



ÖZEL SAYI/SPECIAL ISSUE 43
KASIM/NOVEMBER 2022

EUROPEAN JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi



E-ISSN 2148-2683

<https://dergipark.org.tr/en/pub/ejosat>

Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ
Editor-in-Chief and Editor

Prof. Dr. Hüseyin TOROS
Editor

Prof. Dr. Ahmet DOĞAN
Editor

Editorial Board Members

Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ
Subjects: Food Sciences and Engineering
Institution: Yildiz Technical University

Prof. Dr. Hüseyin TOROS
Subjects: Engineering
Institution: Istanbul Technical University

Prof. Dr. Ahmet DOĞAN
Subjects: Environmental Sciences and
Engineering, Geological Sciences and Engineering, Civil
Engineering
Institution: Yildiz Technical University

Prof. Dr. Osman TAYLAN
Subjects: Energy Systems Engineering, Machine
Learning, Quality Management, Artificial
Intelligence, Multiple Criteria Decision Making, Fuzzy Logic
Institution: Department of Industrial Engineering, Faculty of
Engineering, King Abdulaziz University.

Prof. Dr. Tuncay GÜMÜŞ
Subjects: Food Sciences and Engineering
Institution: Namık Kemal University

Assoc. Prof. Dr. Juliana JALALUDIN
Subjects: Air Pollution and Control, Environmental Sciences
and Engineering
Institution: Universiti Putra Malaysia, Faculty of Medicine
and Health Sciences, Department of Environmental and
Occupational Health

Asst. Prof. Dr. Abdulatef AHHMED
Subjects: Meat Technology
Institution: Aljfarah University

Prof. Dr. İskender AKKURT
Subjects: Physics, Computer Sciences and Engineering
Institution: Suleyman Demirel University

The European Journal of Science and Technology (EJOSAT) is a scientific and peer-reviewed journal published online four times in January, April, August, and November. The European Journal of Science and Technology is scanned in indexes such as Scilit, Index Copernicus, CiteFactor, International Innovative Journal Impact Factor, Eurasian Scientific Journal Index, SJIFactor, DRJI, Scientific Indexing Services and Google Scholar.

INDEX  COPERNICUS
I N T E R N A T I O N A L



<https://dergipark.org.tr/en/pub/ejosat>

e-ISSN 2148-2683

Determination of Glaucoma Disease with Gray Level Co-occurrence Matrix Features

Evin ŞAHİN SADIK

Sayfa: 1 - 5

Biyobozunur ZW21 Döküm Alaşımlarının Mikroyapı, Sertlik ve Korozyon Özelliklerini İncelenmesi
Kenza DJEBARI, Yunus TÜREN, Hayrettin AHLATCI, Levent ELEN

Sayfa: 6 - 12

B. terrestris L. 1758 (Insecta:Hymenoptera) Türünün Boraginaceae Familyasındaki Polinasyon
Biyolojisi Ve Morfolojisinin Araştırılması

Aysel KEKİLLİOĞLU, Ebru KUNDURACI

Sayfa: 13 - 16

Silybum marianum L. Gaertner'in Antioksidan Kapasitesi, Toplam Fenolik ve Flavonoid İçerikleri
Erten AKBEL, İbrahim BULDUK

Sayfa: 17 - 20

(s,S) Envanter Sisteminin Etki-Dayanıklılık Güvenilirliği

Özge BALTA, Sevcan DEMİR ATALAY

Sayfa: 21 - 26

Düşük Maliyetli Soğutulabilir İnsülin Kalem Kutusunun Tasarım ve Prototip İmalatı

Mustafa GÜNEŞ, Abdulhamit SEVGİ, Çiğdem SERDENGEÇTİ

Sayfa: 27 - 31

ISM 2.4 GHz Band Antenna Model for RF Energy Harvesting Systems

Cem GÖÇEN, İsmail AKDAG, Mehmet Ali BELEN, Peyman MAHOUTİ, Adnan KAYA, Merih PALANDÖKEN

Sayfa: 32 - 35

Vücut Seslerinden Bölge Tanımlanması için İdeal Kayıt Süresinin Belirlenmesinde MFCC ve GTCC
Özniteliklerinin Etkisinin Karşılaştırılması

Osman BALLI

Sayfa: 36 - 40

Importance of Edge Computing in Critical Manufacturing Systems: FPGA Implementation

Tuncay ERCAN

Sayfa: 41 - 47

Farklı Fiber Yönlenme Açılarının Tabakalı Kompozit Kirişlerin Doğal Frekansına Etkisinin Yanıt
Yüzey Metodu ile İncelenmesi

Sinan MARAŞ, Abdullah Tahir ŞENSOY

Sayfa: 48 - 54

Diş Renklenmeleri ve Güncel Tedavileri

Sevdiye BURKE, Begüm GÜRAY EFES

Sayfa: 55 - 68

Otsu ve Rocchio Metotlarıyla Beyin Tümörü Tespiti

Rıfat AŞLIYAN

Sayfa: 69 - 74

Development Study of Kalaodi Agrotourism Area in The City of Tidore Islands

Dini Sulfana DJUFRI, Muhammad IRFAN

Sayfa: 75 - 79

Brassica Bitki Türlerinde Transkripsiyon Faktörü DNA'sının Derin Öğrenme ile Sınıflandırılması
Ali Burak ÖNCÜL

Sayfa: 80 - 85

The Influence of Turbulence Models on the Numerical Modelling of a 3D Wing in Ground Effect

Yavuz Hakan OZDEMİR, Taner ÇOŞGUN

Sayfa: 86 - 90

İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

Performance Analysis of Air Fuel Heating Effects on Cogeneration Cycles

Rabi KARAALİ, Arzu KEVEN

Sayfa: 91 - 96

Exergy Analysis of Inlet Air Absorption Cooling Effects on Basic Cogeneration Systems

Rabi KARAALİ, Arzu KEVEN

Sayfa: 97 - 103

Askeri Alanda Endüstri 4.0 Uygulamaları

Güzide KARAKUŞ, İbrahim GÖNEN

Sayfa: 104 - 109

Farklı İklim Bölgelerinde Çatı Türünün Bina Isıtma ve Soğutma Yüküne Etkisi

Gökçenur ORHAN, Betül BEKTAŞ EKİCİ

Sayfa: 110 - 115

Cornus Alba Reinforced Polyester-Epoxy Hybrid Composite Production and Characterization

Abayhan BURAN, Murat Ersin DURĞUN, Ercan AYDOĞMUŞ

Sayfa: 116 - 120

Pandeminin Elektrik Enerji Sistemlerinin İşletilmesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Ali AJDER

Sayfa: 121 - 125

Structural Analysis of the Nose Landing Gear of a Fighter Aircraft

Gözde AYDIN, İbrahim OZKOL

Sayfa: 126 - 135

Türkiye'de Biyoteknoloji Girişimciliği Önündeki Engellerin SWARA Yöntemi İle Ağırlıklandırılması

Nazlı SEYHAN

Sayfa: 136 - 141



Determination of Glaucoma Disease with Gray Level Co-occurrence Matrix Features

Evin Şahin Sadık^{1*}

^{1*} Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Faculty of Engineering, Department of Electrical Electronics Engineering, Kütahya, Turkey ORCID: 0000-0002-2212-4210, evin.sahin@dpu.edu.tr

(4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, November 10 - 13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1202569)

ATIF/REFERENCE: Sadık Şahin, E., (2022). Determination of Glaucoma Disease with Gray Level Co-occurrence Matrix Features. European Journal of Science and Technology, (43), 1-5.

