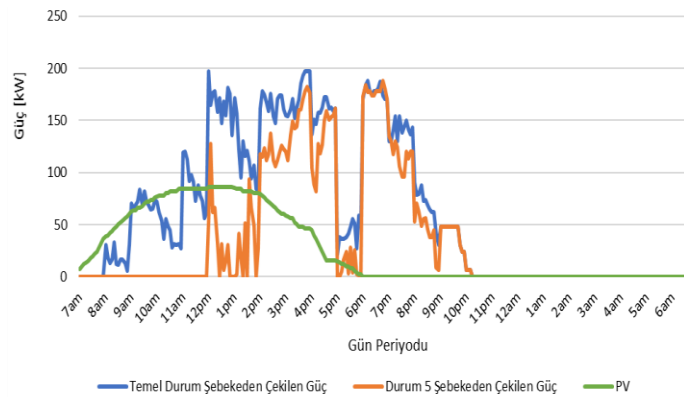
Durum Çalışmaları	Batarya Kapasitesi [kWh]	PV Sistem [kW/ kWh]	Toplam Elektrik Maliyeti [\$]
Temel Durum	-	-	45,71
Durum 1	50	50 kW / 312,54 kWh	35,53
Durum 2	100	50 kW / 312,54 kWh	35,37
Durum 3	-	50 kW / 312,54 kWh	36,31
Durum 4	50	100 kW/625,08 kWh	26,52
Durum 5	100	100 kW/625,08 kWh	26,35
Durum 6	-	100 kW/625,08 kWh	27,30

Şekil 4'te Temel Durum, Durum 1 ve Durum 2 için şebekeden çekilen güçlerin karşılaştırması yapılmıştır. Şebekeden en fazla güç Temel Durumda çekilmektedir. Durum 1 ve Durum 2'de 50 kW'lık PV sistem yer almaktadır. Enerji depolama sisteminin yer aldığı Durum 1 ve Durum 2'de ise şebekeden çekilen güçler azalmıştır.



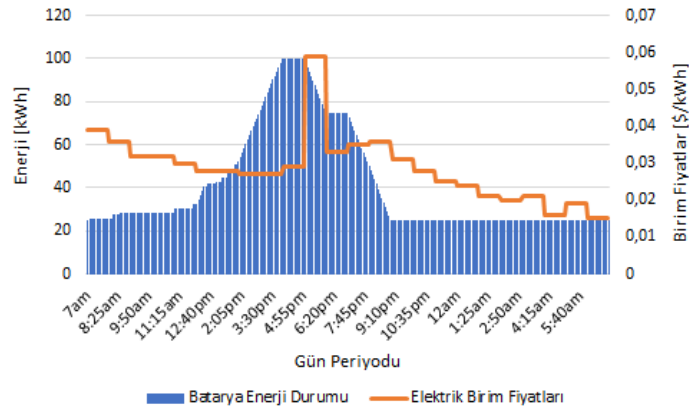
Şekil 4. Temel Durum, Durum 1 ve Durum 2'de şebekeden çekilen güç

Temel Durum ile Durum 5'te şebekeden çekilen güçlerin karşılaştırması Şekil 5'te verilmiştir. PV güç üretiminin olduğu Durum 5'te saat 12:00'a kadar şebekeden hiç güç çekilmediği görülmektedir. Ayrıca PV güç üretim sisteminin yer alması ile şebekeden çekilen toplam enerjinin azaldığı ifade edilebilir.



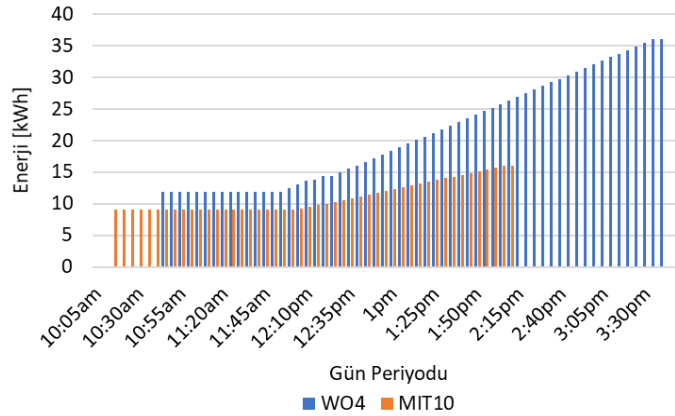
Şekil 5. Temel Durum ve Durum 5'te şebekeden çekilen güçler ve Durum 5'te 100 kW'lık PV sistemde üretilen güç

Durum 5'te bataryanın enerji durumunun değişimi Şekil 6'da verilmiştir. Özellikle elektrik birim fiyatının en yüksek olduğu 18:00'dan önce bataryanın tam şarj olduğu görülmektedir. Ayrıca bu periyodun elektrik birim fiyatı açısından en ekonomik periyot olduğu ifade edilebilir.



Şekil 6. Durum 5'te bataryanın enerji durumu ve saatlik elektrik birim fiyatları

Wolkswagen 4 (WO4) ve Mitsubishi 10 (MIT10) elektrikli araçlarının elektrikli araç otoparkında oldukları periyot içerisinde enerji durumlarının ifadesi Şekil 7'de verilmiştir. Elektrikli araçlar otoparktan ayrıldıkları anda tam şarj olmuş durumdadırlar. Şarj maliyetini düşürmek için elektrikli araçların geldikleri anda şarj olmadıkları, elektrik fiyatının düşük olduğu periyotlarda şarj oldukları görülmektedir.



Şekil 7. WO4 ve MIT10 elektrikli aracının enerji durumu

4. Sonuç

Elektrikli araç sayısı her geçen gün giderek artmaktadır. Artan bu sayı düşünüldüğünde şarj konusunda elektrik şebekesinde aşırı yüklenme gibi birçok problem yaşanabilir. Bu açıdan elektrikli araçların şarj yönetimi stratejisi oldukça önemli bir konu haline gelmiştir. Elektrik piyasalarına katılabilen elektrikli araç otoparkları, elektrikli araç sahiplerine araçlarını daha ekonomik bir şekilde şarj edebilmek için iyi bir fırsat sunmaktadır. Çünkü bir elektrikli araç nispeten küçük enerji kapasitesi ile elektrik piyasalarına katılamayacağından dolayı fiyat alan konumdadır ve dolayısıyla tek başına şarj maliyetini düşürememektedir. Elektrikli araç otoparkında kullanılan PV-batarya hibrit sistem şarj maliyetinin düşürülmesine yardımcı olabilmektedir. Enerjinin ucuz olarak temin edilebildiği PV sistem çevre kirliliğinin azaltılması konusunda önemli bir avantaj sağlarken, batarya enerji depolama sistemi de PV sistemde üretilen fazla enerjinin ve şebeke elektrik fiyatının ucuz olduğu periyotlarda şebekeden satın alınan enerjinin depolanmasını sağlayabilmektedir. Bataryada depolanan enerji, PV üretiminin olmadığı ve şebeke elektrik fiyatının yüksek olduğu periyotlarda sisteme enjekte edilebilmektedir.

Bu çalışmada PV-batarya hibrit sistemi içeren bir elektrikli araç otoparkının toplam elektrik maliyetinin minimize edilmesi amacıyla bir şarj yönetimi modeli oluşturulmuştur. Yapılan durum çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre PV-batarya hibrit sisteminin toplam elektrik maliyetini düşürdüğü görülmüştür. Elde edilen sonuçlar arasında dikkat çeken bir diğer durum da PV üretiminin olduğu bazı periyotlarda şebekeden hiç güç çekilmemesi olmuştur. Genel olarak PV sistemin toplam elektrik maliyetinin azaltılması açısından önemli bir katkısının olduğu sonucuna varılabilirken, batarya enerji depolama sisteminin ise sistem sonuçları üzerinde büyük bir etkisinin olmadığı sonucuna varılabilir.

PV-batarya hibrit sistemi içeren elektrikli araç otoparkının bir toplayıcı aracılığı ile enerji piyasalarına katılımı (gün öncesi piyasası, dengeleme piyasası) ve şebekeye elektrik satması gelecek çalışmalarda ele alınabilir.

Kaynakça

- Alkan B., Uzun, B., Erenoğlu, A.K., Erdinç, O., Turan, M.T., Catalão, J.P.S. 2018. Scenario Based Analysis of an EV Parking Lot Equipped with Roof Top PV Unit within Distribution Systems. IEEE International Conference on Smart Energy Systems and Technologies, 10-12 Sept., 2018, Seville, Spain.
- Amini, M. H., Boroojeni K. G., Wang, C. J., Nejadpak, A., Iyengar, S. S., Karabasoglu, O. 2016. Effect of Electric Vehicle Parking Lots' Charging Demand As Dispatchable Loads on Power Systems Loss. 2016 IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT), 19-21 May, 2016, Grand Forks, ND, USA.
- BMW, i3 Specifications, <http://www.plugincars.com/bmw-i3.html>.
- Chevy, Volt Specifications, <http://www.plugincars.com/chevrolet-volt>.
- Chen, T., Pourbabak, H., Liang, Z., Su, W., Yu, P. 2017. Participation of Electric Vehicle Parking Lots into Retail Electricity Market with eVoucher Mechanism. 2017 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), 7-10 Aug, 2017, Harbin, China.
- Chukwu, U. C., Mahajan, S. M. 2014. V2G Parking Lot With PV Rooftop for Capacity Enhancement of a Distribution System. IEEE Transactions on Sustainable Energy 5(1), 119-127.
- Fiat, 500E Specifications, <http://www.plugincars.com/fiat-500e>.
- Ford, Focus Electric Specifications, <http://www.plugincars.com/ford-focus-electric>.
- International Energy Agency (IEA), Global EV Outlook 2018, Towards cross-modal electrification, Tech. Rep., 2018. https://webstore.iea.org/download/direct/1045?fileName=Global_EV_Outlook_2018.pdf.
- Kia, Soul Specifications, <http://www.plugincars.com/kia-soul-ev>.
- Jozi, F., Mazlumi, K., Hosseini, H. 2017. Charging and Discharging Coordination of Electric Vehicles in a Parking Lot Considering The Limitation of Power Exchange With the Distribution System. 2017 IEEE 4th International Conference on Knowledge-Based Engineering and Innovation (KBEI), 22 Dec, 2017, Tehran, Iran.
- Mathur, A. K., S, C.T., Yemula, P. K. 2018. Optimal Charging Schedule for Electric Vehicles in Parking Lot with Solar Power Generation. 2018 IEEE Innovative Smart Grid Technologies – Asia (ISGT Asia), 22-25 May, 2018, Singapore, Singapore.
- Mercedes, B-Class Specifications, <http://www.plugincars.com/mercedes-b-class-e-cell>.
- Mitsubishi, i-MiEV Specifications, <http://www.wikizero.org/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvTWl0c3ViaXNoaV9pLU1pRVY>.
- Mohammadi, E., Foroughi, A., Rashidinejad M., Fadaeinedjad, R., Moschopoulos, G. 2013. Optimal Allocation of Parking Lots and PV Systems in Distribution System for Energy Loss Reduction and Voltage Profile Improvement. 2013 26th IEEE Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering (CCECE), 5-8 May, 2013, Regina, SK, Canada.
- Mohammadi, E., Fadaeinedjad, R., Rashidinejad, M., Mahdavinia, A. 2017. Optimal Placement and Charge/Discharge Scheduling of Electric Parking Lots Considering Reactive Power Generation Capability. 2017 Smart Grid Conference (SGC), 20-21 Dec, 2017, Tehran, Iran.
- Neyestani, N., Damavandi, M. Y., Shafie-khah, M., Catalão J. P. S., Contreras, J. 2015. PEV Parking Lot Behavior Equilibria in Energy and Reserve Markets. 2015 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PES GM), 26-30 July, 2015, Denver, CO, USA.
- Nissan, Leaf Specifications, <http://www.plugincars.com/nissan-leaf>.
- Nunes, P., Figueiredo, R., Brito, M. C., 2016. The Use of Parking Lots to Solar-Charge Electric Vehicles. Renewable and Sustainable Energy Reviews 66, 679-693.
- Rahmani-andebili, M. 2016. Optimal Power Factor for Optimally Located and Sized Solar Parking Lots Applying Quantum Annealing. IET Generation, Transmission & Distribution 10(10), 2538-2547.
- Sarker, M. R., Pandžić, H., Sun, K., Ortega-Vazquez, M. A. 2018. Optimal Operation of Aggregated Electric Vehicle Charging Stations Coupled with Energy Storage. IET Generation, Transmission & Distribution 12(5), 1127-1136.
- Shafie-khah, M., Heydarian-Forushani, E., Osório, G. J., Gil, F. A. S., Aghaei, J. 2016. Optimal Behavior of Electric Vehicle Parking Lots as Demand Response Aggregation Agents. IEEE Transactions on Smart Grid 7(6), 2654-2665.
- Tesla, Model S Specifications, <http://www.plugincars.com/tesla-model-s>.
- Tie, S. F., Tan, C. W. 2012. A Review of Energy Sources and Energy Management System in Electric Vehicles. Renewable and Sustainable Energy Reviews 20, 82-102.
- Volkswagen, E-Golf Specifications, <http://www.plugincars.com/volkswagen-electric-e-golf-blue-e-motion>.
- Zhang, L., Li, Y. 2017. Optimal Management for Parking-Lot Electric Vehicle Charging by Two-Stage Approximate Dynamic Programming. IEEE Transactions on Smart Grid 8(4), 1722-1730.
- Zhang, P., Shao, W., Qu, H., Xu, W., Xu, Z. 2016. Study on Charging Strategy of Electric Vehicle Parking Lot Based on Improved PSO. 2016 Chinese Control and Decision Conference (CCDC), 28-30 May, 2016, Yinchuan, China.
- Zhang, Y., Cai, L. 2018. Dynamic Charging Scheduling for EV Parking Lots With Photovoltaic Power System. IEEE Access 6, 56995-57005.



Effect of the Simultaneous Variation in Blade Root Chord Length and Blade Taper on Maneuvering Manned Helicopter Control Effort

Firat Sal^{1*}

¹ Kelkit College of Aydin Dogan, Gumushane University, Kelkit, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2412-4131)

(First received 30 December 2018 and in final form 20 March 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.505378)

REFERENCE: Sal, F. (2019). Effect of the Simultaneous Variation in Blade Root Chord Length and Blade Taper on Maneuvering Manned Helicopter Control Effort. European Journal of Science and Technology (15), 475-482.

Abstract

In this article, the influence of simultaneous variation in blade root chord length and blade taper on the flight control effort of maneuvering helicopter is researched. For this intention, helicopter models which are complex, control-oriented, physics-based models and capturing the main-physics and essential-dynamics are benefited. The influence of simultaneous variation in the blade root chord length and blade taper (i.e., in both chordwise and lengthwise directions dependently) on the control effort of a maneuvering manned helicopter and also on the closed-loop responses are worked. Comparisons in terms of the control effort and peak-values with and without variations in the blade root chord and blade taper changes are followed. For helicopter control variance-constrained controllers (i.e. output variance-constrained controllers) are useful. Shortly, in also maneuvering flight conditions effects and benefits of simultaneous variation in blade root chord length and blade taper on the flight control effort is tried to be proved.

Keywords: Maneuvers, Helicopters, Blade Root Chord Length, Blade Taper, Control Effort Saving, Flight Control System, Closed-Loop Response.

Pale Kök Veter Uzunluğu ve Pale Daralmasının Eş Zamanlı Değişiminin Manevra Yapan İnsanlı Helikopterin Kontrol Çabası Üzerindeki Etkisi

Öz

Bu çalışmada, pale kök veter uzunluğu ve pale daralmasının eş zamanlı değişiminin manevra yapan insanlı helikopterin kontrol çabası üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu maksatla karmaşık, kontrol amaçlı, fizik temelli, temel fizik ve gerekli dinamikleri içeren helikopter modellerinden faydalanılmıştır. Pale kök veter uzunluğu ve pale daralmasının (hem veter açıklığı hem de uzunluk doğrultularında aynı şekilde) eş zamanlı değişiminin manevra yapan insanlı helikopterin kontrol çabası ve ayrıca kapalı çevrim cevaplarındaki etkileri çalışılmıştır. Kontrol çabası ve pik değerler için pale kök veter uzunluğu ve pale daralmasının gerçekleştiği ve gerçekleşmediği durumlarda kıyaslamalar yapılmıştır. Kısacası pale kök veter uzunluğu ve pale daralmasının eş zamanlı değişiminin manevralı uçuş koşullarında dahi etkileri ve faydaları ispatlanmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Manevralar, Helikopterler, Pale Kök Veter Uzunluğu, Kontrol Çabası Kazancı, Uçuş Kontrol Sistemi, Kapalı Çevrim Cevabı.

* Sorumlu Yazar: Kelkit College of Aydin Dogan, Gumushane University, Kelkit, Turkey, ORCID: 0000-0003-2412-4131, dfiratsal@gmail.com

1. Introduction

Methods for minimizing the control effort of a flight control system (FCS) of a helicopter were frequently and commonly examined in the literature (Bluman & Gandhi, 2011; D Fusato & Celi, 2006; Dario Fusato, Guglieri, & Celi, 2001; Luo, Liu, Yang, & Chang, 2003; Tugrul Oktay & Sal, 2015; T Oktay & Şal, 2015; Tugrul Oktay & Sultan, 2013a, 2013b, 2013c, 2014). Limited number of studies on the helicopter blade root chord length and blade taper have been done recently for different reasons (Kambampati, Ganguli, & Mani, 2013; Tugrul Oktay & Sal, 2017; Özdemir & Kaya, 2006; Ozgumus & Kaya, 2007; Vu & Lee, 2015). For instance, in (Özdemir & Kaya, 2006), flapwise bending vibration analysis of a rotating, tapered cantilever Bernoulli–Euler beam (e.g., helicopter blade) was followed via benefiting the differential transform method. The effect of blade taper on natural frequencies was also worked. It was obtained that the natural frequencies of a rotating, tapered cantilever Bernoulli–Euler beam can be determined with high correctness via benefitting the differential transform method. In addition to the previous study, the effect of blade taper on the control effort of the flight control system of a helicopter was also studied in (Tugrul Oktay & Sal, 2017). In that article, blade root chord, blade taper and the gains of the output variance-constrained controller (OVC)-based helicopter FCS were the optimization parameters during straight level flight. It was obtained in this article that when blade taper is required to be applied due to the performance reasons, blade root chord has to be used in order not to increase control effort.

Numerous control approaches for the helicopter FCS have been found recently (Dalmazoglu, Valavanis, & Piegl, 2011; Hsieh, Skelton, & Damra, 1989; Li, Liu, & Song, 2011; Skelton, 1987; Skelton, Iwasaki, & Grigoriadis, 1998). The use of variance-constrained controllers is one of these approaches (Skelton, 1987). These kinds of controllers have many advantages with respect to the other existing common controllers. One of these advantages is that variance-constrained controllers are enhanced LQG controllers and they include Kalman filters for state estimators. In this article, a specific variance-constrained controller, the OVC, is used for helicopter FCS during maneuvering flight.

In this article, the simultaneous effect of the helicopter blade taper and blade root chord length on the control effort of the FCS of a helicopter during maneuvering flight is for the first time examined with OVCs. Furthermore, comparisons in terms of the peak values of closed-loop responses with and without variations in the blade root chord and blade taper changes are followed for the first time in the literature.

2. Our Helicopter models

In this article, the helicopter models summarized in (Tugrul Oktay & Sal, 2015; Tugrul Oktay & Sal, 2017; T Oktay & Şal, 2015) are benefited. These models are concisely summarized next. They capture the physics principles leading to dynamic models consisting of a finite set of ordinary differential equations. These models include the fuselage, empennage, landing gear, fully articulated main rotor (i.e., with four blades), main-rotor downwash, and tail rotor. As a result, these models are accurately complex with a total of 29 equations: 9 fuselage equations, 16 blade flapping and lead-lagging equations, 3 static main-rotor downwash equations, and an additional flight-path angle algebraic equation. In Figs. 1 and 2 the blade taper and blade root chord are illustrated. Their effect on control effort and closed loop responses will be examined in this article next.

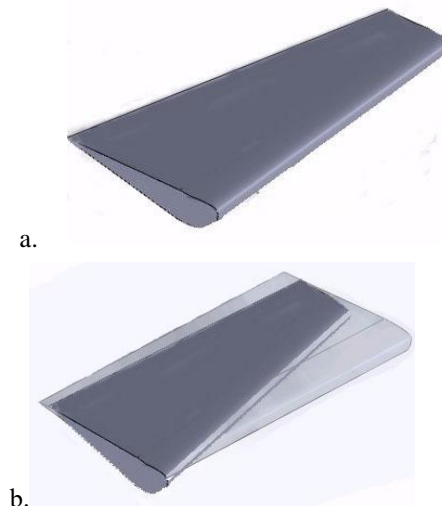


Fig. 1. Tapered Helicopter Blade a. Tapered Blade b. Both Tapered and Untapered Blades (Taken from (Tugrul Oktay & Sal, 2017))

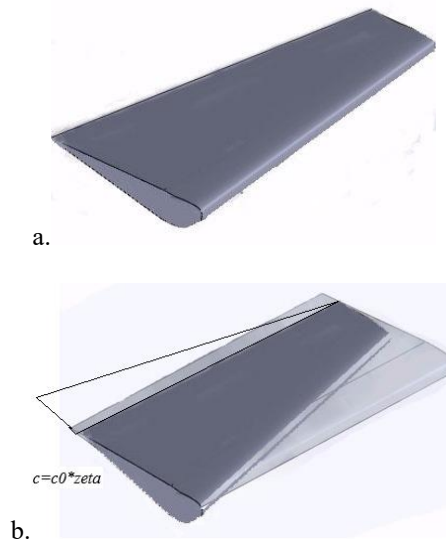


Fig. 2. Illustration of Variation in Blade Root Chord

a. Just Tapered Blade b. Both Taper and Blade Root Chord Variations Applied (Taken from (Tugrul Oktay & Sal, 2017))

3. Variance Constrained Control

For a clear continuous linear time invariant (LTI), stabilizable and detectable plant (Dalamagkidis et al., 2011; Hsieh et al., 1989; Li et al., 2011; Skelton, 1987; Skelton et al., 1998)

$$\dot{x}_p = A_p x_p + B_p u_p + w_p, y = C_p x_p, z = M_p x_p + v \quad (1)$$

and a positive definite input penalty matrix, $R > 0$, find a full order dynamic controller

$$\dot{x}_c = A_c x_c + Fz, u_p = G x_c \quad (2)$$

to response the problem

$$\min_{A_c, F, G} J = E_\infty u_p^T R u_p = tr(RGX_c G^T) \quad (3)$$

expose to variance constraints on the output/outputs

$$E_\infty y_i^2 \leq \sigma_i^2, \quad i = 1, \dots, n_y \quad (4)$$

Here y and z describe outputs of interest and sensor measurements, respectively, w_p and v are zero-mean uncorrelated Gaussian white noises with intensities of W and V , respectively, F and G are state estimator and controller gain matrices, respectively, x_c is the controller state vector, σ_i^2 is the upper limit imposed on the i -th output variance, n_y is the number of outputs, and additionally

$E_\infty \square \lim_{t \rightarrow \infty} E$, and E is the expectation operator. In final, tr and T represent matrix trace and matrix transpose operators, respectively. The quantity of J usually called as flight control system energy or flight control system cost and it is calculated via benefitting also the state covariance matrix, X_{c_j} . After the algorithm(Hsieh et al., 1989; Skelton, 1987; Skelton et al., 1998)

converges and the output penalty matrix Q is determined, OVC parameters are

$$A_c = A_p + B_p G - F M_p, F = X M_p^T V^{-1}, G = -R^{-1} B_p^T K \quad (6)$$

Here, X and K are solutions of solutions of two algebraic Riccati equations given next:

$$0 = XA_p^T + A_p X - XM_p^T V^{-1} M_p X + W \quad (7a)$$

$$0 = KA_p + A_p^T K - KB_p R^{-1} B_p^T K + C_p^T Q C_p \quad (7b)$$

4. Results

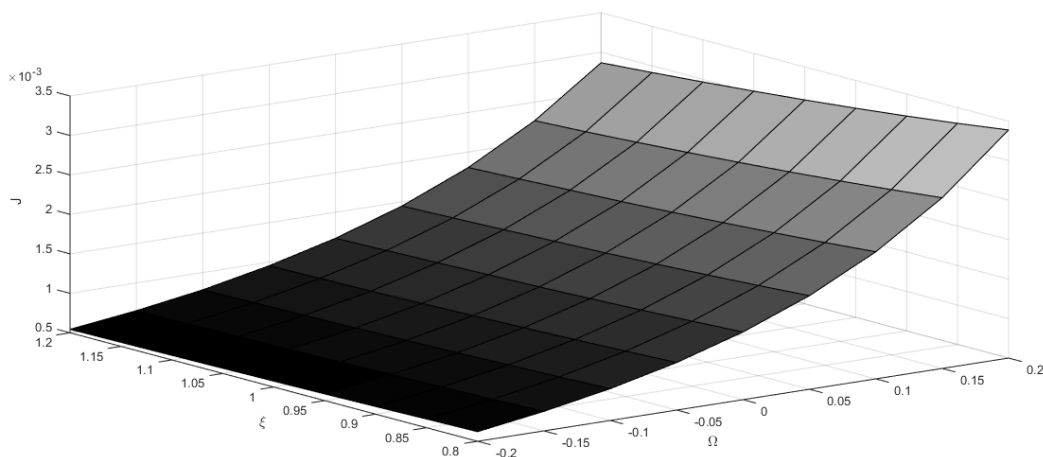
In this article, the effect of combined change in blade root chord length and blade taper on the control effort of the FCS of a helicopter is examined. For this intention, complex, control-oriented, physics-based helicopter models (see (Tugrul Oktay & Sal, 2015; Tugrul Oktay & Sal, 2017; T Oktay & Şal, 2015) for further information) are trimmed and linearized around hover helical turn, 40-knots helical turn and 80-knots helical turn maneuvering conditions are applied. OVCs are designed with output variance constraints on helicopter Euler angles of 10^{-4} , while all four helicopter controls are used as inputs. The noise intensities are $W=10^{-7} \times I_{25}$ and $V=10^{-7} \times I_4$.

In Figs. 3, 4 and 5 for hover helical turn, 40 kts helical turn and 80 kts helical turn, control effort (J) as functions of taper ratio (Ω) and root chord (ξ) is given. It can be seen from these figures that for any of maneuvering flight condition when taper ratio is applied, the control effort increases. On the other hand, if root chord is extended the control effort decreases. These results are similar with the results found for straight level flight as in (Tugrul Oktay & Sal, 2017).

In Figs. 6 and 7 effect of simultaneous variations in blade root chord and blade taper on some states and controls for 40 kts helical turn is given. Three scenarios are considered. The first one is original blade. The second one is for the situation that the taper ratio and root chord are applied in borders (version I). The third one is for the situation that taper ratio is chosen at the border and the root chord constant is chosen in order to keep blade area constant (version II). It is found that when it is required to use taper due to the performance reasons, the length of the blade root chord must also be increased in order to not rise the control effort of the FCS of the helicopter.

5. Conclusions and Recommendations

In this study, the effect of combined variation in blade root chord length and blade taper on the flight control effort of maneuvering helicopter was investigated. For this purpose, helicopter models which are complex, control-oriented, physics-based models and capturing the main-physics and essential-dynamics are applied. For the helical turn maneuvering flight conditions it is found that when taper ratio is applied, the control effort increases. On the other hand, if root chord is extended the control effort decreases. Moreover, when it is required to use taper due to the performance reasons, the length of the blade root chord must also be increased in order not to rise the control effort of the flight control system of the helicopter for also maneuvering flight. Consequently, in also maneuvering flight conditions effects and benefits of simultaneous variation in blade root chord length and blade taper on the flight control effort were proved in this study.



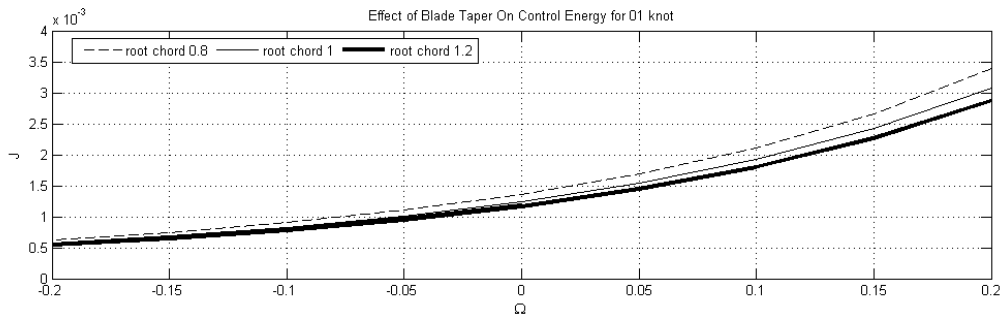


Fig. 3. Hover Helical Turn Energy Results

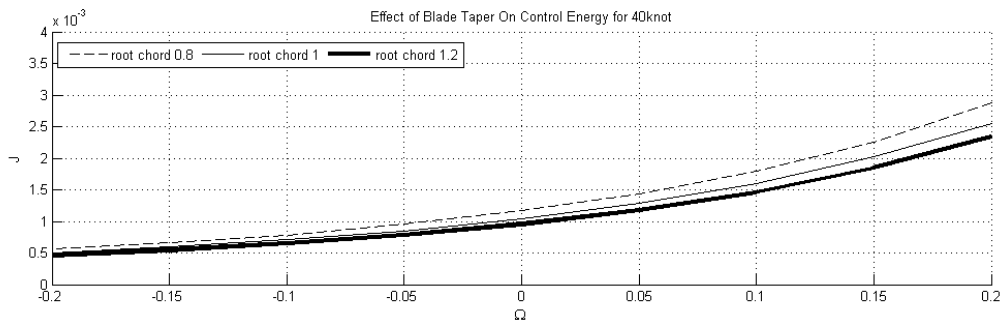
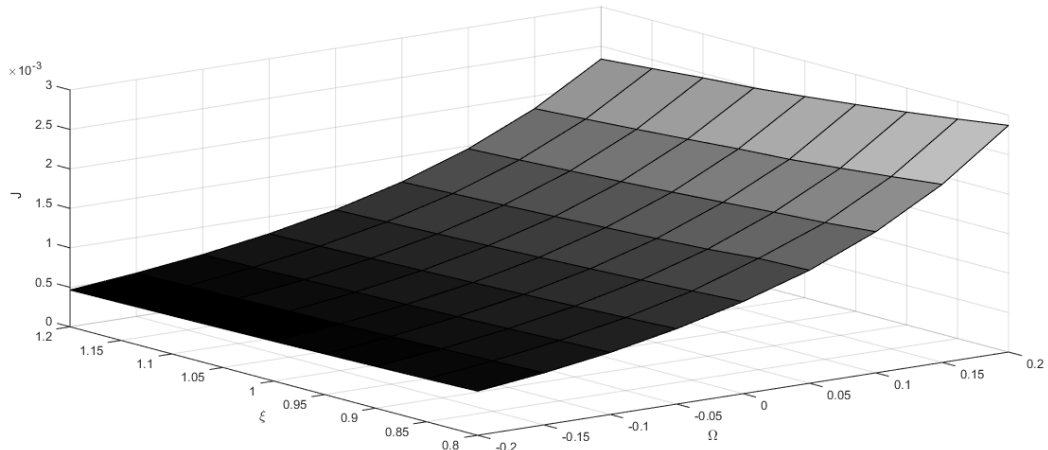
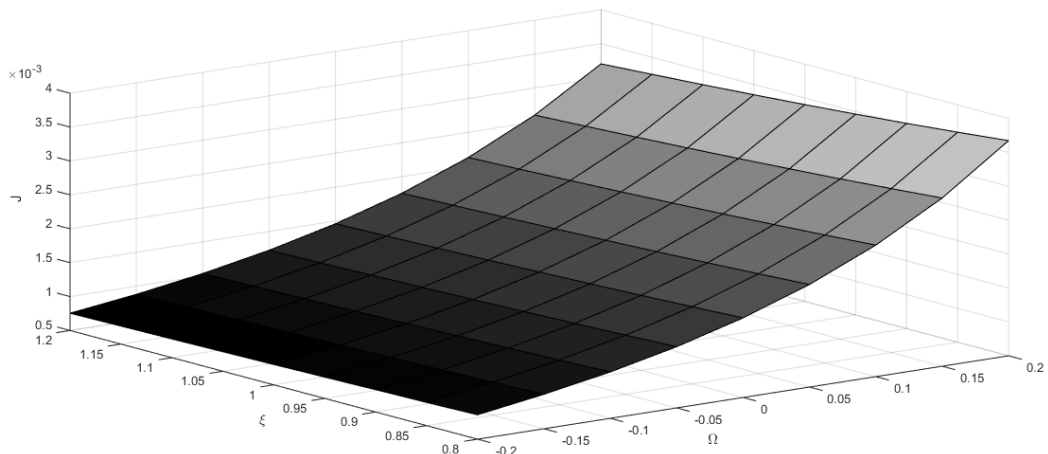


Fig. 4. 40 kts Helical Turn Energy Results



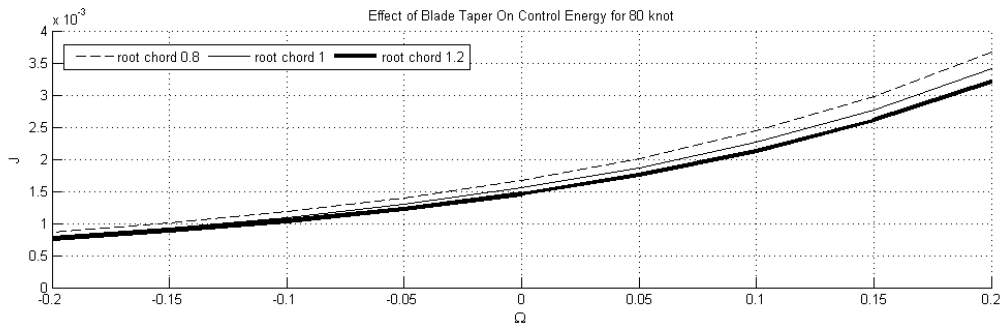


Fig. 5. 80 kts Helical Turn Energy Results

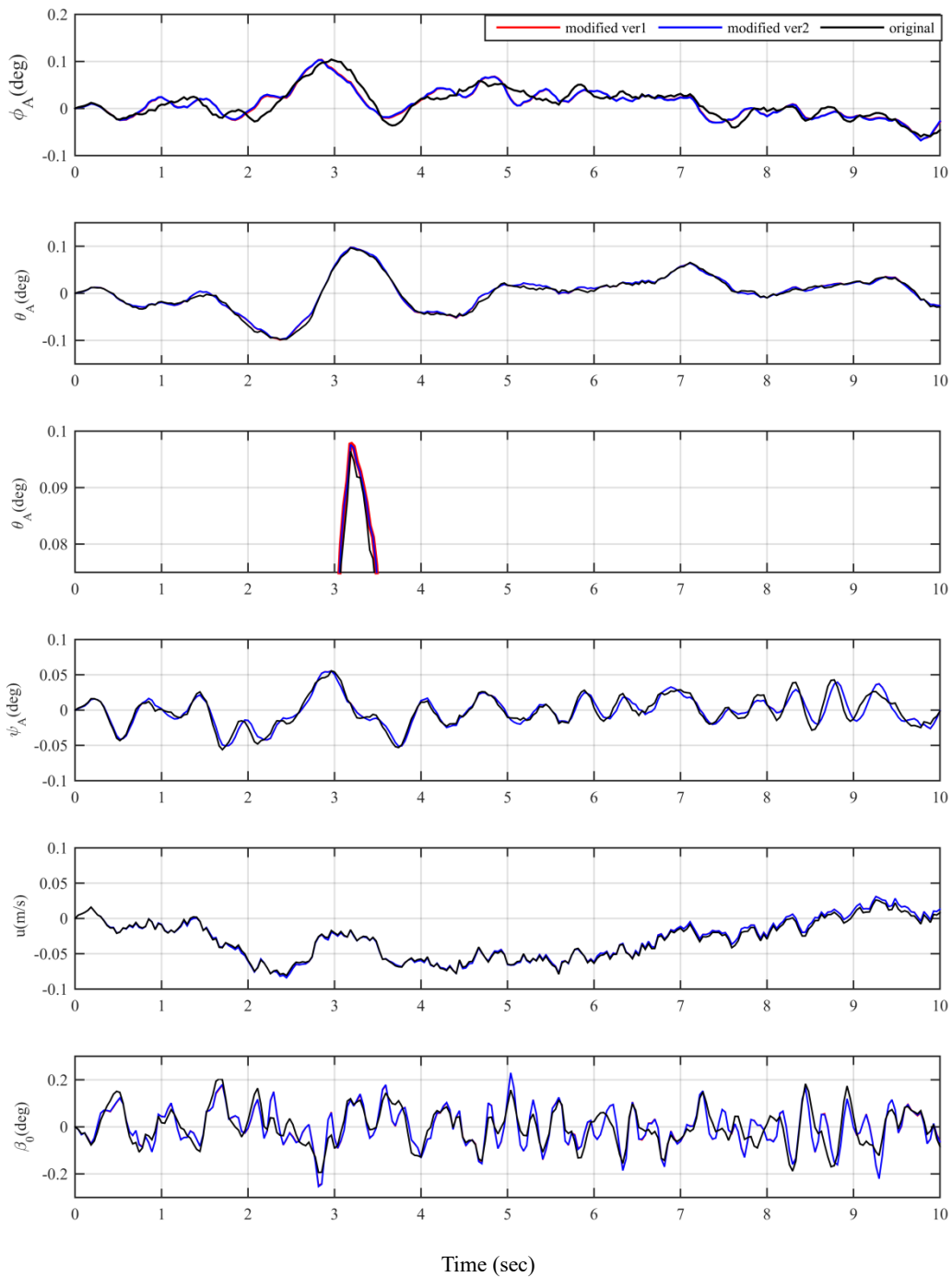


Fig. 6. Effect of Simultaneous Variations in Blade Root Chord and Blade Taper on some States for Helical Turn (40-knots, 0.1, 0.1)

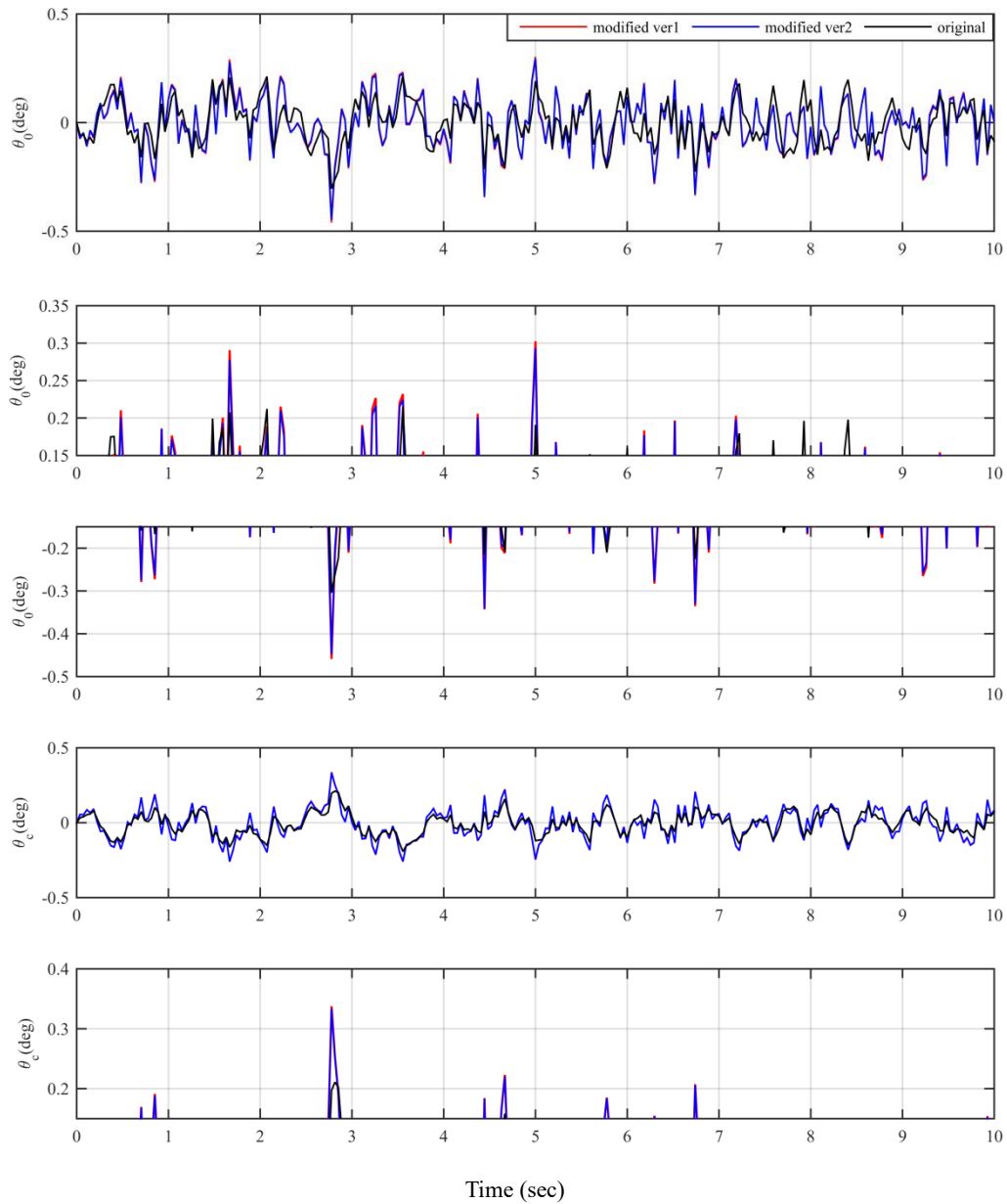


Fig. 7. Effect of Simultaneous Variations in Blade Root Chord and Blade Taper on some Controls for Helical Turn (40-knots, 0.1, 0.1)

References

- Bluman, J. E., & Gandhi, F. S. (2011). Reducing trailing edge flap deflection requirements in primary control with a movable horizontal tail. *Journal of the American Helicopter Society*, 56(3), 1-12.
- Dalamagkidis, K., Valavanis, K. P., & Piegl, L. A. (2011). Nonlinear Model Predictive Control With Neural Network Optimization for Autonomous Autorotation of Small Unmanned Helicopters. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 19(4), 818-831. doi:10.1109/tcst.2010.2054092
- Fusato, D., & Celi, R. (2006). Multidisciplinary Design Optimization for Helicopter Aeromechanics and Handling Qualities. *Journal of Aircraft*, 43(1), 241-252.
- Fusato, D., Guglieri, G., & Celi, R. (2001). Flight dynamics of an articulated rotor helicopter with an external slung load. *Journal of the American Helicopter Society*, 46(1), 3-13.
- Hsieh, C., Skelton, R., & Damra, F. (1989). Minimum energy controllers with inequality constraints on output variances. *Optimal Control Applications and Methods*, 10(4), 347-366.
- Kambampati, S., Ganguli, R., & Mani, V. (2013). Non-rotating beams isospectral to a given rotating uniform beam. *International Journal of Mechanical Sciences*, 66, 12-21.
- Li, Y.-b., Liu, W.-z., & Song, Q. (2011). Improved LQG control for small unmanned helicopter based on active model in uncertain environment. Paper presented at the Electronics, Communications and Control (ICECC), 2011 International Conference on.
- Luo, C.-C., Liu, R.-F., Yang, C.-D., & Chang, Y.-H. (2003). Helicopter H_∞ control design with robust flying quality. *Aerospace Science and Technology*, 7(2), 159-169.
- Oktaç, T., & Şal, F. (2015). Helicopter Control Energy Reduction Using Moving Horizontal Tail. *The Scientific World Journal*, 2015.
- Oktaç, T., & Şal, F. (2017). Effect of Combined Blade Root Chord Length and Blade Taper on Manned Helicopter Control Effort. Paper presented at the 6th International Research Conference on Science, Management and Engineering (IRCSME 2017), Dubai, UAE.
- Oktaç, T., & Şal, F. (2015). Combined Passive And Active Helicopter Main Rotor Morphing For Helicopter Energy Save. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*.
- Oktaç, T., & Sultan, C. (2013a). Constrained predictive control of helicopters. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 85(1), 32-47.
- Oktaç, T., & Sultan, C. (2013b). Modeling and control of a helicopter slung-load system. *Aerospace Science and Technology*, 29(1), 206-222. doi:10.1016/j.ast.2013.03.005
- Oktaç, T., & Sultan, C. (2013c). Simultaneous helicopter and control-system design. *Journal of Aircraft*, 50(3), 911-925.
- Oktaç, T., & Sultan, C. (2014). Flight control energy saving via helicopter rotor active morphing. *Journal of Aircraft*, 51(6), 1784-1804.
- Özdemir, Ö., & Kaya, M. (2006). Flapwise bending vibration analysis of a rotating tapered cantilever Bernoulli–Euler beam by differential transform method. *Journal of Sound and Vibration*, 289(1), 413-420.
- Ozgumus, O. O., & Kaya, M. O. (2007). Energy expressions and free vibration analysis of a rotating double tapered Timoshenko beam featuring bending–torsion coupling. *International journal of engineering science*, 45(2), 562-586.
- Skelton, R. E. (1987). Dynamic Systems Control: Linear Systems Analysis and Synthesis. John Wiley & Sons: chapter 8.
- Skelton, R. E., Iwasaki, T., & Grigoriadis, K. (1998). A Unified Algebraic Approach to Linear Control Design (pp. chapter 4): Taylor & Francis.
- Vu, N. A., & Lee, J. W. (2015). Aerodynamic design optimization of helicopter rotor blades including airfoil shape for forward flight. *Aerospace Science and Technology*, 42, 106-117. doi:10.1016/j.ast.2014.10.020



Skolyoz Hastalığının Tespiti için Taşınabilir Cihaz Tasarımı

Ahmet Ali Süzen¹, Ziya Yıldız², Kıyas Kayaalp³, Osman Ceylan⁴, Emre Arabacı^{5*}

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Uluborlu Selahattin Karasoy MYO., Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5871-1652)

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Uluborlu Selahattin Karasoy MYO, Terapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6057-3669)

³ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Uluborlu Selahattin Karasoy MYO., Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6483-1124)

⁴ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Uluborlu Selahattin Karasoy MYO., Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6060-0134)

⁵ Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Emin Gülmez Teknik Bilimler MYO., Otomotiv Teknolojisi Böl., Burdur, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6219-7246)

(İlk Geliş Tarihi 1 Mart 2019 ve Kabul Tarihi 23 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.534572)

ATIF/REFERENCE: Süzen, A. A., Yıldız, Z., Kayaalp, K., Ceylan, O. & Arabacı, E. (2019). Skolyoz Hastalığının Tespiti için Taşınabilir Cihaz Tasarımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 483-490.

Öz

Skolyoz omurgada meydana gelen 3 boyutlu karmaşık bir hastalıktır. Bu hastalığın sonucunda omurga kemiklerinde şekil ve diziliş bozukluğu, göğüs kafesinde eğrilik, solunum ve dolaşım sistemlerinde kısıtlılıklar olduğu gözlenmektedir. Skolyoz hastalığının kesin sebebi bilinmemekle beraber duruş bozukluklarının sebep olduğu düşünülmektedir. Skolyoz en sık idiopatik sebeplidir (sebebi belli olmayan) ve 10 yaş üzerindeki kız çocuklarında görülmektedir. Skolyozun erken teşhisi hastalığın seyri için önem taşımaktadır. Skolyozun kesin teşhisi için radyolojik yöntemler ve fiziksel muayene gerekmektedir. Bu hastalık hakkında toplumda yeterli bilginin olmaması erken teşhisi zorlaştırmaktadır. Bu uygulama çalışmasında Skolyoz hastalığının teşhisi için radyoaktif yayılım yapmayan, fiziksel muayenedeki yanılma payını azaltacak, portatif, hızlı ve kullanımı kolay arduino tabanlı cihaz tasarımı geliştirilmiştir. Skolyoz'un erken teşhisi için; omurganın sırtta en belirgin çıkıntıları cihazda tanımlanabilmektedir. Hedef omurganın altındaki üç omurga çıkıntısı ile üstündeki üç omurga çıkıntısı arasında bir açılma olup olmadığını hesaplanmaktadır. Hesaplanan açılma derecesi hangi omurgada ve kaç derecelik bir skolyoz olduğunu gösterir. Ayrıca kürek kemikleri üzerinde belirlenen referans noktaları arasındaki eğim ölçülerek skolyozun göğüs kafesine etkisi tespit edilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Adam's Testi, Arduino, Cihaz Tasarımı Skolyoz.

Portable Device Design for Determining of Scoliosis

Abstract

Scoliosis is a three dimensional complex disease of the spine. As a result of this disease, shape and arrangement disorder of the vertebrae, curve in the thoracic spine, restriction in respiratory and circulatory systems are observed. Although the precise cause of scoliosis is not known, it might be caused by posture problems. Scoliosis is most frequently idiopathic (its cause is unknown) and is seen in girls older than 10 years of age. Early diagnosis of scoliosis is important for the course of the disease. For definitive diagnosis of scoliosis, radiologic methods and physical examination are required. Lack of sufficient awareness about this disease in the society makes the early diagnosis difficult. In this application study, design of a portable, rapid, and easy to use, arduino-based device which do not have radioactive emission and will reduce the margin of error in physical examination was performed. For the early diagnosis of scoliosis, the most significant protrusions of the spine can be defined in the device. The aim is to calculate whether there is an angulation between three spinal protrusions under the spine and three spinal protrusions above the spine. The calculated angulation degree shows on which vertebrae scoliosis is and its grade. Moreover, the inclination between the reference points identified on the scapula is measured to determine the effect of scoliosis on thoracic cage.

Keywords: ADAM's Test, Arduino, Device Design, Scoliosis.

* Sorumlu Yazar: Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Emin Gülmez Teknik Bilimler MYO., Otomotiv Teknolojisi Böl., Burdur, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6219-7246, arabaci@mehmetakif.edu.tr

1. Giriş

Skolyoz, toplumda yaygın olarak görülen bir omurga eğriliği hastalığıdır (Oxborrow, 2000). Skolyoz, omurganın dışa kayma rotasyonunun da eşlik ettiği üç boyutlu omurga bozukluğudur. Bir başka deyişle omurganın ön ve arka radyolojik görüntülemeye 10 derecenin üstündeki eğrilikler skolyoz olarak tanımlanır (Trobisch ve ark., 2010). Skolyozun en yaygın tipi gelişmekte olan bireylerde görülen sebebi belli olmayan skolyozdur. Yapılan araştırmalarda bu hastalığı sebebi net olarak belirtilmemektedir. Bu hastalık ile ilgili ülkemizde kapsamlı bir çalışma yapılmadığı görülmekle beraber, hastalığı %0,2 ile % 4 arasından olduğu tahmin edilmektedir. Hastalığın yaş dağılımına bakıldığı zaman 10-16 yaş arası çocuklarda daha çok görüldüğü bilinmektedir (Yaman ve Dalbayrak, 2014).

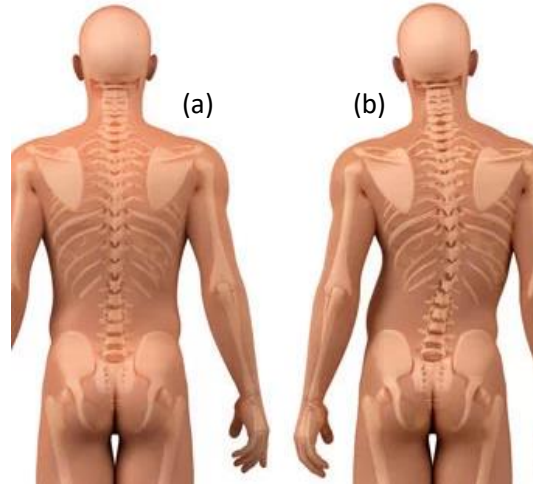
Skolyoz tanısının net konulabilmesi için ayrıntılı bir hikâyenin alınması, klinik ve radyolojik testlerinin yapılması gerekmektedir. Gelişme aşamasındaki bireyde saptanan skolyoz tanısı, ilerleyici olarak düşünülüp uzmanlar tarafından kontrol edilmelidir. Fiziksel muayenede; omurga rotasyonunu anlamak için ADAM'ın öne eğilme testi kullanılır. Dışa kayma oranını saptamak için iki omuzun yükseklik farkı ölçülür (Trobisch ve ark., 2010). Omurga kemiklerinin ana çıkıntısının işaretlemesi ile açısız eğim varlığı değerlendirilir. Kesin tanı ayakta çekilen radyolojik görüntülerde Cobb açısının hesaplanması ile oluşturulur (Yılmaz ve ark., 2012).

Bu çalışmada skolyoz hastalığının tespitinin pratik ve güvenli bir şekilde yapılmasını sağlayan arduino temelli cihaz geliştirilmiştir. Hastalığın tespiti için bireyin omuz, sırt ve bel bölgelerinde belirlenen noktalarda 3 farklı ölçüm sonucu kullanılmaktadır. Cihaz tasarımında belirlenen bölgelerdeki koordinatların alınması için jel ped içerisine yerleştirilen XYZ konum algılayıcıları kullanılır. Algılayıcılardan alınan konum verileri matematiksel eşitlikler ile arduino geliştirme kartında işlenerek, istenilen açılar çıkarılır. Elde edilen veriler uzman tarafından yorumlanarak hastalığın teşhisi konulmaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Skolyoz

Skolyoz, omurganın dışa kayma rotasyonunun eşlik ettiği, kas ve kemik dokularda hasar oluşturan üç boyutlu bir hastalıktır. Şekil 1'de normal birey ile skolyoz hastasına ait omurga görünümü verilmiştir. Bu hastalığın teşhisinin konulması için fiziksel muayene ve radyolojik görüntülemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Fiziksel muayenede ADAM'ın öne eğilme testi, omuz seviyesi fark ölçüm testi ve omurga açılanma testi kullanılmaktadır. Bu fiziksel muayenelerden sonra skolyoz tanısı konulan birey, radyolojik testlere yönlendirilerek tanı kesinleştirilir (Otman ve ark., 1998).



Şekil 1. (a) Normal birey ve (b) skolyoz hastası bireyin omurga görünümü

2.1.1. ADAM'ın öne eğilme testi

ADAM'ın öne eğilme testinde; bireyin ayakları omuz genişliğinde açık, eller her iki yanda ve rahat pozisyonda dizini kırmadan öne eğilmesi istenir. Uzman, kürek kemiklerinin belli noktalarının yere olan mesafelerini ölçer. Belirlenen noktalar arasındaki yükseklik ve açı farkını hesaplar. Bu test yöntemiyle yüksekte olan kürek tarafında rotasyon varlığını saptar (Otman ve ark., 1998, Janicki ve Alman, 2007, Erbil, 2013, Exhibits, 2010).

2.1.2. Omuz Seviyesi fark ölçüm testi

Omuz yükseklik seviyelerini ölçmek için bireyden rahat pozisyonda ve bakışları karşıya doğru olacak şekilde durması istenir. Omuzda belirlenen noktalar arasındaki mesafe farkı ölçülür. Bu test yöntemiyle yüksekte kalan omuz tarafına doğru omurgalarda kayma varlığı saptanır (Otman ve ark., 1998, Exhibits, 2010).

2.1.3. Kürek Kemiklerinin açılanma testi

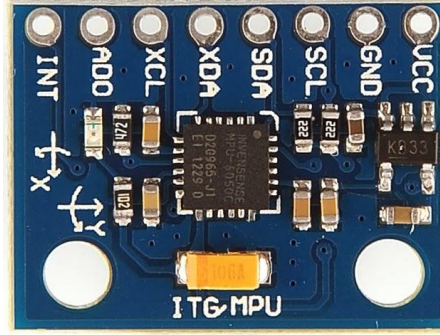
Omurgadaki açısız farkı değerlendirmek için omurga kemiklerinin omurganın ana çıkıntısı işaretlenir. Başın orta seviyesinden tutulan çekül ile omurganın kayma yaptığı yön tespit edilir. Bu test yöntemiyle omurganın dışa kayma yönü tespit edilir (Lin, 1985).

2.2. Arduino

Arduino, algılayıcıların fiziksel ortamlardan aldıkları verilerin işlenmesi ve yorumlanması için kullanılan mikrodenetleyicili devre kartıdır. Bu kartın; dijital-analog pin sayısı, boyut ve mikrodenetleyici türüne göre farklı sürümleri bulunmaktadır. Arduino geliştirme kartının ilk kullanılan sürümü Arduino Uno'dur. Arduino Uno kartında 14 dijital ve 6 analog girişe sahip atmega328 mikrodenetleyicisi bulunmaktadır. Arduino kartlarında kullanılacak yazılım, Arduino IDE isimli açık kaynak yazılımı ile geliştirilmektedir. Arduino IDE yazılımı içerisinde basitleştirilmiş C++ programlama dili kullanılmaktadır (Taşdelen, 2016).

2.3. MPU-6050 İvme Ölçer

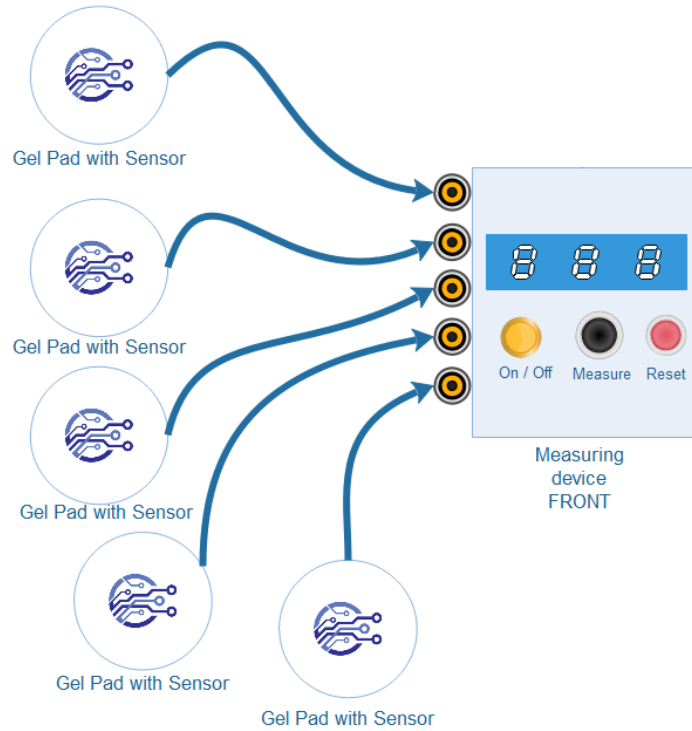
MPU-6050 denge, konum ve açı verilerini kullanan projelerde kullanılan, Şekil 2'de verilen eksenli konum ve açısal ivmeölçere sahip algılayıcı kartıdır. Kart üzerindeki voltaj regülâtörü sayesinde 3 ile 5 V arası bir besleme voltajı ile çalışmaktadır. Algılayıcıdan gelen ivmeölçer ve XYZ verileri ayrı kanallardan I²C çıkışı vermektedir (Chang vd., 2016).



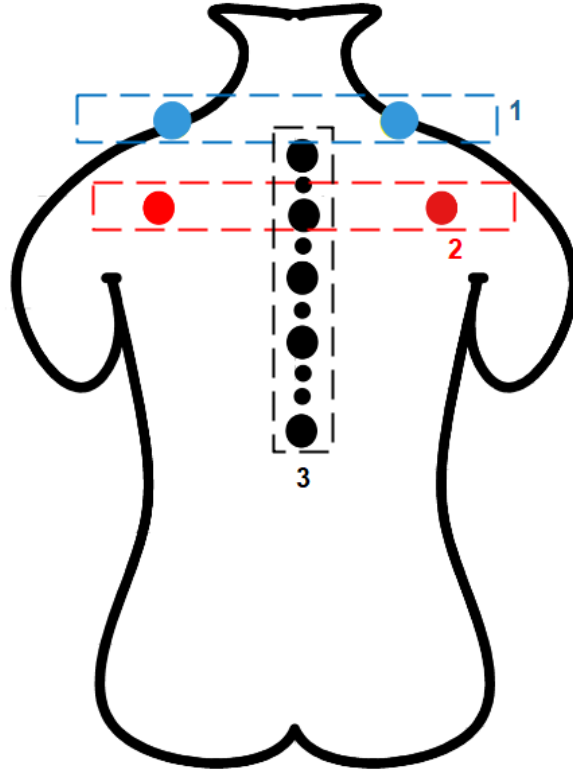
Şekil 2. MPU-6050 algılayıcısının görünümü.

3. Ölçüm Cihazının Geliştirilmesi

Bu çalışmada skolyoz hastalığının teşhisi için gerekli verilerin bulunmasını sağlayan bir cihaz geliştirilmiştir. Bu cihaz tasarımında Şekil 3'deki modelde görüldüğü gibi jel pedlere sabitlenmiş 5 adet XYZ algılayıcısı kullanılmaktadır. Algılayıcıdan alınan veriler Arduino Uno geliştirme kartı üzerinde işlenmektedir. Skolyoz hastalığının teşhisi için kullanılacak verilerin çıkartılmasında 3 farklı ölçüm ve 9 farklı nokta kullanılmaktadır.



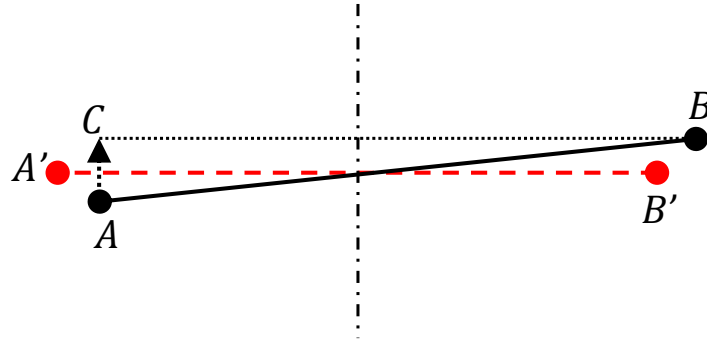
Şekil 3. Ölçüm Cihazının Tasarımı



Şekil 4. Ölçüm yapılan noktalar

3.1. Omuz Seviyesi Farkının Ölçülmesi

Bu ölçümün yapılması için Şekil 4’de verilen 1 numaralı ölçüm noktalarına 2 tane algılayıcısı olan jel ped yapıştırılmaktadır. Şekil 5’de gösterilen omuz seviyeleri arasındaki farkın ölçülmesi için konum algılayıcısından gelen Y verileri kullanılmaktadır. Bu Y verilerin arasında oluşan fark Eş 1’de verildiği gibi, omuz seviyesi farkını temsil etmektedir. Sonuç olarak elde edilen fark, hangi omuzun yüksek olduğunun tespitine kullanılacaktır. Ayrıca skolyozun dış bükey yönünün bulunmasında kolaylık sağlayacaktır.

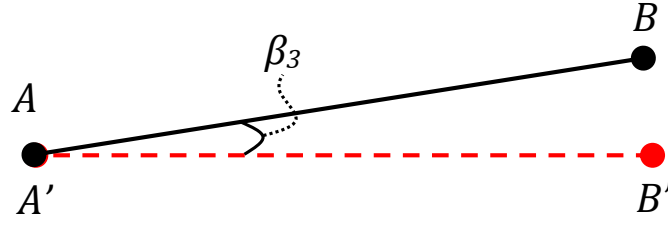


Şekil 5. Omuz seviyesi farkının çıkartılması

$$|AC| = y_b - y_a \quad (1)$$

3.2. Öne Eğilme Testi ile Kürek Kemikleri Arası Açının Ölçülmesi

Öne eğilme testi ile açı ölçümünün yapılması için Şekil 4’de verilen 2 numaralı ölçüm noktalarına 2 tane algılayıcılı jel ped yapıştırılmaktadır. Şekil 6’de gösterilen kürek kemikleri arası açı farkının ölçülmesi için konum algılayıcısından gelen X ve Y verileri kullanılmaktadır. Eş. 2’de verilen formüle gelen veriler aktarılarak istenilen açı bulunmaktadır. Elde edilen açı ile skolyozun omurgalar üzerindeki rotasyonu belirlenmektedir.

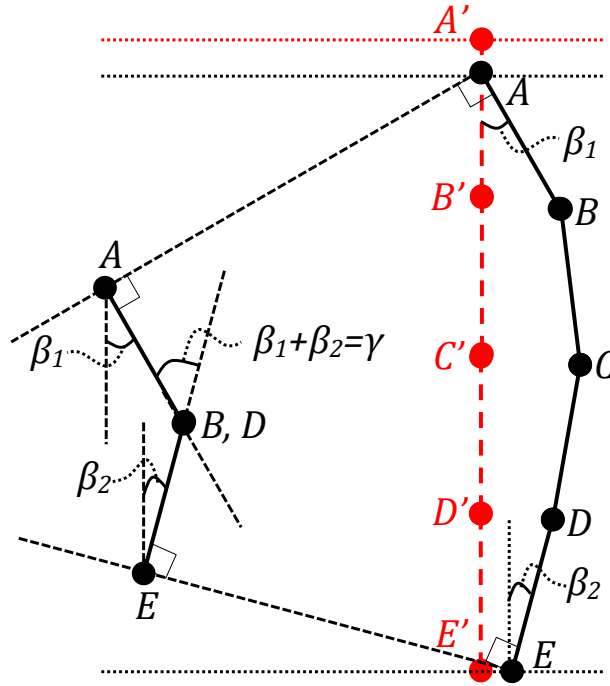


Şekil 6. 2 numaralı ölçüm noktasının skolyoz açısının çıkartılması

$$\beta_3 = \tan^{-1} \left(\frac{y_b - y_a}{x_b - x_a} \right) \quad (2)$$

3.3. Omurganın Açılma Derecelerinin Ölçümü

Skolyoz hastalığının tespitinde gözlemlenmede şüphelenilen referans noktalarına pedler yapıştırılmaktadır. Gerçekleştirilen cihazda doğru sonuç alınabilecek en iyi referans noktalar tercih edilmiştir. Bu ölçümün yapılması için Şekil 4’de verilen 3 numaralı ölçüm noktalarına 5 tane algılayıcısı olan jel ped yapıştırılmaktadır. Bu jel pedler bireyin omurgasının ana çıkıntısına yerleştirilmektedir. Algılayıcıdan gelen X ve Y verilerinin işlenmesi için gerekli formül Şekil 7’deki geometriksel gösterimden çıkartılmıştır. A-C, A-D, A-E, B-D, B-E, C-E noktaları arasında istenilen açılarının bulunması için Eş. 3 kullanılmaktadır. Bu eşitlik referans noktalarına ayrı ayrı uygulanmaktadır. Sonuç olarak referans noktalarında elde edilen açılar ile omurganın yana eğilme yönü ve derecesi bulunmaktadır. Ayrıca omuz seviyesi farkı ölçümünde bulunan dış bükey tespitinin kontrolünü sağlayacaktır.



Şekil 7. 3 numaralı ölçüm noktasının skolyoz açısının çıkartılması

$$\gamma = \tan^{-1} \left[\frac{\left(\frac{x_b - x_a}{|y_b - y_a|} \right) + \left(\frac{x_e - x_d}{|y_d - y_b|} \right)}{1 - \left(\frac{x_b - x_a}{|y_b - y_a|} \right) \left(\frac{x_e - x_d}{|y_d - y_b|} \right)} \right] \quad (3)$$

4. Deneysel Çalışma

Tasarlanan cihaz 3 farklı bireyden alınan sonuçlar ile test edilmiştir. Her bireyde skolyoz hastalığının tespitinde kullanılacak 3 farklı ölçüm yapılmıştır. Alınan bu veriler Şekil 8’de verilmiştir.

	Omurga Eğimi			Kürek kemiği Ölçümü			Omuz Mesafesi		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1. Birey	1	100	7	0	0	18	0	-2	0
	2	75	25	250	6	22	300	2	0
	1	50	30						
	3	25	39						
	3	0	35						
2. Birey	1	100	15	0	7	37	0	2	2
	1	75	24	250	0	49	300	-3	14
	2	50	38						
	3	25	68						
	3	0	57						
3. Birey	1	100	-3	0	-6	15	0	-5	0
	8	75	-2	250	12	10	300	6	-2
	5	50	-8						
	6	25	-3						
	3	0	-4						

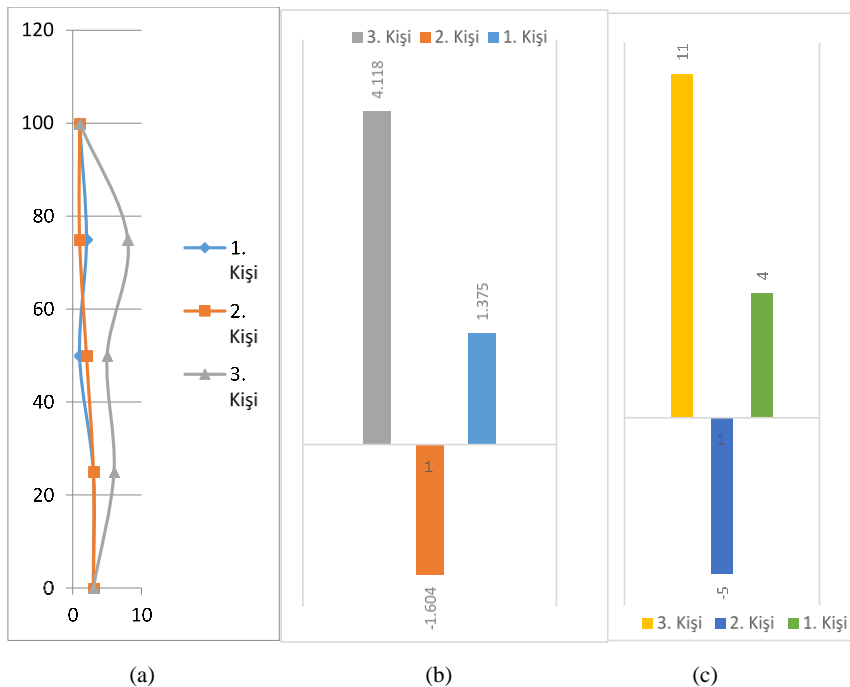
Şekil 8. Ölçüm Cihazından gelen veriler

Bireyler üzerinde uygulanan testlerden elde edilen ham verilerin formülleri ile işlenmesi sonucunda çıkan bilgiler Şekil 9'da grafiksel olarak gösterilmiştir.

Şekil 9 (a) 'da verilen grafikte 3 farklı kişinin omurganın açılma dereceleri çıkartılmıştır. 1.bireyden elde edilen veriler 0 ile 4 derece arasına olduğu görülmektedir. Skolyoz hastalığının varlığında bahsedilmesi için radyolojik görüntülemeye 10 derece ve üzeri olması gerekmektedir. Buna göre 1. bireyde skolyoz rastlanmamıştır. 2. bireyden elde edilen veriler 0 ile 2 derece arasındadır. Bu sonuca göre 2. bireyde de skolyoz rastlanmamıştır. 3. Bireyden elde edilen sonuçlara bakıldığında 2 ile 13 derece arasında olduğu görülmektedir. Buna göre 3. bireyde eğri açıklığı sola bakan skolyoz hastalığına rastlanmıştır.

Şekil 9 (b) 'de verilen grafikte 3 farklı kişinin öne eğilme testi ile kürek kemikleri arası dereceleri çıkartılmıştır. 1.bireyde gövde rotasyonu 1.375 derece, 2.bireyde 1.604 derece çıkmıştır. Bu sonuçlara göre bireylerin omurgalarında önemli bir rotasyon yoktur. 3.bireyin gövde rotasyonu 4.11 derece çıkmıştır. Buradan Şekil 9 (a) 'da çıkartılan skolyoz tanısına rotasyonunda eşlik ettiği sonucu çıkmaktadır.

Şekil 9 (c) 'de verilen grafikte 3 farklı kişinin omuz seviye farkının milimetre olarak sonucu çıkartılmıştır. 1.bireyde omuz yükseklik farkı 4 mm, 2.bireyde 5 mm çıkmıştır. Bu sonuca göre 1.ve 2.bireyin omuz seviyelerinde önemsenecek bir fark bulunmamaktadır. 3.birey de omuz yüksek farkı 11mm çıkmaktadır. Buna göre sola bakan skolyoz açıklığının omuzlarda yükseklik farkına sebep olduğu görülmektedir.



Şekil 9. (a) Omurganın açılma dereceleri (b) öne eğilme testi ile scapularlar arası açı ölçümü ve (c) omuz seviye farkı ölçümü

4. Sonuç

Skolyoz, hastalığın erken dönemlerinde eğitim almamış kişilerce tespit edilememektedir. Genellikle bu hastalık ileri aşamalarda fark edilmekte ve sağlık kuruluşlarına başvurulmaktadır. Skolyozun erken teşhisinde fiziksel testlerin uygulanması için uzman sağlık personeli gerekmektedir. Ölçüm esnasındaki kişisel hatalar ve farklı kişilerce yapılan ölçümler skolyozun tespit edilmesini etkilemektedir. Fiziksel testlerin uygulamasının zaman alması sebebiyle skolyoz, toplum sağlığı taramaları kapsamına alınmamaktadır. Hastalığı tespitinde kullanılan Cobb açısını hesaplayabilmek için birey radyolojinin zararlı etkilerine maruz kalmaktadır.

Skolyoz hastalığının tanısında genel olarak subjektif yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde skolyoz hastalığının tanısı genel olarak gözleme dayalı işlemlerdir. Bununla birlikte çok yaygın olmasa da biyomekanik ve biyokimyasal algılayıcılarının kullanımı da bulunmaktadır.

Bu çalışmada erken teşhisi kolaylaştıracak, kullanım kolaylığına sahip, radyoaktif etkileri olmayan ve maliyeti düşük bir skolyoz tespit cihazının tasarımına gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan cihaz fiziksel testlerde kullanılan yöntemlerin tamamını gerçekleştirebilmektedir. Ölçümler sonucunda elde edilen ham veriler, geliştirilen eşitliklere uygulanarak istenilen sonuçlar elde edilmektedir. Bu sonuçlar uzmanlar tarafından değerlendirilerek bireyin hastalığı hakkında yorumlar yapılabilmektedir.

Kaynakça

- Chang, H. C., Hsu, Y. L., Yang, S. C., Lin, J. C., & Wu, Z. H. (2016). A wearable inertial measurement system with complementary filter for gait analysis of patients with stroke or Parkinson's disease. *IEEE Access*, 4, 8442-8453.
- Exhibits, E. (2010). Scoliosis Imaging : What Radiologists. *Main*, 30(2006), 1823–1842. <https://doi.org/10.1148/rg.307105061>
- Janicki, J. A., Alman, B., Scoliosis: Review of diagnosis and treatment. *Paediatric Child Health*, 12(9), 771–776, 2007. Erişim Linki: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2532872/>
- Lin, L. I. (1985). Early Diagnosis of Scoliosis Based on School-Screening. *Journal of Bone & Joint Surgery, American Volume*, 67(8), 1202–1205.
- Erbil, O. (2013). "Review of Radiological Assessment and Classification Systems of Adolescent Idiopathic Scoliosis." *Türk Ortopedi ve Travmatoloji Birliği Derneği Dergisi* 12(1):73–82. Retrieved (http://www.totbid.org.tr/files/ONLIB/13_1/12ErbilOguz.pdf).
- Otman, A., S., Demirel H., Sade, A., (1998) Tedavi Hareketlerinde Temel Değerlendirme Prensipleri. 2. Baskı. Hacettepe Üniversitesi Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Yüksekokulu Yayınları.
- Oxborrow, N. J., (2000). "Assessing the child with scoliosis: The role of surface topography". *Archives of Disease in Childhood*, 83(5), 453–455. <https://doi.org/10.1136/adc.83.5.453>
- Taşdelen, K., Şimşek, M., A., (2016) Arduino ile Tasarlanmış Sistemlerin İnternet Tabanlı Kontrolü ve İzlenmesi. *SDU International Journal of Technological Science*, 8(1).
- Trobisch, P., Suess, O., Schwab, F., (2010) Idiopathic scoliosis. *Deutsches Ärzteblatt International*, 107(49), 875–883, <https://doi.org/10.3238/arztebl.2010.0875>
- Yaman, O., Dalbayrak, S., (2014) Idiopathic scoliosis. *Turkish Neurosurgery*, 24(5), 646–657, <https://doi.org/10.5137/1019-5149.JTN.8838-13.0>
- Yılmaz, H. G., Kuru, T., Yavuzer, G., (2012) Gövde Ortezi Kullanan İdiyopatik Skolyozlu Adölesanlarda Bad Sobernheim Stres Sorgulama Formunun Türkçe Adaptasyonu ve Güvenirliliği. *Türkiye Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Dergisi*, 58(3), 225–228, <https://doi.org/10.4274/tftr.33600>



Some Features of Doping of Nano–Graphite in Natural Coir Fibre Epoxy–Composites

Mohammad Ayaz Ahmad¹, Gülşen Güven^{2*}, Nursabah Sarıkavaklı²

¹ Physics Department, Faculty of Sciences, P.O. Box 741, University of Tabuk, 71491, Saudi Arabia

² Department of Chemistry, Faculty of Sciences, and Arts, Aydın Adnan Menderes University, Aydın, Turkey

(First received 1 March 2019 and in final form 23 March 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.540021)

REFERENCE: Ayaz, M. A., Güven G. & Sarıkavaklı, N. (2019). Some Features of Doping of Nano–Graphite in Natural Coir Fibre Epoxy–Composites. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 491-498.

Abstract

An attempt has been made to find some direct or indirect uses of nano-composite polymers in various sectors such as; biomedical engineering, electronics, structural engineering and many more due new advancement of science and technology. In the present research work, we used the doping of nano-graphite in the natural coir fibre reinforced polymer composites. The used samples of composites were 45 % of natural coir fibre and 3.2 % of nano-graphite (N-G) in an epoxy resin matrix by weight fraction. We find that on doping the above % weight of nano-graphite in the natural coir fibre, the tensile strength roughly increased by 45-50 % and the rest of the mechanical properties by 2-3 times on the average. And finally, the SEM analysis revealed a good dispersion of nano-graphite in the present samples of composite of coir fibre.

Keywords: Nanocomposites, coir natural fibre, characterization, reinforced epoxy composites, SEM analysis.

* Corresponding Author: Department of Chemistry, Faculty of Sciences, and Arts, Aydın Adnan Menderes University, Aydın, Turkey, ORCID: 0000-0002-2162-2576, gguven@adu.edu.tr

1. Introduction

The natural fibre composites are very much important materials due to their relatively high biodegradability levels. The inadequacy in some mechanical properties of these materials remains a serious hindrance to their progress. The coir is the natural fibre of the coconut husk where it is a thick and coarse but durable fibre. It is relatively water-proof and has resistant to spoil by salt water and microbial degradation [1, 2]. The use of coir fibre reinforced composites is essential in the industrial automotive where it used to make seat cushions for Mercedes automobiles. Even though it has profitable properties, the coir fibre composites still have some undesirable properties such as dimensional instability, flammability which are not suitable for high temperature application and degradability with humidity, ultraviolet lights, acids and bases [3-6]. A lot of efforts have been carried out to improve the performance of coir fibre reinforced composites and the potential of this fibre to be a good reinforcement for polymer matrices was brought into light by a few experiments in the recent past. This fibre is composed of cellulose 61-71.5%, hemicelluloses 13.6-20.4%, moisture content 12.6%, lignin 12-13%, and others 0.70%, which contribute to its reinforcing potential in polymer matrices [7-11]. In a study on coir fibre reinforced matrix, the matrix showed 50-60% increase in tensile strength after reinforcement by esterified coir fibres [9-11]. Besides, the procurement and processing of coir fibres are simple and very inexpensive. The processing of this fibre does not involve polluting techniques like those involved in synthetic fibre composites. Therefore, a combination of natural fibres and nano-fillers in a polymer matrix can enable the development of a high performance material with a relatively good level of biodegradability. In the present experimental work, composites consisting of nano-modified epoxy (containing 3.2%wt of NG) as the matrix phase and coir fibre (40% and 50%wt) and as the reinforcement phase were fabricated and their mechanical and microstructure properties were studied and compared with those of pure epoxy-coir composites without nano-fillers.

Since last few decades, the nano-technology started scaling new heights as its applications extended into various field of natural science from medicine to metallurgy / modern age of engineering and technology. The improvement in mechanical properties of metallic and polymeric materials by doping of nano-particle produced new interesting outcomes. A few research ventures in the past have demonstrated the ability of nano-fillers to improve the mechanical properties of polymers. Addition of nano clay by 1.5 in an epoxy matrix resulted in an increase of fracture toughness by 46% on the average [12-16]. The epoxy LY564 reinforced with MWCNTs (multi walled carbon nano tubes) showed 70% increase in tensile impact strength [17]. The Inter laminar shear stress of epoxy reinforced by glass fibre, showed an increase by 20% upon the addition of 0.30 wt% of CNT (carbon nano tubes) [13-16, 18]. In a very few attempts nano-graphite (NG) was used a filler for polymer matrices. After the successful fabrication of monolayer grapheme with excellent mechanical properties in 2004 [19], the development polymeric composites with graphitic fillers started gathering steam. In a study of mechanical properties of polyetherimide (PEI) reinforced with various nano fillers like MWCNT (multi walled carbon nano-tubes (CNT)), CNF (carbon nano fibre), and Graphite nano platelets (GNP), GNP reinforced PEI nano-composites show highest strength and modulus compared to the other two [13-16, 20]. In a comparative study of the impact toughness between HDPE (high density polyethylene) / GNP composites and HDPE / carbon black (CB) composites, the former recorded much greater values [21].

In the present article, the used composite was manufactured by hand-layup technique in our laboratory. The epoxy-coir composite without nano fillers, a maximum tensile strength of 20-25 MPa, compressive strength of 100-110 MPa, flexural strength of 140-160 MPa and impact energy of 1.65 Joules were obtained for the sample with 40-50% fibre content. After that the addition of 3.2% weight fraction of nano-graphite to the same increased the tensile strength roughly by 50-60% and the rest of the mechanical properties by two times on the average. And finally, the Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis revealed good dispersion of nano-graphite in the composite.

2. Materials and Methods

2.1. Raw Samples Collection

The coir fibre was sourced locally in Cochin, India, State of Kerala and the epoxy resin purchased from a chemical store [22]. The natural Coir from coconut husk has been depicted in Figure 1, and was extracted by retting process. This involves soaking the coconut husks in water and extracting the fibres manually from the husks. The coir fibres were treated with alkaline treatment using 0.5% Sodium hydroxide (NaOH) salt. This was to remove wax, lignin, oils and other fibre constituents that may reduce adhesion between the matrix and fibres thereby constituting a weak boundary layer.



Figure 1. The Coir from coconut husk [This Fig. taken from Ref. 23].

2.2. Fabrication Procedure of Composite Samples

The fabricated epoxy resin composites samples produced from the natural Coir fibre have been shown in Figure 2. The hand lay-up technique was used for the fabrication of composite samples in our laboratory by using coir fibre and epoxy resin. The epoxy resin and hardeners were mixed using the ratio of 1.25:1 parts by weight, further the epoxy resin and hardener were weighed separately and magnetic stirred till the mixture became warm (exothermic reaction). A portion of the mixture was poured into the glass bottle of diameter 10 mm and allowed to set for 24 hours. The tests samples were cut from the cylindrical bottle in the form of circular discs of 2 mm thickness and 10 mm diameter. Uniformity of the surface of test samples was obtained by polishing the sample using polishing cloth. The test samples were then kept in between the electrodes of the impedance analyzer for various measurements.



Figure 2. The fabricated epoxy resin composites samples produced from the natural Coir fibre.

2.3. Chemical Treatment and doping nano-graphite (N-G) of Composite Samples

A chemical treatment by using the salt of Sodium Hydroxide (NaOH) was carried out on the above obtained samples of coir fibres after isolation, to increase the fibre-polymer matrix compatibility. This analysis was used to produce the effective fibre surface area which leads to increase the fibre-matrix adhesion [5-11 and also references therein], and also in FRCs good fibre-matrix adhesion is a requirement for good mechanical properties. The chemical treatment removes significant amounts of hemi-cellulose and pectin from the coir fibres leading to increased thermal stability [5-11, 13]. The treatment was done by soaking the coir fibres in the solution of 1N 10-20% NaOH salt for 3-5 hours followed by thorough washing in distilled water and drying. Further, as it is well known that the graphite is inorganic, it is chemically incompatible with the organic epoxy matrix and to increase the compatibility it was pre-treated using a surfactant called [3-(2-Aminoethylamino)-propyl]-trimethoxysilane (a reactive silane coupling agent). The used nano-graphite (N-G) was a form of graphite with a particle size of less than 50nm in the present experimental work. The chemical surfactant was capable of forming covalent bonds with both the epoxy resin and reinforcing nano-particle [24]. The treatment was carried out by mixing N-G and the surfactant in the ratio 20:1 manually and leaving the mixture for 24 hours to facilitate the chemical reaction. Then, the treated N-G was mixed with epoxy in the mass ratio 1:40 and the mixture was ultrasonicated up to 2-3 hours.

3. Results and Discussions

The mechanical properties were studied through standard tensile, compressive and flexural tests. A perfect standard, named as ASTM D3039 tensile testing standard [25] was used to measure the tensile and compressive strengths for the present samples. All the samples were prepared as per an International Organization for Standardization (ISO); ASTM standard EN ISO 14125 (1998)/ (subcommittee SC 13, *Composites and reinforcement fibres*) [26] to determine flexure property using three-point bending. We selected 5-7, samples / specimens from the same sample were used for all the tests and the average values were recorded in the form of circular discs of 2 mm thickness and 10 mm diameter. In Figure 3 (a-d), we draw the characteristics for tensile strength, compressive strength, flexural strength and impact strength respectively. These characteristics were in term of behavior / dependency of weight fraction of fibres as a function of (3.a) Tensile strength in MPa, (3.b) Compressive strength in MPa, (3.c) Flexural strength in N/mm², and (3.d) impact strength in Joules. From these figures one can conclude that the mechanical properties i.e. tensile, compressive and flexural behaviours of chemically treated coir fibre reinforced epoxy composite is found to be less than pure epoxy composite. These results were found within good agreement with some of our earlier work as well some other researchers working in the same field [4-7, 9, 10 & 13-16]. It is also well recognized for reinforced polymer composites, that the interfacial zone governs an important role in transferring the load between the fibre and matrix which subsequently affect the mechanical properties such as strength. As we know that flexural failure [9-10] depends mostly on the fibre and matrix adhesion, an increase the value of flexural strength in chemically treated composite may be due to the increase in the efficient surface area available for contact with the matrix [9, 10].

Based on our above mentioned experimental technique, the results of the tensile tests showed that addition of nano-graphite (N-G) to the composite increased the tensile strength nearly 2.0 times. A maximum value of tensile strength of 25.0 MPa was obtained for the nano-graphite (N-G) reinforced composite with 45-50% fibre content. This was an outcome of improved polymer-filler interaction caused by the high surface area of nano-graphite (N-G) particles and the surface treatment. This was more effective than other

strengthening techniques because the polymer-filler interaction takes place through chemical bonds [13-16, 27], and strengthening takes place at a molecular level. The compressive strength showed a drastic improvement and in case of the composite with 45-50% fibres content the value increased by 2.5 times. Apart from facilitating good dispersion, compatibility between the phases increases stress transfer due to high interfacial adhesion, resulting in improved composite modulus [13-16, 28], and thereby good resistance to compression.

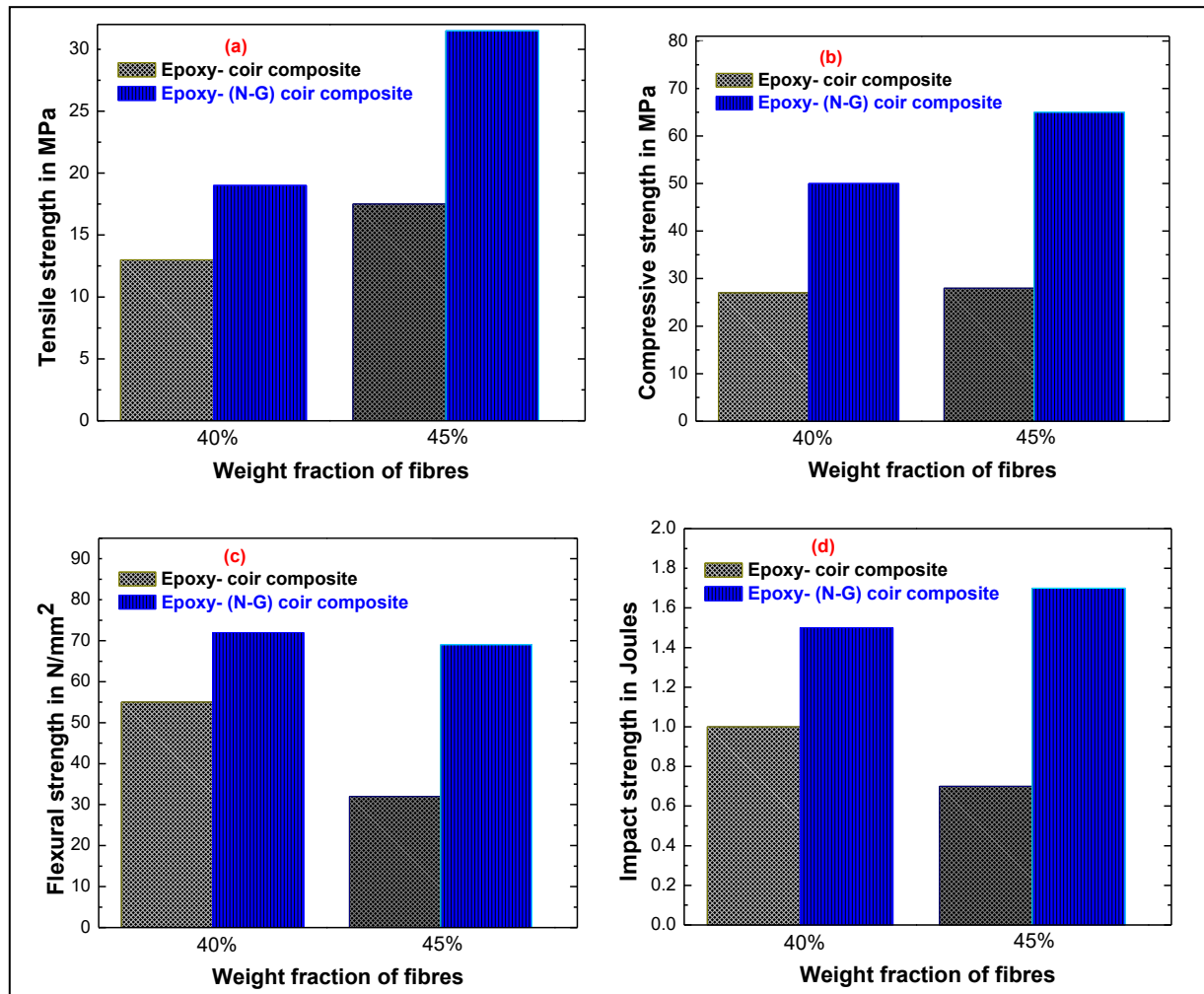


Figure 3 (a-d). The behavior of weight fraction of fibres as a function of (a) Tensile strength in MPa, (b) Compressive strength in MPa, (c) Flexural strength in N/mm², and (d) Impact strength in Joules.

The impact strength almost doubled in case of the composite with 45% fibre content but a lower increase was observed in the composite with 35% fibre content. A similar trend was seen in the case of flexural strength. But in contrast to all the above properties, flexural strength values were higher for the composites with 35% fibre content than those with 45% fibre content and this can be attributed to the style of reinforcement (chopped random fibre). The higher concentration of randomly oriented fibre (which is used in this work) results in non-uniform distribution of stress which is a major contributor to poor flexural strength. Therefore, it is obvious that addition of nano-graphite (N-G) imparts excellent mechanical properties to natural fibre composites and matches their performance to that of synthetic fibre composites.

Furthermore, the scanning electron microscopy analysis of the test samples were done by JSM 6390A (JEOL Japan) at various magnifications. This was done for the micrographs expose sensible to low agglomeration of nano-graphite particles which is an indication of the advantage of nano-graphite (N-G) over graphene which agglomerates very easily due to high aspect ratio [16]. The images of the prepared samples were taken at the plane polished surface. Figure 4 (a) shows the scanning electron microscopy (SEM) image of micrograph of pure epoxy-coir composite, Figure 4 (b) shows the SEM analysis of the micrograph that is for the dispersion of nano-graphite (N-G) into the NG-epoxy coir composite with 40% fibre while in Figure 4 (c) the micrograph shows the dispersion of nano-graphite (N-G) into the NG-epoxy-coir composite with 45% fibre content. In the pure epoxy-coir fibre composite (Figure 4(a)), the fibre strands appear very distinct which makes them more vulnerable to breakage. The presence of intact nano-graphite (N-G) particles in the micrographs (as it has been shown in Figure 4(b & c)), indirectly reveals that the covalent bonding of NG with the epoxy is not achieved to a desired level, thereby recommending a scrutiny into the pre-treatment process.

In fibre reinforced composites, mechanical interlocking is an easily achievable and effective mechanism for fibre-matrix bonding [17, 18]. In the micrographs (depicted in the Figure 4(c)), agglomerated nano-graphite (N-G) particles can be seen in between two fibre strands. The presence of these particles causes a kind of interlocking in between the fibre strands leading to a synergistic effect of the fibres and (N-G) particles for resisting deformation, which incorporates improved mechanical properties to the composite.

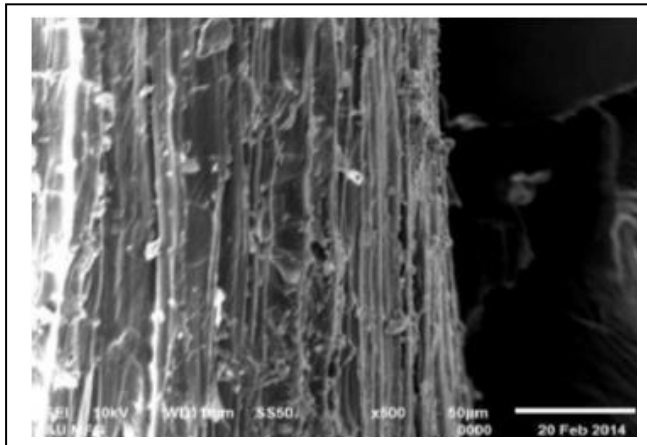


Figure 4 (a). The SEM image for the micrograph of pure epoxy- coir composite.

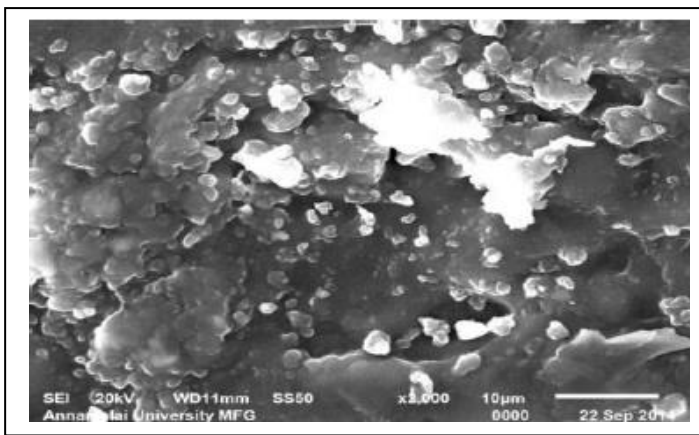
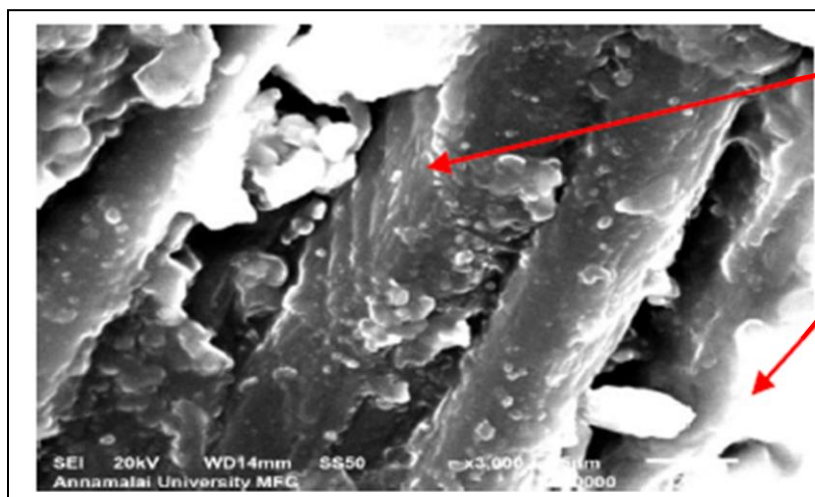


Figure 4 (b). The SEM image of micrograph for the dispersion of nano-graphite (N-G) into the NG-epoxy coir composite with 40% fibre.



Agglomerated
nano-graphite
(N-G) particles
causing

Figure 4 (c). The SEM micrograph for the dispersion of nano-graphite (N-G) into the NG-epoxy-coir composite with 45% fibre content.

The micro-filling of the voids in the coir fibres by nano-particles is also partly visible in the micrographs and this contributes towards the enhancement of compressive properties has been depicted in Figure 5. This is very less in case of synthetic fibres due to the presence of very less pores. As illustrated above, the contribution of the voids to the compressive failure is nullified by the micro-filling of the voids in the fibre by NG particles. These particles move into the fibre voids and cause delay in their rupture.

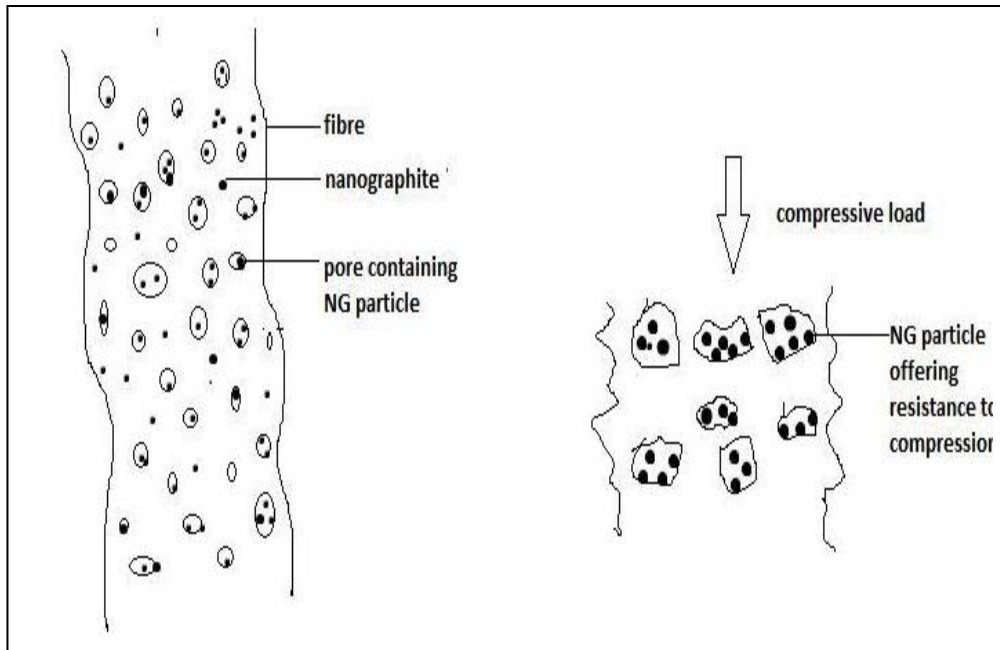


Figure 5. The Micro-filling of voids phenomenon

4. Conclusions

The present experimental work has been carried out, with an inspiration to explore the potential of the Coir fibre polymer composites and to find some interesting features of doping of nano-graphite (N-G) in Natural Coir Fibre Epoxy-Composites. This study also leads to boost up some extensive knowledge for the further research in the field of nano-composite polymers in a simplified manner. This work is also an implication that, a partly bio-degradable natural coir fibre composite can be made a high performing material too. Hence, the present article has shown the feasibility of presenting degradability and good performance in the same material i.e. it can be a better economic effort (e.g. the high nano-particles cost).

Based on the above analysis one can get the following out comes:

- (i) The tensile, compressive and flexural tests have been done between the tensile strength (in MPa) and weight fraction of coir fibres.
- (ii) The studied mechanical properties have shown geometric increase which describes the feasibility of boosting the performance levels of natural fibre composites to those of their synthetic counterparts.
- (iii) The reinforcing effect of nano-graphite (N-G) particles shows great credibility for the enhancement of mechanical properties of natural coir fibre reinforced polymer composite.
- (iv) The chemical treatment improves the morphology of natural coir fibre. One can understand from the evaluation of micrographs in present experimental work that the maximum property values achieved in this experiment are below threshold level, thereby indicating the scope for further improvement through adoption of different pre-treatment methods.
- (v) The large increase examined in the impact strength is an indication of the importance of the nano-filler accumulation in the production of impact energy absorbing polymeric materials.

Acknowledgements

The author (Mohammad Ayaz Ahmad) would like to acknowledge the keen support in financial assistance for this work of the Vice Presidency / Studies and Scientific Research / Deanship of Scientific Research on behalf of University of Tabuk, Kingdom of Saudi Arabia and Ministry of Higher Education, K.S.A under the research grant no. S-0263-1436 / dated 15-03-1436. And also highly acknowledge the Department of Chemistry, Faculty of Sciences, and Arts, Aydin Adnan Menderes University, Aydın-Turkey in numerous help and support to complete this article [29-30].

References

- [1] Ray, D. (2005). Natural Fibres, Biopolymers and Biocomposites. *Thermoset Biocomposite in Mohanty*. Taylor & Francis.
- [2] Pothan, L. A., Oommen, Z., & Thomas, S. (2003). Dynamic mechanical analysis of banana fiber reinforced polyester composites. *Composites Science and Technology*, 63(2), 283-293.
- [3] Turtle, M. E. (2014) Structural Analysis of Polymeric Composite Materials, New York: Marcel Dekker Inc. 1-41.
- [4] Brahim, S. B., & Cheikh, R. B. (2007). Influence of fibre orientation and volume fraction on the tensile properties of unidirectional Alfa-polyester composite. *Composites Science and Technology*, 67(1), 140-147.
- [5] Alveera K., Shrish J., Ayaz M.A., Abd El-Khalek A. M. (2013). Synthesis and characterization of chemically treated fibre and its reinforced epoxy polymer composites, Paper submitted to conference "SIECPC-2013" to be held at Riyadh, 27-30 April 2013, Saudi Arabia. (<http://www.easychair.org/conference/?conf=siecpc2013>)
- [6] Khan, A., Mohammad, A., Shirish, J., & Lyashenko, V. (2016). Synthesis of Alumina Fibre by Annealing Method using Coir Fibre. *American Chemical Science Journal*, 15(2), 1-7.
- [7] Khan, A., Joshi, S., Ahmad, M. A., & Lyashenko, V. (2015). Some effect of Chemical treatment by Ferric Nitrate salts on the structure and morphology of Coir Fibre Composites. *Advances in Materials Physics and Chemistry*, 5(1), 39-45.
- [8] Alveera Khan, M. Ayaz Ahmad, Shrish J., Abd. El-Khalek A. M. (2013). Study of mechanical and electrical behavior of chemically treated coir fibre reinforced epoxy composites, *Int. J. of Multidispl. Research & Advcs. in Engg. (IJMRAE)*, 5(2), 171-180.
- [9] Khan, A., Ahmad, M. A., Joshi, S., & Al Said, S. A. (2014). Abrasive wear behavior of chemically treated coir fibre filled epoxy polymer composites. *American Journal of Mechanical Engineering and Automation*, 1(1), 1-5.
- [10] Khan, A., Ahmad, M. A., & Joshi, S. (2015). A systematic study for electrical properties of chemically treated coir fiber reinforced epoxy composites with ANN model. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 4(1), 410-414.
- [11] Khan A., Ahmad, M. A., Joshi, S., Lyashenko, V. (2015). Dielectric and Electrical Characterization Study of Synthesized Alumina Fibre Reinforced Epoxy Composites. *Elixir Crystal*, 87, 35801-35805.
- [12] Kim, B. C., & Park, S. W. (2008). Fracture toughness of the nano-particle reinforced epoxy composite. *Composite structures*, 86(1-3), 69-77.
- [13] Sarikavakli, N., Mustafa, S. K., & Ahmad, M. A. (2017). Evolution of Thermo-Mechanical Properties of Aluminium-Silicon Alloy (Al-1wt% Si). *American Journal of Materials Synthesis and Processing*, 2(5), 61-64.
- [14] Sarikavakli, N., Ahmad, M. A., Dobra, R., Pasculescu, D. (2016). Book Chapter: Nano-Technology for a Novel Photon Detector Systems" Vol. IV (2016), pp. 51-54. In the conference; Smart Applications & Technologies for Electronic Engineering, SATTE 2016; ISBN: 978-606-613-128-5; Romanian Chapter of IEEE Instrumentation and Measurements Society, University of Alba Iulia.
- [15] Tarranum, N., Ahmad, M. A., Sarikavakli, N., Khan, A. (2016). Soft Computing Technique in Nano-Technology to Improve the Thermo-Mechanical Properties for Aluminum – Silicon Alloy", 4th International research and practice conference Nanotechnology and Nanomaterials Nano-2016 August 24 - 27, 2016, Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine.
- [16] Sarikavakli, N., Ahmad, M. A., Tarannum, N. (2016). A Novel Photon Detector Systems Produced By Carbon Nanotubes, 28th of the National Chemistry Congresses, 15–21 August 2016, Mersin University.
- [17] Fidelus, J. D., Wiesel, E., Gojny, F. H., Schulte, K., & Wagner, H. D. (2005). Thermo-mechanical properties of randomly oriented carbon/epoxy nanocomposites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 36(11), 1555-1561.
- [18] Gojny, F. H., Wichmann, M. H., Fiedler, B., Bauhofer, W., & Schulte, K. (2005). Influence of nano-modification on the mechanical and electrical properties of conventional fibre-reinforced composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 36(11), 1525-1535.
- [19] Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S. V., ... & Firsov, A. A. (2004). Electric field effect in atomically thin carbon films. *Science*, 306(5696), 666-669.
- [20] Kim, S., Seo, J., & Drzal, L. T. (2010). Improvement of electric conductivity of LLDPE based nanocomposite by paraffin coating on exfoliated graphite nanoplatelets. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(5), 581-587.
- [21] Wang, L., Hong, J., & Chen, G. (2010). Comparison study of graphite nanosheets and carbon black as fillers for high density polyethylene. *Polymer Engineering & Science*, 50(11), 2176-2181.
- [22] COIR BOARD, Cochin, 31st March 2012, Executive Summary STATUS OF COIR INDUSTRIES IN INDIA.
- [23] Obele, C., Ishidi, E. (2015). Mechanical Properties of Coir Fiber Reinforced Epoxy Resin Composites for Helmet Shell, *Industrial Engineering Letters*, 5(7), 67-74.

- [24] Vassileva, E., & Friedrich, K. (2006). Epoxy/alumina nanoparticle composites. II. Influence of silane coupling agent treatment on mechanical performance and wear resistance. *Journal of applied polymer science*, 101(6), 4410-4417.
- [25] A perfect standard; ASTM D3039 tensile testing standard @
<http://www.intertek.com/polymers/tensile-testing/matrix-composite/>
- [26] International Organization for Standardization (ISO); ASTM standard EN ISO 14125
(1998)/ (subcommittee SC 13, *Composites and reinforcement fibres*)
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14125:ed-1:v1:en>
- [27] Schadler L. S., Giannaris S. C., Ajayan P. M. (1998). Mechanical properties of carbon nano-tubes based polymer composites. *Appl. Phys. Lett.* 73, 38-42.
- [28] Elhamnia, M., Motlagh, G. H., Abbasian, Z., Godarzi, R. (2014). The effect of graphene chain grafting on the mechanical properties of polymer/grapheme nanocomposites, “Scientific Cooperations International Workshops on Engineering Branches” 8-9 August 2014, Koc University, ISTANBUL/TURKEY.
- [29] Sarikavakli, N., Ahmad, M. A., Mustafa, S. K. (2018). “Conference PIRM-VI’ 2018, Faculty of Sciences and technologies”, Abdelmalek Essaadi University, 7-9 May 2018, Tangier, MOROCCO.
- [30] Lyashenko, V. V., Ahmad, M. A., Sotnik, S., Deinko, Z., Khan, A. (2018). Defects of Communication Pipes from Plastic in Modern Civil Engineering, *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*, 8(1), 253-262.



Sintering and Technological Properties of Dry Pressed Ceramic Body Containing Kastamonu Mud and Clay

Nermin Demirkol^{1*}

¹ Kocaeli University, Degirmendere Ali Ozbay Vocational School, Ceramic, Glass&Tile Programme, Kocaeli, Turkey (ORCID: 0000-0001-9088-023X)

(İlk Geliş Tarihi 1 Mart 2019 ve Kabul Tarihi 23 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.541163)

ATIF/REFERENCE: Demirkol, N. (2019). Sintering and Technological Properties of Dry Pressed Ceramic Body Containing Kastamonu Mud and Clay. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 499-504.

Abstract

Kastamonu is a city built on the valley of Karacomak River in Turkey. There is a mud which is used inside of the kiln for repairing kiln bricks. In this study, Kastamonu mud (KM) and clay were used in the ceramic recipe as raw materials to produce dry pressed ceramic bodies. Firstly, chemical compositions of used raw materials were determined by using XRF analysis. Ceramic mixture containing Kastamonu mud and clay was prepared. It was mixed for 3 hours. Prepared mixture was dried and granulised by using sieve. Afterthen Kastamonu mud containing 20 wt% and 30 wt% clay were shaped by dry pressing method using metal mold with 45 MPa pressing pressure. The samples were then sintered at 1050, 1100 and 1150 sintering temperatures. Green and sintered density, firing shrinkage and water absorption of samples were determined. Sintered density of the samples were measured by Archimed method. It was concluded that this material with the addition of clay can be used as a new ceramic raw material due to its suitable technological properties at 1150°C sintering temperature. Some coloured glaze recipes were applied on to the Kastamonu mud (KM) containing 20 wt% clay body sintered at 1150°C. Especially, this dry pressed body is suitable for industrial forms with its artistic glazes. Sintering and technological properties such as density, water absorption, firing shrinkage of each body were measured. Scanning electron microscopy (SEM) studies were carried out to analyse the microstructure and to see ceramic body-glaze interactions. The best firing shrinkage, water absorption and density values were obtained with KM 20 samples sintered at 1150°C as 12.9%, 5.2% and 2,57 g/cm³, respectively.

Key Words: Ceramic, Kastamonu Mud, Technological Properties, Sintering, Dry Pressing.

1. Introduction

Different shaping method can be used for different kinds of mud or clay in producing ceramic. Dry pressing is a common way to shape ceramic parts (Donzel et.all, 2018). It is one of the most popular shaping processes, includes a relatively simple technology while allowing high production rates. In uniaxial compaction, the stress is applied by a punch in a mould whose side walls can not move. This process allows the fabrication of rather complicated shapes (Bortzmeyer, 2012).

Clays and most of the ceramic mud include alumina, silica, small quantities other minerals. Red mud contains alumina, silica, magnesia, iron oxide and some other minerals (Atkin, 2005).

Demirkol (Demirkol, 2017) studied forming of ceramics by dry pressing method and characterization of it. She used a Kınık (Pazaryeri-Bilecik) red mud. Red mud granules were dry pressed at 45 MPa pressing pressure in her study. Green samples were sintered at between 900-1000°C.

* Corresponding Author: Kocaeli University, Degirmendere Ali Ozbay Vocational School, Ceramic, Glass&Tile Programme, Kocaeli, Turkey, ORCID: 0000-0001-9088-023X, nermin.demirkol@kocaeli.edu.tr

Villarejo et. all (Villarejo, 2012) studied the production of new materials based on clay and red mud derived from the aluminium industry. Their aim was to produce ceramic materials by adding the red mud into a ceramic matrix and neutralizing this mud in the matrix itself.

Babisk et.all. (Babisk, 2014) studied properties of clay ceramic incorporated with red mud. They used dry pressing method for shaping and sintered the samples at 750, 950 and 1050°C.

Demirkol et. all (Demirkol, 2016) found a new ceramic raw material. It is a Kastamonu mud (KM) which is used inside of the kiln for repairing kiln bricks. In their study, Kastamonu mud was used alone and in the ceramic recipes as a raw material to produce slip casted ceramic. They used 40 vol. % solid content slip for all cast samples. Kastamonu mud alone and containing 20 wt.% and 30 wt. % clay were shaped by slip casting method using plaster mold. Prepared samples were then sintered at 1050, 1100 and 1150 °C sintering temperatures. According to their results of study, KM is not suitable for making ceramic on its own due to cracking after heat treatment. But when it is formed with clay it is a good ceramic material for artistic applications. KM containing 20 wt% clay sintered at 1150 °C showed the best water absorption, density and firing shrinkage as 7,3 %, 2,45 g/cm³ and 11,1%, respectively. This raw material can be considered as cheap sources of alumina and silica.

This paper presents sintering and technological properties of dry pressed ceramic body containing Kastamonu mud which is a new ceramic raw material and clay. The effects of clay addition to KM for industrial applications and some glaze studies were examined. Optimum clay amount and sintering temperature were determined with best technological properties.

2. Materials and Methods

Kastamonu mud (KM) ceramic raw material found by Demirkol et.all. (Demirkol, 2016) was used in this study as a main raw material to produce dry pressed ceramic bodies. Its chemical analysis was performed by XRF at Kocaeli University. Table 1 shows the chemical analysis of KM. As seen in Table 1 it includes Si, Al, K, Na, Mg, Fe as a main elements of mud. Fe₂O₃ gives the mud color which is between red and yellow.

Table 2 exhibits the chemical analysis of used clay. The clay was obtained from Eczacibasi Esan Company. It composed of mainly SiO₂ and Al₂O₃. Plasticity of Kastamonu mud is very low. This clay improves the plasticity of it. In this case, the dry pressed green samples extrude from the metal mold at unbroken form.

Table 1: Chemical Analysis of Kastamonu Mud

Element	% wt	Element	% wt	Element	% wt
O	49,10	Si	28,10	K	1,28
Na	1,29	P	0,05	Ca	0,65
Mg	2,18	S	0,13	Ti	0,02
Al	9,99	Cl	0,05	Fe	7,15

Table 2: Chemical Analysis of Used Clay

Element	% wt	Element	% wt	Element	%wt
SiO ₂	60,46	K ₂ O	2,56	NiO	0,01
Al ₂ O ₃	33,15	CaO	0,50	Rb ₂ O	0,02
P ₂ O ₅	0,10	TiO ₂	1,67	SrO	0,07
SO ₃	0,17	Fe ₂ O ₃	1,27	ZrO ₂	0,02

A water-based slurry was prepared by mixing the Kastamonu mud, clay and polyvinyl alcohol (PVA) as binder. It was mixed for 3 hours. The aqueous suspension containing 60 wt.% KM, clay mixture and 0.5 wt.% binder was spray dried. Afterthen Kastamonu mud containing 20 wt% and 30 wt% clay were shaped by dry pressing method using metal mold with 45 MPa pressing pressure, separately. Metal mold with 75x7x4 mm dimensions was used to produce rectangular flexural strength samples. Pellets were prepared with 3 mm diameters to measure density, water absorption and firing shrinkage. Then all samples sintered at 1050, 1100 and 1150 °C sintering temperatures.

Sintered density of samples were measured by using Archimed method.

3. Results and Discussion

In this study, technological properties of dry pressed KM20 and KM30 ceramic bodies were examined. Table 3 shows the (a) firing shrinkage (b) water absorption (c) density of KM20 and KM30 sintered at different sintering temperatures. Firing shrinkage increased with increasing sintering temperature and it decreased with increasing clay addition in Kastamonu mud due to lower density of clay. KM20 ceramic body at 1150°C sintering temperature showed the highest shrinkage value as 12.9%.

During uniform drying where the rate of surface evaporation is equal to the transport rate of water through the sample walls, shrinkage occurs. During solid state sintering, particles having a contact surface are fused by diffusional effects, decreasing further the amount of closed porosity causing further shrinkage (Erkmen, 2016).

Table 3: (a) Firing Shrinkage (%) (b) Water Absorption (%) (c) Density (g/cm³) KM20 and KM30 Sintered at Different Sintering Temperatures.

(a)

Sintering Temperature (°C)	KM20 (%)	KM30 (%)
1050	9,8	7,2
1100	10,6	8,9
1150	12,9	10,9

(b)

Sintering Temperature (°C)	KM20 (%)	KM30 (%)
1050	9,6	10,8
1100	7,0	8,3
1150	5,2	7,1

(c)

Sintering Temperature (°C)	KM20 (g/cm ³)	KM30 (g/cm ³)
1050	2,28	2,13
1100	2,48	2,30
1150	2,57	2,42

Water absorption values of samples decreased with increasing sintering temperature and it increased with increasing additive clay as expected. Also, porosity level decreased with increasing sintering temperature,. The lowest water absorption value was obtained as 5,2 vol. % with KM20 sintered at 1150°C.

Density values of KM20 and KM30 increased with increasing sintering temperature and it decreased with increasing clay addition. The best density value was obtained as 2,57 g/cm³ with KM20 ceramic body sintered at 1150°C.



(a)



(b)

Figure 1: Glazed Form of KM20 samples (a) containing black copper oxide (b) containing iron oxide.

As a result increasing sintering temperature porosity level and consequently water absorption decreased similar to Demirkol et. all's (Demirkol, 2016) study. In their study, they produced slip casted KM20 and KM30 as a new ceramic material. They obtained the best values of firing shrinkage, water absorption and density as 11.1%, 7.3% and 2.45 g/cm³ with slip casted KM20 ceramic sintered at 1150°C.

It is concluded that to produce Kastamonu mud ceramic containing 20 wt.% clay sintered at 1150°C by dry pressing method is given more good technological results than to produce it by slip casting method.

Glazed form of KM20 samples were produced. Two glaze recipes from literature (Tacyildiz, 2018) were prepared and applied onto the KM20 bodies sintered at 1150°C. Figure 1a is including black copper oxide and Figure 1b is including iron oxide as a color transmitter. Harmony of KM20 ceramic body and glaze is good. This KM20 ceramic mud is a good candidate for industrial and artistic applications.

Thanks to this study, it is aimed to mention the city of Kastamonu with ceramics.

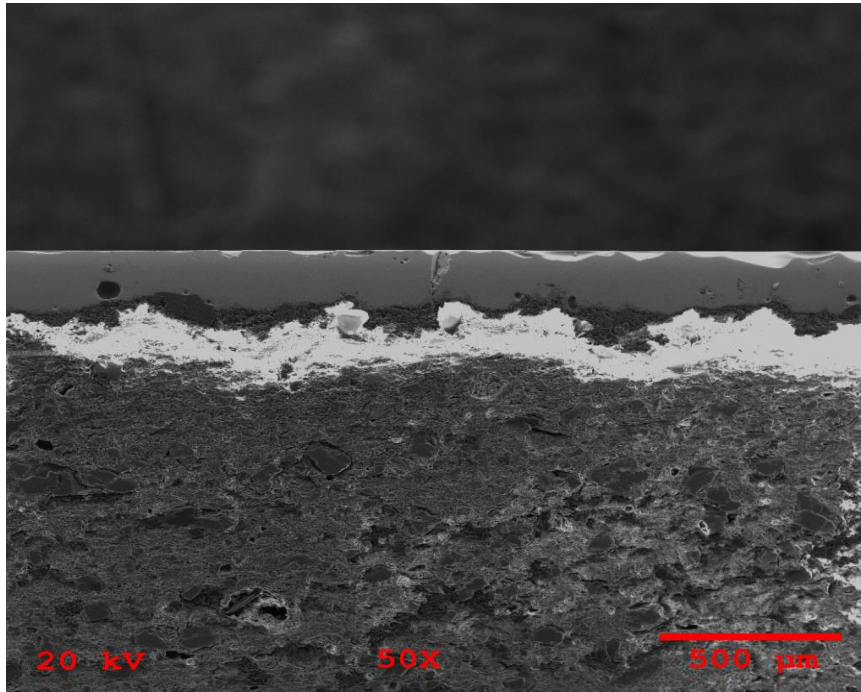


Figure 2: SEM photography of glazed KM20 ceramic sintered at 1150°C.

Figure 2 shows the SEM photography of glazed KM20 ceramic sintered at 1150°C. Glaze and ceramic body interaction is good and there isn't any crack at the glaze surface.

4. Conclusions

In this study, sintering and technological properties of dry pressed ceramic body containing Kastamonu mud and clay were investigated. The following conclusions were obtained.

Kastamonu mud (KM) containing 20 wt.% clay sintered at 1150°C showed better technological properties than Kastamonu mud (KM) containing 30wt.% clay sintered at 1150°C.

Firing shrinkage increased with increasing sintering temperature in two ceramic bodies. The highest shrinkage value was obtained as 12.9% with KM20 ceramic body sintered at 1150°C.

Water absorption values of Kastamonu mud ceramics containing different amount of clay decreased with increasing sintering temperature and it increased with increasing clay amount. The lowest water absorption value was obtained as 5,2 vol.% with KM20 sintered at 1150°C.

The best density value was obtained as 2,57 g/cm³ with KM20 ceramic body sintered at 1150°C.

According to literature dry pressed KM20 and KM30 ceramic bodies sintered at 1150°C showed higher technological properties than slip casted KM20 and KM30 ceramic bodies sintered at 1150°C.

Dry pressed KM20 ceramic body sintered at 1150°C is suitable for artistic glazes. Harmony and interaction between ceramic body and glaze is very good.

Dry pressed KM20 ceramic bodies sintered at 1050, 1100 and 1150°C are suitable for artistic application and artistic glazes.

Dry pressed KM20 ceramic body sintered at 1150°C is suitable for especially industrial applications.

References

- Atkin J.(2005). Pottery Basics. *Quarto Publishing Inc.USA*.
- Babisk M.P., Altoe T.P., Lopes H.J.O, Prado U.S., Gadioli M.C.B., Monterio S.N. and Vieira C.M.F. (2014). Properties of Clay Ceramic Incorporated with Red Mud. *Materials Science Forum*. Vol.798-799, 509-513.
- Bortzmeyer D. (2012). Chapter 4: Dry Pressing of Ceramic Powders, *Ceramic Processing*, 102-146.Doi: 10.1007/978-94-011-0531-6.
- Demirkol N., Yavuz P. and Yılmaz O., (2017). A New Ceramic Raw Material: Kastamonu Mud. *Journal of Turkish Ceramic Federation*:52, 114-119.
- Demirkol N. (2017). Shaping by Dry Pressing and Characterization of Kınık (Pazaryeri-Bilecik) Red Mud. *Proceeding Book of Second International Conference on Advances in Science: ICAS 2017, ISBN 978-605-9546-07-2, Istanbul, Turkey*.
- Donzel L., Mannes D., Hagemeister M., Lehmann E., Havind J., Kardjilov N., Grünzweig C. (2018). Space-Resolved Study of Binder Burnout Process in Dry Pressed ZnO Ceramics by Neutron Imaging. *Journal of the European Ceramic Society* : 38, 5448-5453. Doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2018.08.017.
- Tacyildiz E. (2018). Secret of Ceramic Glaze. *Izlenim Publication, ISBN:978-605-9452-21-2*.
- Villarejo L.P. Iglesias F.A.C., Martinez S.M., Artiaga R., Cosp J.P. (2012). Manufacturing New Ceramic Materials From Clay and Red Mud Derived From the Aluminium Industry. *Construction and Building Materials*, Vol.35, 656-665.



Car Parking Regulations Intended for Hybrid and Electric Vehicles

Ali Öz^{1*},

¹ Mehmet Akif Ersoy University, TBMYO, Department of Motor Vehicles and Transportation Technologies, Burdur, Turkey (ORCID: 0000-0002-0814-4020)

(First received 1 March 2019 and in final form 25 March 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.541828)

REFERENCE: Öz, A. (2019). Car Parking Regulations Intended for Hybrid and Electric Vehicles. *European Journal of Science and Technology*, (15), 505-510.

Abstract

While improvement works for internal combustion engines intended for decreasing exhaust gases which cause on-road vehicles based climate change are going on, the use of alternative fuel and alternative energy resources is on the increase. But there are certain criteria to negotiate for this kind of vehicles to be approved. These are the constraints such as; high initial investment cost for vehicles, limited fuel storage capacities and limited range. In addition to these, the problems such as safety and liability, high fuel filling costs, limited fuel/charging stations, infrastructure (network improvement) investments, developments in current trends mustn't be ignored. In addition to conventional petrol and diesel engines, hybrid and battery electric vehicle practices are becoming widespread in today's cars. Another issue is that cars are parked during 90-95% of the day and parking functions require a number of structural changes. In this context, charging units and safe parking conditions are required to be provided in the parking lots in order to perform the charging operations of battery electric vehicles (BEV), and especially plug-in hybrids (PHEV, ReEV, EREV and RXBEV). In this study, the safety and functional integrity of external plug-in hybrid and electric vehicles and charging units as well as parking lots will be examined.

Keywords: Hybrid vehicles, electric vehicles, car parking, charging unit

1. Introduction

While improvement works for internal combustion engines intended for decreasing exhaust gases which cause on-road vehicles based climate change are going on, the use of alternative fuel and alternative energy resources is on the increase. But there are certain criteria to negotiate for this kind of vehicles to be approved. The constraints such as; high initial investment cost for vehicles, limited fuel storage capacities, limited range, safety and liability, high fuel filling costs, limited fuel/charging stations, infrastructure (network improvement) investments, developments in current trends mustn't be ignored (Romm, 2006).

World's largest car market China, has announced its plan of zero emission recently. With this change of vision, the automotive world has started to shift towards a new tendency. In another respect, countries such as France, Germany, Norway, The UK and Canada have announced that they will introduce certain restrictions on the use of petrol and diesel cars in the near future (AA, 2018).

Today, there are about 1,3 billion vehicles in the world for a population of about 7,65 billion people. That means 169 cars per 1000 people² (Demir et al., 2017). Considering the 120-year history of the car, massive trend of hybrid and electric vehicles can be regarded new. Approximately 22-23 years³ ago, hybrid and electric vehicles began to appear massively on the highway. Today, we are in the days when cars with new generation electric motor, renewable energy, inter-vehicle communication (C2C or V2V) technologies are produced and autonomous driving cars are tested (Demir and Öz, 2018).

The global electric vehicle market has exceeded 2 million in 2016 after exceeding the 1 million limit in 2015. In 2016, more than 750,000 new generation vehicles were sold worldwide. It is estimated that about 3 million hybrid electric (HEV), plug-in hybrid (PHEV), battery electric (BEV) vehicles and hybrid buses (Ebus HEV) and battery electric buses (Ebus BEV) in 2017 can reach 27 million level by 2027 (ICA, 2017).

¹ **Corresponding Author:** Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, TBMYO, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, ORCID: 0000-0002-0814-4020, alioz@mehmetakif.edu.tr

² The statement of "There are approximately 1,250 billion vehicles around the world for a population of 7.5 billion. That means 166 cars per 1000 people." has been updated and included in the article.

³ The first hybrid car is the Toyota Prius. It was built in 1997 (Toyota, 2018). The first electric vehicle is the EV1 model of the GM. Its production started in 1996, sold by leasing and withdrew in 1999 (Edelstein, 2013).

Cars, without doubt, stay inactive at the same place for longer than people. Because cars spend 90-95% of the day, which is 22-23 hours (Litman, 2006; Yardim, 2009; Demir & Gümüş, 2011), at car parks. These approaches demonstrate the importance of regulated car parks, which are the home of vehicles. In order to charge electric vehicles in car parks, where the charging station is installed, a certain amount of time is required depending on both the battery technology used and the type of charging. Because charging times of the batteries are quite long with the current technology. Another issue is the electrical power drawn during charging. In the new future, there will be inevitable scenarios such as charging 100 cars in one car park at the same time (Demir, 2011). Besides, both long charging times of vehicles and high electrical power drawn during fast charges are the infrastructural issues to be improved. The charging time of the 10 kWh plug-in hybrids (PHEV) at 110 V/15 A can reach up to 8-10 hours but with fast charges at 110 V/50 A or 220 V/30 A it can take less than 2 hours (Mi & Masrur, 2018). As of 2018, battery electric vehicles (BEV) which can offer a range of 300 km, require around 20 minutes of charging and they are expected to take less than 15 minutes to be charged for a range of 400 km in 2020s (ING Economics Department, 2017). The power of the charging units is 50 kW in the 2015s; they will rise to 150 kW in the 2020s and to 250 kW in the 2025s (ABB Group, 2016). Fast charging networks over time will be based on the Combined Charging System (CCS) technology to DC charge up to 350 kW (IRENA, 2017). These values provide insight into the level of improvements to be implemented in the network. In addition, networks need to be configured with smart grid.

In this study, charging units and safe parking conditions to be deployed in the parking spaces for charging of plug-in hybrids (PHEV, ReEV, EREV and RXBEV) and battery electric vehicles (BEV); the safety and functional aspects of the trio of these vehicles, charging units and the car park will be addressed.

2. Plug-In Hybrid and Battery Electric Vehicles

In this section, plug-in hybrid and battery electric vehicles (PHEV and BEV) will be mentioned.

2.1. Hybrid Electric Vehicles (HEV)

According to the definition given by the technical committee of the International Electrotechnical Commission; hybrid electric vehicle (HEV) is defined as a vehicle in which energy is supplied from two or more energy sources and at least one of these energy sources provides electrical energy (Demir, 2011). Currently liquid or gas fossil fuels are used in HEVs. System efficiency is increased by the electric motor; fuel consumption is reduced by recovering the kinetic energy during braking by the recovery braking system and also it is possible to arrange the torque and speed of the internal combustion engine (ICE) under normal conditions during normal driving. ICE can tolerate the range disadvantages of battery electric vehicles by providing a long range to the vehicle (Mi & Masrur, 2018). HEVs are categorized as; series, parallel, series-parallel⁴ and complex according to power transmission configuration; micro, mild, full/strong, plug-in (PHEV) and extended range (EREV) hybrids according to the degree of hybridization (Table 1).

Table 1: Comparison of HEVs according to the degree of hybridization

	Micro Hybrid	Mild Hybrid			Full Hybrid	Plug-in Hybrid	Battery Electric
Electrical power (kW)	2-4	10-15	<21	15-21	25-60	40-110	60>
Voltage level (V)	12	48	48	<160	150-350	<360	<450
Only electric range - km	0	0			5-10	<50	200-480 ⁵
Estimated CO ₂ benefit %	5-6	7-12			15-20	>20	100

(Ref: Blessing, 2014; x-engineer.org, 2017; ING Economics Department, 2017; IRENA, 2017; Demir & Öz, 2018)

PHEVs⁶ can be driven by traction batteries in the vehicle and allow the range of the vehicle to be increased. The limited range problem, which is one of the main reasons why BEVs are not preferred, is solved by gasoline or diesel engines in PHEVs. For this reason, PHEVs are also referred to as extended range electric vehicles in some studies. Blended PHEVs have become more popular both due to reduced system cost - smaller electric motor, smaller battery pack and lower battery power ratios- as well as fuel economy optimized for different driving conditions. When compared to the extended range hybrid vehicles (hybrid with range extender – RXBEV, range extended electric vehicle – ReEV or EREV), blended PHEVs generally use parallel and complex configurations. In these configurations, both the ICE and the electric motor can drive the wheels directly (Mi & Masrur, 2018).

⁴ Hybrid electric vehicles are categorized as series, parallel and series-parallel according to power transmission configuration, and categorized as series, parallel and complex in some sources. Thus, in the literature, sometimes ‘complex’ or ‘combined’ expressions can be used instead of ‘serial-parallel’. An example of this is the Toyota Prius (Demir & Öz, 2018).

⁵ Today, the range of middle-class battery electric vehicles is about 200 km. This situation is expected to reach 350 km by 2030 (Clean Energy Ministerial, 2017). However, vehicles with higher range are available today. These vehicles are stated to have a range of ≥250 km (Hülshorst et al., 2017) and 200 - 300 km (ING Economics Department, 2017). It is also stated that the average battery storage energy in PHEVs will be 30 kWh and 60 kWh in BEVs in 2030 (IRENA, 2017).

⁶ Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) will be called “external rechargeable hybrid vehicle” in this study (Demir & Öz, 2018).

The battery used in the PHEVs has a higher capacity than the battery of the full hybrid vehicle. Since it is equipped with a more advanced battery, thermal management has a more complex monitoring system to control system loads and other parameters. In this type of vehicles, the task of the selected ICE is basically to charge the battery while driving, so it can be stated that the electric motor is the primary drive element. Compared to conventional vehicles with ICEs, these vehicles can provide 40-50% fuel economy (Sayın, 2011). Thanks to its large batteries, more braking energy can be recovered and provides flexibility for the engine to operate under optimal conditions. However, electric drive for all driving conditions sometimes does not benefit from the limited energy use of the battery. However, electric drive for all driving conditions sometimes does not benefit from the limited energy use of the battery (Mi & Masrur, 2018).

2.2. Battery Electric Vehicles (BEV)

In BEVs, the wheel is only driven by the electric motor. And the power supplied to the electric motor is provided by energy storage systems. Therefore, since no fuel is consumed in BEVs, no emission is released and these vehicles are called **“zero emission vehicles from battery to wheel”**. In particular, as renewable energy input increases in electrical energy production, environmentalism from the well to the battery is also improved. In addition, these vehicles have very low noise emissions as well as fuel and maintenance costs compared to ICEs. As there aren't many moving elements, they do not need to adjustment or oil change (Ünlü et al., 2003).

The BEVs are driven by at least one electric motor. Electric vehicles can be configured as front-wheel drive, rear-wheel drive or 4-wheel drive. Basically, it can be defined in two main concepts. It is possible to drive electric motors from the wheel hub and drive only one electric motor in the central power transmission (VW Academy, 2013). Electric motor, in the drive structure of the central electric motor, drives gearbox, axles (in some applications also cardan shafts) and wheels. Differential is used on each drive axle. In addition, reduction requirements in BEVs are provided by reduction gears.

An important factor that prevents the spread of BEVs is the vehicle performance. Batteries that drive vehicles are quite heavy and they limit the range of the vehicle. While conventional vehicles travel approximately 550-800 kilometers with a full tank, BEVs offer an average range of 150-250 km after charging. Another obstacle is the filling times of the tank. While the tank of the conventional vehicle can be filled in 1-2 minutes; BEVs require about half an hour for fast charging, 3-4 hours for medium-speed charging and about 5-12 hours for slow charge (Demir & Başeğmez, 2018).

3. Charging Units and Deployment Principles

Battery technology and charging infrastructure are the main determinants of the development of PHEV and BEVs. The charging process can be basically classified as slow, normal, fast and ultra-fast charging. Also, wireless charging has also been developing in recent years. Charging time of 10 kWh plug-in hybrids (PHEV) at 110 V/15 A can reach approximately 8-10 hours and this time can be shorter than 2 hours with fast charges at 110 V/50 A or 220 V/30 A (Mi & Masrur, 2018). As of 2018, battery electric vehicles (BEV), which can offer a range of 300 km, take around 20 minutes to be charged and they are expected to take less than 15 minutes to be charged for a range of 400 km in the 2020s (ING Economics Department, 2017). The power of the charging units is 50 kW in the 2015s; they will rise to 150 kW in the 2020s and to 250 kW in the 2025s (ABB Group, 2016). Fast charging networks over time will be based on the Combined Charging System (CCS) technology to DC charge up to 350 kW (IRENA, 2017). By using DC electricity, the vehicle charging times can be reduced to as low as 15 minutes. Table 2 shows the EVSE charge levels, Figure 1 shows the AC and DC charging units and Figure 2 shows the deployment of public charging stations.

Table 2: EVSE charge levels (Platte River, 2017)

EVSE Type	Power Requirement	Panel Service	Approx. Equipment Cost
Level 1	1.8 kW	15-20 Amp	\$250 +
Level 2	6.6 kW	30-80 Amp	\$500-2000* +
DCFC	50+ kW	120+ Amp	\$6,500+



Figure 1. AC and DC charging units (Kintner, 2013)



Figure 2. Public charging stations (Kintner, 2013)

4. Car Parking Regulations Intended for PHEVs and BEVs

Basically the future of PHEV and BEV market will be determined by satisfactory solutions to the issues such as; battery technologies and replacements, chargers (charging current: AC and DC applications with slow, medium, fast and ultra-fast charging),

parking/installation locations where the device will be deployed, intelligent network management and electricity supply, pricing of charging services, incentive legislation to ensure healthy conduct of all these procedures (Demir, 2011-a; Gurbetci et al., 2014). The long charging times of PHEVs and BEVs have also brought about the application of battery exchange. Some manufacturers try to overcome this problem with “quick drop” battery exchange stations (Doğu, 2011).

One of the most important issues affecting the future of PHEVs and BEVs is undoubtedly bringing the qualifications of paid or free car parks to a level that meet the needs of these vehicles.. For this;

- Dedicated spaces,
- Choosing a suitable area with minimum pedestrian traffic,
- Choosing slow, medium and fast charging units based on the location and condition of the car park (centrality, suitability for multiple-use, mobility, income level) and proximity to transfer points,
- Making necessary arrangements for disabled drivers to use these units⁷,
- Horizontal and vertical markings,
- Protection of charging units from rain, flood and natural disasters,
- Providing valet service,
- Illumination of the area where the unit is placed,
- Banquettes to protect the unit,
- Providing the shortest working distance,
- Taking ergonomic and easy to use measures,
- Measures against cold and freeze in surface parking,
- Taking necessary measures against the threat of vandalism,
- Providing ventilation requirements when necessary,
- Matters and services such as provision of reasonable limits and appropriate pricing options must be provided for the pricing of charging and the car park that will be used during charging.

Also;

- Transfer of information such as charging units and usage status to traffic density map and geographic information systems,
- Calculation of effective utilization rates of charging units,
- Determining the maintenance costs of charging unit and equipment,
- Subjects such as gathering information for insurance work against faults and failures will also play a key role in the efficient use of the charger (Gurbetci et al., 2014).

Costs arising from air pollution are on the increase. When the cost of health expenses, losses due to deaths, building damages, expenses for nature and biosphere, cost of pollution caused by noise pollution, cost of damage caused by noise, cost of measures taken to reduce the risk of climate change, cost of damages caused by increasing temperature and energy taxes , annual taxes on established infrastructure facilities (Aybar, 2010) are considered, vehicles such as PHEV and BEV seem to be the mandatory choice of our world.

5. Conclusions

Day by day, costs arising from air pollution are on the increase. When the cost of health expenses, losses due to deaths, building damages, expenses for nature and biosphere, cost of pollution caused by noise pollution, cost of damage caused by noise, cost of measures taken to reduce the risk of climate change, cost of damages caused by increasing temperature and energy taxes , annual taxes on established infrastructure facilities are considered, vehicles such as PHEV and BEV are the mandatory choice of our world. In order for the business model of these vehicles to be profitable, it is necessary to build an infrastructure for these vehicles, such as charging, car park, network, pricing; and correspondingly, both providing necessary commercial facility and applicable legal regulations will be encouraging.

Abbreviations

BEV	Battery Electric Vehicle
C2C	Car to Car Communication
HEV	Hybrid Electric Vehicle
ICA	International Copper Association
ICE	Internal Combustion Engine
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
ReEV/EREV	Range Extended Electric Vehicle – Extended Range Electric Vehicle
RXBEV	Hybrid with Range Extender
V2V	Vehicle to Vehicle Communication

⁷ Access to charging stations and connection equipment must be considered to enable disabled drivers to charge their electric vehicles. For this purpose, the electric vehicle attachment equipment should not be positioned higher than 120 cm and lower than 60 cm from the parking surface (Anonymous, 2009).

References

- AA, Turkey's domestic car will respond to all digital trends, <https://aa.com.tr/tr/turkiye/turkiyenin-yerli-otomobili-butun-dijital-trendlere-cevap-verecek/1115198?amp=1>, 2018.
- ABB Group Presentation, 2016.
- Anonymous, (2009-a). Electric Vehicle Charging Infrastructure Deployment Guidelines”, http://www.afdc.energy.gov/afdc/vehicles/electric_research.html; British Columbia, Version 1.0, July 2009.
- Aybar, I., Production of zero-emission cars in Turkey presentation, Oyak-Renault, 12 April 2010.
- Blessing, U., 48V: How much hybridization is possible with the new vehicle power?, GETRAG, 14th International VDI Congress, Drivetrain for Vehicles, Friedrichshafen June 2014.
- Clean Energy Ministerial - International Energy Agency, Global EV Outlook 2017: Two Million and Counting, 2017.
- Demir, A. & Basegmez, B., 2018. Power Train, Seçkin Publishing, At the printing stage, 2018.
- Demir, A. & Gümüş, M., Investigation of the effect of roadside park strategy on traffic density and exhaust emissions, International Symposium on Parking Policies and Practices, Presentation Book, May 25, 2011.
- Demir, A. & Öz, A., “Turkey’s car” in the context of automotive trends, Editor: Ali Öz, Current Approaches in Technical Sciences, Research-Review, Hiperyayın: 237, ISBN: 978-605-281-050-7, Istanbul, 2018.
- Demir, A., Association of electric vehicles together with car parks, 2nd Public Transportation Week - Transist 2011 - 4th Transportation Symposium and Exhibition, 01-02 December 2011.
- Demir, A., Öz, A. & Gümüş, M., Evaluation of domestic brand cars and car production process in Turkey, 2017.
- Dogu, S., Lithium and electric vehicle practices in battery systems, Yıldız Technical University, 4 April 2011.
- Edelstein, S., 2013. “How Does GM’s Fabled EV1 Stack Up Against The Current Crop of Electrics?”, <https://www.digitaltrends.com>, Date of Access: 02/02/2018.
- Gurbetci, K., Demir, A. & Karaahmet, A., Technology, Environment and Safety Factors in Parking Practices, ISBN: 978-605-5961-38-1, Ilke Publishing, 2014.
- Hülshorst, T., Ogrzewalla, J. and Bollig, C., 2017. Trends in electrification (MHEV - HEV - PHEV – BEV), Transmission.tech 2017.
- ING Economics Department, Breakthrough of electric vehicle threatens European car industry, July 2017
- IRENA, 2017, Electric vehicles - technology brief, ISBN web: ISBN 978-92-95111-00-4, February 2017
- Kintner, M., Electric vehicle: Three good reasons why you want to consider buying one, Community Science & Technology Lecture Series March, 2013.
- Litman, T., “Parking Management Best Practices, American Planning Association”, Victoria Transport Policy Institute, 2006.
- Mi, C. and Masrur, M.A., Hybrid Electric Vehicles: Principles and Applications with Practical Perspectives, Second Edition, John Wiley & Sons, 2018.
- River, P., Workplace charging: A how-to guide, 2017
- Romm, J., The car and fuel of the future, 2006.
- Sayin, A., Modeling and simulation of lithium-ion batteries used in electric vehicles, 2011.
- Toyota, Pruis, <https://www.toyota.com.tr/new-cars/prius/index.json>; Date of Access: 19.04.2018.
- Ünlü, N. et al., Electric Vehicles, TÜBİTAK MAM, 2018.
- VW Academy, 2013. Basics of Electric Vehicles Design and Function, Volkswagen Academy.
- x-engineer.org, 2017, <https://x-engineer.org/automotive-engineering/vehicle/hybrid/mild-hybrid-electric-vehicle-mhev-introduction/>, Date of Access: 30.12.2017.
- Yardim, S., Regional parking management, 1st Urban Transport Parking Policies and Practices Conference, 2009.



Katı Yakıtlı Roket ALP-01 Tasarımı, Modellemesi ve Simülasyonu

Hasan Huseyin Bilgic¹, Sezer Coban^{2*}, Ahmet Yapıcı³

^{1,3} Iskenderun Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Iskenderun/Hatay

^{2*} Iskenderun Technical University, School of Civil Aviation, Iskenderun/Hatay (ORCID: 0000-0001-6750-5001)

(First received 2 March 2019 and in final form 25 March 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.540884)

REFERENCE: Bilgic, H. H., Coban, S. & Yapıcı, A. (2019). Designing, Modeling and Simulation of Solid Fuel Rocket ALP-01. *European Journal of Science and Technology*, (15), 511-518.

Öz

Bu çalışmada katı yakıtlı alçak irtifa roketi ALP-01'in CAD tasarımı yapılmıştır. 1500 metre irtifa için roket boyutları; seçilen motor için optimize edilmiştir. Burun konisi geometrisi olarak Parabolik tip tercih edilmiş ve uzunluğu 35cm olarak hesaplanmıştır. Burun konisi ve shoulder kısmı için 3D yazıcıda kalıp hazırlanıp cam elyaf malzeme ile elle yatırma yöntemiyle bu kısımlar üretilecektir. Roketimizde iki farklı kurtarma mekanizması kullanılmıştır. Burun konisi, faydalı yük, faydalı yükün paraşütü ve roketin birinci paraşütünün roketten ayrılması için CO₂ tüp ile fırlatma mekanizması tasarlanmıştır. Faydalı yükün üzerinde telemetri sistemi olan bir uçuş bilgisayarı bulunmaktadır. Bu bilgisayar yer istasyonuna konum, yükseklik, sıcaklık, nem bilgilerini anlık olarak iletmektedir. Roketimizin birbirinden ayrı iniş yapan bütün parçalarında GPS ve telemetri sistemi bulunmaktadır. Gövde üretimi için İskenderun Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü mekanik laboratuvarı kompozit atölyesinde vakum infüzyon yöntemi ile silindirik kesite sahip kompozit parça üretim denemesi yapılmıştır. Kanatçık geometrisi olarak Openrocket simülasyonları sonucunda delta tipi kanatçık uygun görülmüştür. Ayrıca tasarımı yapıp üretilmesi planlanan ALP-01 katı yakıtlı roket ile Teknofest 2019 roket yarışmasına katılınması planlanmaktadır. Çalışma aşamalarında, ikisi statik test olmak üzere dört kez katı yakıtlı roket motoru denemesi yapılmıştır. Denemelerde kullanılan yakıt karışımı (KNO₃ Sükroz/Dekstroz) Makine Mühendisliği bölümü mekanik laboratuvarı kompozit atölyesinde bulunan hassas terazi, ayarlı ocak, hidrolik pres vb. ekipmanlar kullanılarak hazırlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Katı Yakıtlı Roket, Tasarım, Modelleme

Designing, Modeling and Simulation of Solid Fuel Rocket ALP-01

Abstract

In this study the design of solid-fuel low-altitude rocket ALP-01 CAD has been optimized for the selected engine of rocket sizes for an altitude of 1500 meters. Parabolic type was preferred as the cone geometry. The length is calculated as 35cm. 3D printer for nose cone and shoulder section will be prepared by hand and made from glass fiber by hand method. Two different rescue mechanisms have been used in our rocket. CO₂ tube discharge mechanism was used for the removal of the nose cone, payload, payload parachute and the first parachute from the rocket. Payload has a flight computer with a telemetry system. This computer instantly transmits location, altitude, temperature and humidity information to the ground station. There are GPS and telemetry systems in all parts of our rocket. The production of composite parts with cylindrical cross-section was performed and positive results were obtained in the composite workshop of the Mechanical Engineering Laboratory of Iskenderun Technical University. As a result of Openrocket simulations as a wing geometry, delta-type flaps were considered suitable. Furthermore, it is planned to participate in Teknofest 2019 rocket competition with ALP-01 solid fuel rocket which is planned to be designed and produced. Four times solid-fuel rocket engine trials, two of which were static tests, were conducted in the study stages. The fuel mixture used in the experiments (KNO₃Sukroz / Dextrose) is located in the Mechanical Engineering Laboratory of Iskenderun Technical University.

Keywords: Solid Fuel Rocket, Design, Modeling

² Iskenderun Technical University, School of Civil Aviation, Iskenderun/Hatay, ORCID: 0000-0001-6750-5001, sezer.coban@iste.edu.tr

1. Introduction

Solid propellant rocket engines are produced more easily and with lower cost than liquid and hybrid fuel systems; are reliable engines used in different military systems and launching systems. It is very important to make this technology used more efficient and more efficient. Research in this field can be examined under two main disciplines, namely internal ballistic performance and structural strength. Research on internal ballistics performance discipline, backward analysis, internal ballistic performance, focused on solvent development and optimization. Ricciardi has generated a code that performs the backflow analysis of fuels of various configurations with a star-shaped cross section and has provided the necessary input to internal ballistic performance analysis using this code [1]. Nisar and Guozhu conducted an optimization study for wagon wheel and roller - fin geometries [2,3]. Structural strength studies can be grouped as finite element analysis and structural strength analysis, service life determination and material model development. Heller conducted extensive research on the rocket engine shelf life [4,5]. Yıldırım and Özüpek carried out a structural analysis of a solid propellant rocket engine using the finite element method and examined the effects of aging on fuel in the analysis results [6]. As a result of the literature research, no studies have been found that optimize the disciplines of internal ballistic performance and structural strength.

The first ancestors of modern rockets are planes. The leader in this period was Orville Wright, with the support of General Motor company and Sperry Gyroscope, the first aircraft to make it. These names are the first people to use rocket. These first trials were used in wars. However, in the short term, it was understood that radio controlled aircraft may be necessary for the war. Due to the economic crisis experienced by the world in the 1930s, all of these projects took their place in the dusty shelves. In 1935, two siblings, called Good, performed the first aircraft that could be steered by radio waves. These planes were first used by the American army. In 1941, when the United States joined the Second World War, General Arnold made his first flight in a serious sense of war.

According to Goddard's studies, supersonic speed was not possible with solid fuel rockets. Goddard was the first to use the propeller blades to allow the rocket to fly into orbit at the beginning of its flight. It was Goddard who developed the mathematical theories of basic designs for long-range rockets. Thus, as a result of the Second World War, the first guided missiles developed with rocket engines began to be used. The American Rocket Organization started to develop its first rockets with the establishment of the organization in the 1930s. The first rocket engine was designed by the German Rocket Institution in 1931 by the Germans.

Some forces such as resistance, gravity, friction directly affect the aerodynamic structure of the missile. There are 4 forces acting in general. The other is the force applied by the body against the air, the other is the force of gravity and the force applied by the body against gravity. While the rocket or missile is moving on the surface, some of the air particles are projected back into the surface or vortex behind the surface (Figure 1). The vortices are closely related to the smoothness of the surface and to its sharpness and size. The density of the air, the angle of impact to the surface and the velocity of the flow directly affect the size of the vortex.

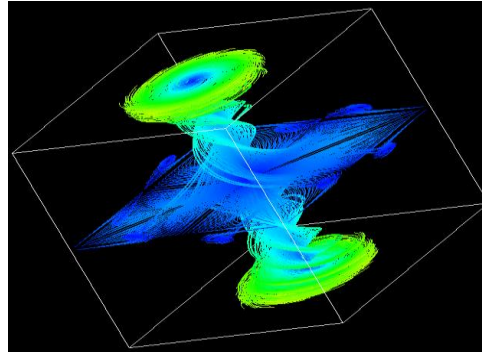


Figure 1. Vortex

In order to perform any dynamic modeling of any aircraft or any UAV, the equations of the aircraft body must first be obtained. These equations can be classified into three groups. These equations are the force equations of the body, the moment equations and kinematic equations. Newton's second law was used in the literature to extract the force equations. Equation (1) provides this law:

$${}^I \vec{F} = M_a \frac{d\vec{V}_{cg}}{dt} = M_a \left[\frac{\partial \vec{V}_{cg}}{\partial t} + \vec{\omega} \otimes \vec{V}_{cg} \right] \quad (1)$$

The major forces are pressure gradient force, gravity and friction. The fixed axis in space is called the inertia axis set or Newtonian axis assembly, and Newton's second law of motion can be applied according to this fixed axis set.

In this study a solid fuel rocket designed and optimized dimensions according to range. It's also designed critical parts nose cone, rocket wing, composite body. And then L585 propulsion engine has been selected for designed rocket. The simulation results are presented in graphs.

2. Material and Method

2.1. Nose Cone and In-Body Structural Supports

Parabolic type has been preferred as the cone geometry. The length is calculated as 35cm. 3D printer for nose cone and shoulder section will be prepared by hand and made from glass fiber by hand method. The idea of pressing the nose cone from the 3D printer with ABS filament is also on our agenda, but the nose cone is aerodynamically the most exposed to air pressure and friction in a rocket (Figure 2)

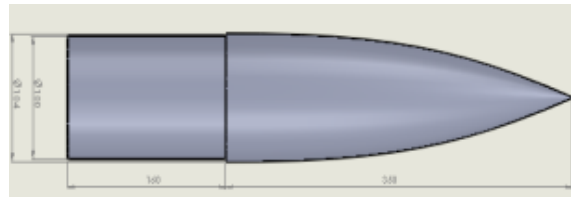


Figure 2. Nose Cone

It has been chosen to use a lightweight rocket body since chosen a motor with a lower thrust value than the other engines in the catalog and will give us flexibility in terms of the parts we will use in the sub-systems. Since the body will be able to maintain its structural integrity during flight and rescue, carbon fiber body will be produced due to the fact that our group wants to gain experience in the production of composite materials.

Aluminum and PVC pipe options are also taken into consideration as the body structure. It is thought that the body with the features which is expected will be relatively heavy and unstable compared to the composite body and it has been removed from the options. In the composite workshop of the Mechanical Engineering Laboratory of Iskenderun Technical University, the production of composite parts with cylindrical cross-section was performed and positive results were obtained. Motor centering rings will be produced from plywood material with laser cut machine. Plywood parts will be improved by using vacuum infusion method. The inner tube part will be made of fiberglass pipe. The integration bodies will be made of fiberglass pipe. The tensile, compression and vibration tests required for the materials to be used will be carried out in the mechanical workshop of Iskenderun Technical University (Figure 2).

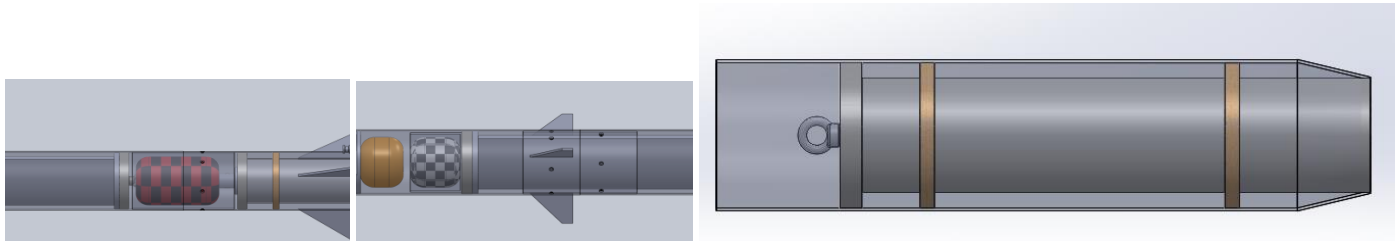


Figure 3. In-Body Structural Supports and Engine Mounting

The general design of the Open Rocket is shown in Figure 3.

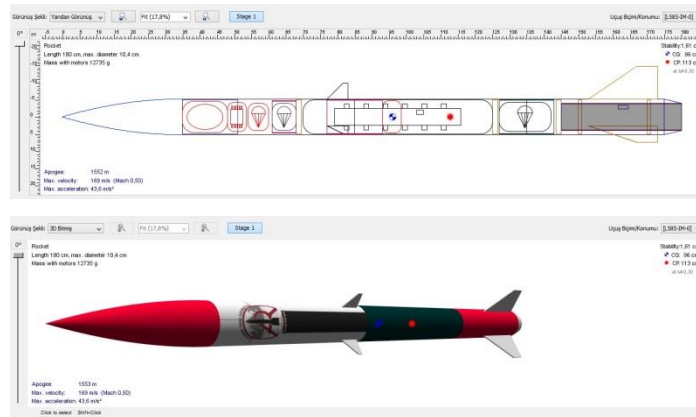


Figure 4. General Design Of The Open Rocket

2.2. Rescue System

There is a two-stage rescue system in ALP-01. When the rocket body is at its peak, it will open its small parachute and drop at 21.3 m/s. 500 m from the ground will open the second parachute and complete the landing at 8.64 m/s. The reliability of our system will be checked by many tests. There are GPS and telemetry systems in all parts of ALP-01. In this way, location and flight information at all stages of flight information can be informed simultaneously (Figure 5).

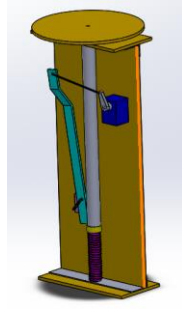


Figure 5. Rescue System

2.3. Avionics System

The dual-deployed flight computer easymini v2.0 model of the Altusmetrum brand, which was triggered by a barometric pressure sensor as a backup computer that performed the same functions in ALP-01, was preferred (Figure 6). The avionics control diagram is also shown in figure 6.

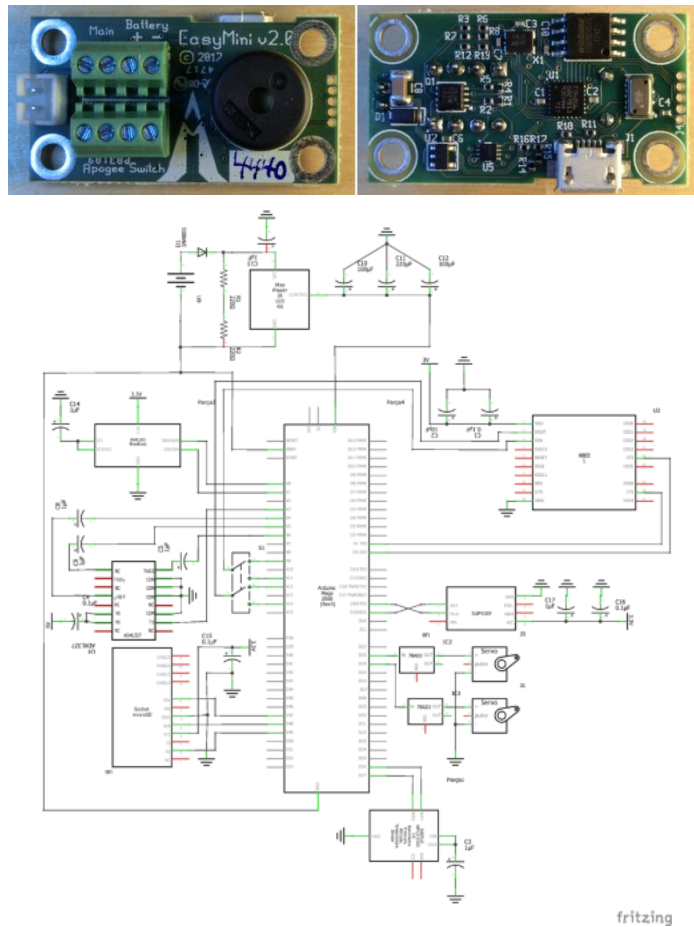


Figure 6. Avionics System

The main body of the rocket will consist of three parts. The integration body shall be fixed to the body where the motor is located by 6 M3 countersunk head screws and shall be connected to the middle body by tightening. Since the rocket is likely to rotate during flight, there are two release pins on the body to prevent separation of the bodies. In the separation of the main parachute these pins will be broken. The front body to which the middle body and the nose cone are attached will be fixed with the integration body mounted on the flight computer. There will not be any separation here. On the large flap, there is a bed for attaching the fins to the motor centering rings. When these bearings are used to fix large fins, small fins will be glued to the body with epoxy resin. The rocket body will be produced in three parts for easy production. The two fixed parts of the body will also be fixed together with the integration body which is the body of the flight computer. In this way, it is planned to facilitate the assembly processes during and after transportation as well as ease of production.

The nose cone and body parachute will be opened when the rocket reaches the maximum altitude after the launch. The nose cone and the associated payload will descend with a certain drift depending on the wind speed. The useful load will be tracked instantly with the included GPS module. Our avionics system will be able to track the data in the interface that we have created in the computer and the data will be kept as well as the height pressure position speed (Figure 7).

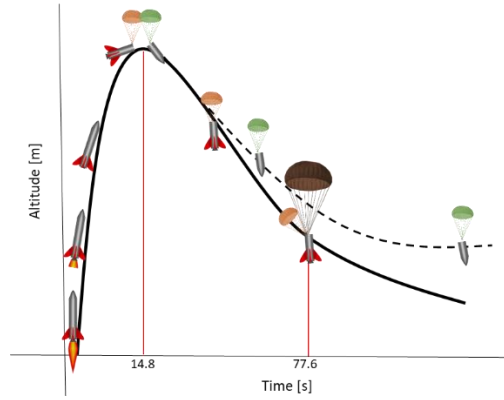


Figure 7. Operation Concept

The design of the fins to be used is given in the Figure 8. As a result of openrocket simulations as a wing geometry, delta-type flaps were considered suitable. On the large flap, there is a bed for attaching the fins to the motor centering rings. Small fins will be glued to the body with epoxy resin.

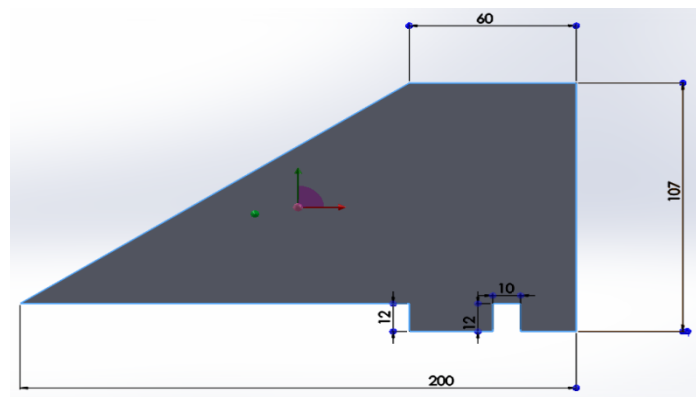


Figure 8. Rocket Wing

In the continuation of solid fuel tests, a mechanical parachute launching mechanism was designed and the tests were completed successfully. A pressure recovery mechanism has been made for the rescue mechanism and the parachute ejection process has been completed at the end of solid fuel.

In the Mechanical Engineering Laboratory of Iskenderun Technical University, composite body pipe manufacturing with cylindrical cross-section with vacuum infusion method has been made and positive results have been obtained. As shown in Figure 9, a cylindrical composite body experiment was carried out using glass fiber.

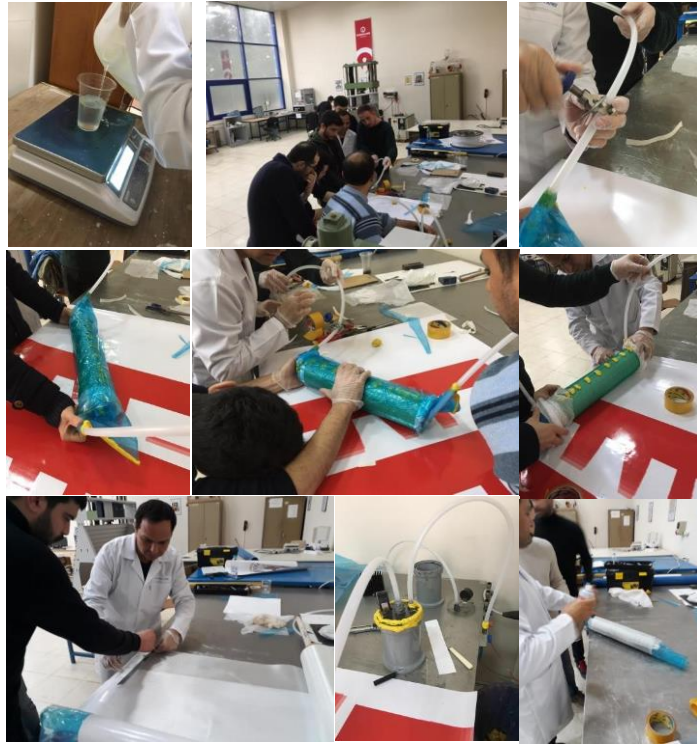


Figure 9. Manufacturing of Composite Body Pipe with Cylindrical Cross Section

3. Results and Discussion

The thrust time graphs of the selected engines are given in the appendix. Since both motors have the same diameter and length, the two engines will be placed in the rocket with the same strategy.

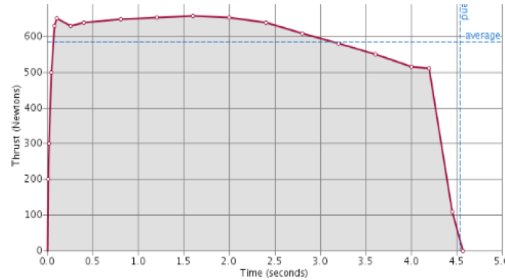


Figure 10. Thrust-time graph for L585

Since the payload and nose cone should have a descent rate of max 9 m/s, a 125 cm diameter parachute will be used. The rate of decrease calculated in this way is 8.81 m/s. The maximum drift distance for the 10 m/s wind speed is 1700 m. Xbee modules to be used in the parts of the shooting distance of 3.2 km, the location will be calculated instantly over the GPS and the location will be calculated. The weight of the empty body, which is finished after the separation of the nose cone, is 6150 grams. The diameter of the first parachute was 65 cm. The calculated descent speed is 21 m/s. The diameter of the large parachute which will be opened 500 m to the ground is 150 cm. In this way, the downward velocity of the descent and body is 8.4 m/s. According to our calculations, the body will drop approximately 650 meters behind the shooting area (Figure 11).

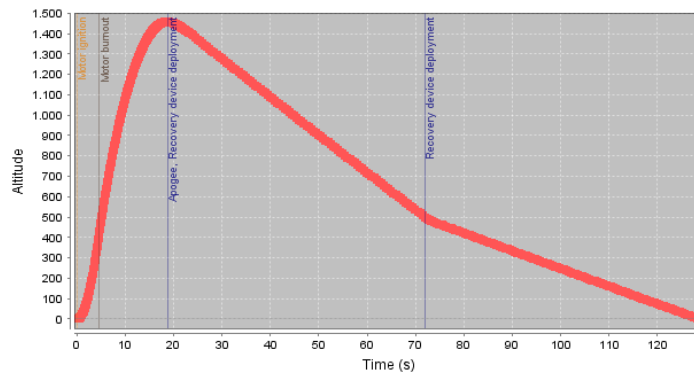


Figure 11. Altitude of Simulation Results of ALP-01

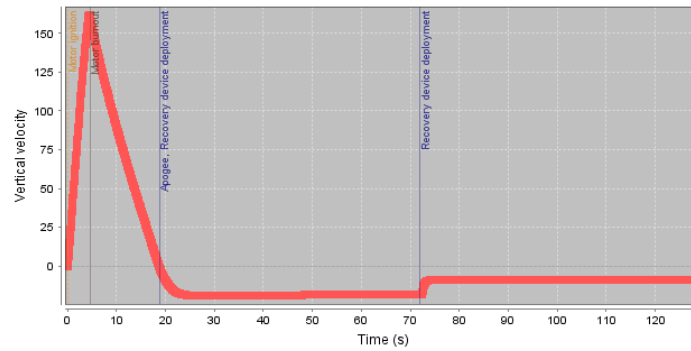


Figure 12. Vertical Velocity of Simulation Results of ALP-01

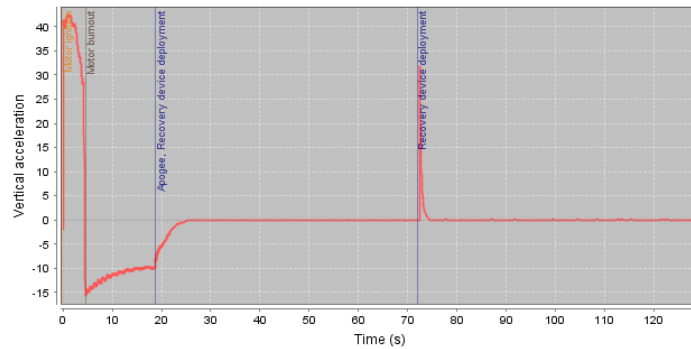


Figure 13. Vertical Acceleration of Simulation Results of ALP-01

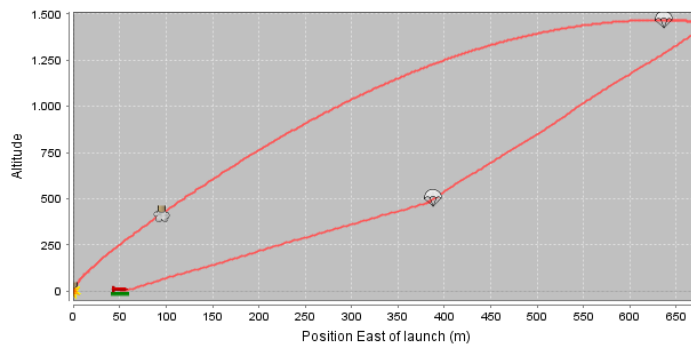


Figure 14. Position of East Launch of Simulation Results of ALP-01

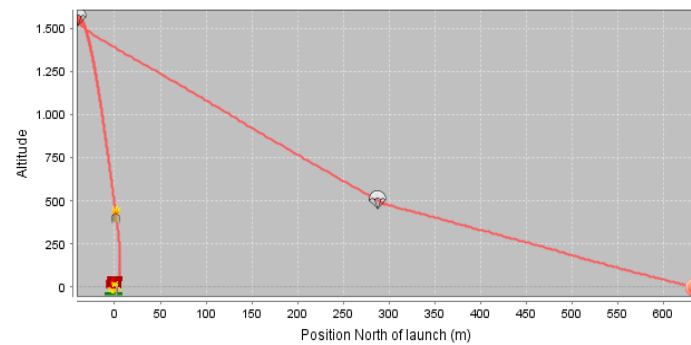


Figure 15. Position of North Launch of Simulation Results of ALP-01

As a result of the successful results achieved in the continuation of the studies, the idea of joining this competition occurred. Four times solid-fuel rocket engine trials, two of which were static tests, were conducted in the study stages. The fuel mixture used in the experiments (KNO_3 Sukroz/Dextrose) is located in the Mechanical Engineering Laboratory of Iskenderun Technical University in Figure 16.

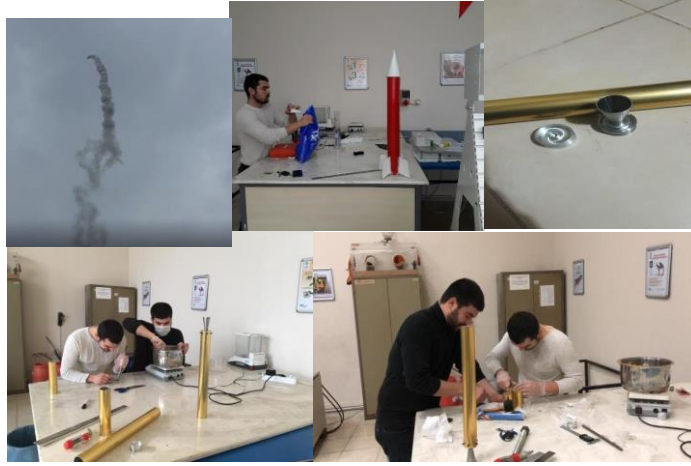


Figure 16. Manufacturing and Testing

4. Conclusions and Advice

The study was designed in a SolidWorks environment for ALP-01, a solid propellant rocket. The trust time graph of the L585 type solid fuel engine was taken into account when designing. Then the rocket sizes for the 1500m altitude were optimized in the Open rocket program. The body is planned to be made of carbon reinforced composite material for selection of smaller capacity motor. For this purpose, glass fiber reinforced composite pipe body has been manufactured and the feasibility of the composite body has been verified. A unique avionics system was designed for the system and a commercial flight computer was included in the system to measure its success. The rescue system is designed by selecting the GPS module for each of the separated parts of the rocket. In the continuation of the study, the entire system will be manufactured and mechanical tests of the body will be made. Then, the flight information of the rocket is planned to be tracked with an interface to be prepared on the computer. Then the whole system will be launched.

References

- [1] Lee, R. G., (1998), Guided Weapons, Third Edition, Brassey's, London,
- [2] Nielsen, J.N., (1979) "Missile Aerodynamics – Past, Present, Future," AIAA Paper 79-1818.
- [3] McMahon, P. (1991) Aircraft Proulsion , School of engineering Bath University of Technology.
- [4] Briggs, M.M., Systematic Tactical Missile Design, Tactical Missile Aerodynamics: General Topics, "AIAA Vol. 141 Progress in Astronautics and Aeronautics," American Institute of Aeronautics, Reston, VA, 1992.
- [5] Nielsen, J.N., (1960) Missile Aerodynamics, McGraw-Hill Book Company, New York, N.
- [6] Department of Defence USA, Military Handbook(1990) "Desing of Aerodynamically Stabilized Unguided Missiles."



Effect of Various Knife Type, Cutting Angle and Speed on Cutting Force and Energy of Grape Cane

Ahmet Konuralp Eliçin^{1*}, Abdullah Sessiz², Fatih Göksel Pekitkan³

¹ Dicle University, Faculty of Agriculture, Dept. of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Diyarbakir, Turkey (ORCID: 0000-0003-3240-4547)

² Dicle University, Faculty of Agriculture, Dept. of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Diyarbakir, Turkey (ORCID: 0000-0002-3883-0793)

³ Dicle University, Faculty of Agriculture, Dept. of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Diyarbakir, Turkey (ORCID: 0000-0002-7791-7963)

(İlk Geliş Tarihi 26 Şubat 2019 ve Kabul Tarihi 25 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.532914)

REFERENCE: Eliçin, A.K., Sessiz, A. & Pekitkan, F.G. (2019). Effect of Various Knife Type, Cutting Angle and Speed on Cutting Force and Energy of Grape Cane. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 519-525.

Abstract

In this study, some cutting and energy properties of canes of local grapes varieties Okuzgozu (*Vitis vinifera* L. cv.) were determined depend on knife type, cutting angle and cutting speed during the spring pruning in 2018. The canes of grapes were obtained from a commercial farm in the Diyarbakir province. Cutting properties were measured by a material testing machine. According to test results, the significant differences were found between the knives types at 1 % probability level. The best results were determined at the flat knife type, followed by serrated 2 and serrated 1, respectively. While the lowest cutting force and cutting strength values were obtained at flat type (knife edge flat) as 234.50 N, 8.299 MPa, 1.783 J and 0.06307 J mm⁻² respectively, the highest values cutting forces, cutting strength, cutting energy and specific cutting energy were obtained at serrated type 1 (knife edge thin) knife as 303.8 N, 10.75 MPa, 2.136 J and 0.075610 J mm⁻² respectively. The cutting force and energy values decreased with increasing knife-cutting angle from 0° to 40°. The maximum cutting force, cutting strength, cutting energy and specific cutting energy were observed at 0° cutting angle as 319.3 N, 11.30 MPa, 2.393 J and 0.08464 J mm⁻² respectively. The effect of the knife loading speed on the cutting forces, cutting strength, cutting energy and specific cutting energy were found significant statistically (p<0.01). The lowest cutting force, cutting strength, cutting energy and specific cutting energy were obtained at the 1 m s⁻¹ as 246.1 N, 8.705 MPa, 1.273 J and 0.04502 J mm⁻¹, respectively.

Keywords: Grape cane, Cutting force, Cutting energy, Pruning.

* Corresponding author: Dicle University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Diyarbakir, Turkey, ORCID: 0000-0003-3240-4547, akelicin@gmail.com

1. Introduction

Pruning and harvesting operations are the most critical stages in the management of the vineyards. Even though grape has always been a valuable and important product for human diet and economy in Turkey, pruning and harvesting processes in vineyards are still mainly performed by by worker with scissors in viticulture. Also, the same scissors are used for all types of vine. We know that the cane cutting characteristics of each variety is different each other. Therefore, the mouth of the used scissors and the cutting angle are important to determine for reducing the energy requirement. Usually, flat-mouthed scissors are used and this method of conventional pruning process is difficult and tiring. Therefore, production costs and crop losses are very high, power requirements are high and labor efficiency is low. Moreover, Labor requirement, time-consumption and production costs can be decreased by utilizing a mechanical pruner and grape harvester (Morris, 2000; Sessiz et al. 2015).

For the design and manufacture of a new pruning shears and machines, it is necessary to know the require force and energy values of grape canes. The cutting properties and energy requirement depend on the species, variety, diameter, maturity, moisture content, cellular structure and the type of cutting blade used (Persson, 1987; Ammer Eissa et al. 2008; Taghijarah et al. 2011; Nowakowski, 2016). Knife edge angle, knife approach angle, shear angle, and knife rake angle are the most important knife angles that can directly influence the cutting force and energy (Ghahraei et al., 2011).

Until now, many studies have been conducted on the mechanical and physical properties of agricultural products and biological materials such as fruits, grains and seeds. However, it was observed that the results of published studies were not related directly with the cutting properties of grape internodes of canes and their relations (Ozdemir et al., 2017a; Esgici et al., 2017). Romano et al. (2010) determined the cutting force for certain vine branches such as Cabernet Sauvignon and Chardonnay at different regions in Italy. Sessiz et al. (2015) determined the cutting properties for some grape varieties in Turkey. Some physical properties of the Rasa grape were determined by Khodaei and Akhijahani (2012). Cutting properties of some wine grape cultivars were determined by Ozdemir et al. (2015). Similar results were reported by Yore et al. (2002) for rice straw, by Kronsberg et al. (2011) for hemp stalk, by Alizadeh et al. (2011) for rice stem, by Ghahraei et al. (2011) for kenaf stems, by Sessiz et al. (2013) for olive sucker, by Ozdemir et al. (2015) for grape sucker, by Sessiz et al. (2015) for cane of some different grape variety, by Pekitkan et al. (2018) for cotton stalk.

The objectives of this study were to determine the effect of the knife type, knife edge angles and cutting speed on cane cutting force, cutting strength and energy requirement for local Okuzgozu grape variety.

2. Materials and Methods

This study was carried out using Okuzgozu local grape variety canes (Figure 1). The test materilas were obtained from a commercial vineyard at the Diyarbakir province located in south-eastern part of Turkey. The cut and collected grapevine canes from vineyard (Figure 1) were transported to the laboratory at the Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, University of Dicle which were preserved in a refrigerator at 5°C until the time of the cutting tests. The experiment tests were performed during grape pruning season in 2018 year.



Figure 1. Okuzgozu local grapes variety canes.

The canes with an average diameter of 6 mm were used as test material. The ranges of internode diameter of the canes (mm) were converted to cross-section area in 28.26 mm² for Okuzgozu grape variety. The cane diameters were measured before the test using a caliper. The initial moisture content of canes was determined according to ASABE standard (ASABE Standarts, 2008) by way of oven-drying 50 g of each sample at 105°C for 24 h. The moisture content was determined as 37.80 % w.b.

An Universal Testing Machine was used to measure cutting force and energy requiremnt of canes (Figure 2). The cane samples were placed on the machine loading table in a flat position during the tests. Loading was applied vertical direction. Cutting experiments were carried out with three various knife types (Figure 2), two of them are serrated type (Serrated 1 (knife-edge thick), Serrated 2 (knife-edge thin) and Flat (knife-edge flat) with five knife edge angles (0°, 10°, 20°, 30° and 40°) and five different loading speeds (1, 2, 3, 4 and 5 mm s⁻¹).

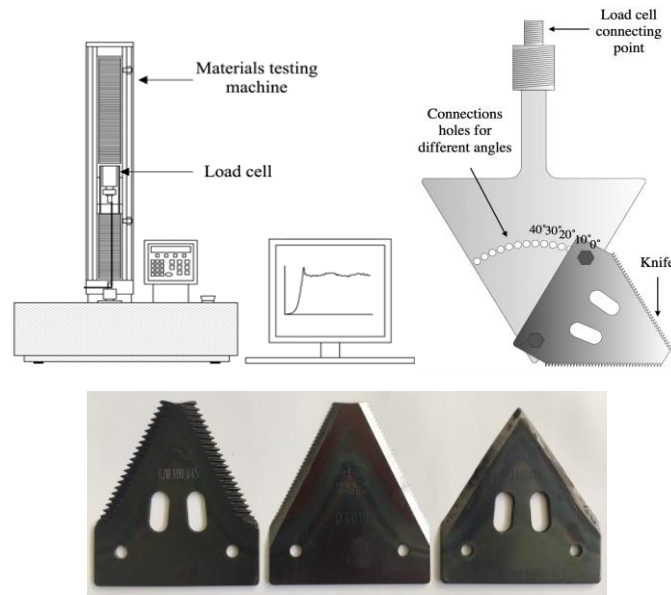


Figure 2. The Lloyd LRX Plus Materials Testing Machine and cutting blade.

The maximum cutting force, cutting strength, cutting energy and specific cutting energy were determined depend on type of knife, knife cutting angle and loading speed. The peak cutting strength, obtained from the cutting force findings, was determined by the following equation (Mohsenin, 1986; Sessiz et al., 2013):

$$\sigma_s = F_{max} / A \quad (1)$$

Where: σ_s is the maximum cutting strength in (MPa), F_{max} is the maximum cutting force in (N) and A is the cross-sectional area in (mm^2).

The cutting energy was calculated by measuring the surface area under the force-deformation curve via material testing machine (Georget et al., 2001; Yore et al., 2002; Chen et al., 2004; Kocabiyik and Kayisoglu, 2004; Amer Eissa et al., 2008; Ekinici et al., 2010; Zareiforoush et al., 2010; Ghahraei et al., 2011; Heidari and Chegini, 2011; Voicu et al., 2011; Sessiz et al., 2013; Sessiz et al., 2015; Nowakowski, 2016; Ozdemir et al., 2017b; Pekitkan et al., 2018). A computer data acquisition system recorded all force-displacement curves during the cutting process.

Specific cutting energy, E_{sc} was calculated by:

$$E_{sc} = E_c / A \quad (2)$$

Where: E_{sc} is the specific cutting energy ($J \text{ mm}^{-2}$) and E_c is the cutting energy (J).

The experiment was planned as a completed randomized plot design and data were determined using analysis of variance (ANOVA) method. Mean separations were made for significant effects with LSD and the means were compared at the 1% and 5% levels of significance using the Duncan multiple range tests in MSTAT-C software.

3. Results and Discussion

The results of the cutting test showed that the significant differences were found between the serrated knife types and flate type at 1 % probability level (Table 1). However, there were not found significant differences between the serrated type 1 and serrated type 2 knives. As can be seen from the Table 1, the best results were determined at the flat knife knife type, followed by serrated 2 and serrated 1, respectively. While the lowest cutting force and cutting strength values were obtained at flat type (knife edge flat) as 234.50 N, 8.299 MPa, 1.783 J and $0.06307 \text{ J mm}^{-2}$ respectively, the highest values cutting forces, cutting strength, cutting energy and specific cutting energy were obtained at serrated type 1 (knife edge thin) knife as 303.8 N, 10.75 MPa, 2.136 J and $0.075610 \text{ J mm}^{-2}$ respectively. According these results, the flat type knife is suitable than the serrated type knives for cutting and pruning of Okuzgozu grape cane. When we compared the knife types and we can recommend that the flat type than serrated type knife for a new design of cutting machine and pruning for the cane of Okuzgozu grape variety.