Abstract

Glaucoma is a disease that causes an abnormal increase in intraocular pressure and therefore causes permanent damage to the optic nerves. Early and accurate diagnosis of the disease, known as the most "insidious" disease among eye diseases, is important. In this study, glaucoma prediction application was performed from high-resolution fundus photographs taken from an open-source database. Correlation, energy, homogeneity, contrast and entropy features were extracted from the segmented photographs using the gray-level co-occurrence matrix. Extracted features were divided into 66% test and 33% training after taking their average values. A 3-fold cross-validation was applied to the data and a feedback artificial neural network, classification and regression trees algorithm and k nearest neighbor algorithm were trained using 66% of the data. Classification success was also tested with 33% of test data. As a result, glaucoma and healthy individuals were classified with an average of 86.7% accuracy with the k nearest neighbor algorithm, an average of 87.8% accuracy with the decision trees, and an average of 96.7% accuracy with the artificial neural network algorithm. According to the results obtained, it was seen that glaucoma disease could be detected with high accuracy with the gray-level co-occurrence matrix features of glaucoma disease.

Keywords: Artificial Neural Network, Fundus, Classification and Regression Tree, Glaucoma, Gray level Co-occurrence matrix, K-nearest neighbor.

Gri Seviye Eş Oluşum Matrisi Öznitelikleri ile Glokom Hastalığının Tespit Edilmesi

Öz

Glokom, göz iç basıncının anormal bir biçimde artmasına neden olan ve bu sebeple görme sinirlerinde kalıcı hasara yol açan bir hastalıktır. Göz rahatsızlıkları içerisinde en "sinsi" hastalık olarak bilinen hastalığın erken ve doğru teşhisi önemlidir. Bu çalışmada, açık kaynak bir veri tabanından alınan yüksek çözünürlüklü göz dibi (fundus) fotoğraflarından glokom tahmini uygulaması gerçekleştirilmiştir. Segmente edilmiş fotoğraflardan gri seviye eş oluşum matrisi kullanılarak korelasyon, enerji, homojenlik, kontrast ve entropi öznitelikleri çıkarılmıştır. Çıkarılan öznitelikler, ortalama değerleri alındıktan sonra %66 test ve %33 eğitim olarak ayrılmıştır. Verilere 3 kat çapraz doğrulama uygulanmış ve verilerin %66'sı kullanılarak geri beslemeli bir yapay sinir ağı, sınıflandırma ve regresyon ağaçları algoritması ve k en yakın komşuluk algoritması eğitilmiştir. %33 test verisi ile de sınıflandırma başarısı test edilmiştir. Sonuç olarak, k en yakın komşuluk algoritması ile ortalama %86,7 doğruluk, karar ağaçları ile ortalama %87,8 doğruluk ve yapay sinir ağı algoritması ile de ortalama %96,7 doğruluk ile glokom ve sağlıklı bireyler sınıflandırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre glokom rahatsızlığının gri seviye eş oluşum matrisi öznitelikleri ile glokom hastalığının yüksek doğrulukta tespit edilebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yapay Sinir Ağı, Göz Dibi Fotoğrafı, Sınıflandırma ve Regresyon Ağacı, Glokom, Gri seviye Eş oluşum matrisi, K-en yakın komşuluk.

1. Introduction

Glaucoma is a disease caused by increased intraocular pressure, which damages the main optic nerve of the eye, called the optic nerve. Glaucoma is an insidious disease that requires careful examination, which can be noticed in the very last stages of the disease. When glaucoma is detected late, it can cause serious damage to the optic nerves that cannot be compensated. If the necessary early intervention is not performed, it may result in blindness. It usually occurs when the eye nerves are negatively affected by this pressure, as a result of the inability of the intraocular fluid to drain from the eye canals and the increase in intraocular pressure. (Balci, Eraslan ve Temel, 2015). It is estimated that more than 67 million people worldwide are affected by glaucoma and 10% of these patients are at risk of blindness. It is estimated that 79.6 million people in the world may be affected by glaucoma by 2020 and 11% may be at risk of blindness. (Şatr, 2015). There is no known cure for the progression of glaucoma. In the loss of nerve tissues, they cannot be regenerated and are irreversible. Vision may be lost. In advanced cases, only treatments aimed at preserving the patient's remaining vision can be applied. Therefore, early diagnosis of the disease is vital (Ozkava et al., 2018).

Glaucoma detection can usually be done with very expensive methods such as Optical Coherence Tomography (OCT) and Heidelberg Retinal Tomography (HRT) (Nayak, Acharya U., Bhat, Shetty ve Lim, 2009). In order to be an alternative to these methods and to make an automatic diagnosis of glaucoma, glaucoma detection was performed by using fundus images and machine learning methods in this study. Medical innovations that increase the average life expectancy and quality of today's people mostly owe their development to the applications of the breakthroughs in technology in the field of medicine. For example, the development of medical imaging, image processing and data analysis techniques provides great convenience in the diagnosis and diagnosis of diseases. In addition, the use of classifier systems in medical diagnosis is increasing. Recent developments in the field of artificial intelligence have also led to developments in medical applications. Moreover, in recent years, computing tools have been designed to enhance the experience of doctors and medical professionals in making decisions about their patients. Expert opinion is still the most important factor in the diagnosis in the evaluation of the data obtained from the patients. However, today, it is tried to develop supporting tools for experts by using different artificial intelligence techniques. Classification systems can help diagnoses work more efficiently as well as increase the accuracy and reliability of diagnoses and minimize potential errors. Studies in the literature on these issues are increasing day by day (Abhishek et al., 2012; Delican et al., 2011; İlkuçar, 2015; Rouhani & Haghghi, 2009; Tomar & Agarwal, 2015).

In this study, it was aimed to distinguish the disease by using data obtained from high-resolution fundus images of healthy people diagnosed with glaucoma. The average of the gray level co-occurrence matrix features extracted from the fundus photographs of patients and healthy individuals were taken and compared with 3 different classification methods. In the second part of the study, the database used, the gray level co-occurrence matrix and the classification methods used are introduced, and in the third part, the analyzes are given. In the last section, the results and evaluations are presented.

2. Material and Method

As can be seen in Figure 1, the study consists of creating the data set, extracting the features, and classification. As a result, it is expected that glaucoma and normal eye images can be distinguished.

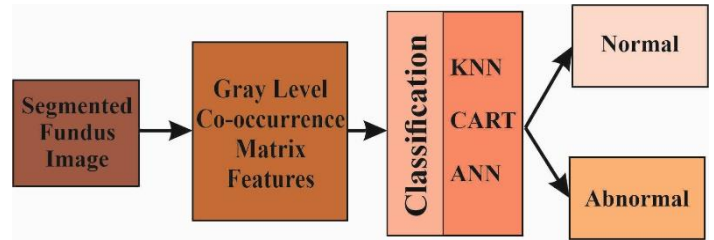


Figure 1. Block diagram of the study.

2.1. Dataset

In this study, images belonging to the "High Resolution Fundamental Images (HRF) Database" provided as open source by Friedrich-Alexander University Erlangen - Nürnberg were used. A research group created this database to support comparative studies on retinal fundus images using automatic segmentation algorithms. The dataset contains 30 images, 15 of which are healthy and 15 of which are from glaucoma patients. The images were captured with a Canon CR-1 fundus camera with a 45° field of view (Budai, Bock, Maier, Hornegger ve Michelson, 2013). Sample eyeball images of healthy and sick people in the database are shown in Figure 2. In the figure, the photo of the fundus of the eye with glaucoma, the photograph of the fundus of the healthy individual and the segmented forms of these photographs are given. The features used in the study were extracted from the segmented images.

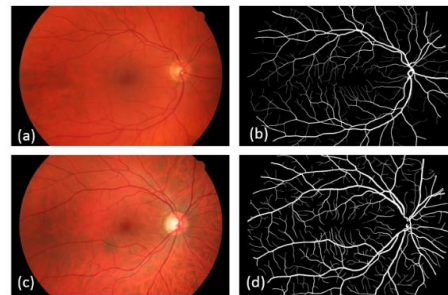


Figure 2. a) Fundamental image of an individual with glaucoma, b) Segmented image of the fundus of the eye with glaucoma, c) Fundamental image of a healthy individual, d) Segmented image of the fundus of the healthy eye.

2.2. Gray Level Co-occurrence Matrix

The Gray Level Co-occurrence matrix method is based on a second-order statistical image prediction that deals with the relationship between pixels or groups of pixels. It is a method of extracting features from RGB images to detect and classify images. In the method described by Haralick, 14 different image features are extracted for gray level differences between two pixels (Haralick, Shanmugam ve Dinstein, 1973). In this study, it was tried to classify patients and healthy people by using correlation, contrast, homogeneity, energy and entropy features. The expressions of the features used can be listed as follows:

- Correlation: It is a measure of gray level dependencies in the image as expressed by equation (1). Shows how pixels relate to their neighborhoods. Where σ_x and σ_y are the mean of the rows and columns of the probability density function P_{ij} used in the equations, σ_x and σ_y are the standard deviation of the rows and columns of the probability density function P_{ij} .

$$\frac{\sum_{i,j} P(i, j) - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y} \quad (1)$$

- Contrast: It examines the intensity and gray level changes of pixels in the image and their neighboring pixels. It is expressed by equation (2).

$$\sum_{i,j} |i - j|^2 P(i, j) \quad (2)$$

- Homogeneity: It is a measure of the distribution and closeness of the elements in the gray-level co-occurrence matrix of the image. It is shown by equation (3).

$$\sum_{i,j} \frac{P(i, j)}{1 + |i - j|} \quad (3)$$

- Energy: It is a measure of homogeneity of the image as expressed by Equation (4). Energy varies in direct proportion to homogeneity.

$$\sum_{i,j} P(i, j)^2 \quad (4)$$

- Entropy: Indicates the level of spatial irregularity of the gray levels in the image. It shown by equation (5).

$$-\sum_{i,j} P(i, j) \log P(i, j) \quad (5)$$

Sample eyeball images of healthy and sick people in the database are shown in Figure 2. In the figure, the photo of the fundus of the eye with glaucoma, the photograph of the fundus of the healthy individual and the segmented forms of these photographs are given. The features used in the study were extracted from the segmented images.

2.3. Artificial Neural Network (ANN)

Artificial neural network (ANN) is a system that tries to imitate the working logic of the brain. ANN consists of layers. Weighted connections are used and parallel and distributed computing is done with interconnected processing elements. It can be realized with electronic circuits as hardware or as software in computers. (Basheer ve Hajmeer, 2000).

2.4. Classification and Regression Tree (CART)

The classification and regression tree method was first developed by Breiman et al. in 1984. (Breiman vd., 1984). The classification and regression tree method is a non-parametric statistical method that uses categorical and continuous variables. When the dependent variable used is categorical, the CART is a classification tree, when continuous, it is a regression tree (Deconinck vd., 2005).

The CART algorithm basically creates a structure called a "decision tree" using historical data. Then it can classify the new data using the decision tree (Kantardzic, 2011). The most basic condition to be able to use CART is that you need to know the number of classes beforehand. CART uses historical data, which we can call learning data, whose classes we know, when constructing the decision tree. The decision tree basically consists of yes/no questions that break down the learning data into smaller pieces at each step (Rutkowski, Jaworski, Pietruczuk ve Duda, 2014). Learning data can continue to be split until each branch of the tree points to a class. A CART analysis usually consists of three steps. In the first step, a tree is created that closely describes the training set. This tree is called a maximal tree and is grown using the binary split procedure. In the next step, the overgrown tree is pruned. During this procedure, a set of less complex trees is derived from the maximum tree. In the last step, the tree with the most suitable tree size is selected using the cross validation procedure (Breiman vd., 1984).

The CART method is stable against outliers in the input data. Another advantage of the CART algorithm is that it is independent of the individual transformations applied to the input data. For example, the user can use the logarithmic expression or square root of a variable, if necessary. This transformation will not affect the decision tree. However, the CART algorithm can generate an unstable tree structure in some cases. For example, removing a few critical values from the input data can lead to very serious differences in the structure of the decision tree. In addition, since the CART method performs division by a single variable at each node, the decision tree can become complex in some cases, especially when it has non-linear input data.

2.5. K Nearest Neighborhood Method (KNN)

The KNN algorithm was first developed in 1967 and is a supervised, sample-based algorithm used for both classification and regression (Cover T ve Hart P, 1967). The KNN algorithm is one of the most basic and simple classification methods and can be one of the first choices for a classification study when there is little prior knowledge about the distribution of the data. The KNN algorithm is mathematically quite simple compared to other algorithms. It can determine the class of test data according to the positions of the training data in the sample space. For this, it uses the Euclidean distance relation mathematically. The KNN algorithm does not need a learning process and a classification relation after the learning process, so it is very fast. The implementation of the KNN algorithm is quite easy. All it needs is to determine the value of k and determine the positions with the distance function. However, the KNN algorithm may encounter performance loss in very large datasets, multidimensional datasets and datasets with outliers.

3. Results and Discussion

Classification results with artificial neural network, decision support trees algorithm and k nearest neighbor algorithm using gray level co-occurrence matrix features are as given in Table 1. Feed forward back propagation ANN model was used in the study. The tangent sigmoid was chosen as the transfer function. A single hidden layer with two neurons is used. Features extracted from masked images input; glaucoma/healthy (1/0) targets were used as outputs. The image of the ANN model performed in the MATLAB environment is given in Figure 3. The data were separated into training and test data by k-fold cross validation. The k value of 3 is chosen. 66% of the data is reserved for training

data and 33% is reserved for test data. As a result of the training of the Artificial Neural network, 96.7% accuracy was found using the test data.