The effect of knife cutting angle on cutting force, cutting strength, cutting energy and specific cutting energy are shown in Table 1. As shown in the table, the cutting angle has been significant effect on the cutting force, cutting strength, cutting energy and specific cutting energy of grapevine canes ($P < 0.01$). The cutting force, cutting strength, cutting energy and specific cutting energy decreased with increasing knife-cutting angle from 0° to 40° . Also, according to results of variance analysis, the effect of interactions of factors were found significant ($p < 0.01$) on cutting force, cutting strength, cutting energy and specific cutting energy. The most significant effect was found between 0° and 10° cutting angle to other cutting angle (20° , 30° and 40°). However, there was no significant difference among means for 20° , 30° and 40° at the probability level of 1 % and 5 %. The maximum cutting force, cutting strength, cutting energy and specific cutting energy were observed at 0° cutting angle as 319.3 N, 11.30 MPa, 2.393 N and $0.08464 \text{ J mm}^{-2}$ respectively. The lowest values were obtained at 20° , 30° and 40° cutting angle. There were not found significant different statistically among these

cutting angle. However, the highest values cutting forces, cutting strength, cutting energy and specific cutting energy were obtained at 40° cutting angle as 249.0 N, 8.810 MPa, 1.677 J and 0.05940 J mm⁻² respectively. The main values of cutting forces, cutting strength, cutting energy and specific cutting energy depend on knife loading speed are shown in Table 1. As shown in table, the main effect of the knife loading speed on the cutting forces, cutting strength, cutting energy and specific cutting energy were found significant statistically (p<0.01). The cutting strength, cutting energy and specific cutting energy increased with increasing knife-cutting angle from 1 mm s⁻¹ to 5 mm s⁻¹. The lowest cutting force, cutting strength, cutting energy and specific cutting energy were obtained at the 1 m s⁻¹ as 246.1 N, 8.705 MPa, 1.273 J and 0.04502 J mm⁻¹ respectively. However, there were not found significant differences among the 2, 3, 4 and 5 mm s⁻¹. Similar results were obtained by Chandio et al. (2013) for rice stem. According to this study, cutting force increased with increasing the load speed, and the shear energy did not change with knife loading speed. Khazaei et al. (2002) reported that by increasing the cutting speed from 20 to 500 mm min⁻¹, the shearing strength and the shearing energy decreased for flower stems. Zareiforoush et al. (2010) have been examined the effect of loading rate on mechanical properties of rice (*Oryza sativa* L.) straw. They reported that the effect of loading was not significant effect on cutting strength and cutting energy of rice straw. Similar results were obtained by Kusińska and Starek (2012). They have been used variable parameters such as knife sharpening angle (2.5°; 7.5°; 12.5° and 17.5°) and velocity of its movement (0.83 mm s⁻¹, 1.66 mm s⁻¹, 2.49 mm s⁻¹, 4.15 and 10 mm s⁻¹) in experiments. Their test results proved significant dependence of the maximum cutting force value on changes of mechanical properties of tissues in relation to the place of collecting samples, the knife sharpening angle and its movement. The highest value of force was obtained during cutting with a knife of the sharpening angle of 17.5° and the lowest during the use of a knife with 2.5°. Along with the increase of the knife movement velocity, the cutting force decreased. The best quality of samples was obtained with the use of the velocity which was 2.49 mm s⁻¹ and 4.15 mm s⁻¹ with knives with the cutting angle of 2.5° and 7.5°. According to Igathinathane et al. (2010), searing energy is depending on used knives, shear bars, and linear knife grids with ram. Dange et al. (2011) have determined cutting energy and force for Pigeon pea stems. They consider blade type, sharpened at 30° and 45° bevel angle were selected for the experiment. Mathanker et al. (2015) conducted a study that the effect of blade oblique angle and cutting speed on cutting energy for energycane stems. The results showed that the specific cutting energy increases with cutting speed. The lowest average specific energy was 0.26 J mm⁻¹ for a 60° oblique cut at an average cutting speed of 7.9 m s⁻¹, whereas the highest average specific cutting energy was 1.24 J mm⁻¹ for a straight cut at an average cutting speed of 16.4 m s⁻¹. The effect of cutting velocity, diameter of stalks and types of blades on cutting energy, cutting force and specific energy for chickpea stalks were studied by Sushilendra et al. (2016). Jasim et al. (2017) have been investigated that the effect of knives type on some operational characteristics for a locally assembly motorized vibration cutter used for date palm fronds pruning. Singh et al. (2016a) conducted a study on the effect of varying knife speed and contact area on peak cutting force during slicing of peeled potato (*Solanum tuberosum*). In terms of product type and physical and mechanical properties of stem in crops, the estimation of harvesting energy in agricultural products can be completely different (Yiljep and Mohammed, 2005). Gan et al. (2018) reported that the designs of cutting blade is effect on energy consumption during mowing-conditioning of *Miscanthus Giganteus*. Azadbakht et al. (2015) were conducted a study energy consumption during impact cutting of canola stalk as a function of moisture content and cutting height. The tests results showed the effect of height and moisture content on cutting energy is significant (P<1%), The minimum cutting energy was observed 0.76 kJ in 11.6 (w.b.%) moisture content, 30 cm cutting height and 2.64 m/s balde cutting velocity. According to Singh et al. (2016b), the effective edge angle is 15° for cutting vegetables. Similar were conducted by Allameh and Alizadeh (2016) on the specific cutting energy for rice stem. The results revealed that rice cultivar and blade velocity had significant effects (P<0.01) on the specific cutting energy. When blade velocity increased from 1.5 m s⁻¹ to 2.5 m s⁻¹, specific cutting energy raised about 77 %. Blade cutting and bevel angles were not solely influential on the specific cutting energy but they interacted with rice cultivar and impacted it. Nandede et al. (2017) an investigation was conducted to study the effect of blade type, moisture content (MC) and diameter of the sorghum stalk and earhead on cutting energy as required for design of critical cutting component of sorghum harvester.

Table 1. The cahnge of cutting and energy properties depend on knife type, cutting angle and cutting speed.

Okuzgozu				
Knife type	Cutting Force (N)	Cutting Strength (MPa)	Cutting Energy (J)	Specific Cutting Energy (J mm ⁻²)
Serrated type 1 (knife-edge thick)	303.8 a*	10.75 a	2.136 a	0.07561 a
Serrated type 2 (knife-edge thin)	294.9 a	10.44 a	1.988 ab	0.07039 ab
Flat type (knife-edge flat)	234.50 b	8.299 b	1.783 b	0.06307 b
Mean	277.73	9.83	1.969	0.06969
LSD	12.49	0.442	0.222	0.0102
Knife cutting angle (°)				
0	319.3 a	11.30 a	2.393 a	0.08464 a
10	311.5 a	11.07 a	2.147 a	0.07596 ab
20	256.1 b	9.063 b	1.834 b	0.06496 bc
30	252.2 b	8.913 b	1.794 b	0.06349 bc

40	249.0 b	8.810 b	1.677 b	0.05940 c
Mean	277.73	9.83	1.969	0.06969
LSD	16.13	0.5706	0.2877	0.01317
Loading speed, mm/s				
1	246.1 b	8.705 b	1.273 c	0.04502 c
2	288.8 a	10.24 a	1.884 b	0.06667 b
3	285.8 a	10.05 a	2.094 ab	0.07413 a
4	284.1 a	10.12 a	2.283 a	0.08073 a
5	283.8 a	10.22 a	2.312 a	0.08189 a
Mean	277.73	9.83	1.969	0.06969
LSD	16.13	0.5706	0.2877	0.01317

* Means followed by the same letter in each column are not significantly different by Duncan multiple range test at the 5% level.

4. Conclusions

The significant differences were found between the knives types at 1 % probability level. The best results were determined at the flat knife type, followed by serrated 2 and serrated 1, respectively. While the lowest cutting force and cutting strength values were obtained at flat type (knife edge flat) as 234.50 N, 8.299 MPa, 1.783 J and 0.06307 J mm⁻² respectively, the highest values cutting forces, cutting strength, cutting energy and specific cutting energy were obtained at serrated type 1 (knife edge thin) knife as 303.8 N, 10.75 MPa, 2.136 J and 0.075610 J mm⁻² respectively.

The cutting force, cutting strength, cutting energy and specific cutting energy decreased with increasing knife-cutting angle from 0° to 40°. The maximum cutting force, cutting strength, cutting energy and specific cutting energy were observed at 0° cutting angle as 319.3 N, 11.30 MPa, 2.393 J and 0.08464 J mm⁻² respectively. The lowest values were obtained at 20°, 30° and 40° cutting angle.

The effect of the knife loading speed on the cutting forces, cutting strength, cutting energy and specific cutting energy were found significant statistically (p<0.01). The lowest cutting force, cutting strength, cutting energy and specific cutting energy were obtained at the 1 m s⁻¹ as 246.1 N, 8.705 MPa, 1.273 J and 0.04502 J mm⁻¹ respectively.

XXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX
 XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX
 XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX
 XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX
 XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX
 XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXXXXXXXX

Acknowledgments

This study was carried out with the test machine that the buy a project supported by the Scientific Research Funding (DUBAP-08-ZF-59) of Dicle University. The authors would like to thank Dicle University for providing the Material Test Machine and financial support.

References

- Alizadeh, M.R., Ajdadi, F.R., Dabbaghi, A. 2011. Cutting energy of rice stem as influenced by internode position and dimensional characteristics of different varieties. *AJCS* 5(6), 681-687.
- Allameh, A., Alizadeh, M.R. 2016. Specific cutting energy variations under different rice stem cultivars and blade parameters. *Idesia (Arica)*, 34(5), 11-17.
- Amer Eissa, A.H., Gomaa, A.H., Baiomay, M.H., Ibrahim, A.A. 2008. Physical and mechanical characteristics for some agricultural residues. In *Misr J Ag Eng*, 25(1), 121-146.
- Asabe Standarts (2008). S358.2: 1:1 Measurement Forages. 52nd edn. American Society of Agricultural Engineers, St Joseph MI.
- Azadbakht, M., Esmailzadeh, E., Esmaili-Shayan, M. 2015. Energy consumption during impact cutting of canola stalk as a function of moisture content and cutting height. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* (2015) 14, 147-152.
- Chandio, F.A., Changying, J., Tagar, A.A., Mari, A.I., Guangzhao, T., Cuong, D.M. 2013. Comparison of mechanical properties of wheat and rice straw influenced by loading rates *African Journal of Biotechnology* Vol. 12(10), 1068-1077.
- Chen, Y., Gratton, J.L., Liu, J. 2004. Power requirements of hemp cutting and conditioning. *Biosystems Engineering*, 87(4), 417-424.
- Dange, A.R., Thakare, S.K., Rao, I.B. 2011. Cutting energy and force as required for Pigeon pea stems. *Journal of Agricultural Technology* 2011 Vol. 7(6), 1485-1493.
- Ekinci, K., Yilmaz, D., Ertekin, C. 2010. Effects of moisture content and compression positions on mechanical properties of carob pod (*Ceratonia siliqua* L.). *African Journal of Agricultural Research*, 5(10), 1015-1021.
- Esgici, R., Ozdemir, G., Pekitkan, F.G., Elicin, A.K., Ozturk, F. and Sessiz, A. 2017. Some engineering properties of the Sire grape (*Vitis Vinifera* L.). *Scientific Papers-Series B-Horticulture*, vol. 61, 195-203.
- Gan, H., Mathanker, S., Momin, M.A., Kuhns, B., Stoffel, N., Hansen, A., Grift, T. 2018. Effects of three cutting blade designs on energy consumption during mowing-conditioning of *Miscanthus Giganteus*. *Biomass and Bioenergy*, ISSN: 0961-9534, Vol: 109, Page: 166-171.
- Georget, D.M.R., Smith, A.C., Waldron, K.W. 2001. Effect of ripening on the mechanical properties of Portuguese and Spanish varieties of olive (*Olea europaea* L), *Journal of the Science of Food and Agriculture J. Sci. Food. Agric.* 81, 448-454.
- Ghahraei, O., Ahmad, D., Khalina, A., Suryanto, H., Othman, J. 2011. Cutting tests of kenaf stems. *Transactions of the ASABE*, 54(1), 51-56.
- Heidari, A., Chegini, G.R. 2011. Determining the shear strength and picking force of rose flower. *Agricultural Engineering. Ejpau* 14(2), 13.
- Igathinathane, C., Womac, A.R., Sokhansanj, S. 2010. Corn stalk orientation effect on mechanical cutting. *Systems engineering* 107, 97-106.
- Jasim, A.A., Abbood, M.R., Abbood, S.M. 2017. Effect of knives type on some operational characteristics for a locally assembly motorized vibration cutter used for Date Palm fronds pruning. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB)* Vol.2(4), 1597-1600.
- Khazaei, J., Rabani, H., Ebadi, A., Golbabaei, F. 2002. Determining the shear strength and picking force of pyrethrum flower. *AIC Paper No.* 02-221.
- Khodaei, J., Akhijahani, H.S. 2012. Some physical properties of Rasa grape (*Vitis vinifera* L.). *World Applied Sciences Journal* 18(6), 818-825.
- Kocabiyik, H., Kayisoglu, B. 2004. Determination of shearing features of sunflower stalk. In *J Agric Sci*, vol. 10, 2004, no. 3, 263-267.
- Kronbergs, A., Širaks, E., Kronbergs, A.E. 2011. Mechanical properties of hemp (*cannabis sativa*) biomass. *Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference.* 1, 184-190.
- Kusińska, E., Starek, A. 2012. Effect of knife wedge angle on the force and work of cutting peppers. *Teka. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2012*, Vol. 12, No. 1, 127-130
- Mathanker, S.K., Grift, T.E., Hansen, A.C. 2015. Effect of blade oblique angle and cutting speed on cutting energy for energycane stems. *Biosystems Engineering*, Vol.133, 64-70.
- Mohsenin, N.N. 1986. *Physical properties of plant and animals materials*. 2nd edition. New York, NY: Gordon and Breach Science Publishers.
- Morris, J.R. 2000. Past, present, and future of vineyard mechanization. *Proceeding ASEV 50 the Anniv. Ann. Mtg.* Seattle, WA, 51, 155-164.

- Nandede, B.M., Raul, A.K., Singh, D., Jadhav, M.L., Solanke, K.R. 2017. Effect of blade type, diameter and moisture content of Sorghum stalk and earhead on cutting energy. *Multilogic in Science*, Vol.7(24), 38-40.
- Nowakowski, T. 2016. Empirical model of unit energy requirements for cutting giant miscanthus stalks depending on grinding process parameters. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Agriculture (Agricultural and Forest Engineering)* 67, 63–70.
- Ozdemir, G., Sessiz, A., Esgici, R., Elicin, A.K. 2015. Cutting properties of wine grape cultivars. *Scientific Papers. Series B, Horticulture*. Vol. LIX, 151-158.
- Ozdemir, G., Sessiz, A., Pekitkan., F.G. 2017a. Precision viticulture tools to production of high quality grapes. *Scientific Papers. Series B, Horticulture*. Vol. LXI, 2017, June 8-10, Bucharest, Romania.
- Ozdemir, G., Sessiz, A., Esgici, R. 2017b. Some maturity properties of Okuzgozu (*Vitis Vinifera* L. CV.) grape berries. *Fresenius Environmental Bulletin*. Volume 28, No:10, 6261-6265.
- Pekitkan, F.G., Esgici, R., Elicin, A.K., Sessiz, A. 2018. The change of shear force and energy of cotton stalk depend on knife type and shear angle. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, Vol. LXI, No. 1, 360-366.
- Persson, S. 1987). *Mechanics of cutting plant material*. ASAE Publications, St Joseph, MI, USA.
- Prasad, J., Gupta, C.B. 1975. Mechanical properties of maize stalks as related to harvesting. *J Agric Eng Res*, vol. 20, 1975, no. 1, 79–87.
- Romano, E., Bonsignore, R., Camillieri, D., Caruso, L., Conti, A., Schillaci, G. 2010. Evaluation of hand forces during manual vine branches cutting. *International Conference Ragusa SHWA*, September 16-18, 2010 Ragusa Ibla Campus- Italy. *Work Safety and Risk Prevention in Agro-Food and Forest Systems*.
- Sessiz, A., Elicin, A.K., Esgici, R., Ozdemir, G., Nozdrovický, L. 2013. Cutting properties of olive sucker. *Acta Technologica Agriculturae. The Scientific Journal for Agricultural Engineering, The Journal of Slovak University of Agriculture in Nitra*. 16(3), 80–84.
- Sessiz, A., Esgici, R., Ozdemir, G., Elicin, A.K., Pekitkan, F.G. 2015. Cutting properties of different grape varieties. *Agriculture & Forestry*, 6(1), 211-216.
- Singh, V., Das, M., Das, S.K. 2016a. Effect of varying knife speed and contact area on peak cutting force during slicing of peeled potato (*Solanum tuberosum*). *International Food Research Journal* 23(6), 2513-2518.
- Singh, V., Das, M., Das, S.K. 2016b. Effects of knife edge angle and speed on peak force and specific energy when cutting vegetables of diverse texture. *International Journal of Food Studies IJFS*, Vol.5, 22-38.
- Sushilendra, Veerangouda, M., Anantachar, M., Prakash, K.V., Desai, B.K., Vasudevan, S.N. 2016. Effect of blade yype, cutting velocity and stalk cross sectional area of chickpea stalks on cutting energy, cutting force and specific energy. *International Journal of Agriculture Sciences*, Vol.8(53), 2658-2662.
- Taghijarah, T., Ahmadi, H., Ghahderijani, M., Tavakoli, M. 2011. Shearing characteristics of sugar cane (*Saccharum officinarum* L.) stalks as a function of the rate of the applied force. *AJCS* 5(6), 630-634.
- Voicu, G., Moiceanu, E., Sandu, M., Poenaru, I.C., Voicu, P. 2011. Experiments regarding mechanical behaviour of energetic plant *Miscanthus* to crushing and shear stress. In *Engineering for Rural Development Jelgava*, 26.
- Yiljep, Y., Mohammed, U. 2005. Effect of knife velocity on cutting energy and efficiency during impact cutting of Sorghum stalk. *Agricultural Engineering International: The CIGR EJournal*. Manuscript PM 05 004. Vol. VII. December, 2005.
- Yore, M.W., Jenkins, B.M., Summers, M.D. 2002. Cutting properties of rice straw. Paper Number: 026154. *ASAE Annual International Meeting / CIGR XVth World Congress*.
- Zareiforoush, H., Mohtasebi, S.S., Tavakoli, H., Alizadeh, M.R. 2010. Effect of loading rate on mechanical properties of rice (*Oryza sativa* L.) straw. *Australian Journal of Crop Science*, 4(3), 190–195.



Serigrafi Baskı Tekniğinde Kalıp Malzemesi Olarak Kullanılan Sentetik Dokumaların Baskı Kalitesi ve Kullanım Performansını Belirleyen Üretim Süreçlerinin Analizi

Engin UĞUR^{1*}

¹İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, Basım ve Yayın Teknolojileri Programı, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7831-5449)

(İlk Geliş Tarihi 3 Mart 2019 ve Kabul Tarihi 25 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.535006)

REFERENCE: Uğur, E. (2019). Serigrafi Baskı Tekniğinde Kalıp Malzemesi Olarak Kullanılan Sentetik Dokumaların Baskı Kalitesi ve Kullanım Performansını Belirleyen Üretim Süreçlerinin Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 526-534.

Öz

Serigrafi baskı işleminde şablon görüntünün oluşturulduğu kalıp malzemesi tekstil ürünüdür. Bu tekstil ürünü önceleri doğal ipek dokuma iken sentetik ürünlerin geliştirilmesi ile yerini sentetik dokumalara bırakmıştır. Serigrafi baskı işleminde kullanılmak üzere üretilen sentetik dokumalar, polyamid ve polyester hammaddeden üretilmektedirler. Polyamid (nylon) sentetik dokumalar tek lifli (monofilament) yapıya sahiptir. Polyester dokumalar çok lifli (multifilament) yapıya sahiptir. Fiziki yapıları ve ham madde özelliklerinden dolayı baskı kalitesi ve kullanım performansları farklılık göstermektedir.

Serigrafi baskı operatörünün bilmesi gereken genel olarak, baskı yapacağı işin özelliğine göre teklifli (polyamid) veya çok lifli (polyester) dokuma çeşitleri arasında en uygun dokuma sıklığı ve iplik kalınlığına sahip dokumayı seçmektir. Fakat seçtiği dokumanın iplik yapısından veya dokuma işleminden kaynaklanan problemler hem baskı sonucunu etkiler hem de teknik ve ekonomik açıdan kayıpların oluşmasına neden olabilmektedir.

Matbaacılık ülkemizde tüm baskı teknikleri ile çok büyük bir sektörel yapıya dönüşmüştür. Bu yapıda özellikle büyük işletmeler kalite konusunda çok hassasiyet göstermektedirler. Baskı kalitesinde sürekliliği sağlamak için tüm unsurlara hâkim olmaya çalışılmaktadır. Baskı işleminde kullanılan girdilerin kaynağına ulaşarak problemlere kalıcı çözümler bulunmaya çalışılmaktadır. Bu çerçevede sentetik dokumaların üretimini yapan işletmelerle ortak hareket edilme yoluna gidilmektedir. Ortak hareket ederek çözüm üretmede temel unsur karşılıklı bilgi alışverişinden geçmektedir. Matbaa tarafı performansı ve problemleri çok iyi tanımlamalı ki dokuma üreticisi de buna göre üretim yapısını yapılandırsın. Makalenin bu perspektiften değerlendirilmesi gerekmektedir. Makalede sentetik dokumaların baskı kalitesi ve kullanım performansında etkili olan üretim unsurları tanımlanarak sebep sonuç ilişkisi kurulmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Serigrafi baskı, Sentetik dokuma, Baskı kalitesi, Performans, Dokuma üretimi

Analysis of Production Processes Determining Print Quality and Usage Performance of Synthetic Fabrics Used as Mesh Materials in Screen Printing Technique

Abstract

¹ Sorumlu Yazar: İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, Basım ve Yayın Teknolojileri Programı, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İstanbul, TÜRKİYE
ORCID: 0000-0001-7831-5449, engines@istanbul.edu.tr

The screen material in which the stencil image is formed in the screen printing process is the textile product. This textile product was previously woven from natural silk while it was replaced by synthetic fabrics by the development of synthetic products. Synthetic fabrics, which are produced for use in screen printing, are made of polyamide and polyester raw material. Polyamide (nylon) synthetic fabrics have a monofilament structure. Polyester fabrics have a multifilament structure. Due to their physical structure and raw material properties, print quality and usage performances differ.

In general, the screen printing operator needs to know, depending on the nature of the job to be printed (polyamide) or multi-fiber (polyester) is the most appropriate weaving types and weaving weights to choose the weaving thickness of the yarn. However, the problems caused by the yarn structure or weaving process of the selected fabric can affect the printing result and cause the loss of technical and economic losses.

Printing has turned into a very big sectoral structure in our country with all printing techniques. In this structure, large enterprises are very sensitive about quality. In order to ensure continuity in print quality, all elements are tried to dominate. It is tried to find permanent solutions to the problems by reaching the source of the inputs used in the printing process. In this context, it is possible to cooperate with the enterprises that produce the synthetic fabrics. The main element in producing solutions is to exchange information. The printing-side performance and the problems should be well defined, so that the fabric manufacturer can also construct the production structure accordingly. The article should be evaluated from this perspective. In the article, it is tried to establish cause-effect relationship by defining the production elements which are effective on print quality and usage performance of synthetic fabrics.

Keywords: Screenprinting, Synthetic weaving, Print quality, Performance, Weaving production

1. Giriş

Serigrafi baskı işleminde petrol alt ürünü olan sentetik dokumalardan önce doğal ipek dokuma kullanılmıştır. Sentetik ürünler yaygınlık kazanmaya başlayınca doğal ipek dokuma yerini sentetik dokumalara bırakmıştır. Sentetik dokumaların, sahip oldukları özellikler baskı kalitesi ve kullanım performansı açısından doğal ürünlerden açık ara üstünlük sağlamıştır. Fakat her geçen gün yeni piyasaya çıkan spesifik bir baskı altı malzemeye baskı yapmak gerektiğinde beklenmedik sonuçlarla karşılaşılabilir. Günümüzün baskı malzemesi ve teknolojisi çeşitliliği, ihtisaslaşmış ürünler kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Ortaya çıkan değişime ve yeniliğe ayak uydurabilmek için özellikle baskı sonucunu direkt etkileyen girdilerin üretim aşamasından başlayarak son aşamaya kadar kontrol altında tutulmasını gerektirmektedir. Bu nedenle serigrafi baskı bilgisi kadar kimya, yada mekanik yada elektrik bilgisi gerekebilir.

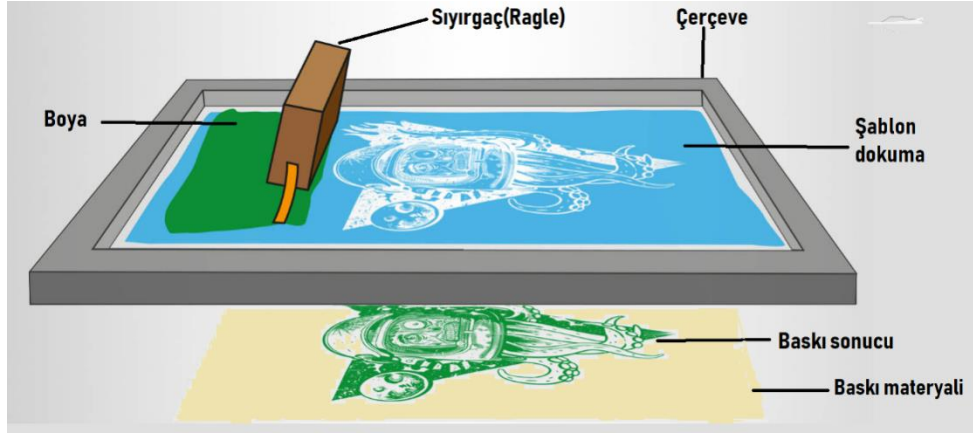
Serigrafi baskı işleminde baskı sonucuna hakim olmak için dokuma kalıbın hassas noktalarını bilmek ve buna göre hareket etmek büyük önem taşımaktadır. Üretimde kullanılan ham madde yapısı veya üretim işlemlerinden kaynaklanan bir durumun kullanım aşamasında düzelme imkanı çok zayıf bir ihtimal oluşturmaktadır. Önemli olan problem oluşturan konunun tespit edilip kaynağında çözülmesidir. Bu durum diğer tüm kullanıcılar içinde avantajlar sağlayacaktır.

2. Serigrafi Baskı Tekniği

Elek baskıda denilen serigrafi baskıda, çerçeveye gerilen ipek yada sentetik bir dokumanın üzerinde basılması istenmeyen yerler ışığa hassas emülsiyon ile kaplanır, filmle ile direkt bilgisayardan lazer ışıkla pozlandırılarak yada özel bir waksle inkjet sistemi ile basılması istenen görüntü kalıp yüzeyine geçirilir su ile açma işleminden sonra görüntülü yerler mürekkebi içerisinden geçirecek şekilde açık bırakılır. Elde edilen şablona mürekkep verilir ve bir rakle yardımı ile mürekkep şablon boyunca basınçla çekilir. Mürekkep emülsiyon ile kaplı olan bölgelerden geçemez, görüntünün olduğu bölgelerden ise ipeğin dokumaları arasından basılması istenen yüzeye geçerek baskı altı malzemesi üzerinde istenen görüntüyü oluşturur [1].

Baskı kalıbını hazırlamak için dokuma kalıp yüzeyine ışığa duyarlı kimyasal madde sürülür, sürülen bu kimyasal maddenin temel özelliği ışıktan etkilenmesidir. Basılacak görüntünün ışık geçirgenliği olan malzemedeki görüntüsünü kullanarak ışık kaynağı ile pozlandırılır. Pozlandırma işleminde ışık gören yerler ışık ışınlarının etkisi ile sertleşerek dokuma yüzeyinde tutunma özelliği kazanır. Işık görmeyen yerler de herhangi bir değişiklik olmaz. Daha sonra dokuma kalıp banyo işlemine tabi tutulur. Banyo işlemi, çeşme suyunun hortum ya da çok kuvvetli olmayan püskürtme cihazı yardımı ile kalıp yüzeyine birkaç dakika tutulması ile yapılır. Banyo işlemi sonucunda ışık görmeyen yerlerdeki kimyasal madde su yardımı ile dokuma yüzeyinden ayrılır, ışık alan (pozlanan) yerler dokumanın yüzeyinde kalır. Baskı işlemi, mürekkebin sıyrıgaç (rakle) yardımı ile dokuma kalıbın açık gözeneklerinden alta yer alan baskı materyaline transfer edilmesi ile gerçekleştirilir. Baskı işleminde mürekkep film katmanının kalitesinde çok çeşitli faktörler etki etmektedir. Bu faktörlerden biriside kalıp olarak kullanılan dokumadır.

Serigrafi baskı tekniği ile kumaş, plastik, cam, metal, ahşap malzemelere baskı yapılabilir. Baskı imkanı çok geniş bir baskı tekniğidir. Fakat her malzemenin doku ve yüzey yapısına baskı işlemini yapmayı sağlayacak farklı özelliklere sahip ipek dokumalar, mürekkepler, yardımcı maddelerin kullanılması gerekmektedir.



Şekil 1. Serigrafi baskı sistemi

2.1. Sentetik Dokuma Nedir?

Sentetik dokuma işleminde iplik olarak sentetik elyaf kullanılır. Elyaf, sentetik polimerlerden üretilir. Polimerler, çok sayıda küçük molekülün kovalent bağlarla birbirlerine bağlanarak oluşturduğu makromoleküllerdir[2]. Makro moleküller, monomerlerin kimyasal işlemler yoluyla bir araya gelerek uzun zincirler oluşturmasıdır. Bu işlem polimerizasyon olarak bilinmektedir [3]. Monomer adı verilen küçük moleküller uygun koşullarda polimerizasyon tepkimesi sonucu birbirleriyle kimyasal bağ yaparlar ve polimerleri oluştururlar. Polimerlerin üstün özellikleri üzerine makromoleküler yapılarının katkısı büyüktür[4]. Polimerik malzemelerin kullanım alanlarının fazla olmasının nedenleri sıralanırken hafifliği kolay işlenebilirliği ve mekanik özellikleri, belirtilmektedir[5].

2.2. Serigrafi Baskı İşleminde Kalıp(Dokuma) Malzemesinde Olması Gereken Özellikler

Dokuma, serigrafi baskı işleminde baskı sonucunu etkileyen önemli parametrelerdendir. Hazırlanan çalışmanın en küçük detayları ile firesiz kalıp olarak elde edilmesinde ışığa duyarlı malzemenin kalitesi kadar dokumanın da istenen koşullarda olmasının önemi büyüktür. Baskı kalıbı olarak kullanılan sentetik dokumaların üretim teknik ve teknolojileri, hem baskı kalitesini hem de kullanım performansını belirlemektedir.

Serigrafi baskı işleminde şablon haline getirilen dokuma malzemenin çerçeveye gerilmesi, kalıbın hazırlanması ve baskı işlemindeki kullanım işlemleri kullanıcıya ait olan kalite parametrelerini meydana getirmektedir. Bu parametreler, kullanıcının çalışmaya gösterdiği hassasiyet ve baskı öncesi ve baskı işleminde tercih ettiği malzeme ve teknolojilerle bağlantılıdır.

Baskı kalıp malzemesi olarak kullanılan dokuma, şablon kalıbı hazırlamak için kullanılan ışığa duyarlı malzeme (emülsiyon), baskı işleminde kullanılacak boya ve yardımcı malzemelerin performansları üretiminden kaynaklandığı için kullanıcının olumsuz kriterleri değiştirme imkanı bulunmamaktadır. Bu nedenle satın alma tercihinin bilinçli yapmak gerekmektedir. Baskı kalıbı olarak kullanılan dokuma hem şablon görüntü oluşumunu hem de baskı işleminde boyanın baskı altı materyale transferini etkilemektedir.

Kalıp malzemesi olarak kullanılacak dokumanın baskı kalitesi açısından şu özelliklere sahip olması gerekmektedir;

1. Çerçeveye kolay gerilme ve gerginliği koruma
2. Işığa duyarlı malzemeyi (emülsiyon) dokuma liflerinde tutmak
3. Boyanın gözeneklerden kolay transfer edilmesini sağlamak
4. Baskı işleminde gerekli olan esnemeyi sağlamak

Serigrafi baskı işleminde çalışma performansı açısından şu özelliklere sahip olması gerekmektedir;

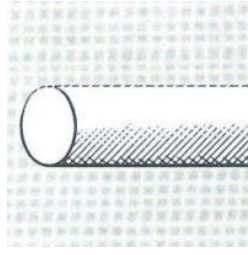
1. Çerçeveye kolay gerilebilmelidir
2. Baskı işleminde sürtünmeye karşı aşım direnci yüksek olmalıdır
3. Boya ve ışığa duyarlı malzeme kolay temizlenmelidir
4. Boya ve kimyasal maddelere karşı dayanıklı olmalıdır

Baskı kalıbı olarak kullanılacak sentetik dokumaların yukarıda yer alan kriterleri sağlayacak özellikleri taşıması için üretiminin buna uygun yapılması gerekmektedir.

2.3. Serigrafi Baskı İşleminde Kullanılan Sentetik Dokuma Türleri

Polyamid (Naylon) İplik Dokumalar:

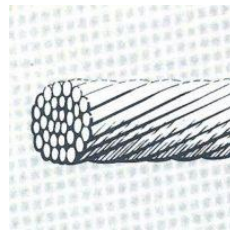
Poliamid (PA) lifleri, birçok endüstriyel alanda kullanılan önemli bir sentetik lif grubudur. Sentetik dokuma olarak, PA 6.6 (naylon 6.6) ve PA 6 (naylon 6) yaygın olarak kullanılan poliamid lifleri arasında yer almaktadır. Polyamid lifleri ısı, ışık, ozon gibi atmosferik gazlar, kuvvetli asitler (nitrik asit, sülfirik asit vb.), yükseltgen maddeler (peroksitler vb), mikroorganizmalar ve bazı metallerle karşı hassastırlar[6].



Şekil 2. Polyamid iplik kesiti

Poliester(Polyester) İplik Dokumalar:

Pamuktan sonra en çok kullanılan liftir ve hem üretim hem de tüketim açısından diğer sentetik liflerin çok ilerisindedir. Poliester, polietilen tereftalat poliesteri olarak adlandırılır ve kısaca PET olarak ifade edilir. Poliester, çok aşamalı katalizör reaksiyonu kullanılarak oluşturulmaktadır[7]. Genel olarak poliester lifleri, ağırlıkça en az %85 oranında diol ve diasitin esterini içeren lifler olarak tanımlanmaktadır. Poliester ana zincirleri boyunca yinelenen ester bağları bulunmaktadır. Polyester lifin nem tutuculuğu sürekli ve kesikli liflerde % 0,4'dür. Poliester lifleri, zayıf asitlere karşı asitlerin kaynama sıcaklıklarında dayanıklıdır. Kuvvetli asitlere oda sıcaklığında dayanımı iyi olmakla birlikte kuvvetli bazlar karşısında dayanımı zayıftır[2].



Şekil 3. Polyester iplik kesiti

3. Sentetik Dokuma Üretimi

Sentetik dokuma üretim prosesi; ham maddeyi meydana getiren polimerin elde edilmesi, dokuma lifi yada ipliğinin üretilmesi ve bu ipliğin dokunması aşamalarından meydana gelmektedir. Baskı kalitesi ve kullanım performansı, sentetik ham maddenin hazırlanmasından başlayarak ipliğin oluşturulması ve dokuma işleminin son aşamasına kadar yapılan işlemlerin sonucunda oluşmaktadır.

3.1. Sentetik İplik Ham Maddesi Üretim İşlemi

3.1.1. Polyamid Ham Maddesi Üretimi

Bunlardan PA 6.6, heksametilendiamin ile adipik asidin polimerizasyonu sonucunda elde edilmektedir. PA 6 lifleri ise kaprolaktamdan elde edilmektedir. Sentez sırasında önce kaprolaktam halkası açılarak 6-amino heksanoik aside dönüşmekte ve daha sonra bu amino asitin kendi kendine kondenzasyonu ile PA 6 polimeri elde edilmektedir[8].

Polyamid (Naylon)6.6 lifinin elde edilmesi için yapılacak ilk işlem bu iki maddenin uzun molekül zincirleri veya polimerler oluşturmasını sağlamaktır. Bu başlangıç maddeleri etil alkol içinde ısıtıldığında naylon 6.6 tuzu oluşur. Bu tuzun sudaki çözeltisi basınç altında buhar verilerek havasız bir ortamda 215-220 °C'de tutulduğunda polimerleşme başlar. Polimerizasyon derecesi istenilen seviyeye ulaştığında % 1 oranında asetik asit eklenerek polimerizasyon durdurulur. Süt beyaz renkte olan ve katılaştıran naylon 6.6 polimeri küçük parçalar şeklinde kesilir[9].

3.1.2. Polyester Ham Maddesi Üretimi

Polyester polimer maddesi, bir dialkol ile bir dikarboksilliasitin polimerizasyonu sonucu oluşur. Poliester lifleri ise; en az %85 oranında dialkol ve tereftalik asit içeren uzun zincirli polimerlerden elde edilen lifler olarak tanımlanır[10]. Poliester lifleri tereftalik asit veya dimetil tereftalatın etilen glikol ile kondenzasyon reaksiyonu ile polimerizasyona uğraması sonucu elde edilir. Eğer polimerizasyonda asit olarak tereftalik asit kullanılırsa, polimerizasyon sonucu açığa su çıkar. Dimetil tereftalat kullanıldığı takdirde ise polimerizasyon sonucu açığa metil alkol çıkar [11].

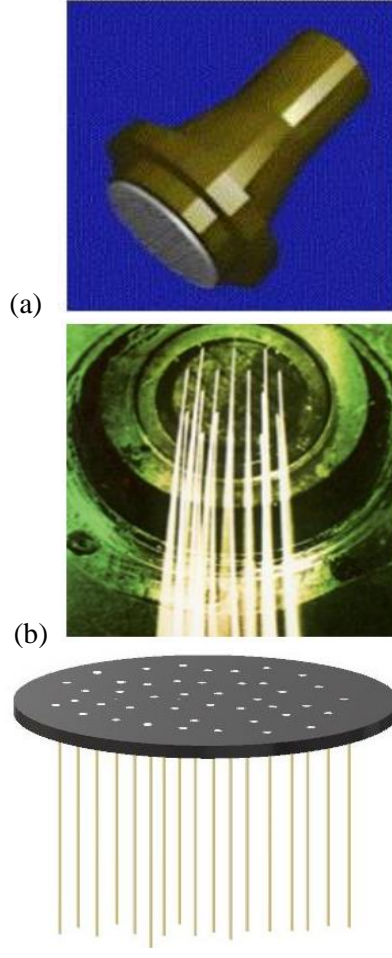
3.2. İplik Üretim İşlemi

Eğer lif üretici firma polimer maddesini kendi üretiyorsa ve polimerizasyon üniteleri ile lif çekim üniteleri yan yana ise üretilen eriyik halindeki polimer doğrudan lif çekim ünitesine de beslenebilir. Aksi takdirde, katı granüller şeklinde olan polimer maddeyi eritip lif çekimine hazır hale getirmek için ekstruder denilen aparatlar ya da eski bir yöntem olan eritme ızgaraları kullanılır. Öncelikle katı polimer madde besleme tankına beslenir. Buradan lif çekim makinesinin ekstruderine iletilir ve bu bölümde eritilip basınçlandırılarak

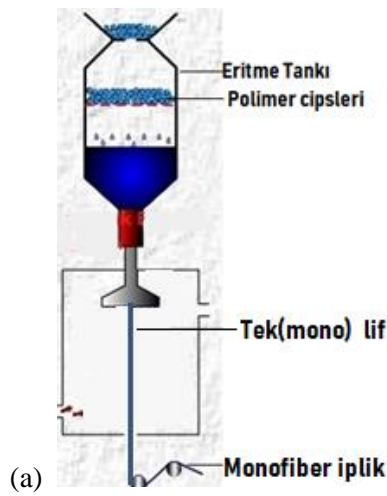
filtreye gönderilir. Filtre edilen polimer eriyiği manifoldlar aracılığı ile lif çekim makinesinde bulunan düze kısmına gönderilir. Düze denilen aparatlar düze bloğu içerisinde yer alır[12].

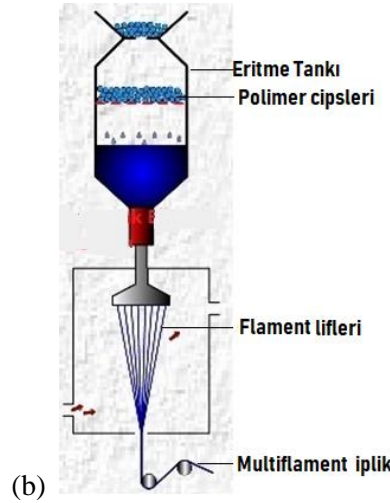
Düze başlıkları, bir veya birden çok delik bulunan başlıklardır. Tek delikli düzeden tek lifli 'monofilament' lif (filament) çok delikli düzeden ise 'multifilament' çoklu lif (multifilament) elde edilir.

Ekstruderde eritilmiş polimer düzelere gelmeden önce mutlaka filtre edilmelidir. Filtre işleminin amacı, deliklerin tıkanmasını engellemektir. Bu amaçla eriyik içerisindeki katkı maddesi topakları, her türlü yabancı parçacık ve erimemiş polimer parçaları filtreler tarafından ayrılır. Bu sayede lif içerisinde bu kirliliklerin meydana getirebileceği düzgünsüzlükler ve hatalar da engellenmiş olur[13].



Şekil 4.(a) Düze(spinneret) başlığı, (b)Düzeden filament çıkışı ve (c)Düzenin çalışma sistemi





Şekil 5. (a) Tek lifli(monofiber) iplik üretim şeması ve (b) Çok lifli (multifilament) iplik üretim şeması

3.3. Koagülasyon (Katılma)

Düzelerde belirli bir sıcaklık ve basınçla püskürtülen polimer eriyiği katılacağı bir ortama iletilir. Katılaştırma işlemi çeşitli şekillerde yapılır. Bunlar; sıcak buhar, soğuk hava veya koagülasyon banyosu yöntemleridir. Düzelerden çok yüksek sıcaklıkta akarak çıkan sıvı kütlesi bu bölümde katılarak filament hâline getirilir. Bu sıvı kütesinin katılaştırma işlemi, ipliğin kazanacağı mukavemet ve uzama özelliklerini kritik bir şekilde etkiler. Lifler soğumaya başladığında kristalizasyon hala yüksek olduğundan ve erime durumu da ortadan kalktığından, hızla yeni kristalitler oluşmaktadır. Lifler 125- 130°C'ye kadar soğuduktan sonra ise, kristalizasyon hızının iyice yavaşlaması nedeniyle, yeni kristalit oluşumu durmaktadır. Yani soğutma esnasında oluşan kristalitlerin sayısı ve kalitesi, lifler termofiksaj sıcaklığından 125-130°C'ye soğuyuncaya kadar geçen süreye bağlıdır[14]. Eriyikten lif çekimi lif çekimi ve sarılması esnasında erime sıcaklığı, camlaşma sıcaklığı ve yapısal elastikiyet gibi özelliklerin mutlaka hesaba katılması gerekmektedir. Sentetik liflerin sahip olduğu düşük erime sıcaklığı nedeniyle lif hattındaki filamentin soğutulma işlemine kadar çok kısa bir süre bulunmaktadır. Katılaştırma ve soğutma işlemleri sırasında lif morfolojisini önemli ölçüde geliştirmektedir[15].

3.4. Germe Çekme İşlemi

Poliester lifleri germe-çekme işleminden önce amorf yapıdadırlar. Bu liflerden kullanışlı dokuma liflerinin elde edilebilmesi için lifin hem moleküler oryantasyonu hem de kristalizasyonunu artıracak şekilde germe-çekme işlemlerinin yapılması gereklidir. Bu işlem camsı geçiş sıcaklığı olan 80°C'nin üzerinde yapılır. Çünkü camsı geçiş sıcaklığının altında çekilen polimer zincirleri birbiri üzerinden kolayca kayamadığından oryante olmaları oldukça zordur[10].

Monofilamentler 100 dtex'i aşan kalınlıkları ile multifilamentlerden çok daha kalındırlar. Multifilamentlerin üretildiği gibi üretilirler. Ancak bu şekilde üretilen monofilamentler kıvrımlaşma eğilimi göstermektedir. Bu özelliği onların birçok alanda kullanımını sınırlamaktadır. Bu problemi aşabilmek için monofilamentler çoğu kez daha düşük hızlarda üretilirler ve daha etkili bir soğutmanın yapılabilmesi için su içerisine gönderilirler. Monofilament düzeden çıktıktan 5 cm kadar sonra bir su banyosuna girer. Soğutma işleminden sonra germe çekme işlemi yapılır. Germe-çekme sıcak su banyosu veya sıcak hava kanalında yapılabilir[16].

Çekim kısmı üç çift silindirden oluşur. Bu silindirler (çekim silindirleri)yüzeyi yivli ve dişlilerden gelen tahrikle dönen mil şeklindeki taşıyıcı silindirlerdir. Çekim sırasında elyafın kontrol altında tutulmasını sağlayan bu silindirler, üstünde birlikte çalışan bir baskı silindiriyle beraber kullanılırlar[17]. Bunların üzerinde basınç yapan pendeller vardır. Çekim aparatlarında 1. silindirin basıncı fazladır. 2. ve 3.silindirler daha çok kendi ağırlıklarıyla basınç yaparlar. Çekim; silindirlerin birbirinden daha hızlı dönmesiyle oluşur. Arkadaki silindirlerde çekim daha azdır. Çünkü burada fitildeki bükümün çözülmesi sağlanır. Esas çekim 2.ve 3. silindirler arasındadır[12].

3.5. Yağlama ve Anti Statik İşlem

Üretilen filamentler bobinlere sarılmadan önce spin-finish adı verilen bir yağ ile temas ettirilir. Spin-finish; yağlayıcı, statik elektrigi dağıtıcı, ıslatıcı, kir itici, antimikrobiyel, oksitlenme giderici gibi bazı maddeleri içeren bir bitim işlemi olarak ele alınabilir. Bu sayede liflerin karışması, birbirine yapışması ve statik elektrikleme gibi bazı olumsuzluklar engellenmiş olur. Spin-finish içeriği üretilen liflere ve bunların karşılaşılabileceği işlemlere bağlı olarak hazırlanır[18].Sentetik liflerin pamuk gibi doğal liflerden farklı olarak elektrik iletkenlikleri çok düşüktür. Bundan dolayı statik elektriklemeye neden olur. Bunun sonucunda aşağıdaki sorunlar ortaya çıkmaktadır:

1. Çekim esnasında şeritteki lifler taşıdığı yüklerle göre birbirini ya iter ya da çekerler ve bunun sonucunda çıkan şerit düzgünlüğü kötüleşir.

2. Yüklü liflerin birbirini itmesi ya da çekmesi nedeniyle iplikteki lif düzeni bozulur ve iplik düzgünlüğü kötüleşir ve iplikteki hatalar artar.

3. Statik elektrikleme lif göçmesine neden olur. Çünkü iplik üretim süresince yüklü liflerin birbirini itmesi sebebiyle bir lif veya filament iplik eksenine göre yer değiştirecektir.

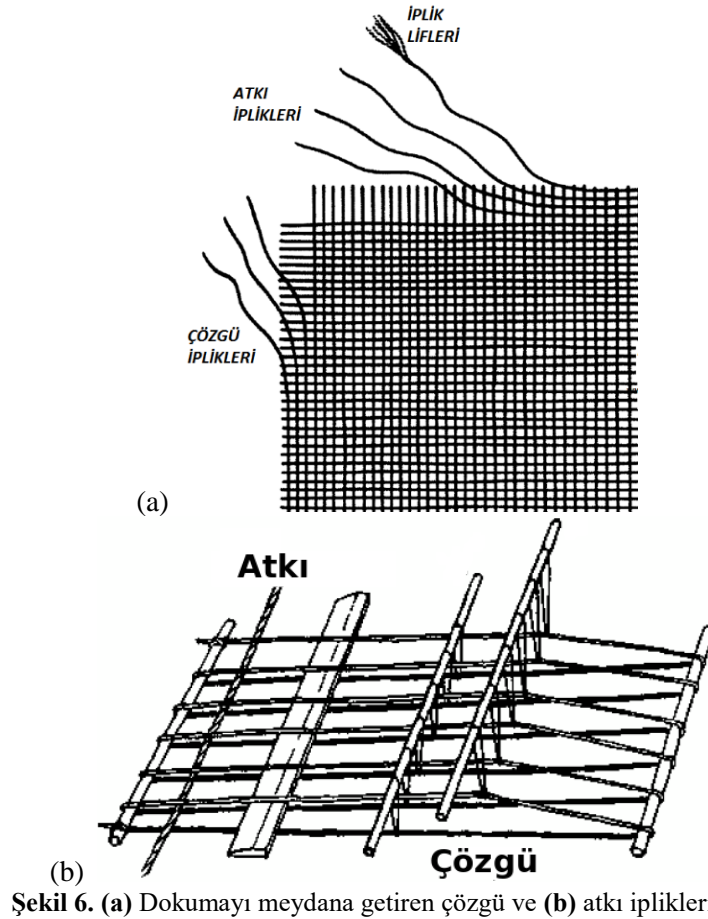
Statik elektriklenmeyi ortadan kaldırmak amacıyla farklı isimlerle bilinen; harman yağı, anti stat, spinfinish ve yağlayıcı madde gibi özel yağlar kullanılmaktadır. Bu yağların kullanım oranları tekstil materyalinin harmandan son mamule kadar kalitesini etkileyen önemli bir faktördür[19].

3.6. Polyester (Multifilament) İplikte Büküm İşlemi

Polyester ham maddeden üretilen multifilament lifleri bir bütünlük kazandırarak iplik yapısı oluşturmada en çok bilinen yöntem, lif topluluğuna büküm uygulamaktır. Uygulanan büküm neticesinde, oluşan ipliğin mukavemet özelliklerinin yanı sıra; ipliğin çapı, aşınma direnci, eğilme rijitliği, tutumu, parlaklığı vb. gibi pek çok özellik de etkilenir. Bükümün iplik yapılarındaki temel etkisi, ipliği oluşturan lifler üzerinde meydana gelen yanall kuvvetler vasıtasıyla olur. Bu sayede; iplik yapısını oluşturan lifler birbirine daha sıkı tutunur[20].

4. Dokuma İşlemi

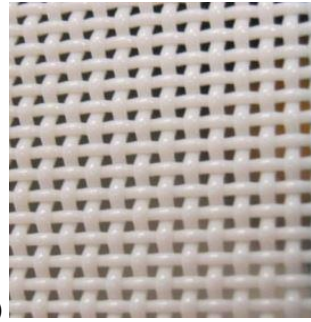
Dokuma kumaşlar, çözgü ve atkı olarak adlandırılan birbirine dik iki iplik sisteminden oluşan tekstil yapılarıdır. Dokumada çözgü iplikleri birbirine paralel olarak belli bir sayıda ve yan yana bulunur. Dokumanın yapıldığı yöne doğru ilerlemesi gereken çözgü tabakası arasından atkı ipliğinin geçirilmesi ve bunun dokumaya dâhil edilmesi sürekli olarak tekrarlanan temel işlemlerdir[21]. Atkı ve çözgü iplik sıklıkları, dokuma kumasın gözenek boyutlarını doğrudan etkileyen parametrelerdir. Sıklık değerleri arttıkça, gözenek boyutları azalır. İçerisinden akışkanın geçmesine daha fazla direnç gösterir, akışkanın hızı azalır. Örgü türü, atkı sıklığı, çözgü sıklığı, lif kesiti yapısı değerleri serigrafi baskı işleminde dokumanın boya geçirgenliğini belirleyen önemli parametrelerdir[22].



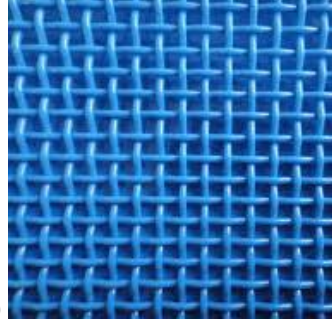
Serigrafi baskı işleminde kullanılan sentetik dokumalar, iki iplik sisteminin birbiriyle 90°'lik açı yapacak şekilde, dokuma örgülerine göre birleştirilmesiyle oluşur. Bu dokuma türüne 'bez ayağı dokuma' denilmektedir. Çözgü iplikleri belirli sayıda ve birbirlerine paralel halde bulunur.



Şekil 7. Dokuma makinesi



(a)



(b)

Şekil 8. (a) Polyester multifilament dokuma ve (b) Polyamidmonofilament dokuma

5. Üretim Prosesinde Baskı Kalitesi ve Kullanım Performansını Belirleyen Parametreler

5.1. Ham Madde aşamasında Sonucu Etkileyen Unsurlar

- Polimerin saf olmasının sağlanması (yüksek derecede filtrasyon)
- Polimer viskozitesinin uygun hale getirilmesi (yüksek çekim sıcaklığı viskoziteyi azaltmaktadır)

5.2. İplik Üretim Aşamasında Sonucu Etkileyen Unsurlar

- Düzenin her meme deliğinin eşit miktarda beslenmesi
- Düze altındaki ortam sıcaklığının uygun hale getirilmesi (soğutma hızının kontrol edilmesi)
- Filamentlerin aynı soğutma koşulu altında katılması sağlanmalıdır
- Filamentlerin bir araya getirilmesinin uygun şekilde yapılması (düzeye en yakın yerde bir araya getirme)
- Lif çekiminin uygun hale getirilmesi (eğirme geriliminin kontrol edilmesi)
- Düşük hızda çekim (düzgün polimer iletimi)

5.3. Dokuma Aşamasında Sonucu Etkileyen Unsurlar

- Çözüme atkı kaçığı oluşumları
- Çift atkı veya çift çözgü oluşumları
- Gergin veya gevşek çözgü
- İp düzgünlüğü[23].

6. Sonuç

Serigrafi baskı kalıbı olarak kullanılan sentetik dokumalar son aşamaya gelinceye kadar birçok işlemde geçmektedir. Bu işlemlerin bazıları ürünün sonucunu fazla etkilemezken bazı işlemler sonucun kalitesinde belirleyici olabilmektedir. Makalede serigrafi baskı tekniğinde kalıp malzemesi olarak kullanılan polyamid ve polyester sentetik dokumaların baskı kalitesini ve kullanım performansını belirleyen üretim unsurları analiz edilmiştir. Analiz, süreç bazlı olarak üretim işlem sırasına göre yapılandırılmıştır. Sentetik dokumanın üretim süreci, hammaddenin hazırlanmasından başlayarak dokumanın satışa hazır hale gelene kadar üç bölümden meydana gelmektedir. Her bölüm kendine özgü girdileri, çıktıları ve işlemleri vardır. Her bölümünün kendine ait sonucu etkileyen parametreleri vardır. Diğer endüstriyel üretim proseslerinde olduğu gibi sentetik dokuma üretim süreci ilk işlem süreci üretimin son aşamasına kadar sonucu belirlediği gibi kullanım performansını da belirleyen bir bütünsel yapı durumu oluşturmaktadır. Bu nedenle proseslerin hepsi aynı önem değeri ile en üst uygunlukta gerçekleştirilmeye çalışması gerekmektedir. Hatalı üretilen bir dokumanın kullanıldığı serigrafi baskı işleminde ne kadar özenli çalışma ortaya konulsa da dokumadan kaynaklanan problem baskı sonucunu etkilemesi kaçınılmaz olacaktır.

Baskı işleminde çok iyi şablon kalıp oluşumunu sağlamak, baskı işleminde mürekkebin baskı altı malzemeye ideal biçimde transferini sağlamak, dokumayı daha uzun süre verimli bir şekilde kullanmak, tüm unsurları ile istenen değerlerde üretilmesi ile sağlanabilecektir.

İyi bir dokuma ile vasat bir dokuma arasında baskı sonucu açısından belirgin farkların olması kaçınılmaz bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Serigrafi baskı operatörü bu farkı uygulamalı olarak test ettiğinde sorunlu dokumayı tercih etmemektedir. Ya da ekonomik gerekçelerden dolayı sadece kalitesi düşük baskı işlemlerinde kullanma yoluna gitmektedir. Bazen iyi dokuma olarak satın alınan bobinde sorunlu kısımlarla karşılaşmaktadır. Bunun sebebi yukarıda belirtilen unsurların bir ya da birkaçında stabil olması gereken değerlerin korunamamasından kaynaklanabilmektedir.

Bu makale, “Serigrafi Baskıda Fotomekanik Yöntemler” yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

Kaynakça

- [1] T. Şahinbaşkan, “Kumaş Baskısında Serigrafi Baskı Elek Sıklığının ve Rakle Açısının Tram Nokta Yapısına Etkisinin İncelenmesi”, Politeknik Dergisi Journal of Polytechnic, c. 12, s. 3, ss. 138, 2009.
- [2] M. Saçak, Polimer Kimyasına Giriş, Ankara, Türkiye: A. Ü. F. F. Yayınları, 1998, No. 50.
- [3] B. Beşergil, Polimer Kimyası, Ankara, Türkiye: Gazi Kitabevi, 2008, ss. 31.
- [4] E. Erdem ve İ. Morgit, “Lise Öğrencilerinin Temel Polimer Bilgileri Üzerine Bir Çalışma”, Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, s. 23, ss. 88, 2002.
- [5] J. Rivlin, The Dyeing of Textile Fibres - Theory and Practice, Philadelphia, A.B.D: 1992, ss. 170-175.
- [6] D. Yılmaz ve M. Kanık, “Poliamid Liflerinde Meydana Gelen Kimyasal Hasarın Tespiti”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, c. 14, s. 2, ss. 199, 2009.
- [7] P. Kayadibi, “Dar dokuma kumaş yapıları ve üretimi”, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2013.
- [8] E. Bayramlı, “Kompozit Polimerler”, Bilim ve Teknik, Şubat, s. 38, 1995.
- [9] Anonim, [Online]. Erişim: 10 Ağustos 2018, http://www.megop.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller/Yapay%20lifler.pdf
- [10] A. Demir, Sentetik Filament İplik Üretim ve Tekstüre Teknolojileri, 1. Baskı, İstanbul, Türkiye: Şan Ofset, 2006.
- [11] N. Erdem, Kimyasal Lifler, Ders Notları, İzmir, 2009.
- [12] Ş. Kara, “Farklı enine kesit şekillerinde üretilen kimyasal liflerin yapısal davranışları ve kullanım özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2011.
- [13] A. İlman, “Polyester Devamlı Lif ve Kesik Elyaf Üretim Sistemleri ve Özellikleri”, Seminer Notları, Tubitak-MAM/SAGEM Tekstil Enstitüsü, 1998.
- [14] S. Çirkin, “Yalancı büküm tekstüre işleminde tekstüre değişikliklerinin iplik özellikleri üzerindeki etkisi”, Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2006.
- [15] F. F. Yıldırım, O. Avınç ve A. Yavaş, “Poli (trimetilen Tereftalat) Lifleri Bölüm 1: Üretimi, Özellikleri, Kullanım Alanları, Çevresel Etkisi”, Tekstil ve Mühendis, c. 19, s. 87, ss. 44, 2012.
- [16] J. E. McIntyre, Synthetic fibers: Nylon, polyester, acrylic, polyolefin, 1. Baskı, Cambridge, İngiltere: Woodhead Publishing Limited, 2005.
- [17] M. Yakartepe ve Z. Yakartepe, Tekstil Teknolojisi Elyaf’tan Kumaş’a, İstanbul, Türkiye: T.K.A.M. Yayınları, 1995, c. 2.
- [18] C.B. Chapman, Fibres, 1. Baskı, Londra: İngiltere: Textile Book Service Press, 1974.
- [19] K. Alhalabi ve E.C. Sabır, “Anti Statik Yağın İplik Kalite Parametrelerine Etkisi”, Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, s. 26(2), ss.19-32, 2011.
- [20] S. Ömeroğlu, E. Karaca, B. Becerir ve E.B. Akbaş, “Poliester İpliklerde Kesit Büküm Mukavemet İlişkisi”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, c. 16, s. 2, ss. 46, 2011.
- [21] M. Akgün, H.R. Alpay ve B. Becerir, “Kumaş Yapılarındaki İpliklerin Reflektans Değişimlerinin İncelenmesi”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, c. 17, s. 2, ss. 92, 2012.
- [22] F.M. Şenol ve E. Türker, “Polyester Dokuma Kumaşların Su Geçirgenliğine Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi”, Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi, s. 2, ss.118, 2009.
- [23] T. Nakajima, Advanced Fiber Spinning Technology, İngiltere: Woodhead Publishing Limited, s.38, 1994.



Stratejik Çevresel Değerlendirme (SÇD) Yönetmeliği'nin Türkiye'nin Çevre Politikasına Katkısı

Abdulvahap Çağatay Dikmen^{1*}

¹TC. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevresel Etki Değerlendirmesi İzin ve Denetim Gn. Md., Çankaya, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4448-2649)

(İlk Geliş Tarihi 26 Şubat 2019 ve Kabul Tarihi 26 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.532951)

ATIF/REFERENCE: Dikmen, A.Ç., (2019). Stratejik Çevresel Değerlendirme (SÇD) Yönetmeliği'nin Türkiye'nin Çevre Politikasına Katkısı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 535-541.

Öz

Sürdürülebilir kalkınma, sosyal, ekonomik, çevresel, mekânsal ve kültürel boyutları içeren bir kavramdır. Çevre politikaları sosyal ve ekonomik politikalarla birlikte ele alınarak politika üretilmesi ile sürdürülebilir kalkınma hedefine ulaşılabilir. Stratejik Çevresel Değerlendirme (SÇD), sürdürülebilir kalkınma modeline hizmet eden en önemli çevre koruma araçlarından ve uluslararası yazında son 30 yıldır kullanılmaktadır. Stratejik çevresel değerlendirme ile çevre kirliliğinin oluşmadan önlenmesi ve sürdürülebilir bir gelecek için “çevre duyarlı kalkınma” hedeflenmektedir. SÇD, faaliyetlere çerçeve oluşturan politika, plan ve programlara çevresel unsurların entegre edilmesini sağlamaktadır. SÇD ile bir yandan gelişme stratejileri ve hedefleri belirlenirken, diğer yandan bu stratejilerin çevresel yönleri ve çevresel hedefleri belirlenerek, planlama ile değerlendirme sürecinin entegrasyonunu sağlamak ve sorunlar ortaya çıkmadan çözülebilmektedir. SÇD, Çevresel Etki Değerlendirme sürecini destekleyerek etkinliğinin artırılması ve planlama aşamasından proje aşamasına kadar bütüncül bir çevresel değerlendirmenin yapılması sağlamaktadır. Türkiye’de Avrupa Birliği SÇD Direktifi’nin uyumlaştırılması kapsamında bir dizi çalışma yürütülmüştür. Yapılan çalışmalar neticesinde hazırlanan SÇD Yönetmeliği 8 Nisan 2017 tarihinde Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelikle; atık yönetimi, balıkçılık, enerji, kıyı yönetimi, mekânsal planlama, ormancılık, sanayi, su yönetimi, tarım, telekomünikasyon, turizm ve ulaştırma sektörlerine ilişkin hazırlanan ve Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliğinin Ek-1 ve Ek-2 listelerinde yer alan projeler için çerçeve oluşturan plan/programlara Stratejik Çevresel Değerlendirme yapılması, bu sayılan her bir farklı sektörler için uygulamaya geçiş kademeli olarak öngörülmüştür. Bu çalışmada; Dünyada ve Türkiye’de Stratejik Çevresel Değerlendirme kavramının gelişimi, bu kapsamda Türkiye’de bugüne kadar yürütülen çalışmalar ve SÇD Yönetmeliği’nin kapsamı irdelenmiştir. Üst seviyede çevre korumanın sağlanmasında kullanılacak önemli bir mevzuat olmasının yanı sıra kamu kurumları arasındaki mevcut işbirliğinin geliştirilmesine katkı sağlayacak SÇD uygulamalarının Türkiye’nin sürdürülebilir gelişimine katkısı ve önemi tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çevre Politikası, Stratejik Çevresel Değerlendirme, Çevresel Etki Değerlendirme

Strategic Environmental Assessment (SEA) Regulations Contribution to Turkey's Environment Policy

Abstract

Sustainable development is a concept that includes social, economic, environmental, spatial and cultural dimensions. The objective of sustainable development can be achieved by developing policies in line with social and economic policies. Strategic Environmental Assessment (SEA) is one of the most important environmental protection tools that serve the sustainable development model and has been used for the last 30 years in the international literature. Strategic environmental assessment aims to prevent environmental pollution from occurring and environmentally sensitive development for a sustainable future. The SEA provides the integration of environmental elements into policies, plans and programs that form a framework for activities. While determining the development strategies and objectives with the SEA, the environmental aspects and environmental objectives of these strategies are determined,

*Sorumlu Yazar: TC. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevresel Etki Değerlendirmesi İzin ve Denetim Gn. Md., Çankaya, Ankara, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4448-2649, cagatay.dikmen@csb.gov.tr

and the integration of the planning and evaluation process is ensured and the problems can be solved without any problems. SEA, to enhance the effectiveness by supporting the Environmental Impact Assessment process and planning stages of the project phases to provide a holistic environmental assessment done. A number of studies have been carried out under the SEA Directive to harmonize the European Union in Turkey. The SEA Regulation prepared as a result of the studies has been published in the Official Gazette on April 8, 2017 and entered into force. With this regulation; the implementation of Strategic Environmental Assessment for the programs on waste management, fishery, energy, coastal management, spatial planning, forestry, industry, water management, agriculture, telecommunications, tourism and transportation, which form a framework for projects in the Annex-1 and Annex-2 lists of the Environmental Impact Assessment Regulation, are envisaged as well as the transition to implementation for each of these different sectors. In this study; The development of the concept of Strategic Environmental Assessment in the World and Turkey, in this context, Turkey carried out so far and the SEA Directive's scope of work was discussed. Turkey's contribution to the sustainable development of the upper level will be used to ensure the protection of the environment is an important addition to the existing legislation will contribute to improved cooperation between public institutions and the importance of the SEA implementation were discussed.

Keywords: Environmental policy, Strategic Environmental Assessment, Environmental Impact Assessment

1. Giriş

Sürdürülebilir kalkınma sosyal, ekonomik, çevresel, mekânsal ve kültürel boyutları da içinde barındıran bir kavramdır. Bir başka ifadeyle, sürdürülebilir kalkınma modeli, çevre politikalarını sosyal ve ekonomik politikalarla birlikte ele alınmasını gerektirmektedir. Bu anlamda, söz konusu kalkınma modeline hizmet edebilecek en etkili yöntemlerden birisi olan Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) 1969 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde çıkan Ulusal Çevre Politikası Kanunu (National Environmental Policy Act) kapsamında hayata geçirilmiştir. Yaklaşık 50 yıldır gerek ABD gerek AB ülkeleri, gerekse diğer dünya ülkelerinde uygulanmakta olan ÇED, halen en etkin çevre yönetim araçlarından biridir.

ÇED belirli bir proje veya gelişmenin, çevre üzerindeki önemli etkilerinin belirlendiği bir süreçtir. ÇED'in amacı ekonomik ve sosyal gelişmeye engel olmaksızın, çevre değerlerini ekonomik politikalar karşısında korumak, planlanan bir faaliyetin yol açabileceği bütün olumsuz çevresel etkilerin önceden tespit edilip, gerekli tedbirlerin alınmasını sağlamaktır. Bu süreç kendi başına bir karar verme süreci değildir; karar verme süreci ile birlikte gelişen ve onu destekleyen bir süreçtir (Özsabuncuoğlu İ., Uğur A.,2005).

1980'li yıllarda çevresel değerlendirme sistemleri belirli projeler için karar verme sürecinde kullanılmıştır. Bununla birlikte, çevresel değerlendirmenin sadece proje ölçeğiyle sınırlandırılması daha sürdürülebilir çıktılara ortaya çıkarabilecek stratejik seçeneklerin belirlenmesi için fırsatları sınırlandırmaktadır (OECD, 2006). 1980'lerin sonlarında birçok ülke tarafından stratejik dokümanlara (planlar, programlar, stratejiler, politikalar, mevzuatlar) çevresel değerlendirme yürütülmesine dair özel prosedürler ve yasalar geliştirilmeye başlanmıştır (UNDP, REC, 2006). 1990'ların başında çevresel değerlendirmenin politika, program ve planlara da uygulanmasına yönelik Stratejik Çevresel Değerlendirme yaklaşımı ortaya çıkmıştır.

2. Çevresel Değerlendirme Hakkındaki AB Direktifleri

Çevresel değerlendirme, karar verme sürecinden önce kararların çevresel etkilerinin dikkate alınmasını sağlayan bir araçtır. Çevresel değerlendirme direktiflerinin amacı, çevrenin korunmasını sağlamak ve çevresel etkilerin azaltılması amacıyla proje, plan ve programların hazırlanması sürecine çevresel unsurların entegre edilmesine katkıda bulunmaktır. Karar verme sürecine halkın katılımının sağlanması ile kararların kalitesinin artırılmasını hedeflediği için Çevresel Değerlendirme Direktifleri sürdürülebilir kalkınmanın çok önemli araçlarıdır (EC, 2013).

85/337/AET sayılı ÇED Direktifi 1985 yılından beri yürürlükte olup Direktif 1997, 2003 ve 2009 yıllarında olmak üzere üç kez değişikliğe uğramıştır. ÇED Direktifi, 1997 yılında yayımlanan 97/11/AT sayılı Direktif ile Sınıraşan Bağlamda ÇED Sözleşmesi (Espoo Sözleşmesi) ile uyumlu hale getirilmiştir. Eleme sürecine dair eleme kriterlerinde düzenlemeler yapılmış, Ek listelerinde bulunan projeler ve türlerinin kapsamı genişletilmiştir. 2003/35/AT sayılı Direktif ile karar verme sürecine halkın katılımı ve çevresel konularda yargıya erişime dair Aarhus Sözleşmesi'ndeki halkın katılımı hükümleri uyumlu hale getirilmiştir. 2009/31/AT sayılı Direktif ile ÇED Direktifinin Ek 1 ve Ek II listelerine ulaştırma ve karbondioksit depolama tesisleri eklenerek listelerde değişiklik yapılmıştır. 1985 yılında yayımlanan ÇED Direktifi ve üç değişikliği 2011/92/AB sayılı Direktif ile modifiye edilmiştir. Son olarak 2012 yılında Komisyon, ÇED Direktifi revizyonu için hazırlanan öneriyi kabul etmiştir (EC, 2013). 2014/52/AB sayılı Direktif ile 2011/92/AB sayılı ÇED Direktifinde değişiklik yapılmıştır.

Avrupa Birliği'nin sürdürülebilir kalkınmayı uygulamaya geçirme süreci ile birlikte "Bazı Planlar ve Programların Çevre Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesine İlişkin 27 Haziran 2001 tarih ve 2001/42/EC sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konseyi Direktifi (SÇD Direktifi)'ni yayımlanmış ve üye ülkelerin 21 Temmuz 2004 tarihine kadar bu direktif doğrultusunda kendi yönetmeliklerini çıkartmasını istemiştir.

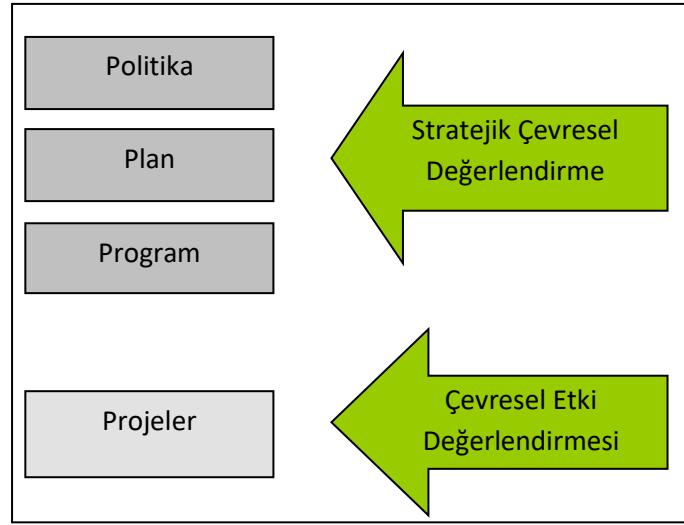
Plan ve programlara çevresel unsurların entegre edilmesini hedefleyen SÇD Direktifi politikaları kapsamamaktadır. SÇD Direktifinde, ÇED Direktifi ek listelerine benzer herhangi bir projeler listesi yer almamaktadır. AB SÇD Direktifi ile "...tarım, ormancılık, balıkçılık, enerji, endüstri, taşımacılık, atık yönetimi, su yönetimi, telekomünikasyon, turizm, kent ve kırsal planlaması ya da arazi kullanımı için hazırlanan ve 85/337/EEC sayılı Direktifin Ek I ve II'sinde sayılan projeler için çerçeve belirleyen ve Habitat

Direktifi kapsamında değerlendirme gerektirdiği belirlenen plan ve programlar, SÇD sürecine tabi tutulmaktadır. Genellikle, söz konusu plan/programlar kapsamında bulunmayanlar için Üye Ülkelerce eleme prosedürü yürütülerek plan/programların olası önemli çevresel etkilere sahip olup olmadığı belirlenerek SÇD kapsamına alınıp alınmayacağı tespit edilmektedir (EC, 2013).

3. Stratejik Çevresel Değerlendirme

Sürdürülebilir kalkınmanın uygulamaya dönük bir aracı olan SÇD; plan, program ve politikaların çevre üzerindeki olası olumsuz etkilerinin değerlendirilmesi ve bu etkilerin en aza indirgenmesi süreci şeklinde tanımlanmaktadır.

SÇD, çevre yönetiminin teknik araçlarından olan ve projeler düzeyinde uygulanan çevresel etki değerlendirmesinin ileri bir aşaması olarak, çevre üzerinde önemli etkiler yapması muhtemel belli plan ve programlar hakkında bir çevresel değerlendirme yapılmasını amaçlar. SÇD, üst düzeyde çevrenin korunmasını sağlamak, plan ve programların hazırlanması ve onayı/kabulü aşamasına sürdürülebilir kalkınma ilkesi doğrultusunda çevresel faktörlerin entegre edilmesine katkıda bulunmak üzere uygulanan bir değerlendirme sürecidir.



Şekil 1. Karar verme hiyerarşisine göre uygulanan çevresel değerlendirme araçları

SÇD, plan ve program sürecinin en erken safhasında devreye girmelidir. Planlama ile çevresel değerlendirme sürecinin eşgüdümü ve eşzamanlı yürütmesi sağlıklı ve çevre duyarlı bir gelişim sürecinin gerçekleştirilmesinde önemli noktalardan biridir. Bir yandan gelişme stratejileri ve hedefleri belirlenirken, diğer yandan bu stratejilerin çevresel yönlerinin ve çevresel hedeflerin belirlenmesi planlama ile değerlendirme sürecinin entegrasyonunu sağlayacak ve sorunlar ortaya çıkmadan çözülmüş olacaktır (The Worldbank, 2011).

4. Türkiye’de Stratejik Çevresel Değerlendirme Mevzuatı Hazırlık Çalışmaları

Avrupa Birliğinde SÇD Direktifinin yayımlanmasını müteakip, Türkiye’de çalışmalar başlamış ve yeterli kapasitenin oluşturulması amacıyla üç proje gerçekleştirilmiştir.

- AB Stratejik Çevresel Değerlendirme Yönetmeliği’nin Türkiye için Uyumlaştırılması ve Uygulanması Projesi (2003-2005)

MATRA Programı kapsamında 2003-2005 yılları arasında mülga Çevre ve Orman Bakanlığınca “Türkiye İçin Taslak bir SÇD Yönetmeliğinin Uyumlaştırılması ve Uygulanması Projesi” yürütülmüştür. Proje ile AB SÇD Direktifinde belirtilen tüm sektör temsilcileri ve etkilenen tüm tarafların katılımı ile taslak bir SÇD Yönetmeliği hazırlanmış ve bu yönetmeliğin işlerliği turizm sektöründeki bir pilot proje ile test edilmiştir. Taslak yönetmeliğin hazırlanmasının yanı sıra proje ile SÇD konusunda Türkiye’deki kurumsal altyapıyı geliştirme ve ileride uygulamaya geçecek bu sürece hazırlama amaçlı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında tüm proje ortaklarına SÇD eğitimi verilmiş ve SÇD uygulamalarında başvurulabilecek bir rehber oluşturulmuştur.

- Türkiye’nin Stratejik Çevresel Değerlendirme Uygulama Kapasitesinin Arttırılması Projesi (2008-2009)

SÇD konusundaki çalışmalar, 2008 yılında yürütülen MATRA programı destekli “Türkiye’nin Stratejik Çevresel Değerlendirme Uygulama Kapasitesinin Arttırılması Projesi” ile devam etmiştir. Bu proje ile SÇD Direktifinin ve SÇD Yönetmeliğinin uygulanması için kapasitenin, farkındalığın arttırılması ve SÇD konusunda eğitim verme kapasitesine sahip olacak kamuda bir SÇD takımının kurulması, SÇD için kaynak ve eğitim materyallerinin hazırlanması hedeflenmiştir.

Bu projede, Kayseri İli 1/50.000 ölçekli Çevre Düzeni Planı, SÇD uygulanacak pilot proje olarak belirlenmiştir. Taslak SÇD Yönetmeliği’nde belirtilen süreçten farklı olarak, kapsamaştırma toplantısından önce yörede iki ön toplantı gerçekleştirilerek yöredeki sorunların, güçlü yönlerin öğrenilmesi ve yörede stratejik çevresel değerlendirme konusunda farkındalığın arttırılması hedeflenmiştir.

- Türkiye’de Stratejik Çevresel Değerlendirme Yönetmeliği’nin Desteklenmesi Projesi(2014-2016)

Avrupa Birliği ve Türkiye tarafından finanse edilen “Stratejik Çevresel Değerlendirme Yönetmeliği’nin Uygulanması Teknik Yardım Projesi” 2 yıl süresince Çevre ve Şehircilik Bakanlığı koordinasyonunda ilgili kamu kurum ve kuruluşları, üniversiteler, STK’lar ve meslek odalarının da katılımlarıyla gerçekleştirilmiştir.

Proje; “Dört sektörde SÇD pilot uygulamaları, Kapasite Geliştirme Faaliyetleri ve Taslak SÇD Yönetmeliğinin revizyonu çalışmaları” olmak üzere 3 bileşenden oluşmaktadır. Proje kapsamında, su yönetimi, yenilenebilir enerji, tarım ve bölgesel kalkınma olmak üzere 4 farklı sektörde ilgili kamu kurumlarıyla birlikte “Pilot Stratejik Çevresel Değerlendirme Uygulamaları” pilot uygulamaları karşılıklı işbirliği ile gerçekleştirilmiştir. SÇD pilot sektörleri ve ilgili planları Şekil 2’de verilmektedir.

Tablo 1. SÇD Pilot Uygulamaları

Sektör	Plan
Su Yönetimi	Büyük Menderes Nehir Havza Yönetim Planı
Yenilenebilir Enerji	Konya-Karapınar Enerji İhtisas Endüstri Bölgesi-GES Planlama Çalışması
Tarım	Bozcaada-Gökçeada Tarım Master Planı
Bölgesel Planlama	Ankara Bölge Planı

Proje genelinde kapasite arttırmaya yönelik çalışmalarla kamu kurum ve kuruluşları, üniversite, STK ve özel sektörden yaklaşık 1000 temsilciye Stratejik Çevresel Değerlendirme konusunda eğitim verilmiştir. İngiltere, Danimarka, Hollanda, İtalya, Çek Cumhuriyeti, Hırvatistan olmak üzere altı AB Üye Ülkesinde AB SÇD Direktifi’nin iç hukuka uyarlanması konusunda, ÇED/SÇD süreçlerinin değerlendirilmesi ve ÇED/SÇD organizasyonel yapısına ilişkin raporlar hazırlanmıştır (CSB).

Söz konusu tüm çalışmalar ışığında Taslak SÇD Yönetmeliği gerçekleştirilen 3 toplantı ile gözden geçirilerek revize edilmiştir. Önceki projeler ile hazırlanan Taslak SÇD Yönetmeliği gerçekleştirilen 3 toplantı ile gözden geçirilerek revize edilmiştir (CSB).

5. Stratejik Çevresel Değerlendirme Yönetmeliği

26.04.2006 tarihinde değiştirilen Çevre Kanunu’nun 10. maddesinde, SÇD ile ilgili usul ve esasların çıkarılacak SÇD Yönetmeliği’nde yer alacağı belirtilmiştir.

SÇD Yönetmelik taslağı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nca yapılan projelerin çıktısı olarak hazırlanmış, ilgili kamu kurum ve kuruluşları ile sektör temsilcilerinin görüşleri nihai hale getirilmiştir. Yönetmelik 8 Nisan 2017 tarihli ve 30032 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu Yönetmeliğin amacı; çevrenin korunmasını sağlamak üzere sürdürülebilir kalkınma ilkesi doğrultusunda, çevre üzerinde önemli etkiler yapması beklenen plan/programların hazırlanması ve onayı sürecine çevresel unsurların entegre edilmesi için uygulanan Stratejik Çevresel Değerlendirme sürecinde uyulacak idari ve teknik usul ve esasları düzenlemektir.

Bu Yönetmelik; atık yönetimi, balıkçılık, enerji, kıyı yönetimi, mekânsal planlama, ormancılık, sanayi, su yönetimi, tarım, telekomünikasyon, turizm ve ulaştırma sektörlerine ilişkin hazırlanan ve Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliğinin Ek-1 ve Ek-2 listelerinde yer alan projeler için çerçeve oluşturan plan/programlara Stratejik Çevresel Değerlendirme yapılması, yaptırılması, izlenmesi ve eğitim verilmesine ilişkin idari ve teknik usul ve esasları kapsamaktadır.

Yönetmeliğe göre SÇD “Yönetmeliğin kapsamında yer alan sektörler için kamu kurum/kuruluşlarınca hazırlanacak onaya/kabule tabi plan/programların planlama/programlama sürecinin başlangıcından itibaren, çevresel değerlerin plan/programa onayından/kabulünden önce entegre edilmesini sağlamak, plan/programın olası olumsuz çevresel etkilerini en aza indirmek, olumlu etkilerini de en üst düzeye çıkarmak ve karar vericilere yardımcı olmak üzere katılımcı bir yaklaşımla sürdürülen ve yazılı bir raporu da içeren çevresel değerlendirme çalışmalarını” içerecektir.

SÇD Yönetmeliği’ne göre, SÇD sürecinde prosedüre dair başlıca aşamalar şunlardır:

1	• ELEME • Planlama dokümanı için SÇD uygulanıp uygulanmayacağına karar verilmesi,
2	• KAPSAM BELİRLEME • SÇD için kapsam belirlenmesi - Kapsam Belirleme Raporu Hazırlanması
3	• STRATEJİK ÇEVRESEL DEĞERLENDİRME RAPORUNUN HAZIRLANMASI • SÇD Raporu hazırlanması (İstişare Toplantısı)
4	• KALİTE KONTROL • Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından SÇD Raporu'nun kalite kontrolünün yapılması
5	• PLAN YA DA PROGRAM İLİŞKİN KARAR • SÇD kararlarının/ bulgularının planlama dokümanına entegrasyonu
6	• BİLGİLENDİRME ve İZLEME • Planlama dokümanının çevre ve sağlık üzerine etkilerinin yetkili kurum tarafından bütün uygulama süreci boyunca izlenmesi

Roller ve Sorumluluklar:

Planları hazırlamaktan ve onaylamaktan/kabul etmekten sorumlu Yetkili Kurumlar, SÇD'yi uygulama ve prosedürü zamanında başlatmaktan sorumludur. SÇD Yönetmeliği uyarınca bu kurumların aşağıdakileri yerine getirmesi gerekmektedir:

- Hazırlanmakta olan taslak plan/programa dair bilgi yayınlamak;
- SÇD'ye ilişkin Kapsam Belirleme Raporu Hazırlamak;
- Kapsam Belirleme ile ilgili bilgi yayınlamak ve Kapsam Belirleme Toplantısı düzenlemek;
- SÇD Raporu hazırlamak;
- SÇD Raporu ile ilgili bilgi yayınlamak ve İstişare Toplantısı düzenlemek;
- SÇD Raporuna ve plan/programa elde edilen görüş ve yorumları dikkate alarak/entegre ederek tamamlamak,
- Plan/programın uygulanması sonucu ortaya çıkan etkileri izlemek

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın (SÇD Otoritesi) sorumlulukları şunlardır:

- SÇD sürecinin genel denetimi;
- SÇD uygulanması veya uygulanmaması konusunda veya SÇD kapsamı (eleme) ile ilgili karar verilmesi;
- Kapsam Belirleme ve SÇD Raporları için dikkate alınacak olan girdiler/yorumlar/öneriler temin edilmesi;
- Plan/program için hazırlanacak olan SÇD Raporunun yeterliliği konusunda kalite kontrol sürecinin yürütülmesi ve bir karar hazırlanması.

Plan/programın uygulanması ile ilgili diğer kurum veya kuruluşlar, STK'lar ve halk danışma sürecinde yer alır ve özellikle çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerin ve alternatiflerin belirlenmesi amacıyla, plan/programın hazırlanması ile ilgili olarak ve SÇD'ye ilişkin Raporların hazırlanması ile ilgili olarak görüşlerini sunarlar.

SÇD Yönetmeliği; atık yönetimi, balıkçılık, enerji, kıyı yönetimi, mekânsal planlama, ormancılık, sanayi, su yönetimi, tarım, telekomünikasyon, turizm ve ulaştırma sektörlerine ilişkin hazırlanan ve 25/11/2014 tarihli ve 29186 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliğinin Ek-1 ve Ek-2 listelerinde yer alan projeler için çerçeve oluşturan plan/programlara Stratejik Çevresel Değerlendirme yapılması, yaptırılması, izlenmesi ve eğitim verilmesine ilişkin idari ve teknik usul ve esasları kapsamaktadır.

SÇD Yönetmeliğinin Geçici 2. Maddesinde belirtildiği üzere farklı sektörler için uygulamaya geçiş kademeli olarak öngörülmüştür. SÇD Yönetmeliği;

- a) Kıyı yönetimi, mekânsal planlama, su yönetimi, tarım ve turizm sektöründe hazırlanan SÇD'ye tabi plan/programlar için yayımı tarihinden itibaren,
- b) Balıkçılık, ormancılık sektöründe hazırlanan SÇD'ye tabi plan/programlar için 1/1/2020 tarihinden itibaren,
- c) Atık yönetimi, enerji, sanayi, telekomünikasyon ve ulaştırma sektöründe hazırlanan SÇD'ye tabi plan/programlar için 1/1/2023 tarihinden itibaren uygulanmaya başlanır. hükmü yer almaktadır.

SÇD Yönetmeliği çerçevesinde henüz mevzuat doğrultusunda bir uygulama gerçekleştirilmemiş olmasına karşın ilk uygulamaların su yönetimi, tarım, turizm, mekânsal planlama ve kıyı yönetimi sektörlerinde hazırlanan plan/programlara olması beklenmektedir.

6. Stratejik Çevresel Değerlendirme Uygulamalarının Önemi

Stratejik çevresel değerlendirme ile çevre kirliliğinin oluşmadan önlenmesi ve sürdürülebilir bir gelecek için “çevre duyarlı kalkınma” hedeflenmektedir. SÇD Yönetmeliği kapsamında gerçekleştirilecek uygulamalarla enerji, sanayi, tarım, turizm, mekânsal planlama gibi tüm sektörel planlamalara çevre boyutunun da eklenmesi söz konusu olacaktır. Stratejik Çevresel Değerlendirme sayesinde havza bazında ya da bölgesel ve geniş ölçekte bir çevresel değerlendirme yapılacağından, hayata geçecek projelerin etkileri de çok önceden ortaya konacak ve gerekli önlemler de planlama aşamasında alınabilecektir. Böylelikle, yatırım yapılabilecek alanlar, korunması gereken alanlar ÇED’e gelmeden önce belirlenebilecektir.

Stratejik Çevresel Değerlendirme;

- Çevre duyarlı sektörel strateji, plan ve programların hazırlanmasına,
- ÇED’den önceki aşamada yer seçiminin yapılabilmesine,
- Kümülatif ve geniş ölçekli etkilerin belirlenmesi ve değerlendirilmesine,
- Bölgesel bazda, havza bazında birden fazla projenin çevresel etkilerinin değerlendirilmesine,
- Şeffaf ve uzlaşıya dayalı sektörel kararların verilebilmesine,
- Zaman ve kaynakların etkin kullanımına olanak sağlayacaktır.

7. Sonuç

Çevre politikaları ile çevresel sorunların çözümü için ilke ve önlemler belirlenmektedir. Çevre politikalarının uygulanmasında önemli bir role sahip olan çevre yönetimi ise çevre, doğal ortamlar ve insanlar arasındaki ilişkilere dair süreçleri yönetmeyi amaçlar. Çevre yönetiminin teknik araçlarından olan ve sürdürülebilir kalkınmanın uygulamaya dönük bir aracı olan stratejik çevresel değerlendirme ile kentleşme, sanayileşme, enerji, madencilik, turizm, ulaştırma gibi sektörel gelişim süreçlerinin yönetilmesi hedeflenmektedir.

Stratejik Çevresel Değerlendirme halihazırda dünyanın en gelişmiş ülkeleri de dahil olmak üzere çok sayıda ülkede uygulanmaktadır. SÇD Yönetmeliği, turizm, ulaştırma, sanayi enerji, tarım gibi önemli sektörlerde kamu kurumları tarafından hazırlanan yatırımların çerçevesini belirleyen plan ve programlara uygulanan ve birçok yetkili kamu kurum ve kuruluşunun yanı sıra üniversite, STK, meslek odaları, halk gibi pek çok farklı paydaş kitleyi ilgilendiren çok kapsamlı bir mevzuattır.

Türkiye’de 8 Nisan 2017 tarihinde yürürlüğe giren SÇD Yönetmeliği ile kademeli bir uygulamaya geçiş süreci öngörülmekle beraber 2023 yılı itibarıyla tüm sektörler itibarıyla tam uygulama başlamış olacaktır. Stratejik Çevresel Değerlendirme Yönetmeliği ile çevre kirliliğinin oluşmadan önlenmesi ve sürdürülebilir bir gelecek için “çevre duyarlı kalkınma” hedeflenmektedir.

Stratejik Çevresel Değerlendirme Yönetmeliği’nin ülkemizde uygulanması ile; doğal varlıkların korunması, geliştirilmesi ve kirliliğin önlenmesi, özellikle planlama ve karar alma süreçlerinde çevresel etkilerin en erken aşamada değerlendirilmesi ve planlama süreçlerine halkın etkin katılımı sağlanacaktır. SÇD; çevre politikalarıyla uyumlu plan, program ve karar-alma süreçlerinin geliştirilmesi ve aynı zamanda yeni çevre politikalarının oluşturulması için ihtiyaç duyulan yeni politika alanlarının belirlenmesinde kilit öneme sahiptir. SÇD uygulamaları doğrultusunda kalkınmaya yönelik sektörel kararların planlanmasında hem ülkemiz mevzuatları hem de uluslararası taraf olunan sözleşmeler kapsamında korunması gereken alanlar bir başka deyişle duyarlı (hassas) alanlar göz önünde bulundurularak çevre politikaları kapsamındaki tüm süreçlerin yönetilmesi için üst ölçekte gerekli tedbirlerin alınması sağlanmış olacaktır.