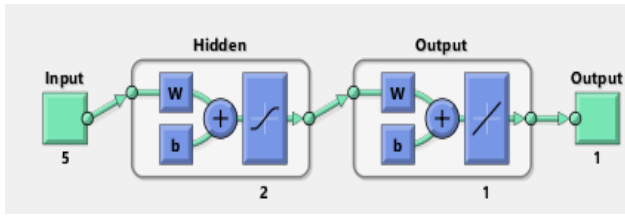


Figure 3. ANN model used in the study.

In K nearest neighbor classification, the data are separated as training and test data with k-fold cross validation. 66% of the data is reserved for training data and 33% is reserved for test data. As a result of classification, 86.7% accuracy was found by using test data.

In the decision tree classification, the data are divided into training and test data with k-fold cross validation. 66% of the data is reserved for training data and 33% is reserved for test data. As a result of classification, 85% accuracy was found using test data.

In Figure 4, the box plot showing the accuracy of the classification algorithms is given. The box plot gives a graphical representation of the obtained accuracy values based on quartiles. The box in the figure extends from the lower quartile to the upper quartile. The lines outside the box indicate the smallest accuracy value and the largest accuracy value obtained. The bed line inside the box shows the median accuracy value. As can be seen from the box plot, the classification accuracy obtained with the three classification algorithms deviated the most in the KNN algorithm. The highest accuracy value was obtained with ANN with an average of 96.67%.

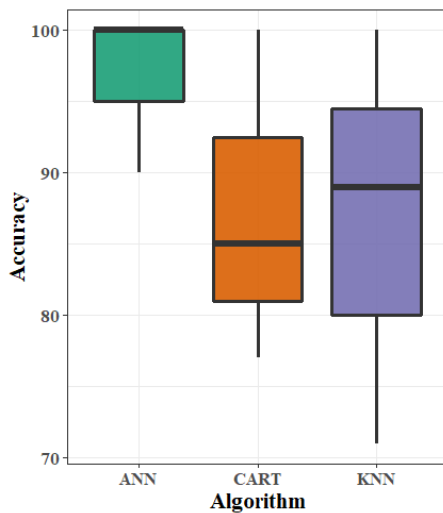


Figure 4. Box plot showing the accuracies of classification algorithms.

4. Conclusions and Recommendations

In this study, with the help of gray level co-occurrence matrix features from masked high resolution fundus photographs, the e-ISSN: 2148-2683

fundus photographs of healthy people and those with glaucoma were classified with the help of artificial neural networks, k nearest neighbor algorithm and decision trees algorithm. The classification results are as given in Table 1. K-fold cross-validation was performed in the classification and results were given for k=3. When the results obtained are examined, it is clearly seen that the highest accuracy is obtained with the ANN method. The good results presented demonstrated that ANN is a valuable alternative to classifying fundus images for glaucoma detection. With the help of the proposed method, glaucoma was detected with high accuracy. In future studies, performance improvement experiments can be made using more data, different features and other machine learning methods.

Table 1. Comparison of classification results.

k value	ANN Accuracy (%)	K-NN Accuracy (%)	CART Accuracy (%)
1	90	89	77
2	100	100	85
3	100	71	100
Mean±SD	96.7±5.77	86.7±14.6	87.8±11.7

5. Acknowledge

Part of the results of this study was presented as a summary paper at the 4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences (ICAENS) 10-13 November 2022.

References

- Abhishek et al. (2012). Proposing Efficient Neural Network Training Model for Kidney Stone Diagnosis. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 3, No.3(11), 3900–3904.
- Balci, S. Y., Eraslan, M. ve Temel, A. (2015). Glokom, Parkinson hastalığı ve nörodejenerasyon. *Marmara Medical Journal*, 28(1), 8–12. doi:10.5472/MMJ.2015.03691.1
- Basheer, I. A. ve Hajmeer, M. (2000). Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application. *Journal of microbiological methods*, 43(1), 3–31.
- Breiman, L., Friedman, J., Stone, C. J. ve Olshen, R. A. (1984). *Classification and regression trees*. CRC press.
- Budai, A., Bock, R., Maier, A., Hornegger, J. ve Michelson, G. (2013). Robust vessel segmentation in fundus images. *International Journal of Biomedical Imaging*, 2013, 1–22. doi:10.1155/2013/154860
- Cover T, M. ve Hart P, E. (1967). Nearest Neighbor Pattern Classification. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1–12.
- Deconinck, E., Hancock, T., Coomans, D., Massart, D. L. ve Vander Heyden, Y. (2005). Classification of drugs in absorption classes using the classification and regression trees (CART) methodology. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 39(1–2), 91–103.
- Delican, Y., Özyilmaz, L. ve Yildirim, T. (2011). Evolutionary algorithms based RBF neural networks for Parkinson's disease diagnosis. *ELECO 2011 - 7th International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, (1), 1–4.
- Haralick, R. M., Shanmugam, K. ve Dinstein, I. H. (1973). Textural features for image classification. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, (6), 610–621.

- İlkuçar, M. (2015). Kronik Böbrek Hastalarının Yapay Sinir Ağı ve Radyal Temelli Fonksiyon Ağı ile Teşhisi Diagnosis Chronic Kidney Disesa with Artificial Neural Network and Radial Basis Function Network, 6, 82–88.
- Kantardzic, M. (2011). *Data Mining: Concepts, Models, Methods, and Algorithms: Second Edition*. *Data Mining: Concepts, Models, Methods, and Algorithms: Second Edition*. doi:10.1002/9781118029145
- Nayak, J., Acharya U., R., Bhat, P. S., Shetty, N. ve Lim, T. C. (2009). Automated diagnosis of glaucoma using digital fundus images. *Journal of Medical Systems*, 33(5), 337–346. doi:10.1007/s10916-008-9195-z
- Ozkava, U., Ozturk, S., Akdemir, B., ve Sevfı, L. (2018). An efficient retinal blood vessel segmentation using morphological operations. *2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), 2018, 1-7*. doi:10.1109/ISMSIT.2018.8567239
- Rouhani, M. ve Haghghi, M. M. (2009). The diagnosis of hepatitis diseases by support vector machines and artificial neural networks. *2009 International Association of Computer Science and Information Technology - Spring Conference, IACSIT-SC 2009*, 456–458. doi:10.1109/IACSIT-SC.2009.25
- Rutkowski, L., Jaworski, M., Pietruczuk, L. ve Duda, P. (2014). The CART decision tree for mining data streams. *Information Sciences*, 266, 1–15. doi:10.1016/j.ins.2013.12.060
- Şatır, E. (2015). Veri İndirgeme ve Sınıflandırma Teknikleri ile Glokom Hastalığı Teşhisi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2016(3), 485–497. doi:10.31202/ecjse.67172
- Tomar, D. ve Agarwal, S. (2015). Twin Support Vector Machine Approach for Diagnosing Breast Cancer , Hepatitis , and Diabetes. *Hindawi*, 2015. doi:10.1155/2015/265637



An Investigation on Microstructural, Hardness and Corrosion Properties of As-Cast ZW21 Biodegradable Alloy

Kenza Djebari^{1*}, Yunus Türen², Hayrettin Ahlatçı³, Levent Elen⁴

¹ Karabük University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Karabük, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0158-4741), kenzadjebari@gmail.com

² Karabük University Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Karabük, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8755-1865), [ytüren@karabuk.edu.tr](mailto:yturen@karabuk.edu.tr)

³ Karabük University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Karabük, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6766-4974), hahlatci@karabuk.edu.tr

⁴ Karabük University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Karabük, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8740-7900), leventelen@karabuk.edu.tr

(4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, November 10 - 13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1202073)

ATIF/REFERENCE: Djebari, K., Türen, Y., Ahlatçı, H. & Elen, L. (2022). An Investigation on Microstructural, Hardness and Corrosion Properties of As-Cast ZW21 Biodegradable Alloy. *European Journal of Science and Technology*, (43), 6-12.

Abstract

In this study, ZW21 alloy one of magnesium (Mg) alloys containing Zinc (Zn) and Yttrium (Y) was produced by gravity casting method then its microstructure, hardness, corrosion and wear properties were investigated. The microstructure images of the produced alloys were made by classical metallographic methods such as sanding, polishing, and etching. Microstructure images were taken with optical and SEM devices and EDX analyzes were performed. The hardness of the metallographically prepared samples was determined by Brinell hardness tester. To achieve in vitro experiments, potentiodynamic polarization and immersion tests were performed in Hank's solution at $(36.5 \pm 0.5^\circ\text{C})$. In addition, in the corrosive wear tests, a reciprocating wear test device was used to implement the necessary experiments under constant load, at constant speed and distance also with Hank's contact conditions. According to XRD results, the presence of I and W phases was determined. The hardness of the materials was found to be 52.55 HV. It was observed that the corrosion rate slowed down over time and an oxide film layer was formed on the sample surfaces. A significant mass loss was detected in corrosive wear depending on the distance.

Keywords: Mg-Zn-Y Alloys, ZW21, Microstructure, Hardness, Hank's solution, Corrosion, Corrosive Aşınma.

Biyobozunur ZW21 Döküm Alaşımlarının Mikroyapı, Sertlik ve Korozyon Özelliklerini İncelenmesi

Öz

Bu çalışmada, Çinko (Zn) ve İtiryum (Y) içeren magnezyum (Mg) alaşımlarından ZW21 alaşımı kokıl kalıba dökülerek üretimleri yapılmıştır ve daha sonra mikroyapı, sertlik, korozyon ve aşınma özellikleri incelenmiştir. Üretilen alaşımların mikroyapı görüntüleri, zımparalama, parlatma ve dağlama gibi klasik metalografik yöntemleriyle yapılmıştır. Mikroyapı görüntüleri optik ve SEM cihazları ile alınmış ve EDX analizleri yapılmıştır. Metalografik olarak hazırlanan numunelerin sertlikleri Brinell sertlik test cihazı ile tespit edilmiştir. In vitro deneyleri gerçekleştirilebilmek için, potansiyodinamik polarizasyon ve daldırma testleri Hank sıvısında $(36.5 \pm 0.5^\circ\text{C})$ sıcaklığında yapılmıştır. Ayrıca, korozyon testlerinde, sabit yük altında, sabit hız, mesafede, Hank sıvısında ileri-geri aşınma yöntemiyle yapılmıştır. XRD sonuçlarına göre I ve W fazlarının varlığı tespit edilmiştir. Malzemelerin sertliği 52.55 HV olarak bulunmuştur. Korozyon hızının zamanla yavaşladığı ve numune yüzeylerinde oksit film tabakası oluşturulduğunu gözlenmiştir. Korozyon aşınmada mesafeye bağlı olarak önemli bir ağırlık kaybı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mg-Zn-Y Alaşımları, ZW21, Mikroyapı, Sertlik, Hank sıvısı, Korozyon, Korozyon Aşınma.

* Corresponding Author: kenzadjebari@gmail.com

1. Giriş

Hem endüstriyel hem de biyomedikal uygulamalar için arzu edilen özelliklerde Magnezyum (Mg) alaşımlarının geliştirilmesine artan bir ilgi vardır. Mg alaşımlarına olan endüstriyel ilgi, daha iyi yakıt verimliliği için ulaşım araçlarının ağırlığının azaltılması yönündeki güçlü talebe dayanmaktadır. Bu nedenle yüksek mukavemet, iyi süneklik ve yüksek korozyon direnci özelliklerinin gerekliliği ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte, biyomedikal magnezyum alaşımlarında gerekli mekanik özellikler, fizyolojik ortamda uygun bozunma hızı ve insan vücudu için biyo-güvenlik faktörleri önem kazanmaktadır (N. Li & Zheng, 2013).

Son zamanlarda biyomedikal uygulamalar için dikkat çeken ve bununla beraber ortopedik uygulamalar için önemli bir materyal ünvanı kazanmış Mg alaşımları ile biyobozunur malzemelerin geliştirilmesidir. Metalik malzemeler, yüksek mekanik mukavemetleri ve yüksek kırılma toklukları nedeniyle seramik veya polimerlere kıyasla yük taşıma gerektiren uygulamalar için daha çok tercih edilmektedir. Mg (1.738 g/cm^3) ve Mg alaşımlarının (1.75 ve 1.85 g/cm^3) yoğunlukları insan kortikal kemiğinkine (1.75 g/cm^3) çok benzerdir (Wang et al., 2008). Biyoyumluluk için Mg iyonları insan vücudunda büyük miktarda bulunur ve birçok metabolik reaksiyonda ve biyolojik mekanizmada yer alır. Mg alaşımları, ortopedik implantlar için umut verici adaylardır ve ikincil bir ameliyata gerek kalmaması sayesinde ilgi çekmektedirler. Ekonomik olmaları ve fizyolojik ortam uyumlulukları göz önüne alındığında Mg ve alaşımları en uygun malzemeler olarak ön plana çıkmaktadırlar.