Stratejik Çevresel Değerlendirme uygulamaları mevcut ÇED uygulamalarına büyük katkı sağlayacaktır. ÇED sürecini destekleyerek etkinliğinin artırılması ve planlama aşamasından proje aşamasına kadar bütüncül bir çevresel değerlendirmenin yapılması sağlanacaktır. SÇD sayesinde bölgesel ve geniş ölçekte değerlendirme yapılacağından, hayata geçecek projelerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki kümülatif etkileri de değerlendirilecektir. Yatırım yapılacak alanlar önceden belirleneceğinden ülkemiz yatırımları daha hızlı ve sağlıklı gerçekleşecektir.

Biyolojik çeşitlilik, su, hava, toprak, iklim faktörleri, kültürel miras konularının yanı sıra insan sağlığı, nüfus, göç konuları ile ekonomik etkiler de dikkate alınarak sürdürülebilir planlar geliştirilecektir. Söz konusu planların uzlaşıya dayalı ve şeffaf olmasını sağlamak üzere çevre ve insan sağlığı ile ilgili kamu kurum /kuruluşlar, üniversiteler, meslek odaları ve halkın görüş ve önerileri SÇD sürecinin her aşamasında alınacağından, ilgili tarafların görüşleriyle şekillenen planlar hazırlanacaktır. Diğer taraftan, SÇD uygulanan mekânsal ve sektörel planların hazırlanması süreçlerinde riskli alanlar, doğal afetler, risklere hassasiyet ve enerji verimliliği hususlarının da dikkate alınması ve bu doğrultuda plan/program tedbirlerinin/kararlarının geliştirilmesi sağlanacaktır.

Çevre mevzuatlarının çerçevesi niteliğinde olacak Stratejik Çevresel Değerlendirme Yönetmeliği, sadece üst seviyede çevre korumanın sağlanmasında kullanılacak önemli bir mevzuat olmasının yanı sıra kamu kurumları arasındaki mevcut işbirliğinin daha da geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Bir başka ifadeyle, stratejik çevresel değerlendirme uygulamalarının yaygınlaşmasıyla tüm sektörlerin “sürdürülebilir” ve “çevre dostu” plan ve programlar dahilinde gelişmesi sağlanacaktır.

Kaynakça

- European Commission DG ENV, 2009. "Study concerning the report on the application and effectiveness of the SEA Directive (2001/42/EC) Final Report".
- European Commission DG ENV, 2013. [<http://ec.europa.eu/environment/eia/eia-legalcontext.htm>]. (Erişim tarihi: 20/01/2019)
- European Commission DG ENV, 2013. [<http://ec.europa.eu/environment/eia/sea-legalcontext.htm>]. (Erişim tarihi: 20/01/2019)
- OECD, 2006. "Applying Strategic Environmental Assessment", OECD Publishing.
- Özşabuncuoğlu İ., Uğur A., 2005. "Doğal Kaynaklar: Ekonomi, Yönetim ve Politika", İmaj Yayınevi, Ankara.
- The Worldbank, 2011. Strategic Environmental Assessment in Policy and Sector Reform. Conceptual Model and Operational Guidance, Washington D.C.
- TMMOB Peyzaj Mimarları Odası (2011/2). Stratejik Çevresel Değerlendirme ve Planlama. Editör: Doç.Dr. Nuriye Peker Say, Ankara.
- UNDP, REC, 2006. "A Guide to Strategic Environmental Assessment",Tbilisi,pp.1-7.
- Commission's guidance on the implementation of Directive 2001/42/EC, 2003. <http://ec.europa.eu/environment/eia/sea-support.htm>. (Erişim tarihi: 22/01/2019)
- Stratejik Çevresel Değerlendirme Yönetmeliği'nin Uygulanması Teknik Yardım Projesi <http://scd.cevre.gov.tr/> (Erişim tarihi: 22/01/2019)



Predictability of Fog Visibility with Artificial Neural Network for Esenboga Airport

Kahraman Oğuz^{1*}, Muhammet Ali Pekin²

¹ Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5305-6145)

² Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6807-890X)

(First received 1 January 2019 and in final form 26 March 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.452598)

ATIF/REFERENCE: Oğuz, K. & Pekin, M. A. (2019). Predictability of Fog Visibility with Artificial Neural Network for Esenboga Airport. *European Journal of Science and Technology*, (15), 542-551.

Abstract

Fog event affects air, land and sea transportation adversely by reducing visibility, thus causes economic loss. Besides, it has an important role in construction planning. For this reason, it is very important to predict visibility before and during fog events. In this study, fog visibility prediction was made with artificial neural networks and validations were made for Esenboğa Airport. Temperature, dew point temperature, pressure, wind speed and relative humidity, which are considered to be the most important parameters for fog occurrence, were used for 2013-2015 years to train an artificial neural network. We selected only January, February, November and December months, as those are the foggiest months for Esenboğa airport. Correlation of test part was evaluated after training. Then, whole data for 2016-2017 years (regardless of fog existence) were used for validation of the output again. As a result, we found a correlation value (R) of 0.80 for the test part of 2013-2015 years; R=0.41 and root mean square error (RMSE) of 2652m for all data of the 2016 year; and R = 0.53 and RMSE = 2464m for all data of the 2017 year. The error rate (R = 0.80) for the test part (2013-2015) was found acceptable. However, consistencies for the years 2016 and 2017, when all data were tested regardless of fog existence were found below expectations.

Keywords: Artificial neural network, Levenberg-Marquardt method, Fog estimation, Esenboğa Airport.

* Sorumlu Yazar: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5305-6145, koguz@mgm.gov.tr

1. Introduction

Fog is a phenomenon in which water droplets and/or ice crystals near the surface are completely suspended in the air, reducing the visibility below 1 km. The appearance of the fog can basically be considered as a function of the humidity and temperature of the air. For saturated air, the liquid water content increases with the moisture as a result of evaporation from the wet surface or with the horizontal and vertical mixture. However, when a fog occurs, it is expected that the wind conditions at the lowest levels of the atmosphere will be calm. The fog phenomenon is under the influence of many meteorological factors. For this reason, the fog phenomenon is a complex meteorological phenomenon, and predictability of this is very difficult with simple methods. As a matter of fact, despite the use of various atmospheric models for the prediction of the visibility reduction due to fog around the world, an effective method has not been developed at present. The first reason for this is the lack of sufficient knowledge of the fog physics in current operational models. In most of the operational models, cloud schemes for rainfall are designed instead of fog clouds. Numerous important processes such as gravitational settlement on the surface of the system, surface layer turbulence are not considered in the cloud schemes. The second reason is that the operational models do not have enough resolution for fog representation. The third reason is that the operational fog forecasting is usually not carried out directly with a numerical weather forecasting model, but with a post-processor model. However, such models are rarely operated properly due to very high operating and maintenance costs [1].

The use of artificial neural networks (ANN) in modeling studies is increasing day by day because of low cost and reliable results. ANN is a powerful data modeling tool that can basically capture and represent complex input and output relationships. The motivation for the development of neural network technology systems comes from the desire to implement an artificial system that can perform intelligent tasks similar to those performed by the human brain. A neural network model is a structure that can be adjusted to produce a match to the properties of the data or a relationship between them with a particular set of data. The model is set or trained using a set of data taken as input from a particular source and often referred to as a training set. After this training, the neural network can classify, predict or simulate according to the new data coming from the same or similar sources [2].

Modeling studies have been carried out with ANN for many years all over the world. Fabbian et al. [3] applied the ANN method using 44-year observational data for the Canberra international airport, which is one of Australia's foggy regions. As input in the model, they have trained the parameters of temperature, dew temperature, wind intensity and direction, average sea level pressure, total cloud cover, visibility and rainfall. As a result, they concluded that the model had good predictive power. Again, Colabone et al. [4] used the ANN method to estimate the fog using 1989-2008 data obtained from Academia da Forca Aérea, the place where flight activities were performed. In the model, temperature, relative humidity, pressure and wind speed parameters were trained. As a result, they concluded that the method's performance they studied on is $R = 0.95$ for the region. In the study conducted by He et al. [5], the relationship between the temperature, relative humidity, air pressure and wind speed parameters and the visibility was investigated by using the ANN method. As a result, the difference between the predicted and actual visibility was found as 7.56%. In spite of all these studies, no study has been conducted with ANN for the estimation of visibility in Turkey. In this study, Esenboğa airport was trained by Levenberg-Marquardt method which is one of the ANN methods with 2013-2016 year's visibility, temperature, dew point temperature, pressure, wind speed and relative humidity observation data. Validation and testing of the results obtained afterwards were carried out.

2. Material and Methodology

2.1. Study Area

Esenboğa Airport is located 28 km north of Ankara on the border of Çubuk District and the airport is located on topographical level of 1200-1400 m in the north, west and southwest of 800-1200 m altitude [6, 7]. The image of the location and surroundings of Esenboğa airport, which serves approximately 16 million passengers per year, is presented in Figure 1. In the meteorology office of Esenboğa, which is located in the airport, there is a METAR every half hour and SPECI are made if needed. Meteorology office of Esenboğa airport publishes short and long term forecasts (TAF) and SIGMET messages.



Figure 1. Location of Esenboğa airport

In order to evaluate the fog condition of Esenboğa Airport, annual and seasonal fog condition was investigated. Figure 2 shows annual and seasonal foggy day (fog observations) numbers.

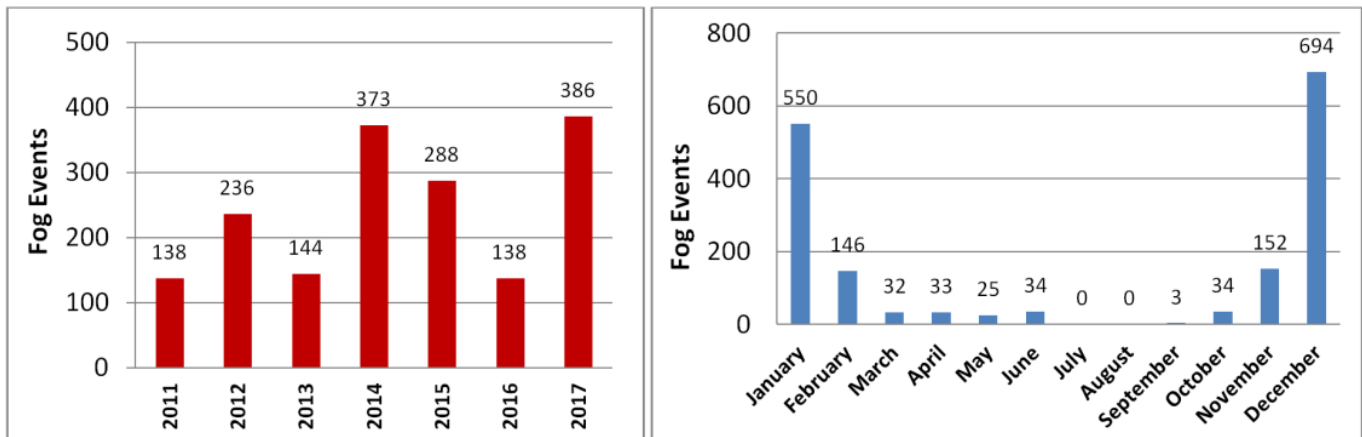


Figure 2. Annual (left figure), seasonal (right figure) fog observation numbers of Esenboğa Airport

It is observed that the number of fog observations, which was 138 and 236 in 2011 and 2012, increased up to 373 in 2014. The number of fog observations that shows declining trend afterwards dropped up to 138 in 2016, but increased significantly up to 386 in 2017. Seasonally, it is seen that December and January months are the foggiest periods. While 694 fog observations were seen in December, 550 fog observations were seen in January. No fog event was observed in July and August, and 3 fog observations in September.

2.2. Data Set

We used MATLAB program to evaluate ANN. The dataset used as an input into the ANN model is obtained from the METAR and SPECI codes of the General Directorate of Meteorology for the years 2013-2017 belonging to Esenboğa Airport. METAR is a meteorological report showing meteorological conditions that are published at regular intervals (30-minute or 1-hour periods) determined by regional agreements and that are subject to an aerodrome. SPECI is a special meteorological report, which is identical to METAR coding, published to inform operators of improvements as supplementary or supplemental information to METAR if there are significant changes (fog etc.) affecting aviation activities between two METAR periods [8].

2.3. Artificial Neural Networks and Levenberg-Marquardt Training Method

Artificial Neural Network (ANN) is a mathematical model that operates by taking into account the structure and functionality of biological neural networks. The basic structure of each artificial neural network is an artificial neural cell, a simple mathematical function. Such a model has three sets of simple rules: multiplication, addition, and activation. At the entrance of ANN, the weight of the entries means that each input value is multiplied by the individual weight. In the middle part of the artificial neuron, there is a collecting function that collects all the weighted inputs and tendencies. At the exit of the artificial nerve cell, the sum of the pre-weighted entries and trends passes to the activation function, also called the transfer function [9].

ANN has a multilayered structure because it consists of a combination of many simple nerve cells. The layers in the ANN, the cells in each layer, bring links to information from one layer to another, as if it were an information network. In such a network there are parallel strata and communication paths that provide sequential connections between cells and their interiors [10]. Figure 3 shows the YSA model scheme considered in this study.

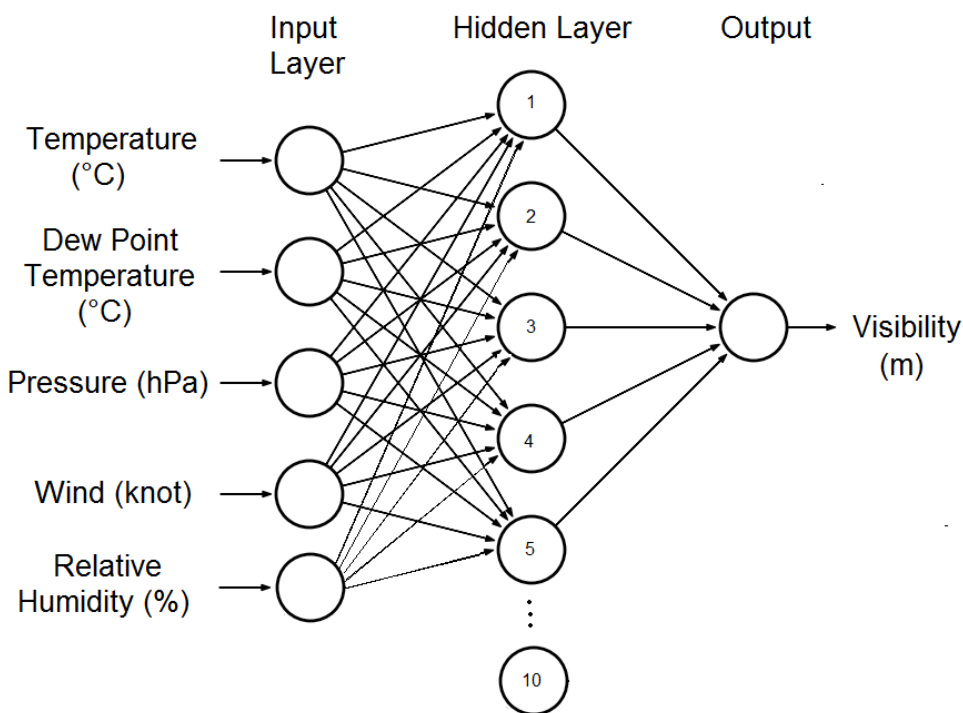


Figure 3. Artificial Neural Network Scheme (Input, Hidden and Output Layers)

There are many different types of ANN, and many of them are used quite frequently. Since the first neural model developed by McCulloch and Pitts [11], he has developed hundreds of different models. The main differences between them are functions, accepted values, topology and learning algorithms. There are also many hybrid models in which each neuron has more features. However, one of the most common models used in ANN is backpropagation [12] algorithms.

In the study, tangent hyperbolic activation function (Tanh) in training phase (hidden layer) and pureline (linear) function in output layer were used. The tanh activation function provides the curvilinear relationship between the input and output units. Correct selection of the activation function significantly affects the performance of the network. Tanh is widely used in ANN nowadays. Tanh is a function similar to the sigmoid function. For this activation function, the output value is usually between [-1,1] or [0,1]. This is usually a non-linear function. The use of nonlinear activation functions enabled the application of artificial neural networks to complex and very diverse problems [13]. The tangent hyperbolic function $f(x)$ with bipolar property is shown in as follows:

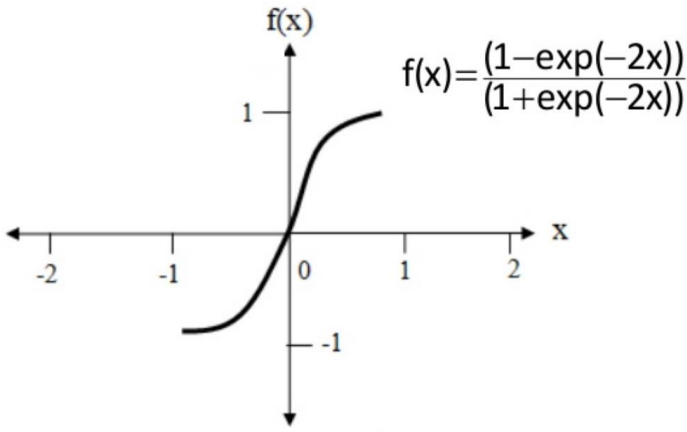


Figure 4. Tangent hyperbolic activation function used in the hidden layer

Neuron output varies linearly according to the change of neuron input in the pureline activation function used in the output layer. The range of change in the output value is in the range [-1 1]. The graph of the pureline activation function [14] is shown in Figure 5.

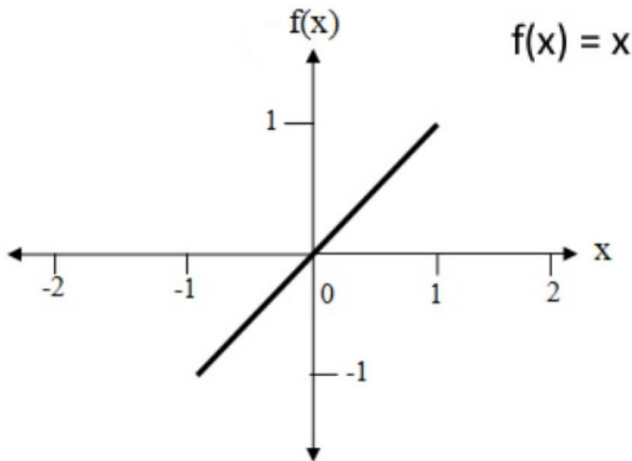


Figure 5. Pureline activation function used in the output layer

The Levenberg-Marquardt training method (algorithm), which is applied to the ANN model in the study, is a forward-feed and postback method. The Levenberg-Marquardt algorithm, which is derived from steepest descent and Newton's algorithm, is given below (Equation 1).

$$\Delta w = (J^T J + \mu I)^{-1} J^T e \tag{1}$$

here; w weight vector, I unit matrix, μ combination coefficient. J ($P \times M$) is the Jacobian matrix of dimension xN , and e ($P \times M$) is the error vector of dimension $x1$. P represents the number of training samples, M is the number of outputs, and N is the number of weights. μ is an adjustable parameter. If this parameter is too large, the method behaves like the Newton method if the method is very small, such as the steep descent method. An adaptive structure for this parameter is shown in Equation 2:

$$\mu(n) = \begin{pmatrix} \mu(n-1)k & E(n) > E(n-1) \\ \mu(n-1)/k & E(n) \leq E(n-1) \end{pmatrix} \tag{2}$$

Where k is a fixed number. E eligibility [15].

Correlation of the results was done using Correlation Coefficient (R) and Mean Error Squares Root (RMSE). The correlation coefficient indicates the relation and the degree between the two variables. Values are between -1 and +1. If the R -value is greater than 0.70, the existence of a high correlation can be mentioned. The correlation coefficient is calculated from the formula shown in Equation 3:

$$R = \frac{\Sigma(xy) - (\Sigma x)(\Sigma y)/n}{\sqrt{(\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2/n)(\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2/n)}} \tag{3}$$

where x and y represent the variables of interest.

The mean error squares are the root of the mean of the root, the difference between the estimated and the actual. The result of the obtained result means that the created model is very good. It is calculated by the formula shown in Equation 4:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad (4)$$

Where \hat{y}_i is the calculated data and y_i is the estimated data.

3. Results

In this study, it is aimed to estimate the visibility for Esenboğa airport by using ANN model. Ground observation data from the months of January, February, November and December in 2013-2015 (Fig. 3) were used as the model input data set at Esenboğa airport. These months are known to be the foggiest months. However, total number of no-fog observations (15152) are 7 times more than total number of fog phenomena (2359). Therefore, we removed most of the non-fog observations. In this way, it is aimed to focus on the change in the periods of the fog effect of the artificial neural network.

A total of 2623 ground observation data were available in the input data set. 90% (2361) of them were used for training, 5% (131) for validation and 5% (131) for testing purposes. Whole dataset of 2016 and 2017 years were only used for the test regardless of fog (35572). The results obtained for training, validation and testing are presented in Fig. 6.

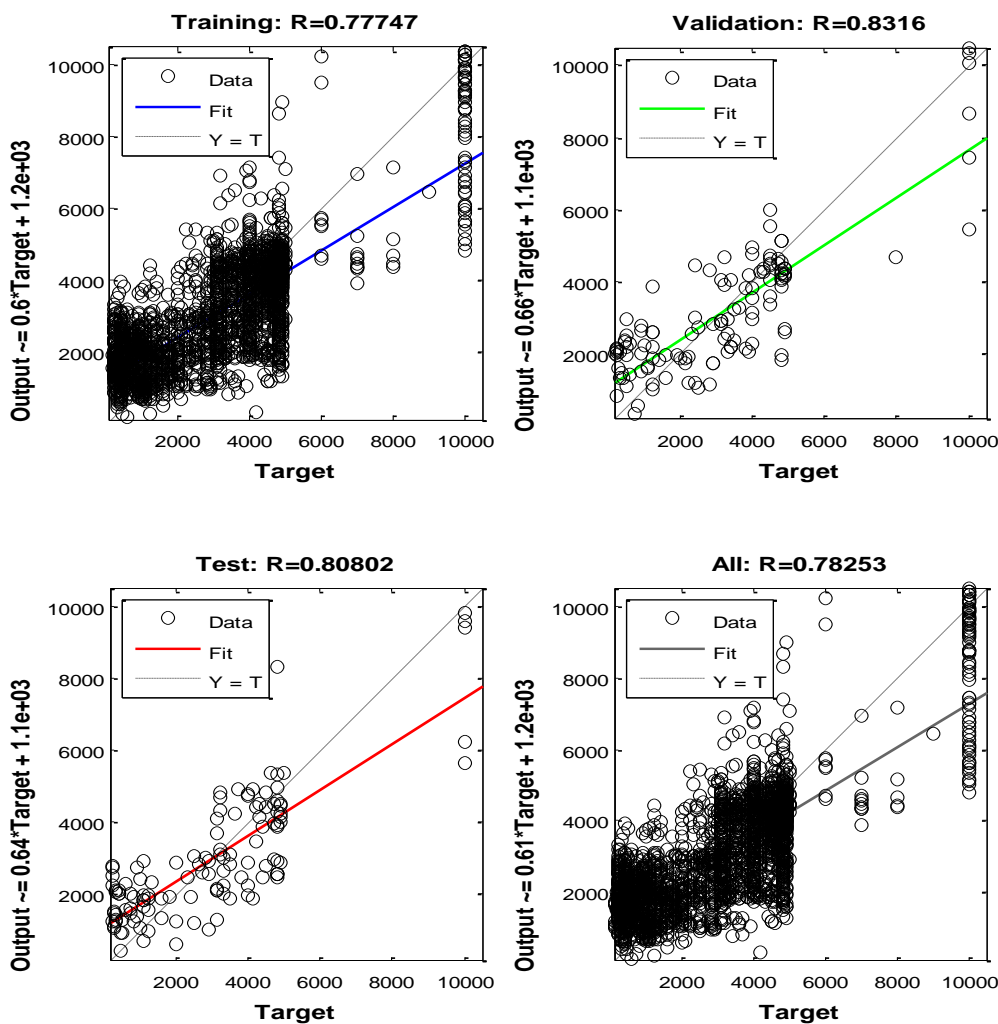


Figure 6. Education Results (2013-2015) of ANN Model

According to the obtained results, the correlation coefficient is calculated as $R = 0.77$ for the trained part, $R = 0.83$ for the validation part, $R = 0.80$ for the test part and $R = 0.78$ for the whole part. Mean error squares were found as $RMSE = 1300$ m. These correlation coefficients show that there is a high correlation between what is estimated by the ANN model and what happens. These results are considered as acceptable.

The test results for the years of 2016 and 2017 are shown in Figure 7 and Figure 8. The correlation coefficient of the ANN model for 2016 is calculated as $R = 0.41$. According to the error histogram, the majority of the tested data seems to have accumulated at around 181 m. The mean error squares were found as $RMSE = 2652$ m.

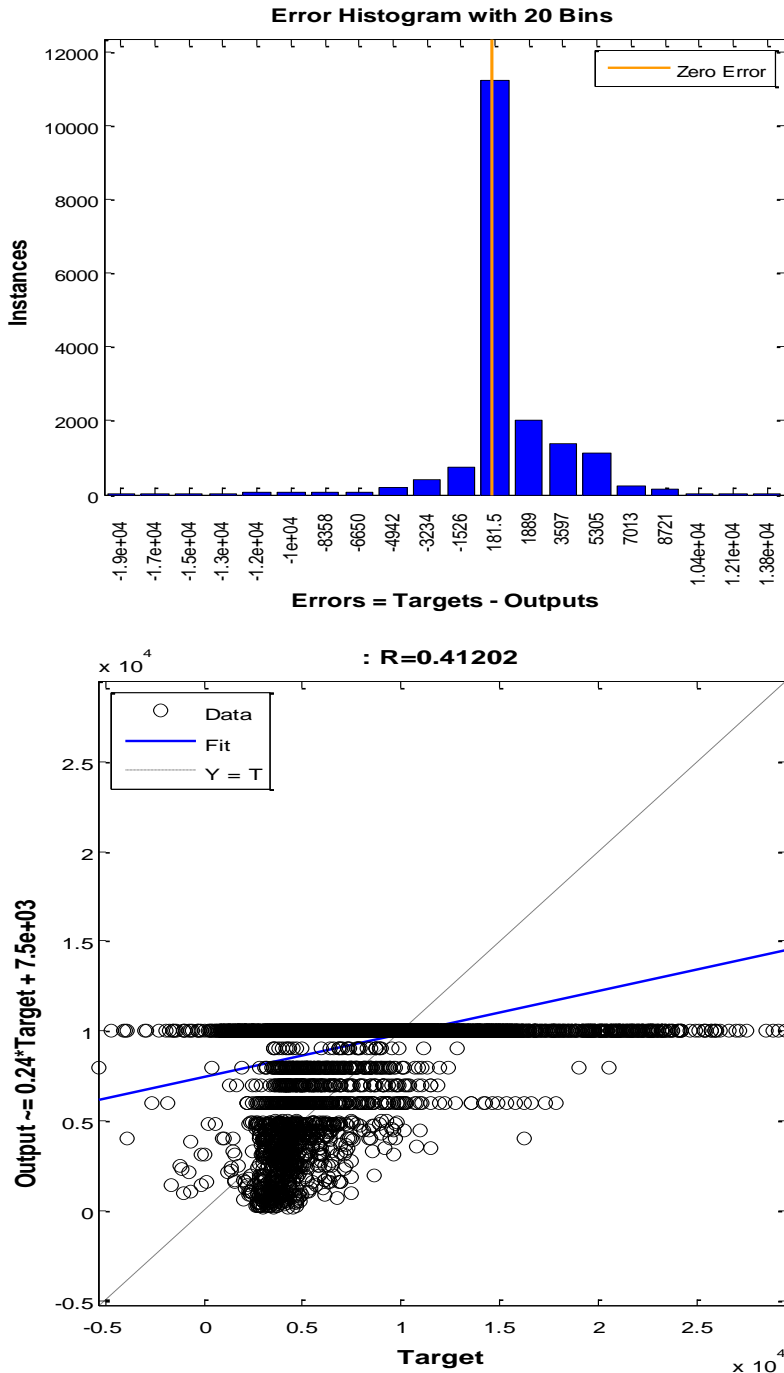


Figure 7. Error Histogram and Distribution Graph of ANN Model for 2016 year

For the year of 2017 of the YSA model, the correlation coefficient is calculated as $R = 0.53$. According to the error histogram, the majority of the tested data seems to have accumulated at around 1238 m. $RMSE = 2464$ m was found for the mean squared error squares.

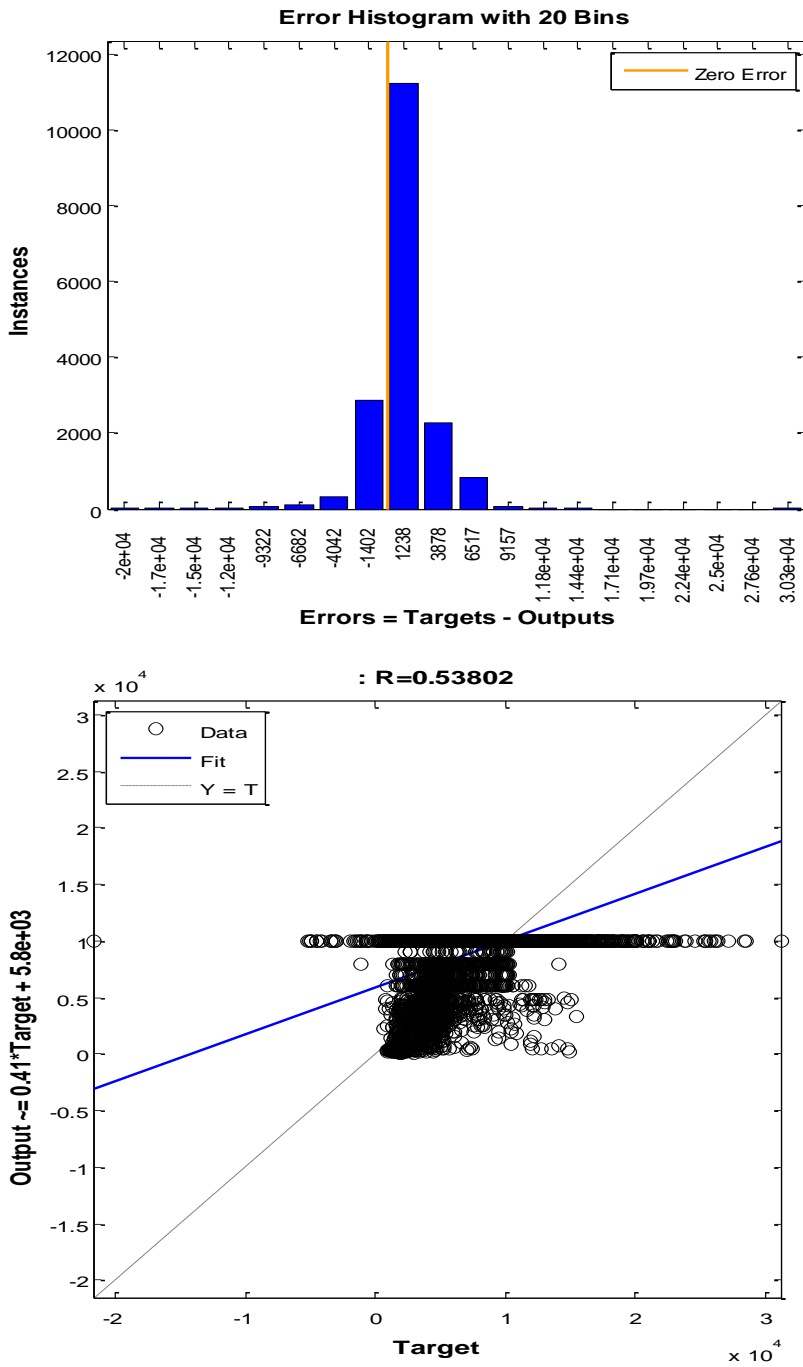


Figure 8. Error Histogram and Distribution Graph of ANN Model for 2017 year

The weight and bias values of the training results obtained from artificial neural network are shown in the Table 1 and Table 2.

Table 1. Weights for hidden layer

WEIGHT (Hidden Layer)						
Hidden nodes	T	Td	RH	P	W	BIAS
<i>n1</i>	-0,0037	1,7406	-0,7698	-1,3410	0,2043	2,0644
<i>n2</i>	-1,6155	-0,0303	0,2051	0,0547	0,2206	-0,3015
<i>n3</i>	-0,4288	0,4945	-2,1879	-2,4152	0,5994	2,5449
<i>n4</i>	-2,6486	0,5733	1,8795	-0,4241	2,4723	-1,5213
<i>n5</i>	4,1268	-1,6879	-0,4010	-0,2098	1,4139	0,0821

<i>n6</i>	2,2593	0,6538	3,2892	-2,0494	1,7393	0,1150
<i>n7</i>	0,9290	1,8943	-1,0765	-0,7986	-0,3245	1,2667
<i>n8</i>	-2,0197	-1,8456	-1,6192	0,7565	-0,8895	-2,3826
<i>n9</i>	-4,5245	3,5005	-0,5650	-0,5699	6,8459	-8,2413
<i>n10</i>	2,5578	1,0693	-1,5221	-0,9442	-2,2122	3,8593

Table 2. Weights for output layer

WEIGHT (Output)	
Nodes	Weights
<i>n1</i>	0,7116
<i>n2</i>	2,2081
<i>n3</i>	0,6023
<i>n4</i>	-0,8445
<i>n5</i>	3,3541
<i>n6</i>	0,9113
<i>n7</i>	-2,7107
<i>n8</i>	1,9928
<i>n9</i>	-0,6317
<i>n10</i>	1,7913
<i>BIAS</i>	-1,0127

4. Discussion

The forward-feed backpropagation ANN model undergoes a recursive training process to minimize the error by comparing the observed output and the target output repeatedly. Each error obtained is used repeatedly to readjust the weight and difference values to obtain a more consistent output. Therefore, this method is focused on minimizing the error. For this reason, this training method seems to be more suitable ANN method especially for complex events.

Temperature, dew point temperature, pressure, wind and relative humidity parameters have a significant effect in the formation of fog. In this study, a forward feed back backpropagation artificial neural network model has been tested for the estimation of the visibility, which significantly decreases in the event of fog. The majority of the data for 2013-2015 given as inputs to train the model includes the fog (low visibility) conditions.

As a result, the error rate ($R = 0.80$) for the part (5%) that was separated from the test input was found acceptable. However, consistencies for the years 2016 and 2017, when all data were tested regardless of fog, were found below expectations. This shows that the model designed with ANN has good representation of the visibility for fog, but predictive ability decreases for the increasing actual visibility.

References

- [1] Zhou, B., Introduction to a New Fog Diagnostic Scheme. U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, National Centers for Environmental Prediction, 2011.
- [2] Baboo, Dr. S. S. and Shereff, I. K., An Efficient Weather Forecasting System using Artificial Neural Network, International Journal of Environmental Science and Development, Vol. 1, No. 4, October 2010.
- [3] Fabbian D., De-Dear R., Lellyett S., Application of artificial neural network forecasts to predict fog at Canberra international airport, Weather Forecast 22:372–381, 2007.
- [4] Colabone R.O., Ferrari A., da Silva-Vecchia F., Bruno-Tech A., Application of artificial neural networks for fog forecast, Journal of Aerospace Technology and Management 7(2):240-246, 2015.
- [5] He Y.D., He H.Y., Guo Y.Y., Shen J.T., Fog Visibility Based on Neural Network Algorithm Research, 14th COTA International Conference of Transportation Professionals, Changsha, China, July 4-7, 2014.
- [6] Turan, L., Dengiz, Ş., Yüksel, E. ve Ertaş, C., Ankara Esenboğa Havalimanı Vahşi Hayat ve Kuşla Mücadele Çalışması. Ankara: İnforama, 2009.
- [7] Oto, N., Çevresel Sürdürülebilirlik ve Havaalanları: Esenboğa Havalimanı Örneği, Doktora Tezi, Sosyal Çevre Bilimleri ABD, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, 2011.
- [8] Ertaş, S.K., Meteoroloji Ders Kitabı, Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü, 2004.

- [9] Krenker, A., Bester, J., Kos, A., Introduction to the artificial neural networks. In: Suzuki, K. (ed.) Artificial Neural Networks, Methodological Advances and Biomedical Applications, pp. 3–18. Croatia: InTech, 2011.
- [10] Keskin M.E. ve Taylan E.D., Orta Akdeniz Havzasındaki Akımların Stokastik Modellemesi, İMO Teknik Dergi, 4271 -4291, Yazı 282, 2007.
- [11] McCulloch, W. and Pitts, W., A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity, Bulletin of Mathematical Biophysics, Vol. 5, pp. 115-133, 1943.
- [12] Rumelhart, D. and McClelland J., Parallel Distributed Processing, MIT Press, Cambridge, Mass, 1986.
- [13] Yavuz, S. ve Deveci M., İstatiksel Normalizasyon Tekniklerinin Yapay Sinir Ağın Performansına Etkisi, Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Sayı: 40, ss. 167-187, 2012.
- [14] Uslu M., Yapay Sinir Ağları ile Sınıflandırma, İleri İstatistik Projeleri, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Hacettepe Üniversitesi, 2013.
- [15] Çavuşlu M.A., Becerikli Y. ve Karakuzu C., Levenberg-Marquardt Algoritması ile YSA Eğitiminin Donanımsal Gerçeklenmesi. Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi 5, 2012.



Volcanic Rock Reinforced Epoxy Composites for Gamma Ray Shielding

Hasret Kara¹, Yaşar Karabul¹, Mehmet Kılıç¹, Orhan İçelli¹, Zeynep Güven Özdemir^{1*}

¹Yıldız Technical University, Department of Physics, 34220, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0001-5436-9020, 0000-0002-0789-556X, 0000-0003-1882-0405, 0000-0002-3823-0675, 0000-0001-5085-5814)

(First received 3 February 2019 and in final form 27 March 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.521516)

REFERENCE: Kara, H., Karabul, Y., Kılıç, M., İçelli, O. & Özdemir, Z. G. (2019). Volcanic Rock Reinforced Epoxy Composites for Gamma Ray Shielding. *European Journal of Science and Technology*, (15), 552-560.

Abstract

In the present study, gamma ray shielding capability of epoxy resin polymer matrix was tried to enhance with three volcanic rock powders collected from different regions of Van, Turkey. The chemical contents of the volcanic rocks were determined by X-ray Fluorescence spectroscopy. The novel epoxy/volcanic rock composites were prepared with different volcanic rock contents varying from 0 % wt. to 40% wt. The gamma ray shielding performances of the samples were measured experimentally by NaI(Tl) detector for the photons with of 81 keV and 356 keV energies emitted from Ba-133 point radioactive source. The abilities of the samples to shield gamma radiation were evaluated in terms their mass attenuation coefficient, half layer value thickness and mean free path distance. It was determined that the low cost epoxy/volcanic rock composites have a promising potential to be utilized as a radiation shielding medium for the gamma rays. In particular, among all volcanic rock additives the volcanic rock additive having the highest hematite content gained the best gamma ray shielding ability to pure epoxy for both photon energies.

Keywords: Epoxy Resin, Volcanic Rock, Composites, Mass attenuation coefficient, HVL.

¹ Corresponding Author: Yıldız Technical University, Department of Physics, 34220, Istanbul, Turkey, ORCID: 0000-0001-5085-5814, zgozdemir@gmail.com

1. Introduction

The production of non-toxic, low cost and lightweight radiation shielding materials has become an important necessity to protect against the radiation which rapidly enters into our daily lives. As is known, polymers consisting of the elements with low atomic numbers such as carbon, hydrogen, oxygen, and nitrogen provide good shielding for neutrons. Due to neutron shielding property of polymers, instead of toxic and heavyweight lead, polymer composites prepared with inorganic fillers, have been suggested as gamma ray shielding materials in recent years (Nambiar & Yeow, 2012; Thibeault et al., 2015). In polymer composites, micro- or nano-fillers have been dispersed in a polymer matrix to produce a material having good radiation shielding property. In designing the radiation shielding materials, deciding the polymer matrix and inorganic filler depend on the radiation type and its energy. For example, Abdel-Aziz et al. achieved to produce a good neutron shielding material by preparing the ethylene-propylenediene rubber/low density polyethylene/ boron carbide composite structure which contains 54% boron carbide (Abdel-Aziz, Gwaily, Makarious, & Abdo, 1995). Among various polymers, epoxy resins have a crucial place in radiation shielding technology due to their good mechanical properties, high resistance to chemicals, high stability and adhesive strength (P. Chen & Wang, 2011). It was also shown that epoxy resins achieve to decelerate fast and intermediate fast neutrons due their rich contents of hydrogen atoms (Nambiar & Yeow, 2012). Therefore, enhance of the radiation shielding ability of the epoxy resins against different type of radiations such as X-ray, gamma-ray etc. have been investigated by many research groups. Additionally, many efforts have been made for producing new high performance epoxy based radiation shielding materials. The develop the X-ray shielding capability of pure epoxy, the inorganic fillers with high atomic numbers such as tungsten, tungsten oxide, lead, bismuth were tried (N. N. Azman, Siddiqui, Hart, & Low, 2013; N. Z. N. Azman, Siddiqui, & Low, 2013). From this point of view, low cost volcanic rocks (VRs) which have not been chemically treated, were chosen as additives for epoxy polymer in the present study. The main focus of the present study is to determine the radiation shielding parameters of the epoxy/basalt composites for low and medium-high gamma rays emitted from Barium-133 point radioactive source.

2. Radiation Shielding Parameters

As is known, when electromagnetic waves interact with a matter, various interactions can happen between the electromagnetic wave and atoms, electrons or nuclei in a material. As a result of these interactions, incident gamma rays can be either absorbed or scattered by the matter.

According to Beer-Lambert law, when gamma ray interact with a matter, a considerable change in the intensity of the incident gamma beam is observed. The change in the intensity is represented by Eq. (1) which is known as Beer-Lambert equation:

$$-\frac{dI}{dx} = \mu I \quad (1)$$

In Eq. (1), while x is the thickness of the absorber material, μ represents the total linear attenuation coefficient of the material. The total linear attenuation coefficient is independent of the phase of the absorbing medium. μ also defines the probability of interaction with gamma ray per unit length in the absorbing medium and has the unit of cm^{-1} .

Under the assumptions that all incident gamma rays are mono energetic and the photons are reduced under ideal geometric conditions, the intensity of the photons passing through an absorber of x thickness, $I(x)$ is defined by Eq. (2):

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} \quad (2)$$

In Eq. (2) I_0 is the intensity of the incident beam, and $I(x)$ is the intensity of the transmitted gamma ray.

Instead of dealing with linear mass attenuation coefficient, mass attenuation coefficient μ/ρ , which is known as the normalization of the linear attenuation coefficient per unit density of a material, is mostly preferred in determining gamma ray shielding ability of an absorber material. Mass attenuation coefficient is also a measure of the probability of interactions of gamma ray with matter and has the unit of cm^2g^{-1} (Sayed, 2016a). The mass attenuation coefficient is derived from Eq. (2):

$$\frac{\mu}{\rho} = -\frac{1}{\rho x} \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (3)$$

Mass attenuation coefficient of a chemical compound or a mixture of elements is also defined by Eq. (4):

$$\mu/\rho = \sum_i w_i (\mu/\rho)_i \quad (4)$$

where w_i is the fractional weight of the i th constituent in the mixture (Sayed, 2016b).

As well as mass attenuation coefficient, half layer value (HLV) and mean free path, λ are also other important parameters in determining the gamma ray shielding performance of a material. While HVL is defined as the width of a material required to reduce the air kerma of an gamma ray to half its original value, λ represents the average distance at which a gamma ray travels in the absorber without any interaction (K. Singh et al., 2002; S. Singh, Kumar, Singh, Thind, & Mudahar, 2008). The definitions of HVL and λ are given in Eqs. (5) and (6), respectively (N. Singh, Singh, Singh, & Singh, 2006).

$$\text{HVL} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{1}{\mu} \quad (6)$$

3. Experimental

3.1 Materials

Liquid, unmodified bisphenol A-epichlorohydrin epoxide resin with the product code of AC510 UV (Taiwan) was purchased from Armor Chemical. Isophorone diamine with the product code of AC510 UV (Germany) was used as a hardener and it was supplied from Armor Chemical. Three different volcanic rocks coded as VR-1, VR-3 and VR-3 were collected from Van, Turkey.

3.2 Preparation of the Composites

The preparation process of the Epoxy/VR composites were shown in Figure 1 (a) and (b).. 2-4 g liquid, unmodified bisphenol A-epichlorohydrin epoxide resin (Part A) was used for preparing pure epoxy polymer matrix. 1-2 g isophorone diamine hardener (Part B) was added to the liquid epoxy and then the mixture were mixed mechanically to obtain homogenous mixture for 15 min (Mixing ratio: 2 (Part A) +1 (Part B) by weight). Then the solution was molded into a circular shaped teflon mold. Following this step, the sample was kept at room temperature in the mold for drying 24 h (Figure 1(a)). The Epoxy/VR composites were also prepared in similar way. Before preparing the composites, the VRs were grinded with IKA A11 basic analytical mill with the rotational speed of 10000 rpm. The mixing time per VR was 15 min. After obtaining fine VR powders, the 2-4 g liquid unmodified bisphenol A-epichlorohydrin epoxide resin was mixed with each VR with the appropriate masses to obtain the epoxy composites containing 10 wt. %, 20 wt. % and 40 wt. % VRs. Then, the epoxy and VR mixtures were stirred in magnetic stirrer for 20 min. and as a second step the hardener was added to the resultant mixture with an appropriate masses. After this stage, the mixtures were mixed mechanically for 15 min to obtain homogenous VR distribution in the epoxy and finally the solutions were poured into the mold and kept at room temperature in the mold for 24 hours. After the drying process for 24 hours, the samples were removed from the molds (Figure 1(b)). Each sample was produced for two different thicknesses. Thus, gamma radiation shielding measurements were carried out with two different thicknesses of the same sample. While the radius of the samples was 1.15 cm; their thickness were varying between 0.6 cm and 1.4 cm.

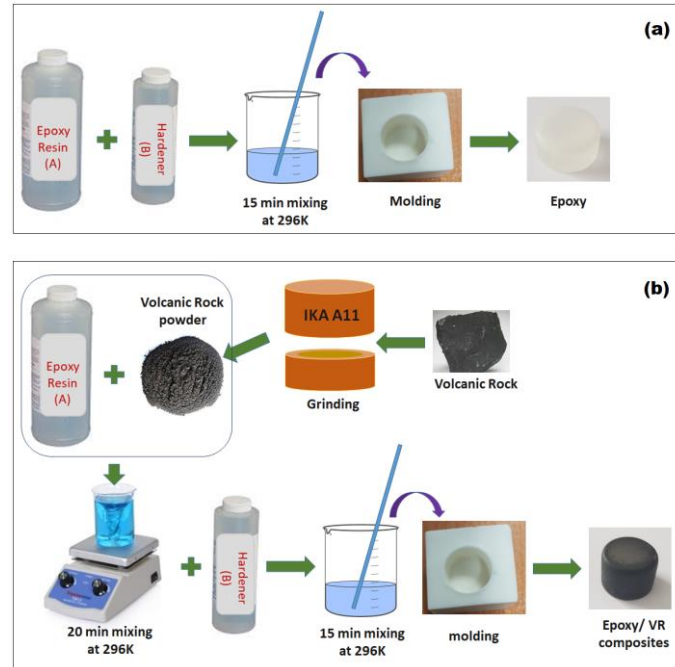


Figure 1. Schematic diagram of the preparation process of the (a) pure Epoxy (b) Epoxy/VR composites.

The mass density of each sample was determined by Archimedes' principle and listed in Table 1. The mass amounts in gram units of epoxy and VRs in the samples were also given in Table 1.

Table 1. The weight percentages of epoxy, hardener, and VRs in in the samples along with the mass density of the samples.

Sample	Resin (wt.%)	Hardener (wt.%)	VR (wt.%)	Mass density (g/cm ³)
Epoxy	65	35	0	1.301±0.072
Epoxy/ 10% VR-1	60	30	10	1.365 ±0.019
Epoxy/ 20% VR-1	53.5	26.5	20	1.502 ±0.027
Epoxy/ 40% VR-1	40	20	40	1.694 ±0.012
Epoxy/ 10% VR-2	60	30	10	1.371 ±0.035
Epoxy/ 20% VR-2	53.5	26.5	20	1.465 ±0.051
Epoxy/ 40% VR-2	40	20	40	1.697 ±0.033
Epoxy/ 10% VR-3	60	30	10	1.362 ±0.021
Epoxy/ 20% VR-3	53.5	26.5	20	1.515 ±0.094
Epoxy/ 40% VR-3	40	20	40	1.668±0.010

3.3 X-Ray Fluorescence Spectroscopy Analyses of the Volcanic Rocks

The chemical analyze of VRs was determined by X-Ray fluorescence (XRF) measurements performed with the equipment model no PANalytical B.V.–Axios Advanced The chemical contents of the VRs collected from different regions of Van, Turkey were given in Figure 2.

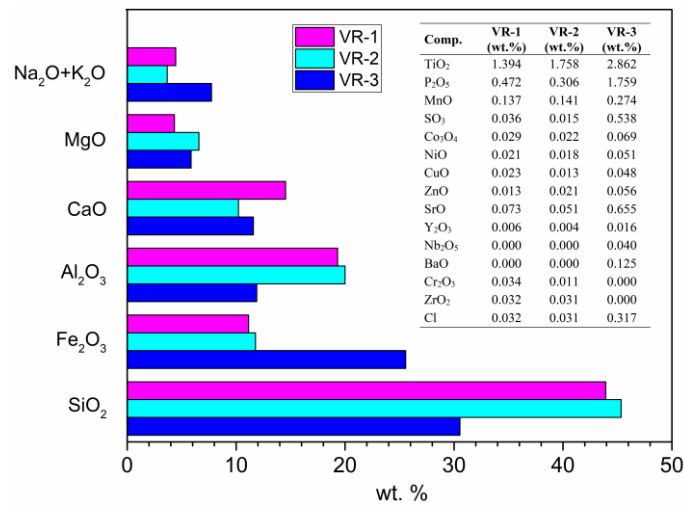


Figure 2. The chemical content of the VRs.

Total Alkali Silica (TAS) classification (Le Bas, Le Maitre, & Woolley, 1992) was used to classify the VRs. According to TAS classification, depending on the SiO₂ and (Na₂O+K₂O) percentages of the rock, it can be classified as foidite, basalt, tephrite-basanite, picro-basalt or basaltic andesite and etc. As illustrated in Figure 2, the VR-1, VR-2 and VR-3 powders contain 43.93%, 45.34% and, 30.54% SiO₂ and 4.45%, 3.67%, and 6.51% (Na₂O+K₂O). From this point of view, VR-1, VR-2 and VR-3 additives were classified as “tephrite basanite”, “basalt”, and “foidite”, respectively.

3.4 Experimental Setup for the Gamma Ray Shielding Performance of the Samples

The mass attenuation coefficient of the samples were calculated by measuring an attenuated and un-attenuated intensities (I and I_0) from the Ba-133 radioactive source with NaI(Tl) detector with dimension of $7.62 \text{ cm} \times 7.62 \text{ cm}$. The gamma rays emitted from the Ba-133 point radioactive source were 81 keV and 356 keV. The model of the with NaI(Tl) detector was 905-4 Ortec-Amtek. The photomultiplier tube (PMT) base, digiBASE (Ortec) had also 6.3 cm diameter and 8.0 cm length. The FWHM was equal to 46 keV at 662 keV and 65 keV at 1330 keV. NaI crystal was separated from the PMT by a glass window with the thickness of 5 mm. The experimental data were analyzed by the Maestro software. Additionally, it was collected into 2048 channels of the MCA. Total count of the photon peak was received after subtracting of the background counts and fitted by Gaussian function. Counting time was set fifteen minutes such that total counts were recorded under each photon peak and the counting was conducted for three times to ensure that error of the photon count was under 1%. The schematic representation of the experimental setup was also shown in Figure 3.

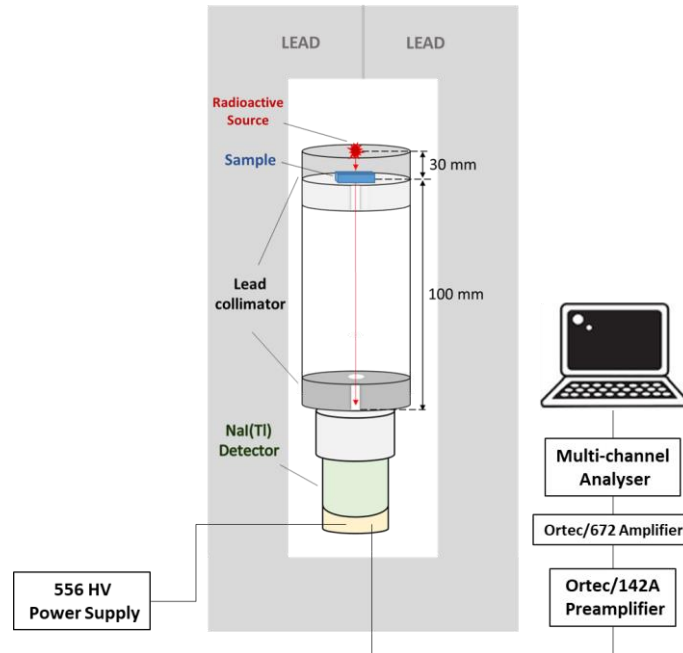


Figure 3. The experimental setup for the measurements of an attenuated and un-attenuated intensities from the Ba-133 radioactive source.

4. Results and Discussions

The mass attenuation coefficients of the samples were calculated by using the attenuated and un-attenuated intensities (I and I_0) measured by the NaI(Tl) detector. By using I and I_0 values, mass attenuation coefficients were calculated by Eq. (3) for the gamma photons with the energies of 81 keV and 356 keV. The variations of the mass attenuation coefficient of pure epoxy with both the type of VR additive and the additive percentage were shown in Figure 4(a) and (b) for the 81 keV and 356 keV, respectively.

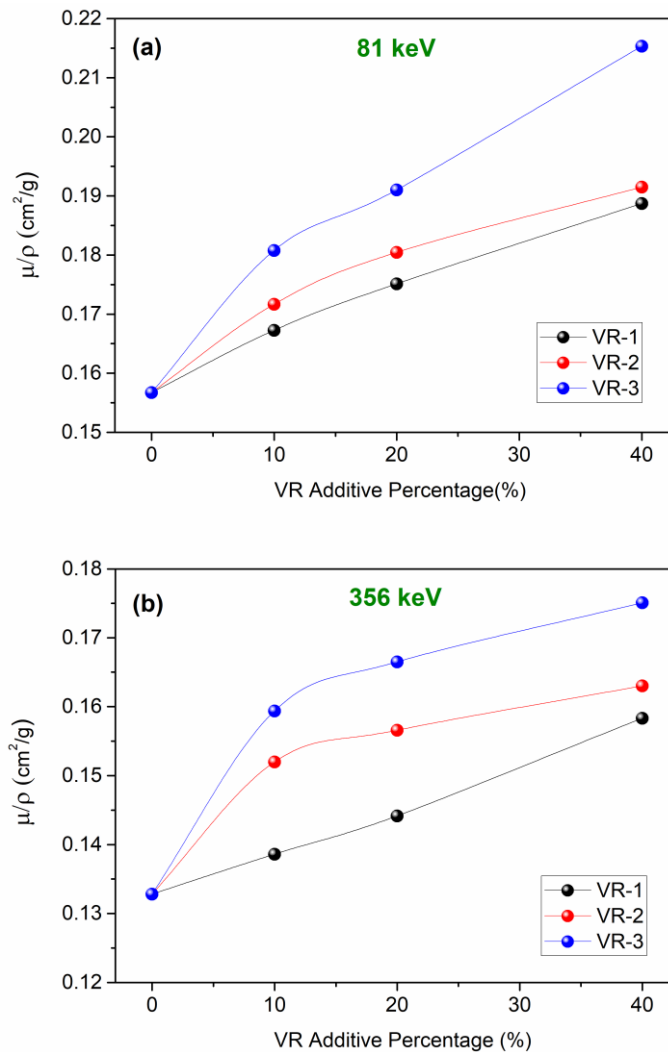


Figure 4. The mass attenuation coefficient of the epoxy based volcanic rock composites along with the pure epoxy polymer at (a) 81 keV and (b) 356 keV photon energies.

As shown in Figure 4, the pure epoxy has the lowest mass attenuation coefficients for 81 keV and 356 keV due to its element content having low atomic numbers such as hydrogen, carbon, oxygen and nitrogen (Li, Gu, Zhang, et al., 2017). On the other hand, as is observed in Figure 4(a), the mass attenuation coefficient of pure epoxy is increased with all VR additives with different ratios at 81 keV. Additionally, a gradual increase in the μ/ρ with increasing VR additive was observed for the three different types of additives. This is mainly due to the fact the possibility of the observation of photon absorption via photoelectric effect is high at the lower photon energies such as 81 keV. The probability of observation of photoelectric effect is also linearly proportional to the third power of ratio of (Z/E) , where Z is the atomic number of absorbing element and E is photon energy (N. N. Azman et al., 2013). In this respect, addition of VRs that contain the elements with high atomic numbers such as Ti, Mn, Fe and Ba results in much stronger photon absorption performance relative to pure epoxy. The highest increase in μ/ρ value of pure epoxy due to VR additive was also recorded for the VR-3 additive with the increment of 36% at 81 keV. When the photon energy is increased to 356 keV, increased VR contribution to epoxy resin leads to the higher mass attenuation coefficients at 356 keV. Furthermore, as in the case of 81 keV, the highest increase in μ/ρ value of pure epoxy was determined for the 40% VR-3 additive with the increment of 31% (See Figure 4(b)). Since mass attenuation coefficient indicates the possibility of the interaction of the gamma ray with the material, such as in increase in μ/ρ for both energies shows that the gamma ray interacts more with the epoxy composites containing the VRs than pure epoxy. From this point of view, it was deduced that the epoxy composite containing the highest percentage of VR-3 exhibited the best gamma ray absorption for the photon energies of 81 keV and 356 keV. On the other hand, the lowest increase in the mass attenuation coefficient of pure epoxy was determined for VR-1 for both photon energies. When the VRs used in the composites are compared in terms of their gamma radiation absorption performances, VR-3 was found to be the most effective additive that enhances the ability of absorption of gamma radiation of pure epoxy. In this respect, it can be thought that the differences in the chemical content of the VRs causes this result. When the chemical contents of all VR additives are investigated, it was determined that among all additives, VR-3 has the lowest silicon dioxide (SiO_2) and the highest hematite (Fe_2O_3) contents. The best gamma ray absorption performance of the VR-3 additive for epoxy can be explained by its high hematite content, since hematite is commonly used additive for producing high density concrete for X-ray and gamma-ray shielding (Oto, Yıldız, Akdemir, & Kavaz, 2015).

On the other hand, it was observed that the mass attenuation coefficients at 356 keV for each sample are lower than that of 81 keV. Such a decrease in μ/ρ value for the higher energetic photons can be associated with the fact that the dominant interaction between gamma-ray and material alters from photoelectric effect to Compton scattering as the photon energies changes from 81 keV to 356 keV (Limkitjaroenporn, Chewpraditkul, Kaewkhao, & Tuscharoen, 2011). When the photon energy reaches to 356 keV, the Compton scattering becomes dominant relative photoelectric effect (S. Chen, Bourham, & Rabiei, 2015). Such high energy photons are generally attenuated by materials via Compton scattering and then the scattered photons with lower energies are absorbed by photoelectric effect. Due to this reason, mass attenuation coefficients decrease significantly at 356keV (Li, Gu, Wang, et al., 2017).

The variations of the radiation shielding parameters of HVL and λ of pure epoxy with both the type of VR additive and the additive percentage at 81 keV and 356 keV photon energies were given in Figure 5 and 6, respectively.

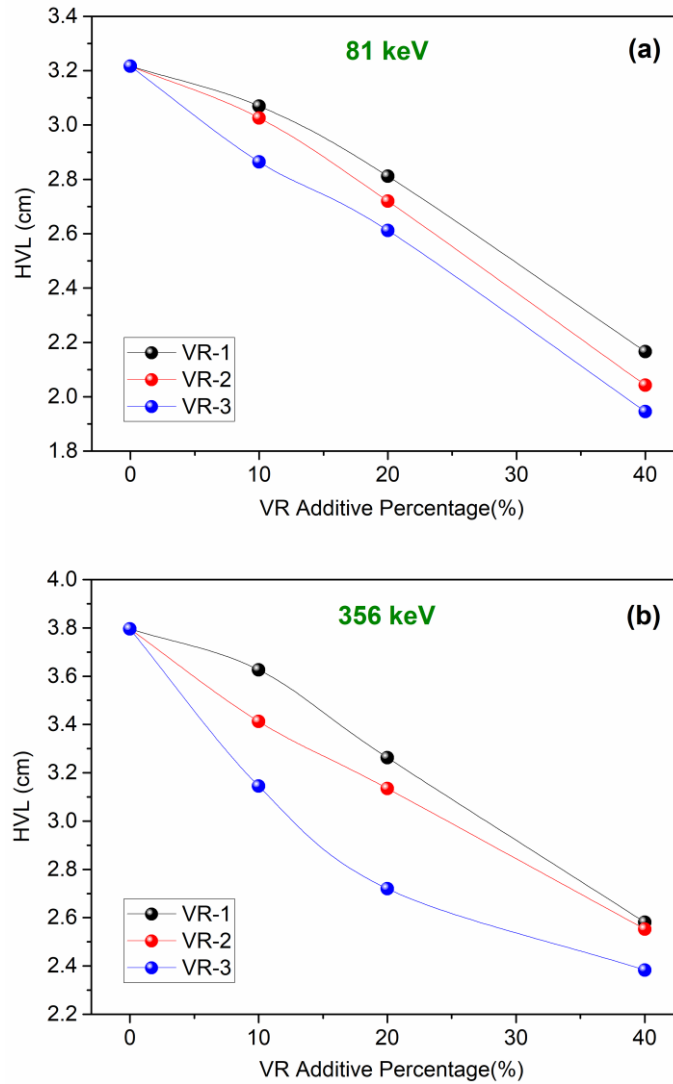


Figure 5. The half layer value of the epoxy based volcanic rock composites along with the pure epoxy polymer at (a) 81 keV and (b) 356 keV photon energies.

As is illustrated in Figure 5 and 6, HVL and λ parameters decrease considerably with all VR additive types for both photon energies. Since HVL is defined as the attenuating material thickness required reducing the intensity as one half of its original intensity, the decrease in the HVL parameter with VR additives also showed the increased gamma ray shielding capability of epoxy.

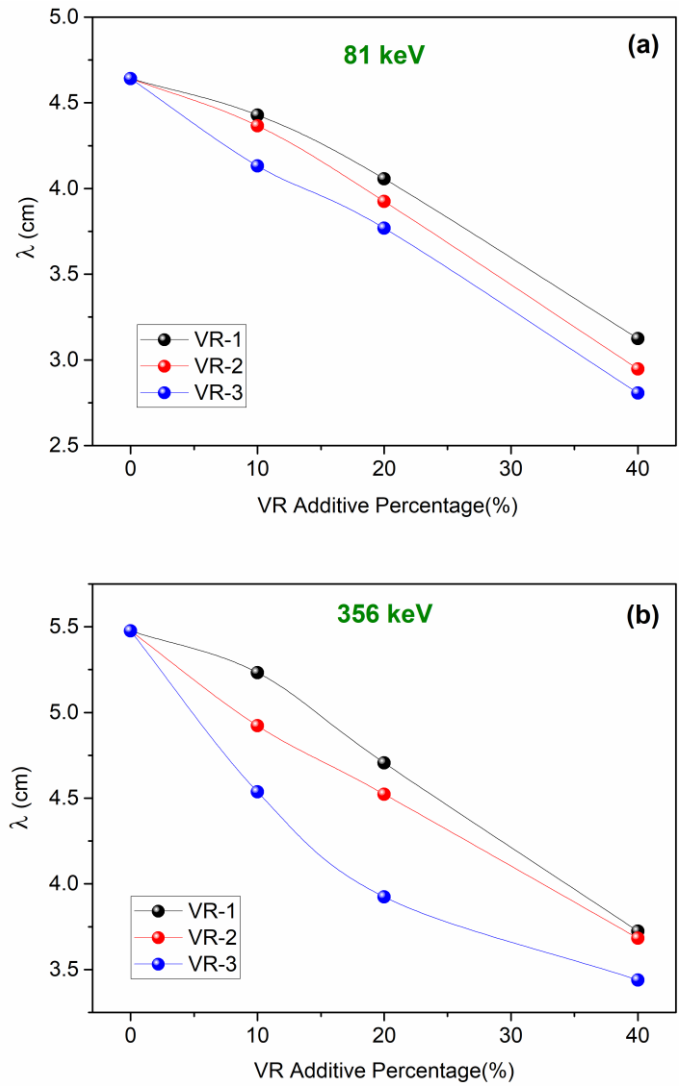


Figure 6. The mean free path of the epoxy based volcanic rock composites along with the pure epoxy polymer at (a) 81 keV and (b) 356 keV photon energies.

Similar to HVL, mean free path of the epoxy also reduces significantly with volcanic rock additives. From this point of view, it was concluded that by referring the highest increase in the γ -ray (μ/ρ) coefficient and the maximum decrease in the HVL and λ parameters for the pure epoxy, the VR-3 additive can be suggested as the best natural doping material among three additive for pure epoxy.

5. Conclusions

This work is devoted to increase the gamma ray shielding performance of epoxy resin by incorporating three VRs collected from Van, Turkey. The novel Epoxy/VR composites having 0 %, 10%, 20%, and 40% wt. volcanic rocks were prepared in the present study. The chemical content analyses of the VRs revealed that they can be classified as tephrite basanite”, “basalt”, and “foidite. The gamma ray shielding parameters such as μ/ρ , HVL, and λ were determined experimentally by NaI(Tl) detector for the two photon energies (81 keV and 356 keV) emitted from Ba-133 source. It was pointed out that while the mass attenuation coefficient increases gradually with all VR additives as the additive percentage increases in the composite, the HVL and λ also decrease considerably. Especially, it was revealed that the VR additive having the highest Fe_2O_3 content exhibits the best gamma radiation shielding performance for epoxy resin relative to the other VR additives used in the present study. In the light of this comparative study of VRs’ gamma ray shielding capability, VRs having high hematite content collected from different volcanic regions of the earth can be suggested as a good candidate in producing gamma ray shielding materials based on epoxy.

References

- Abdel-Aziz, M., Gwaily, S., Makariou, A., & Abdo, A. E.-S. (1995). Ethylene-propylene diene rubber/low density polyethylene/boron carbide composites as neutron shields. *Polymer degradation and stability*, 50(2), 235-240.
- Azman, N. N., Siddiqui, S., Hart, R., & Low, I.-M. (2013). Effect of particle size, filler loadings and x-ray tube voltage on the transmitted x-ray transmission in tungsten oxide—epoxy composites. *Applied Radiation and Isotopes*, 71(1), 62-67.
- Azman, N. Z. N., Siddiqui, S. A., & Low, I. M. (2013). Synthesis and characterization of epoxy composites filled with Pb, Bi or W compound for shielding of diagnostic x-rays. *Applied Physics A*, 110(1), 137-144.
- Chen, P., & Wang, D. (2011). Epoxy resin and its application. *Chemical Industry Press, Beijing*, 78.
- Chen, S., Bourham, M., & Rabiei, A. (2015). Attenuation efficiency of X-ray and comparison to gamma ray and neutrons in composite metal foams. *Radiation Physics and Chemistry*, 117, 12-22.
- Le Bas, M., Le Maitre, R., & Woolley, A. (1992). The construction of the total alkali-silica chemical classification of volcanic rocks. *Mineralogy and Petrology*, 46(1), 1-22.
- Li, R., Gu, Y., Wang, Y., Yang, Z., Li, M., & Zhang, Z. (2017). Effect of particle size on gamma radiation shielding property of gadolinium oxide dispersed epoxy resin matrix composite. *Materials Research Express*, 4(3), 035035.
- Li, R., Gu, Y., Zhang, G., Yang, Z., Li, M., & Zhang, Z. (2017). Radiation shielding property of structural polymer composite: continuous basalt fiber reinforced epoxy matrix composite containing erbium oxide. *Composites Science and Technology*, 143, 67-74.
- Limkitjaroenporn, P., Chewpraditkul, W., Kaewkhao, J., & Tuscharoen, S. (2011). Effective atomic number of lead sodium borate glass systems at 662 keV. *Energy Res. J*, 2(1), 29-33.
- Nambiar, S., & Yeow, J. T. (2012). Polymer-composite materials for radiation protection. *ACS applied materials & interfaces*, 4(11), 5717-5726.
- Oto, B., Yıldız, N., Akdemir, F., & Kavaz, E. (2015). Investigation of gamma radiation shielding properties of various ores. *Progress in Nuclear Energy*, 85, 391-403.
- Sayyed, M. (2016a). Bismuth modified shielding properties of zinc boro-tellurite glasses. *Journal of Alloys and Compounds*, 688, 111-117.
- Sayyed, M. (2016b). Investigation of shielding parameters for smart polymers. *Chinese journal of physics*, 54(3), 408-415.
- Singh, K., Singh, H., Sharma, V., Nathuram, R., Khanna, A., Kumar, R., . . . Sahota, H. S. (2002). Gamma-ray attenuation coefficients in bismuth borate glasses. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 194(1), 1-6.
- Singh, N., Singh, K. J., Singh, K., & Singh, H. (2006). Gamma-ray attenuation studies of PbO–BaO–B₂O₃ glass system. *Radiation Measurements*, 41(1), 84-88.
- Singh, S., Kumar, A., Singh, D., Thind, K. S., & Mudahar, G. S. (2008). Barium–borate–flyash glasses: as radiation shielding materials. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 266(1), 140-146.
- Thibeault, S. A., Kang, J. H., Sauti, G., Park, C., Fay, C. C., & King, G. C. (2015). Nanomaterials for radiation shielding. *MRS Bulletin*, 40(10), 836-841.



Biyodizeldeki Suyun Reçine ile Uzaklaştırılması: Adsorpsiyon İzotermi, Kinetiği ve Termodinamik İncelemesi

Zeynep Çelik Okumuş¹, Tuba Hatice Doğan^{1*}

¹ Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4463-3104)

^{1*} Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8369-9416)

(İlk Geliş Tarihi 5 Mart 2019 ve Kabul Tarihi 27 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.535977)

ATIF/REFERENCE: Okumuş, Z. Ç. & Doğan, T. H. (2019). Biyodizeldeki Suyun Reçine ile Uzaklaştırılması: Adsorpsiyon İzotermi, Kinetiği ve Termodinamik İncelemesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 561-570.

Öz

Fosil kökenli yakıtların kullanımına ilişkin ciddi çevresel kaygılar, her geçen gün alternatif temiz yakıtlara olan ilgiyi artırmaktadır. Biyodizel, uygun bir katalizör eşliğinde, bir alkolle trigliseritlerin transesterifikasyonu yoluyla üretilen, temiz, biyolojik olarak bozulabilen, toksik olmayan ve yenilenebilir bir yakıttır. Biyodizel üretimi sırasında, yan ürün olarak oluşan gliserin ayrıldıktan sonra, ham biyodizelin belli uluslararası yakıt standartlarını (EN 14214 ya da ASTM D6751) karşılaması için saflaştırılması gerekir. Biyodizelde safsızlıkların varlığı, sadece motor performansını önemli ölçüde etkilemekle kalmaz, aynı zamanda onun kullanımı ve depolanmasını da zorlaştırır. Bu nedenle ham biyodizelin saflaştırılması bir zorunluluk olarak karşımıza çıkar. Ham biyodizeli saflaştırmak için, hem ıslak hem de kuru yıkama yapılabilmesine rağmen, genellikle kullanılan yöntem ıslak yıkama (su ile yıkama) yöntemidir. Ancak bu yöntemde kullanılan suyun, biyodizelden çok iyi uzaklaştırılması gerekir. Biyodizel üretimi için yağların geleneksel transesterifikasyonunda, su her zaman olumsuz etkiler yaratır. Biyodizeldeki suyun varlığı, sabun oluşumuna neden olur, katalizörü tüketir, katalizörün etkinliğini azaltır ve bunların tümü düşük dönüşüme neden olur. Ayrıca üretilen yakıtın kalitesini de olumsuz etkiler.

Bu çalışmada, biyodizeldeki suyun, katyonik Dowex HCR-S iyon değiştirici reçine ile adsorpsiyon mekanizması çalışılmış ve prosesin adsorpsiyon dengesi, adsorpsiyon kinetiği ve adsorpsiyon termodinamiği incelenmiştir. Bu kapsamda Langmuir, Freundlich, Temkin ve Dubinin-Radushkevich izotermi denemeleri denenmiş ve deneysel verilere en uygun izoterm, R² değeri 0.997 olan Langmuir izotermi olduğu bulunmuştur. Ayrıca, maksimum adsorpsiyon kapasitesi, 53.48 mg g⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Kinetik verilerin analizleri, yalancı birinci mertebe ve yalancı ikinci mertebe kinetik modelleri kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, adsorplama prosesinin, yalancı ikinci mertebe kinetik modele en iyi uyduğunu göstermiştir. Çalışmada, ayrıca adsorpsiyon termodinamiği de incelenmiştir. Buna göre, adsorpsiyon prosesinin kendiliğinden gerçekleştiği ($\Delta G^0 < 0$) ve ekzotermik olduğu ($\Delta H^0 < 0$) belirlenmiş ve Dowex HCR-S katyonik reçinenin biyodizelden su adsorpsiyonu için, uygun bir adsorbent olduğuna karar verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Dowex HCR-S reçine, su adsorpsiyonu, izoterm, kinetik, termodinamik.

Removal of Water from Biodiesel with Resin: Isothermal, Kinetic and Thermodynamic Investigation of Adsorption

Abstract

The serious environmental concerns about the use of fossil-sourced fuels has increased the interest in alternative clean fuels with each passing day. Biodiesel is a clean, biodegradable, non-toxic and renewable fuel produced by transesterification of triglycerides with an alcohol in the presence of a suitable catalyst. During production of biodiesel, after by-product glycerin is removed, raw biodiesel must

* Sorumlu Yazar: Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8369-9416, hatice@atauni.edu.tr

be purified to reach certain international fuel standards (EN 14214 or ASTM D6751). The presence of impurities in biodiesel does not only significantly affect motor performance, but simultaneously makes use and storage difficult. As a result, purification of raw biodiesel is a necessity. To purify raw biodiesel, in spite of the use of both wet and dry washing, generally the wet washing method (with water) is used. However, the water used in this method must be removed very thoroughly from the biodiesel. Water always causes negative effects on traditional transesterification of oils in production of biodiesel. The presence of water in biodiesel causes the formation of soap, consumes the catalyst, reduces the efficiency of the catalyst and this all leads to low transformation. Additionally, it negatively affects the quality of the fuel.

In this study, the adsorption mechanism of the water in the biodiesel with the cationic Dowex HCR-S ion exchange resin was studied and the adsorption equilibrium, adsorption kinetics and adsorption thermodynamics were investigated for the process. Within this scope, the Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin-Radushkevich isotherms were used and the most appropriate isotherm for experimental data was found to be the Langmuir isotherm with R^2 value 0.997. Additionally, maximum adsorption capacity was identified as 53.48 mg g⁻¹. Kinetic data were analyzed using pseudo-first order and pseudo second-order kinetic models. The results obtained show the adsorption process fitted the pseudo-second order kinetic model best. The study also investigated the adsorption thermodynamics. Accordingly, the adsorption process was determined to occur spontaneously ($\Delta G^\circ < 0$) and be exothermic ($\Delta H^\circ < 0$). It was concluded that Dowex HCR-S cationic resin was an appropriate adsorbent for adsorption of water from biodiesel.

Keywords: Biodiesel, Dowex HCR-S resin, water adsorption, isotherm, kinetics, thermodynamics.

1. Giriş

Biyodizel, bitkisel ve hayvansal yağlar gibi yenilenebilir yerel kaynaklardan üretilen temiz bir yakıttır. Petrol bazlı dizel yakıtı kıyasla, biyolojik olarak bozunabilir olması, toksik olmaması, yüksek alevlenme noktasına sahip olması ve çok daha az CO ve SO₂ emisyonuna sahip olması gibi avantajları, onun iyi bir alternatif yakıt olmasını sağlar (Kanca and Temur, 2016).

Biyodizel en yaygın olarak transesterifikasyon reaksiyonu ile üretilir. Transesterifikasyonda, bitkisel ya da hayvansal yağ, uygun bir katalizör (genellikle NaOH ya da KOH gibi alkali katalizörler) eşliğinde etil/metil alkol ile reaksiyona girer. Reaksiyonun sonunda, biyodizel olarak adlandırılan etil/metil ester fazı ile yan ürün olarak gliserin fazı oluşur. Bu iki faz, ağırlık farkından yararlanarak birbirinden ayrılır (Shadid and Jamal, 2011). Transesterifikasyonla üretilen ham biyodizel, serbest ve toplam gliserin, sabun, metaller, metanol, serbest yağ asitleri, katalizör, su ve gliseritler gibi safsızlıklar içerir. Yüksek seviyedeki safsızlıklar motorun ömrünü azaltabilir (Hayyan ve ark, 2010) ve ayrıca, üretilen biyodizelin yakıt olarak kullanılabilmesi için belli uluslararası standartları (EN 14214 ya da ASTM D6751) karşılaması gerekir. Bu nedenle, ham biyodizelin saflaştırılması çok önemlidir.

Ham biyodizeli saflaştırmak için daha geleneksel olarak kullanılan yöntem, su ile yıkamadır. Su, ham biyodizeldeki katalizör atıkları ve sabun oluşumu gibi safsızlıkları uzaklaştırabilir (Atadashi, 2015). Ancak, biyodizelin üretimi ve saflaştırılması sırasında suyun varlığı, biyodizelin depolanması ve dizel motorlarda kullanımı sırasında oldukça önemli problemlere sebep olur. Bu problemler, özellikle alkali katalizörlü transesterifikasyon işlemi sırasında biyodizel üretimindeki zorluklar (sabun oluşumu, katalizörün tüketimi, katalizör etkinliğinde azalma ve bunların sonucu olarak da düşük dönüşüm), biyodizel kalitesindeki bozulma, yanma ısısında azalma, yakıt sisteminin parçalarında korozyon ve hidroliz reaksiyonunun hızlanması gibi sorunlardır (Atadashi ve ark, 2012; Kusdiana ve Saka, 2004). Bahsedilen pek çok problem göz önüne alındığında, biyodizeldeki suyun uzaklaştırılmasının önemi anlaşılmaktadır.

Geleneksel yöntemle biyodizel saflaştırılırken, gliserinden ayrılan ham biyodizel, üç kez saf su ile yıkanır, her bir yıkamadan sonra 7-8 saat beklenir, ağırlık farkından yararlanarak altta biriken yıkama suları biyodizelden ayrılır. Biyodizelde kalan fazla su, 70-80 °C’de, bir döner evaporatörde vakum altında yaklaşık 1 saat kadar tutularak uzaklaştırılır (Ma ve Hanna, 1999; Andrei, 2016). Veya daha az uygulanan yöntemle, biyodizelin uygun bir adsorbent madde yardımıyla önce adsorpsiyonu sağlanır ve daha sonra süzme yoluyla kurutulur (Veljkovic, Bankovic-Ilic ve Stamenkovic, 2015). Fazla suyun uzaklaştırılması için kullanılan daha geleneksel yöntemin zaman kaybı ve yüksek enerji sarfıyatı gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bu nedenle biyodizel saflaştırması için, bazı çalışmalarda uygun adsorbentler ya da iyon değiştirici reçineler kullanılmaktadır. Bu prosesler, filtrasyon, fiziksel adsorpsiyon ya da iyon değişimi mekanizmasına dayanmaktadır (Alves ve ark, 2016; Wall ve ark, 2011).

Literatürde biyodizelden farklı bileşenleri uzaklaştırmak için, araştırmacılar, farklı adsorbentler (Faccini ve ark, 2011; Özgül-Yücel ve Türkay, 2003) ya da iyon değiştirici reçineler (Berrios ve ark, 2011; Shibasaki-Kitakawa ve ark, 2013) kullanmışlar ve bu maddelerin biyodizel saflaştırmasında adsorbent olarak kullanılmasının uygunluğunu araştırmışlardır.

Bu çalışmada ise, Dowex HCR-S katyonik reçine kullanılarak biyodizeldeki suyun adsorpsiyonu incelenmiştir. Bunun için prosesin adsorpsiyon izotermi, kinetiği ve termodinamiği araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyaller

Biyodizel üretmek için kullanılan ayçiçek yağı, yerel bir marketten satın alınmıştır. Metanol ve KOH katalizörü sırasıyla Merck ve Flake’ den temin edilmiştir (İkisi de %99.9 saflıkta). Adsorbent olarak kullanılan katyonik reçine (Dowex HCR-S), Fluka’dan temin

edilmiş ve reçinenin bazı özellikleri Tablo 1’ de verilmiştir. Ayrıca reçinenin BET (Brunauer, Emmett and Teller) yüzey karakterizasyon analizi de yapılmış ve reçinenin BET yüzey alanı, 4.6594 m²/g olarak bulunmuştur.

Tablo 1. Dowex HCR-S reçinenin özellikleri

Parametreler	Değeri
Tipi	Asit katyon
Toplam değiştirme kapasitesi, min.	1.9 eq/mL
Tane boyutu	300-1200 µm
pH	0-14
Maksimum çalışma sıcaklığı	120 °C
Tanecik yoğunluğu	1.3 g/mL
Fiziksel formu	Üniform tanecik boyutunda küresel boncuklar

2.2. Ayçiçek Yağından Biyodizel Üretimi

Mekanik karıştırıcı, geri soğutucu ve sabit sıcaklık su sirkülatörü bağlanmış olan 1000 mL’lik ceketli cam bir reaktöre, 700 mL ayçiçek yağı koyulmuş ve yağ 60 °C’ ye ısıtılmıştır. Daha sonra, yağın ağırlıkça % 0.75’ i kadar KOH katalizörü metanolde (Metanol/yağ molar oranı= 5/1) çözülmüş ve 600 rpm’lik karıştırma hızında karışmakta olan reaktöre ilave edilerek reaksiyon başlatılmıştır. 1 saatlik reaksiyon süresinin sonunda, reaktör içeriği bir ayırma hunisine alınmış ve belirli bir süre sonunda altta biriken gliserin fazı, üstte bulunan metil ester fazından (biyodizel) ayrılmıştır. Daha sonra, metil ester fazı üç kez saf su ile yıkanmıştır. Her bir yıkamadan sonra, ayırma hunisinin alt kısmında biriken yıkama suları metil ester fazından ayrılmıştır. Bu işlemde sonra metil ester fazı, içindeki az bir miktar kalan suyu uzaklaştırmak için reçineyle muamele edilmek üzere bekletilmiştir.

2.3. Reçine ile Biyodizeldeki Suyun Adsorpsiyonu

Adsorpsiyon deneyleri de biyodizel üretimi için kullanılan deney sisteminde yapılmıştır. Burada, 250 mL’lik ceketli cam bir reaktörün içerisine, 100 mL biyodizel koyulmuştur. Reaktör içeriği istenilen sıcaklığa ısıtılmıştır. Daha önceden 100°C’ deki bir etüvde belirli bir süre kurutulmuş ve nem kapmaması için desikatörde bekletilmiş olan reçineden belirli bir miktar reaktöre eklenmiş ve karışım, 400 rpm karıştırma hızında, istenilen sürede karıştırılmıştır. Belirlenen sürenin sonunda sistem durdurulmuş ve biyodizelden hızlıca bir mikro enjektör yardımıyla numune alınmıştır. Alınan numunelerdeki su miktarı, bir su tayin cihazı (Karl Fischer coulometrik titratör, GR Scientific Cou-Lo Aquamax KF Moisture Meter) yardımıyla belirlenmiştir. Reçineyle muamele edilmeden önce, ham biyodizel numunelerinin su içerikleri de aynı şekilde tayin edilmiştir. Analizler yapılırken, ham biyodizelin başlangıç konsantrasyonları ve denge konsantrasyonları kaydedilmiştir. Adsorpsiyon izotermi, 1398, 1578, 1649 ve 2553 mg/L’lik farklı su konsantrasyonlarına sahip biyodizele ağırlıkça %6 reçine ilave edilerek belirlenmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Farklı Parametrelerin Etkileri

Reçine yardımıyla biyodizelden suyun uzaklaştırılması için; reçinenin ön kurutma süresi (0, 1, 2, 3, 4 ve 5 saat için), reçinenin temas süresi (10, 20, 30, 40, 50 ve 60 dakika için) , sıcaklık (15, 28, 40 ve 50°C için) ve reçine miktarı (ağırlıkça %0.5, %1, %2, %5, %6, %7 ve %8 için) olmak üzere dört parametre belirlenmiş ve bu parametrelerin etkileri başka bir makalemizde (Çelik-Okumuş, Doğan ve Temur, 2019) ayrıntılı bir şekilde tartışılmıştır. Çalışmanın sonuçları göstermiştir ki; biyodizelden en fazla su, 15 °C sıcaklık, 4 saat reçinenin ön kurutulma süresi, ağırlıkça %6 reçine miktarı ve 50 dakika temas süresi şartlarında adsorplanmıştır ve bu parametre değerlerinde biyodizeldeki suyun %92.78’ i uzaklaştırılmıştır.

3.2. Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon izotermi, sabit sıcaklık ve pH’ da, adsorbent üzerine adsorplanan madde miktarı (q_e , mg g⁻¹) ile çözeltilde adsorplanmadan kalan madde konsantrasyonu (C_e , mg L⁻¹) arasındaki denge durumunu ifade eden grafiklerdir. Bu izoterm, bilinen bir miktardaki adsorplayıcı ile farklı konsantrasyonlarda hazırlanmış olan çözeltileri dengeye ulaştırarak elde edilebilmektedir. Adsorpsiyon izotermi tanımlamak için yaygın olarak kullanılan eşitlikler, Langmuir, Freundlich, Temkin ve Dubinin-Radushkevich (D-R) eşitlikleridir. Bu eşitlikler yardımıyla, adsorbentin yüzey özellikleri ve adsorplayıcı-adsorplanan arasındaki ilgi tanımlanabilir. Ayrıca, maksimum adsorpsiyon kapasitesi, adsorpsiyon yoğunluğu ve adsorpsiyon ısısı da belirlenebilir (Elmorsi ve ark, 2014). Bu çalışmada, denge datalarını tanımlamak için yukarıda ifade edilen eşitliklerin lineer formları kullanılmıştır.

3.2.1. Langmuir İzotermi

Langmuir izoterm modeli (Eşitlik 1), adsorpsiyonun homojen bir yüzey üzerinde ve tek tabakalı olarak gerçekleştiğini varsayar. Aynı zamanda Langmuir, bütün aktif noktaların adsorplanacak moleküllere karşı aynı enerji ve eşit ilgiye (afinite) sahip olduklarını da kabul eder (Langmuir, 1918).

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{C_e}{q_m} \quad (1)$$

Burada, C_e , biyodizeldeki suyun denge konsantrasyonu (mg L^{-1}), q_e , dengedeki adsorpsiyon kapasitesi (mg g^{-1}), K_L , Langmuir sabiti (L mg^{-1}) ve q_m , reçinenin maksimum adsorpsiyon kapasitesi (mg g^{-1}).

Ayrıca, Langmuir izotermine önemli özelliklerini tanımlamak için, R_L boyutsuz faktörü (Eşitlik 2) kullanılabilir. Eğer, $R_L > 1$ ise adsorpsiyon uygun değildir, $R_L = 1$ ise doğrusal, $0 < R_L < 1$ ise adsorpsiyon uygundur ya da $R_L = 0$ ise proses tersinmezdir.

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0} \quad (2)$$

Burada, C_0 , ham biyodizeldeki su konsantrasyonu (mg L^{-1}).

Langmuir izoterm incelemesi eşitlik 1 kullanılarak yapılmıştır. Burada, C_e 'ye karşı C_e/q_e ' değerleri doğrusal olarak grafik edilmiş (Şekil 1-a) ve bu grafiğin eğimi ve kaymasından ise q_m ve K_L değerleri hesaplanmıştır. Tablo 2' de verilen R_L değeri ise Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

3.2.2. Freundlich İzotermi

Freundlich izoterm modeli (Eşitlik 3), adsorpsiyonun çok tabakalı olduğunu varsayar. Ayrıca, adsorplayıcı yüzeyinin, adsorpsiyon alanları ve enerjisi bakımından heterojen olduğunu kabul eder.

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (3)$$

Burada, K_F ($(\text{mg g}^{-1}) (\text{L mg}^{-1})^{1/n}$) ve n , sırasıyla adsorpsiyon kapasitesi ve yoğunlukla ilgili Freundlich eşitlik sabitleridir. Prosesin tipi n parametresi ile belirlenir. $n=1$ ise, proses doğrusaldır, $n>1$ olduğunda kimyasal, $n<1$ olduğunda ise fizikseldir (Gündüz ve Bayrak, 2017).

Freundlich izoterm incelemesi Eşitlik 3 kullanılarak yapılmıştır. Burada, $\ln C_e$ 'ye karşı $\ln q_e$ doğrusal olarak grafik edilmiş (Şekil 1-b) ve bu grafiğin eğimi ve kaymasından ise K_F ve n değerleri hesaplanmış ve Tablo 2' de verilmiştir.

3.2.3. Temkin İzotermi

Temkin izotermine göre, tüm moleküllerin adsorpsiyon ısısındaki azalış, doğrusal bir düzende meydana gelir. Bu da bağlanma enerjisinin homojen olduğunu gösterir (Temkin ve Pyzhev, 1940). Bu izotermi ifade eden eşitlik aşağıda verilir.

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln K_T C_e \quad (4)$$

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln K_T + \frac{RT}{b} \ln C_e \quad (5)$$

$$q_e = B_T \ln K_T + B_T \ln C_e \quad (6)$$

Burada, $B_T = RT/b$ ' dir. b , Temkin izoterm sabiti ve K_T , denge bağlanma sabitidir (Lg^{-1}).

Temkin izotermi, Eşitlik [4-6] kullanılarak incelenmiştir. Burada, $\ln C_e$ 'ye karşı q_e doğrusal olarak grafik edilmiş ve Şekil 1-c' de verilmiştir. Bu doğrunun eğimi ve kaymasından yararlanarak B_T ve K_T sabitleri bulunmuştur (Tablo 2).