Mg-Zn-Y sistemli magnezyum alaşımlarının her zaman yüksek mekanik özelliklere sahip olduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar (Chen et al., 2015), ZW21 adında yeni bir Mg-Zn-Y alaşımı geliştirilmişlerdir. ZW21 alaşımı, 205 MPa'lık bir nihai çekme mukavemetine, %18.25'lik bir uzama ve 50 HV'lik bir sertliğe sahiptir. Uygun ısıl işlem prosesleri ile bu üç mekanik özellik geliştirilebilmektedir. Böylece incelenen alaşım tipi, yüksek mekanik özelliklerinin yanı sıra yaygın olarak kullanılan diğer türdeş alaşımlara kıyasla ağırlıkça daha hafif ve düşük maliyetli olarak elde edilecektir. Tüm bu nedenlerden dolayı bu çalışmada, ZW21 alaşımı ele alınmıştır. ZW21 alaşımının, klinik uygulamalarda yük taşıma için uygun olduğu belirlenen yüksek mukavemete sahip bir Mg alaşımı olmasıdır (Chen et al., 2015). ZW21 alaşımlarının hem in vitro hem de in vivo olarak homojen bozunma ile iyi sito-uyumluluk gösterdiği ve in vivo olarak sadece sınırlı gaz oluşumu gözlemlendiği rapor edilmiştir (Hänzi et al., 2010).

Mg ve alaşımlarında zayıf korozyon özelliklerini geliştiren çinko (Zn), aynı zamanda doğal olarak insan vücudunda mevcut olup kemik dokularının meydana gelmesinde önemli rol oynayan bir elementtir (Yamaguchi, 1998). Ayrıca, bakterilerin DNA yapısını deforme edip, aynı zamanda çoğalmasını ve yaşamını sürdürmesini engelleyen antibakteriyel özellikler gösterir (Tie et

al., 2013). İtiryum (Y) ise hücre çoğalmasına, daha iyi biyoaktivite özelliklerinin kazandırılmasına ve biyolojik korozyonun geciktirilmesine yardımcı olur. Ayrıca Y'nin belirli derecelerde antibakteriyel özellikleri olduğu, önceki bir yaklaşımda in vitro olarak hücre biyoyumluluğu testi ile kanıtlanmıştır. Bu nedenlerden dolayı Y ilavesinin, kemik dokularının onarımı ve rekonstrüksiyonu için kullanılacak ideal bir implant malzemesinde önemli olduğu anlaşılmıştır (Zhang et al., 2020).

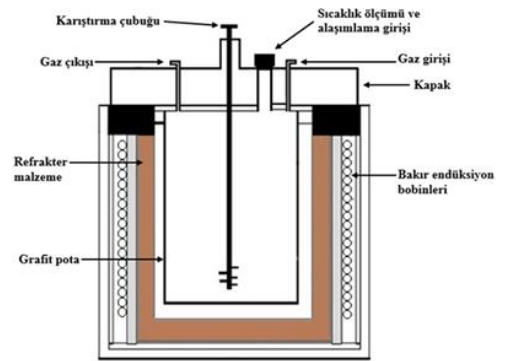
Ayrıca, Mg'da nispi olarak yüksek bir çözünürlük sergilerler ve fizyolojik ortamda biyolojik uyumluluğu arttırmaları beklenir (Zheng, 2015). Bahsedilen alaşım elementleri ile uygulama ve yöntemler, ZW21 alaşımının hem metalürjik olarak hem de biyomalzeme olarak geliştirilmesi için oldukça önemlidir. Dolayısıyla da, Mg-Zn-Y alaşımları içerisinde biyomalzeme olarak en uygun alaşım tiplerinden biri olan ZW21 alaşımının farklı tür ve oranlarda alaşım elementleri ilave edilerek ve bunun yanı sıra deformasyon mekanizmaları aracılığıyla şekillendirme prosesleri uygulanarak incelenmesi ve geliştirilmesi ile insan sağlığı için daha güvenilir ve nitelikli bir biyomalzeme ortaya koymaktır. Özellikle bu çalışmada ZW21 alaşımının döküm halindeki mikroyapı, sertlik, aşınma ve korozyon sonuçlarının birlikte sistematik olarak çalışılması seçilmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

2.1. Alaşım Üretimi

2.1.1. Ergitme Ve Döküm Yöntemi

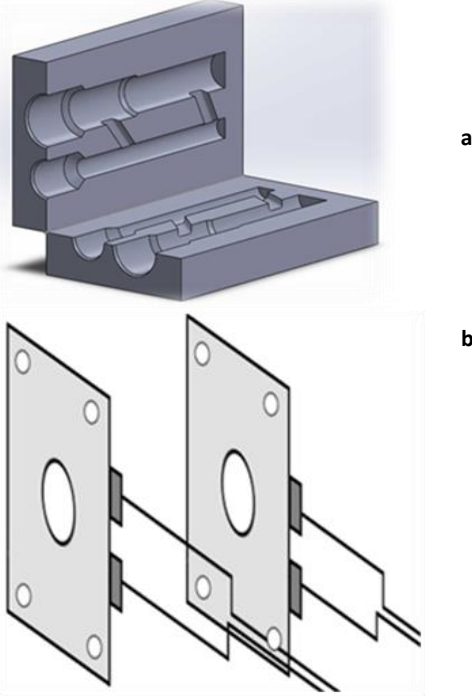
ZW21 alaşımlarının ergitme ve döküm proseslerinde Şekil 1'de verilen döküm indüksiyon fırını kullanılmıştır. Ergitme ve döküm proseslerinde kullanılan fırın gövdesinin dışı çelik, iç kısmı ise refrakter malzeme ile kaplıdır.



Şekil 1. Atmosfer kontrollü indüksiyon fırını.

Ergitme işlemindeki ZW21 alaşımı üretiminde öncelikle saf durumdaki Mg külçe parçalar grafit potaya eklenerek sıcaklığın $\sim 750^\circ\text{C}$ 'ye ulaşması sağlanmıştır. Sonrasında istenilen sıcaklığa ulaşan eriyiğe saf haldeki Zn ve Mg30Y master alaşım elementleri küçük parçalar halinde yüklenmiştir. İlave elementlerin eklenmesinin sonrasında eriyik, grafit çubuk yardımıyla homojen bir dağılım elde etmek için gerekli süre (15dk) boyunca karıştırılmıştır. Karıştırma sonrası kısa bir süre (5dk) beklenip eriyiğin döküm için uygun hale gelmesi sağlanmıştır.

Döküm işlemi, ergitme ve karıştırma proseslerinin ardından Şekil 2(b)'de verilen ve 400°C ye kadar çıkabilen plaka ısıtıcılar yardımıyla 250°C'ye kadar ısıtılmış kokil kalıp Şekil 2(a) içerisine, (CO₂+SF₆) koruyucu gazı altında ve yolluk bölümüne filtre yerleştirilerek gerçekleştirilmiştir. Yerleştirilen filtre sayesinde sıvı metal içerisinde oluşabilecek inklüzyonların kalıp içerisine nüfuz etmesi önlenerek döküm parçada daha temiz bir yapı elde edilmiştir.



Şekil 2. (a) Döküm kalıbı, (b) Plaka ısıtıcılar.

2.2. Alaşım Karakterizasyon İşlemleri

Döküm işlemleri tamamladıktan sonrası bileşimin tespiti için XRF kullanılmıştır. Mikroyapı incelemeleri için optik mikroskop ve SEM görüntüleri elde edilmiştir. Mekanik özelliklerinden Sertlik HB ile ölçülmüştür. In vitro sonuçları elde edebilmek için korozyon deneylerinde hem daldırma hem de potansiyodinamik yöntemler kullanılmıştır. Bununla birlikte korozif ortamda ileri-geri aşınma yöntemiyle korozif aşınma işlemi yapılmıştır.

2.2.1. XRF Analizi

Alaşım elementlerinin ağırlıkça % oranları, Rigaku ZSX Primus II marka cihaz kullanılarak XRF (X-Ray Fluorescence) yöntemiyle belirlenmiştir.

2.2.2. Mikroyapı İncelemesi ve Faz Analizi

Alaşımın mikroyapı incelemeleri için numuneler saf su altında (400, 600, 800, 1200 ve 2500 mesh) SiC zımpara kullanılarak zımparalanmıştır. Zımparalanan numuneler 1 µm'luk alümina ile parlatılmış ve daha sonra sırası ile önce saf su ile yıkanmış etanol ile yüzey durulanmış ve kurutulmuştur.

Görüntüleme öncesi son olarak pikrik asit içeren asit solüsyonunda numuneler dağlanmıştır. Optik mikroskopta (Nikon marka) incelenen numuneler daha sonra SEM görüntülemeleri ve EDX analizleri için elektron mikroskobunda (Carl Zeiss Ultra Plus Gemini marka) detaylı mikroyapı ve analizleri gerçekleştirilmiştir.

Döküm numunelerinin faz analizleri, XRD faz analiz cihazında (Rigaku Ultima IV marka) 3 dk tarama hızında ve 10°-90° tarama açısı aralığında gerçekleştirilmiştir.

2.2.3. Sertlik Testi

Döküm alaşımlarının oda sıcaklığındaki, 'BMS 3000-HB Brinell' marka Brinell sertlik test cihazı ile sertlik değerleri belirlenmiştir. Brinell sertlik testinde, numune yüzeylerine 187,5 kgf yük altında 2,5 mm çapında bilye uygulanmış ve 10 saniye basılı tutulmuştur. Test sonrasında her numune için 5 ölçümün aritmetik ortalaması hesaplanarak sertlik değerleri elde edilmiştir.

2.2.4. Korozyon Testleri

Bu çalışmada In vitro testleri gerçekleştirilmesi için daldırma ve korozif aşınma kullanılmıştır. Ayrıca elektrokimyasal korozyon testlerinden potansiyodinamik polarizasyon eğrileri çıkarılmıştır.

Daldırma Korozyon Testi

Daldırma korozyon testleri, vücut sıcaklığına uygun şekilde (36.5 ± 0.5°C) Hank solüsyonu ortamında yapılmıştır. Daldırma testleri için, ZW21 döküm alaşımlardan 1 cm³ ebatında küp numuneler hazırlanmıştır. Numuneler saf su altında (400, 600, 800, 1200 ve 2500 mesh) SiC zımpara kullanılarak zımparalanmış ve test öncesi 5 dakika boyunca etanol içeren ultrasonik banyoda temizlenmiştir. Teste başlamadan önce her numunenin ilk ağırlığı tartıldı ve yüzey alanı ölçüldü. Ardından 72 saat korozif ortama daldırıldı. Her test aralığından sonra numunelerin korozyon ürünleri, ultrasonik bir temizleyici kullanılarak, 182 g/l sulu kromik asit çözeltisine 5 dakika daldırılarak temizlenmiştir. Daha sonra deiyonize su (saf su) ile yıkanarak 3 dakika boyunca etanol içerisinde ultrasonik banyoya tabi tutulmuştur. Son aşamada ılık havada kurutulmuş ve ardından ağırlık ölçümü yapılmıştır. Daldırma süreleri olarak; 24, 48 ve 72 saatlik aralıklar olacak şekilde belirlenmiştir. Bu sayede deney numunelerinin korozyon hızları hakkında diğer korozyon testlerinin de yorumlanmasına yardımcı olacak bilgiler elde edilmiştir.

Potansiyodinamik Polarizasyon Testi

Elektrokimyasal korozyon deneyleri vücut sıcaklığına uygun şekilde (36.5 ± 0.5°C) simüle edilmiş vücut sıvısının eş değeri olan Hank's solüsyonunda gerçekleştirilmiştir. Hank solüsyonunun kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir. Tafel yöntemi kullanılarak ZW21 döküm halindeki numunelerinin korozyon oranları belirlenmiştir. Potansiyodinamik eğrileri sağlamak için bilgisayar destekli DC105 korozyon analiziyle Gamry model PC4/300 mA potansiyostat/ galvanostat aracılığıyla korozyon analizi gerçekleştirilmiştir.

Potansiyodinamik polarizasyon eğrileri, 1 mV/s tarama alanında -0,25 V (vs Eoc) ve +0,25 V (vs Eoc) arasında uygulanmıştır.

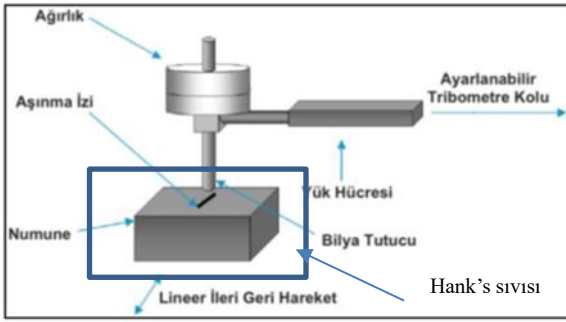
Korozif Aşınma Testi

Aşağıdaki standartlarda ve Şekil 3' de (ileri-geri) aşınma test cihazı şeması gösterildiği gibi korozif aşınma testi yapılmıştır:

Numunelerin deney yapılmadan önce hazırlanması için , cihazdaki numune yatağına uygun olacak şekilde kesilmiştir, yüzeyleri 1200 numaralık zımparaya kadar zımparalanıp saf su ve alkol ile temizlenmiştir. Sabit olarak hem 20N yük altında, 0,1 m/s kayma hızında, toplam 400 metre kayma mesafesinde, Hank's sıvısı içerisinde yapılmıştır. Aşındırıcı uç olarak AISI 52100 kalite yüksek sertlikte çelik bilye kullanılmıştır. Aşınma sırasındaki sürtünme kuvveti tribometre koluna bağlanan yük hücresi tarafından ölçülerek anlık olarak bilgisayara kaydedilmiştir.

Tablo 1. Hank's solüsyonunun kimyasal bileşimi (pH 6.8).

Reaktifler	Bileşen (g/L)
NaCl	8.00 g
NaHCO ₃	0.35 g
KCl	0.40 g
KH ₂ PO ₄	0.60 g
MgCl ₂ ·6H ₂ O	0.60 g
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.06 g
CaCl ₂	0.14 g
Na ₂ HPO ₄	0.06 g
Glikoz.2H ₂ O	1.00 g



Şekil 3. İleri-geri aşınma testi cihazının şeması

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Alaşımların Kimyasal Analizi

Dökümü yapılan alaşımların kimyasal bileşimi XRF cihazı kullanılarak elde edilmiş ve Tablo 2' de gösterilmiştir. Deney öncesi planlanan ZW21 alaşımını oluşturan alaşım elementleri (Mg, Zn ve Y) oranı tam olarak elde edilmiştir.