3.2.4. Dubinin- Radushkevich (D-R) izotermi

Dubinin ve Radushkevich (D-R) izotermi, heterojen bir yüzey üzerindeki potansiyel değişim teorisine dayanır (Dubinin ve Radushkevich, 1947). (D-R) izoterm modeli şu şekilde yazılabilir;

$$q_e = q_m \exp\left(-K_{DR} \left[RT \left(1 + \frac{1}{C_e}\right)\right]^2\right) \quad (7)$$

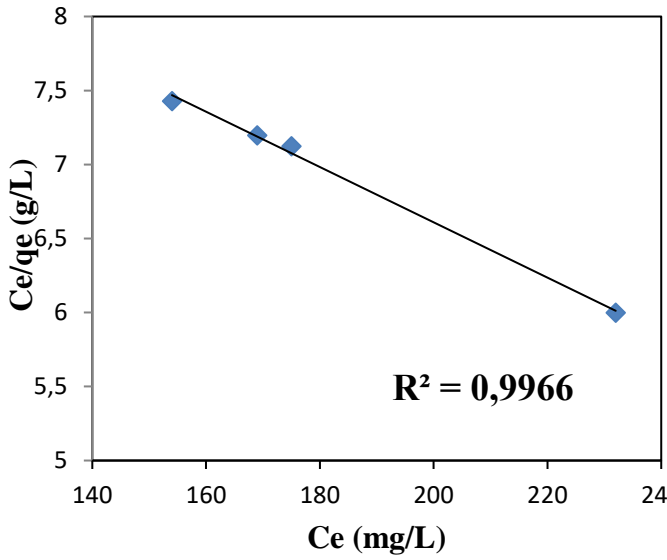
$$\ln q_e = \ln q_m - K_{DR} \varepsilon^2 \quad (8)$$

$$\varepsilon = RT \ln \left[1 + \frac{1}{C_e}\right] \quad (9)$$

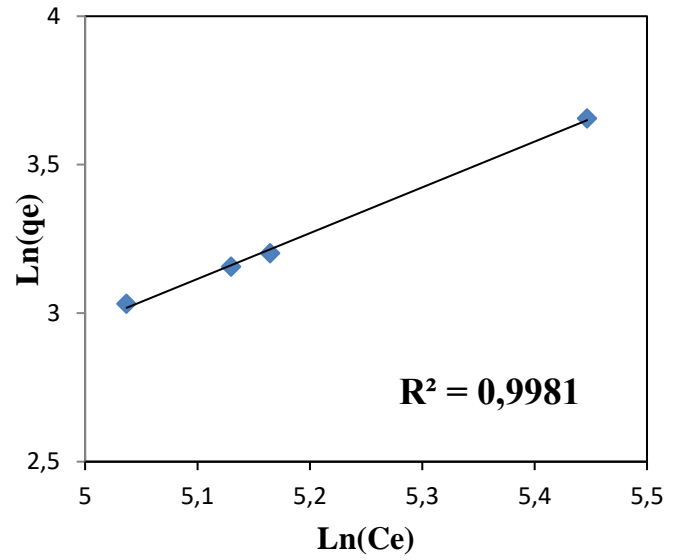
$$E = \frac{1}{\sqrt{2K_{DR}}} \quad (10)$$

Burada, R, gaz sabiti (8.314 J mol⁻¹ K⁻¹), T, mutlak sıcaklık (K), K_{DR}, adsorpsiyon enerjisi ile ilgili izoterm sabiti, q_m, teorik adsorpsiyon kapasitesi ve ε, Polanyi potansiyelini gösterir. Ortalama adsorpsiyon enerjisi (E), adsorpsiyon mekanizmasını tahmin etmemize yardım eder. Eğer E değeri, 8-16 kJmol⁻¹ ise, adsorpsiyon süreci iyon değişimi ile karakterize edilir, E < 8 kJmol⁻¹ ise adsorpsiyon fiziksel, 20 < E < 40 kJmol⁻¹ ise adsorpsiyon kimyasal olarak düşünülebilir (Gündüz ve Bayrak, 2017).

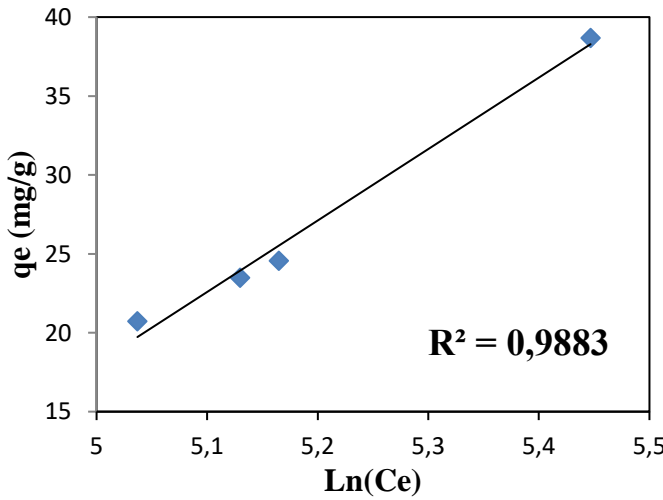
D-R izotermi incelenirken, Eşitlik [7-10] kullanılmıştır. Burada, potansiyel enerjinin karesine (ε²) karşı, lnq_e doğrusal olarak grafik edilmiş (Şekil 1-d) ve bu doğrunun kayması ve eğiminden q_m ve K_{DR} sabitleri bulunmuştur (Tablo 2).



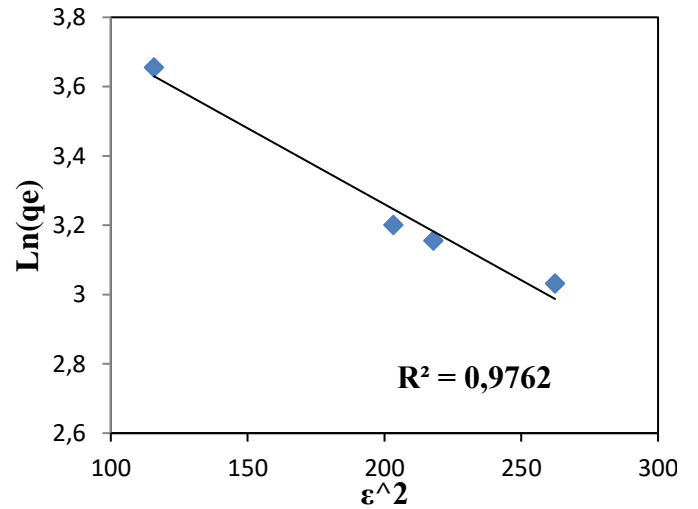
(a) Langmuir



(b) Freundlich



(c) Temkin



(d) Dubinin-Redushkevich

Şekil 1. İzoterm grafikleri (şartlar; temas süresi: 50 dakika, reçine ön kurutma süresi: 4 saat, adsorbent miktarı: ağırlıkça %6, sıcaklık: 28°C).

Şekil 1’de gösterilen izoterm eşitliklerinden elde edilen korelasyon katsayıları (R^2 değerleri) kullanılarak, onların uygulanabilirliği değerlendirilmiş ve her bir izoterm için elde edilen R^2 değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Ayrıca Şekil 1’deki grafiklerin eğimleri ve kaymalarından faydalanılarak her bir izoterme ait sabitler belirlenmiş ve bu sabitler de Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Reçine ile biyodizelden suyun adsorpsiyonu için izoterm parametreleri (Şartlar; temas süresi: 50 dakika, reçine ön kurutma süresi: 4 saat, adsorbent miktarı: %6 (ağırlıkça), sıcaklık: 28°C).

İzoterm modeli	Parametre	Değeri
Langmuir	$q_m(\text{mg g}^{-1})$	53.48
	$K_L(\text{L mg}^{-1})$	0.0018
	R_L	0,284 (1398 mg/L için)
		0,260 (1578 mg/L için)
		0,251 (1649 mg/L için)
		0,178 (2553 mg/L için)
	R^2	0.997
Freundlich	$n (\text{g L}^{-1})$	0.65
	$K_F ((\text{mg g}^{-1})(\text{L mg}^{-1})^{1/n})$	0.0087
	R^2	0.998
Temkin	B_T	45.281
	$K_T (\text{L mg}^{-1})$	0.010
	R^2	0.988
Dubinin-Radushkevich	$q_m (\text{mg g}^{-1})$	62.66
	$K_{DR} (\text{mol}^2 \text{j}^{-2})$	0.0044
	$E (\text{kJ mol}^{-1})$	0.011
	R^2	0.976

Reçine üzerine suyun adsorpsiyon izotermi, Tablo 2’de verilen deneysel şartlar altında ve 1398, 1578, 1649 ve 2553 mgL^{-1} su konsantrasyonlarına sahip biyodizel numuneleri kullanılarak incelenmiştir.

Dowex HCR-S katyonik reçinesi ile suyun adsorplanma prosesinin hangi izoterme uyduğunu belirlemek için, ilk olarak Şekil 1’de çizilen grafiklerin R^2 değerlerine bakılmıştır. Tablo 2 incelendiğinde, Temkin ve Dubinin-Radushkevich izotermi için R^2 değerlerinin, Langmuir ve Freundlich izotermi ile küçük olduğu görülmüştür. Bu nedenle, mevcut prosesin bu izotermle uyumuna karar verilmiştir. Ancak Langmuir ve Freundlich izotermi için R^2 değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Bu nedenle reçine ile su adsorpsiyon prosesinin bu iki adsorpsiyon izoterm grubundan hangisine girdiğini incelemek için, q_e teorik değerleri hesaplanmış ve q_e deneysel değeri ile karşılaştırılmış (Tablo 3) ve deneysel ve teorik q_e ’leri birbirine en yakın olan izoterm tercih edilmiştir. Tablo 3’deki deneysel q_e , $C_0=1398 \text{ mg/L}$ başlangıç konsantrasyonu baz alınarak hesaplanmıştır (Eşitlik 11). Ayrıca, Langmuir izotermi için teorik q_e , Eşitlik 1 ve Freundlich izotermi için teorik q_e ise Eşitlik 3 kullanılarak hesaplanmış ve bu değerler Tablo 3’de verilmiştir.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{m} xV \quad (11)$$

Burada, V, biyodizel hacmi (L) ve m, reçine miktarıdır (g)’dir.

Tablo 3. Langmuir ve Freundlich izotermi için deneysel ve teorik qe değerleri

Langmuir İzotermi		Freundlich İzotermi	
Deneysel qe	Teorik qe	Deneysel qe	Teorik qe
20.733	20.629	20.733	1.932

Tablo 3' de görüldüğü gibi, Langmuir izotermi için deneysel ve teorik qe değerleri birbirine çok yakındır. Bu nedenle, mevcut adsorpsiyonun Langmuir izotermine uyduğuna karar verilmiştir. Ayrıca Langmuir izotermine ait önemli bir boyutsuz sayı olan R_L değerlerinin, 0.284, 0.260, 0.251 ve 0.178 oldukları görülmüştür. Bu değerler, $0 < R_L < 1$ olduğu için, kullanılan reçinenin adsorpsiyon için uygun olduğunu göstermiştir. Freundlich izotermindeki, n değerinin 0.65 olması ($n < 1$) ve D-R izoterminde E değerinin 0.011 kJ/mol olması ($E < 8$ kJ/mol) olması ise adsorpsiyonun fiziksel olduğunu göstermiştir.

3.3. Adsorpsiyon Kinetiği

Deneysel verileri farklı kinetik modellere uydurmak, adsorpsiyon hızını, prosesin modelini ve adsorbent/adsorbat arasındaki etkileşimin fiziksel mi yoksa kimyasal mı olduğu hakkında tahmini bilgileri incelememizi sağlar (Elmorsi ve ark, 2014). Bu çalışmada yalancı birinci mertebeye ve yalancı ikinci mertebeye olmak üzere iki farklı kinetik model kullanılmıştır (Gündüz ve Bayrak, 2017).

3.3.1. Yalancı Birinci Mertebeye Eşitliği

Yalancı birinci mertebeye eşitliği, adsorpsiyon prosesinin hız sabitini bulmak için Langergren ve Svenska tarafından verilmiştir (Eşitlik 12).

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{K_1}{2.303} t \quad (12)$$

Burada, q_e (mg g^{-1}) ve q_t (mg g^{-1}), sırasıyla denge ve herhangi bir t süresindeki adsorpsiyon kapasiteleri ve K_1 (dakika^{-1}), yalancı birinci mertebeye hız sabiti (Rudzinski ve Plazinski, 2006).

Burada, t' ye karşı, $\log(q_e - q_t)$ değerleri, iki farklı konsantrasyon için (1398, 1578 mg L^{-1}) doğrusal olarak grafik edilmiş (Şekil 2-a) ve bu doğrunun eğimi ve kaymasından K_1 ve q_e değerleri hesaplanmış ve bu değerler Tablo 4' de verilmiştir. Tablo 4' deki sonuçlar, R^2 değerlerinin düşük, deneysel qe değerlerinin ise hesaplanan qe değerleri ile uyuşmadığını göstermektedir. Bu da bize, Dowex HCR-S reçine ile biyodizelden su adsorpsiyonunun yalancı 1 mertebeye kinetiğe uymadığını göstermektedir.

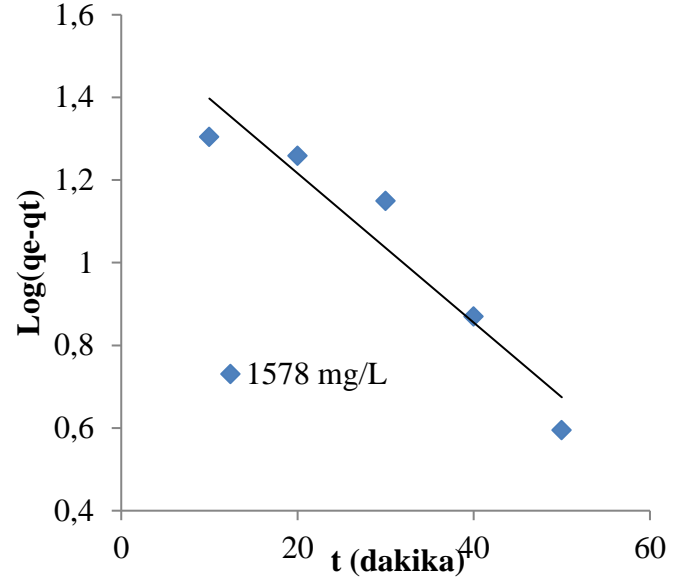
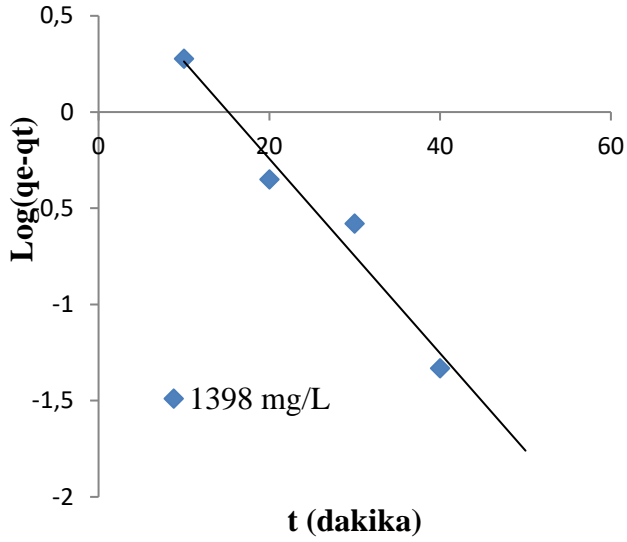
3.3.2. Yalancı İkinci Mertebeye Hız Eşitliği

Yalancı ikinci mertebeye kinetik modeli şu şekilde verilebilir:

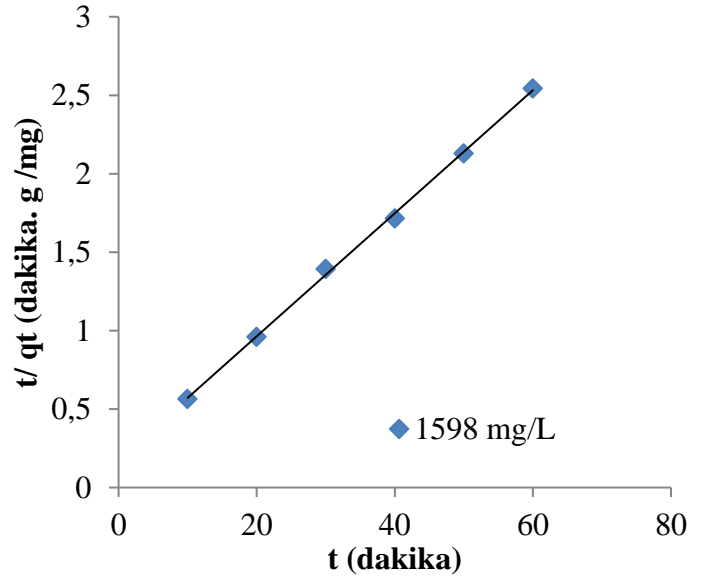
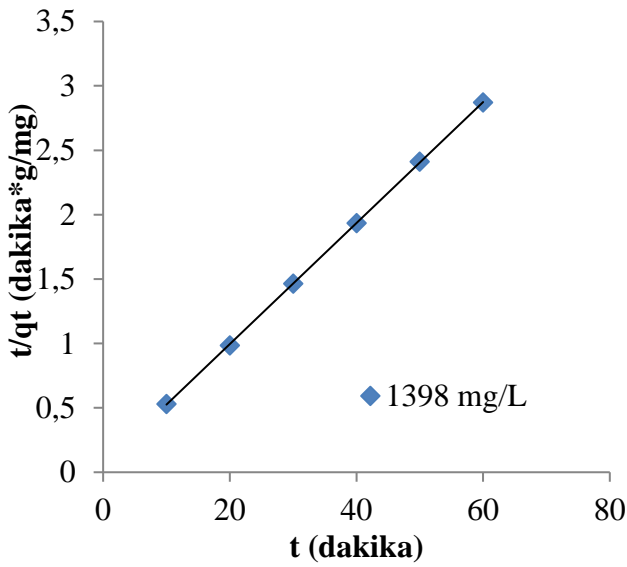
$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{(K_2 q_e^2)} + \left(\frac{1}{q_e}\right) x t \quad (13)$$

Burada, K_2 ($\text{g mg}^{-1} \text{dak}^{-1}$), yalancı ikinci mertebeye hız sabitidir (Rudzinski ve Plazinski, 2006).

Burada, t' ye karşı, t/q_t değerleri, iki farklı konsantrasyon için (1398, 1578 mg L^{-1}) doğrusal olarak grafik edilmiş (Şekil 2-b) ve bu doğrunun eğimi ve kaymasından K_2 ve q_e değerleri hesaplanmış ve bu değerler Tablo 4' de verilmiştir.



(a) Yalancı birinci mertebeye kinetik model



(b) Yalancı ikinci mertebeye kinetik model

Şekil 2. Kinetik modeller (şartlar; sıcaklık: 28°C, adsorbent miktarı: ağırlıkça %6, reçine ön kurutma süresi: 4 saat)

Şekil 2b' deki sonuçlar, çok yüksek R² değerlerine sahip doğrular göstermektedir. Buna ilaveten, deneysel qe değerleri ile hesaplanan qe değerleri arasında iyi bir uyum vardır (Tablo 4). Bu nedenle, yalancı ikinci mertebeye kinetik modelin bu proses için uygun olduğuna karar verilmiştir.

Tablo 4. Reçine ile biyodizeldeki suyun adsorpsiyonu için adsorpsiyon kinetik parametreleri (sıcaklık: 28°C, reçine ön kurutma süresi: 4 saat, reçine miktarı: ağırlıkça %6).

Kinetik model	Kinetik parametreler			R ²
Yalancı birinci mertebeye	K ₁ (dakika ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹) (hesaplanan)	q _e (mg g ⁻¹) (deneysel)	
1398 mg/L	0.117	5.87	20.73	0.965
1578 mg/L	0.042	37.84	23.43	0.917

Yalancı ikinci meretebe	K ₂ (mg g ⁻¹ dak. ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹) (hesaplanan)	q _e (mg g ⁻¹) (deneysel)	R ²
1398 mg/L	0.040	21.28	20.73	1
1578 mg/L	0.009	25.51	23.43	0.99

3.4. Termodinamik Analizler

Termodinamik analizler, 15°C, 28°C, 40°C ve 50°C olmak üzere dört farklı sıcaklıkta yapılmıştır. Standart serbest enerji değişimi (ΔG°), entalpi değişimi (ΔH°) ve entropi değişimi (ΔS°) gibi termodinamik parametreler, aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$K_D = \frac{q_e}{C_e} \quad (14)$$

Burada K_D (dağılım katsayısı), adsorbent yüzeyinin ilgisini ortaya koyar. Gibbs serbest enerjisi, Eşitlik 15 kullanılarak bulunmuş ve Tablo 5’ de sunulmuştur.

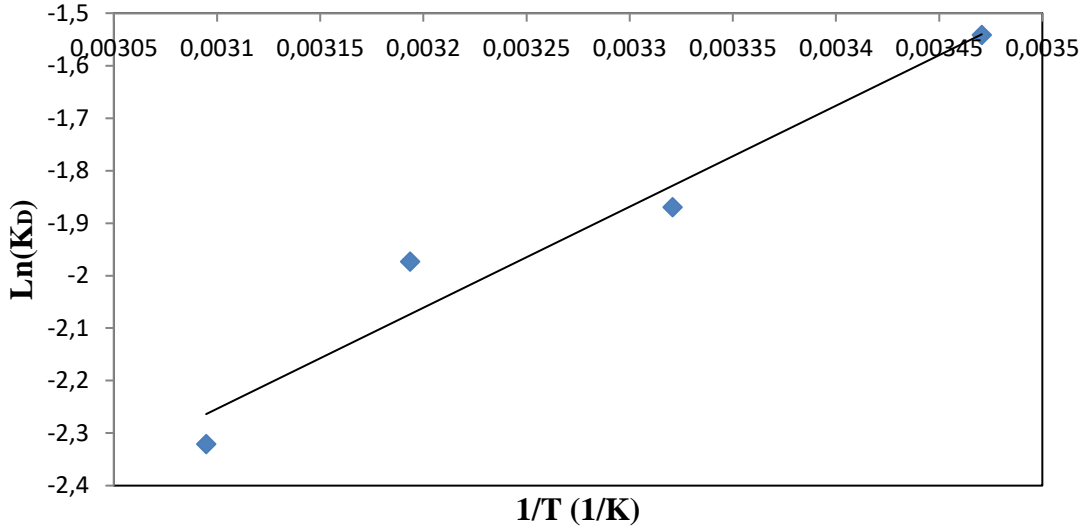
$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_D \quad (15)$$

ΔH° ve ΔS° değerleri, Eşitlik 16 (Van’t Hoff eşitliği) kullanılarak bulunmuştur.

$$\ln K_D = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT} \quad (16)$$

Burada, R (8.314 J mol⁻¹ K⁻¹), gaz sabiti ve T (K), mutlak sıcaklıktır.

Burada, 1/T’ ye karşı lnK_D doğrusal olarak grafik edilmiş (Şekil 3), elde edilen doğrunun eğimi ve kaymasından ise ΔH° ve ΔS° değerleri bulunmuştur (Tablo 5).



Şekil 3. Van't Hoff eşitliği grafiği

Tablo 5 incelendiğinde, ΔH° < 0 olması, bu prosesin ekzotermik olduğunu ve düşük sıcaklıkların adsorpsiyonun lehine olduğunu, ΔG° değerlerinin negatif olması ise adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca ΔG°' ın mutlak değerlerinin 20 kJ mol⁻¹ den daha büyük olması ise, Dowex HCR-S reçine ile biyodizeldeki suyun adsorpsiyon prosesinin fiziksel adsorpsiyon olduğunu göstermektedir (Li ve ark, 2019).

Tablo 5. Reçine üzerine suyun adsorpsiyonu için termodinamik parametreler

T (°C)	ΔH° (kJ mol ⁻¹)	ΔS° (kJ mol ⁻¹ K ⁻¹)	ΔG° (kJ mol ⁻¹)
15	-16.00	0.07	-35.69
28	-16.00	0.07	-36.58
40	-16.00	0.07	-37.40
50	-16.00	0.07	-38.08

4. Sonuç

Bu çalışmada adsorbent olarak kullanılan Dowex HCR-S reçine üzerine biyodizeldeki suyun adsorpsiyonunun izoterm, kinetik ve termodinamik açıdan incelenmesi yapılmış ve sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- Deneysel verilerin Langmuir, Freundlich, Temkin ve Dubinin-Radushkevich izotermine uygunluğu analiz edilmiş ve en uygun izoterm Langmuir olduğu ve ayrıca kullanılan reçinenin adsorpsiyon için uygun olduğu bulunmuştur.
- Prosesin yalancı ikinci mertebe kinetik modele uyduğu belirlenmiştir.
- Termodinamik analizler, prosesin ekzotermik olduğunu, kendiliğinden gerçekleştiğini ve fiziksel adsorpsiyon olduğunu göstermiştir.

Kaynakça

- Alves, M.J., Cavalcanti, I.V., Resende, M.M., Cardoso, V.L., Reis, M.H. (2016). Biodiesel dry purification with sugarcane bagasse, *Industrial Crops and Products*, 89, 119-127.
- Andrei, M. (2016). Aspects Related to the Purification of Biodiesel Synthesized in Alkaline Catalysis, *Revista De Chime*, 67(4), 791-795.
- Atadashi, I.M. (2015). Purification of crude biodiesel using dry washing and membrane technologies. *Alexandria Engineering Journal*, 54 (4), 1265-1272.
- Atadashi, I.M., Aroua, M.K., Abdul Aziz, A.R., Sulaiman, N.M.N. (2012). The effects of water on biodiesel production and refining technologies: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 3456-3470.
- Berrios, M., Martin, M.A., Chica A.F., Martin, A. (2011). Purification of biodiesel from used cooking oils. *Applied Energy*, 88, 3625-3631.
- Çelik-Okumuş, Z., Doğan, T.H., Temur, H. (2019). Removal of water by using cationic resin during biodiesel purification. *Renewable Energy*, Accepted for publication.
- Dubinin, M., Radushkevich, L. (1947). Equation of the characteristic curve of activated charcoal. *Chemisches Zentralblatt*, 1, 875.
- Elmorsi, T.M., Mohamed, Z.H., Shopak, W., Ismaiel, A.M. (2014). Kinetic and Equilibrium Isotherms Studies of Adsorption of Pb(II) from Water onto Natural Adsorbent. *Journal of Environmental Protection*, 5, 1667-1681.
- Faccini, C.S., da Cunha, M.E., Aranda Moraes, M.S., Krause, L.C., Manique, M.C., Rodrigues, M.R.A., Benvenuti, E.V., Caramao, E.B. (2011). Dry washing in biodiesel purification: a comparative study of adsorbents. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 22, 558-563.
- Gündüz, F., Bayrak, B. (2017). Biosorption of malachite green from an aqueous solution using pomegranate peel: Equilibrium modelling, kinetic and thermodynamic studies. *Journal of Molecular Liquids*, 243, 790-798.
- Hayyan, M., Mjalli, F.S., Hashim, M.A., Alnashif, I.M. (2010). A novel technique for separating glycerine from palm oil-based biodiesel using ionic liquids. *Fuel Processing Technology*, 91, 116-120.
- Kanca, A., Temur, H. (2016). The effects of long-term storage on the cold flow properties and viscosity of canola-based biodiesel. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38(15), 2205-2210.
- Kusdiana, D., Saka, S. (2004). Effects of water on biodiesel fuel production by supercritical methanol treatment. *Bioresource Technology*, 91 (3), 289-295.
- Langmuir, I. (1918). The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum, *Journal of the American Chemical Society*, 40, 1361-1403.
- Li, R., Liang, N., Ma, X., Chen, B., Huang, F. (2019). Study on the adsorption behavior of glycerin from fatty acid methyl esters by a tertiary amine-type anion exchange resin. *Journal of Chromatography A*, 1586, 62-71.
- Ma, F., Hanna, M. A. (1999). Biodiesel production: A review. *Bioresource Technology*, 70, 1-15.
- Özgül-Yücel, S., Türkay, S. (2003). Purification of FAME by rice hull ash adsorption. *Journal of the American Oil Chemists's Society*, 80, 373-376.
- Rudzinski, W., Plazinski, W. (2006). Kinetics of Solute Adsorption at Solid/Solution Interfaces: A Theoretical Development of the Empirical Pseudo-First and Pseudo-Second Order Kinetic Rate Equations, Based on Applying the Statistical Rate Theory of Interfacial Transport. *The Journal of Physical Chemistry B*, 110, 16514-16525.
- Shadid, E.M., Jamal, Y. (2011). Production of biodiesel: A technical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 4732-4745.
- Shibasaki-Kitakawa, N., Kanagawa, K., Nakashima, K., Yonemoto, T. (2013). Simultaneous production of high quality biodiesel and glycerin from Jatropha oil using ion-exchange resins as catalysts and adsorbent. *Bioresource Technology*, 142, 732-736.
- Temkin, M., Pyzhev, V. (1940). Recent Modifications to Langmuir isotherms. *Acta Physico-Chimica Sinica*, 12, 217-222.
- Veljkovic, V.B., Bankovic-Ilic, I.B., Stamenkovic, O.S. (2015). Purification of crude biodiesel obtained by heterogeneously-catalyzed transesterification. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 500-516.
- Wall, J., Van Gerpen, J., Thompson, J. (2011). Soap and glycerin removal from biodiesel using waterless processes. *Transactions of the ASABE*, 54, 535-541.



Türkiye'de Büyük Menderes Nehri'nde Ağır Metal Kirliliği Üzerine Bir Çalışma

Cengiz Koç^{1*}, Ebru Yılmaz²

¹ Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Muğla, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7310-073X)

² Aydın Adna Menderes Üniversitesi, Bozdoğan Meslek Yüksekokulu, Su Ürünleri Mühendisliği Bölümü, Aydın, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1905-1265)

(First received 28 February 2019 and in final form 27 March 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.533632)

REFERENCE: Koç, C. & Yılmaz, E.. (2019). A Study About of Heavy Metal Pollution in the Büyük Menderes River in Turkey. *European Journal of Science and Technology*, (15), 571-578.

Öz

Bu araştırma Büyük Menderes Nehri'nde ağır metal kirliliğini saptamak amacı ile yapılmıştır. Büyük Menderes nehrinde seçilen 8 istasyondan 13 yıl boyunca alınan su örneklerinde Cu, Zn, Mn, Pb, Cd ve Fe parametreleri değerlendirilmiştir. Bakır Yenipazar Köprüsü'nde (10.02 ± 9.86) en düşük, Sarayköy Köprüsü'nde (18.46 ± 17.48) en yüksek; çinko Aydın köprüsünde en düşük (32.07 ± 18.14), Sarayköy Regülatöründe en yüksek (65.19 ± 55.54); mangan Adıgüzel Barajı'nda en düşük (41.61 ± 35.38), Sarayköy Regülatöründeki en yüksek (148.36 ± 105.02); kurşun, Adıgüzel Barajı'nda en düşük (4.01 ± 3.96), Yenipazar Köprüsü'nde en yüksek (9.95 ± 8.62); kadmiyum Söke Regülatörü'nde en düşük (2.37 ± 2.18), Sarayköy Köprüsü'nde en yüksek (2.61 ± 2.18); demir Adıgüzel Barajı'nda en düşük (77.21 ± 72.47), Söke Regülatöründe en yüksek (330.07 ± 306.24) olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak Büyük Menderes Nehri'nin kirlilik tehdidi altında olmadığı saptamıştır.

Anahtar Kelimeler: Büyük menderes nehri, Ağır metal kirliliği; Su kalitesi, Türkiye

A Study About of Heavy Metal Pollution in the Büyük Menderes River in Turkey

Abstract

This study has been conducted to find out the heavy metal pollution of Büyük Menderes River in Aydın. Water samples having been taken from 8 stations of the Buyuk Menderes for 13 years were examined in terms of Cu, Zn, Mn, Pb, Cd and Fe. The values were measured as the lowest in the Yenipazar Bridge (10.02±9.86) and the highest in the Sarayköy Bridge (18.46±17.48) for copper; the lowest in the Aydın Bridge (32.07±18.14) and the highest in the Sarayköy Regulator (65.19±55.54) for zinc; the lowest in the Adıgüzel Dam (41.61±35.38) and the highest in the Sarayköy Regulator (148.36±105.02) for manganese; the lowest in the Adıgüzel Dam (4.01±3.96) and the highest in the Yenipazar Bridge (9.95±8.62) for lead; the lowest in the Söke Regulator (2.37±2.18) and the highest in the Sarayköy Bridge (2.61±2.18) for cadmium; the lowest in the Adıgüzel Dam (77.21±72.47) and the highest in the Söke Regulator (330.07±306.24) for iron. Finally, it has been observed that Büyük Menderes River is not under the threat of pollution.

Keywords: Büyük menderes river, Heavy metal, Water quality, Turkey

* Sorumlu Yazar: Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Muğla, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7310-073X), cengizko9@gmail.com

1. Introduction

Heavy metals are one of the most serious pollutants in our natural environment due to their toxic effect, persistence and bioaccumulation problems (Tam and Wong 2000). Heavy metals which are moved with water become extremely dilute and subside at the bottom of water by forming solid compounds as carbonate, sulfate, sulfur and become rich in this region. The heavy metal concentrations in waters always increase due to limited absorption capacity of sediment layer (Kahvecioğlu et al. 2008). The main sources of contamination include mining wastes, landfill leaches, municipal wastewater, urban runoff and industrial wastewaters, particularly from the electroplating, electronic and metal-finishing industries. Many aquatic environments face metal concentrations that exceed water quality criteria designed to protect the environment, animals and humans (Sharma 2015).

At this point, when heavy metals exceed the concentration limits, they cause a toxic effect to both water and the body of creatures which they live in. Especially, if this effect is in the body of a creature, it changes by its type and structure of metal ions. Therefore, the maximum concentration limit must be determined and kept under control in foods obtained from water sources and regular drinking water. That's why determining heavy metal level of waters is so significant to detect pollution levels.

Many studies in the literature have focused on heavy metal pollution of water resources worldwide (Reza and Singh 2010; Nair et al. 2010, Hassan et al. 2010; Arslan et al. 2011; Akobundu 2012; Touraj 2015; Hayati et al. 2017). The Büyük Menderes river has a 584-km length and is the longest river in the Aegean Region in Turkey. The Büyük Menderes river basin is affected by human activities like industry, agriculture, urbanization, and tourism, as well as obstacles that hinder the movement of migratory fish and reduce water quality. While the river used to be a valuable water source for fishing and drinking water, today it cannot even be used as a quality source of irrigation water at many points due to these pressures and effects (Koç 2008). The study area is important tourist attraction. Therefore, it is necessary to assess the quality of the river water. The purpose of this study was to evaluate the concentrations and average distributions of heavy metals in Menderes River water using atomic spectrometry (AAS).

2. Material and Methods

2.1. Study area

The Büyük Menderes River is located in the western Anatolia, southwest Turkey, between 37° 6'–38° 55' North and 27°–30° 36' East. Borders of the basin which constitutes 3.2 % of Turkey's land surface includes parts of Aydın, Uşak, Denizli, Muğla, Afyon, Isparta, Burdur and İzmir provinces. With 584 km, it is the longest river in the Aegean Region. Many lateral streams feed the river, with the main tributaries being the Çine, Banaz, Çürüksu and Akçay rivers. The majority of small tributaries dry out in summer. As an important river system, the Büyük Menderes includes wetlands such as Işıklı Lake, Bafa Lake, and the Büyük Menderes River Delta. It is also a very important river basin in terms of biodiversity, being subject to the effects of both the Mediterranean and continental climates. The locations of the eight stations selected for this study are shown in Fig. 1. The stations were chosen deliberately to identify the degradation of the quality of the water as a result of the urban pollution observed in the area. Station 1 is the Adıgüzel Dam. In this dam, this problem results from the industrial residues which contain leather and textile as well as waste materials coming from Uşak. Station 2 is constituted by the Yenice Regulator. It is 32 km away from the Adıgüzel Dam where pollution stems from domestic waste and pesticides. Station 3 is the Sarayköy Bridge which is influenced by the wastes coming from the Denizli-Sarayköy sewage system, the geothermal plant nearby, and a textile factory. Station 4 is the Feslek Regulator. The Büyük Menderes River is polluted by domestic wastes coming from the nearby residential and industrial areas. Station 5 is the Yenipazar Bridge which is polluted by the water coming from the Akçay tributary in the Yenipazar Bridge. Station 6 is the Aydın Bridge which is affected mainly by untreated wastewater coming from the industrial zones and municipal sewage treatment plants nearby. Station 7 is the Koçarlı Bridge which merges with the Menderes following the Cine and İkizdere streams. Station 8 is the Söke Regulator, stations of which are polluted by the domestic wastes and pesticide packages coming from the nearby areas.

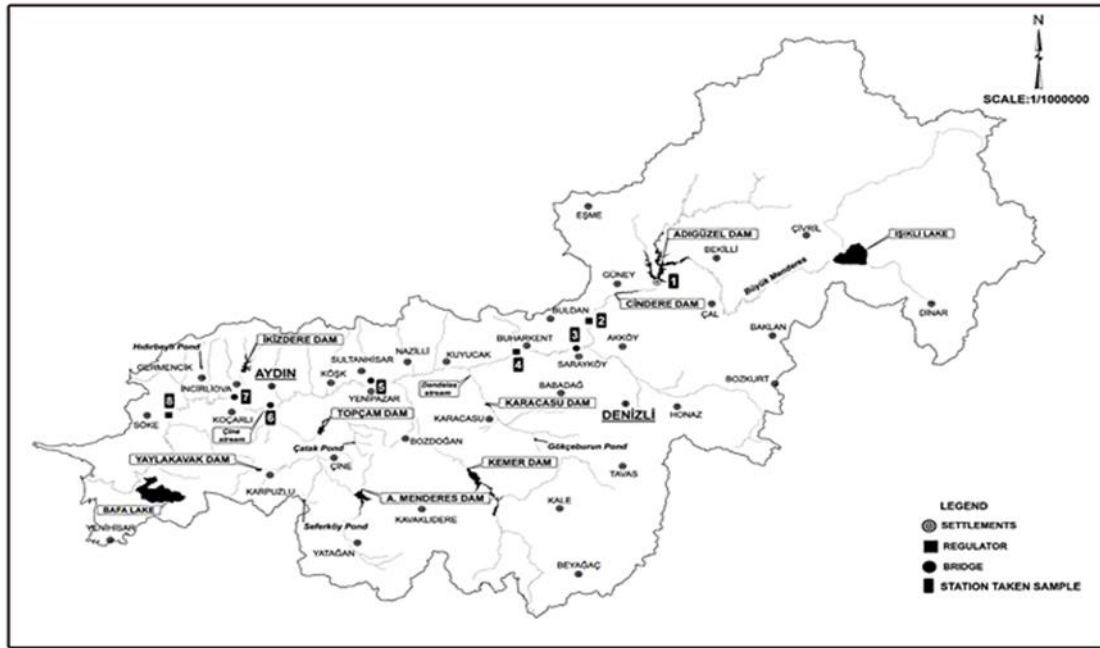


Figure 1. The sample stations from the Büyük Menderes River

2.2. Sampling and Analysis

The quality of the water was measured at 8 stations, namely the Adıgüzel Dam, the Yenice Regulator, the Sarayköy Bridge, the Feslek Regulator, the Yenipazar Bridge, the Aydın Bridge, the Koçarlı Bridge, the Söke Regulator). Water samples were collected in polyethylene bottles (washed with detergent, then with deionized water, 2 M nitric acid (Merck), then with deionized water again, and finally with surface water). Samples were acidified with 10 % HNO₃, placed in an ice bath and brought to the laboratory. The samples were filtered through a 0.45 µm micropore membrane filter and kept at -20 °C until the analysis was conducted (Alam et al. 2001). The frequency of sampling was monthly. Heavy metal accumulation in the water samples was detected by means of Atomic Absorption device (Fifield and Haines 1997). Analyses of water samples were performed according to the international standard methods (Apha 2005) in the State Hydraulic Works 21st Region Directorate Quality Control Laboratory. The one-way analysis of variance (ANOVA) was conducted to evaluate among the sample stations. The Tukey multiple range test was used to discriminate between means. All statistical analyses were performed in the SPSS version 21 statistical software (IBM, New York, NY), and statistical decisions were based on an alpha of 0.05. The distribution of the data was illustrated via Box-Plot Graphs.

3. Results and Discussion

The copper value was the lowest in the Yenipazar Bridge (10.02±9.86 µg/l) and the highest in the Sarayköy Bridge (18.46±17.48 µg/l) as presented in Table 1.

Table 1. Results of heavy metal analyses of water samples taken from the Büyük Menderes River

Stations	Copper (µg/l)	Zinc (µg/l)	Manganese (µs/cm)	Lead (µg/l)	Cadmium (µg/l)	Iron (µs/cm)
Adıgüzel	10.41±9.98 ^c	43.55±41.49 ^{bc}	41.61±35.38 ^b	4.01±3.96 ^c	2.50±2.01 ^{ab}	77.21±72.47 ^c
Yenice	11.79±11.64 ^{bc}	58.93±58.21 ^{ab}	134.92±134.56 ^a	7.92±7.56 ^{bc}	2.50±2.09 ^{ab}	151.32±149.92 ^d
Sarayköy	18.46±17.48 ^a	65.19±55.54 ^a	148.36±105.02 ^a	6.45±6.43 ^{cd}	2.61±2.18 ^a	176.19±172.09 ^d
Feslek	14.39±14.14 ^{abc}	64.30±63.93 ^a	141.63±120.05 ^a	5.88±5.87 ^{dc}	2.55±2.02 ^{ab}	262.50±207.64 ^{bc}
Yenipazar	10.02±9.86 ^c	33.12±22.60 ^c	123.61±82.37 ^a	9.95±8.62 ^a	2.52±2.15 ^{ab}	267.90±267.03 ^{ab}
Aydın	17.28±15.92 ^a	32.07±18.14 ^c	148.26±112.55 ^a	5.92±5.82 ^{dc}	2.56±2.22 ^a	202.84±178.17 ^{cd}

Koçarlı	15.33±8.85 ^{ab}	54.68±50.32 ^{ab}	133.07±118.48 ^a	9.01±8.81 ^{ab}	2.50±2.09 ^{ab}	318.71±304.98 ^{ab}
Söke	12.25±11.10 ^{bc}	53.19±42.98 ^{ab}	132.61±115.83 ^a	7.23±4.57 ^{bcd}	2.37±2.18 ^b	330.07±306.24 ^a

The differences were observed to be significant in all of the 8 stations ($p < 0.05$). The copper was the lowest ($5.83 \pm 1.26 \mu\text{g/l}$) in 2003 and the highest ($31.29 \pm 23.62 \mu\text{g/l}$) in 2005. The difference between the years during which the study was conducted was found to be statistically significant ($p < 0.05$) (Figure 2).

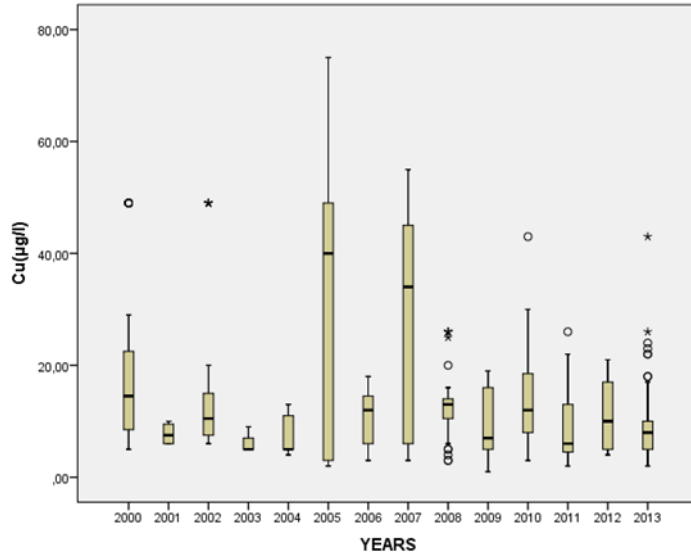


Figure 2. Change graphics of Cu values in the Büyük Menderes River during 2000-2013

The average copper metal level was reported to $1.55 \mu\text{g/l}$, $10 \mu\text{g/l}$, $13.25 \mu\text{g/l}$, $27 \mu\text{g/l}$, $105 \mu\text{g/l}$ and $2.48 \mu\text{g/l}$ in the Brahmani, Ganga, Hazar, Sira, Subarnarekha and Euphrates rivers (Reza and Singh 2010, Aktar et al. 2010, Touraj 2015, Herojeet et al. 2015, Manoj and Chaudhury 2012, Hassan et al. 2010). According to WHO (1993), standard value of copper is $100 \mu\text{g/l}$. Present findings are lower than standard. Some of the most important factors which cause copper to increase in the water are reported to be pesticides, cooling water discharge, textile industry, and car and lorry brake linings. Processed agriculture is heavily practiced in the Büyük Menderes Plain throughout the selected stations of the river and pesticides and fertilizers are also heavily used. The proximity of the stations to main roads is also another important factor. The zinc value was measured as the lowest in the Aydın Bridge (32.07 ± 18.14) and the highest in the Sarayköy Regulator (65.19 ± 55.54) as presented in Table 1. In all of the 8 stations, significant differences were determined in the annual zinc levels ($p < 0.05$). The zinc was measured as the lowest (11.60 ± 5.67) in 2002 and the highest (111.29 ± 78.70) in 2010. There were differences between all the years, and these differences were found to be statistically significant ($p < 0.05$) (see Figure 3).

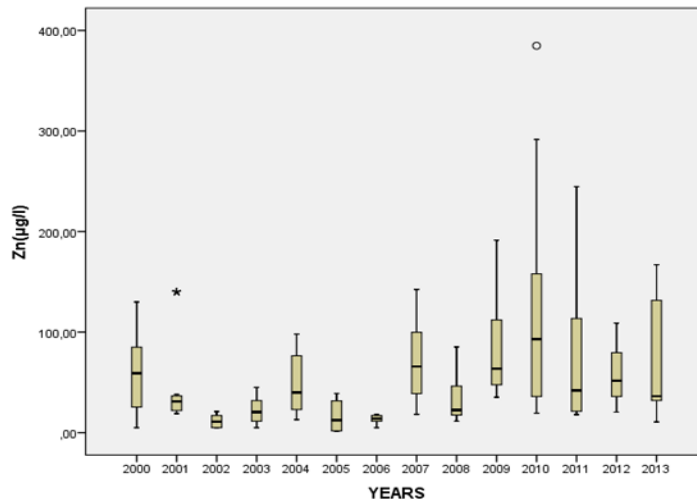


Figure 3. Change graphics of Zn values in the Büyük Menderes River during 2000-2013

The average zinc metal level was reported to be 5.00 µg/l, 20 µg/l in the San Andres Lagoon, Argungu rivers (Va'zquez-Sauceda et al. 2011; Obaroh et al. 2015). According to WHO (1993), Standard value of zinc in water is 3000 µg/l. Present findings of river are within the standard level. The fact that the pollution rate was found to be high in Sarayköy is associated with the presence of the geothermal facility in the region. The manganese value was measured as the lowest in the Adıgüzel Dam (41.61±35.38) and the highest in the Sarayköy Regulator (148.36±105.02) as presented in Table 1. In all of the 8 stations, significant differences were determined in the annual manganese levels ($p < 0.05$). The manganese was measured as the lowest (70.31±52.51) in 2005 and the highest (218.18±156.18) in 2012. There were differences between all the years, and these differences were found to be statistically significant ($p < 0.05$) (see Figure 4).

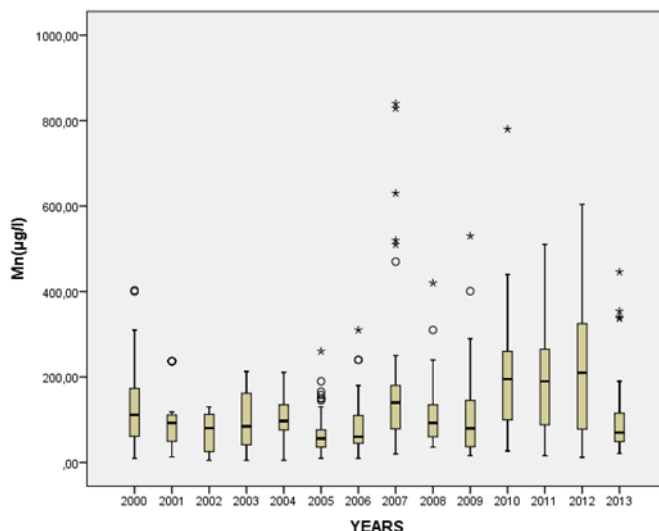


Figure 4. Change graphics of Mn values in the Büyük Menderes River during 2000-2013

Manganese is formed in domestic wastewater, industrial wastes and receiving river environment. Manganese has the lowest toxic effect among all heavy metals. In general terms, manganese data values are found within acceptable limits. While the Adıgüzel station has values quite below these limits, other stations fall into the moderately polluted water group in terms of manganese. In another study conducted by Arıman et al. 2007, the manganese averages in following rivers were reported as follows; 91 µg/l in Yeşilırmak, 134 µg/l in Abdal, 358 µg/l in Mert, 206 µg/l in Kürtün, 928 µg/l in Engiz and 310 µg/l in Kızılırmak. The average manganese metal level was reported to be 76 µg/l, 116 µg/l, 73.3 µg/l, 313.9 µg/l and 6.12 µg/l in the Subarnarekha, Hazar, Odra, Sirsa and Euphrates rivers (Manoj and Chaudhury 2012, Touraj 2015, Adamiec 2002, Herojeet et al. 2015, Hassan et al. 2010). The lead value was measured as the lowest in the Adıgüzel Dam (4.01±3.96) and the highest in the Yenipazar Bridge (9.95±8.62) as presented in Table 1. In all of the 8 stations, significant differences were determined in the annual manganese levels ($p < 0.05$). The lead was measured as the lowest (1.17±1.35) in 2008, and the highest (18.50±5.16) in 2003. There were differences between all the years, and these differences were found to be statistically significant ($p < 0.05$) (see Figure 5).

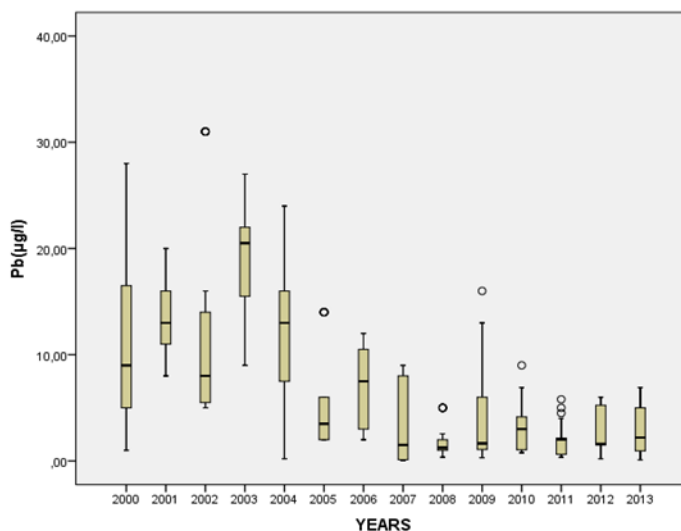


Figure 5. Change graphics of Pb values in the Büyük Menderes River during 2000-2013

The average lead metal level was reported to be 23 µg/l, 4.4 µg/l, 1.77 µg/l, 17.9 µg/l and 0.10 µg/l in the Subarnarekha, Hazar, Odra, Sirsa and Euphrates rivers (Manoj and Chaudhury 2012, Touraj 2015, Adamiec 2002, Herojeet et al. 2015, Hassan et al. 2010). According to WHO (1993), the standard value of lead is 20 µg/l. Present findings of river are within the standard level. The cadmium value was measured as the lowest in the Söke Regulator (2.37±2.18) and the highest in the Sarayköy Bridge (2.61±2.18) as presented in Table 1. In all of the 8 stations, significant differences were determined in the annual cadmium levels (p<0.05). The cadmium couldn't detected in 2009 and measured the highest (5.79±0.41) in 2007. There were differences between all the years, and these differences were found to be statistically significant (p<0.05) (see Figure 6).

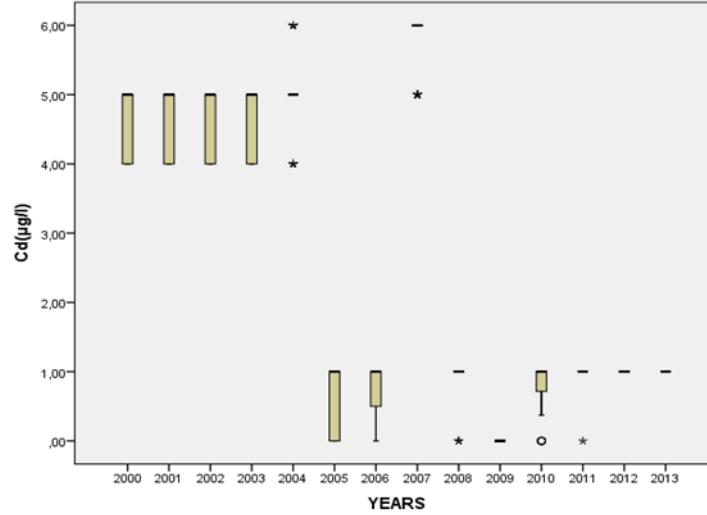


Figure 6. Change graphics of Cd values in the Büyük Menderes River during 2000-2013

The average cadmium metal level was reported to be 5 µg/l, 2.65 µg/l, 0.14 µg/l, 2.6 µg/l, 4.8 µg/l and 2.14 µg/l in the Ganga, Hazar, Odra, Sirsa, Subarnarekha and Euphrates rivers (Aktar et al 2010, Touraj 2015, Adamiec 2002, Herojeet et al. 2015, Manoj and Chaudhury 2012, Hassan et al. 2010). Cadmium is formed due to a good variety of reasons such as especially industrial waste in the environment, agricultural fertilizers and detergents. Standard value of cadmium is 3 µg/l for drinking and <1 mg/l for aquaculture. Present findings river exceeds the standard value in case of aquaculture but within acceptable for drinking. The iron value was measured as the lowest in the Adigüzel Dam (77.21±72.47) and the highest in the Söke Regulator (330.07±306.24) as presented in Table 1. In all of the 8 stations, significant differences were determined in the annual iron levels (p<0.05). The iron was measured as the lowest (38.89±21.87) in 2012 and the highest (547.20±243.20) in 2004. There were differences between all the years, and these differences were found to be statistically significant (p<0.05) (see Figure 7).

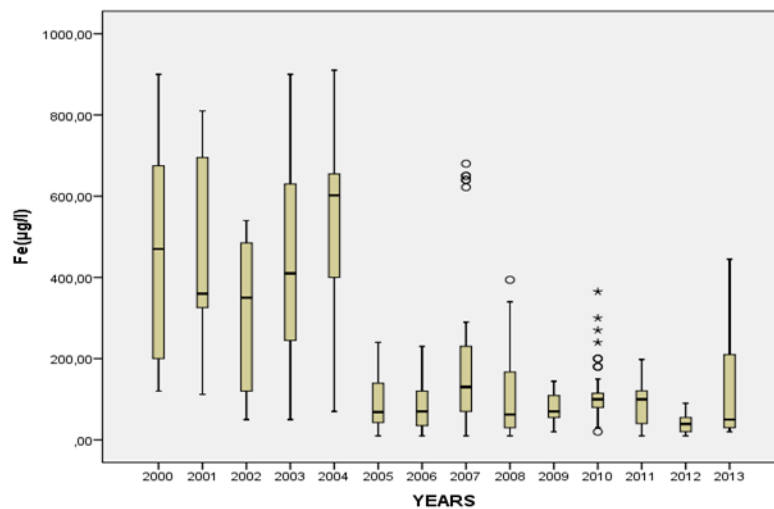


Figure 7. Change graphics of Fe values in the Büyük Menderes River during 2000-2013

In the study conducted on some rivers in the Central Black Sea, the iron averages in following rivers were reported as follows; 14 µg/l in Yeşilırmak, 29 µg/l in Abdal, 20 µg/l in Mert, 59 µg/l in Kürtün, 311 µg/l in Engiz and 553 µg/l in the Kızılırmak (Arıman et al. 2007). The average iron metal level was reported to be 800 µg/l, 480 µg/l, 23.33 µg/l, in the Ganga, Damodar, Brahmani rivers

(Aktar et al 2010, Chatterjee et al., 2010, Reza and Singh, 2010). In the Büyük Menderes River, there is no pollution in terms of Fe. Table 2 shows the results of the heavy metal samples statistical parameters computed using the chemical data.

Table 2. Result of heavy metal samples statistical parameters computed using the chemical data

Stations	Copper (µg/l)	Zinc (µg/l)	Manganese (µs/cm)	Lead (µg/l)	Cadmium (µg/l)	Iron (µs/cm)
n	84	84	84	84	84	84
Mean	13.76	50.63	125.51	7.05	2.51	223.34
Std. deviation	0.40	1.45	3.73	0.16	0.01	5.34
Minimum	12.95	47.77	118.17	6.73	2.48	212.84
Maximum	14.53	53.49	132.85	7.37	2.54	233.84

To observe the relationships among the studied elements, a correlation analysis was conducted. A correlation coefficient nearer to +1 or -1 indicates a perfect linear relationship between the two parameters. Table 3 shows the results of the Pearson correlation coefficients, which indicated various levels of relationships among the studied elements. As Table 3 shows, strong positive relationships (>0.5) were found between Cd and Cu, Fe and Cd, Pb and Fe, Pb and Cd. A negative relationship (-0.216) was found between Pb and Cu. The closest relationship (0.59) was the positive one between Cd and Fe.

Table 3. Coefficient correlation between the 6 elements in the River waters of Menderes

	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
Cd	1	0.058	0.595**	-0.049	0.524**	-0.118
Cu	0.058	1	-0.010	0.066	-0.216**	0.068
Fe	0.595**	-0.010	1	0.000	0.584**	0.004
Mn	-0.049	0.066	0.000	1	-0.009	0.224**
Pb	0.524**	-0.216**	0.584**	-0.009	1	-0.165**
Zn	-0.118**	0.068	0.004	0.224**	-0.165**	1

** Correlation coefficient were found >0.50

4. Conclusion

Studies on the dimensions of pollution in water resources must be conducted routinely in environmental terms. Direct interaction of both organism varieties in resource and waters with the environment requires prospective pollution inventories towards such resources. According to the evaluation made under the light of data obtained from ongoing studies at eight stations of the Menderes River for thirteen years, it can be seen that the river is not under the threat of intense pollution factors. Within the scope of these observations, significant precautions must be taken and this type of studies must be improved and conducted frequently.

References

Adamic, E.H.R.E. (2002). Distribution of pollutants in the Odra river system. Part IV. Heavymetal distribution in water of the upper and middle Odra river, 1998–2000. Polish Journal of Environmental Studies, 11(6), 669–673.

- Akobundu, A. (2012). Quality Assessment of Aba River Using Heavy Metal Pollution Index, *American Journal of Environmental Engineering*, 2(1):45-49.
- Aktar, M.W., Paramasivam, M., Ganguly, M., Purkait, S., & Sengupta, D. (2010). Assessment and occurrence of various heavy metals in surface water of Ganga river around Kolkata: a study for toxicity and ecological impact. *Environ Monit Assess*, 160(1-4):207-213.
- Alam, M.G.M., Tanaka, A., Stagnitti, F., Allison, G., & Maekawa, T. (2001). Observations on the effects of caged carp culture on water and sediment metal concentrations in lake Kasumigaura, Japan. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 48, 107-115.
- Apha, (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington
- Ariman, S., Cuce, H., Özbayrak, E., Bakan, G., & Büyükgüngör, H. (2007). Heavy Metal Pollution in Water and Sediment Averages of Central Black Sea Coastline Rivers. 7th National Environmental Engineering Congress. Life, Environment and Technology, İzmir.
- Arslan, N.T.C., Çiçek, A., & Köse, E. (2011). Determination of some metal concentrations in water and sediment samples in Yedigöller region (Kütahya). *Review of Hydrobiology*, 4(1), 17-28.
- Chatterjee, S. K., Bhattacharjee, I., & Chandra, G. (2010). Water quality assessment near an industrial site of Damodar River, India. *Environ. Monitor. Assess.*, 161 (1-4), 177-189 (13 pages).
- Fifield, F.W., & Haines, P.J. (1997). *Environmental Analytical Chemistry*. Blackie Academic and Professional, London.
- Hassan, F.M., Saleh, M.M., & Salman, J.M. (2010). A study of physicochemical parameters and nine heavy metals in the Euphrates River, Iraq. *E-J. Chem.*, 7(3):685-692.
- Hayati, A., Tiantono, N., Mirza, M.F., Putra, I.D.S., Abdizen, M.M., Seta, A.R., Solikha, B.M., Fu'adil, M.H., Putranto, T.W.C., Affandi, M., & Rosmanida .(2017). Water quality and fish diversity in the Brantas River, East Java, Indonesia, *Journal of Biological researches* , 22:43-49.
- Herojeet, R., Rishi, M. S., & Kishore, N. (2015). Integrated approach of heavy metal pollution indices and complexity quantification using chemometric models in the Sirsa Basin, Nalagarh Valley, Himachal Pradesh, India. *Chinese Journal of Geochemistry*, 34(4), 620-633.
- Kahvecioglu, O., Kartal, G., Güven, A., & Timur, S. (2008). *The Environmental Effects of Metals-I, Lecture Notes of Metallurgical and Materials Engineering Department of Istanbul Technical University*.
- Koc, C. (2008). The Effects of environment and ecology projects on lake management and water quality. *Environmental Monitoring & Assessment*, 146, 394-409.
- Manoj, K.P.P., & Chaudhury, S. (2012). Study of heavy metal contamination of the river water through index analysis approach and environmetrics. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 1(10), 7-15.
- Nair, I.V., Singh, K., Arumugam, M., Gangadhar, K. & Clarson, D. (2010). Trace metal quality of Meenachil River at Kottayam, Kerala (India) by principal component analysis. *World Appl. Sci. J.*, 9(10):1100-1107.
- Obaroh, I.O., Abubakar, U., Haruna, M.A., & Elinge, M.C. (2015). Evaluation of some Heavy Metals Concentration in River Argungu. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 10: 581-586.
- Reza, R., & Singh, G. (2010). Heavymetal contamination and its indexing approach for river water. *International Journal of Environment Science and Technology*, 7(4), 785-792
- Sharma, S.K. (2015). *Heavy Metals in Water: Presence, Removal and Safety*, Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, 357 pages
- Tam, N.F.Y., & Wong, YS. (2000). Spatial variation of heavy metals in surface sediments of Hong Kong mangrove swamps. *Environmental Pollution*, 110:195-205.
- Touraj, N. (2015). An index approach to metallic pollution in river waters. *International Journal of Environmental Research*, 9(1), 385-394.
- Va'zquez-Sauceda, M.L., Aguirre-Guzma'n, G., Sa'nchez-Marti'nez, J.G., & Pe'rez-Castan'eda, R. (2011). Cadmium, Lead and Zinc concentrations in water, sediment and Oyster (*Crassostrea virginica*) of San Andres Lagoon, Mexico. *Bull Environ Contam Toxicol* 86:410-414.
- Who, (1993). *Guidelines for Drinking Water Quality*. World Health Organization. Geneva, Switlerland.



Diyet Blok Tip Eritme Peyniri Üretiminde Yumurta Kullanım Olanaklarının Araştırılması

Hasan Cankurt^{1*}, Ramiz Yüksel,² Hasan Yetim³

¹ Kayseri Üniversitesi, Safiye Çıkrıkçıoğlu M.Y.O. Gıda İşleme Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3842-6539)

²Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği A.B.D., Kayseri, Türkiye

³İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 12 Mart 2019 ve Kabul Tarihi 28 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.538858)

ATIF/REFERENCE: Cankurt, H., Yüksel, R. & Yetim, H.. (2019). Diyet Blok Tip Eritme Peyniri Üretiminde Yumurta Kullanım Olanaklarının Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 579-590.

Öz

Bu çalışmada, diyet ürün ihtiyacından doğan talebin karşılanması amacıyla blok tip eritme peynirlerinde yumurta ilavesi ile yağ azaltma imkanları araştırılmıştır. Araştırmada, yağı alınmış sütte yağ ikame maddeleri yerine tam tavuk yumurtası kullanılarak yağsız blok tip eritme peynir üretimi gerçekleştirilmiştir. Peynirde erime ve sünmenin gerçekleşebilmesi için telemenin pH'sı 5,30'a getirildikten sonra (yumurtasız), %5, %7.5 ve %10 oranlarında bütün yumurta eklenen karışım, Stephan tipi buhar ceketli bir eritme makinasında eritilmiştir. Elde edilen peynirlerin blok hale gelmesi için kalıplara konulmuş ve bir gece bekletildikten sonra kalıptan çıkarılmıştır. Daha sonra elde edilen (kontrol) ve tavuk yumurtası içeren eritme peynirleri, 0., 30. ve 60. günlerde analize alınmak üzere + 4 °C'de depolamaya alınmış ve örneklerin bazı fizikokimyasal, tekstürel ve duyuşal özellikleri analiz edilmiştir. Sonuçta, tavuk yumurtası kullanımının yağsız blok tipi eritme peynirlerinde toplam kuru madde değerlerini artırmıştır. Depolama boyunca eritme peynir örneklerinde pH düşüşüne, titrasyon asitliği değerlerinde ise önemli bir artışa neden olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda örneklerin, renk değerlerinde (L* ve b*) artış ise istatistiki açıdan önemsiz bulunurken, a* değeri yumurta miktarının artmasıyla doğru orantılı olarak artmıştır. Tekstürel analiz sonuçlarına göre en yüksek sertliğe sahip peynir çeşidinin kontrol peyniri olduğu tespit edilirken yumurta kullanımının, peynirin sertlik değerlerinde sebep olduğu düşüş de istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur. Duyusal değerlendirme sonuçlarına göre genel beğeni yönü ile en yüksek puanı, %7.5'lik yumurta ilaveli örnekler almıştır. Genel olarak yumurta kullanımı ile örneklerin hem görünüşü ve hem de tadı olumlu yönde etkilenmiştir. Sonuç olarak, yağ alınmış sütlerle blok tip eritme peyniri üretiminde, süt yağı yerine % 7.5 civarında tam tavuk yumurtasının yağ ikamesi olarak kullanımının uygun olabileceği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Eritme peyniri, Yağ ikame maddesi, Tüm yumurta

Investigation on Using Possibilities of Egg in the Production of Diet Block Type Melting Cheese

Abstract

In this study, decreasing fat capability by adding egg in block-type melted cheese in order to meet the demand arising from the dietary product requirements. In the research, by using full chicken eggs, fat-free block-type melting cheese were produced in skim milk instead of using skim milk. In order to achieve melting and roping in the cheese, after the pH of the curd was brought to 5.30, the mixture which was added whole egg at the rates of 5%, 7.5% and 10%, was dissolved in a Stephan type steam jacket melting machine. The cheeses were put into the molds to block and after one night they were removed from the mold. Melting cheeses containing simple (control) and chicken eggs were then stored at + 4 °C for analysis on days 0, 30 and 60 and some physicochemical, textural and sensory characteristics of the samples were analyzed. As a result, the use of chicken eggs increased the total dry matter values of

* Sorumlu Yazar: Kayseri Üniversitesi, Safiye Çıkrıkçıoğlu MYO Gıda İşleme Bölümü, Kayseri, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3842-6539, hcankurt@erciyes.edu.tr

lean block type melting cheeses. During the storage, it was observed that the melting cheese samples had a decrease in pH and an increase in titration acidity values. At the same time, the increase in color values (L^* and b^*) were not statistically significant. The value of a^* increased in proportion to the increase in egg quantity. According to the results of the textural analysis of the highest hardness of the cheese type of the basic melting cheese, while the use of eggs, the hardness of cheese caused by the decrease in the value of cheese was found to be insignificant. According to the results of sensory evaluation, the highest score was taken with 7.5% egg addition. In general, both the appearance and taste of the samples were affected positively by the use of eggs. As a result, it was understood that the use of whole-chicken egg instead of milk fat could be suitable as a fat substituent in the production of block type melting cheese with skim milk.

Keywords: Melting cheese, Fat substituent, Whole egg

1. Giriş

Peynir; farklı yağ oranlarına sahip sütün, enzim veya laktik asit ile pıhtılaştırılıp, oluşan pıhtıdan peynir altı suyunun uzaklaştırılması, pıhtının şekillendirilmesi ve tuzlanması ile hazırlanan süt ürünü olarak tanımlanmaktadır (Tekinşen ve Tekinşen, 2005). Çeşitli kaynaklara göre dünyada yaklaşık 2 bin ile 4 bin arasında peynir türünün olduğu bildirilmiştir. Yapılan bir araştırmada Türkiye’de 193 farklı peynir türünün olduğu belirtilmiştir (Anonim, 2016).

Türkiye’de en çok tüketilen peynirlerin başında beyaz peynir ve kaşar peyniri olduğu bildirilmiştir (Çelik ve Uysal, 2009). Özellikle son yıllarda piyasada bulunan kaşar peynirlerinin büyük bir kısmının blok tip eritme peyniri olduğu dikkate alınır, Türkiye’de en çok satılan peynirlerin beyaz peynir ve blok tip eritme peyniri olduğu anlaşılmaktadır. Piyasada taze kaşar peyniri diye satılan peynirlerin nerede ise tamamı emülsifiye edici tuzlar kullanılarak üretilmektedir. Bu tuzların kullanımı ile üretilen ürüne blok tip eritme peyniri denmektedir (Cankurt, 2015). Eritme peynirinin diğer peynirlere göre bazı avantajları vardır. Eritme peyniri, emülsiyonun kırılması sonucu, yağ ayrılmasına uğramadan oda sıcaklığında saklanabilmektedir. Isıl işlem uygulanarak patojen mikroorganizmalar yok edildiği için güvenle tüketilen bir peynirdir. Olgunluk derecesi farklı olan peynirlerin karıştırılması ile istenilen tat ve aromaya sahip ürün elde etmek mümkün olmaktadır. Ayrıca aşırı derecede olgunlaşmış ve uzun süre muhafaza edilmiş peynirler, eritme peyniri karışımında kullanılarak değerlendirilme imkânı bulmaktadır (Hui, 1992). Süt yağı, enerji vermenin yanında süt ürünlerinde, peynirin duysal ve fiziksel özellikleri olumsuz yönde etkilenir. Yağı azaltılmış peynirlerde; sertliğin artması, kauçuksu doku, acılık, yavansı tat ve istenmeyen renk oluşumu görülür. Yağı azaltılan peynirlerde ortaya çıkan bu gibi kusurların önüne geçmek için, üretim prosesinin değiştirilmesi, yardımcı starter kültürlerle yağ ikame edici maddelerin kullanılması önerilmektedir (Drake ve Swanson, 1995; Mistry, 2001). Yağ ikame maddeleri, gıdalarda yağ yerine kullanılan ve kaloriyi azaltan katkı maddeleridir. Yağ ikame edici maddeler, yağ taklidi maddeler (fat mimetics) ve yağ benzeri maddeler (fat substitutes) şeklinde sınıflandırılır ve bu maddelerin kombinasyonları da kullanılır (Huygbaert vd., 1996). Gıdalardaki yağ kaynaklı tüketici kaygılarını gidermek amacıyla üretici firmalar yağ ikame edici maddelerden yararlanarak tam yağlı ürünlere benzer ürünler geliştirmektedirler. Yağ benzeri adındaki maddeler, lipazın katalizlediği hidroliz tepkimelerine direnci olan, ester bağıyla bağlanmış yağ asidi kökenli ürünler içerir. Bu ürünler gıdaya yağ benzeri fonksiyonel özellikler kazandırır (Huyghebaert, 1996). Bu çalışmada yumurta kullanımıyla yağsız blok tip eritme peynirine fonksiyonel özellik kazandırılması hedeflenmiştir. Bu yöntemle, tüketicilere yağ oranı düşük yeni bir diyet ürünü kazandırılırken aynı zamanda bu ürünün yüksek besin değerine sahip olması hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Eritme peynir üretiminde, Erciyes Üniversitesi Tarımsal Araştırma Merkezi çiftliğinden elde edilen inek sütleri kullanılmıştır. Çiftlikten alınan çiğ sütlerin kontrolleri (Duysal testi, pH, SH, brix, % yağ oranı, antibiyotik testi ve peroksit testi) yapılarak, sütün kalitesi belirlenmiştir. Eritme peynirinin hamuruna katılan yumurtalar, Tarım Gıda ve Yumurtaçılık Limited Şirketinden (Kayseri) temin edilmiş olup A sınıfı yumurtalar kullanılmıştır. Kaşar starter kültürü, İntermak A.Ş. firmasından (Konya) satın alınmıştır. Eritme tuzu olarak fosforik asidin sodyum tuzları (Casomel marka, Belçika) kullanılmıştır. Sütlerin özellikleri tespit edildikten sonra sütün yağı seperatörle tespit edilebilir seviyenin altına kadar alınmış ve üretimde yağsız süt kullanılmıştır.

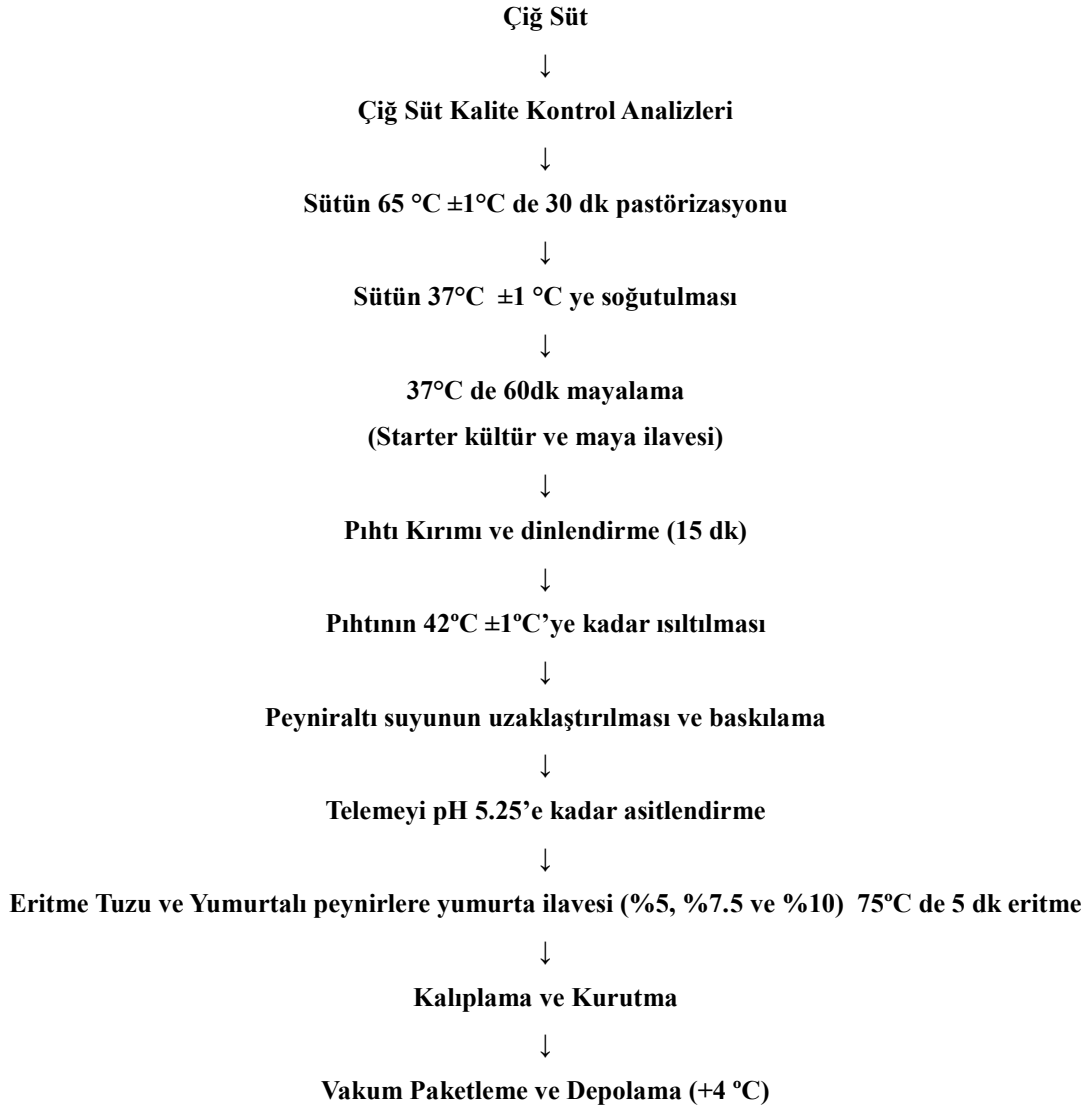
2.2. Metot

Araştırmada üretilen eritme peynir örnekleri, Kayseri Üniversitesi Safiye Çıkrıkçıoğlu Meslek Yüksek Okulu Gıda Teknolojisi Pilot Uygulama Merkezi’nde üretilmiştir. Üretim aşamaları aşağıda sırasıyla verilmiştir. Peynir üretimi için alınan ve ön kontrolleri yapılan çiğ süt kaba bir filtrasyondan geçirilerek, elektrikli krema seperatörü ile yağı alınmış ve bu sütler peynir üretiminde kullanılmıştır. Starter kültürlerin aktive edilmesi amacıyla önce yağsız süt tozundan %12 kuru maddeli rekonstitüe sütler hazırlanmış, 50 ml’lik cam şişeler halinde 90°C’de 30 dk süreyle ısıtılıp tabi tutulmuştur. Cam şişelerin içerisine liyofilize peynir starter kültürlerinden eklenerek, süt pıhtılaşmaya kadar 35-37°C’de inkübasyona bırakılmıştır. Daha sonra aktif edilen kültürler 1’er litrelik erlenlerde, 90°C 30 dk süre ile pastörize edilmiş rekonstitüe sültere % 2 oranında eklenerek 35-37°C inkübasyona bırakılarak kültürler peynir üretime hazır hale getirilmiştir.

2.2.1. Eritme Peynir Üretimi

Peynir üretimi amacıyla yağı alınan süt, buharlı çift cidarlı bir kazanda 65 °C’de 30 dakika ısıtılıp tabi tutulmuştur ve süt soğutulmuş mayalama sıcaklığına (37°C) getirilmiştir. Sütün içine önceden hazırlanan stater kültürden % 2 oranında olacak şekilde ilave edilmiştir. Maya testi sonucuna göre maya oranı ayarlanarak mikrobiyal rennetle (Fermento 220, Kuvveti: 220 IMCU/ml, İntermak A.Ş., Konya) 1 saat süre ile mayalanma süresi gerçekleştirilmiştir. Mayalanma süresi sonunda mayalama tankında oluşan

peynir pıhtısı kırılmış ve kırılan teleminin toplanması için tankın sıcaklığı 42°C'ye kadar tekrar yükseltildikten sonra, sonrasında teleme süzme teknesinde süzülerek suyu alınmıştır. Suyunu bırakan teleminin üzerine ağırlık konularak, pH değeri 5,80'e gelinceye kadar starter kültürlerle fermentasyon yoluyla asitlendirilmiş sonrasında pH değeri 5,40 da iken doğrama yapılmıştır. pH değeri tekrar 5,25'e gelince eritme aşamasına geçilmiştir. pH değeri 5.25'e gelen teleme dört eşit parçaya bölünmüştür. Bölünen her bir teleme parçası buharlı eritme kazanına alınıp üzerine eritme tuzları (% 0.7 oranında 2185 no'lu eritme tuzu, % 0.3 oranında 3112 no'lu eritme tuzu) ve % 2 oranında sofr tuzu ilave edilmiştir. Karışım ısıtılmaya başlanmış ve 50°C de iken her partiye daha önce mikserden geçirilmiş olan farklı oranlardaki (% 5, % 7.5 ve % 10'luk) tüm yumurtalar eklenmiştir. Kontrol numunesine yumurta eklenmemiştir. Yumurtaların 50°C de eklenmesinin nedeni, yumurta baştan ilave edilirse uzun süre sıcaklığa maruz kalacağından yumurtanın pişmesi ile pütürlü yapının oluşabilmekte, 75°C'de iken ilave edilince de homojen şekilde karışmamaktadır. Tüm örnekler 75°C'de 5 dakika boyunca eritme kazanında haşlanmıştır. Hazırlanan peynirler şekil alması için kalıplara dökülmüş ve kalıplar hamur soğuduktan sonra sökülerek oda sıcaklığında 8 saat boyunca yüzey kurumasına bırakılmıştır. Sonrasında vakum paketleme yapılarak peynirler +4 °C'deki soğuk depoya alınmıştır (Cankurt, 2015). Daha sonra elde edilen peynirlerin 1., 30. ve 60. günlerde analizleri yapılmıştır.



Şekil 1. Eritme peyniri üretimi işlem basamakları

2.2.2. Hammadde Analizleri

2.2.2.1. Süt Analizleri

Eritme peyniri üretiminde kullanılan çiğ sütün toplam kuru madde oranı kurutma yöntemiyle, yağ analizi Gerber santrifüj yöntemiyle, pH analizi pH metre ile (Hanna-Instrument pH microprocessor) ve toplam asitliği titrasyon yöntemi ile yapılmıştır (Kurt vd. 1996). Sütün bazik madde tayini rozalik asit testi ile toplam azot testi miktarı ise kjedahl yöntemiyle yapılmıştır (Metin, 2010).

Sütün briks değeri ise, milkana marka çok parametrelili süt analiz cihazıyla ölçülmüştür (Çavuş, 2015). Yumurta ile ilgili analiz yapılmamıştır. Yumurtanın bileşimi ile ilgili bilgiler literatürden elde edilmiştir.

2.2.3. Eritme Peynirinde Yapılan Fizikokimyasal Analizler

Peynir de titrasyon asitliği tayini Metin, (2010)'un yöntemine göre yapılmıştır. Peynirdeki toplam kuru madde tayini, gravimetrik yöntemle ölçülmüştür Sabit tartıma getirilen peynirler (Kurt vd., 1996)'ya göre yapılmıştır. Peynirlerdeki yağ oranı, Gerber yöntemi ile yapılmıştır. Yağ oranı belirlenen peynirlerin toplam kuru maddedeki yağ oranı formülle hesaplanmıştır (Kotterer ve Münch, 1978). Peynirlerdeki protein oranları, Kjeldahl yöntemi ile üründeki azot miktarının belirlenmesi ve 6.38 sabit çarpım faktörü kullanarak hesaplanmıştır (IDF, 1993). Peynirlerdeki tuz oranları, Mohr yöntemiyle (Metin, 2010) göre yapılmıştır. Peynirlerin renk analizi, renk tayin cihazı ile (Lovinbond Reflectance Tintometer 962, Kanada) belirlenmiştir (Mitsumoto vd, 2005).

2.2.4. Peynirlere Uygulanan Tekstürel Analizler

Peynir örneklerinin tekstürel özellikleri (Sertlik, İç Yapışkanlık, Dış Yapışkanlık, Elastikiyet, Sakızimsılık ve Çiğnenabilirlik), TAXT Plus Texture Analyser (United Kingdom) doku ölçüm cihazı yardımıyla belirlenmiştir. Analize tabi tutulan örnekler 2.0 cm boyutlarında küpler halinde kesilmiştir. Örnekler üzerine 30 kg'lık load cell kullanılarak 1 mm/sn sıkıştırma hızı ile 10 sn boyunca iki kez sıkıştırma işlemi ile örneklerin doku profil analiz parametreleri belirlenmiştir (Ahmed vd., 2005).

2.2.5. Peynirlere Uygulanan Duyusal Analizler

Eritme peynirlerin duyusal kalitesini tespit etmek amacıyla hedonik skala yöntemine göre duyusal analiz yapılmıştır. Belirli zaman dilimlerinde 8 panelist tarafından peynirlerin bazı özellikleri değerlendirilmiştir (Yetim, 2001).

2.2.6. İstatistiksel Analizler

Telemeye farklı oranlarda yumurta ilavesiyle elde edilen eritme peynirlerinin kalite özelliklerini belirlemek ve karşılaştırmak amacıyla, Windows tabanlı Minitab 18 istatistik programı kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. Tek faktör varyans analizine tabi tutulan veriler, %95 güven aralıkları ve Fisher LSD Metodu Gruplama Bilgisi yöntemiyle karşılaştırma testi kullanılarak belirlenmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Fizikokimyasal Özellikler

Bu araştırmada yağı azaltılmış peynir üretimi amacıyla yağsız süttten üretilen telemeye belirli oranlarda bütün yumurta ve emülsifiye edici tuzlar katılarak eritme peyniri üretilmiş ve peynirler vakum paketlemeye tabi tutulduktan sonra belirli sürelerde depolanmıştır. Başlangıç ve depolama süreleri sonunda deneme peynirlerinin bazı fizikokimyasal, tekstürel, ve duyusal özellikleri incelenmiştir. Araştırma sonucunda blok tip eritme peynirlerine ait tablolar halinde aşağıda verilmiştir.

Yağsız süttten üretilen ve vakum paketlemeye tabi tutulan eritme peynirlerinin toplam kuru madde, tuz , kuru maddedeki tuz oranlarının depolama boyuncanın değişmeyeceği öngörüldüğünden bu parametrelerin sadece birinci gün analizleri yapılmıştır.

Araştırmada %5, 7.5 ve 10 oranlarında tüm yumurta ilavesiyle elde edilen eritme peynirleri ve kontrol peynirlerinin (yağsız ve yumurtasız), toplam kuru madde, tuz ve kuru maddedeki tuz oranlarına ait sonuçlar ilk gün analizleri Tablo 3.1 de verilmiştir.

Tablo 3.1. Peynirlerin depolama boyunca ölçülen toplam kuru madde, tuz ve kuru maddedeki tuz oranları

	% Yumurta	TKM(%)	Tuz(%)	TKM de Tuz (%)
1.Gün	Kontrol	43.58 ^C ±0.14	1.78 ^B ±0.01	4.08 ^A ±0.02
	5	45.15 ^B ±0.07	1.77 ^C ±0.01	3.92 ^C ±0.01
	7.5	45.29 ^B ±0.28	1.79 ^A ±0.01	3.95 ^B ±0.02
	10	46.71 ^A ±0.22	1.79 ^A ±0.01	3.83 ^C ±0.02

Toplam kuru madde değerlerinde en yüksek değere sahip örnek, %10 yumurta ilaveli eritme peynir örneği olurken; en düşük değere sahip örnek ise kontrol örneği olmuştur. Beklenildiği gibi peynirlerde yumurta oranı arttıkça toplam kuru madde oranının da arttığı gözlemlenmiştir. Analizi yapılan eritme peynirlerinin % tuz oranları, birbirlerine yakın bulunmuştur. Toplam kuru maddedeki tuz oranlarının ise örneklerin nem içeriğine göre değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Toplam kuru maddedeki tuz değerleri açısından örnekler arasındaki fark lar istatistiksel açıdan önemli (p<0,05) bulunmuştur. Eritme peyniri üzerine bir araştırmada, vakumlanmış kaşar benzeri peynirlerin toplam kuru madde oranlarında depolama süresince önemli bir değişimin görülmediği bildirilmiştir (Metin ve Öztürk, 1991; Koca ve Metin, 2003; Keçeli vd., 2006; Çürük, 2006). Piyasadaki eritme peynirlerinin kuru madde değerleri % 44 ile 63 arasında değişmektedir (Cankurt, 2015). Bu araştırmada yağsız eritme peynirine ilave edilen yumurta oranı arttıkça peynirin % toplam kuru madde oranlarında da artış gözlemlenmiştir. Bu artışın telemeye katılan yumurtadan kaynaklandığı anlaşılmıştır. Eritme peynirindeki toplam kuru madde miktarı ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Bulunan değerler %46.17 (Yöney, 1962); %42.94 ile

%65.67 (Dolun, 1974); %42.59 ile %48.8 arasında (Mahfouz vd., 1986); %45,06 (Alper, 2012); ve % 46.7-51.6 (Özkan, 2012) ve %40,11 ile %43,29 arasında (Doruk, 2018) şeklindedir. Tablo. 1’de verilen ve çalışmamızda bulunan değerler Yöney, (1962); (Mahfouz vd., (1986) ve Alper, (2012) tarafından elde edilen % toplam kuru madde değerlerine çok yakın bulunmuştur ve daha önceki araştırmaların sonuçları ile de benzerlik göstermektedir. Piyasada bulunan eritme peynirlerinin kuru madde değerleri % 44 ile 63 arasında değişmektedir (Cankurt, 2015). Eritme peynirinde kuru madde değerlerinde bu kadar farklılık görülmesinin nedeni üretimde kullanılan çiğ sütün asitliliği, teleminin baskılama süresi ve peynir altı suyuna geçen besin maddelerinden ileri gelmektedir. Eritme peynirlerinin kuru madde içeriğindeki farklılıkların sebebinin hammadde, maya oranı, mayalanma süresi, baskılanma ağırlığı ve süresi olabileceği belirtilmiştir (Fırat, 2006).

Eritme peynirinde tuz oranı; ilk gün analizlerinde %1.77 ile %1.79 arasında değerler bulunmuştur. Peynirler aynı formülasyon ve teknikle üretildiği için, peynir kitlelerinin içerdiği % tuz oranları birbirine yakın bulunmuştur. Eritme peynirinde tuz miktarı ile ilgili yapılan çalışmalarda tuz oranlarında farklılıklar görülmektedir. Yapılan önceki araştırmalara göre eritme peynirlerinde tuz oranı, % 3.26 (Öztek, 1989); % 3.16 (Ayar, 1991); % 1.91 (Keçeli vd., 2006); % 4.09 (Ayar vd., 2006) ve % 1.69-3.22 (Fırat, 2006) arasında bulunmuştur. Peynirdeki tuz oranı üretim metotlarına ve tüketicinin taleplerine göre değişkenlik gösterebilir. Bundan dolayı tuz oranını diğer peynirler ile karşılaştırmanın sağlıklı sonuçlar vermeyeceği açıktır (Cankurt, 2015). Göncü (2018), bazı baharat çeşitlerinin dilimlenebilir eritme peyniri üretiminde kullanım olanaklarının araştırılması amacıyla yaptığı çalışmada eritme peynirinin toplam kuru maddedeki tuz oranını 3.72 ile 4.23 arasında bulmuştur. Göncü (2018)’in sonuçları bizim çalışmamızla benzerlik göstermektedir.

Tablo 3.2. Peynirlerin depolama boyunca ölçülen pH, Azot ve Toplam asitlik değeri

	% Yumurta	1. Gün	30. Gün	60. Gün
pH	Kontrol	5.79 ^{Aa} ±0.02	5.74 ^{Aab} ±0.02	5.71 ^{Ab} ±0.01
	5	5.80 ^{Aa} ±0.02	5.76 ^{Aab} ±0.02	5.75 ^{Ab} ±0.01
	7.5	5.81 ^{Aa} ±0.02	5.78 ^{ABb} ±0.02	5.75 ^{Ab} ±0.00
	10	5.81 ^{Ba} ±0.02	5.78 ^{Bb} ±0.02	5.76 ^{Bc} ±0.01
Azot	Kontrol	5.24 ^{Ca} ±0.04	5.26 ^{Bb} ±0.02	5.26 ^{Bb} ±0.04
	5	5.27 ^{Bb} ±0.04	5.30 ^{Ba} ±0.02	5.31 ^{Ab} ±0.02
	7.5	5.27 ^{Bb} ±0.04	5.32 ^{Ab} ±0.04	5.33 ^{Ab} ±0.04
	10	5.30 ^{Ba} ±0.04	5.34 ^{Aa} ±0.02	5.34 ^{Aa} ±0.04
T.Asitlik	Kontrol	0.19 ^{Cb} ±0.01	0.19 ^{Ab} ±0.01	0.19 ^{Aa} ±0.01
	5	0.19 ^{Cb} ±0.01	0.19 ^{Ab} ±0.01	0.19 ^{Aa} ±0.01
	7.5	0.20 ^{Bb} ±0.01	0.20 ^{Ab} ±0.01	0.20 ^{Aa} ±0.01
	10	0.21 ^{Bb} ±0.01	0.21 ^{Ab} ±0.01	0.21 ^{Aa} ±0.01

Peynir örneklerinin toplam asitlik değerlerinde depolama boyunca artış gözlemlenmiştir. Örneklerde yumurta oranı arttıkça asitliğin de arttığı görülmüştür, peynir üretiminde kullanılan starter kültürlerinin ürettikleri laktik asit, toplam asitliği artırırken; pH değerini de düşürmüştür. Eritme peyniri örneklerinin bileşimi, yumurta ilaveli örneklerin içerdiği yumurta haricinde aynıdır. Bundan dolayı peynirde yumurta kullanımının starter kültürlerin faaliyetini yavaşlattığı söylenebilir. Bazı araştırmacılar tarafından kaşar ve benzeri peynirlerde depolama süresince asitlik değerlerinde sürekli artış olduğu belirtilmiştir (Özdemir, 1997; Çağlar ve Çakmakçı, 1998). Göncü (2018), eritme peyniri üzerine yaptığı çalışmada %1.14-1.83 arasında değerler bulmuş ve depolama sonunda bu değerlerin arttığını bildirmiştir. Kaşar peyniri üzerine yapılan diğer bazı çalışmalarda, titrasyon asitliğinin depolama boyunca arttığı bildirilmiştir (Atamer vd., 1999; Güven vd, 2004; Yasar ve Guzeler, 2011; Çetinkaya, 2012; Çelikel, 2017). Bizim çalışmamızda da benzer olarak asitliğin depolama sonucunda sonunda arttığı görülmüştür. Yapılan bazı araştırmalarda toplam asitlik değerleri, %0.23 ile %0.69 aralığında (Keleş vd., 2001); %0.42 (Öksüztepe vd. 2009); %0.49-0.72 aralığında (Güven vd., 2002); %0.42 (Öksüztepe vd. 2009) ve %0.279 ile %1.050 aralığında (Çavuş, 2015); %0.23 ile %0.69 aralığında (Keleş vd., 2001) bulunmuştur. Çalışmamızda bulunan değerlerin Keleş vd. (2001) tarafından yapılan çalışmada elde edilen değerler ile benzer olduğu görülmüştür.

Depolama boyunca en yüksek pH değerine %10 ilaveli eritme peynir örneği sahip olurken en düşük değere ise kontrol örneğinin sahip olduğu görülmüştür. Peynirlerin yapısı, lezzeti ve raf ömrü üzerine etki eden en önemli faktörlerden birisi de şüphesiz pH değeridir. TS 2176 Eritme Peyniri Standartına göre eritme peynirlerindeki pH değeri en düşük 5.5 olmalıdır. Saldamlı (1987), eritme peynirlerinde ürünün yapısı ve dayanıklılığı için ortalama pH değerinin 5.4-5.8 arasında olması gerektiği görüşünü savunmaktadır. Eritme peynirinde pH değerleri 5.7 ile 5.8 arasında değişkenlik göstermiş ve depolama boyunca pH değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Çalışmamızda örneklerin pH değerinin yüksek çıkmasının nedeninin, peynir üretiminde kullanılan emülsifiye edici tuzların, ortamın pH değerini arttırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü emülsifiye edici tuzlar buldukları ortamın pH’sını yükseltirler. Aynı zamanda peynirlere katılan starter kültürlerin ürettikleri laktik asit, ortamın pH’sını düşürmektedir. Farkye ve Fox (1990), peynirin türüne göre değişkenlik göstermekle birlikte pıhtıdaki laktozun parçalanmasının pH değerinin düşmesine, olgunlaşma esnasında laktik asidin başka ürünlere dönüşmesinin ise pH değerinin yükselmesine neden olabileceğini belirtmektedirler. Balkır

(2006), eritme tuzu kullanılarak üretilen peynirin pH değerlerinin 5.78-5.81 aralığında değiştiğini bildirmiştir. Çavuş (2015), eritme tuzu kullanarak yumurta ilavesiyle elde ettiği eritme peynirlerinin pH aralığını 5.4 ile 5.65 arasında bulmuş, Göncü (2018), bazı baharat çeşitlerinin dilimlenebilir eritme peyniri üretiminde kullanım olanaklarının araştırılması amacıyla yaptığı çalışmada, pH değerinin 5.32 ile 5.64 arasında değiştiğini bildirmiştir. Doruk (2018), farklı proses tekniklerinin eritme peynirinin kalitesi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yaptığı çalışmada pH değerlerini 5.55 ile 5.58 arasında bulmuştur. Kaşar peyniri üzerine yapılan bazı çalışmalarda pH değerleri 5.17-5.56 (Eroğlu vd., 2016); 4.99-5.39 (Çetinkaya, 2012) ve 5.40-5.74 (Temizkan, 2012) arasında bulunmuştur. Bununla birlikte kaşar ve benzeri peynir türlerinde yapılan diğer araştırmalarda olgunlaşma sonunda pH değerlerinin düştüğü bulunmuştur bildirilmiştir (Mutluer, 2007; Say, 2008; Yalman, 2011; Cankurt, 2015). Bizim çalışmamızda, pH değerinin yüksek çıkmasının peynir üretimin de kullanılan emülsifiye edici tuz varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Örneklerde yumurta oranı arttıkça protein azot değerlerinin de arttığı görülmüştür. Aynı zamanda bu artışın olgunlaşmayla devam eden proteolizin bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Örneklerin toplam azot miktarlarının %5.24 ile %5.34 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Örneklerdeki yumurta oranının artması ile toplam azot miktarının da arttığı gözlemlenmiştir. Zira yumurtada bulunan azotun artması ile, son üründe azot miktarını artırdığı kabul edilebilir. Örneklerin protein oranlarını bulabilmek için azot miktarları 6.38 sabit katsayısı ile çarpılır (Cankurt, 2015). Buna göre yapılan analizler sonucunda örneklerin protein oranları %33.43 ile %35.47 arasında değişmektedir. Önceki çalışmalarda % 18.20-33.09 aralığında bulunmuştur (Demirci, 1988; Öztekin, 1989; Demirci ve Dıran, 1990; Ayar, 1991; Kurultay ve Demirci, 1995; Erşen, 1995; Vatan, 1996; Koçak vd., 1996; Çağlar ve Çakmakçı, 1998; Güler, 2000; Yaldız, 2002; Keçeli vd., 2004; Estürk, 2004; Balkır, 2006; Ayar vd., 2006; Yaşar, 2007; Say, 2008; Yalman, 2011; Göncü, 2018 ve Cankurt, 2015). Güven vd., (2002); Güven ve Görmez, (2004) ile Göncü, (2018) peynirin olgunlaştıkça protein değerlerinde artış olduğunu belirtmişlerdir. Bu veriler ışığında bizim çalışmamız literatür sonuçlarına benzerlik göstermektedir.

L* değerleri bakımından, depolama sonunda en yüksek değere sahip örnek %10 yumurta ilaveli eritme peyniri olurken, en düşük değere sahip örnek ise kontrol peyniri olmuştur. Örneklerin L* değerleri 74.73 ile 81.34 arasında değişkenlik göstermiştir. Bu yükselmenin yumurtanın bileşiminde bulunan lesitinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Peynir örnekleri vakum ambalajda depolandığı için depolama süresi sonunda örneklerin L* değerlerinde fazla bir değişim olmamıştır. Öksüz vd. (2001) ürettikleri kaşar peynirinde L* değerini en düşük 74.8, en yüksek ise 90.1, olarak bulmuşlardır. Say (2008), haşlama suyunun tuz konsantrasyonu ve depolama süresinin kaşar peynirinin özellikleri üzerine etkilerini araştırmak için üretmiş olduğu kaşar peynirlerinde depolama süresi sonunda örneklerin L* değerini 72.91 ile 87.47 olarak bulmuştur. Çavuş (2015), peynir üretiminde tavuk yumurtası kullanımı sonucu oluşan fizikokimyasal özellikleri araştırmak için ürettiği tam yağlı eritme peynir örneklerinin L* değerlerini 86.6 ile 96.7 arasında bulmuştur. Akarca vd. (2016), baharatlı mozzarella peynirinde L* değerlerini 68.46 ile 87.08 arasında, Göncü (2018), eritme peynirinde L* değerlerini 53.53 ile 89.10 arasında tespit etmiştir. Çavuş (2015)'in sonuçlarının yaptığımız çalışmanın sonuçlarından yüksek çıkmasının nedeni, peynirdeki farklı yağ oranları ile ilişkilendirilebilir.

Örneklerin yumurta oranı arttıkça a* değerlerinin de arttığı görülmüştür. Eritme peynirlerin a* değerleri, -3.26 ile 1.74 arasında değişmiştir. En düşük değere sahip örneğin kontrol peyniri, en yüksek değere sahip örneğin ise %10 yumurta ilaveli yağsız eritme peyniri olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre, yumurta kullanılan örneklerin a* değerinin kontrol peynirlerinin a* değerinden yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeni yumurta kullanımı ile örneklerin kırmızılık değerlerinin artmasıdır. Öksüz vd. (2001), kaşar peynirlerinde a* değerini -0.76 ile -7.8 arasında bulmuşlardır. Fırat (2006)'nın kaşar peyniri ile ilgili yaptığı başka bir çalışmada peynirlerin a* değerleri -4.50 ile -4.54 arasında değişkenlik göstermiştir. Say (2008) ürettiği kaşar peynirlerinde depolama süresince a* değerinin - 8.21 ile -14.73 arasında olduğunu bildirmiştir. Cankurt (2015) ise ürettiği eritme peynirinde a* değerini 0.40 ile 2.05 arasında bulmuş, depolamanın 30. gününde a* değerinde artış, 60. gününde ise düşüş gözlemlendiğini bildirmiştir. Çalışmamızdaki örneklerin a* değeri sonuçları, Cankurt (2015) tarafından yapılan araştırmanın sonuçları ile benzerlik göstermiştir.

Tablo 3.3. Peynirlerin depolama boyunca ölçülen renk değerleri

	% Yumurta	1. Gün	30. Gün	60. Gün
L	Kontrol	75.39 ^{Ca} ±0.15	78.94 ^{Ab} ±0.05	74.73 ^{Cb} ±0.01
	5	77.44 ^{Ba} ±0.02	79.53 ^{Ab} ±0.65	75.81 ^{Ca} ±0.15
	7.5	77.81 ^{Ba} ±0.13	80.20 ^{Aa} ±0.11	76.80 ^{Bb} ±0.11
	10	79.44 ^{Ab} ±0.05	81.34 ^{Aa} ±0.26	77.13 ^{Ba} ±0.09
a*	Kontrol	-3.26 ^{Db} ±0.04	-2.61 ^{Da} ±0.01	-2.65 ^{Da} ±0.01
	5	0.26 ^{Bc} ±0.03	0.30 ^{Bc} ±0.01	0.21 ^{Ca} ±0.02
	7.5	0.99 ^{Bb} ±0.01	1.17 ^{Ba} ±0.02	1.01 ^{Bb} ±0.02
	10	1.60 ^{Ab} ±0.01	1.74 ^{Aa} ±0.01	1.65 ^{Ab} ±0.03
b*	Kontrol	18.32 ^{Dc} ±0.02	20.22 ^{Da} ±0.01	18.58 ^{Db} ±0.04
	5	23.34 ^{Cb} ±0.02	24.64 ^{Ba} ±0.04	21.75 ^{Cc} ±0.04
	7.5	23.63 ^{Bb} ±0.04	26.44 ^{Ba} ±0.01	23.07 ^{Cc} ±0.02

Eritme peynirlerinde kullanılan yumurta oranı arttıkça b* değerlerinde de artış gözlemlenmiş olup depolama boyunca veriler arasındaki farkın istatistik olarak ($p<0,05$) önemli olduğu bulunmuştur. Peynir örnekleri arasında ilk gün ve son gün en düşük b* değerini kontrol peyniri almıştır. Yaptığımız çalışmada b* değerleri 18.32 ile 28.71 arasında değişkenlik göstermiştir. b* değeri sarılığı ifade ettiği için depolama sonunda en sarı örnek %10 yumurta ilaveli yağsız eritme peyniri olmuştur. Fırat (2006), çalışmasında örneklerin b* değerlerinin; depolamanın 30. gününe kadar arttığı daha sonra da ise azaldığını bildirmiştir. Örneklerin b* değerlerini 18.40 ile 15.42 arasında bulmuştur. Öksüz vd. (2001)'in kaşar peyniri üzerine yaptıkları bir araştırmada b* değerini 19.24-28.87 arasında bulmuşlardır. Eritme peynirinde b* değerini (Cankurt (2015) 19.30 ile 24.19 arasında ; Çavuş (2015) 18.32 ile 39.12 arasında ve Göncü (2018) 22.38 ile 30.33 arasında bulmuşlardır. Bu çalışmada elde ettiğimiz değerler Öksüz vd. (2001), Cankurt (2005), Göncü (2018) ve Çavuş (2015)'in elde ettiği değerler ile benzerlik göstermektedir.

3.2. Tekstürel Özellikler

Depolama boyunca örneklerin sertlik değerlerinde artış görülmüştür. Beklenildiği gibi en yüksek değere sahip olan örnek kontrol peyniri iken en düşük değer gözlenen örnek ise %10 yumurta ilaveli yağsız eritme peyniri olmuştur. Örneklerde yumurta oranı arttıkça sertlik değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Çünkü yumurta kullanımı yağı alınmış peynirlere yumuşaklık katmıştır. Çalışmamızda peynirlerin sertlik değerleri depolama boyunca artış göstermiştir. Eritme peyniri örneklerimizin sertlik değerleri 1874.4 g ile 3760 g arasında bulunmuştur. Peynirdeki yumurta oranı arttıkça sertlik değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Yumurta ürünün yapısını yumuşatmıştır. Depolama boyunca peynirdeki sertliği etkileyen faktörlerden birisi de pH değeridir. Kapoor ve Metzger (2008), eritme tuzlarının ve pH'nın peynirin yapısında sertlik ve sıkılaşmada önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir. Bizim yaptığımız çalışmada da sertlik ve pH arasında ters orantı olduğu görülmektedir. Sertliği etkileyen bir diğer faktör yağ içeriğidir. Taze ve olgunlaşma dönemindeki peynirlerin yağ içeriği azaltıldığında sertlik değerlerinin arttığı görülmektedir (Göncü, 2018). Çavuş (2015), blok tip eritme peyniri örneklerinde sertlik değerlerini 2367 g ile 8059 g arasında bulmuş ve depolama boyunca da sertlik değerlerinde bir artış meydana geldiğini bildirmiştir. Cankurt (2015), eritme peynir örneklerinde depolamanın son gününde yapılan analizde sertlik değerlerini 1850 g ile 3900 g arasında bulmuştur. Bu sonuçlar bizim çalışmamızın sonuçlarıyla büyük oranda benzerlik göstermektedir. Göncü (2018), eritme peyniri üzerine yaptığı bir çalışmada sertlik değerlerini 3072 g ile 5161g arasında bulmuş ve depolama sonunda sertlik değerlerinde düşüş gözlemiştir. Bu düşüşün nedeninin, peynirde meydana gelen proteolize olayı olduğu düşünülmektedir.

Dış yapışkanlık değeri en yüksek olan örnek %10 yumurta ilaveli yağsız eritme peyniri olurken en düşük değere sahip örnek ise kontrol peyniri olmuştur. Eritme peyniri örneklerimizde dış yapışkanlık değerleri depolama boyunca artış göstermiştir. Bu değerler -2.04 g/s ile -0.46 g/s arasında değişmiştir. Yumurta ilavesinin dış yapışkanlık değerlerini artırdığı görülmüştür. Dış yapışkanlık değerleri depolamaya bağlı olarak artmıştır ve bu artışın nedeninin, peynirde zamanla oluşan proteoliz, ve biyokimyasal olaylardaki azalmadan kaynaklandığı düşünülmektedir. Çavuş (2015), yüksek lisans tezi kapsamında ürettiği blok tip eritme peynirinde depolamaya bağlı olarak dış yapışkanlık değerlerinde artış meydana geldiğini, bazı örneklerde ise artıştan sonra tekrar düşüş meydana geldiğini bildirmiştir Göncü (2018), doktora tezi kapsamında ürettiği eritme peynirinde dış yapışkanlık değerlerinin -0.99 g/s ile -1.73 g/s arasında değiştiğini belirtmiştir. Örneklerin dış yapışkanlık değerlerinin birbirlerinden farklı olmasının nedenini peynirlerin pH değeri, su içeriği ve enzimatik olaylara bağlamıştır. Bizim yaptığımız çalışmada tüm peynirlerin dış yapışkanlık değerlerinde artış meydana gelmiştir ve çalışma sonuçlarımız Göncü (2018) ve Çavuş (2015)'in çalışmasının sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir.

Tablo 3.4. Peynirlerin depolama boyunca ölçülen TPA değerleri

	% Yumurta	1. Gün	30. Gün	60. Gün
Sertlik	Kontrol	2752.83 ^{Ab} ±20	3556.96 ^{Aa} ±14	3760 ^{Aa} ±93
	5	2194 ^{Bb} ±24	3136.4 ^{BCb} ±61	3607.2 ^{Ba} ±75
	7.5	2127.60 ^{BCb} ±95	3176.57 ^{ABa} ±65	3441.7 ^{Ba} ±7
	10	1874.40 ^{Cb} ±54	2749 ^{Ca} ±41	2950 ^{Ca} ±19
Dış Yapışkanlık	Kontrol	-2.04 ^{Cb} ±0.01	-1.74 ^{Bab} ±0.01	-1.42 ^{Ba} ±0.01
	5	-1.82 ^{Bb} ±0.01	-1.65 ^{Bb} ±0.01	-1.14 ^{ABa} ±0.01
	7.5	-1.68 ^{Ba} ±0.02	-1.36 ^{Aa} ±0.02	-0.54 ^{Aa} ±0.01
	10	-1.36 ^{Ab} ±0.01	-1.24 ^{Ab} ±0.01	-0.46 ^{Aa} ±0.01
Esneklik	Kontrol	0.87 ^{Ab} ±0.01	0.91 ^{ABa} ±0.02	0.88 ^{Ac} ±0.02
	5	0.88 ^{Ac} ±0.01	0.91 ^{ABa} ±0.01	0.89 ^{Cb} ±0.01
	7.5	0.88 ^{Bc} ±0.02	0.92 ^{ABa} ±0.02	0.89 ^{Bb} ±0.01
	10	0.88 ^{Ab} ±0.01	0.93 ^{Aa} ±0.03	0.91 ^{ABa} ±0.02
Yapışkanlık	Kontrol	0.73 ^{Cc} ±0.02	0.82 ^{Ba} ±0.01	0.80 ^{Bb} ±0.02

	5	0.73 ^{Cc} ±0.03	0.86 ^{Aa} ±0.03	0.82 ^{Ba} ±0.01
	7.5	0.77 ^{Bc} ±0.03	0.86 ^{Aa} ±0.01	0.84 ^{ABb} ±0.01
	10	0.82 ^{Ba} ±0.03	0.87 ^{Aa} ±0.01	0.85 ^{Aa} ±0.01
Sakızimsılık	Kontrol	3106.80 ^{Ca} ±126	2605.90 ^{Bb} ±61	2488.70 ^{Dc} ±160
	5	3545.40 ^{Ba} ±98	22904.70 ^{ABb} ±148	2616.40 ^{Bc} ±178
	7.5	3552.78 ^{Ba} ±49	2957.90 ^{ABb} ±130	2749.30 ^{Cc} ±163
	10	3633.30 ^{Aa} ±69	3037.14 ^{Ab} ±69	2807.70 ^{Ac} ±21
Çiğnenebilirlik	Kontrol	1762.9 ^{Bc} ±49.2	1458.4 ^{Cb} ±80	1238.3 ^{Cc} ±68.1
	5	2093.2 ^{Ba} ±42.6	1578.9 ^{Ca} ±90.5	1477.6 ^{Cb} ±90.7
	7.5	2464.48 ^{Ab} ±72	1916.9 ^{Bb} ±55.1	1600.5 ^{Ca} ±33.1
	10	2793.1 ^{Aa} ±101.3	2418.6 ^{Ab} ±72	2386.1 ^{Ac} ±18.1
Elastikiyet	Kontrol	0.46 ^{Aa} ±0.01	0.45 ^{Ca} ±0.01	0.38 ^{Cb} ±0.02
	5	0.49 ^{Ba} ±0.02	0.48 ^{Aa} ±0.04	0.42 ^{Bb} ±0.02
	7.5	0.51 ^{ABa} ±0.01	0.48 ^{Aab} ±0.01	0.45 ^{Ab} ±0.04
	10	0.54 ^{Aa} ±0.01	0.53 ^{Aab} ±0.01	0.49 ^{ABb} ±0.04

En yüksek esneklik değeri depolamanın 30. gününde %10 yumurta ilaveli yağsız eritme peynir örneğinde görülürken, en düşük esneklik değeri ise depolamanın 1. gününde kontrol peynirinde görülmüştür. Yumurta ilavesinin esneklik değerini az da olsa artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Yaşar (2008) ürettiği kaşar peynirinde depolama boyunca esneklik değerlerinde azalma meydana geldiğini ve değerlerin 0.83 ile 0.66 arasında değişkenlik gösterdiğini bildirmiştir. Çavuş (2015), yaptığı araştırmada depolama ile esneklik değerlerinde bir azalma görüldüğünü ve değerlerin 0.865 ile 0.798 arasında olduğunu belirtmiştir. Yapılan çalışmalar ile bizim çalışmamız benzer sonuçlar göstermektedir. Cankurt (2015), yaptığı eritme peynir çalışmasında kullandığı hidrosol çeşitlerinin esnekliği arttırmadığı ancak kontrole göre esnekliğin azalmasını durdurduğunu bildirmiştir. Analiz sonucunda esneklik değerlerini 0.69-0.81 arasında bulmuştur.

İç yapışkanlık değerleri bakımından depolama boyunca en düşük değere sahip olan örnek kontrol peyniri iken (S), en yüksek değer %10 yumurta ilaveli yağsız eritme peynirinde belirlenmiştir. Eritme peynirindeki iç yapışkanlık değerleri depolama boyunca birbirine yakın bulunmuştur. Birinci gün analizlerinde eritme peynirinde yumurta oranı arttıkça iç yapışkanlık değerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Tüm örneklerde iç yapışkanlık değerlerinde depolama süresi sonunda artış meydana gelmiştir. Koca, (2002) yağı azaltılmış kaşar peynirleri üzerine yaptığı çalışmada kontrol örneği hariç diğer örneklerin iç yapışkanlık değerlerinin depolama boyunca arttığını, kontrol örneği değerlerinde ise dalgalanmalar olduğunu bildirmiştir. Peynirlerde kullanılan yağ ikame maddelerinin iç yapışkanlığı artırdığını bildirmiştir. Yaptığımız çalışma sonuçları, Koca, (2003)'nin yaptığı araştırma sonuçlarıyla benzerlik göstermiştir. Çünkü yağ ikame maddesi olarak kullandığımız yumurta, eritme peynirinde iç yapışkanlık değerlerini artırmıştır. İç yapışkanlık değerini artıran diğer bir parametre de eritme tuzlarıdır. Cankurt, (2015)'e göre bazı eritme tuzlarının peynirde iç yapışkanlığı artırdığını bildirmiştir. Koca (2003), peynirlerin yağ içeriğindeki artışın iç yapışkanlık değerini azalttığını bildirmiştir. Bizim çalışmamızda da yağsız olarak üretilen eritme peynirlerinin iç yapışkanlık değerleri yüksek bulunmuştur. Göncü (2018) çalışmasında eritme peynirlerinin iç yapışkanlık değerlerinde depolama süresi boyunca azalma meydana geldiğini belirtmiştir. Bu azalmada peynirin olgunlaştırılması sırasında oluşan enzimatik, mikrobiyal ve biyokimyasal olayların etkili olduğu düşünülmektedir. Cankurt (2015) ise ürettiği blok tip eritme peynirlerinde, depolama süresince iç yapışkanlık değerlerinin dalgalı bir seyir izlediğini bildirmiştir.

Depolama boyunca örneklerin sakızimsılık değerlerinde ($p<0,05$) azalma gözlemlenmiş olup en yüksek değeri alan örnek ise %10 yumurta ilaveli yağsız örnek olmuştur. Örneklerde yumurta oranı artırıldıkça sakızimsılık değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Blok tip eritme peynirlerinde sakızimsızlık değerleri depolama boyunca artış göstermiş olup 2488.7 N ile 3633.3 N arasında değerler almıştır. En yüksek sakızimsızlık değerini alan örnek %10 yumurta ilaveli yağsız eritme peyniri olurken en düşük değeri alan örnek ise kontrol peyniri örneği olmuştur. Genel itibari ile yumurta oranı arttıkça sakızimsızlık değerinin de arttığı görülmüştür. Peynirlerin sakızimsızlık değerleri ise depolama boyunca azalmıştır. Bu azalmanın nedeni peynirde meydana gelen proteolizin bir sonucu olarak protein misellerinin zayıflamasıdır. Göncü (2018) çalışmasında, eritme peynirlerin sakızimsızlık değerlerinin depolama boyunca azaldığını bildirmiştir. Bunun sebebinin zamana bağlı olarak proteolizin hızlanmasıyla birlikte protein matriksinin su tutmasının düşmesi ve protein misellerinde zayıflamaya bağlamıştır. Kaşar peyniri üzerine yapılan birçok araştırmada ise, peynirlerin sakızimsızlık değerlerinin olgunlaşma döneminde düştüğü ve bunun proteolizle ilgili olduğu bildirilmiştir. (Akın vd., 2009; Saygılı, 2015; Eroğlu vd., 2016; Çelikel, 2017). Yapılan çalışmaların sonuçlarıyla bizim çalışmamızın sonuçları benzer özellikler göstermektedir.

Peynirde yumurta oranı arttıkça çiğnenebilirlik değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek çiğnenebilirlik değerine sahip örnek %10'luk yumurta ilaveli örnek olurken en düşük çiğnenebilirlik değerine sahip örnek ise kontrol peyniri olmuştur. Depolama

boyunca blok tip eritme peynirlerinin çİğnenebilirlik değerlerinde azalma görölmüş olup, 1177.6 J ile 2793.1 J arasında değerler bulunmuştur. Koca, (2003) kaşar peynirinde yaptığı çalışmada, peynirde yağ oranını düşürmenin çİğnenebilirlik değerini yükselttiğini bildirmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar 4440-8890 aralığında çıkmıştır. Yine Koca, (2003)'nın bildirdiğine göre peynir örneklerinin olgunlaşma boyunca sertlik, elastiklik ve çİğnenebilirlik değerleri de düşmektedir. Yani olgunlaşma çİğnenebilirliği etkilemektedir. Bizim çalışmamızda yaptığımız eritme peynirleri haşlamaya tabi tutulduğu için olgunlaşmayı hızlandıran laktik asit bakterileri inaktive olmuştur. Bundan dolayı bizim sonuçlarımız bu araştırmacının sonuçlarından daha düşük çıkmış olabilir. Kaşar peyniri üzerine yapılan birçok çalışmada, çİğnenebilirlik değerlerinin depolama boyunca düştüğü bildirilmiştir (Koca, 2003; Yerlikaya, 2008; Akın vd.,, 2009; Saygılı, 2015). Göncü (2018) çalışmada, eritme peynirlerinin çİğnenebilirlik değerlerinin iç yapışkanlık ve elastiklik değerlerine paralel olarak depolama boyunca azaldığını bildirmiştir. Bu durumun depolamaya bağlı olarak gelişen proteoliz sonucu, kazein ağındaki zayıflamadan kaynaklandığını bildirmiştir. Yaptığımız çalışmada, literatürde geçen çalışmaların sonuçlarına benzer sonuçlar bulunmuştur.

En yüksek elastikiyet değerine sahip örnek %10 yumurta ilaveli yağsız eritme peyniri iken en düşük kontrol eritme peyniri olmuştur. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere peynire yumurta ilavesi elastikiyet değerlerini olumlu yönde artırmıştır. Depolama boyunca örneklerde elastikiyet değerlerinde azalma gözlemlenmiş olup, örnekler arasındaki fark istatistiksel olarak ($p < 0,05$) önemli bulunmuştur. Peynirlerde olgunlaşma boyunca elastiklik değerlerinin azalmasının nedeni, peynirin proteolizi sonucu serbest su miktarının azalması, protein degradasyonu ve yağ globüllerinin sıkılaşması ile ilişkilidir (Ghoddushi ve Robinson, 1996). Bizim çalışmamızda da depolama boyunca örneklerin elastikiyet değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Bu azalmanın proteinlerin proteolizinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Koca (2003), yağ ikame maddeleri kullanarak üretmiş olduğu kaşar peyniri örneklerinde ortalama elastikiyet değerlerini yağlı peynir için 0.27 yağ azaltılmış peynir için de 0,56 bulmuştur. Peynir kitlesindeki protein artışının sonucunda elastikiyet değerinde de artış meydana geldiği bildirilmiştir. Yaptığımız çalışmada da bu durumu destekleyen sonuçlar bulunmuştur. Solak (2013), eritme tipi peynirler üzerine yaptığı çalışmada peynirlerin elastikiyet değerlerinin peynirin olgunlaşması süresince gerçekleşen biyokimyasal olaylardan ve emülsifiye edici tuzlardan etkilenebileceğini bildirmiştir. Cankurt (2015) ve Çavuş (2015)'in ürettikleri eritme peynirlerinde elastikiyet değerlerinin depolama boyunca düştüğü görölmüştür. Göncü (2018), eritme peyniri üzerine yaptığı çalışmada, baharat ilaveli blok tip eritme peynirlerinin elastiklik değerlerinin olgunlaşma süresince düzenli bir azalma gösterdiğini bildirmiştir. Bu azalmayı, baharatların peynirin kuru maddesini artırmasına bağlamıştır. Elde ettiğimiz sonuçlar yapılan çalışmaların sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

3.3 Duyusal Analiz Sonuçları

Blok tip eritme peyniri örneklerinin tamamı, görünüş özellikleri bakımından yüksek puanlar almıştır. Eritme peynirleri arasında görünüş özellikleri bakımından en yüksek puanları %7.5 ile %10 yumurta ilaveli yağsız peynir örnekleri alırken en düşük puanı ise, kontrol eritme peynir örneği almıştır. Peynirler içerisinde en beğenilen örneklerin %7.5 yumurta ilaveli peynir ile %10 yumurta ilaveli peynir olmasının sebebinin yumurtanın ürüne sarı bir renk kazandırmasının bir sonucu olduğu kabul edilebilir. Güven vd. (2002), Çürük (2006), Yaşar (2008) ve Göncü (2018) yaptıkları çalışmalarda depolama süresinin sonunda görünüş puanlarında düşüş meydana geldiğini bildirmişlerdir. Yine Çavuş (2015) ürettiği blok tip eritme peynirlerinin görünüş değerlerinde depolama boyunca dalgalanma olmasına rağmen depolama sonunda görünüş değerlerinde düşüş meydana geldiğini bildirmiştir. Bizim araştırmamızda da görünüş değerleri depolama boyunca azalmıştır.

Tablo 3.5. Peynirlerin depolama boyunca ölçülen duyusal özellikleri

	% Yumurta	1. Gün	30. Gün	60. Gün
Görünüş	Kontrol	8.61 ^{Aa} ±0.02	8.39 ^{Ba} ±0.04	8.28 ^{Ba} ±0.04
	5	8.56 ^{Aa} ±0.04	8.39 ^{Ba} ±0.02	8.22 ^{Ba} ±0.04
	7.5	8.72 ^{Aa} ±0.04	8.61 ^{Aa} ±0.02	8.39 ^{Aa} ±0.04
	10	8.78 ^{Aa} ±0.04	8.50 ^{ABb} ±0.01	8.33 ^{Ab} ±0.01
Doku	Kontrol	8.33 ^{Ba} ±0.02	8.27 ^{Ba} ±0.02	8.13 ^{Ba} ±0.02
	5	8.67 ^{Aa} ±0.02	8.33 ^{ABb} ±0.02	8.20 ^{ABb} ±0.01
	7.5	8.73 ^{Aa} ±0.02	8.53 ^{ABab} ±0.02	8.23 ^{ABb} ±0.02
	10	8.67 ^{Aa} ±0.02	8.47 ^{Ab} ±0.02	8.36 ^{Ab} ±0.02
Lezzet	Kontrol	7.86 ^{Ca} ±0.03	7.60 ^{Ba} ±0.02	7.53 ^{Ba} ±0.02
	5	8.33 ^{Ba} ±0.02	8.13 ^{ABab} ±0.02	7.80 ^{ABb} ±0.01
	7.5	8.60 ^{Aa} ±0.01	8.40 ^{Aa} ±0.01	8.13 ^{Bb} ±0.01
	10	8.33 ^{Aa} ±0.02	8.00 ^{ABb} ±0.01	7.73 ^{Bc} ±0.01

Doku değerlerinde ilk günden son güne kadar en yüksek puanı alan örnek %7.5 yumurta ilaveli yağsız eritme peyniri iken, en düşük puanı alan örnek ise kontrol peyniri olmuştur. Depolama sonunda örneklerin doku değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak ($p < 0,05$) önemli olduğu görölmüştür. Tunçtürk (1996), farklı enzimler kullanarak ürettiği starter kültürlü kaşar peynirlerinin

depolanması sonucu örneklerin doku değerlerinde düşüş meydana geldiğini görmüştür. Bu düşüşün örneklerdeki asitlik değerlerinin düşmesine bağlı olduğunu ve bu durumun sonucu olarak peynirin sıkı ve kırılğan bir yapı kazandığını bildirmiştir. Yapıdaki sıkılık ve kırılğanlığın nedenini de, örneklerin pH'larının kazeinin izoelektrik noktasına yaklaşması sonucu, misellerin kısılması ve kazein matriksinin büzülmesine bağlamıştır. Güven vd. (2002), Solak (2013), Çavuş (2015) ve Göncü (2018) yaptıkları çalışmalarda olgunlaşma boyunca peynirlerin doku puanlarının düştüğünü görmüşlerdir.

Depolama boyunca en yüksek lezzet değerine sahip örnek %7,5 yumurta ilaveli yağsız eritme peyniri olurken, en düşük lezzet değerine sahip örneğin ise kontrol peyniri olduğu görülmüştür. Sadece %7.5 yumurta ilaveli yağsız eritme peyniri ilk günden son güne kadar tüm zamanlarda 8 puanın üzerinde puan almıştır. %5 ile %10 yumurta ilaveli yağsız eritme peynirlerinin birbirine yakın değerler aldığı görülmüştür. Depolama sonunda örneklerin lezzet değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak ($p<0.05$) önemli olduğu görülmüştür. Peynirden yağın alınması, telemeden elde edilen eritme peynirinin, yağdan gelen lezzetin ve peynirin kendine has sarı renginin kaybolmasına neden olmuştur. Bunun sonucu olarak mat renkli ve yavan bir ürün ortaya çıkmıştır. Yapılan çalışmalara göre birçok peynirde depolama boyunca lezzet puanlarında görülen düşüşün nedeninin, proteoliz, laktoz fermantasyonu, ve uçucu bileşiklerin oluşumuna yardımcı olan çeşitli biyokimyasal değişiklikler olduğu bildirilmiştir (Kristoffersen, 1985; Lyne, 1995). Fox vd. (1996) ve Fox ve McSweeney (1996) peynirin kendine has lezzet ve aromasının oluşumunda para-k-kazeinin parçalanmasıyla meydana gelen bileşiklerin oluşturduğu değişikliklerin etkili olduğunu bildirmişlerdir. Cankurt (2015), Çavuş (2015), Çürük (2006), Göncü (2018) ve Yaşar (2007) ürettikleri peynirlerde depolama süresi boyunca lezzet puanlarının düştüğünü bildirmişlerdir.

4. Sonuç

Tüm örnekler içinde kuru madde oranı en fazla olan örnek %10 yumurta ilaveli eritme peynir olurken, en düşük kuru madde oranına sahip örneğin ise kontrol peyniri olduğu görülmüştür. Yumurta oranı arttıkça örneklerin kuru madde değerleri de artmaktadır. Çalışmamızda üretilen eritme peynirleri yağsız süttten elde edildiğinden dolayı yağ oranı önemsiz bulunmuştur. İlk günkü değerler incelendiğinde tüm peynirlerde tuz oranı % 1.78-1.79 arasında bulunmuştur. Tüm örnekler içinde tuz oranı en fazla olan örnek %10 yumurta ilaveli eritme peyniri olurken, en düşük tuz oranına sahip örneğin ise peyniri olduğu görülmüştür. Eritme peynirlerinin asitlik değerleri incelendiğinde en yüksek asitliğe sahip peynirin %10 yumurta ilaveli eritme peyniri olduğu görülmüştür. Eritme peynirine ilave edilen yumurtanın asitlik değerlerini yükselttiği görülmüştür. Eritme peynirlerine yumurta ilave edilmesinin asitliği yükseltmesi ile aynı oranda pH değerlerinin önemli düzeyde ($p<0.05$) düştüğü görülmüştür. Peynirlerin azot değerleri olgunlaşma süresi boyunca önemli düzeyde ($p<0.05$) artış göstermiştir. Eritme peynirlerinin L*, a* ve b* değerlerinde olgunlaşma süresince dalgalanmalar görülmüştür. Örnekler içerisinde L*, a* ve b* değerleri en yüksek peynir %10 yumurta ilaveli eritme peyniri olurken, en düşük değerlere sahip örnek ise yağsız eritme peyniri olmuştur. Örneklerin tekstür değerleri incelendiğinde dış yapışkanlık, esneklik, iç yapışkanlık, sakızimsılık, çignenebilirlik ve elastikiyet parametrelerinin benzer değişimler göstererek en yüksek değerlere sahip örneğin %10 yumurta ilaveli eritme peyniri iken en düşük değerlere sahip örneğin ise yağsız eritme peyniri olduğu görülmüştür. Bununla beraber sertlik değeri en yüksek örnek yağsız eritme peyniri iken en düşük % 10 yumurta ilaveli eritme peyniridir. Depolama boyunca örneklerin sertlik değerlerinde önemsiz düzeyde ($p>0.05$) azalma olduğu gözlemlenmiştir. Buna göre yumurta kullanımı peynirlerin sertlik değerlerini düşürmüştür. Duyusal açıdan örnekler değerlendirildiğinde yumurta kullanımının genel beğeniye arttırdığı görülmüştür. Duyusal analizlerin tüm parametrelerinde en yüksek değeri alan örnek %7.5 yumurta ilaveli eritme peyniri olmuştur. Sonuç olarak eritme peyniri üretiminde yumurta kullanılmasının peynirlerin tekstürel ve duyusal özelliklerine olumlu katkı sağladığı anlaşılmıştır. Aynı zamanda yumurta kullanımı eritme peynirinin raf ömründe herhangi bir değişikliğe neden olmamaktadır.

Kaynakça

- Ahmed, N.H., El Soda, M., Hassan, A.N., Frank, J., 2005. Improving the textural properties of an acid-coagulated (karish) cheese using exopolysaccharide producing cultures, *LWT Food Science and Technology*, (38), 843-847.
- Akarca, G., Çağlar, A., Tomar, O., 2016. The effects spicing on quality of mozzarella cheese. *Mljekarstvo*, 66 (2): 112-121.
- Akın, M. S., Akın M. B., Atasoy F., Kırmacı, H. A. Kırmacı Z., 2009. Sodyum alginat, karragenan ve gellan sakızı kullanılarak emülsiyon ve ekstrüzyon yöntemleri ile kapsüllenmiş enzimlerin (proteaz, lipaz ve proteaz/lipaz karışımı) kaşar peynirinin hızlı olgunlaştırılmasında kullanım olanaklarının araştırılması. Tubitak Araştırma Projesi. Proje No: 106O409.
- Alper, İ., 2012. Eritme Peynirinde Farklı Baharat İlavesinin Escherichia Coli Ve Staphylococcus Aureus Üzerine İnhibasyon Etkisi. (Yüksek lisans tezi), Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Anonim, 2016, Ulusal Süt Konseyi, 2016. Süt Raporu, (50-11)s.
- Atamer, M., Koçak, C., Çimer, A., Odabaşı, S., Tamuçay, B., Yamaner, N., 1999. Some quality characteristics of kashar cheese manufactured from milk preserved by activation of lactoperoxidase/thiocyanate/hydrogen peroxide (lp) system. *Milchwissenschaft*, 54 (10):553-556.
- Ayar, A. 1991. Trabzon ili dâhilinde tüketime sunulan kaşar peynirlerinin tuzluk ve standarda uygunluğu. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Ayar, A., Akun, N., Sert, D. 2006. Bazı peynir çeşitlerinin mineral kompozisyonu ve beslenme yönünden önemi. 9. Gıda Kongresi, 24-26 Mayıs, Bolu, Türkiye.
- Balkır, P., 2006. Taze Kaşar Peynirlerine Yapılan Hilelerin Belirlenmesi ve Taklit Taze Kaşar Peynirlerinin Ayırt Edilme Yöntemleri Üzerine Bir Araştırma. (Doktora Tezi), Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Cankurt, H., 2015. Bazı Bitki Su Ve Uçucu Yağların Blok Tipi Eritme Peyniri Ve Beyaz Peynirin Çeşitli Özellikleri Üzerine Etkisi. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

- Çağlar, A., Çakmakçı, S. 1998. Kaşar peynirinin hızlı olgunlaştırılmasında proteaz ve lipaz enzimlerinin farklı metotlarla kullanımı. *Gıda* 23 (4): 291-301
- Çavuş, M., 2015. Blok Tip Eritme Peyniri Üretiminde Tavuk Yumurtası Kullanımının Peynirin Fizikokimyasal, Tekstürel Ve Duyusal Özellikleri Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Iğdır Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Iğdır
- Çelik, Ş., Uysal Ş., 2009. Beyaz peynirin bileşim, kalite, mikroflora ve olgunlaşması. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 40 (1), 141-151.
- Çelikel, A., 2017. Yenilebilir Film ve Çeşitli Baharat Karışımlarının Optimizasyonu ve Eritme Peynirlerinin Kaplamasında Kullanım Olanakları. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Şanlıurfa, 167s
- Çetinkaya, A., 2012. Kaşar Peynirinde Farklı Tuzlama ve Muhafaza Yöntemlerinin Peynirin Kalitesi Üzerine Etkisi. Atatürk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Erzurum, 230s
- Çürük M., 2006. Kaşar Benzeri Peynirlerin Bazı Özellikleri Üzerine Eritme Tuzu Kullanımının Ve Olgunlaşma Süresinin Etkileri. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Demirci, M., 1988. Ülkemizin önemli peynir çeşitlerinin mineral madde düzeyi ve kalori değerleri. *Gıda*, 13 (1), 17-21
- Demirci, M. ve Dıraman, H., 1990. Trakya bölgesinde üretilen vakum paketlenmiş taze kaşar peynirlerinin yapım tekniği fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik nitelikleri ve enerji değerleri üzerinde bir çalışma. *Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Tarım Ürünleri Teknolojisi Bölümü, Tekirdağ*, 83-88.
- Dolun, Y., Kaşar, Beyaz, Tulum ve Lor Peynirlerinden Çeşitli Karışım ve Oranlarda Yapılan Eritme Peynirleri Üzerinde Araştırmalar. Doktora Tezi, Ankara. (1974)
- Doruk, İ., 2018 Farklı Proses Tekniklerinin Eritme Peyniri Yapımında Ürün Kalitesi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ
- Drake, M. A.; Swanson, B.G., 1995. Reduced and low fat cheese technology, *Trends In Food Science And Technology*, 6:366-369
- Erşen, N., 1995. Ankara Piyasasında Satılan Kaşar Peynirlerinin Proteoliz Düzeyi Üzerinde Bir Araştırma. Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Ankara.
- Eroglu, A., Toker Ö., S. And Dogan, M., 2016. Changes in the texture, physicochemical properties and volatile compound profiles of fresh kashar cheese during ripening. *International Journal of Dairy Technology*, 69(2): 243-453.
- Estürk, O., 2004. Functional and textural properties of the selected turkish cheeses resent development in dairy science and technology international dairy symposium proceedings: 257-259, May 24-28 Isparta, Turkey
- Farkye, N.Y. and FOX, P.F., 1990. Objective indices of cheese ripening. *Trends In Food Science and Technology*, 1 (2): 37-40.
- Fırat, N. 2006. Çiğ ve pastörize süttten üretilen kaşar peynirlerinin olgunlaşma süresince bazı mikrobiyolojik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Fox, P.F. and McSweeney P.L.H., 1996. Proteolysis in cheese during ripening. *Food Reviews International*, 12, 457– 509
- Göncü, B., 2018. Bazı Baharat Çeşitlerinin Dilimlenebilir Eritme Peyniri Üretiminde Kullanım Olanaklarının Araştırılması. Doktora Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Ghoddusi, H. B., & Robinson, R. K. (1996). Enumeration of starter cultures in fermented milks. *Journal of Dairy Research*, 63(1), 151-158.
- Güler, Z., 2000. Beyaz, Kaşar Ve Tulum Peynirlerinin Serbest Yağ Asitleri İle Duyusal (Tat-Koku) Nitelikleri Arasındaki İlişkiler Üzerine Bir Araştırma. (Doktora Tezi), Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Güven, M., Karaca, O.B., Var, I., Kaşar, A. ve Hayaloğlu, A.A., 2002. Antimikrobiyal madde kullanımının ve ambalaj materyalinin olgunlaşma süresince kaşar peynirinin özellikleri üzerine etkisi. *HR.Ü.Z.F. Dergisi*, 6 (1-2): 13-25.
- Güven, M., Tatar, N., Görmez, P., 2004. Antimikrobiyel madde kullanımı ve paketleme materyalinin kaşar peynirinin bazı özellikleri üzerine etkileri. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi*, 5: 3 - 11.
- Hui, Y.H., 1992, *Dairy science and technology handbook*. VCH Publishers, 220. East 23rd Street, N.York, Newyork, 10010, p.435
- Idf., 1993. Milk determination of the nitrogen (kjeldahl metod) and calculation of the crude protein content. IDF Standard 20B, Brussels: International Dairy Federation.
- Kapoor, R. and Metzger, L.E., 2008. Process cheese: scientific and technological aspects a review comprehensive reviews in food science and food safety, 7,(2),194-214
- Keçeli, T., Şahan N. and Yaşar, K., 2006. The Effect of pre-acidification with citric acid on reduced-fat kashar cheese. *The Australian Journal of Dairy Technology*, 61 (1): 32-36.
- Keleş, A., Atasever, M., Güner, A. ve Uçar, G., 2001. İnek ve koyun sütünden üretilen ve farklı ambalajlarda olgunlaştırılan hellim peynirinin bazı kalite nitelikleri. *Gıda*, 26 (1):61-70. Ankara.
- Koca, N., Metin, M., 2003. Bazı yağ ikame maddelerinin taze kaşar peynirinin bazı nitelikleri üzerine etkileri. *Süt Endüstrisinde Yeni Eğilimler Sempozyumu*, 8: 63 - 68.
- Koçak, C., Bitlis, A., Gürsel, A. and Avşar, Y.K., 1996. Effects of Added fungal lipase on the ripening of kashar cheese. *Milchwissenschaft*, 51, (1): 13- 17.
- Kristoffersen, T., 1985. Development of flover in cheese. *Milchwissenschaft* 40:197- 199.
- Kurt, A., Çakmakçı, S., Çağlar, A., 1996. Süt ve mamülleri analiz metotları rehberi, Atatürk Üniversitesi Yayınları, (18)s.
- Kurultay, Ş. ve Demirci, M., 1996. Çiğ süttten ve pastörize süte değişik kültür kombinasyonları ilavesi ile yapılan vakum paketlenmiş kaşar peynirleri üzerine bir araştırma. *Tekirdağ Zir. Fak. Dergisi*, 4:35-44.
- Lyne, J., 1995. Improving cheese flovour. in 4th cheese symposium, national dairy products research centre, moorepark, pp.46-50. Fermoy Co., Cork.

- Mahfouz, M.B., El-Dien, H.F., El-Shibiny, S., Haggag, H.F. and M.N. Magdoub, 1986. Chemical and microbiological quality of market processed cheese. *Egyptian J. Dairy. Sci.*, 14(1) (1986) 33-41.
- Metin, M., 2010. Süt ve mamülleri analiz yöntemleri, Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu Yayınları, 94 s
- Metin, M. ve Öztürk, G.F., 1991. Türkiye'de vakum paketlenmiş taze kaşar peynirlerinin yapımı ve düşündürdükleri. 'Milli Süt ve Süt ürünleri Sempozyumu. Trakya Ün. Tekirdağ Ziraat Fak. Yayın no:125, 158-180
- Mistry, V. V., Metzger, L. E. 1994. Application of cream homogenization in reduced fat processed cheese manufacture. *Journal of Dairy Science*, Supplement 1.
- Mitsumoto, M. O'grady, M.N., Keery, J.P., Buckley, D.J. 2005. Addition of tea catechins and vitamin C on sensory evaluation, colour and lipid stability during chilled storage in cooked or raw beef and chicken patties, *Meat Science* 69, 773-779.
- Mutluer, U. 2007. Uygulanan Bazı Farklı İşlemlerin Sünme Peynirinin Özellikleri Üzerine Etkisi. Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği ABD, Adana.
- Öksüz, Ö., Kurultay, S., Şimşek, O., 2001. The effect of *brevibacterium linens* on some physico-chemical properties and colour intensity of kashar cheese. *Milchwissenschaft*, 56(2):82-85.
- Öksüztepe, G., Patır, B., Dikici, A. ve İlhak., 2009. Elazığ'da tüketime sunulan vakum paketlenmiş taze Kaşar peynirlerinin mikrobiyolojik ve kimyasal kalitesi. *F.Ü. Sağ. Bil. Vet. Derg.*, 23 (2): 89-94.
- Özdemir, C. 1997. Soğutulmuş (4±1°C) Sütlerden Üretilen Kaşar Peynirlerine Sorbat Katılmasının Etkileri. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Edirne.
- Özkan E. R., 2012. Farklı pH Değerlerindeki Peynirlerden Blok Tip Eritme Peynir Üretim Şartlarının Ve Ürün Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya
- Öztek, L., 1989. Kaşar peynirinde uçucu yağ asitlerinin tayini üzerinde araştırmalar, *Gıda* 14 (3), 149-154)
- Rudan, M.A., Barbano, D.M., Yun, J.J., Kindstedt, P.S., 1999. Effect of fat reduction on composition, proteolysis, functionality and yield of Mozzarella cheese, *Journal of Dairy Science*, 82:661-662.
- Saldamlı, İ., 1987. Eritme peyniri ve çeşitleri. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı, Ankara İl Kontrol Laboratuar Müdürlüğü, Yayın No:7, Ankara (1987)
- Say, D., 2008. Haşlama Suyunun Tuz Konsantrasyonu Ve Depolama Süresinin Kaşar Peynirinin Özellikleri Üzerine Etkileri. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği ABD, Adana.
- Saygılı, D., 2015. Mersin Uçucu Yağı İçeren Yenilebilir Film Üretimi ve Kaşar Peynirinin Muhafazasında Mikrobiyel İnaktivasyona Etkisi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 98s
- Solak, B.B., 2013. Farklı Tip Peynirler Kullanılarak Üretilen Eritme Tipi Peynirlerin Üretimi Esnasında Uygulanan İşlem Parametrelerinin Peynirin Bazı Özellikleri Üzerine Etkisi. (Doktora Tezi), Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği ABD, Konya
- Tekinşen, C., Tekinşen, K., 2005. Süt Ürünleri Teknolojisi. Selçuk Üniversitesi Veteriner Fakültesi Yayınları. Konya
- Temizkan, R. 2012. Kaşar Peynirinin Bileşim, Proteoliz, Fonksiyonel ve Duyusal Özellikleri Üzerine İnek, Koyun ve Keçi Sütü Kullanımının Etkisi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale, 85 s.
- Tunçtürk, Y. 1996. Kaşar Peynirinin Starter Kültür, Proteinaz Ve Lipaz Enzimleri İlavesiyle Hızlı Olgunlaştırılması Üzerinde Bir Araştırma. Yüzyüçüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği ABD, Doktora Tezi, 140 s.
- Vatan, T., 1996. Bursa İl Merkezinde Satışa Sunulan Kaşar Peynirlerinin Kimyasal Ve Mikrobiyolojik Özellikleri Üzerine Araştırmalar. Yüksek lisans tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa
- Yaldız, O., 2002. Kırklareli il merkezinde tüketime sunulan taze ve eski kaşarların kimyasal bileşimlerinin ve hijyenik kalitesinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi*, 2 : 20- 27. Bursa.
- Yalman, M., 2011. Kaşar Benzeri Peynir Üretimi: Fiziksel, Kimyasal Ve Duyusal Özellikleri. Yüksek lisans tezi, Çanakkale On Sekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- Yaşar, K., 2008. Farklı Pıhtılaştırıcı Enzim Kullanımının Ve Olgunlaşma Süresinin Kaşar Peynirinin Özellikleri Üzerine Etkisi. Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
- Yasar, K. And Guzeler, N., 2011. Effects of coagulant type on the physicochemical and organoleptic properties of kashar cheese. *Int. J. Dairy Technol.*, 64: 372-379.
- Yerlikaya, O. 2008. Kapatılı Beyaz Peynir Üretimi Ve Kalite Özellikleri Üzerine Bir Araştırma. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Süt Teknolojisi ABD, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Yetim, H. 2001. Gıda analizleri, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ofset Tesisi, Yayın No: 227, Erzurum.
- Yöney, Z., 1962. Memleketimizde işlenen bazı avrupa tipi peynirlerin genel özellikleri üzerinde araştırmalar. *Ankara Üniv. Zir. Fak. Yıllığı*, Sayı: 12, (1962) 181-193.



Determination of Mass Attenuation Coefficients of Different Types of Concretes using Monte Carlo Method

Ozge Kilicoglu^{*,1,3}, Huseyin Ozan Tekin^{2,3}, Viswanath P. Singh⁴

¹Uskudar University, Vocational School of Nuclear Technology and Radiation Protection, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-8443-9816)

²Uskudar University, Vocational School of Nuclear Technology and Radiation Protection, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-0997-3488)

³Uskudar University, Medical Radiation Application and Research Center (USMERA)

⁴Karnatak University, Department of Physics, Dharwad, India

(First received 4 March 2019 and in final form 28 March 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.535203)

ATIF/REFERENCE: Kilicoglu, O., Tekin, H. O. & Singh, V. P. (2019). Determination of Mass Attenuation Coefficients of Different Types of Concretes using Monte Carlo Method. *European Journal of Science and Technology*, (15), Xx-Xx.

Abstract

Shielding and radiation protection are important subjects for various areas ranging from medical and agricultural sectors to consumer products. As such, it is a branch of science and technology, wherein radiation exposure to the receptor is reduced by shielding. In this study mass attenuation coefficients, μ/ρ for some concrete with potential applications in nuclear technology and radiation protection as well as medical physics have been calculated using MCNPX (version 2.4.0) at different photon energy levels. Appreciable variations are noted for mass attenuation coefficients of the concrete by the changes in the photon energy. The MCNPX results are compared with available experimental investigations and theoretical XCOM results, and good agreement is being observed. Present study indicates that MCNPX simulation method is suitable method to be used as an alternative method for the investigation of gamma interaction and would very useful materials for different energies for radiation dosimetry, medical and nuclear technology.

Key words: Concrete, Dosimeter, Attenuation Coefficient, Gamma, MCNPX

Farklı Türdeki Betonların Kütle Zayıflatma Katsayılarının Monte Carlo Metodu ile Belirlenmesi

Öz

Zırhlama ve radyasyondan korunma medikal ve tarım sektöründen tüketim ürünlerine kadar oldukça fazla sayıda alan için oldukça önemli bir konu başlığıdır. Bu çalışmada nükleer teknoloji, radyasyondan korunma ve medikal tıp alanında potansiyel kullanıma sahip betonların kütle azaltma katsayılarını, μ/ρ , farklı foton enerjilerinde MCNPX (versiyon 2.6.0) Monte Carlo kodu kullanılarak hesaplanmaktadır. Foton enerjisini değiştirerek betonların kütle azaltma katsayıları için kayda değer farklılıklar kaydedilmiştir. MCNPX sonuçları mevcut deneysel araştırmalar ve teorik XCOM sonuçları ile karşılaştırılmış ve iyi bir uyum gözlenmiştir. Bu çalışma, MCNPX simülasyon yönteminin, gama etkileşiminin araştırılmasında alternatif bir yöntem olarak kullanılacak uygun bir yöntem olduğunu göstermektedir ve radyasyon dozimetresi ve nükleer teknoloji alanında oldukça faydalı materyaller içermektedir.

Anahtar kelimeler: Beton, Dozimetre, Kütle Azaltma Katsayısı, Gama, MCNPX

1. Introduction

Radiation protection and shielding is one of the most critical issues in medical, agriculture, industries, and consumer products. As such, it is a branch of science and technology, wherein radiation exposure to the receptor is reduced by shielding. The shielding material is an important factor that determines the effectiveness of radiation protection. Various types of shielding materials are being invented and investigated in detail for the purposes of shielding and dosimetric applications. A variety of different materials are being used for personal dosimeter for radiation dose measurement. To represent the realistic radiation interaction similar to human body organs, tissue equivalent materials becomes often most used materials in different applications (Hubbell, 1999). For instance, water exhibits adequate suitability as tissue equivalent for radiation interaction and being considered most useful in medical applications for simulation purpose (V. P. Singh & Badiger, 2013). For all types of materials, mass attenuation coefficients (MAC) is the most important parameter to determine the shielding properties of the material as it is the major factor for other interacting parameters (Dong et al., 2019; Vishwanath P. Singh & Badiger, 2013).

In the interaction of photon with the shielding and dosimetry materials, (the transmitted/absorbed/scattered back photon. In order to understand the essence of the interaction of the photon with the dosimetry materials and the quality of the shielding, it is vital to determine MAC. The photon interaction processes (namely photoelectric absorption, Compton scattering and pair production) also dependent upon photon energy and atomic number (Z) of the elements of compound or mixture. Therefore, in addition to MAC, these parameters must be investigated for determining the shielding properties of any materials. This study focusses on the determination of MAC for concretes using Monte Carlo method. Concretes are the high demanding materials in radiation protection field since they are suitable for a variety of dosimetry applications with the mixture of low- as well as high-Z elements. In addition to their special quality for shielding application, concretes are valuable for their cost-effectiveness, easy-handling, construction in desired shape and size and decommissioning.

This article uses Monte Carlo simulation for shielding and dosimetric material to investigate the mass attenuation coefficients, which is an often-employed application (AlMateri et al., 2019; Vishwanath P. Singh, Ali, Badiger, & El-Khayatt, 2013; Tekin, Sayyed, et al., 2018). Monte Carlo N-Particle Extended (MCNPX) is an application used for modeling of the interaction of radiation with the materials (Vishwanath P. Singh, Medhat, & Badiger, 2014; Tekin, Altunsoy, Ozturk, Kilicoglu, & Sayyed, 2018). Los Alamos National Laboratory has developed the MCNPX code for simulation of mass attenuation coefficients of the polymers and water. It is a general-purpose radiation code with user-friendly and powerful features like displaying three-dimensional graphics and utilizing extended nuclear cross section libraries (Tekin, Sayyed, Altunsoy, & Manici, 2017). As such, it allows us to track all particles at all energies. Capability of MCNPX code on detection efficiency and using of different experimental can be found by Tekin et al. (Issa, Saddeek, Sayyed, Tekin, & Kilicoglu, 2019; Issa, Tekin, et al., 2019). In addition to MCNPX, the article use the XCOM program, which is software for providing photon cross section data for a single element, compound, or mixture in energy area from 1 keV to 100 GeV (Berger, 2010).

2. Materials and Methods

To test the simulation method and provide radiological safety parameters, this work studies MAC for concretes using calculations via MCNPX code. The chemical compositions of these materials are taken from literature (Vijayakumar, Rajasekaran, & Ramamurthy, 2001). Firstly, mass attenuation coefficients of the selected materials were calculated. Later these calculated results are checked against the results derived from XCOM program (which is the theoretical data) (Bashter, 1997) and simulation results (Issa, Tekin, et al., 2019; Vishwanath P. Singh et al., 2013).

The following mixture rule provides theoretically calculated mass attenuation coefficient (μ/ρ) values for the concretes

$$((\mu/\rho)_{polymer} = \sum_i^n w_i (\mu/\rho)_i) \quad (1)$$

where w_i is the proportion by weight and $(\mu/\rho)_i$ is mass attenuation coefficient of the i th element by using XCOM (Berger, 2010; Tekin, Kavaz, et al., 2019; Tekin, Kilicoglu, et al., 2019). In Compton region, which is the energy region from 30 keV to 100 MeV, the uncertainties in μ/ρ values is about 1% for low-Z ($1 < Z < 8$). Due to correction to experiments for high-Z impurities and departure of Compton cross section from Klein-Nishina theory, the uncertainties increase to 5-10% below the 30 keV energy (V. P. Singh & Badiger, 2013). Note that above 100 MeV photon energy, uncertainties in μ/ρ values may be as high as 5-10%. Uncertainties in photon energy absorption coefficient may be slightly greater values. The gamma sources of photon energies above 5 keV are being used in medical, biological, industrial, radioactive source transportation and other shielding applications. Hence uncertainty in the result may not have any impact for practical applications. The mass attenuation coefficient (μ/ρ) values for the selected materials were computed by the MCNPX simulation code corresponding to the photon energies of 59.5, 279.1, 511, 661.6, 662, 1173.2, 1274.5 and 1332.5 keV. The present results were compared with earlier investigation in addition to both the theoretical and experimental results from derived from XCOM and literature.

Cell definitions, surface definitions, material definition and position of each tool are some of MCNPX simulation parameters. These parameters have been defined in input file according to their properties. Samples take a cubic geometrical form with the sizes of 10x10x5 cm (height-width-thickness). The figure 1 depicts the total simulation geometry while figure 2 shows the schematic

view of MCNPX simulation setup with Pb collimator, investigated dosimeter materials samples, Pb shields for backscattered and unused photons and detection.

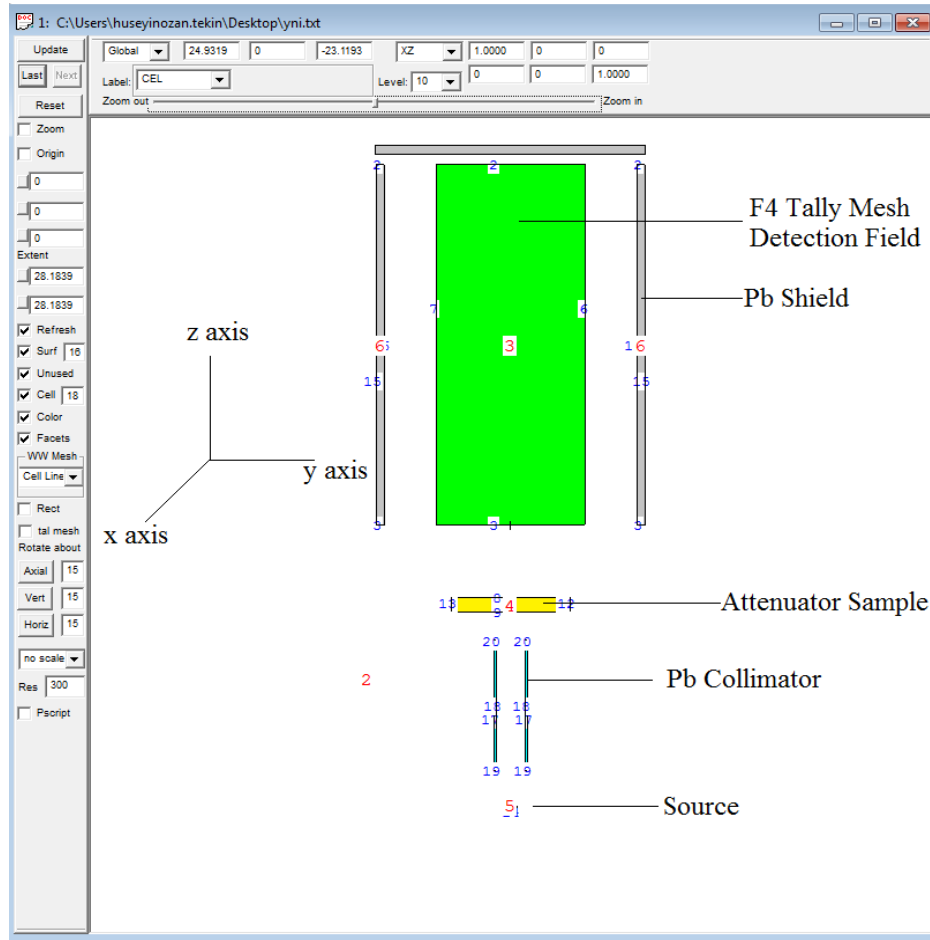


Figure 1: Total simulation geometry

Gamma-ray source, lead (Pb) (density=11,34 g/cm³) collimators and shields, samples and detection area have been defined in cell card, surface card and data card sections of MCNPX input. The basic variables such as CEL, ERG, DIR, POS, and PAR have been defined, respectively. The geometric center of detection area has been considered for location of point source. The source has been defined as a point source at photon energies of 59.5, 279.1, 511, 661.6, 662, 1173.2, 1274.5 and 1332.5 keV. The energy deposition mesh tally (F6) is used for acquiring the absorbed dose amount in detection area. This type of tally in MCNPX scores energy deposition data in which energy deposited per unit volume from all particles is included. MCNPX calculations were completed by using Intel® Core™ i7 CPU 2.80 GHz computer hardware. The error rate has been observed less than %1 in output file. The same simulation parameters have been applied for all samples. In each simulation, density of dosimeter materials has been defined in input file.

Table 1: Mass attenuation coefficient concrete shielding materials using MCNPX and comparison with XCOM, Expt, Geant4 and MCNP

Ordinary Concrete						Hematite-serpentine					
Energy (MeV)	MCNPX	Xcom	Expri.	Geant4	MCNP	Energy (MeV)	MCNPX	Xcom	Exp.	Geant4	MCNP
1.5	5.04E-02	5.19E-02	7.13E-02	6.12E-02	5.15E-02	1.5	4.96E-02	5.15E-02	4.96E-02	5.05E-02	5.29E-02
2	4.19E-02	4.47E-02	5.04E-02	4.88E-02	4.44E-02	2	4.19E-02	4.46E-02	4.20E-02	4.32E-02	4.70E-02
3	3.27E-02	3.64E-02	4.30E-02	3.89E-02	3.62E-02	3	3.36E-02	3.67E-02	3.72E-02	3.81E-02	3.85E-02
4	2.73E-02	3.17E-02	3.78E-02	3.56E-02	3.15E-02	4	2.74E-02	3.24E-02	3.52E-02	3.30E-02	3.44E-02
5	2.47E-02	2.88E-02	3.39E-02	2.68E-02	2.86E-02	5	2.44E-02	2.97E-02	3.20E-02	3.11E-02	3.04E-02
6	2.17E-02	2.68E-02	3.39E-02	3.20E-02	2.66E-02	6	2.27E-02	2.80E-02	3.28E-02	3.12E-02	2.76E-02
ilmenite-limonite						Basalt-magnetite					
Energy (MeV)	MCNPX	Xcom	Exp.	Geant4	MCNP	Energy (MeV)	MCNPX	Xcom	Exp.	Geant4	MCNP
1.5	4.84E-02	5.05E-02	5.48E-02	5.13E-02	5.17E-02	1.5	4.97E-02	5.14E-02	4.56E-02	4.98E-02	5.27E-02
2	4.07E-02	4.37E-02	4.07E-02	4.23E-02	4.36E-02	2	4.16E-02	4.44E-02	3.61E-02	4.01E-02	4.47E-02
3	3.27E-02	3.63E-02	3.48E-02	3.54E-02	3.74E-02	3	3.37E-02	3.65E-02	3.11E-02	3.46E-02	3.80E-02
4	2.74E-02	3.23E-02	3.17E-02	3.11E-02	3.34E-02	4	2.77E-02	3.23E-02	2.69E-02	3.01E-02	3.34E-02
5	2.47E-02	2.99E-02	2.97E-02	3.01E-02	3.03E-02	5	2.44E-02	2.96E-02	2.79E-02	2.88E-02	3.06E-02
6	2.27E-02	2.84E-02	2.97E-02	3.00E-02	2.83E-02	6	2.29E-02	2.79E-02		2.52E-02	2.74E-02
ilmenite						Steel-scrap					
Energy (MeV)	MCNPX	Xcom	Exp.	Geant4	MCNP	Energy (MeV)	MCNPX	Xcom	Exp.	Geant4	MCNP
1.5	4.87E-02	5.03E-02	5.71E-02	5.16E-02	5.30E-02	1.5	4.96E-02	5.03E-02	4.90E-02	5.05E-02	5.25E-02
2	4.12E-02	4.36E-02	4.39E-02	4.30E-02	4.37E-02	2	4.12E-02	4.37E-02	5.20E-02	4.81E-02	4.42E-02
3	3.43E-02	3.62E-02	3.67E-02	3.60E-02	3.72E-02	3	3.36E-02	3.65E-02	4.48E-02	4.04E-02	3.81E-02
4	2.89E-02	3.22E-02	3.28E-02	3.21E-02	3.24E-02	4	2.98E-02	3.28E-02	3.95E-02	3.68E-02	3.29E-02
5	2.49E-02	2.98E-02	3.20E-02	3.03E-02	3.13E-02	5	2.63E-02	3.06E-02	4.30E-02	4.04E-02	3.08E-02
6	2.36E-02	2.83E-02		2.91E-02	2.83E-02	6	2.48E-02	2.92E-02		2.81E-02	2.92E-02
	MCNPX	Xcom	Exp.	Geant4	MCNP						
1.5	4.98E-02	4.98E-02	4.31E-02	4.65E-02	5.18E-02						
2	4.09E-02	4.34E-02	3.97E-02	4.02E-02	4.23E-02						
3	3.29E-02	3.64E-02	3.60E-02	3.71E-02	3.63E-02						
4	2.88E-02	3.29E-02	3.52E-02	3.30E-02	3.32E-02						
5	2.56E-02	3.09E-02	3.41E-02	3.20E-02	3.20E-02						
6	2.38E-02	2.97E-02		2.88E-02	2.90E-02						

Table 2: Mass attenuation coefficient dosimetric materials using MCNPX and comparison with XCOM, Expt, Gent4, and MCNP

Energy (MeV)	LiF				Energy (MeV)	C ₄ H ₆ BaO ₄			
	MCNPX	XCOM	Expt	Geant4		MCNPX	XCOM	Expt	Geant4
0.2792	7.31E-02	1.02E-01	1.01E-01	9.70E-02	0.2792	1.76E-01	1.68E-01	1.65E-01	1.61E-01
0.3201	6.98E-02	9.66E-02	9.50E-02	9.00E-02	0.3201	1.41E-01	1.43E-01	1.41E-01	1.33E-01
0.514	5.70E-02	7.98E-02	8.01E-02	7.10E-02	0.514	7.76E-02	9.38E-02	9.28E-02	8.80E-02
0.6616	4.97E-02	7.15E-02	7.11E-02	6.80E-02	0.6616	6.05E-02	7.92E-02	7.91E-02	7.40E-02
1.115	3.63E-02	5.57E-02	5.55E-02	5.20E-02	1.115	3.96E-02	5.82E-02	5.83E-02	5.50E-02
1.173	3.51E-02	5.45E-02	5.37E-02	5.10E-02	1.173	3.80E-02	5.68E-02	5.71E-02	5.10E-02
1.333	3.22E-02	5.11E-02	5.06E-02	4.80E-02	1.333	3.44E-02	5.31E-02	5.29E-02	4.90E-02
Energy (MeV)	CdSO ₄				Energy (MeV)	SrSO ₄			
	MCNPX	XCOM	Expt	Geant4		MCNPX	XCOM	Expt	Geant4
0.2792	1.42E-01	1.45E-01	1.43E-01	1.42E-01	0.2792	1.04E-01	1.22E-01	1.21E-01	1.23E-01
0.3201	1.17E-01	1.26E-01	1.25E-01	1.20E-01	0.3201	9.18E-02	1.11E-01	1.10E-01	1.08E-01
0.514	7.13E-02	8.86E-02	8.72E-02	8.10E-02	0.514	6.37E-02	8.48E-02	8.46E-02	8.00E-02
0.6616	5.82E-02	7.63E-02	7.60E-02	7.10E-02	0.6616	5.39E-02	7.46E-02	7.41E-02	7.50E-02
1.115	3.96E-02	5.72E-02	5.72E-02	5.00E-02	1.115	3.79E-02	5.71E-02	5.73E-02	5.10E-02
1.173	3.80E-02	5.58E-02	5.63E-02	5.10E-02	1.173	3.65E-02	5.59E-02	5.61E-02	5.00E-02
1.333	3.46E-02	5.22E-02	5.24E-02	5.30E-02	1.333	3.34E-02	5.23E-02	5.25E-02	5.40E-02
Energy (MeV)	CaSO ₄				Energy (MeV)	CaCO ₃			
	MCNPX	XCOM	Expt	Geant4		MCNPX	XCOM	Expt	Geant4
0.2792	8.50E-02	1.12E-01	1.12E-01	1.09E-01	0.2792	8.53E-02	1.12E-01	1.11E-01	1.01E-01
0.3201	7.99E-02	1.06E-01	1.05E-01	1.04E-01	0.3201	7.98E-02	1.06E-01	1.04E-01	1.00E-01
0.514	6.30E-02	8.67E-02	8.62E-02	8.10E-02	0.514	6.28E-02	8.67E-02	8.59E-02	8.40E-02
0.6616	5.50E-02	7.75E-02	7.77E-02	7.30E-02	0.6616	5.48E-02	7.75E-02	7.72E-02	7.10E-02
1.115	3.97E-02	6.03E-02	6.05E-02	6.50E-02	1.115	3.95E-02	6.03E-02	6.05E-02	6.30E-02
1.173	3.83E-02	5.90E-02	5.91E-02	5.30E-02	1.173	3.81E-02	5.90E-02	5.91E-02	5.90E-02
1.333	3.50E-02	5.52E-02	5.53E-02	5.80E-02	1.333	3.49E-02	5.52E-02	5.54E-02	5.10E-02
Energy (MeV)	BaSO ₄				Energy (MeV)	3CdSO ₄ .8H ₂ O			
	MCNPX	XCOM	Expt	Geant4		MCNPX	XCOM	Expt	Geant4
0.2792	1.78E-01	1.71E-01	1.68E-01	1.76E-01	0.2792	1.37E-01	1.40E-01	1.38E-01	1.29E-01
0.3201	1.41E-01	1.44E-01	1.42E-01	1.49E-01	0.3201	1.15E-01	1.24E-01	1.23E-01	1.13E-01
0.514	7.75E-02	9.24E-02	9.00E-02	9.30E-02	0.514	7.07E-02	9.00E-02	8.90E-02	9.10E-02
0.6616	6.12E-02	7.75E-02	7.75E-02	7.20E-02	0.6616	5.76E-02	7.80E-02	7.79E-02	7.10E-02
1.115	4.00E-02	5.65E-02	5.64E-02	5.10E-02	1.115	3.93E-02	5.90E-02	5.91E-02	5.00E-02
1.173	3.86E-02	5.52E-02	5.54E-02	5.10E-02	1.173	3.78E-02	5.76E-02	5.81E-02	5.20E-02
1.333	3.46E-02	5.15E-02	5.16E-02	5.40E-02	1.333	3.46E-02	5.39E-02	5.37E-02	4.80E-02
Energy (MeV)	CaSO ₄ .2H ₂ O				Energy (MeV)	Perspex			
	MCNPX	XCOM	Expt	Geant4		MCNPX	XCOM	Expt	Geant4
0.2792	8.48E-02	1.14E-01	1.13E-01	1.08E-01	0.2792	8.42E-02	1.18E-01	--	1.48E-01
0.3201	7.97E-02	1.08E-01	1.07E-01	1.00E-01	0.3201	7.99E-02	1.12E-01	--	1.44E-01

0.514	6.30E-02	8.86E-02	8.84E-02	8.90E-02	0.514	6.42E-02	9.30E-02	--	9.78E-02
0.6616	5.50E-02	7.92E-02	8.33E-02	7.60E-02	0.6616	5.62E-02	8.33E-02	--	8.26E-02
1.115	3.97E-02	6.16E-02	6.19E-02	6.90E-02	1.115	4.06E-02	6.50E-02	--	7.19E-02
1.173	3.84E-02	6.03E-02	6.05E-02	6.20E-02	1.173	3.99E-02	6.36E-02	--	7.23E-02
1.333	3.51E-02	5.65E-02	5.62E-02	5.40E-02	1.333	3.61E-02	5.95E-02	--	6.02E-02
Energy (MeV)	Alanine				Energy (MeV)	Bakelite			
	MCNPX	XCOM	Expt	Geant4		MCNPX	XCOM	Expt	Geant4
0.2792	8.28E-02	1.18E-01	--	1.62E-01	0.2792	8.32E-02	1.16E-01	--	1.41E-01
0.3201	7.91E-02	1.12E-01	--	1.44E-01	0.3201	7.90E-02	1.10E-01	--	1.41E-01
0.514	6.38E-02	9.29E-02	--	1.07E-01	0.514	6.38E-02	9.10E-02	--	1.04E-01
0.6616	5.61E-02	8.32E-02	--	8.37E-02	0.6616	5.59E-02	8.15E-02	--	8.07E-02
1.115	4.04E-02	6.49E-02	--	5.64E-02	1.115	4.03E-02	6.36E-02	--	6.23E-02
1.173	3.85E-02	6.35E-02	--	6.93E-02	1.173	3.89E-02	6.22E-02	--	7.10E-02
1.333	3.56E-02	5.94E-02	--	5.92E-02	1.333	3.56E-02	5.82E-02	--	5.84E-02

3. Results and Discussion

The mass attenuation coefficient (μ/ρ) values of the concretes at the photon energy ranging from 1 keV to 100 GeV are listed in the Figure1. The μ/ρ values of the concretes greatly vary between different energy regions. In low energy region, the variation is quite wide. It is simply occurring due to photoelectric effect and it sharply increases and decreases along with the changes in the energy levels. This is natural since the interaction between cross-section is dependent upon photon energy and atomic number as Z^{4-5} . However, Compton scattering becomes dominant incident in the medium energy region as the interaction between cross-section is independent of photon energy while largely depend upon atomic number. Due to the dependency of interaction cross-section as Z^2 , the variation of μ/ρ values is low in high energy range. The μ/ρ values for few selected energies were computed using MCNPX, compared with XCOM and that comparison is given in Table 2. To note further, the μ/ρ values derived from MCNPX are also comparable to the values of which are derived from NIST using the XCOM program. From that comparison, it is concluded that the MCNPX is capable of simulation for radiation interaction.

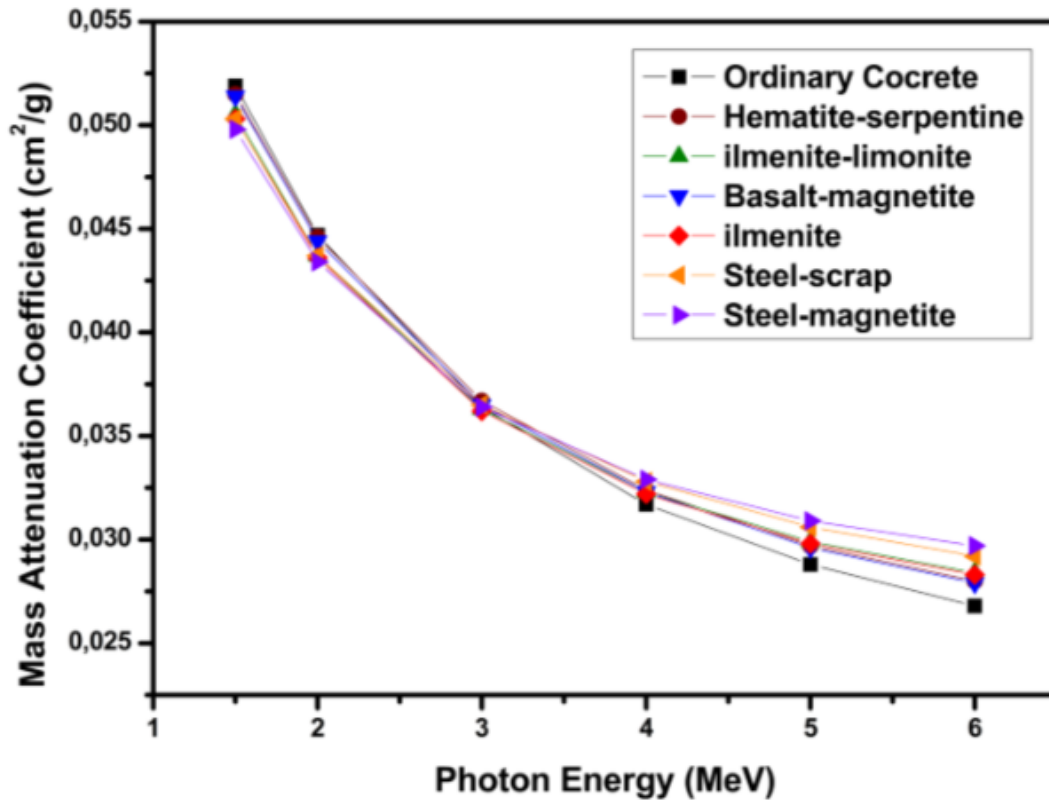


Figure 2: MAC for concretes

The simulated MCNPX, theoretical XCOM, other simulations (Geant4 and MCNP) along with possible experimental results of mass attenuation coefficient (μ/ρ) values for different photon energies are given in Table 1-2. In general, it was found that the μ/ρ values for the concretes and dosimetric materials were very close to theoretical XCOM data, experimental results and other simulations. The slightly higher deviation in results is noted in the present investigation as compared with previous simulations. The possibility for deviation in the results may be the cross section files or computer features. The μ/ρ values calculated by MCNPX for dosimetric materials containing barium (BaSO_4 and $\text{C}_4\text{H}_4\text{BaO}_4$) were found to be slightly higher than the remaining results for all the selected photon energies. The discrepancies in the μ/ρ values in present simulation and previous investigations could be due to more precise arrangement for high-atomic number element in the experimental set-up. However, at intermediate and high energies the MCNPX results were found in good agreement with theoretical XCOM data, experiment results and other simulation results. The μ/ρ values for Bakelite and concrete using MCNPX and Fluka (Demir et al., 2013) were also found comparable. It can be concluded that mass attenuation coefficients for compound or composite materials having low-as well as high-atomic number elements for low- to high-energy of photons are found comparable with the experiment and GEANT-4, MCNP and Fluka simulation codes (Vishwanath P. Singh et al., 2014).

4. Conclusion

The MCNPX simulated mass attenuation coefficients for the concretes and dosimeters were found to be comparable with the theoretical XCOM values and experimental data. It can be concluded that mass attenuation coefficients for compound or composite

materials having low- as well as high- atomic number elements for low- to high-energy of photons are found comparable with the experiment and GEANT-4, MCNP and Fluka simulation codes. The present geometry can be used as standard geometry for MCNPX simulation for low- as well as high-atomic number element materials. The present study would very useful materials for different energies for radiation dosimetry, medical and nuclear technology.

References

- AlMateri, M., Agar, O., Altunsoy, E. E., Kilicoglu, O., Sayyed, M. I., & Tekin, H. O. (2019). Photon and neutron shielding characteristics of samarium doped lead alumino borate glasses containing barium, lithium and zinc oxides determined at medical diagnostic energies. *Results in Physics*.
- Bashter, I. I. (1997). Calculation of radiation attenuation coefficients for shielding concretes. *Annals of Nuclear Energy*, 24(17), 1389–1401.
- Berger, M. (2010). XCOM: photon cross sections database. [Http://Www. Nist. Gov/Pml/Data/Xcom/Index. Cfm](http://www.nist.gov/pml/data/xcom/index.cfm).
- Demir, N., Tarim, U. A., Popovici, M.-A., Demirci, Z. N., Gurler, O., & Akkurt, I. (2013). Investigation of mass attenuation coefficients of water, concrete and bakelite at different energies using the FLUKA Monte Carlo code. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 298(2), 1303–1307.
- Dong, M. G., Agar, O., Tekin, H. O., Kilicoglu, O., Kaky, K. M., & Sayyed, M. I. (2019). A comparative study on gamma photon shielding features of various germanate glass systems. *Composites Part B: Engineering*.
- Hubbell, J. H. (1999). Review of photon interaction cross section data in the medical and biological context. *Physics in Medicine & Biology*, 44(1), R1.
- Issa, S. A., Saddeek, Y. B., Sayyed, M. I., Tekin, H. O., & Kilicoglu, O. (2019). Radiation shielding features using MCNPX code and mechanical properties of the PbONa₂OB₂O₃CaOAl₂O₃SiO₂ glass systems. *Composites Part B: Engineering*, 167, 231–240.
- Issa, S. A., Tekin, H. O., Elsaman, R., Kilicoglu, O., Saddeek, Y. B., & Sayyed, M. I. (2019). Radiation shielding and mechanical properties of Al₂O₃-Na₂O-B₂O₃-Bi₂O₃ glasses using MCNPX Monte Carlo code. *Materials Chemistry and Physics*, 223, 209–219.
- Singh, V. P., & Badiger, N. M. (2013). Study of mass attenuation coefficients, effective atomic numbers and electron densities of carbon steel and stainless steels. *Radioprotection*, 48(3), 431–443.
- Singh, Vishwanath P., Ali, A. M., Badiger, N. M., & El-Khayatt, A. M. (2013). Monte Carlo simulation of gamma ray shielding parameters of concretes. *Nuclear Engineering and Design*, 265, 1071–1077.
- Singh, Vishwanath P., & Badiger, N. M. (2013). Study of effective atomic numbers and electron densities, kerma of alcohols, phantom and human organs, and tissues substitutes. *Nuclear Technology and Radiation Protection*, 28(2), 137–145.
- Singh, Vishwanath P., Medhat, M. E., & Badiger, N. M. (2014). Utilization of Geant4 Monte Carlo simulation method for studying attenuation of photons in normal and heavy concretes at high energy values. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 300(1), 325–331.
- Tekin, H. O., Altunsoy, E. E., Ozturk, F. C., Kilicoglu, O., & Sayyed, M. I. (2018). Gamma-ray attenuation properties of boron carbide in radiological energy range using MCNPX code. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2042, p. 020059). AIP Publishing.
- Tekin, H. O., Kavaz, E., Altunsoy, E. E., Kilicoglu, O., Agar, O., Erguzel, T. T., & Sayyed, M. I. (2019). An extensive investigation on gamma-ray and neutron attenuation parameters of cobalt oxide and nickel oxide substituted bioactive glasses. *Ceramics International*.
- Tekin, H. O., Kilicoglu, O., Kavaz, E., Altunsoy, E. E., Almatari, M., Agar, O., & Sayyed, M. I. (2019). The investigation of gamma-ray and neutron shielding parameters of Na₂O-CaO-P₂O₅-SiO₂ bioactive glasses using MCNPX codewe. *Results in Physics*.
- Tekin, H. O., Sayyed, M. I., Altunsoy, E. E., & Manici, T. (2017). Shielding properties and effects of WO₃ and PbO on mass attenuation coefficients by using MCNPX code. *Dig. J. Nanomater. Biostruct*, 12(3), 861–867.
- Tekin, H. O., Sayyed, M. I., Kilicoglu, O., Karahan, M., Erguzel, T. T., Kara, U., & Konuk, M. (2018). Calculation of gamma-ray attenuation properties of some antioxidants using Monte Carlo simulation method. *Biomedical Physics & Engineering Express*, 4(5), 057001.
- Vijayakumar, R., Rajasekaran, L., & Ramamurthy, N. (2001). Effective atomic numbers for photon energy absorption of some low-Z substances of dosimetric interest. *Radiation Physics and Chemistry*, 62(5–6), 371–377.



Siyah Havuç ve Peyniraltı Suyu Kullanılarak Üretilen Tuzu Azaltılmış Şalgam Suyunun Fizikokimyasal ve Duyusal Özellikleri

Neslihan Güven¹, Hasan Yetim² Hasan Cankurt^{3*}

¹Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği A.B.D., Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3344-4017)

²İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5388-5856)

³ Kayseri Üniversitesi, Safiye Çıkrıkçıoğlu MYO Gıda İşleme Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3842-6539)

(İlk Geliş Tarihi 13 Mart 2019 ve Kabul Tarihi 28 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.539492)

ATIF/REFERENCE: Güven, N., Yetim, H. & Cankurt, H. (2019). Siyah Havuç ve Peyniraltı Suyu Kullanılarak Üretilen Tuzu Azaltılmış Şalgam Suyunun Fizikokimyasal ve Duyusal Özellikleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 599-610.

Öz

Bu çalışmada, siyah havuç suyu konsantresi (SHSK) ve peyniraltı suyu (PAS) kullanılarak şalgam suyu üretiminde tuz (NaCl) düzeyini azaltma imkânları araştırılmıştır. Çalışma kapsamında farklı düzeylerde NaCl (%0.5, %1.0 ve %1.5), SHSK (%0, %5, %10, %20), PAS (%10) kullanımı ile şalgam suyu örnekleri (n= 24) hazırlanmış ve 30 gün süreyle depolanmıştır. Elde edilen şalgam suyu örneklerinde, bazı fizikokimyasal ve duyuşsal özellikler incelenmiştir. Ayrıca, çalışmada 25°C' de muhafaza edilen şalgam suyu örneklerinde, depolamanın 1., 15. ve 30. günlerinde çalışma kapsamındaki analizler tekrarlanarak, depolama süresinin etkisi ve kalite özelliklerinin zamana bağlı değişimleri belirlenmiştir.

Araştırmada, PAS kullanımını şalgam suyu örneklerinde pH değerini düşürmüş, titrasyon asitliği değerlerinde ise önemli (p>0.05) bir artışa neden olmuştur. PAS kullanılarak hazırlanan şalgam suyu örneklerinde incelenen renk parametrelerinin (L*, a* ve b*), diğer örnek gruplarına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca genel olarak örneklerde tuz düzeyindeki azalmaya bağlı olarak L*, a* ve b* değerlerinde düşüşler tespit edilmiştir. Tüm örneklerde SHSK düzeyi artışı ve tuz oranındaki düşüş ile birlikte toplam antosiyanin miktarlarında da önemli bir artış görülmüştür. Duyusal analiz sonuçlarına göre ise, en çok beğenilen örneğin, PAS (%10), siyah havuç (%15), SHSK (%5) ve NaCl (%1.5) kullanılarak hazırlanan şalgam suyunun olduğu belirlenmiştir. Genel olarak şalgam suyu üretiminde kullanılan SHSK miktarı artırılıp siyah havuç ve tuz miktarı azaltıldıkça örneklerin genel görünüş, renk, tat ve koku bakımından duyuşsal beğeni değerleri de azalmıştır. Ancak duyuşsal beğeni değerleri daha düşük olsa da sonuçta, SHSK ve PAS kullanılarak daha düşük tuz içeriğine sahip ve daha besleyici şalgam sularının üretilebileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: şalgam suyu, peyniraltı suyu, siyah havuç suyu konsantresi, tuzu azaltılmış

Physicochemical and Sensory Properties of low salt turnip juice produced by using black carrot juice and whey

Abstract

In the present study, the possibility of decreasing salt (NaCl) level in turnip juice production by using black carrot juice concentrate (BCJC) and whey was investigated. In the study, turnip juice samples, which contained different amount of NaCl (0.5 %, 1 % and 1.5 %), BCJC (0, 10, 15 and 20 %) and whey (%0 and 10%) were prepared and stored for 30 days. Aside the changes in composition of the product, interactions between some microbiological, physicochemical and sensorial properties of the juices were determined. In the study, the effect of storage time changes of the time and changes of the time dependent quality parameters at the 1st, 15th, and 30th days of storage period were also determined at the temperature of 25°C.

Regarding the obtained results, a significant decrease was noted in the pH value, and an increase in titratable acidity values were determined in the turnip juice samples contained whey. In all sample groups, a decrease in the number of lactic acid bacteria, total mesophilic aerobic bacteria and total mold-yeast in late days of the storage period were observed. Likewise, color parameters (L*, a* ve b*) of turnip juice contained whey were higher than those of the non-whey containing samples.

*Sorumlu Yazar: Kayseri Üniversitesi, Safiye Çıkrıkçıoğlu MYO Gıda İşleme Bölümü, Kayseri, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3842-6539, hcankurt@erciyes.edu.tr

Furthermore, in majority of samples, L*, a* ve b* values showed a decrease depending on the decreasing in salt level. In all samples, with the increase of BCJC and the decrease of salt, a significant increase in anthocyanins was noted. In sensorial analysis results, it was determined that the most desirable sample was the turnip juice that contained (10%) whey, (15%) BCJC, (5%) black carrot and (1,5%) salt. In conclusion, sensory property scores including general appearance, color, taste and flavor were decreased by increasing the BCJC content and lowering the salt amount in the production of turnip juice. However, it was possible to produce more nutritious and low salt containingturnip juicesby using BCJC and whey.

Keywords: Turnip Juice, Whey, Black Carrot Juice Concentrate, Lower Salt Content.

1. Giriş

Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından hazırlanmış olan ilgili ürün standardında (TS 11149) “Şalgam suyu; bulgur unu, ekşi hamur, içme suyu ve yemeklik tuzun karıştırılıp laktik asit fermentasyonuna tabi tutulduktan sonra elde edilen ekstraktın, rendelenmiş veya dilimlenmiş mor havuç (*Daucus carota L. spp. sativus*) ve aynı şekilde hazırlanmış şalgam (*Brassica rapa*) ilave edildikten sonra tekrar tekniğine uygun şekilde laktik asit fermentasyonuna tabi tutulması ve gerektiğinde acı veya tatlı toz biber ilavesi ile hazırlanan ve istendiğinde ısı işlem ile dayanıklı hale getirilen bir mamuldür” tanımlaması kullanılmıştır (TSE, 2003). Laktik asit fermentasyonu sonucu oluşan ve kırmızı renkli, ekşi lezzetli ve bulanık fermente bir içecek olan şalgam suyu, Mersin, Hatay, Kahramanmaraş ve Osmaniye illeri ve bu illere bağlı ilçelerde yaygın olarak tüketilmekle beraber, en yaygın tüketime sahip olan ilimiz Adana’dır (Deryaoğlu, 1990).Dünya Sağlık Örgütü (WHO) işlenmiş ve hazırlanmış tüm gıdaların sodyum miktarlarını azaltacak şekilde dünya çapında formülasyonların yeniden hazırlanması gerektiğini savunmaktadır. WHO verilerine göre dünya genelinde kronik hastalıklardan ölen kişi sayısının giderek arttığı ve ölümlerin %60’ını oluşturduğu belirlenmiş, bu ölümlerin %30’unun kardiyovasküler hastalıklar nedeniyle olduğu tespit edilmiştir. Diyetle alınan tuzun 10 gramdan 5 grama düşürülmesi ile inme riskini %23 ve kardiyovasküler hastalıkların riskini %17 azaltabilir ve buda her yıl yaklaşık 2.5 milyon ölenebilir ölüm anlamına gelmektedir (Anonim, 2006).

Tuz tüketiminin fazlalığının vermiş olduğu zararlardan bahsettikten sonra bu çalışmamıza konu olan peyniraltı suyundan ve faydalarından bahsetmek gerekecektir. Peyniraltı suyu (PAS), sütün asitle pıhtılaştırılması veya peynir mayası sonucunda oluşan sarımtırak-yeşilimsi renkte protein, laktoz gibi besinsel ve fonksiyonel önemli bileşenleri içeren süt sanayinin en önemli yan ürünüdür (Akyüz, 1979; Bingöl, 1982; Kurt ve Gülümser, 1988). PAS proteinleri (%6-%10), gıda ürünlerinde çoğunlukla yapı ve tekstürü geliştirmek için kullanılan yüksek besleyici değere sahip, besinsel ve fizyolojik fonksiyonları bakımından yaygın kullanımı mevcuttur. Yumurta, süt, kazein, kırmızı et, soya, mısır ve buğday proteinleri ile karşılaştırılması sonucunda, PAS proteinlerinin vücudun aminoasit ve enerji gereksinimini karşılamada oldukça etkili ve yeterli düzeyde olduğu bildirilmiştir (Anderson ve Moore, 2004; Hayaloğlu ve Özer, 2011). Çalışmamızın amacı hem tuz oranı yüksek olan şalgam suyunda tuz oranını düşürerek tuzun zararlarının önüne geçmek hem de şalgam suyu üretiminde peyniraltı suyu gibi besinsel yararlılığı yüksek bir sütçülük yan ürünü hem insan beslenmesinde değerlendirmek hem de şalgam üretim prosesine etkisini incelemektir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Şalgam suyu üretiminde kullanılan siyah havuç(*Brassica rapa*) Kayseri piyasasındaki yerel bir alışveriş merkezinden (Mimarsinan Pazarı) temin edilmiştir. Üretimde kullanılan tuz (kaya tuzu), maya (Dr. Oetker Ekşi Maya) ve bulgur unu (setik) yine Kayseri piyasasından temin edilmiştir. Denemede kullanılacak siyah havuç suyu konsantresi Erkon Konsantre San. ve TİC. A.Ş.’den (Konya) temin edilmiştir ve kullanılan Siyah Havuç Suyu Konsantresinin (SHSK) bazı özellikleri ise Tablo 2.1 de verilmiştir. Şalgam suyu üretiminde kullanılacak konsantre miktarının belirlenmesi amacıyla piyasada bulunan 2 farklı şalgam suyunun renkleri, Hunter Lab. D 25 (Konica Minolta CR-5, Tokyo, Japonya) renk farklılığı ölçme cihazı ile analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlara bağlı olarak üretimde %20 siyah havuç eş değeri renk vermesi için 1 L içme suyuna 14 gram siyah havuç suyu konsantresi kullanılması gerektiği hesaplanmıştır.

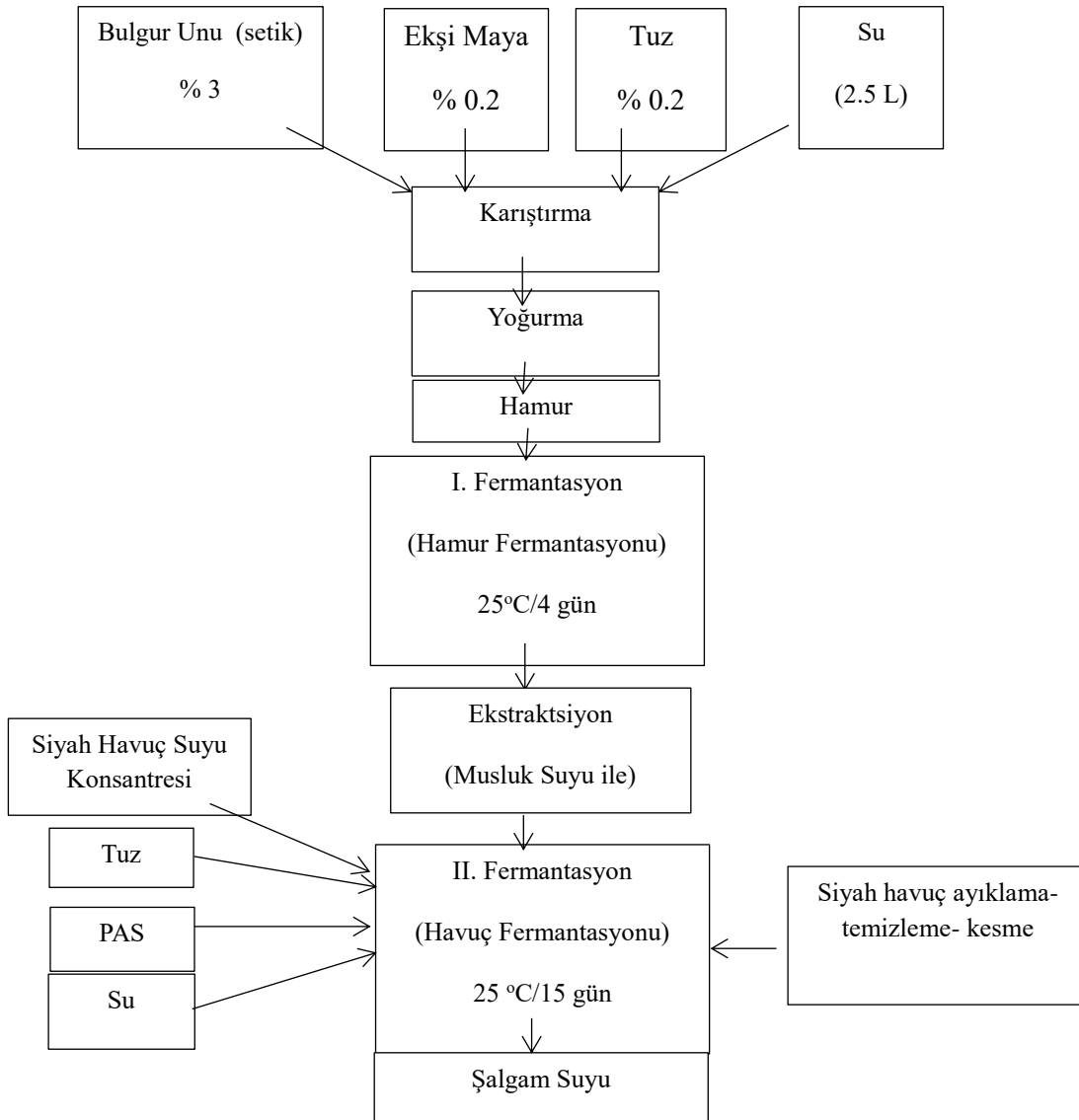
Tablo 2.1.Kullanılan Siyah Havuç Suyu Konsantresinin (SHSK) Bazı Özellikleri

SHSK Özellikleri	Değerler
Renk (525nm, %w/v pH 3.0)	4.46
Index (525nm/410nm)	3.64
IB (580nm/525nm)	0.179
IM (430nm/525nm)	0.355
Brix (20°C)	64.7
Asitlik (% sitrik asit, pH 8.1)	7.2
pH	3.62
Yoğunluk (w/v, 20°C)	1.317

IB: Violet Index IM: Brown Index

2.1.1 Şalgam Suyu Üretimi

Denemeler Erciyes Üniversitesi Safiye Çıkrıkçıoğlu MYO Gıda Teknolojisi Pilot Uygulama Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir. Şalgam suyu üretimi için siyah havuçlara öncelikle ayıklama ve boylama işlemi uygulanmıştır. Siyah havuç suyu konsantresi ve PAS (loru alınmış kaşar peyniraltı suyundan %10) kullanılarak şalgam suyu geleneksel yolla üretilmiştir. Şalgam suyu üretimi geleneksel yöntemle iki aşamada gerçekleştirilmiştir (Canbaş ve Deryaoğlu, 1993; Erten ve Tangüler, 2012). İlk aşamada şalgam üretimindeki son bileşim üzerinden hesaplanmak üzere %3 bulgur unu, %0.2 tuz ve %0.2 ekşitilmiş maya karışımı üzerine içilebilir nitelikte su ilave edilerek yoğrulmuş ve hamur kıvamına getirilmiştir. Daha sonra 25°C'de inkübatörde fermantasyona (I.fermantasyon) bırakılmıştır. Bu fermantasyon işlemi (hamur fermantasyonu) 4 gün süreyle yürütülmüş ve bu sürenin sonunda hamur, içme suyu ile 3 kez ekstrakte edilmiştir. I. fermantasyonda elde edilen ekstrakt, II. fermantasyonu (havuç fermantasyonu) gerçekleştirmek için 2.5 litrelik plastik şişelere aktarılmış ve Tablo 2.2'de belirtilen oranlarda siyah havuç, SHSK (%0, %10,%15, %20), tuz (%0.5, %1, %1.5) ve PAS (%10) ilave edilmiştir. Çalışmada 4x3x2 (n=24) deneme modeli ile üretilen şalgam suları 15 gün süreyle 25±2°C'de fermantasyona bırakılmıştır. Fermantasyon sona erdiğinde, şalgam suları analizler için laboratuvara alınmış ve belirtilen analizler depolamanın 1., 15. ve 30.gününde üç paralelli olarak gerçekleştirilmiştir. Şalgam üretiminde kullanılan siyah havuç oranı %20 olacak şekilde planlanmıştır. Bu nedenle formülasyonda örneğin %5 siyah havuç kullanıldıysa buna ek olarak %15 siyah havuca denk gelecek şekilde SHSK miktarı ayarlanmıştır. Şalgam suyu üretiminde, 1L su için 200 g siyah havuç eşdeğeri 14g siyah havuç suyu konsantresi kullanılabileceği önceden tespit edilmiştir. Burdan yola çıkarak örneğin 2.5 litrelik şalgam suyu üretmek için %0 siyah havuç içeren şişeye %20 siyah havuç eş değeri SHSK kullanılmasına karar verilmiştir. Buna göre şişeye 2.5x14g=35g SHSK eklenmiştir. Çalışmada 24 farklı deneme kurulmuştur (Tablo 2.2).



Şekil 2.1. Araştırmada kullanılan geleneksel yolla şalgam suyu üretimi

Tablo 2.2. Araştırmada üretilen şalgam suyu denemeleri

Deneme Kodu	%Tuz, %SHESHK ve %SH Oranları
K1	%0.5 NaCl + %20 SHESHK
K2	%1 NaCl + %20 SHESHK
K3	%1.5 NaCl + %20 SHESHK
K4	%0.5 NaCl + %15 SHESHK + %5 SH
K5	%1 NaCl + %15SHESHK + %5 SH
K6	%1.5 NaCl + %15SHESHK+ %5 SH
K7	%0.5 NaCl + %10 SHESHK+ %10 SH
K8	%1 NaCl + %10 SHESHK+ %10 SH
K9	%1.5 NaCl + %10 SHESHK+ %10 SH
K10	%0.5 NaCl + %20 SH
K11	%1 NaCl + %20 SH
K12	%1.5 NaCl + %20 SH
P1	%0.5 NaCl + %20 SHESHK +%10 PAS
P2	%1 NaCl + %20 SHESHK+%10 PAS
P3	%1.5 NaCl + %20 SHESHK+%10 PAS
P4	%0.5 NaCl + %15 SHESHK+ %5 SH +%10 PAS
P5	%1 NaCl + %15 SHESHK+ %5 SH +%10 PAS
P6	%1.5 NaCl + %15SHESHK+ %5 SH +%10 PAS
P7	%0.5 NaCl + %10SHESHK+ %10 SH +%10 PAS
P8	%1 NaCl + %10 SHESHK + %10 SH +%10 PAS
P9	%1.5 NaCl + %10 SHESHK+ %10 SH +%10 PAS
P10	%0.5 NaCl + %20 SH +%10 PAS
P11	%1 NaCl + %20 SH +%10 PAS
P12	%1.5 NaCl + %20 SH +%10 PAS

SH: Siyah Havuç, SHESHK:SiyaH Havuç Eşdeğer Siyah Havuç Suyu Konsantresi, PAS: Peyniraltı Suyu, K: Kontrol Grubu Şalgam Suları, P: Peyniraltı Suyu İçeren Şalgam Suları.

2.2 Metod

2.2.1. Fizikokimyasal Analizler

Şalgam suyunun pH değerleri (Şimşek, 2003) göre belirlenmiştir, kuru madde miktarı (İnal, 1973) göre belirlenmiştir Laktik asit cinsinden (g/L) toplam asitlik değeri (Anonim, 1990) göre belirlenmiştir. Şalgam suyu örneklerinin tuz miktarları ve Kül miktarı (Aktan vd., 1998) göre belirlenmiştir. Şalgam suyunun briks tayinleri örneklerin suda çözünmeyen kısımları süzgeç yardımı ile süzülerek ayrılmış ve örneklerin briks değerleri 20°C'de refraktometre (Pocket Refractometer, Tokyo, Japonya) ile tayin edilmiştir (Cemeroğlu, 2010).

2.2.2. Toplam Antosiyanin Miktarı Tayini

Toplam antosiyanin miktarının belirlenmesinde farklı pH diferansiyel metodu kullanılmıştır. Whatman No:4 filtre kağıdı ile süzülen örnekler pH:4.5 ve pH:1 tampon çözeltileri ile karıştırılarak spektrofotometrede (Cary 100 Conc, Varian, Australia) örneklerin en yüksek absorbans gösterdiği 520 nm ve 700 nm'de, 1 cm'lik küvetlerde absorbans değerleri saptanmış ve toplam antosiyanin miktarı siyanidin-3-glikozit cinsinden hesaplanmıştır (Wrolstad, 1976).

$$A=(A_{\text{vis-max-A700}} \text{ pH } 1.0 - (A_{\text{vis-max-A700}} \text{ pH } 4.5$$

A: Absorbans farkı

E: Molar absorbans

l : Absorbans ölçüm küvetinin tabaka kalınlığı, cm

MW: Molekül ağırlığı

Sf : Seyreltme faktörü

Toplam Antosiyanin Miktarı, mg/L = (A x MW x Sf x 1000)/(E x l)

2.2.3. Renk Değeri Ölçümü (L*, a*, b*)

Şalgam sularının renklerinin belirlenmesi için Chroma Meter CR (Konica Minolta CR-5, Tokyo, Japonya) renk tayin cihazı ve HunterLab modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Örneklerin renk değerleri Hunter Lab. D25 renk farklılığını ölçme cihazında 5 farklı ölçüm yapılarak analiz edilmiştir (Hunter, 1975).

2.2.4. Duyusal Analiz

Yapılan denemelerden elde edilen örneklerin duyusal değerlendirmesi hedonik skala yöntemi kullanılarak PAS ve kontrol örnekler için iki farklı oturumda 15 panelist (19-22 yaş aralığında) tarafından genel görünüş, renk, tat, koku ve genel beğeni yönünden 1'den 9'a kadar (1: çok kötü, 9: çok iyi) arasında puan verilerek değerlendirilmiştir.

2.2.5. İstatiksel Analiz

Çalışmada yer alan örneklerin fiziksel, kimyasal ve duyusal özelliklerine ait veriler, JMP PRO paket programı (SPSS Inc, USA) kullanılarak, tek yönlü varyans analizi (One way- ANOVA) ile değerlendirilmiştir. Araştırmada, 2 farklı şalgam suyu içeriği (kontrol grubu ve PAS grubu), 3 farklı tuz içeriği (%0.5, %1, %1.5) ve 4 farklı SHSK (%0, %10, %15, %20 siyah havuç eş değeri) seviyesi ve 3 tekerrür olmak üzere 2x3x4x3 (n=72) faktöriyel deneme deseni/modeli kullanılmıştır. Ayrıca araştırmada 3 farklı depolama süresi (1, 15, 30.gün) dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel analizler deneysel olarak üretilen şalgam sularında kontrol örneklerinde ve PAS örneklerinde ayrı ayrı yapılmıştır. Analizler sonucu önemli çıkan ortalamalar arası farklılıklar, Tukey çoklu karşılaştırma testi ile p<0.05 önem düzeyinde tespit edilmiştir (Abdi ve Williams, 2010).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Şalgam Suyunun Bazı Fizikokimyasal Özellikleri

Depolama sonucunda şalgam suyu örneklerinin toplam asitlik değerleri, Tablo 3.1.'de görüldüğü gibi 1. gün sonunda 5.98-10.80 g/L arasında değişmiştir. Depolamanın 30. gününde ise titre edilebilir asitlik miktarları, laktik asit cinsinden, peyniraltı suyu ile üretilen örneklerde 10.35-12.71 g/L, kontrol gurubu örneklerde ise 6.73-7.86 g/L aralığında tespit edilmiştir. Depolama sonunda en yüksek asitlik değerine P10, en düşük asitlik değerine ise K4 örneği sahip olmuştur.

Tablo 3.1. Şalgam Suyu Örneklerinde Depolama Süresince Belirlenen Toplam Asit Değerleri (g laktik asit/L)

Örnekler	Depolama Süresi		
	1.gün	15.gün	30.gün
K1	6.67±0.02 ^{Ac}	7.28±0.03 ^{BCb}	7.43±0.01 ^{Ba}
K2	6.92±0.02 ^{Aa}	7.54±0.04 ^{Aa}	7.43±0.03 ^{Ba}
K3	6.78±0.03 ^{Ab}	7.06±0.05 ^{Da}	7.08±0.01 ^{Ca}
K4	5.98±0.02 ^{Ac}	6.65±0.03 ^{FGb}	6.73±0.02 ^{Ea}
K5	6.22±0.02 ^{Ac}	7.14±0.04 ^{CDb}	7.02±0.02 ^{Ca}
K6	6.41±0.01 ^{Ab}	6.51±0.04 ^{Gb}	6.86±0.03 ^{Da}
K7	6.81±0.02 ^{Ac}	6.73±0.04 ^{EFGb}	7.03±0.05 ^{Ca}
K8	6.86±0.01 ^{Ac}	6.66±0.05 ^{EFGb}	7.14±0.05 ^{Ca}
K9	6.48±0.02 ^{Ab}	6.86±0.04 ^{Ea}	6.80±0.06 ^{DEa}
K10	7.01±0.01 ^{Ac}	7.36±0.05 ^{ABb}	7.86±0.05 ^{Aa}
K11	6.52±0.03 ^{Ac}	7.06±0.05 ^{Db}	7.41±0.05 ^{Ba}
K12	6.61±0.01 ^{Ab}	6.83±0.11 ^{EFb}	7.35±0.05 ^{Ba}
P1	9.41±0.04 ^{Bc}	11.99±0.04 ^{Ab}	12.50±0.05 ^{ABa}
P2	8.44±0.05 ^{CDc}	11.00±0.04 ^{Bb}	12.06±0.03 ^{BCa}
P3	7.64±0.04 ^{Ec}	9.50±0.02 ^{Fb}	11.55±0.05 ^{CDa}
P4	9.23±.55 ^{Bb}	10.73±0.02 ^{Cab}	11.49±0.01 ^{Da}
P5	8.70±0.01 ^{BCc}	10.48±0.08 ^{DEb}	11.71±0.03 ^{CDa}
P6	7.66±0.02 ^{DEc}	9.59±0.01 ^{Fb}	10.35±0.05 ^{Ga}
P7	9.02±0.07 ^{BCb}	10.66±0.15 ^{Ca}	10.93±0.01 ^{Fa}
P8	9.36±0.03 ^{Bc}	10.32±0.05 ^{Eb}	11.18±0.03 ^{DEFa}
P9	9.14±0.01 ^{BCc}	9.68±0.03 ^{Fb}	10.94±0.03 ^{EFa}
P10	10.80±0.01 ^{Ac}	10.77±0.03 ^{Cb}	12.71±0.02 ^{Aa}
P11	10.68±0.01 ^{Ab}	11.03±0.03 ^{Bb}	12.31±0.04 ^{ABa}
P12	10.45±0.01 ^{Ac}	10.76±0.03 ^{Cb}	11.46±0.05 ^{DEa}

K: Kontrol Grubu Şalgam Suları, P: Peyniraltı Suyu İçeren Şalgam Suları.

TSE 11149 sayılı şalgam suyu standardına göre, toplam asitlik değeri, laktik asit cinsinden en az 6.00 g/L olmalıdır (TSE, 2003). Çalışmalar sonucu elde edilen veriler kontrol örneklerde belirlenen toplam asit miktarı, TSE tarafından belirtilen limit ve değerlere uyumluluk göstermektedir. Canbaş ve Fenercioğlu (1984), yaptıkları bir çalışmada toplam asit miktarının 3.51-9.63 g/L arasında

değiştirdiğini, Arıcı (2004) 14 farklı şalgam suyu üzerinde yaptığı bir çalışmada, toplam asitlik miktarının laktik asit cinsinden 7.18-10.6 g/L aralığında olduğunu belirtmiştir. Güneş (2008), %10, 12.5, 15.0, 17.5 ve 20.0 oranında siyah havuç ilave edilerek üretilmiş olduğu örneklerde toplam asitliğin sırasıyla, 4.95 g/L, 5.46 g/L, 6.05 g/L, 6.74 g/L ve 7.5 g/L olduğunu bulmuştur. Belirtilen araştırma sonuçlarına bakıldığında bizim çalışmamızda bulduğumuz asitlik değerlerinin siyah havuç oranına bağlı olarak arttığı sonucu, bu araştırmacı tarafından yapılan çalışmada da ortaya konulmuştur. Cankurt vd. (2010) peyniraltı suyu kullanılarak fermantasyon süresinin kısaltılması üzerine yaptıkları çalışmalarında, toplam asitliği kontrol örneğinde 5.9 g/L ve PAS ile ürettikleri şalgam suyu örneğinde 18.0 g/L olarak belirlemişlerdir. Araştırmamızda PAS ile üretilen örneklerin toplam asitlik değerleri, PAS kullanılarak daha önce yapılmış tek çalışma olan Cankurt vd. (2010) tarafından belirtilen değerlerden daha düşük tespit edilmiştir. Bunun nedeninin ise kullanılan PAS’da bulunan laktozun asitliği arttırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüksel (2010) geleneksel yolla ve % 2’ lik tuz konsantrasyonunda üretilen şalgam sularında titrasyon asitliği değerini fermantasyonun 0. gününde 1.12 g/L, 5. gününde 4.53 g/L bulmuştur. % 4’ lük tuz konsantrasyonunda üretilen şalgam sularında titrasyon asitliği değerini fermantasyonun 0. gününde 1.30 g/L, 5. günde 4.36 g/L olarak bulmuştur. Sonuçta, tuz konsantrasyonu arttıkça toplam asitlik değerlerinde de oransal olarak azalmaların meydana geldiği rapor edilmiştir. Ayrıca yapılan çalışmada titrasyon asitliğinin fermantasyon süresiyle doğru orantılı olarak artış gösterdiği bildirilmiştir. Araştırmamızda üretilen şalgam suları ile elde edilen sonuçlar, bu araştırmacının sonuçları ile kıyaslandığında, tuz konsantrasyonu ve depolama süresine bağlı olarak belirlenen asitlik sonuçlarının birbirine benzer olduğu görülmektedir (Tablo 3.1). Çalışmada depolamanın 1.gün analizlerinde örneklerin pH değerleri, 3.49-3.96 arasında değişmiş ve fermantasyon süresine paralel olarak bazı örneklerin pH değerleri kısmi bir düşüş göstermiştir. En yüksek pH değerine depolamanın 1. gününde K4 örneği (pH 3.96) sahip olurken; en düşük pH değerine ise depolamanın 15. gününde 3.30 pH değeri ile P2 örneğisahip olmuştur. Genel olarak PAS ile üretilen örneklerin tümünün pH değerlerinin kontrol grubu şalgam sularına göre daha düşük olduğu saptanmıştır (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Şalgam Suyu Örneklerinde Depolama Süresince Ölçülen pH Değerleri

Örnekler	Depolama Süresi		
	1.gün	15.gün	30.gün
K1	3.80±0.02 ^{Eb}	3.74±0.02 ^{Bc}	3.86±0.02 ^{Ea}
K2	3.74±0.01 ^{Ea}	3.66±0.02 ^{DEb}	3.76±0.01 ^{Fa}
K3	3.69±0.01 ^{CDa}	3.62±0.02 ^{Fb}	3.68±0.01 ^{Ga}
K4	3.96±0.01 ^{BCDa}	3.93±0.01 ^{Aab}	3.91±0.01 ^{Ab}
K5	3.91±0.02 ^{Da}	3.83±0.01 ^{CDb}	3.80±0.01 ^{Cb}
K6	3.87±0.01 ^{CDa}	3.84±0.02 ^{CDa}	3.80±0.03 ^{Cb}
K7	3.92±0.01 ^{BCDa}	3.88±0.01 ^{ABab}	3.88±0.03 ^{Bb}
K8	3.94±0.01 ^{ABCDa}	3.79±0.00 ^{BCb}	3.81±0.02 ^{Db}
K9	3.88±0.01 ^{ABCa}	3.76±0.01 ^{DEb}	3.75±0.00 ^{Db}
K10	3.95±0.01 ^{ABa}	3.93±0.01 ^{Ba}	3.86±0.01 ^{Ab}
K11	3.93±0.01 ^{ABCDa}	3.83±0.01 ^{CDa}	3.79±0.02 ^{Cb}
K12	3.94±0.01 ^{Aa}	3.77±0.02 ^{Eb}	3.74±0.01 ^{DEb}
P1	3.61±0.01 ^{Aab}	3.31±0.02 ^{ABCb}	3.40±0.01 ^{Dc}
P2	3.58±0.01 ^{ABa}	3.30±0.01 ^{Db}	3.33±0.01 ^{Eb}
P3	3.57±0.02 ^{ABa}	3.37±0.01 ^{Db}	3.32±0.02 ^{Fb}
P4	3.57±0.01 ^{ABa}	3.39±0.02 ^{Db}	3.45±0.02 ^{Ac}
P5	3.55±0.02 ^{BCDa}	3.37±0.02 ^{Db}	3.32±0.01 ^{ABb}
P6	3.56±0.02 ^{ABa}	3.37±0.02 ^{BCb}	3.39±0.01 ^{Cb}
P7	3.57±0.01 ^{BCa}	3.40±0.01 ^{ABb}	3.42±0.01 ^{Ab}
P8	3.52±0.01 ^{CDEa}	3.41±0.02 ^{ABCb}	3.40±0.02 ^{Ab}
P9	3.50±0.02 ^{DEab}	3.42±0.02 ^{CDb}	3.37±0.02 ^{BCb}
P10	3.53±0.02 ^{BCDa}	3.42±0.02 ^{ABCb}	3.40±0.00 ^{Ab}
P11	3.51±0.01 ^{DEa}	3.41±0.01 ^{ABCb}	3.39±0.02 ^{Ab}
P12	3.49±0.01 ^{Ea}	3.45±0.00 ^{ACab}	3.41±0.02 ^{Ab}

Bunun nedeni ise PAS içerisinde bulunan laktozun toplam asitliği arttırması, buna bağlı olarak da pH değerlerinin azalmasıdır. Farklı siyah havuç miktarlarının şalgam suyunun bileşimine ve duyuşsal özellikleri üzerine etkisini araştırmak amacıyla yapılan bir çalışmada %10, %15, %20 havuç oranına sahip örneklerin pH değerleri sırasıyla 3.58, 3.63, 3.69 olarak saptanmıştır (Bayram vd., 2014). Yüksel (2010) geleneksel yolla üretilen şalgam sularında %2’ lik ve %4’ lük tuz konsantrasyonlarında başlangıç pH değerleri sırasıyla 3.91 ve 3.95 olarak belirlemiştir. Fermantasyonun sonunda ise bu değerler sırasıyla 3.50 ve 3.39’ a düşmüştür. Çalışmamızda örneklerin kendi aralarında pH değerleri incelendiğinde yüksek tuz konsantrasyonuna sahip örneklerin pH değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Bizim çalışmamızda bu sonucu doğrular niteliktedir. Cankurt vd. (2010)’ın yaptığı bir çalışmada üretilen şalgam sularında PAS içeren grubun pH değerinin 3.70, kontrol grubu şalgam suyu örneklerinin pH değerinin ise 3.68

olduğunu bildirmişlerdir. Bizim çalışma sonuçlarımız incelendiğinde kontrol grubu örnekleri ile yakın sonuçlar elde edilmiştir ancak PAS kullanılarak üretilen şalgam suyu örneklerinde tespit edilen değerlerin altında sonuçlar elde edilmiştir. PAS içeren şalgam sularının pH değerinin Cankurt vd. (2010)'nın yaptıkları çalışmadan daha düşük çıkmasının nedeni şalgam suyu üretiminde kullanılan PAS ve tuz oranı ile fermantasyon süresinin uzunluğu veya şalgam suyu üretiminde kullanılan maddelerin mikrobiyolojik kalitesi gibi faktörlerin asitlik derecesi üzerindeki etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Canbaş ve Fenercioğlu (1984) Adana piyasasında bulunan şalgam sularının bileşimlerini belirlemek amacıyla yaptıkları bir çalışmada pH değerlerini 3.35-3.85 arasında tespit etmiştir. Arıcı (2004) ise 14 farklı şalgam suyu üzerinde yaptığı bir çalışmada pH değerlerini, 3.16-3.60 arasında belirlemiştir. Utuş (2008) yapmış olduğu bir çalışmada fermantasyon sonunda şalgam suyu örneklerindeki pH değerlerini 3.45-3.53, Güneş (2008), 3.39-3.49; Öztürk (2009), 3.26-3.86; Tangüler (2010), 3.43-3.56; Çakır (2011), 3.31-4.13 ve Ağırman (2014), 3.26-3.48 arasında bulmuştur. Araştırmamızda farklı örnek gruplarına ait belirlenen pH değerlerinin, önceden yürütülen şalgam suyu ile ilgili çalışmalara ait sonuçlarla uyumluluk gösterdiği anlaşılmaktadır.

Araştırmamızda örneklerin toplam kuru madde miktarlarının, üretimde kullanılan siyah havuç miktarı, tuz ve peyniraltı suyu oranına bağlı olarak 16.48-30.09 g/L aralığında bir değişim gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 3.3). Çalışmamızda şalgam suyu üretiminde kullanılan siyah havuç özelliklerinin farklı olması ve fermantasyon sonrasında şalgam sularında uygulanan süzme işlemi sonucunda, şişelerde kalan kalıntılar (tortu ve maya vb.) nedeniyle standart sapmalarda farklılıklar belirlenmiştir. Ancak bu farklılığın depolama süresince toplam kuru madde üzerine etkisi önemsiz ($p>0.05$) bulunmuştur. Şalgam suyu üzerine yapılan diğer çalışmalarda ise toplam kuru madde miktarı 8.31-33.9 g/L aralığında değişim göstermiştir (Özler 1995; Canbaş ve Fenercioğlu, 1984; Deryaoğlu, 1990; Yener, 1997; Miişoğlu, 2004; Nesanır, 2004; Deryaoğlu, 2005; Güneş, 2008; Utuş, 2008; Erten vd., 2008, Tangüler, 2010; Ağırman, 2014). Bizim çalışmamızda belirlenen toplam kuru madde miktarlarının, önceki çalışmalarda tespit edilen değerlerle benzer bir aralıkta olduğu bulunmuştur. Diğer taraftan daha önce yapılan çalışmalarda belirlenen kuru madde miktarı değerlerinin, daha geniş bir aralıkta olduğu görülmektedir. Bunun nedeni; muhtemelen şalgam suyu üretiminde kullanılan formülasyonların farklı olmasıdır.

Tablo 3.3. Şalgam Suyu Örneklerinde Depolama Süresince Ölçülen Toplam Kuru Madde Miktarları (g/L)

Örnekler	Depolama Süresi		
	1.gün	15.gün	30.gün
K1	17.30±0.12 ^{Ha}	17.14±0.26 ^{Fa}	17.47±0.19 ^{Fa}
K2	21.08±0.07 ^{Fb}	21.55±0.22 ^{Da}	21.18±0.18 ^{Eb}
K3	25.95±0.10 ^{Ba}	25.44±0.24 ^{Bab}	25.32±0.19 ^{Bb}
K4	16.48±0.11 ^{Ja}	15.99±0.21 ^{Hb}	16.25±0.23 ^{Hab}
K5	20.05±0.11 ^{Gb}	20.64±0.23 ^{Ea}	20.45±0.21 ^{Eab}
K6	24.18±0.08 ^{Db}	24.84±0.08 ^{Ca}	24.30±0.17 ^{Cb}
K7	17.05±0.10 ^{Kb}	17.56±0.04 ^{Ga}	17.19±0.17 ^{GHab}
K8	21.57±0.12 ^{Ea}	21.35±0.15 ^{DEa}	21.82±0.15 ^{Da}
K9	26.90±0.05 ^{Aa}	26.57±0.20 ^{Aab}	26.37±0.83 ^{Ab}
K10	16.87±0.07 ^{Aa}	16.28±0.08 ^{GHb}	16.98±0.24 ^{Ga}
K11	21.46±0.16 ^{EFa}	21.17±0.17 ^{DEa}	21.69±0.30 ^{Da}
K12	25.27±0.06 ^{Bb}	25.07±0.17 ^{BCb}	25.74±0.23 ^{Aa}
P1	21.87±0.30 ^{Ga}	21.22±0.30 ^{Ga}	21.30±0.15 ^{Ha}
P2	26.15±0.15 ^{Ea}	25.06±0.36 ^{DEab}	25.49±0.19 ^{Ea}
P3	28.01±0.22 ^{Aa}	28.14±0.25 ^{Ab}	28.33±0.08 ^{Ab}
P4	20.64±0.24 ^{GHa}	19.86±0.09 ^{Hb}	19.99±0.22 ^{Hb}
P5	24.71±0.40 ^{Fa}	23.76±0.22 ^{Fb}	23.86±0.13 ^{Gab}
P6	28.33±0.20 ^{Da}	28.44±0.20 ^{Ca}	28.44±0.23 ^{Da}
P7	19.96±0.11 ^{Ha}	19.55±0.20 ^{Hb}	19.87±0.11 ^{Bab}
P8	24.75±0.10 ^{Fa}	24.39±0.35 ^{EFb}	24.54±0.18 ^{Fab}
P9	30.09±0.21 ^{Ba}	29.77±0.25 ^{ABa}	29.65±0.18 ^{Ba}
P10	21.26±0.05 ^{GHa}	21.21±0.21 ^{Ga}	20.86±0.13 ^{Ha}
P11	25.71±0.09 ^{Ea}	25.32±0.20 ^{Da}	25.42±0.22 ^{Ea}
P12	29.26±0.24 ^{Ca}	29.64±0.33 ^{Ba}	29.04±0.21 ^{Ca}

Şalgam sularına ait tuz değerleri depolama boyunca çok az dalgalı seyir izlemiştir. Örnekler arasında ve aynı örneklerin farklı depolama süreleri sonundaki tuz miktarları arasında önemli ($p>0.05$) farklılık belirlenmemiştir. TSE 11149 sayılı şalgam suyu

standardına göre şalgam suyunun tuz miktarı %2' den (m/m) düşük olmalıdır. Araştırmamız kapsamında üretmiş olduğumuz tüm şalgam sularının tuz miktarlarının bu standartta belirtilen limit ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.4. Şalgam Suyu Örneklerinde Depolama Süresince Ölçülen Tuz Miktarları (g/100 ml)*

Örnekler	Depolama Süresi		
	1.gün	15.gün	30.gün
K1	0.53±0.01 ^{Eb}	0.54±0.01 ^{Fb}	0.57±0.01 ^{Ca}
K2	1.06±0.06 ^{Cb}	1.07±0.04 ^{Eb}	1.17±0.02 ^{Ba}
K3	1.52±0.02 ^{Aa}	1.52±0.01 ^{Ca}	1.54±0.04 ^{Aa}
K4	0.55±0.01 ^{DEa}	0.54±0.02 ^{Fa}	0.56±0.01 ^{Ca}
K5	1.07±0.03 ^{Cb}	1.09±0.01 ^{Eb}	1.17±0.02 ^{Ba}
K6	1.54±0.02 ^{Aa}	1.54±0.01 ^{BCa}	1.57±0.02 ^{Aa}
K7	0.56±0.01 ^{DEa}	0.58±0.04 ^{Fa}	0.59±0.00 ^{Ca}
K8	1.09±0.06 ^{Ca}	1.12±0.05 ^{DEa}	1.14±0.05 ^{Ba}
K9	1.54±0.02 ^{Aa}	1.50±0.02 ^{Ab}	1.56±0.02 ^{Aa}
K10	0.59±0.01 ^{Da}	0.57±0.02 ^{Fa}	0.57±0.02 ^{Ca}
K11	1.16±0.03 ^{Ba}	1.15±0.04 ^{Da}	1.15±0.09 ^{Ba}
K12	1.57±0.02 ^{Aa}	1.61±0.03 ^{Aa}	1.55±0.02 ^{Aa}
P1	0.56±0.02 ^{Da}	0.56±0.01 ^{Da}	0.56±0.01 ^{Ca}
P2	1.14±0.06 ^{Ba}	1.09±0.04 ^{Ca}	1.14±0.14 ^{Ba}
P3	1.58±0.04 ^{Aa}	1.57±0.02 ^{Aa}	1.56±0.02 ^{Aa}
P4	0.59±0.06 ^{Da}	0.57±0.03 ^{Da}	0.58±0.01 ^{Ca}
P5	1.05±0.05 ^{Cb}	1.19±0.04 ^{BCa}	1.11±0.03 ^{Bab}
P6	1.59±0.04 ^{Aa}	1.58±0.01 ^{Aa}	1.55±0.01 ^{Aa}
P7	0.58±0.01 ^{Da}	0.59±0.04 ^{Da}	0.60±0.03 ^{Ca}
P8	1.13±0.03 ^{BCa}	1.24±0.28 ^{Ba}	1.14±0.02 ^{Ba}
P9	1.63±0.04 ^{Aa}	1.58±0.02 ^{Aa}	1.58±0.02 ^{Aa}
P10	0.57±0.03 ^{Da}	0.59±0.04 ^{Da}	0.60±0.01 ^{Ca}
P11	1.20±0.08 ^{Ba}	1.17±0.04 ^{BCa}	1.10±0.06 ^{Ba}
P12	1.58±0.04 ^{Aa}	1.59±0.00 ^{Aa}	1.60±0.03 ^{Aa}

Tablo 3.5'de şalgam suyu örneklerinin depolama boyunca ölçülen L* değerleri yer almaktadır. En yüksek L* değeri 26.10 ile P2 örneğinde görülürken, en düşük L* değeri ise 5.42 ile K9 örneğinde belirlenmiştir. Siyah havuç oranı arttıkça L* değerinde genel olarak bir düşüş (p>0.05) belirlenmiştir. Örneklerde L* değeri 1.güne göre 30. günde depolama süresine bağlı olarak azalma meydana gelmiştir. PAS içeren örneklerde, PAS'ın içerdiği proteinlerin antosiyaninleri bağlaması ve aynı zamanda laktozun kendine has beyazımsı renginden kaynaklı L* değerlerinin kontrol örneklerine göre daha yüksek olduğu değerlendirilmektedir. Şalgam sularına ait analiz bulgularına bakıldığında örneklerdeki siyah havuç miktarı arttıkça L* değerinin de azaldığı tespit edilmiştir. Güneş (2008) şalgam suyu üretiminde en uygun siyah havuç (*Daucus carota*) miktarının belirlenmesi üzerine yaptığı çalışmada %10, %12.5, %15, %17.5, %20 siyah havuç oranlarına sahip 5 farklı şalgam suyunda L* değerini; en yüksek 10.73 ile %10 oranında siyah havuç içeren şalgam suyu örneğinde, en düşük L* değeri 5.03 ile %20 oranında siyah havuç içeren şalgam suyu örneğinde bulmuştur. Aynı şekilde Bayram vd. (2014) farklı oranlarda (%10, %15, %20) siyah havuç ilave ederek ürettikleri şalgam suyu örneklerinin L* değerlerini sırasıyla 12.68, 9.86, 6.32 olarak belirlemişlerdir. Cankurt vd. (2010) PAS kullanarak ürettikleri şalgam suyunda kontrol örnekte L* değerini 8.67, PAS içeren şalgam suyunda ise 10.22 olarak belirlemiştir. Çalışma sonucunda PAS'ın renkte önemli derecede açılmaya sebebiyet vermediğini belirtmiştir. Ağırman (2014) ise L* değerini şalgam suyu örnekleri için 18.75 ile 20.94 aralığında tespit etmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen L* değerleri Utuş (2008) ve Ağırman (2014) tarafından bildirilen L* değerlerine benzer sonuçlar içerirken, Güneş (2008) tarafından bildirilen değerlerden yüksek bulunmuştur. Bu çalışmada elde edilenlerle literatürde yer alan sonuçlar arasındaki farklılıklara neden olabilecek birçok etken sayılabilir. Bu etkenler arasında; şalgam suyu formülasyonu, kullanılan SHSK, PAS ve tuz konsantrasyonu, kullanılan hammaddenin ve depolama şartlarının farklı olması sayılabilir.

Tablo 3.5. Şalgam Suyu Örneklerinde Depolama Süresince Ölçülen L* Değerleri

Örnekler	Depolama Süresi		
	1.gün	15.gün	30.gün
K1	15.91±0.50 ^{Aa}	11.72±0.73 ^{Ab}	10.47±0.57 ^{Ab}
K2	12.78±0.70 ^{Ba}	10.18±0.78 ^{ABb}	9.09±0.89 ^{ABb}
K3	9.96±0.97 ^{CDa}	8.05±0.37 ^{BCDab}	5.86±0.58 ^{CDEb}
K4	13.09±0.35 ^{Ba}	9.53±0.32 ^{BCb}	8.38±1.03 ^{BCc}
K5	10.29±0.04 ^{Ca}	6.33±0.50 ^{DEFb}	4.80±0.78 ^{DEFb}
K6	9.56±0.56 ^{CDEa}	7.80±0.34 ^{CDEab}	6.74±0.52 ^{CDb}
K7	9.40±0.11 ^{CDa}	6.03±0.83 ^{FGHb}	5.03±0.89 ^{DEb}

K8	8.85±0.36 ^{DEa}	7.65±0.59 ^{DEFab}	5.99±0.49 ^{DEb}
K9	5.42±0.61 ^{Fa}	5.01±0.43 ^{GHab}	4.59±0.36 ^{FGb}
K10	5.75±0.57 ^{Fa}	3.94±0.65 ^{Hab}	3.16±0.46 ^{Gb}
K11	7.88±0.19 ^{Ea}	5.97±0.45 ^{FGHb}	4.66±0.75 ^{EFGe}
K12	8.21±0.76 ^{DEa}	6.44±0.48 ^{EFGb}	5.47±0.85 ^{DEFb}
P1	25.34±0.70 ^{Aa}	21.46±0.70 ^{Ab}	14.91±0.37 ^{Ac}
P2	26.10±0.77 ^{Aa}	21.67±0.42 ^{Ab}	9.79±0.59 ^{CDc}
P3	25.36±0.20 ^{Aa}	21.85±0.52 ^{Ab}	9.30±0.49 ^{CDEc}
P4	16.63±1.02 ^{Da}	13.48±0.94 ^{DEb}	6.59±0.19 ^{Fc}
P5	20.57±0.33 ^{Ba}	17.31±0.57 ^{Bb}	10.99±0.87 ^{BCc}
P6	18.83±0.54 ^{BCa}	15.13±0.28 ^{Cb}	8.91±0.69 ^{DEFec}
P7	16.57±0.35 ^{CDa}	12.90±0.52 ^{Eb}	7.18±0.93 ^{DEFc}
P8	18.46±0.43 ^{BCa}	15.69±0.69 ^{BCb}	9.16±0.73 ^{CDEc}
P9	17.99±0.14 ^{CDa}	14.91±0.51 ^{CDb}	11.51±1.02 ^{Bc}
P10	15.40±0.39 ^{Da}	12.18±0.41 ^{EFb}	4.82±0.45 ^{Gc}
P11	16.75±1.27 ^{Da}	9.54±0.64 ^{Gb}	9.05±0.36 ^{CDEc}
P12	17.88±0.50 ^{CDa}	10.81±0.08 ^{FGb}	7.04±0.88 ^{EFb}

Çalışmada ilk gün en yüksek a* değeri 53.30 ile P1 örneğinde, en düşük değer ise 2.99 ile K11 örneğinde bulunmuştur. Tüm örneklerde a* değeri depolama ile düşüş göstermiştir. Bu düşüş istatistikî açıdan önemli (p<0.05) bulunmuştur. Utuş (2008) yapmış olduğu bir araştırma kapsamında üretmiş oldukları şalgam sularının a* değerini 52.01 ile 56.47 arasında bulmuşlardır. Güneş (2008) ise şalgam sularında a* değerini 32.23-35.71 arasında gözlemlemiştir. Ağırman (2014) şalgam suyu üzerine yaptığı çalışmada a* değerlerini 52.01 ile 56.47, Bayram vd. (2014) 36.35-40.01 arasında bulmuştur. Çalışmamızdaki a* değeri yapılan çalışmalarla farklılıklar göstermektedir. Bunun nedeni ise; kullanılan hammadde farklılığı ayrıca PAS, tuz ve SHSK içermesinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 3.6. Şalgam Suyu Örneklerinde Depolama Süresince Ölçülen b* Değerleri

Örnekler	Depolama Süresi		
	1.gün	15.gün	30.gün
K1	26.24±0.70 ^{Aa}	12.90±0.62 ^{Bb}	13.48±0.90 ^{Ab}
K2	15.54±0.82 ^{Ba}	10.46±0.88 ^{Ba}	13.78±0.16 ^{Ab}
K3	15.18±0.82 ^{Ba}	14.87±1.06 ^{Ab}	12.10±0.73 ^{Ab}
K4	3.19±0.21 ^{Ca}	2.87±0.53 ^{CDa}	2.56±0.58 ^{Ba}
K5	2.55±0.46 ^{Ca}	2.82±0.66 ^{CDa}	2.42±0.66 ^{BCa}
K6	2.61±0.50 ^{Ca}	3.54±0.50 ^{Cab}	1.92±0.53 ^{BCb}
K7	2.36±0.52 ^{Ca}	2.39±0.46 ^{CDa}	1.85±0.76 ^{BCa}
K8	2.58±0.52 ^{Ca}	1.81±0.49 ^{CDa}	1.73±0.73 ^{BCa}
K9	1.98±0.44 ^{Ca}	1.80±0.56 ^{CDa}	1.37±0.44 ^{BCa}
K10	1.40±0.50 ^{Ca}	1.41±0.49 ^{CDa}	1.24±0.41 ^{BCa}
K11	1.06±0.27 ^{Ca}	1.32±0.30 ^{Da}	0.80±0.09 ^{Ca}
K12	2.14±0.27 ^{Ca}	1.21±0.41 ^{Da}	1.20±0.42 ^{Ca}
P1	40.22±1.06 ^{Aa}	36.34±1.05 ^{Ab}	24.92±0.51 ^{Ac}
P2	40.69±0.86 ^{Aa}	37.48±1.58 ^{Ab}	16.11±0.15 ^{Cc}
P3	40.89±0.69 ^{Aa}	37.01±0.42 ^{Ab}	15.68±0.58 ^{Cc}
P4	26.53±1.96 ^{DEFa}	23.51±1.45 ^{DEb}	11.24±0.77 ^{Ec}
P5	33.07±0.52 ^{Ba}	30.52±1.03 ^{Bb}	17.58±1.10 ^{Cc}
P6	29.36±0.84 ^{BCDa}	25.55±1.22 ^{CDb}	15.26±0.36 ^{CDc}
P7	25.79±0.57 ^{EFGa}	21.78±1.26 ^{Eb}	12.95±0.23 ^{DEc}
P8	29.40±0.87 ^{CDEa}	26.47±0.88 ^{BCDb}	15.74±0.76 ^{Cc}
P9	31.31±1.04 ^{BCa}	28.36±1.02 ^{BCb}	20.51±1.11 ^{Bc}
P10	24.06±0.52 ^{FGa}	21.06±1.77 ^{EFb}	7.31±0.83 ^{Fc}
P11	23.24±1.04 ^{Ga}	16.88±0.80 ^{Gb}	17.45±1.17 ^{Cc}
P12	24.32±0.99 ^{FGa}	18.93±0.81 ^{FGb}	12.31±1.03 ^{DEb}

Şalgam suyu örneklerinin b* değerleri Tablo 3.6' da yer almakta olup, en yüksek 40.89 ile P3 kodlu örnekte en düşük ise 1.06 ile K11kodlu örnekte bulunmuştur. Utuş (2008) yapmış olduğu bir araştırma kapsamında üretmiş olduğu şalgam sularının b* değerini 35.79 ile 42.33 arasında bulmuştur. Güneş (2008) şalgam sularında b* değerini 8.66-15.40 arasında gözlemlemiştir. Ağırman (2014) şalgam suyu üzerine yaptığı çalışmada b* değerlerini 32.06 ile 35.84, Bayram vd. (2014) 9.39-13.42 arasında bulmuştur. b* değerinin

pozitif olması rengin sarı, negatif olması ise mavi rengin bulunduğunu ifade etmektedir. Yapılan bu çalışmada tüm örneklerde b* değerinin pozitif bulunmasından dolayı kırmızılığın içinde sarı rengin de bulunduğu söylenebilir. Ancak bizim çalışmamızda PAS'lı örneklerde b* değerlerinin daha yüksek olması PAS içeren örneklerin bundan dolayı daha sarımsı olduğunu ispatlamaktadır.

3.2. Toplam Antosiyanin Miktarı

Yapılan çalışmada şalgam sularında toplam antosiyanin miktarı siyanidin-3-glikozit cinsinden belirlenmiştir (Tablo 3.7). Toplam antosiyanin miktarı ilk gün, 40.61-157.68 mg/L aralığında belirlenmiştir. En yüksek değer K10 kodlu örneğinde belirlenmiş olup örneklerdeki siyah havuç oranı arttıkça ve tuz oranı azaldıkça antosiyanin miktarında artış gözlemlenmiştir. Genel olarak PAS kullanılarak üretilen örneklerin kontrol örneklere göre daha düşük toplam antosiyanin miktarına sahip olduğu belirlenmiştir. Işık antosiyaninlerin biyosentezi için gerekli olmakla birlikte antosiyaninlerin bozulmasını da hızlandırmaktadır ve ayrıca karanlık ortamda renklerini daha iyi korurken, özellikle şeker varlığında antosiyanin içerikleri ışığa bağlı olarak azalmaktadır (Cavalcanti vd, 2011). Işığın renk stabilitesi üzerine yapılan bir çalışmada, floresan ışığın antosiyanin bozulmasını hızlandırdığını, sinapik asit, kafeik asit ve biberiye polifenol ekstraktı ile kopigmente antosiyaninlerin doğal ve ferulik asit ile kopigmente antosiyaninlere kıyaslandığında daha yavaş bozulduğu gösterilmiştir (Sari vd, 2012).

Tablo 3.7. Şalgam Suyu Örneklerinde Ölçülen Depolama Süresince Toplam Antosiyanin Değerleri (mg siyanidin-3-glikozit/L)

Örnekler	Depolama Süresi		
	1.gün	15.gün	30.gün
K1	47.69±0.40 ^{Ha}	40.50±1.13 ^{Hb}	39.08±1.09 ^{Eb}
K2	46.81±0.40 ^{Ha}	40.57±1.23 ^{Hb}	39.31±1.26 ^{Eb}
K3	40.97±0.66 ^{Ha}	38.70±1.34 ^{Ha}	32.52±0.88 ^{Fb}
K4	93.21±0.73 ^{Ga}	91.60±0.77 ^{Fa}	81.00±1.55 ^{Db}
K5	105.22±0.66 ^{Fa}	92.06±1.58 ^{Fb}	79.92±1.59 ^{Dc}
K6	93.97±0.27 ^{Ga}	81.34±1.31 ^{Gb}	75.27±1.08 ^{Dc}
K7	148.55±1.26 ^{Ca}	107.45±1.32 ^{Eb}	100.96±1.75 ^{Cb}
K8	119.91±0.61 ^{Ea}	108.48±1.41 ^{Eb}	105.41±1.46 ^{Cb}
K9	133.76±1.67 ^{Da}	118.89±1.75 ^{Db}	111.40±1.41 ^{Bc}
K10	157.68±1.17 ^{Aa}	139.77±1.11 ^{Bb}	126.58±1.51 ^{Ac}
K11	155.51±0.61 ^{Ba}	146.88±1.98 ^{Ab}	125.49±0.85 ^{Ac}
K12	135.46±0.79 ^{Da}	124.29±1.58 ^{Cb}	112.82±1.83 ^{Bc}
P1	42.48±0.64 ^{Ga}	33.88±0.93 ^{Gb}	29.89±1.11 ^{Hc}
P2	40.61±0.51 ^{Ga}	31.59±1.26 ^{GHb}	28.80±0.85 ^{Hb}
P3	41.79±0.95 ^{Ga}	32.51±0.82 ^{Hb}	22.69±0.66 ^{Hc}
P4	77.63±1.05 ^{Ea}	70.29±1.17 ^{Db}	49.08±1.81 ^{Ge}
P5	74.17±0.69 ^{EFa}	58.85±0.96 ^{Fb}	53.02±0.20 ^{Ge}
P6	72.63±1.02 ^{Fa}	58.99±0.71 ^{Fb}	50.73±0.73 ^{Ge}
P7	89.00±0.80 ^{Da}	65.30±1.22 ^{Eb}	63.48±1.54 ^{Fc}
P8	92.46±1.01 ^{Da}	78.03±1.44 ^{Cb}	66.92±0.53 ^{Ec}
P9	112.81±1.06 ^{Ca}	73.38±0.92 ^{Db}	70.71±1.58 ^{Dc}
P10	145.28±0.61 ^{Aa}	109.51±0.83 ^{Ab}	106.80±1.12 ^{Ac}
P11	119.21±0.76 ^{Ba}	95.06±0.83 ^{Bb}	86.43±1.05 ^{Bc}
P12	119.02±0.83 ^{Ba}	94.40±0.65 ^{Bb}	91.49±0.80 ^{Cc}

Şalgam suyu üzerine daha önce yapılmış çalışmalarda siyanidin-3-glikozid cinsinden toplam antosiyanin miktarının 88.3-149 mg/L arasında olduğu bildirilmiştir. (Nesanır, 2004; Miişoğlu, 2004). Yapılan diğer çalışmalarda isesyanidin-3-glikozid cinsinden toplam antosiyanin miktarı; Utuş (2008) 120.2-145.6 mg/L arasında, Güneş (2008) 129-149 mg/L arasında Öztürk (2009) 67.5-139.5 mg/L arasında, Tangüler (2010) 104.04-168.23 mg/L arasında ve Ağırman (2014) 198.4-238.4 mg/L arasında tespit edilmiştir. K1, K2, K3, P1, P2 ve P3 kodlu örneklerde siyah havuç kullanılmamış sadece siyah havuç suyu konsantresi kullanılmıştır. Bu örnekler de antosiyanin miktarı önceki araştırmacıların bildirdiğinden daha düşük bulunmasına rağmen havuç kullanılmış örneklerden elde edilen bulgular diğer araştırmacıların sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

3.3. Duyusal Özellikler

Şalgam suları duyusal hedonik test formu kullanılarak 15 panelist tarafından depolamanın 1., 15. ve 30. günlerinde örneklerin genel görünüş, renk, koku, tat ve genel beğeni özellikleri değerlendirilmiştir. Yapılan duyusal analiz sonucunda örnekler genel görünüş (Tablo 3.11) açısından değerlendirildiğinde %20 siyah havuç ile üretilen şalgam suları en çok beğeniyi almıştır ($p<0.05$). Genel olarak depolama boyunca genel görünüş değerlerinde sürekli olarak bir artış görülmektedir. Kontrol örneklerine göre PAS ile üretilen şalgam sularının daha düşük beğeni almasının nedeni; PAS'ın yapısında bulunan proteinlerin sedimantasyonu ve PAS'ın renginden dolayı genel görünüş değerlerinin kabul görmemesidir. En yüksek puan K9 kodlu örneğe aittir. Tat bakımından en az beğenilen %0.5

tuz ve PAS içeren P1 kodlu örnek olurken en çok beğenilen %1.5 tuz ve %15 siyah havuç içeren K9 kodlu örnek olmuştur. %1.5 tuz içeriğine sahip şalgam sularının tat değerleri daha yüksek ($p<0.05$) olup; havuç oranı arttıkça tat değerleri artmıştır. Genel olarak tuz oranına bakıldığında piyasada bulunan şalgam sularına yakın içeriğe sahip olan örneklerin beğeni düzeyi daha yüksektir. %20 siyah havuç eşdeğeri siyah havuç konsantresi ile üretilen şalgam suları (K1, K2, K3, P1, P2, P3) depolama boyunca en düşük beğeniye sahip şalgam suları olmuştur. (Özler ve Kılıç 1966) Şalgam suyu üzerine yaptıkları çalışmada siyah havuç ve kırmızı pancar kullanarak ürettikleri şalgamların panelistler tarafından yeterince beğenilmediğini belirtmişlerdir. Araştırmamızda üretilen şalgam sularının koku değerlerinin en yüksek 6.81 ile P12 kodlu örneğe, en düşük ise 2.95 ile P2 kodlu örneğe ait olduğu belirlenmiştir. Şalgam sularının genel beğeni özellikleri incelendiğinde depolama boyunca meydana gelen değişimlerin dalgalı bir seyir izlediği (artış-azalış) anlaşılmıştır. Ancak yine de çoğu örnekte depolamanın son günündeki değerler ilk güne göre daha yüksek bulunmuştur. Tüm şalgam suları içinde genel beğeni puanları bakımından en düşük puanı alan örnek PAS ilaveli ve %0.5 oranında tuz içeren %20 siyah havuç eşdeğeri siyah havuç suyu konsantresi ile üretilen P1 kodlu örnek olurken en yüksek puanı alan örnek %1.5 tuz oranına sahip %5 siyah havuç suyu konsantresi ile üretilen P9 kodlu örnek olmuştur. (Bayram vd. 2014) Farklı siyah havuç miktarlarının şalgam suyunun genel bileşimini etkisini inceledikleri çalışmada panelistler tarafından en çok beğenilen örnek %20 oranında siyah havuç içeren şalgam suyu olurken, %10 oranında siyah havuç içeren şalgam suyu ise en az beğenilen örnek olmuştur. (Ağırman 2014) Şalgam suyunda sodyum klorürü azaltma üzerine yaptığı çalışmada panelistler tarafından en beğenilen örneğin NaCl ve NaCl-KCl tuzları içeren örnekler olduğunu vurgulamıştır. Genel olarak piyasada bulunan şalgam sularına benzer oranda tuz içeriğine (%1.5) sahip örneklerin genel beğeni düzeyi daha yüksek olmuştur. Şalgam suyu üretiminde siyah havuç oranı ve tuz oranı azaldıkça genel beğeni azalmıştır. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda şalgam sularının genel beğeni puanları arasındaki farkların önemli düzeyde olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). PAS ile üretilen şalgam sularının standart kalite ve duyuşsal değerlendirme sonuçlarının daha iyi olduğu bildirilmiştir (Cankurt vd., 2010).

4. Sonuç

Antosiyenin miktarı incelendiğinde örneklerdeki siyah havuç oranı arttıkça ve tuz oranı azaldıkça antosiyenin miktarlarında artış gözlemlenmiştir. Ayrıca PAS ile üretilen örneklerin kontrol örneklere göre daha düşük antosiyenin içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Şalgam suyunda depolama süresince LAB sayısında hızlı bir azalma meydana gelmiştir. Şalgam suyu örneklerinde tuz konsantrasyonunun LAB sayısını da etkilediği belirlenmiştir. Örneğin, düşük tuz oranlarına sahip şalgam suyu örneklerinde LAB'ın daha hızlı geliştiği sonucuna varılmıştır. Bu çalışma kapsamında duyuşsal analiz verileri değerlendirildiğinde depolamanın 1.ve 15. gününde PAS ile üretilen şalgam sularının kontrol örneklere göre daha yüksek puan aldıkları ancak depolamanın 30. gününde ise kontrol şalgam sularının daha yüksek puan aldığı tespit edilmiştir. Ayrıca panelistler tarafından yapılan değerlendirmede tuz oranı ve siyah havuç oranı arttıkça genel beğeni değerleri daha da artmıştır. Şalgam suyu üretiminde PAS ve SHSK kullanımı sonucunda; PAS kullanımı ile şalgam suyunun besin bileşeni çeşitliliği artırılmıştır. Ekonomik, çevresel ve besinsel açıdan önemli yere sahip olan PAS için yeni bir kullanım alanı sağlanmıştır. Şalgam suyu üretiminde tamamı olmasa da bir kısmı SHSK olmak üzere şalgam suyu üretilmesi halinde maliyetlerin; hammadde, işçilik ve depolama maliyetlerinin düşmesinden dolayı %15-25 oranında düşürülebileceği tahmin edilmektedir. Yapılan çalışmada şalgam suyunda tuz oranı düşürülmeye çalışılmış fakat tuz oranı %1.5 altına düştüğünde genel beğeni azalmıştır. Üretilen şalgam sularında tuz oranı azaldıkça toplam antosiyenin miktarında artış gözlemlenmiştir. Hipertansiyon hastaları ve sodyum tuzu alımını azaltmak isteyen tüketiciler için düşük oranda tuz içeriğine sahip şalgam suyu üretilmek istenmiş bunda kısmen başarılı da olunmuş ancak genel beğeni düzeyleri çok yüksek olmamıştır. Depolama boyunca şalgam suyu örneklerinde renk kalitesinin azalmasının şalgam suyunda bulunan antosiyenin türevli renk maddelerinin parçalanarak veya oksidasyona uğrayarak daha koyu renkli maddelere dönüşmelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kaynakça

- Abdi, H.iWilliams, L. J. 2010. Tukey's honestly significant difference (HSD) test. Encyclopedia of Research Design. Thousand Oaks, CA: Sage, 1-5.
- Ağırman, B. 2014. Şalgam Suyu Üretiminde Farklı Klorür Tuzları Kullanılarak Sodyum Klorür Miktarının Azaltılması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 99s.
- Aktan, N., Yücel, U. ve Kalkan, H. 1998. Turşu Teknolojisi. Ege Üniversitesi Ege Meslek Yüksek Okulu Yayınları, No: 23, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, s. 138.
- Akyüz, N. 1979. Süt endüstrisinde yan ürünlerin değerlendirilmesi ve önemi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 10: 207-216.
- Anderson, G. H., Moore, S. E. 2004. Dietary proteins in the regulation of food intake and body weight in humans. The Journal of Nutrition, 134(4): 974-979.
- Anonim, 2006. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik. T.C. Sağlık Bakanlığı, Resmi Gazete, Tarih: 15.09.2006, Sayı: 26290, Ankara.
- Arıcı M. 2004. Mikrobiologische und chemische eigenschaften von salgam. Ernährungs-Umschau, 51(1): 10-11.

- Bayram, M., Erdoğan, S., Esin, Y., Saraçoğlu, O., Kaya, C. 2014. Farklı siyah havuç miktarlarının şalgam suyunun bileşimine ve duyuşal özellikleri üzerine etkisi. Akademik Gıda 12(1): 29-34.
- Bingöl, Ş. 1982. Süt ve Mamüllerinde Üretim-Tüketim Zincirinde Oluşan Fiziksel Kayıplar ve Nedenleri. Milli Produktivite Merkezi Yayınları No: 269, Ankara, 156s.
- Canbaş, A. ve Deryaoğlu, A. 1993. Şalgam suyunun üretim tekniğı ve bileşimi üzerinde bir araştırma. Doğa-Turkish Journal of Agricultural and Forestry, 17: 119- 129.
- Canbaş A, Fenercioğlu H. 1984. Şalgam suyu üzerine bir araştırma. Gıda, 9(5): 279-286.
- Cankurt H., Sağıdıç O., Yetim H. 2010. Hızlı şalgam üretimi: peyniraltı suyu kullanılarak fermantasyon süresinin kısaltılması, 1030-1033. 1.Uluslararası “Adriyatik’ten Kafkaslar’a Geleneksel Gıdalar” Sempozyumu, 15-17 Nisan, Tekirdağ, s. 1078.
- Cavalcanti, R.N., Santos, D.T. ve Meireles, M.A.A. 2011. Non-thermal stabilization mechanisms of anthocyanins in model and food systems – An overview, Food Research International, 44: 499–509.
- Cemeroğlu, B., Karadeniz, F., Özkan, M. 2010. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneğı Yayınları No: 24 Ankara.
- Çakır P. 2011. Ülkemizde Üretilen Şalgam Sularının Bileşimleri ve Gıda Mevzuatına Uygunlukları Üzerine Bir Araştırma. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ, 39s.
- Deryaoğlu, A. 1990. Şalgam Suyu Üretimi ve Bileşimi Üzerinde Bir Araştırma, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 57 s.
- Deryaoğlu, A. 2005. Şalgam suyu üretiminde NaCl yerine KCl kullanarak sodyum miktarını azaltma olanakları. Gıda, 30(5): 335-341.
- Erten, H., Tangüler, H. and Canbaş, A. 2008. A traditional turkish lactic acid fermented beverage: shalgam (Salgam). Food Reviews International, 24: 352-359.
- Erten, H., Tangüler, H. 2012. Şalgam (Shalgam), pp: 657-664. In: Handbook of Plant- Based Fermented Food and Beverage Technology, (Eds.Y. H. Hui, E. Ö. Evranuz). 2nd. Press, CRS Press, London-Newyork.
- Güneş, G. 2008. Şalgam Suyu Üretiminde En Uygun Siyah Havuç (Daucus carota) Miktarının Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 48 s.
- Hayaloğlu, A. A. and Özer, B. 2011. Peynir biliminin temelleri. 1. baskı. Sidas Medya Yayınları, İzmir.
- Hunter, R.S. 1975. Scales for the measurements of colour difference. In: The Measurement of Appearance. John Wiley and Sons, New York, pp. 133-140.
- Inal, T. (1973). Türk fermente sucuğunun bakteriyolojik kalitesi ve mikrobiyolojik standardizasyonu. Bornova Veteriner Araştırma Enstitüsü Dergisi, 14(26-27), 95-103.
- Kurt, A., Gülümser, S. 1988. Peynir suyu ve kullanım imkanları. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 18: 133-141.
- Miişoğlu, D. 2004. Şalgam Suyu Üretiminde Enzim Uygulamasının Verim ve Kaliteye Etkisi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 68 s.
- Nesanır, M. 2004. Şalgam Suyunu Berraklaştırma Olanakları. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 59 s.
- Özler, N. 1995. Şalgam Suyu Üretiminde Araştırmalar. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 56 s.
- Özler, N., & Kılıç, O. 1995. Şalgam suyu üretimi üzerinde araştırmalar. GIDA/THE JOURNAL OF FOOD, 21(5).
- Öztürk, O. 2009. Adana Piyasasındaki Şalgam Sularının Bileşimleri Üzerine Bir Araştırma. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 43 s.
- Sari, P., Wijaya, C.H., Sajuthi, D. ve Supratman, U. 2012. Colour properties, stability, and free radical scavenging activity of jambolan (Syzygium cumini) fruit anthocyanins in a beverage model system: Natural and copigmented anthocyanins. Food Chemistry, 132: 1908–1914.
- Şimşek, Ö., 2003. Uşak ve Yöresi Ekşi Hamurlarından İzole Edilen Antimikrobiyal Aktiviteye Sahip Laktik Asit Bakterilerinin Tanımlanması ve Bazı Metabolik Özelliklerinin Belirlenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 90 s.
- Tangüler, H. 2010. Şalgam Suyu Üretiminde Etkili Olan Laktik Asit Bakterilerinin Belirlenmesi ve Şalgam Suyu Üretim Tekniğinin Geliştirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 367 s.
- T.S.E. 2003a. TS 11149 Şalgam Suyu Standardı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Utuş, D. 2008. Şalgam Suyu Üretiminde Kullanılan Siyah Havuç (Daucus Carota) Boyutunun Şalgam Suyu Kalitesi Üzerine Etkisi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 55 s.
- Yener D. 1997. Mersin İl Merkezinde Değışik Satış Yerlerinden Alınan Şalgam Suyu Örneklerinin Fiziksel, Kimyasal, Duyusal ve Mikrobiyolojik Özellikleri Üzerine Bir Araştırma. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ, 55 s.
- Yüksel A. 2010. Doğal Fermantasyonla Üretilen Şalgam Suyunda Farklı Tuz Konsantrasyonlarının Biyojen Amin Oluşumu Üzerine Etkisi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 50 s.
- Wrolstad, R.E. 1976. Color and pigment analyses in fruit products. Station Bulletin 624, Agricultural Experiment Station Oregon, Oregon State University, Corvallis.



Determination and evaluation in terms of healthy nutrition of the pyridoxal, pyridoxine and pyridoxamine forms of vitamin B₆ in animal-derived foods

Mustafa Yaman^{1*}

¹Department of Nutrition and Dietetics, Faculty of Health Sciences, İstanbul Sabahattin Zaim University, İstanbul, Turkey (ORCID: 0000-0001-9692-0204)

(First received 16 March 2019 and in final form 30 March 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.540894)

REFERENCE: Yaman, M. (2019). Determination and evaluation in terms of healthy nutrition of the pyridoxal, pyridoxine and pyridoxamine forms of vitamin B₆ in animal-derived foods. *European Journal of Science and Technology*, (15), 611-617.

Abstract

In many studies, vitamin B₆ is given as the sum of the pyridoxal (PL), pyridoxine (PN) and pyridoxamine (PM) forms. In a limited number of studies, PL, PN and PM forms of vitamin B₆ in animal origin foods were reported. Since the bioavailability of PL, PN and PM forms of vitamin B₆ are different; knowing the amounts of these forms in foods is important in terms of healthy nutrition. In this study, the PL, PN and PM forms in a total of 38 animal-based foods were determined by high performance liquid chromatography (HPLC). PL and PM were found predominantly in fish, meats and chicken samples. Within these, the highest amount of vitamin B₆ were found in golden grey mullet by 616.3 µg/100g, in veal fillet at 376.1 µg/100g and in chicken breast by 329.5 µg/100g, respectively. The PL form in total vitamin B₆ ranged in fish between 32.5 and 53.1%, in meats between 15.6 and 48.9%, and in chicken samples between 59.9 and 69.8%. It was also found that milk and milk products contain low amounts of vitamin B₆. Based on these results, all animal-based foods were found to be rich in terms of the PL and PM forms. The results of this study will play an important role in the creation of various diets for healthy nutrition.

Keywords: Vitamin B₆ profile, animal-based foods, nutrition, HPLC

1. Introduction

Animal-based foods are rich in water soluble vitamins and important for healthy nutrition. Vitamin B₆ is one of the water-soluble vitamins and predominantly present in seven known forms in foods: pyridoxine (PN), pyridoxal (PL), pyridoxamine (PM), pyridoxine 5'-phosphate (PNP), pyridoxal 5'-phosphate (PLP), pyridoxamine 5'-phosphate (PMP), and PN-glycoside (PNG). After intestinal absorption, in the liver, all forms are converted into the PLP form by pyridoxine (pyridoxamine) 5-phosphate oxidase (Wozenski *et al.*, 1980; Ball, 2004). The active form of vitamin B₆, PLP, plays an important role in amino acid metabolism and catalyzes deamination, transamination, decarboxylation, transsulfuration, and desulfurization reactions (Drewke and Leistner, 2001; Mittenhuber, 2001). Additionally, it plays an active role in the metabolism of neurotransmitters (dopamine, serotonin, glycine, glutamate, GABA) and the synthesis of nikotinamid adenin dinükleotid (NAD) from tryptophan (Ball, 2004).

The recommended daily intake of vitamin B₆ is between 1.5 and 1.7 mg for both males and females. In periods of pregnancy or lactation, however, this requirement is between 1.9 and 2 mg (Food and Nutrition Board, 1998). Vitamin B₆ is found in a wide variety of foods. Some of the best sources are meat, fish, wheat bran, grains, legumes and vegetables (USDA, 2018). Vitamin B₆ deficiency is associated with anemia, weakness, disorders of the digestive system, depression, confusion and visual disorders (Ball, 2004). Homocysteine is a sulfur-containing amino acid formed in the metabolism of methionine. PLP plays an important role in the conversion

* Corresponding author ¹Department of Nutrition and Dietetics, Faculty of Health Sciences, İstanbul Sabahattin Zaim University, İstanbul, Turkey, ORCID: 0000-0001-9692-0204, mustafayaman1977@gmail.com

of homocysteine into cysteine. Increased serum homocysteine levels in PLP deficiency can cause cardiovascular diseases (Miller *et al.*, 1992). Recent studies have revealed that vitamin B₆ functions as a strong antioxidant in deactivating reactive oxygen species (ROS) created by oxidative stress in cells (Bilski *et al.*, 2000). In epidemiological studies, it has been shown that PLP decreased the risk of colon and lung cancer (Mizushima *et al.*, 1997; Slattery *et al.*, 1997; Jansen *et al.*, 1999).

Advanced glycation end products (AGEs), which are formed as a result of high levels of sugar in the blood, are thought to play an important role in the development of complications (nephropathy, neuropathy, retinopathy and atherosclerosis) related to diabetes (Sang and Young, 2018). Previous studies have reported that the PMP and PLP forms of vitamin B₆ inhibit AGEs formation (Nakamura and Niwa, 2005; Su-Yen and Mark, 2008). It has been stated that the daily vitamin B₆ requirement is 16 µg per gram of protein taken in the diet for both males and females. Accordingly, the vitamin B₆ requirement increases as the intake of protein increases (Miller *et al.*, 1985; Hansen *et al.*, 1996; Ball, 2004).

The PLP and PMP forms are predominantly found in animal-based foods while the PN-glucoside form is found in plant-based foods. The PN-glucoside form has a lower bioavailability than the PLP and PMP forms. The bioavailability of vitamin B₆ has been reported to be 58 ± 13% in the case of oral administration of the PN-glucoside form of vitamin B₆ to humans (Gregory *et al.*, 1991). In a clinical study, when PLP and PN. hydrochloride (HCl) were administered orally to humans, serum PLP levels were reported to be approximately 50% higher in patients receiving PLP (Rossouw *et al.*, 1978).

The high performance liquid chromatography (HPLC) method is preferred for the determination of vitamin B₆. Through this method, all forms of vitamin B₆ are determined (Mann *et al.*, 2001). Vitamin B₆ can be found in foods in free (PL, PN, PM), phosphate (PLP, PMP) or glycoside (PNG) forms. The bound forms are liberated by phosphatase and glycosidase enzymes into the free forms. In many studies, due to the matrix effects, the PL and PM forms are converted into the PN form by methods of derivation and the total vitamin B₆ result are given.

The PL, PN and PM forms of vitamin B₆ vary in animal-based foods. In many studies, in the literature or food composition databases, vitamin B₆ is given as the sum of the PL, PN and PM forms or in PN.HCl. In a limited number of studies, PL, PN and PM forms of vitamin B₆ in animal origin were reported. Therefore, knowing the rates of these forms is important for creating healthy diets for human nutrition, the aim of this study was to determine the PL, PN and PM forms of vitamin B₆ in fish, meat, chicken, egg, milk and milk products and evaluate these forms in terms of healthy human nutrition.

2. Materials and Methods

2.1. Material

The vitamin standards (pyridoxal.HCl, pyridoxine.HCl, pyridoxamine.2HCl), acid phosphatase (EC 3.1.3.2) (potatoes, 0.5-3.0 U/mg), β-glucosidase (EC 3.2.1.21) (from almonds lyophilized powder, 10-30 units/mg solid), taka diastase (EC 3.2.1.1) (*Aspergillus Oryzae*, 100 U/mg), acetonitrile (ACN), potassium dihydrogen phosphate, and 1-octanesulfonic acid sodium salt were obtained from Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, U.S.A).

2.2. Sampling

All foods examined in this study were purchased from local markets. A total of 38 foods were examined from fish, meats (veal, beef, lamb, sheep), chicken, egg, milk and milk products.

2.3. Standard Preparation

A standard stock solution of each vitamin was prepared in a 0.1 N hydrochloric acid solution. The working standards on three levels were prepared from the stock solution.

2.4. Extraction of B₆ Vitamers in Animal-Based Foods

The extraction method described by Kall (2003) was used with some modifications. The samples were first homogenized, and a 5 g sample was put into a 250 ml Erlenmeyer flask. Next, 60 ml of the 0.1 N hydrochloric acid solution was added before the mixture was transferred to an autoclave where it was kept at 121°C for 30 minutes. The samples were cooled and then adjusted to pH 4.5 using a sodium acetate (2.5 mM) solution. 100 mg taka-diastrase, 10 mg acid phosphatase, and 10 mg β-glucosidase enzymes were added. Then, it was incubated for 18 hours at 37°C in a shaking water bath. Afterwards, the samples were filtered with a 0.45 µm filter and transferred into the HPLC device. All analyses were performed in triplicate and the average value was used.

2.5. HPLC Determination of B₆ Vitamers

The PL, PN and PM forms of vitamin B₆ were determined by HPLC. The HPLC conditions described by Ceylan *et al.* (2018) were used with some modifications. The Shimadzu Nexera-i liquid chromatography system with a fluorescence detector (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) was used in the study. The mobile phase was prepared by dissolving 11 g of KH₂PO₄ and 0.5 g of 1-octanesulfonic acid in 950 ml of deionized water. Then, 50 ml of ACN was added and the pH was adjusted to 2.4 with orthophosphoric acid. The fluorescence detector excitation and emission wavelengths were set at 290 and 395 nm, respectively. B₆ vitamers were

separated with an Eclipse X08-C18, 5 μm , 4.6x150 mm column (Agilent, USA) with a flow rate of 0.8 mL/min. The column oven temperature was set to 25°C.

2.6. Quantification and Quality Control

In the study, certified reference material (Standard Reference Material 1849a: Infant Formula), was used to control the accuracy and the performance of the method. We also participated in a proficiency test for analysing breakfast cereal test material which was organized by FAPAS (Food Analysis Performance Assessment Scheme, UK, 2018).

3. Results and Discussion

The HPLC chromatogram of sheep shoulder is shown in Figure 1. As seen in the chromatogram, the PL, PN and PM forms of B₆ vitamers were well-separated in the sheep shoulder using the HPLC method. The retention times of PL, PN and PM forms were 7, 10.5 and 15 min, respectively. The stability of vitamin B₆, which is found naturally in foods, is lower than that of the synthetic form. Therefore, it is always recommended to use the quality control material for accuracy of the analysis. The amount of vitamin B₆ in the reference material was determined to be 13.21 mg/kg (assigned value 13.46 \pm 0.93), and recovery was 98%. The FAPAS test result was found to be in the acceptable range ($-2 \leq Z \text{ score} \leq +2$).

The amounts of PL, PN and PM forms in vitamin B₆ and the total vitamin B₆ in fish are shown in Table 1. As seen in the table, the highest amount of vitamin B₆ was found in golden grey mullet by 616.3 $\mu\text{g}/100\text{g}$, and the lowest amount was found in anchovies by 122 $\mu\text{g}/100\text{g}$. In fish, the ratio of PL, PN and PM in vitamin B₆ was found to be between 32.5 and 53.1%, between 0 and 3.4 %, and between 46.9 and 67.5%, respectively. The average PL, PN and PM forms in fish were found at a ratio of 39.5%, 0.9% and 59.6%, respectively (Fig. 2a). The PL form was found at the highest ratio in red mullet, at 53.1%, while the lowest ratio was found in golden grey mullet and in European sea bass, at 32.5%. The PM form was found at the highest ratio in European sea bass and golden grey mullet, at 67.5%, while the lowest ratio was found in horse mackerel and red mullet, at about 47%. The PN form was found in a small amount in horse mackerel, turbot and European anchovy, at about %3. It is known that fish is a good source of protein, omega-3 fatty acids, vitamin D and water-soluble vitamins. As seen from our results, all fish are rich in both vitamin B₆ and in terms of the PL and PM forms, which are high bioavailable forms of vitamin B₆. Our total vitamin B₆ findings are consistent with the food composition databases (USDA, TURCOMP, DTU). However, in food composition databases and in the literature, the result of vitamin B₆ is given in total. In a limited number of studies, the vitamin B₆ profiles of fish are available. Ceylan *et al.* (2018) reported that gilthead sea bream contains 0.402 mg/100g of the total vitamin B₆ with high ratio of the PL form. In another study, the amount of vitamin B₆ was found in fresh salmon to be 0.509 mg/100g with high ratio of the PL form (Lebiedzińska *et al.*, 2007).

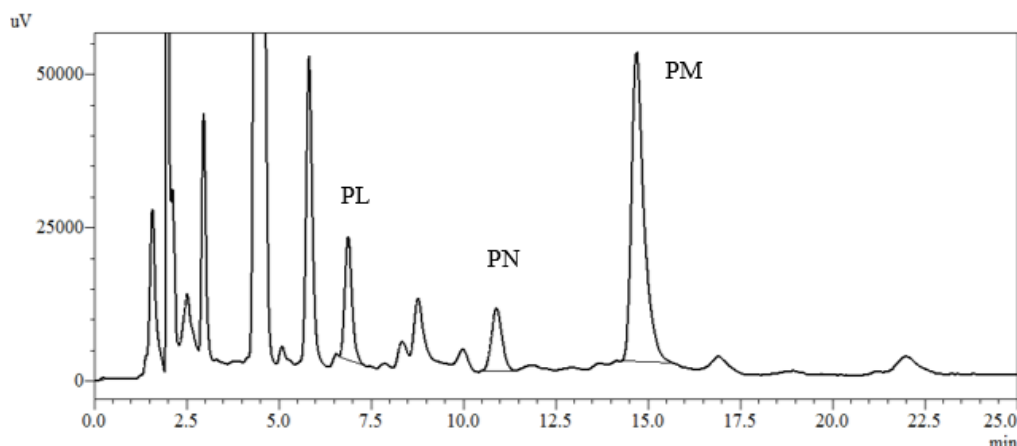


Figure 1. HPLC chromatogram of sheep shoulder

Table 1. Amounts of PL, PN and PM forms in vitamin B₆ and the total vitamin B₆ in fish.

Fish	PL µg/100g	PN µg/100g	PM µg/100g	Vitamin B₆, total µg/100g
Golden grey mullet	200.3±12.5	nd	416.0±26.3	616.3
Gilthead bream	140.4±8.7	nd	275.7±15.4	416.1
Bluefish	153.5±10.2	nd	197.5±10.0	351.1
European sea bass	108.4±6.5	nd	225.5±14.2	333.8
Horse mackerel	157.6±5.7	9.9±0.4	150.1±8.8	317.6
Red mullet	151.1±6.8	nd	133.3±10	284.4
European hake	90.3±6.0	nd	177.3±8.4	267.6
Rainbow trout	92.0±4.6	nd	154.3±12.2	246.2
Atlantic bonito	110.0±6.2	nd	130.5±7.5	240.5
Turbot	57.5±3.2	4.9±0.2	101.9±5	164.3
European anchovy	46.0±3.0	4.1±0.3	71.9±6.6	122.0

Average value was used (n=3), nd. not detected, pyridoxal (PL), pyridoxine (PN) and pyridoxamine (PM)

Table 2. Amounts of PL, PN and PM forms in vitamin B6 and the total vitamin B6 in veal, beef, sheep, lamb and chicken.

	PL µg/100g	PN µg/100g	PM µg/100g	Vitamin B₆, total µg/100g
Veal				
Veal, fillet	183.9±9.4	24.7±2.1	167.5±12.7	376.1
Veal, leg	108.4±6.3	2.5±0.2	219.2±12.4	330.0
Veal, sirloin	46.8±2.3	24.7±1.5	248.5±14.8	320.0
Veal, rib	50.1±4.1	15.6±1.0	173.1±10.1	238.8
Veal, shoulder	46.0±2.8	11.5±0.6	180.1±9.5	237.6
Beef				
Beef, sirloin	56.6±3.5	28.0±1.3	252.0±15.5	336.6
Beef, shoulder	57.5±3.0	17.3±1.1	181.5±14.2	256.2
Beef, rib	77.2±4.4	28.8±1.4	141.7±7.5	247.7
Beef, fillet	76.4±4.2	10.7±1.0	145.9±4.9	232.9
Sheep				
Sheep, loin	37.8±2.0	7.4±0.5	107.5±6.6	152.7
Sheep, shoulder	51.7±3.2	24.7±0.8	111.7±7.3	188.1
Lamb				
Lamb, rib	67.3±4.4	23.9±1.2	125.6±10.1	216.8
Lamb, shoulder	35.3±2.3	41.2±1.6	106.8±6.0	183.2
Lamb, leg	67.3±4.1	0.8±0.1	85.2±2.2	153.3
Chicken				
Chicken, breast	229.9±13.4	8.2±0.3	91.4±4	329.5
Chicken, wing	183.1±11.1	29.6±2.0	74.0±4	286.7
Chicken, thigh	125.6±6.0	7.4±0.5	76.8±3.3	209.8

Average value was used (n=3), nd. not detected, pyridoxal (PL), pyridoxine (PN) and pyridoxamine (PM)

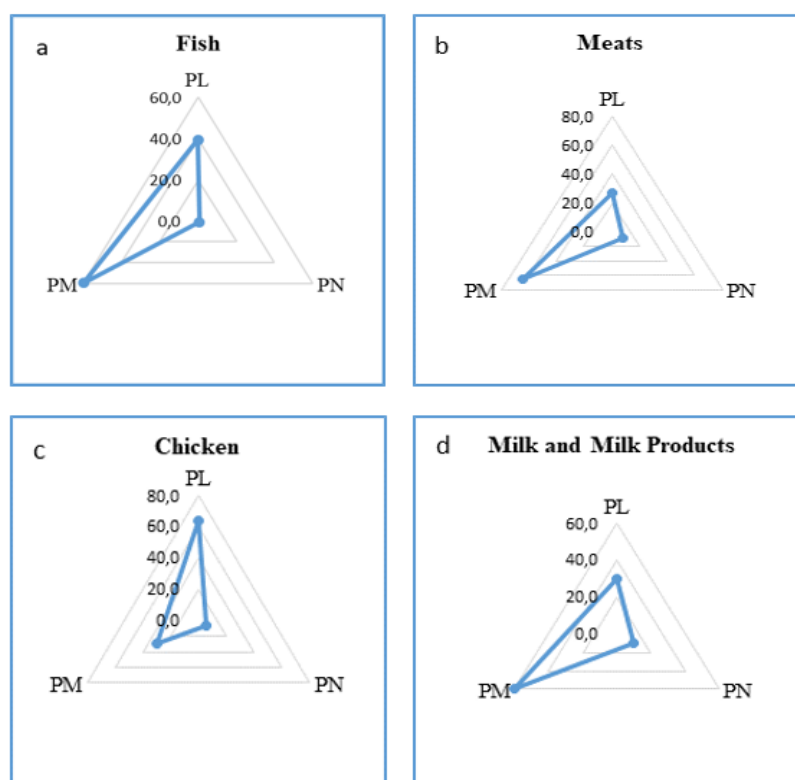


Figure 2. Rates of PL, PN and PM form in fish, meats, chicken and milk and milk products.

The amounts of PL, PN and PM forms in vitamin B₆ and the total vitamin B₆ in meats (veal, beef, sheep, lamb) and chicken samples are shown in Table 2. As seen in the table, in veal, beef, sheep and lamb, the total vitamin B₆ were found in the highest amount in veal fillet at 376.1 µg /100g, and the lowest amount was found in both leg of lamb and sheep loin at 153.3 µg /100g and 152.7 µg /100g, respectively. The PL form was found at the highest level in veal fillet, at 48.9%. The PN form was found in lamb shoulder at 22.5%, and the PM form was found in beef sirloin at 77.7%. In this meat group, the ratio of PL, PN and PM forms ranged between 14.6 and 48.9%, between 0.5 and 22.5%, and between 44.5 and 77.7%, respectively. The average PL, PN and PM forms were found at a ratio of 27.6%, 7.8% and 64.6%, respectively (Fig. 2b). As seen in the table, in veal and beef sirloin, the PL form was found at low rates (14.6-16.8%) while the PM form was found at high rates (74.9-77.7%).

In addition, when the ratio of PL form was evaluated in each meat, the highest difference was found in veal. The highest ratio of PL form was found in fillet, 48.9%, and the lowest ratio was found in sirloin, 14.6%. Kall (2003) reported that the total level of vitamin B₆ was found to be 350 µg /100g in beef (part of the animal unspecified) with a high ratio of the PL form (64%). In the same study, the PL form varied between 34 and 79% in pork meats. The total level of vitamin B₆ in cured hams was reported in the PN form (Gratacós-Cubarsí *et al.*, 2013). In vitamin B₆ analysis, the use of the phosphatase enzyme is required because the enzyme liberates the phosphatase bonds. Additionally, the enzymatic extraction time should be at least 18 hours to release the bonds in PLP, PNP and PMP. In some studies, either the enzyme or extraction time is not mentioned or not specified in the study (Esteve *et al.*, 1998). Therefore, these conditions must be provided to obtain high quality results.

In the chicken samples, as seen in Table 2, the highest level of total vitamin B₆ was found in the chicken breast, 329.5 µg /100g, and the lowest level in the chicken thigh, 209.8 µg /100g. The ratio of PL, PN and PM forms in chicken samples were found to be between 59.9 and 69.8%, between 2.5 and 10.3%, and between 25.8 and 36.6%, respectively. The average PL, PN and PM forms in the chicken samples were found to be 64.5%, 5.5%, and 30.1%, respectively (Fig. 2c). Previous studies found that the sum of PM and PL in chicken was 80% of vitamin B₆ (Bowers and Craig, 1978) and the ratio of PM in raw chicken was 35% of all vitamin B₆ content (Olds *et al.*, 1993). In our results, the average total sum of PL and PM in chicken was 94.5% of vitamin B₆ which is higher than that of other studies. As seen in our study, chicken contained a higher amount of the PL form than veal, beef, sheep and lamb. It was stated in other studies that the PLP form of vitamin B₆ was found mostly in meat, fish and poultry products; whereas the PN and PNP forms were found in (Ball, 2004; Ceylan *et al.*, 2018). The PN and PNP forms of vitamin B₆ were predominant in plant-based foods (Gregor and Ink, 1987). Based on these results, it was found that the PL form was found at the highest level in the chicken samples, veal fillet, and leg of lamb compared to other meats, but the PN form was found at a lower level in all samples.

According to a study by Kall (2003), the PL and PM forms were mostly detected in meat and fish while the PN form was not found in these at all. Ceylan *et al.* (2018) reported that fish are rich in terms of both vitamin B₆ and its active form (PLP). In our results, the PM and PL forms were detected predominantly in fish, meat, and chicken while a very small amount of the PN form was found only in meats and fish.

As seen in Table 3, egg (whole) contain high amounts (240.8 µg/100g) of vitamin B₆, and the ratio of PN, PL and PM forms were found at the levels of 42.3%, 2.9% and 54.8%, respectively. Other milk and milk products contained low amounts of vitamin B₆. The highest amount was found in kashar cheese (55.2 µg/100g), and the lowest amount was found in UHT milk (10.7 µg/100g). Within the total vitamin B₆, the PL form was detected at the highest level in pasteurized cow's milk (61.5%) and not detected in UHT milk. The PN form was found at a low level in some milk and milk products. The PM form was detected at the highest level in sheep cheese (100%) and at the lowest level in pasteurized milk (26.2%). As seen, milk products contain high levels of the PM form (26.2-100%) of vitamin B₆ (Fig. 2d). We see that there is a loss of vitamin B₆ especially in cheeses as a result of production processes, and the PL form is completely lost in UHT milk and sheep cheeses. According to the study by Kall (2003), the amount of total vitamin B₆ was 50 µg/100g in skim milk and the ratio of PL and PM was 78% and 22%, respectively.

Table 3. Amounts of PL, PN and PM forms in vitamin B₆ and the total vitamin B₆ in egg, milk and milk products.

Sample name	PL µg/100g	PN µg/100g	PM µg/100g	Vitamin B ₆ , total µg/100g
Egg, chicken	101.8±5.5	7.0±0.5	132.0±9.5	240.8
Cheese, kashar ripened	18.9±1.2	nd	36.3±3.2	55.2
Cheese, kasar unripened	16.4±0.8	nd	24.4±1.8	40.9
Milk, sheep	10.7±0.6	10.7±0.7	17.5±1.1	38.8
Milk, cow	14.8±1.2	2.5±0.1	17.5±0.8	34.7
Cheese, sheep	nd	nd	32.8±3.3	32.8
Cheese (fat, 20 %)	11.5±0.7	5.8±0.3	14.7±1.2	31.9
Milk, pasteurised	8.2±0.4	1.6±0.1	3.5±2.0	13.3
Milk, UHT	nd	1.6±0.1	9.1±0.6	10.7

Average value was used (n=3), nd, not detected, pyridoxal (PL), pyridoxine (PN) and pyridoxamine (PM)

When we evaluated our results, fish, meat, chicken and milk generally contained high levels of the PL and PM forms and lower levels of the PN form. The bioavailability of the PL and PM forms of vitamin B₆ were higher than the PN form. In previous studies, it was reported that the bioavailability of vitamin B₆ of animal origin reached 100%, and fiber-containing foods reduced the bioavailability (Ball, 2004). It is known that vitamin B₆ has important roles in metabolism. The most important of these is that the PL and PM forms reduce the generation of AGEs (Su-Yen and Mark, 2008). In addition, in protein metabolism, the PLP form, in particular, of vitamin B₆ converts the homocysteine into the cysteine. It is recommended that 16 µg of vitamin B₆ per gram of protein should be consumed in the daily diet (Hansen *et al.*, 1996; Ball, 2004). Although fish, egg, milk and other meats contain high amounts of protein (USDA, DTU), they also contain adequate amounts of vitamin B₆. Plant-based foods contain a high level of the PNG form of vitamin B₆. It was stated specifically that the bioavailability of foods containing the PNG form is very low. As is known, vitamin B₆ is essential for the metabolism of protein. As cereals and legumes contain high levels of protein; according to vitamin B₆ requirements, these foods should be consumed along with animal-based foods with high bioavailability. Additionally, processed milk products (cheeses, kashar cheese) contain high amounts of protein while they contain low amounts of vitamin B₆. Specifically, vitamin B₆ converts homocysteine into cysteine resulting from the methionine metabolism. Thus, serum homocysteine levels may increase vitamin B₆ deficiency. Therefore, other foods rich in vitamin B₆ may be consumed along with this group of foods.

4. Conclusion

In many studies in the literature and food composition databases, vitamin B₆ is given as the sum of the PL, PN and PM forms. This study is the most comprehensive profile-specification study of vitamin B₆ in animal-based foods so far. When we evaluated the results, the animal-based foods contained high amounts of vitamin B₆ as well as high levels of the PL form which is important in the metabolism of amino acids. Vitamin B₆ plays an important role in the metabolism of protein as well as in the reduction of the levels of serum AGEs and homocysteine. The occurrence rates of the PL, PN and PM forms of vitamin B₆ vary based on animal groups. This profile determination study will be an important source for various diets.

Acknowledgments

We thank the İstanbul Sabahattin Zaim University for their support.

References

[1] Ball, G.F.M. (2004). Vitamin B₆. Vitamins: Their Role in the Human Body. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK. 310-325.

- [2] Bilski, P., Li, M.Y., Ehrenshaft, M., Daub, M.E. and Chignell, C.F. (2000). Vitamin B6 (pyridoxine) and its derivatives are efficient singlet oxygen quenchers and potential fungal antioxidants. *Photochemistry and Photobiology* 71:129–34.
- [3] Bowers, J.A. and Craig, J. (1978). Components of vitamin B6 in turkey breast muscle. *Journal of Food Science*, 43(5):1619-1619.
- [4] Ceylan, Z., Yaman, M., Sağdıç, O. and Karabulut, E., Yilmaz, M.T. (2018). Effect of electrospun thymol-loaded nanofiber coating on vitamin B profile of gilthead sea bream fillets (*Sparus aurata*), *LWT* 98:162-169.
- [5] Drewke, C. and Leistner, E. (2001). Biosynthesis of vitamin B6 and structurally related derivatives. In *vitamins and hormones* (Litwack, G., ed.). Academic Press, San Diego, CA, 121–155.
- [6] DTU. (2018). National Food Institute - Technical University of Denmark (DTU), Danish Food Composition Databank. www.foodcomp.dk/fcdb_default.asp, Accessed December 21, 2018.
- [7] Esteve, M.J., Farre, R., Frigola, A. and Garcia-Cantabella, J.M. (1998). Determination of vitamin B (pyridoxamine, pyridoxal and 6 pyridoxine) in pork meat and pork meat products by liquid chromatography. *Journal of Chromatography A* 795:383–387
- [8] Food and Nutrition Board. (1998). *Vitamin B6: Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B6, Folate, Vitamin B12, Pantothenic Acid, Biotin, and Choline*, National Academy Press, Washington, DC. 150–95.
- [9] Gratacós-Cubarsí, M., Sárraga, C., Castellari, M., Guàrdia, M.D., Regueiro, J.A. and Arnau J. (2013). Vitamin (B1, B2, B3 and B6) content and oxidative stability of Gastrocnemius muscle from dry-cured hams elaborated with different nitrifying salt contents and by two ageing times. *Meat Science* 95(1):647-651.
- [10] Gregory, J. F. III., Trumbo, P. R., Bailey, L. B., Toth, J. P., Baumgartner, T. G. And Cerda, J. J. (1991). Bioavailability of pyridoxine-5'- β -D glucoside determined in humans by stable-isotopic methods. *Journal of Nutrition* 121:177–86
- [11] Gregory, J.F.III. and Ink, S.L. (1987). Identification and quantification of pyridoxine- β -glucoside as a major form of vitamin B6 in plant-derived foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 35:76–82.
- [12] Hansen, C. M., Leklem, J. E. and Miller, L.T. 1996. Vitamin B-6 status of women with a constant intake of vitamin B-6 changes with three levels of dietary protein. *Journal of Nutrition* 126:1891–901.
- [13] Jansen, M.C., Bueno-de-Mesquita, H.B., Buzina, R., Fidanza, F., Menotti, A., Blackburn, H., Nissinen, A.M., Kok, F.J. and Kromhout, D. (1999). Dietary fiber and plant foods in relation to colorectal cancer mortality: the seven countries study. *International Journal of Cancer* 81:174-179.
- [14] Kall, M. A. (2003). Determination of total vitamin B6 in foods by isocratic HPLC: a comparison with microbiological analysis. *Food Chemistry* 82(2):315-327.
- [15] Lebidzińska, A., Marcin, L.M. and Jadwiga, K.P.S. (2007). Reversed-phase high-performance liquid chromatography method with coulometric electrochemical and ultraviolet detection for the quantification of vitamins B1 (thiamine), B6 (pyridoxamine, pyridoxal and pyridoxine) and B12 in animal and plant foods. *Journal of Chromatography A* 1173(1–2):71-80.
- [16] Mann, D.L., Ware, G. M., Bonnin, E. and Eitenmiller, R.R. (2001). Liquid Chromatographic Analysis of Vitamin B6 in Reconstituted Infant Formula: Collaborative Study. *The Journal of AOAC International* 88(1):30-37(8).
- [17] Miller, J. W., Ribaya-Mercado, J. D., Russell, R. M., Shepard, D. C., Morrow, F. D., Cochary, E. F., Sadowski, J. A., Gershoff, S. N. and Selhub, J. (1992). Effect of vitamin B-6 deficiency on fasting plasma homocysteine concentrations. *American Journal of Clinical Nutrition* 55:1154–60.
- [18] Miller, L.T., Leklem, J.E. and Shultz, T.D. (1985). The effect of dietary protein on the metabolism of vitamin B-6 in humans. *Journal of Nutrition* 115:1663–72.
- [19] Mittenhuber, G. (2001). Phylogenetic analyses and comparative genomics of vitamin B6 (pyridoxine) and pyridoxal phosphate biosynthesis pathways. *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology* 3:1–20.
- [20] Mizushima, Y., Yoshida, S., Matsukage, A. and Sakaguchi, K. (1997). The inhibitory action of fatty acids on DNA polymerase β . *Biochimica et Biophysica Acta* 1336:509-521.
- [21] Nakamura, S. and Niwa, T. (2005). Pyridoxal phosphate and hepatocyte growth factor prevent dialysate-induced peritoneal damage. *Journal of The American Society of Nephrology* 16:44-150.
- [22] Olds, S.J., Vanderslice, J.T. and Brochetti, D. 1993. Vitamin B6 in Raw and Fried Chicken by HPLC. *Journal of Food Science* 58(3):505-507.
- [23] Rossouw, J.E., Labadarios, D., Davis, M. and Williams, R. (1978). Vitamin B6 and aspartate aminotransferase activity in chronic liver disease. *The South African Medical Journal*, 53(12):436-8.
- [22] Sang, Y.R. and Young S.K. (2018.) The Role of Advanced Glycation End Products in Diabetic Vascular Complications. *Diabetes and Metabolism* 42(3):188–195.
- [24] Slattery, M.L., Potter, J.D., Coates, A., Ma, K.N., Berry, T.D., Duncan, D.M. and Caan, D.J. (1997). Plant foods and colon cancer: an assessment of specific foods and their related nutrients (United States). *Cancer Causes Control* 8:575-590.
- [25] Su-Yen, G. and Mark, E.C. (2008). The Role of Advanced Glycation End Products in Progression and Complications of Diabetes. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 93(41):1143–1152.
- [26] TURKOMP. (2018). Turkish Food Composition Database, <http://www.turkomp.gov.tr/main>, Accessed December 21, 2018.
- [26] USDA. (2018). United States Department of Agriculture. USDA Food Composition Databases. Available at: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/>, Accessed December 21, 2018.
- [27] Wozenski, J.R., Leklem, J.E. and Miller, L.T. (1980). The metabolism of small doses of vitamin B-6 in men. *Journal of Nutrition* 110:275-285.



Kısıtlar Teorisinde Kapasite Kısıtı ve Bir Üretim İşletmesinde Uygulaması

Cem Akçimen^{1*}, Figen Antmen¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8475-1300)

(İlk Geliş Tarihi 13 Mart 2019 ve Kabul Tarihi 31 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.545139)

ATIF/REFERENCE: Akçimen, C. & Antmen, F. (2019). Kısıtlar Teorisinde Kapasite Kısıtı ve Bir Üretim İşletmesinde Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 618-626.

Öz

İşletmelerin karlılık hedeflerine ulaşabilmeleri için müşterilerinin taleplerini mümkün olduğunca hızlı, zamanında ve istenilen miktarlarda karşılamaları gerekmektedir. Aksi halde müşteri ve prestij kaybı yaşanabilir. Müşterilere zamanında, istenen miktarda ürün verebilmenin yollarından biri kapasitenin (iş gücü, makine, çalışma saati vb.) yeterli olabilmesidir. Bu çalışmada Kısıtlar Teorisi üzerinde durulmuş ve çalışma, kapasite kısıtı üzerine temellendirilmiştir. Kısıtlar Teorisi, işletmenin hedeflerine ulaşmasına engel olan problemleri belirlemeyi ve bu problemleri ortadan kaldırmayı hedefler. Aynı zamanda, bu problemler için gerekli olan değişiklik veya düzenlemelerin uygulanmasını sağlayan bir yönetim disiplindir. İşletmeler kısıtları tespit edip yöneterek üretim süreçlerini daha akıcı hale getirebilirler. Kısıtların yönetilmesi işletme içindeki darboğazların önüne geçilmesini sağlar. Bu sayede hem müşterilere zamanında talep miktarı kadar ürün sağlanır hem de kısıtlardan kaynaklı boşta bekleme süresi, stok maliyetleri vb. maliyetler azalır. Böylece firmanın kâr marjı yükselir ve pazar payı artar. Çalışmada Kısıtlar Teorisinin önemi üzerine durulmuş ve kapasite kısıtı üzerine bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulama yapılan imalat işletmesinin kârını arttırabilmek için Kısıtlar Teorisinin kullanılmasının yarattığı fayda gösterilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kısıtlar Teorisi, Kapasite Kısıtı, Katkı Payı, Optimum Kâr

Capacity Constraint in Theory of Constraint and its Application in a Production Enterprise

Abstract

The profitability of the enterprises of the demands of their customers as fast as possible in order to help achieve their goals on time and must meet the required quantities. Otherwise customer and prestige loses can be occurred. One of the ways to give the product to customers on time might be enough by the desired amount of capacity (manpower, machinery, working hours, etc.). In this study, we focused on the theory of constraints based on capacity constraint. Theory of constraints and identifying problems that kept it from achieving the objectives of the enterprise and aims to eliminate these problems. At the same time, management changes that are required for these problems that provides for the enforcement of discipline or regulations. Enterprises can make their production processes more streamlined by managing and detecting these constraints. Managing constraints provides a chance to avoid bottlenecks managing constraints in business. In this way, both constraints will crop up that is both timely to the customers the requested amount sourced from standby idle time, inventory costs, etc. costs are reduced. Thus, the share of the firm's profit margin rises and marketshare increases. The study focuses on the importance of the theory of constraints, and conducted a survey on the capacity constraint.

Keywords: Theory of Constraints, Capacity Constraints, Contribution, Optimum Profit.

*Sorumlu Yazar: Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye cem.akcimen@gmail.com

1. Giriş

Kısıtlar Teorisi, 1980'lerin başından itibaren bir dizi kitap ve makale şeklinde Eliyahu Goldratt tarafından geliştirilen, kısıtların yönetilmesi ve senkronize üretim yoluyla sürekli gelişmeyi hedef alan bir yönetim felsefesidir. Teori örgütün belirlediği hedeflere ulaşabilmesi için, yönetimin bazı kısıtlar üzerinde yoğunlaşması gerektiğini savunmaktadır (Büyükyılmaz ve Gürkan, 2009). Kısıtlar Teorisi'nin iki bakış açısı vardır. Bunlardan birincisi, işletmenin bir sistem olarak tanımlanması, ikincisi ise sürekli yenilenen gelişme sürecidir. Kısıtlar Teorisi'nde sistem, bir zincire benzetilmektedir. Zincirin gücü ise, en zayıf halkaya bağlıdır. Bu nedenle işletmenin performansını, bunun sonucuna bağlı olarak da elde edilecek işletme başarısını artırmak için kısıt, en etkin bir şekilde yönetilmelidir (Şahin, 2012). Sistemde bir noktada ortaya çıkan kısıt tüm sistemin etkinliğini bozacak, bu da firmanın kârlılığını olumsuz etkileyecektir. Bu nedenle firma yönetiminin, sistemde ortaya çıkan kısıtları belirleyip ortadan kaldırmaya çalışması gerekmektedir. Kısıtların belirlenip giderilmesi ile firmaların üretim süreci daha akıcı hale gelecek, kısıtlardan dolayı ortaya çıkan maliyetler azalacaktır. Bunların sonucu olarak da ürün kalitesi, firma kârlılığı ve verimliliği artacak, bu da firmaların rekabet ortamında müşteri ihtiyaçlarını kaliteli ürünlerle daha çabuk karşılamasıyla rekabet avantajını arttıracaktır (Küçükşavaş ve ark., 2005). Zaman ilerledikçe, teknoloji geliştikçe müşteri ihtiyaç ve beklentileri artmakta dolayısı ile yöneticilerin de istekleri değişmektedir. Bu isteklerin karşılanması firmanın ayakta kalabilmesi yani rekabet gücünü yükseltebilmesi ve piyasada belirleyici olması açısından büyük öneme sahiptir. Temel amaç müşteri memnuniyetini sağlamak ve firma karlılığını arttırmaktır. Bu sürecin doğru işleyebilmesi ve istenen sonuçları verebilmesi için müşteri memnuniyetinin en ekonomik şekilde karşılanması gerekmektedir. İşte bu noktada da Kısıtlar Teorisi yöneticilere karar verme aşamasında yardımcı olan bir yaklaşımdır. Kısıtların tespit edilmesiyle sorunların nereden kaynaklandığı veya başka bir deyişle darboğazın nerede olduğu görülür. Böylelikle yönetimin asıl odaklanacağı sorun belli olur. Sorunu çözmeye yönelik yöntemler, düzeltmeler, iyileştirmeler veya farklı sorun çözme teknikleri uygulanır ve daha sonra firmanın hedeflerine ulaşması sağlanmış olur. Piyasadaki bir imalat işletmesi için ürün yaşam döngülerinin uzatılması ve rekabet gücünün korunması için kısıtlar teorisinin sürekliliği önem arz etmektedir. Bu çalışmada kısıtlar teorisinden teorik olarak bahsedilmiş, daha önce yapılan çalışmalara değinilmiş, bir uygulamayla kapasite kısıtının iyileştirilmesi ile elde edilen sonuçlar incelenmiş ve kısıtlı katkı payı oranının işletmeler açısından etkisi gösterilmiştir. Çalışmanın geri kalan kısmı şu şekilde düzenlenmiştir: 2. kısımda kısıtlar teorisi ve dahilindeki kavramlardan bahsedilmiş, 3. kısımda konu ile ilgili literatür taraması yapılarak çalışmaların kısa bir özeti sunulmuştur, 4. Kısımda uygulama yapılan işletmede kısıtlar teorisinin faydası gösterilmiştir, 5. kısımda genel değerlendirme yapılarak sonuç ifade edilmiştir.

2. Kısıtlar Teorisi

Kısıtlar teorisi sistem geliştirmeye odaklanır. Sistem birbirine bağlı bir dizi süreçler olarak tanımlanır ve bu sistem bir zincire benzetilebilir. Zincir aynı hedef doğrultusunda beraber çalışan ve birbirine bağlı bir gruptur. Kısıt ise bu zincirde zayıf bir bağı temsil eder. Tüm zincirin performansı zayıf bağın kuvvetiyle sınırlıdır. Kısıtlar teorisi süreç üzerine yoğunlaşır (Nave, 2002).

Kısıtlar Teorisi belirli adımlardan oluşmaktadır ve bu adımlar aşağıda listelenmiştir (Geri ve Ahituv, 2008) :

1. Sistemin amacı belirlenir.
2. Performans ölçüleri belirlenir.
3. Sistemin kısıtları belirlenir.
4. Kısıtı ortadan kaldırılma yollarına karar verilir.
5. En uygun yol (müşteri istekleri doğrultusunda maliyeti en az etkileyecek, karı arttıracak) seçilir.
6. Kısıt ortadan kaldırılır veya kısıtta iyileştirmeler, düzeltmeler yapılır.
7. Üçüncü aşamadan başlanarak döngü sürekli devam ettirilir.

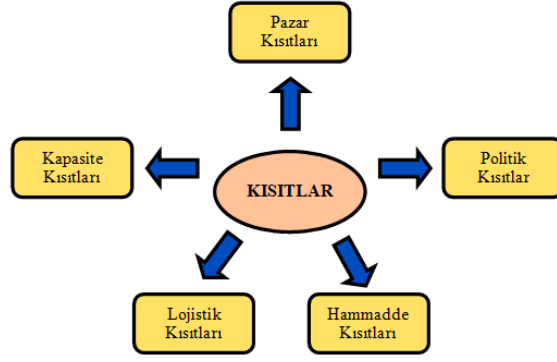
Kısıtlar Teorisinin esas amacı, eş zamanlı üretim yoluyla sürekli iyileştirme sürecini işletmede kurmaktır. Eş zamanlı üretim kavramı, pazardan gelen taleplere cevap verebilmek için verimli kaynaklar aracılığıyla malzemelerin hareket ettirilmesini sağlayan sistematik yöntem olarak tanımlanır. Kısıtlar Teorisi yaklaşımının yapmak istediği öncelikle kaynak kısıtları tespit etmek ve onları yönetmek için programlar yapmaktır (Erol, 2008). Kısıtlar teorisinin amacı firmanın karlılık hedeflerine engel teşkil edebilecek kısıtların yönetimini sağlamaktır çünkü her firma işleyişi esnasında en az bir kısıtla karşılaşmaktadır. Üretim akıcı hale gelebilmesi için kısıtların tespit edilmesi ve ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu sayede üretim akıcılık kazanarak hem verimlilikte hem de karlılıkta artış meydana gelmektedir (Tiryakigil, 2011). Kısıtlar Teorisi'nin temel ilkeleri aşağıdaki gibi özetlenebilir (Akman ve Özcan, 2008):

1. Tüm sistemler ve süreçler birbirine bağlıdır ve zincire benzerler.
2. Her sistemde en az bir kısıt mevcuttur. Bu kısıt sistemdeki darboğaz ya da en zayıf halkadır.
3. Zincirin en zayıf halkasının güçlendirilmesi, yani bu kısıtın iyileştirilmesi sistemin tamamında performans artışı sağlar.
4. Kısıtlar türlerine göre politika, planlama, davranış, kapasite ve pazar kısıtları şeklinde sınıflandırılabilir.
5. Kısıt olmayan bir kaynak veya süreçte yapılacak herhangi bir iyileştirme sistemin toplam performansını etkilemeyecektir. Bu nedenle gereksizdir.

Kısıtlar teorisi sisteminde oluşan kısıt türleri aşağıda şekil 1'de gösterilmiştir.

Şekil 1'de gösterilen kısıt türlerini kısaca açıklayacak olursak;

1. Pazar Kısıtları: Pazar talebinde meydana gelen dengesizlik sonucu işletme kapasitesinde ortaya çıkan kısıt türüdür.
2. Politik Kısıtlar: Yöneticilerin yeteneksizlikleri sonucu karşılarına çıkan fırsatları değerlendirememesi sonucu ortaya çıkan kısıt türüdür.
3. Hammadde Kısıtları: Dış bir kaynak olan hammaddenin kit olması sonucu ortaya çıkan kısıt türüdür.



Şekil 1: Kısıt Türleri (Karagün ve Sözen, 2017)

4.Lojistik Kısıtlar: İşletme içinde uygulanan prosedürlerin işletme faaliyetlerini sınırlaması sonucu ortaya çıkan kısıt türüdür.

5.Kapasite Kısıtları: : İşletme kaynaklarının pazar talebi karşısında yetersiz kalması sonucu ortaya çıkan kısıt türüdür (Büyükyılmaz ve Gürkan, 2009).

2.1.Kapasite kavramı ve kapasite kısıtı

Kapasite konusu, 1920’lerden sonra işletmecilikte faaliyete geçirilen ve günümüzde önemle üzerinde durulan konulardan biridir. Çünkü “kapasite” kavramından, üretilecek ürünün nicelik, teslim zamanı ile kazanç ya da sosyal gereksinmenin karşılanmasındaki düzeyi anlaşılır (Demir ve Gümüşoğlu, 1998).

Üretim sürecindeki kısıtlar düşünüldüğünde, ilk akla gelen kısıtlardan birisi kapasite kısıtıdır. Çünkü hemen her firmada üretim sürecinin akışını olumsuz olarak etkileyecek, kapasitesi dar olan belirli kaynaklar bulunmaktadır. İşletmeler, stratejik misyonlarıyla tutarlı bir şekilde, mevcut ve gelecekteki talebi zaman ve miktar cinsinden karşılamak için yeterli kapasiteye ihtiyaç duyarlar. Kapasite, işletmenin üretim yeteneğinin bir ölçüsüdür ve “bir işletmede belli bir dönemde ulaşılabilecek çıktı hacmidir.” ya da “belli bir dönemde kullanılan üretim faktörleridir.” şeklinde tanımlanabilir (Üreten 1999).

Kapasite kararları, kullanılacak teknolojiye ilişkin stratejik kararlar da yakından ilgilidir ve büyük sermaye yatırımları gerektirir. İşletmelerde yatırım üzerinden getirinin önemli bir kriter olması nedeniyle, kapasite planlama kararlarının yol açtığı maliyetler ve sağlayacağı getiriler dikkatli bir şekilde değerlendirilmelidir. İşletme yöneticileri birçok nedenden dolayı kapasite kavramıyla yakından ilgilenirler. Bu nedenlerde ilki, mevcut ve gelecekteki talebi karşılamak üzere kapasite planlamasına ihtiyaç duyarlar. İkinci olarak, mevcut makinelerin bakım maliyetleri ve iş akışı da üretim kapasitesiyle yakından ilgili olup, bu durum üretim verimliliğini de etkilemektedir. Üçüncü olarak, karlı bir yatırım yapabilmek için önceden üretim kapasitesinin bilinmesi gerekir. İşletme yöneticileri rasyonel bir yatırım gerçekleştirebilmek ve yatırım maliyetleriyle yatırım gelirlerini dengeleyebilmek için kapasite seçimini dikkatli bir şekilde yapmalıdırlar (Bulut, 2004).

Belirli bir zaman aralığındaki üretim miktarı kapasite anlamına gelir ve eğer bu miktar müşterinin talep ettiği miktardan az ise burada bir kapasite kısıtının yani bir darboğazın varlığından söz edilebilir. Kapasite kısıtı iş gücü, makine, zaman gibi faktörlerden meydana gelebilmektedir. Bu faktörlerin talebi karşılayacak düzeye çekilmesi kapasite kısıtını ortadan kaldıracaktır. Kısıtın ortadan kalkması müşteriye zamanında, istenilen miktarda ürün tesliminin yapılması anlamına gelecek ve müşteri memnuniyeti sağlayacaktır. Fakat bu durumun sağlanması belki de firma karlılığını olumlu etkilemeyecektir. Bu çalışmada gerçekleştirilen uygulamada firmanın kaynaklarında herhangi bir değişime gidilmeden yani eldeki mevcut kaynaklarla gerçekte hesaplanan ürün karmasıyla, Kısıtlar Teorisi’nin saat başına düşen katkı payı ele alınarak hesaplanan ürün karması karşılaştırılmış ve kâra olan etkileri tartışılmıştır.

3.Literatür Taraması

Kısıtlar Teorisi hakkında Goldratt (1984) tarafından ilk çalışmaların yapılmış olmasına rağmen Wolfgang Mewes “Machtorientierte Führungstheorie” (1963) ve Energo-Kybernetic Sistemi (1971) güç odaklı yönetim teorisi üzerine ve darboğazlar teorisi üzerine yayınları bu teorinin temellerinin 1970’lere uzandığını göstermektedir. Goldratt’ın 1984 yılı basımlı “The Goal” adlı kitabında tanıttığı bu teori için “genel bir yönetim felsefesi anlayışı” demektir (Karagün ve Sözen, 2017).

Nave’in 2002 yılında gerçekleştirdiği çalışmada altı sigma, yalın düşünce sistemi ve kısıtlar teorisi karşılaştırılmıştır. Kısıtlar teorisine zincir benzetimi yapılmış ve kısıtın bu zincirdeki bir bağı temsil ettiği düşüncesiyle zincirin toplam gücünün bu bağın kuvveti olduğu belirtilmiştir. “Bir zincirin kuvveti en zayıf halkanın kuvveti kadardır.” sonucuna varılmış ve kısıtlar teorisinin beş adımı ayrı ayrı açıklanmıştır (Nave, 2002).

Küçüksavaş ve arkadaşlarının 2005 yılında yayımlanan çalışmalarında kısıtlar teorisinden teorik olarak bahsedilmiş; süreç, net kar ve yatırım karlılığı formüllerle ifade edilmiştir. Kısıtlar Teorisinin beş adımlı süreci açıklanmış ve kısıtlar teorisi üzeri bir işletmede bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulama neticesinde kısıtlar teorisi ile satışların ve toplam sürecin arttığı, yarı mamul stoklarının azaldığı ve bunların sonucu olarak da siparişlerin eksiksiz ve zamanında karşılanabildiği tespit edilmiştir (Küçüksavaş ve ark., 2005).

Büyükyılmaz ve Gürkan (2009) çalışmalarında, kısıtlar teorisi üzerine detaylı bir analiz gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada kısıtlar teorisi, özellikleri, işletmedeki kısıt türleri anlatılmıştır. Kısıtların yönetilmesi sürekli gelişim modeliyle gösterilmiştir. Son olarak da kısıtlar teorisinin işletmelere sağladığı faydalar ve kısıtlar teorisine yönelik eleştiriler ortaya konmuştur (Büyükyılmaz ve Gürkan, 2009).

Tiryakigil 2011 yılında yaptığı çalışmada öncelikle malzeme yönetiminin üretimdeki ve organizasyondaki yeri ve önemi üzerinde durmuştur. Kısıtlar teorisinin üretim sürecinde ele alınması ile ilgili Etapak Baskı ve Ambalaj San. Tic.A.Ş. işletmesinde bir uygulama gerçekleştirmiştir. Bu çalışma yardımıyla bir işletmenin kendi içinde bulunan kısıtlarını nasıl tespit edip aktif hale getireceği, ürün karmasını belirlerken izlemesi gereken yolu ve iyileştirmenin finansal değerler üzerinde meydana getirdiği değişimler ortaya konmaya çalışılmıştır (Tiryakigil, 2011).

2017 yılında Akman ve Özcan tarafından yapılan çalışmada kısıtlar teorisinin temel ilkelerinden ve beş aşamalı sürecinden bahsedilmiştir. Çalışma bünyesinde, 2005-2016 yılları arasında kısıtlar teorisi konusunda Türkiye’de yapılan makaleler incelenmiştir. Bu makalelerin Kısıtlar Teorisi felsefesini, yönetim sistemlerinin karşılaştırılmasını, düşünce süreçlerini, ürün karmasının belirlenmesini ve beş odaklanma adımının uygulamalarını açıklayan çalışmalar olduğu görülmüştür. Daha sonra bu makalelerle ilgili istatistikler değerlendirilmiştir (Akman ve Özcan, 2017).

Kaygusuz 2011 yılında kısıtların işletmenin performansını nasıl etkilediklerini incelemiş, kısıtların işletme performansı üzerindeki etkilerini göstergeler yardımıyla açıklamaya çalışmıştır. Özellikle maliyet-hacim-kar analizine odaklanmış, bir doğrusal programlama modeli oluşturarak kısıt ortamında maliyet-hacim-kar analizleri ve ilgili göstergeleri incelemiştir (Kaygusuz, 2011).

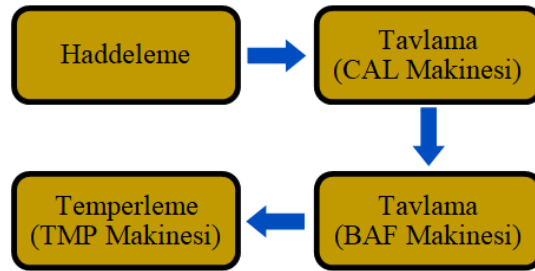
2017 yılında Karagün ve Sözen’in çalışmasında kısıtlar teorisi teorik olarak incelenmiş, kısıt türlerinden, kapasite kavramından ve çeşitlerinden bahsedilmiştir. Kısıtlı katkı payı açıklanmış ve bir uygulama ile kısıtlar teorisinin kara etkisi gösterilmiştir (Karagün ve Sözen, 2017).

Şahin’in 2012 yılında yaptığı doktora çalışmasında Kısıtlar Teorisi’nin tanımları, temel kavramları ve uygulamaları ile ilgili bilgiler verilmiştir. Motivasyonla ilgili teorik bilgiler sunulmuş, bir işletmenin başarısı ile ilgili temel kavramlar açıklanarak başarıyı etkileyen faktörler incelenmiştir. PVC sektöründe faaliyet gösteren bir sanayi işletmesinde, kısıtlar teorisine göre çalışanların motivasyon analizini yaparak, motivasyonun işletme başarısına etkisi araştırılmıştır. Kısıtlar Teorisi uygulaması ve gerçekleştirilen araştırma yöntemi açıklanarak, çalışma sonunda elde edilen araştırma bulguları değerlendirilmiştir (Şahin, 2012).

Bu çalışmayla, Kısıtlar Teorisi’nin saat başına düşen katkı payı ele alınarak hesaplanan ürün karmasıyla gerçekte hesaplanan katkı payına göre ürün karması karşılaştırılmış ve kârın nasıl etkilendiği incelenmiştir. Ek olarak ürün karmasının ve kârın bir optimizasyon yazılımında vereceği sonuçlar hesaplanmıştır. Böylece doğruluğu kesin bilgilere ulaşılabilmiş ve kâr açısından da daha net kararlar verilmiştir.

4. Bir İmalat İşletmesinde Kısıtlar Teorisi Üzerine Uygulama

Uygulamanın gerçekleştirildiği imalat işletmesi metal sektöründe faaliyet göstermektedir; kaplamalı ve kaplamasız olmak üzere iki çeşit ürün üretmektedir. Bu ürünler üç adet CAL, BAF ve TMP olarak simgelenen makinelerden geçip son ürün hallerini almaktadırlar. Uygulamanın bu işletmede yapılmasının sebebi karşılanamayan taleplerin olması ve bu nedenle işletmenin mevcut üretim kapasitesinde uyguladığı ürün karmasının en karlı yöntem olup olmadığını araştırmaktadır. Uygulamada bu makinelerin kapasite kullanım oranları üzerine inceleme yapılmış ve karda kısıtlar teorisiyle ne gibi bir değişim olacağı ortaya konmuştur. Her iki ürün çeşiti için geçerli olan üretim süreci aşağıda şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2: İşletme Akış Şeması

Ürün çeşitlerine ait üretim sürecinde öncelikle işletmeye sıcak bobin hammadde olarak gelir. Haddemeleme makinesinde hammadde istenilen kalınlığa göre haddelenerek inceltirilir. Daha sonra ürün üzerinde oluşan tufaller temizlenir. CAL ve BAF makinelerinde ürünler tavllanır ve TMP makinesinde temperleme işleminden sonra ürün son halini alır. Sistemde tavlama veya temperleme aşamalarında kapasite konusunda sıkıntı olduğu tahmin edilmiştir. Bu aşamalarda hizmet veren CAL, BAF ve TMP makinelerinin kapasite kullanım oranları incelemeye alınmıştır. Makinelerin kapasite kullanım oranlarının hesaplanabilmesi için gerekli olan verilerden birisi ürünlerin makinelerdeki birim işlem sürelerini hesaplamaktır. İşletmedeki makineler 24 saat çalışmaktadır. Aşağıda Tablo 1’de ürünlerin 24 saat içinde saatlik ortalama üretim miktarları verilmiştir. Tablo 1’de makineler “M.”, ürün birimleri “br.” ile kısaltılarak gösterilmiştir.

Tablo 1: Makinelerde günlük ortalama çıkan kaplamalı ve kaplamasız ürün miktarı

Saat	Kaplama Ürün			Kaplama Ürün		
	CAL M.	BAF M.	TMP M.	CAL M.	BAF M.	TMP M.
1. sa	30 br.	-	38 br.	27 br.	-	58 br.
2. sa	30 br.	57 br.	38 br.	27 br.	-	58 br.
3. sa	30 br.	-	38 br.	27 br.	102 br.	58 br.
4. sa	30 br.	70 br.	38 br.	27 br.	93 br.	58 br.
5. sa	30 br.	-	38 br.	27 br.	-	58 br.
6. sa	30 br.	-	38 br.	27 br.	-	58 br.
7. sa	30 br.	-	38 br.	27 br.	-	58 br.
8. sa	30 br.	-	38 br.	27 br.	89 br.	58 br.
9. sa	30 br.	70 br.	38 br.	27 br.	-	58 br.
10. sa	30 br.	-	38 br.	27 br.	-	58 br.
11. sa	30 br.	62 br.	38 br.	27 br.	-	58 br.
12. sa	30 br.	-	38 br.	27 br.	94 br.	58 br.
13. sa	30 br.	-	38 br.	27 br.	-	58 br.
14. sa	30 br.	-	38 br.	27 br.	-	58 br.
15. sa	30 br.	-	38 br.	27 br.	99 br.	58 br.
16. sa	30 br.	-	38 br.	27 br.	-	58 br.
17. sa	30 br.	-	38 br.	27 br.	-	58 br.
18. sa	30 br.	-	38 br.	27 br.	-	58 br.
19. sa	30 br.	-	38 br.	27 br.	-	58 br.
20. sa	30 br.	-	38 br.	27 br.	-	58 br.
21. sa	30 br.	67 br.	38 br.	27 br.	108 br.	58 br.
22. sa	30 br.	-	38 br.	27 br.	-	58 br.
23. sa	30 br.	-	38 br.	27 br.	-	58 br.
24. sa	30 br.	67 br.	38 br.	27 br.	-	58 br.
TOPLAM						
24 saat(1gün)	720 br.	393 br.	912 br.	648 br.	585 br.	1392 br.

Her bir ürün için makinelerdeki ortalama toplam üretim miktarları tablo 1’de görülmektedir. Bu veriler doğrultusunda makinelerin birim işleme süreleri hesaplanmış ve Tablo 2’de bu süreler verilmiştir. Ürünlere ait aylık talep miktarları Tablo 2 ve 3’de belirtilmiştir.

Tablo 2: Kaplamalı ürüne ait makinelerin birim işlem süreleri

KAPLAMALI ÜRÜN	
Aylık Talep	7.500 br/ay
Makinelerin Birim İşlem Süresi	
1.CAL	0,033 sa/br (24 saat/720 birim)
2.BAF	0,061 sa/br (24 saat/393 birim)
3.TMP	0,026 sa/br (24 saat/912 birim)

CAL makinesinde günlük ortalama 720 birim kaplamalı ürün üretilmektedir. Daha önce belirtildiği üzere makinenin günlük çalışma süresi 24 saattir. 720 birim üretim 24 saate bölünerek kaplamalı ürüne ait CAL makinesinin birim işlem süresi hesaplanmıştır. Aynı şekilde kaplamasız ürün için de ilgili makinedeki günlük ortalama üretim miktarı aynı makineye ait günlük çalışma saatine bölünerek ürünlere ait birim işlem süreleri hesaplanmıştır.

Tablo 3: Kaplamasız ürüne ait makinelerin birim işleme süreleri

KAPLAMASIZ ÜRÜN	
Aylık Talep	5.000 br/ay
Makinelerin Birim İşlem Süresi	
1.CAL	0,037 sa/br (24 saat/648 birim)
2.BAF	0,041 sa/br (24 saat/585 birim)
3.TMP	0,017 sa/br (24 saat/1392 birim)

Uygulama yapılan üretim işletmesinin kaplamalı ve kaplamasız ürünlerine gelen taleplerin hepsinin karşılanıp satılması için işletmenin aylık kapasitesinin yeterli olup olmadığının bilinmesi gerekmektedir. Kapasite kısıtı var olan makine veya makinelerin

tespitinden sonra ürün karmaları hesaplanıp kar kıyaslamaları yapılacaktır. İşletmenin kısıt tespitine ilişkin veriler aşağıdaki Tablo 4 ile verilmiştir. Tablo 4’de kaplamalı ürün “T”, kaplamasız ürün “S” ile ifade edilmiştir.

Tablo 4: Makinelere İlişkin Kapasite Kullanım Oranları

Makineler	Ürünler	Birim İşlem Süresi (1)	Talep Miktarı (2)	Aylık Gerekli Kapasite (3)=(1)x (2)	Toplam (Aylık) Kapasite (4)=24 saat x 20 gün	Kapasite Kullanım Oranı =(3)/(4)x 100
CAL	T	0,033 sa/br	7.500 br/ay	247,5 sa/ay	480 sa/ay	%90,1
	S	0,037 sa/br	5.000 br/ay	185 sa/ay		
Toplam(3)=				432,5 sa/ay		
BAF	T	0,061 sa/br	7.500 br/ay	457,5 sa/ay	480 sa/ay	%138
	S	0,041 sa/br	5.000 br/ay	205 sa/ay		
Toplam(3)=				662,5 sa/ay		
TMP	T	0,026 sa/br	7.500 br/ay	195 sa/ay	480 sa/ay	%58,3
	S	0,017 sa/br	5.000 br/ay	85 sa/ay		
Toplam(3)=				280 sa/ay		

Tablo 2 ve Tablo 3’te aylık gerekli kapasiteyi bulmak için ürünlere ait hesaplanan işlem süreleri talep miktarlarıyla çarpılmıştır. CAL makinesi için, her bir ürün tipi için birim işlem süresi talep miktarı ile çarpılarak ilgili ürünün aylık gerekli kapasitesi hesaplanmıştır. Bu iki değer toplanarak CAL makinesi için aylık toplam gerekli kapasite elde edilmiştir. Aylık kapasite Tablo 4’de belirtildiği üzere günlük 24 saat ve aylık 20 gün çalışma ile 480 sa/ay’dır. CAL makinesi için aylık gereken kapasite hesaplaması ile elde edilen 432,5 sa/ay kapasitesi, toplam(aylık) kapasite hesaplaması ile elde edilen 480 sa/ay kapasitesine bölünüp 100 ile çarpılarak bu makineye ait kapasite kullanım oranı elde edilir. Makineler tam kapasitelerinin üzerinde çalıştırılmaz yani makinelere ait kapasite kullanım oranının %100 (tam kapasite)’ü aşmaması gerekmektedir. Bu oranı aşması kısıtın yani darboğazın olduğunu göstermektedir. CAL makinesine ait kapasite kullanım oranının %90,1 olması bu makineye ait bir darboğaz olmadığı anlamına gelmektedir. Diğer makinelere ait kapasite kullanım oranları da bu şekilde hesaplanmaktadır.

TMP makinesi kapasitesinin %58,3 ‘lük kısmını kullanacağı için sistemde herhangi bir sıkıntıya yol açmayacak yani darboğaz oluşturmayacaktır. BAF makinesi bu talep karşısında kapasitesinin teorik olarak %138’ini kullanmaktadır. Bu yüzdenin gerçekleşmesi mümkün değildir ve bu işletmede bir darboğazın olduğu anlamına gelmektedir. Dolayısıyla talep edilen ürünlerin tamamı karşılanamayacaktır. Darboğazın olduğu BAF makinesi ilerleyen aşamaların belirleyici unsuru olmuştur. Kısıtlar teorisinin BAF makinesine ilişkin veriler esas alınarak uygulanması belirlenmiştir.

Kaplamalı ve kaplamasız ürünlerin hangisine öncelik verileceği ile ilgili olarak işletme, katkı payını esas almaktadır. Katkı payı yüksek olan ürünün üretilebileceği kadar miktar üretilip geriye kalan kapasite kadar diğer ürün üretilmektedir. Ancak Kısıtlar Teorisi’ne göre esas alınan şey, katkı payının birim işlem süresine bölünerek elde edilen sonuçta yüksek değere sahip olan ürüne üretim önceliği verilmesidir. Ürünlere ait bilgiler Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5: Ürünlere İlişkin Veriler

	Kaplamalı Ürün	Kaplamasız Ürün
Satış Fiyatı	855 \$/br	640 \$/br
Değişken Maliyet	585 \$/br	550 \$/br
Katkı Payı(Satış F.-Değişken M.)	270 \$/br	190 \$/br
Talep Miktarı	7500 br	5000 br
Katkı payına göre üretim önceliği	1.	2.
Birim İşlem Süresi	0,061 sa/br	0,041 sa/br
Saat Başına Düşen Katkı Payı (Katkı Payı/Birim işlem süresi)	4426,2 \$/sa	4634,1
Saat başına düşen katkı payına göre üretim önceliği	2.	1.

Tablo 5'te görüldüğü üzere firmanın uyguladığı politikaya göre katkı payına göre üretim önceliği ile Kısıtlar Teorisine göre üretim önceliği birbirinden farklıdır. Bu yüzden iki yöntemle göre hesaplamalar yapıp kâr miktarlarına bağlı olarak yorumlar yapılacaktır. Öncelikle belirlenen üretim önceliklerine göre ürün miktarları aşağıda Tablo 6'da verilen şekilde hesaplanmaktadır.

Tablo 6: Üretim Önceliğine Göre Üretim Miktarı Hesaplanması

Makine	Ürünler	Birim İşlem Süresi (1)	Üretim Miktarı (2)	Gereken Kapasite (3)=(1)x(2)	Toplam Kapasite
Katkı Payına Göre Üretim Miktarı					
BAF	Kaplamalı	0,061 sa/br	7.500 br/ay	457,5 sa/ay	480 sa/ay
	Kaplamasız	0,041 sa/br	548 br/ay	22,5 sa/ay	
Saat Başına Düşen Katkı Payına Göre Üretim Miktarı					
BAF	Kaplamalı	0,061 sa/br	4.508 br/ay	275 sa/ay	480 sa/ay
	Kaplamasız	0,041 sa/br	5.000 br/ay	205 sa/ay	
Toplam(3)=				480 sa/ay	

İki yöntemde hesaplanan ürün karmalarına bakıldığında, saat başına düşen katkı payına göre üretim miktarının iki ürün için dengeli bir şekilde dağıldığı görülürken; katkı payına göre ise kaplamasız ürün için talep miktarının büyük bir oranının karşılanmadığı görülmektedir. Bu iki yöntemle göre kar hesaplamaları yapıp durum daha net görülebilecektir. Bu hesaplamalar Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7: Yöntemlere Göre Kar Hesaplamaları

	Kaplamalı Ürün	Kaplamasız Ürün
Katkı Payına Göre Üretim Önceliği		
Birim Satış Fiyatı	855 \$/br	640 \$/br
Birim Değişken Maliyet	585 \$/br	550 \$/br
Birim Katkı Payı (Satış F.-Değişken M.)(1)	270 \$/br	190 \$/br
Üretim Miktarı (2)	7.500 br	548 br
Katkı Payı = (1) × (2)	2.025.000 \$	104.120 \$
Toplam Katkı Payı (3)	2.129.120 \$	
Toplam Sabit Maliyet (4)	1.380.000 \$	
Toplam KAR = (3) – (4)	749.120 \$	
Saat Başına Düşen Katkı Payına Göre Üretim Önceliği		
Üretim Miktarı (5)	4.508 br	5.000 br

Katkı Payı × (5)	= (1)	1.217.160 \$	950.000 \$
Toplam Katkı Payı (6)		2.167.160 \$	
Toplam KAR (6) - (4)	=	787.160 \$	

Tablo 7’de görüldüğü üzere Kısıtlar Teorisi’ne göre (saat başına düşen katkı payına göre) hesaplanan kâr miktarı daha yüksek sonuç vermiş ve kârda 38.040 \$ artış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca problemin bir optimizasyon yazılımında vereceği sonuçlar da incelenmek istenmiştir. Bu sebeple problem optimizasyon yazılımında aşağıdaki kısıtlarla formüle edilmiştir;

Karar Değişkenleri

T: Kaplamalı ürün üretim miktarı

S: Kaplamasız ürün üretim miktarı

$$\text{Amaç Fonksiyonu} = \text{MAX}((270 * T) + (190 * S) - 1380000) \quad (1)$$

Kısıtlar

$$(0.033 * T) + (0.037 * S) \leq 480 \quad (2)$$

$$(0.061 * T) + (0.041 * S) \leq 480 \quad (3)$$

$$(0.026 * T) + (0.017 * S) \leq 480 \quad (4)$$

$$T \leq 7500 \quad (5)$$

$$S \leq 5000 \quad (6)$$

$$T \geq 0 \quad (7)$$

$$S \geq 0 \quad (8)$$

Belirtildiği üzere amaç fonksiyonunda T ve S sembolleri sırasıyla kaplamalı ve kaplamasız ürünlerin üretilmesi için gereken miktarı yani kârı maksimum yapacak üretim miktarını belirtmektedir. Denklem (1) ile ifade edilen amaç fonksiyonu, ilgili ürünün üretim miktarı ile o ürünün birim katkı payı çarpımlarının toplamlarından, toplam sabit maliyetin çıkartılması ile elde edilmiştir.

Denklem (2), CAL makinesine ait kısıt ifade etmektedir. Bu makine için kaplamalı ürüne ait birim işlem süresi (0.033) ile kaplamalı ürünün üretim miktarı çarpılır. Aynı şekilde kaplamasız ürünün birim işlem süresi (0.037) ile kaplamasız ürünün üretim miktarı çarpılır. Çarpımlardan elde edilen sonuçların toplamı makinenin aylık çalışma süresi yani kapasitesinden (480 saat) küçük veya eşit olması gerekmektedir. Çünkü bu çalışma süresinin üstüne çıkılması talep edilen miktarın tamamının karşılanmaması anlamına gelmektedir.

Denklem (3), BAF makinesine ait kısıt ifade etmektedir. Bu makine için kaplamalı ürüne ait birim işlem süresi (0.061) ile kaplamalı ürünün üretim miktarı çarpılır. Aynı şekilde kaplamasız ürünün birim işlem süresi (0.041) ile kaplamasız ürünün üretim miktarı çarpılır. Çarpımlardan elde edilen sonuçların toplamı makinenin aylık çalışma süresi yani kapasitesinden (480 saat) küçük veya eşit olması gerekmektedir. Çünkü bu çalışma süresinin üstüne çıkılması talep edilen miktarın tamamının karşılanmaması anlamına gelmektedir.

Denklem (4), TMP makinesine ait kısıt ifade etmektedir. Bu makine için kaplamalı ürüne ait birim işlem süresi (0.026) ile kaplamalı ürünün üretim miktarı çarpılır. Aynı şekilde kaplamasız ürünün birim işlem süresi (0.017) ile kaplamasız ürünün üretim miktarı çarpılır. Çarpımlardan elde edilen sonuçların toplamı makinenin aylık çalışma süresi yani kapasitesinden (480 saat) küçük veya eşit olması gerekmektedir. Çünkü bu çalışma süresinin üstüne çıkılması talep edilen miktarın tamamının karşılanmaması anlamına gelmektedir.

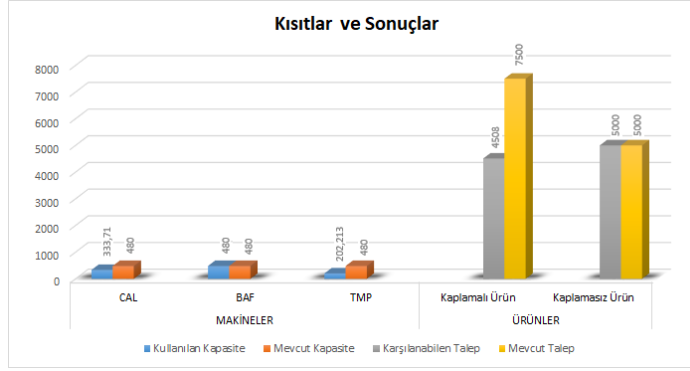
Kaplamalı ürüne ait talep kısıtı denkleminde kaplamalı ürünün üretim miktarının 7500 birimden küçük veya eşit olması gerektiği ifade edilmektedir. Aynı şekilde kaplamasız ürün için de üretim miktarının 5000 birimden küçük veya eşit olması gerektiği belirtilmektedir. Maksimum üretim miktarları talep edilen miktarlardır. Çünkü daha fazla üretim istenmemektedir. Bu sebeple kısıtlar talep miktarlarından eşit veya küçüktür. Bu optimizasyon yazılımının çıktıları kârı maksimum yapacak kaplamalı ve kaplamasız ürünlerin üretilmesi gereken miktarı ve elde edilecek maksimum kârı gösterecektir. Optimizasyon yazılımındaki çıktılar şunlardır;

Kaplamalı ürünü ifade eden T miktarı = 4.508 birim

Kaplamasız ürünü ifade eden S miktarı = 5.000 birim

Amaç fonksiyonu değeri = 787.213 \$

Amaç fonksiyonunun değeri karın en yüksek olduğu değerdir. Kaplamalı ürün miktarını ifade eden T değeri ve kaplamasız ürün miktarını ifade eden S değeri ise bu karı en yüksek yapacak yani optimum üretim miktarlarını göstermektedir. Kısıtlar ve sonuçları Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3: Kısıtlar ve Sonuçlar Sütun Grafiği

Şekil 3’de makinelere ait mevcut kapasitelerin aşılmadığı ve BAF makinesi kapasitesinin tamamının kullanıldığı görülmektedir. Optimizasyon yazılımının çıktılarına göre elde edilen sonuçlar kısıtlar teorisinin sonuçlarını doğrulamıştır. Bu da Kısıtlar Teorisi ile işletmenin kapasite kısıtını kullanarak darboğazın yönetilebileceğini ve maksimum kar miktarına ulaştırabilecek üretim miktarını belirlenebileceğini göstermektedir.

5.Sonuç

Yapılan çalışmada Kısıtlar Teorisi üzerinde durulmuştur. Gerçekleştirilen uygulamayla kısıtlar teorisinin işletmeye olan katkısının gösterilmesi hedeflenmiştir. Firmanın mevcut kaynaklarında herhangi bir değişikliğe gidilmeden talep edilen ürünlere ait kâr getirisi en yüksek olan ürün karması oluşturulmuştur. İşletmenin geçerli işleyişinde katkı payı daha yüksek olan ürünün öncelikle üretilmesindeki ürün karması ile Kısıtlar Teorisi’ne göre elde edilen ürün karması kâr bakımından kıyaslanmıştır ve Kısıtlar Teorisi’ne göre ürün karmasında kâr getirisinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Aynı zamanda bir optimizasyon yazılımında kısıtlara göre oluşturulan denklemler sonucunda ürün karmasının ve kâr miktarının sonuçları Kısıtlar Teorisi’nin verdiği sonuçlarla örtüşmüştür. Böylece işletmelerin kapasite kısıtını kullanarak darboğazı en optimum şekilde yönetebileceği gösterilmiş ve üretim işletmelerinde yönetimin verdiği kararların kâr veya zarar üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan çalışmayla firmanın mevcut üretim karmasında değişikliğe gidip Kısıtlar Teorisi’ne göre oluşturulan ürün karmasının kullanılması firmanın kârlılığını, devamlılığını ve sürdürülebilirliğini arttırabileceği konusunda olumlu sonuçlar doğurmuştur.

Bundan sonra yapılacak çalışmalar için Kısıtlar Teorisi’nin kullanılabilirliği alanlardan olan kapasite kısıtı dışındaki kısıtların firmaların kârını nasıl etkilediğini incelemek olabilir.

Kaynakça

- Büyükyılmaz O., Gürkan S. 2009. Süreçlerde En Zayıf Halkanın Bulunması: Kısıtlar Teorisi. ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi 5 (9), 177-195.
- Şahin Ş. 2012. Kısıtlar Teorisine Göre Sanayi İşletmelerinde Çalışanların Motivasyonu ve İşletme Başarısına Etkisi: PVC Üretim İşletmesi Üzerine Bir Uygulama. Doktora tezi, T.C. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı.
- Küçüksavaş N., Ünal E., Tanış V. 2005. Kısıtlar Teorisi Ve Bir Üretim İşletmesinde Uygulama. Ç.Ü. Sosyal Bilimler Dergisi 14 (2), 433-448.
- Nave D. 2002. How To Compare Six Sigma, Lean and the Theory of Constraints. Quality Progress 35 (3), 73-78.
- Geri N., Ahituv N. 2008. A Theory of Constraints approach to interorganizational systems implementation. Information Systems and e-Business Management 6 (4), 341-360.
- Erol M. 2008. Kısıtlar Teorisi(Yaklaşımı)ve Teorisinin Stratejik Maliyet Yönteminde Kullanımı. Muhasebe ve Finansman Dergisi (39), 101-109.
- Tiryakıgil S. 2011. Malzeme Yönetiminde Kısıtlar Teorisi İle Maliyet Azaltımı Ve Bir Uygulama, Yüksek lisans tezi, T.C. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı.
- Akman G., Özcan B 2017. Türkiye’de Kısıtlar Teorisi Ve Uygulamaları Konusunda Yapılan Çalışmalar: Literatür Taraması. Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 26 (2), 268-282.
- Karagün V., Sözen M. 2017. Kısıtlar Teorisinde Kapasite Kısıtı Ve Bir Uygulama. Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi 6 (2), 186-199.
- Demir M. H., Gümüšoğlu Ş. 1988. Üretim Yönetimi(İşlemler Yönetimi). Beta Yayınları.
- Üreten S. 1999. Üretim/İşlemler Yönetimi. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Bulut Z.A. 2004. İşletmeler Açısından Kapasite Planlaması Ve Kapasite Planlamasına Etki Eden Faktörler. Mevzuat Dergisi (80)
- Kaygusuz S.Y. 2011. Kısıtlar Teorisi ve Maliyet Hacim Kâr Analizi: Bir Çalışma Sayfası Modellemesi. Muhasebe ve Finansman Dergisi (52), 171-188.



Farklı Bölgelerden Toplanan Arı Polenlerinin Fizikokimyasal Özellikleri ve Şeker Profillerinin Belirlenmesi

Günay Başdoğan^{1,*2}, Osman Sağdıç¹, Tuğçe Daştan², Gamze Düz², Sezer Acar²

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Esenler-İstanbul (ORCID: 0000-0002-2063-1462)
² Balpamak Ar-Ge Merkezi, Çekmeköy-İstanbul (ORCID: 6213-4188-3276-1620)

(İlk Geliş Tarihi 4 Mart 2019 ve Kabul Tarihi 31 Mart 2019)

(DOI: 10.31590/ejosat.535054)

ATIF/REFERENCE: Başdoğan, G., Sağdıç, O., Daştan, T., Düz, G., Acar, S., (2019). Farklı Bölgelerden Toplanan Arı Polenlerinin Fizikokimyasal Özellikleri ve Şeker Profillerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 627-631.

Öz

Polen, bitkilerin erkek üreme organlarının başlıklarında bulunan bitkinin genetik özelliklerini taşıyan bitki tozu kesesidir. Arılar bitkileri ziyareti sırasında vücutlarına yapışan polenleri toplayarak kendi salgılarıyla birleştirerek arı polenini oluştururlar. Polen arıların beslenmesinde önemli bir yere sahiptir. Polenin duyuşal ve kimyasal özellikleri elde edildiği bölgenin bitki örtüsüne göre farklılık göstermektedir. Ülkemizde doğal bitki çeşitliliğinin fazla olması, ekim yapılan bitkiler için geniş plantasyon alanlarının ekim gerçekleştirilmediğinden dolayı yoğun olarak poliflora dediğimiz farklı çiçeklerin polenlerini içeren polen üretimi gerçekleştirilmekte, tek bir bitkinin poleninin bulunduğu monoflora üretimi az miktardadır. Bu nedenle çalışmada bölge bazlı inceleneme yapılmıştır. Çalışma kapsamında, zengin bitki örtüsüne sahip ülkemizin altı farklı bölgesindeki (Akdeniz, Doğu Anadolu, Ege, İç Anadolu, Karadeniz ve Marmara Bölgeleri) 21 farklı ilinde üretilen 34 adet arı poleni örneklerinin nem, kül, protein, yağ, lif değerleri ve şeker profili incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan numunelerin karbonhidrat ve enerji değerleri hesaplanmıştır. Nem ve kül analizi gravimetrik, yağ analizi weibull-stoldt, protein analizi kjeldahl yöntemiyle, şeker profili ise DIN 10758 metoduyla yapılmıştır. Çalışma sonunda ortalama protein %18,8±3,2; yağ %7,6±1,6; kül %2±0,5; lif %14,4±2,7; toplam şeker %40,9±6,4; karbonhidrat %54,6±5,8; glukoz %14,8±1,9; fruktoz %19,5±2,0; sakaroz %3,8±3,4; maltoz %0,9±0,6 ve turanoz %1,2±0,6 olarak saptanmıştır. Şekerlerden izomaltoz ve erloz sadece birkaç numunede tespit edilmiş, trehaloz, melezitoz, maltotrioz ise genel olarak numunelerde belirlenememiştir. İstatiksel olarak analiz sonuçları değerlendirildiğinde protein miktarı dışındaki parametrelerde bölgeler arasında önemli farklılıklar olduğu belirlenmiştir (p>0,05). Özellikle Doğu Anadolu Bölgesi'nden toplanan polenlerin diğer bölgelerden sağlananlara göre birçok parametrede ayrıldığı görülmektedir. Çalışmada incelenen tüm arı polenlerinin karbonhidrat, protein, yağ oranlarının ideal beslenme için önerilen oranlara uygun olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Arı poleni, fizikokimyasal özellikleri, şeker içeriği

Determination of Physicochemical Characteristics and Sugar Compositions of Bee Pollens Obtained From Different Regions

Abstract

Pollen is a plant powder sac in the head of male reproductive organs that carries the genetic characteristics of the plant. Bees collect pollen from plants during their visit and combine with own secretions to form bee pollen. Pollen has an important place in the feeding of bees. Sensory and chemical properties of pollen vary according to the vegetation cover of the region. In our country mostly produce polyfloral pollen than monofloral pollen due to high plant diversity and have not large plantation areas. Therefore, the region-based examination was conducted in the study. In the study were determined average moisture, ash, protein, fat, fiber contents and sugar compositions of 34 bee pollen samples obtained from 21 different provinces in six geographical regions (The Mediterranean, Eastern

* Sorumlu Yazar: Balpamak Ar-Ge Merkezi, Çekmeköy-İstanbul, Türkiye, ORCID: 6213-4188-3276-1620, gunaybasdogan@hotmail.com

Anatolia, Aegean, Central Anatolia, Black Sea and Marmara regions) of Turkey. Then, average carbohydrate and energy values of the samples were calculated. Moisture and ash analysis were done by gravimetric analysis, oil analysis by weibull-stoldt, protein analysis by kjeldahl method and sugar profile by DIN 10758 method. As a results of the study, the mean values were found as 18,8±3,2% protein; 7,6±1,6% fat; 2±0,5% ash; 14,4±2,7% fiber; 40,9±6,4% total sugar; 54,6±5,8% carbohydrate; 14,8±1,9% glucose; 19,5±2,0% fructose; 3,8±3,4% sucrose; 0,9±0,6% maltose; 1,2±0,6% turanose and 0,3±0,6%. It was observed that isomaltose and erlose sugars were only found in a few samples and generally trehalose, melesitose and maltotriose sugars were not found in the samples. When the results of the analysis were statistically evaluated, it was determined that there were significant differences between the regions without protein parameter ($p>0,05$). It is seen that pollen obtained from Eastern Anatolia region is separated from other regions about to various parameters. In this study, it was seen that all the bee pollen examined have suitable carbohydrate, protein and fat ratios for ideal nutrition.

Keywords: Bee pollen, physicochemical characteristic, sugar compositions

1. Giriş

Polen, bitkilerin erkek üreme organlarının başlıklarında bulunan bitkinin genetik özelliklerini taşıyan bitki tozu kesesidir. Hayvanlar, rüzgarlar, yağmurlar sayesinde bitkilerin polenleri bir bitkiden diğerine taşınarak bitkilerin devamlılığı sağlanır. Tozlaşma bitki devamlılığı için gerekli olup, bitkilerin tozlaşmasının büyük bölümü arı ve diğer hayvanlar tarafından gerçekleştirilir. Arıların hayatın devamı için gerekli en önemli görevi tozlaşmayı sağlamaktır (Çankaya, 2008). Arılar bal üretimi için gerekli olan nektarı toplamak için çiçekleri ziyaret ettiklerinde üzerlerine polen taneleri yapışır. Arılar üzerlerine yapışan polenleri ayakları vasıtasıyla toplar ve salgıladıkları tükürük salgısı ile birleştirerek polen peleti haline getirirler. Arılar oluşturdukları polen peletini arka ayağında bulunan polen sepeti vasıtasıyla taşıyarak kovana getirirler. Arıcular tarafından kovan önüne konan tuzak sayesinde arı poleni toplanır (Doğaroğlu, 2009). Polen peletlerinde genellikle bir bitkiye ait polen ağırlıklı olarak bulunmakta, yeterli polen kaynağı bulunmadığı durumlarda farklı polenlerde içerebilmektedir (Almeida-Muradian ve ark., 2005). Kovanın bulunduğu ortamdaki bitki çeşitliliğine göre polenin özellikleri ve üretim miktarı farklılık göstermektedir (Baydar, 1998).

Kovandan alınan polenin nem değeri, %20-%30 arasında değişmektedir. Bu değer mikroorganizmaların gelişmesi için uygun olduğundan dolayı polenin kalitesini koruması için soğukta muhafaza edilmesi veya kurutulmuş nem değerinin %4-8 arasına düşürülmesi gerekmektedir. Nem değeri polen için önemli bir kalite kriteri olup, farklı ülkelerin mevzuatında limit değer belirtilmektedir. Polenin nem değeri Brezilya standardında maksimum %4, İsviçre ve Polonya standardında maksimum %6, Uruguay standardında maksimum %8, Bulgaristan standardında %10 olarak belirtilmektedir (Campos ve ark., 2008).

Polen içerisindeki şeker kompozisyonunun büyük bölümünü glukoz, fruktoz ve sakkaroz şekerlerinden oluşturmaktadır. Polenin karbonhidrat miktarı toplam kompozisyonunun yarısına yakını oluşturmaktadır. Fruktoz /Glukoz oranı 1-2,5 arasında değişmektedir (Szczesna ve ark., 2002). Polen yapısı nedeniyle önemli bir lif kaynağıdır. Bell ve ark. (1983) tarafından yapılan çalışmada polenin lif içeriğinin %7 ila 20 arasında olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan araştırmalarda polenin içeriğinde tüm aminoasit türlerinin bulunduğu tespit edilmiştir. Polen içindeki aminoasitlerin %55'lik bölümünü prolin, glutamik ve aspartik asitler, lizin ve lösin aminoasitleri oluşturmaktadır (Szczesna ve ark., 1995, 1998). Brezilya polen standardında polenin protein değerinin minimum % 8 (kuru bazda) olması gerekliliği, Arjantin standardında ise 15- 28 (kuru bazda) arasında olması gerekliliği belirtilmektedir (Campos ve ark., 2008).

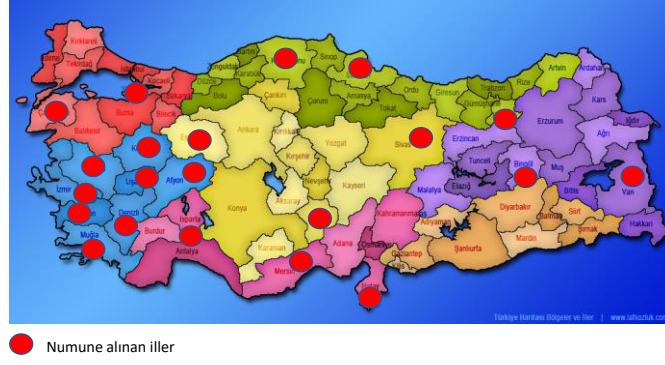
Polenin yağ yapısı botanik orijinine göre çok fazla değişiklik göstermektedir. Polenin yağ içeriğini ağırlıklı olarak mono, di, ve trigliseritler oluşturmakta, az miktarda yağ asitleri, steroller ve hidrokarbonlar bulunmaktadır (Serra-Bonvehi ve ark., 1987). Brezilya'nın polen standardında yağ miktarının minimum %1,8 olması gerektiği belirtilmektedir (Campos ve ark., 2008).

Domenici ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada, İtalya'da polen üretimi gerçekleştirilmiş, elde edilen polen botanik orijinine göre ayrıldıktan sonra analiz edilmiştir. Çalışma sonunda kestane, narenciye ve gülgiller polenin yağ değerlerinin sırasıyla, %2,07; %1,92 ve %2,83 olduğu, protein değerlerinin sırasıyla %26,57; %25,87; %28,42 olduğu ve kül değerlerinin sırasıyla %2,63; %2,55; %2,85 olduğu belirlenmiştir. Almeida-Muradian ve ark. (2005) tarafından yapılan benzer bir çalışmada Brezilya'da satılan 10 polen numunesi incelenmiş, çalışma sonucunda ortalama kuru bazda nem değeri %7,4, protein değeri %20, yağ değeri %6, kül değeri %2,2 olarak belirlenmiştir.

Bu araştırmada, zengin bitki örtüsüne sahip ülkemizin 6 farklı bölgesinden toplanan arı poleni numunelerinin nem, kül, yağ, protein, lif, karbonhidrat, şeker profili gibi temel kimyasal özellikleri belirlenerek, bölgeler arası farklılıklar belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan numuneler Türkiye'nin 6 farklı bölgesinde bulunan 21 farklı ilinden (Akdeniz Bölgesi: Hatay (2), Mersin (2), Isparta (1), Doğu Anadolu: Van (2), Bingöl (1), Ege Bölgesi: Afyon (1), Aydın (1), Denizli (1), İzmir (3), Kütahya (1), Manisa (1), Muğla(1), Uşak (1) İç Anadolu Bölgesi: Eskişehir (1) Niğde (1) Sivas (2), Karadeniz Bölgesi: Bayburt(1), Kastamonu (5), Samsun(1), Marmara Bölgesi: Çanakkale (4), Yalova (1)) üretim yapan arıcılardan direkt temin edilmiştir (Şekil 1). Numuneler çalışma sırasında derin dondurucuda (-20°C) muhafaza edilmiştir. Hatay, Mersin, Van, İzmir, Sivas, Kastamonu, Çanakkale illerinden birden fazla numune temin edilmiş olup, çalışma toplam 34 numune ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Numune Alınan İller

Çalışma kapsamında numunelerin nem, kül, protein, lif, yağ, şeker bileşenleri (glukoz, fruktoz, sakkaroz, turanoz, maltoz, trehaloz, izomaltoz, erloz, melezitoz, maltotrioz) analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan karbonhidrat ve enerji değeri hesaplanmıştır.

Nem analizi halojen ısıtma ile çalışan gravimetrik esaslı nem tayin cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 5 g öğütülmüş arı poleni, numune kabına konularak sabit tartım değerine gelene kadar ısıtma işlemi (150 °C) uygulanmış, sabit tartım olduğunda cihaz üzerindeki değer okunarak ilk değer ile arasındaki fark nem değeri olarak belirlenmiştir (Almeida-Muradian ve ark., 2005).

Kül analizi için 600°C deki kül fırını kullanılmış, numuneler sabit tartıma gelinceye kadar kül fırınında bekletilmiştir.

Polen numunelerinin *protein tayini* için kjeldahl metodu kullanılmıştır (Rabie ve ark., 2014).

Numunelerdeki *yağ miktarı* Weibull-Stoldt metoduna göre soxhlet ekstraksiyonu ve yağın ekstrakte edilmesi için Bligh-Dyer metoduyla tespit edilmiştir (Almeida-Muradian ve ark., 2005).

Lif analizi için 1 gram numune tartılarak sırasıyla üzerine alfa-amilaz, proteaz ve alfa glukosidaz enzimleri ilave edilmiş, enzimlerin çalışabilmesi için ortam pH'si proteaz enzimi için pH 4, alfa glukosidaz enzimi için pH 7 olarak ayarlanmış, sıcaklık 60 °C'ye getirilmiştir. Tüm işlemlerden sonra etil alkol eklenerek gece boyunca bekletilmiş, en son etanol ve aseton ile yıkama işlemi gerçekleştirildikten sonra kuruması için etüve (105°C) bekletilmiş ve kuruma işlemi sonrası tartım alınarak lif değeri belirlenmiştir.

Polende *şeker profili* DIN 10758 metodu kullanılarak HPLC cihazında (Waters, Alliance, İngiltere) gerçekleştirilmiştir. Analiz için 1 gram numune tartılmış, su ve asetonitril ilave edilerek çözöldürülmüştür. Elde edilen çözeltideki proteinleri uzaklaştırmak için sırasıyla hekzasianoferrat (II) trihidrat, çiknoasetat dihidrat çözöltileri ilave edilerek karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem 3 kere tekrarlanmış, en son elde edilen numune filtre edilerek Thermo APS-2 Hypersil kolon ve asetonitril su karışımı mobil faz olarak kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Pik alanı esas alınarak eksternal standart ve tek noktalı kalibrasyonla miktar tayini yapılmıştır.

Numunelerin *karbonhidrat değeri* Karbonhidrat=100-(Nem + Kül+ Protein + Yağ) hesaplaması ile belirlenmiştir (Kethar ve ark. 2014). Enerji değeri 1 g protein ve karbonhidrat için 4 kcal, 1 g yağ için 9 kcal olacak şekilde hesaplanmıştır (TGK, 2017).

3. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel değerlendirme SPSS programı kullanılarak yapılmıştır. Gruplar arasındaki karşılaştırma One-Way ANOVA metoduyla ve bölgeler arasındaki farklılık Duncan testi ile belirlenmiştir. Sonuçlar ortalama ve ± standart sapma olarak gösterilmiş ve p<0,05 anlamlılık düzeyi olarak kabul edilmiştir.

4. Bulgular

Bölge bazlı analiz sonuçlarının ortalaması ve istatistiksel gruplandırma Tablo.1 de verilmiştir. Numunelerin nem değerlerinin %7,7 ile 22,4 arasında olduğu belirlenmiştir. Elde edilen nem değerleri değerlendirildiğinde numunelerin bazılarının kurutma işlemine tabi olduğu bazılarının yarı kurutma, bazılarının ise hiç kurutma işlemine tabi olmadığı tespit edilmiştir. Numunelerin toplam protein değerlerinin bölgesel bazlı ortalamasının %16,6-20,2 arasında değiştiği ve bölgeler arasında anlamlı bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir (p<0,05). Numunelerin ortalama protein değerinin %18,8 ± 3,2 olduğu ve numunelerin %30'unun değerinin %20'den fazla olduğu belirlenmiştir. Numunelerin toplam yağ değerlerinin %5,5 ile 11,2 arasında değiştiği ve istatistiksel değerlendirme yapıldığında Doğu Anadolu Bölgesi ile Akdeniz bölgesinin yağ değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Numunelerin ortalama yağ değerinin %7,6±1,6 olduğu tespit edilmiştir. Numunelerin toplam kül değerlerinin %1,2 ile 3 arasında değiştiği ve bölgesel olarak sonuçlar incelendiğinde Doğu Anadolu bölgesinin diğer bölgelerden anlamlı düzeyde farklı olduğu görülmüştür. Numunelerin ortalama kül değerinin %2±0,5 olduğu belirlenmiştir. Numunelerin toplam lif değerlerinin %9,7 ile 19,4 arasında değiştiği ve bölgesel bazlı İç Anadolu Bölgesi ile Akdeniz Bölgesinin anlamlı düzeyde farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Numunelerin ortalama lif değerinin %14,4±2,7 olduğu ve numunelerin %30'unun değerinin %16'dan büyük olduğu belirlenmiştir. Numunelerin toplam şeker değerlerinin %31,6 ile 51 arasında değiştiği ve bölgesel bazlı istatistiksel olarak değerlendirildiğinde ise Karadeniz ve Marmara Bölgelerinin ilk grubu oluşturduğu, Akdeniz ve Doğu Anadolu'nun ise farklı ikinci grubu oluşturduğu tespit edilmiştir. Numunelerin ortalama şeker değerinin %40,9±6,4 olduğu belirlenmiştir. Numunelerin şeker profilleri incelendiğinde şeker içeriğini glukoz, fruktoz, sakkaroz, turanoz, maltozun oluşturduğu, izomaltoz ve erlozun sadece birkaç numunede tespit edildiği, trehaloz, melezitoz, maltotriozun genel olarak numunelerde bulunmadığı tespit edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 1. Türkiye'nin Farklı Bölgelerinden Elde Edilen Polenlerin Kimyasal Özellikleri

Özellikler (%)	Bölgeler						
	Akdeniz (n=5)	Doğu Anadolu (n=3)	Ege (n=10)	İç Anadolu (n=4)	Karadeniz (n=7)	Marmara (n=5)	Genel Ortalama (n=34)
Nem	13,1±3,0 ^a	13,7±0,3 ^{ab}	17,2±4,1 ^{abc}	14,3±4,8 ^{ab}	21,4±4,0 ^c	18,3±2,1 ^{bc}	17,0±4,4
Kül	2,3±0,6 ^{ab}	2,6±0,4 ^b	1,7±0,4 ^a	2,1±0,3 ^{ab}	1,9±0,3 ^a	1,9±0,6 ^a	2±0,5
Protein	19,5±3,3 ^a	19,8±3,6 ^a	16,6±3,7 ^a	19,4±2,6 ^a	20,2±2,4 ^a	19,6±2,6 ^a	18,8±3,2
Yağ	9,2±1,1 ^b	6,5±0,3 ^a	7,5±1,7 ^{ab}	7,4±2,1 ^{ab}	6,9±1,4 ^a	8,3±1,6 ^{ab}	7,6±1,6
Lif	17,2±1,3 ^b	15,9±0,5 ^{ab}	14±2,5 ^{ab}	13,2±1,7 ^a	14,2±2,6 ^{ab}	13,1±4,0 ^a	14,4±2,7
Karbonhidrat	56±5,6 ^{ab}	57,3±3,5 ^b	57±6,1 ^{ab}	56,9±3,7 ^{ab}	49,6±6,2 ^a	51,9±2,5 ^{ab}	54,6±5,8
Enerji (kcal)	350±10,6 ^b	335,3±3,2 ^{ab}	333,7±17,1 ^{ab}	345,4±19,4 ^b	312,7±20,9 ^a	334,1±14,3 ^{ab}	333,3±19,6

* a, b, c, ab, bc : İstatiksel olarak farklı grupları göstermektedir.

Tablo 2. Türkiye'nin Farklı Bölgelerinden Elde Edilen Polenlerin Şeker Profilleri

Şeker Profili (%)	Bölgeler						
	Akdeniz (n=5)	Doğu Anadolu (n=3)	Ege (n=10)	İç Anadolu (n=4)	Karadeniz (n=7)	Marmara (n=5)	Genel Ortalama (n=34)
Glukoz	15,5±1,8 ^a	17,7±1,8 ^b	14,6±1,1 ^a	14,8±1,4 ^a	14,6±2,5 ^a	13,2±1,2 ^a	14,8±1,9
Fruktoz	20±1,2 ^a	22,7±2,3 ^b	18,8±1,5 ^a	19,9±0,9 ^a	19,7±2,2 ^a	17,8±1,1 ^a	19,5±2,0
Sakkaroz	7,2±3,2 ^b	3,4±1,5 ^{ab}	4,3±3,9 ^{ab}	3,5±3,2 ^{ab}	2,1±3,2 ^a	2,6±2,1 ^{ab}	3,8±3,4
Maltoz	1,3±0,5 ^{ab}	1,4±0,9 ^b	0,7±0,7 ^{ab}	0,9±0,4 ^{ab}	0,8±0,4 ^{ab}	0,5±0,5 ^a	0,9±0,6
Turanoz	1,6±0,3 ^a	1,1±0,4 ^a	1,2±0,8 ^a	1,3±0,2 ^a	0,9±0,5 ^a	1,1±0,6 ^a	1,2±0,6
Trehaloz	-	-	-	-	0,1±0,3 ^a	-	-
İzomaltoz	0,9±0,9 ^b	0,4±0,7 ^{ab}	0,4±0,9 ^{ab}	0,1±0,2 ^{ab}	-	0,1±0,2 ^{ab}	0,3±0,6
Erloz	0,4±0,3 ^a	0,3±0,1 ^a	0,4±0,6 ^a	0,7±0,9 ^a	0,2±0,4 ^a	0,3±0,7 ^a	0,4±0,5
Melezitoz	0,1±0,2 ^{ab}	0,2±0,3 ^b	-	-	-	-	-
Maltotrioz	-	-	-	-	-	-	-
Toplam Şeker	47±5,1 ^b	47,2±4,1 ^b	40,4±5,8 ^{ab}	41,1±6,2 ^{ab}	38,3±6,7 ^a	35,7±3,9 ^a	40,9±6,4

-: Tespit edilemedi. a, b, c, ab: İstatiksel olarak farklı grupları göstermektedir.

5. Tartışma ve Sonuç

Çalışmada elde edilen analiz sonuçları literatürdeki değerlerle karşılaştırıldığında (Tablo 3) incelenen polenlerin yağ değerinin İtalya, Suudi Arabistan ve Sırbistan bölgelerinden elde edilen polenlerle yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre daha yüksek olduğu, İtalya bölgesinden elde edilen polenlerle benzerlik gösterdiği görülmektedir. Benzer şekilde protein içeriğinin de Suudi Arabistan ve Sırbistan polenlerine göre daha yüksek olduğu, Brezilya poleni ile benzer özellik gösterdiği görülmektedir. Liolios ve ark. (2018) 117 polen numunesinin şeker profilini incelemek için yaptığı çalışmada glukoz içeriği %13,6- 27,7; früktoz içeriğinin %15,5-33,5 aralığında değiştiği Türkiye'den elde edilen polenlere göre değer aralığının geniş olduğu görülürken toplam şeker içeriğinin benzer ortalamaya sahip olduğu görülmektedir. Polenin kimyasal yapısı daha çok bitki türüne göre değişim göstermektedir. Bell ve ark. (1983) tarafından yapılan çalışmada okalipütüs türleri arasında bile farklılıklar olduğu görülmüştür. Çalışmada Denizli ilinden elde edilen en yüksek protein içeriğine sahip polenin botanik orijinin ağırlıklı haşhaş olduğu, en yüksek yağ içeriğine sahip polenin ise turunçgil, zeytin, lahanagiller ve engerek otu gibi farklı bitki türlerinin karışımı olduğu görülmüştür. Ülkemizin bitki çeşitliliği ve ekim yapısı nedeniyle polifloral polen üretimine uygundur, monofloral üretim kısıtlıdır, bu nedenle çalışmada farklı illerden elde edilen polifloral polenler kullanılmıştır. Polenin standardizasyonunun yapılabilmesi için bitki türlerine göre ayrılması büyük önem taşımaktadır. Bu amaca yönelik olarak sanayi kuruluşları tarafından bitki türüne göre polenlerin ayrılarak standart polen üretimi konusunda çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Literatür ve çalışma sonuçlarından görüldüğü üzere polen besin değeri zengin bir üründür, bu özelliği ile tüm besin öğelerini içeren tam besin kategorisinde değerlendirilmektedir. 100 g polen günlük protein ihtiyacının %38'lik bölümü, şeker ihtiyacının %45, yağ ihtiyacının ise %10, lif ihtiyacını %58, karbonhidrat ihtiyacının % 21, enerji ihtiyacının %17'lik bölümünü karşılayabilmektedir.

Tablo 3. Çalışma Sonuçlarının Literatürlerle Karşılaştırması

Kaynak	Ülke	% Protein	% Karbonhidrat	% Yağ
Almeida-Muradian ve ark. (2005),	Güney Brezilya	17,0-25,0	41,1-60,4	5,0-9,0

Carpes ve ark. (2009),				
Domenici ve ark. (2015)	İtalya	25,5-28,7	52,7-59,9	1,7-3,0
Nogueira ve ark. (2012)	Portekiz ve İspanya	-	67,6-84,8	-
Kostic ve ark. (2015)	Sırbistan	14,8-27,3	64,4-81,8	1,31-6,78
Taha (2014)	Suudi Arabistan	14,6-19,5	-	1,8-5,4

Teşekkür

Çalışma kapsamındaki analizler Balparmak Ar-ge Merkezinde gerçekleştirilmiştir. Tüm Balparmak Ar-Ge Merkezi ekibine ve çalışmanın yapılması için gerekli imkanları sağlayan değerli yönetim kurulu üyelerimize sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kaynakça

- Almeida-Muradian, L.B., Pamplona, L.C., Coimbra, S., Barth, O.M. (2005). Chemical composition and botanical evaluation of dried bee pollen pellets. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18: 105–111.
- Baydar, H. (1998). Antalya doğal florasında bal arısı (*Apis mellifera*)'nın polen toplama aktivitesi, polen tercihi ve farklı polen tiplerinin morfolojik ve kalite özellikleri. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 22: 475–482.
- Bell, R.R., Thornber, E.J., Seet, J.L.L., Groves, M.T., Ho, N.P., Bell, D.T. (1983). Composition and protein quality of honey bee collected pollen of *Eucalyptus marginata* and *Eucalyptus calophylla*. *Journal Of Nutrition*, 113(12): 2479–2484.
- Campos, M.G.R., Bogdanov, S., Almeida-Muradian, L.B., Szczesna, T., Mancebo, Y., Frigerio, C., Ferreira F. (2008). Pollen composition and standardisation of analytical methods. *Journal of Apicultural Research and Bee World*, 47(2): 156-163
- Carpes, S.T., Alencar, G. B. M. S. M., Masson M.L. (2009). Chemical composition and free radical scavenging activity of *Apis mellifera* bee pollen from Southern Brazil. *Brazilian Journal of Food Technology*, 12 (3): 220-229.
- Çankaya, N., Korkmaz, A. (2008). Polen Kitabı. Samsun İl Tarım Müdürlüğü Çiftçi Eğitimi ve Yayım Şubesi Yayını, Samsun.
- Doğaroğlu, M. (2009). Modern Arıcılık Teknikleri Kitabı. 4. Basım Türkmenler Matbacılık.
- Domenici V., Gabriele, M., Parri, E., Felicioli, A., Sagona, S., Pozzo, L., Biondi, C., Pucci, L. (2015) Phytochemical composition and antioxidant activity of Tuscan bee pollen of different botanic origins. *Italian Journal of Food Science*, 27 (2): 248-259.
- Ketkar, S.S., Rathore A.S., Lohidasan, S., Rao, L., Paradkar, A. R., Mahadik, K.R. (2014). Investigation of the Nutraceutical potential of monofloral Indian Mustard Bee-Pollen. *Journal of Integrative Medicine*, 12: 379-389.
- Kostic, A.Z., Barac, M.B., Sladjana P.S., Milojkovic-Opseunica Zivoslav, D.M., Tesic, L., Radisic B.S., Prentovic, P.M., Pesic, M.B. (2015). Physicochemical composition and techno-functional properties of bee pollen collected in Serbia. *LWT - Food Science and Technology*, 62 (1): 301-309.
- Li, Q., Wang, K., Marcucci, M.C., Sawaya, A.C.H.F., Hu, L., Xue, X., Wua, L., Hu, F. (2018). Nutrient-rich bee pollen: A treasure trove of active natural metabolites. *Journal of Functional Foods*, 49: 472-484.
- Liolios, V., Tananaki, C., Dimou, M., Kanelis, D., Rodopoulou, M., A., Thrasylvoulou, A. (2018). Exploring The Sugar Profile Of Unifloral Bee Pollen Using High Performance Liquid Chromatography. *Journal of Food and Nutrition Research (ISSN 1336-8672)*.
- Nogueira, C., Iglesias, A., Feás, X., Estevinho, L.M. (2012). Commercial bee pollen with different geographical origins: a comprehensive approach. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(9): 11173-11187.
- Rabie, A.L., Wells, J.D., Dent, L.K. (1983). The nitrogen content of pollen protein. *Journal of Apicultural Research*, 22 (2): 119-123.
- Serra-Bonvehi, J., Casanova, T.M. (1987), Analytical study to determine moisture of pollen. *Anales de Bromatologia*, 39(2): 339–349.
- Szczesna, T., Rybak-Chmielewska, H., Chmielewski, W. (2002). Sugar composition of pollen loads harvested at different periods of the beekeeping season. *Journal of Apicultural Science*, 46(2): 107–115
- Szczesna, T., Rybak-Chmielewska, H. (1998). Some properties of honey bee collected pollen. In *Polnisch-Deutsches Symposium Salus Apis Mellifera, New Demands For Honey Bee Breeding in The 21st Century*. *Pszczelnicze Zeszyty Naukowe*, 42(2): 79–80.
- Szczesna, T., Rybak-Chmielewska, H., Skowronek, W. (1995). Alterations in the chemical composition of the pollen loads stored under various conditions: I. Sugars, fat and ash. *Zeszyty Naukowe*, 40: 145–156.
- Türk Gıda Kodeksi. (2017). Gıda Etiketleme ve Tüketicileri Bilgilendirme Yönetmeliği, 29960, Tarım ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Taha, E.A. (2014). Chemical composition and amounts of mineral elements in honeybee-collected pollen in relation to botanical origin. *Journal of Apicultural Science*, 59 (1): 75–81.