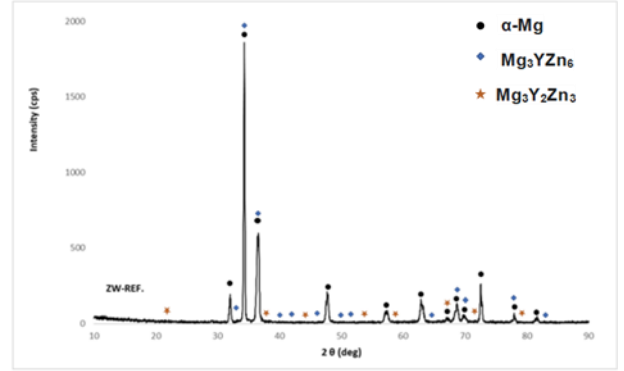
Tablo 2. ZW21 Döküm Alaşımının Kimyasal Analizi

Kimyasal Kompozisyon, % Ağ.							
Alaşım	Mg	Zn	Y	Mn	Na	Al	Si
ZW21	Kalan	1.963	0,964	0,048	0,013	0,019	0,144

3.2. XRD Analizleri

Alaşımların XRD faz analiz sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ZW21 yapısı içerisinde α -Mg ana matrisinin yanı sıra I: (Mg₃YZn₆) ve W: (Mg₃Y₂Zn₃) fazlarının varlığı tespit edilmiştir.

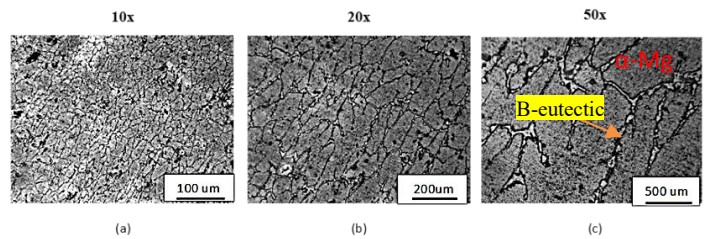
Şekil 4. ZW21 döküm alaşımının XRD faz analizleri.



Mg-Zn-Y alaşımlarına artan ilgi, belirli özelliklere sahip üç Mg-Zn-Y üçlü fazından kaynaklanmaktadır. Üç faz, I fazı (Mg₃Zn₆Y), W fazı (Mg₃Zn₃Y₂) ve Z veya X fazı (Mg₁₂ZnY) anlamına gelir ve hepsi yüksek sertliğe sahiptir. I ve Z fazları α -Mg matrisi ile uyumludur ve bu nedenle matris ile ara yüzey bağı çok güçlüdür ve bazal kaymayı etkili bir şekilde geciktirebilir. Bu nedenle, I ve/veya Z fazı içeren alaşımlar yüksek mekanik özelliklere, özellikle de yüksek sıcaklıkta iyi mekanik özelliklere sahiptir. Ancak W fazı için, mevcut araştırmaların çoğu, bunun Mg matrisi ile uyumlu olmadığını ve arayüzün ayrılmasının kolay olduğunu bildirmiştir. Ayrıca, W fazının kırılması da kolaydır. Bu nedenle, W fazı içeren alaşımlar her zaman nispeten düşük mekanik özelliklere sahiptir. Bununla birlikte, bazı araştırmalar W fazının mekanik özellikleri iyileştirmek için faydalı olduğunu göstermiştir: W fazı sünekliği iyileştirebilir. Hacim oranı %11.2 ile %17.5 arasında olduğunda, alaşımlar, W fazı ve Mg matrisi arasındaki güçlü bağ ara yüzü nedeniyle üstün mukavemete sahiptir. W+Z fazları içeren alaşımlar, benzersiz I veya Z fazı içerenlere göre daha kapsamlı mekanik özellikler sergilemiştir (Tahreen & Chen, 2016)

3.3. Mikroyapı Sonuçları

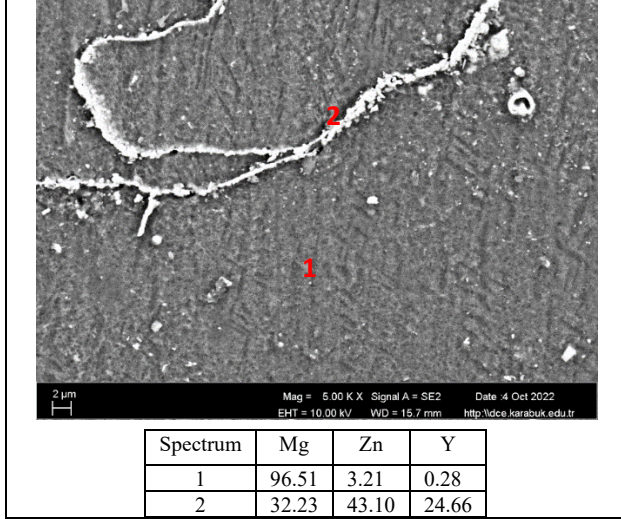
İncelenen numunelerin optik görüntüleri Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. ZW21 döküm alaşımının OM görüntüleri.

Optik mikroskop görüntülerinin incelendiğinde tane ve tane sınırları belirgindir, Tane sınırlarında bir ağ şeklinde ikincil fazların (β - ötektik) dağıldığı gözlenmiştir. Şekil 5(a)'da gösterildiği gibi, döküm ZW21 alaşımının mikroyapısı küçük eş eksenli dendritlerden oluşur ve bir tanedeki dendrit kolları dendritik ötektik yapı ile ayrılır (T.J. Chen, 2012.). Ayrıca ZW21 alaşımının temel olarak birincil α -Mg dendritleri ve interdendritik ötektik yapılardan oluştuğunu gösterdiği ve ötektiklerin bir fazının W ve/veya I fazı olduğu belirlendi. Bu nedenle, ZW21 alaşımının interdendritik ötektiği, esas olarak Mg-Zn-Y üçlü alaşımının ötektik bileşenlerinden oluşmalıdır. (Q. Li et al., 2005).

SEM görüntüleri ise şekile 6'da verilmiştir. Tane içi ve tane sınırlarından elde edilen EDX analizleri ortaya çıkartmıştır, matristen alınan 1 nolu EDX analizinde Mg miktarı % 96.51 gibi yüksekliktedir. 2 nolu spectrumsa sırasıyla (Ağ. %), Mg: 32.23, Zn: 43.10, Y: 24.66 içeren intermetalik oluştuğunu göstermiştir. Önceki XRD incelemelerinde bu durumun I ve W intermetalığının ortaya çıkarmıştır.



Şekil 6. ZW21 döküm alaşımının SEM görüntüleri ve EDX analizleri.

3.3. Sertlik Testi Sonuçları

Tablo 3'te döküm halindeki ZW21-2Zn1Y alaşımının Brinell (HB) sertlik test sonuçları verilmiştir.

Tablo 3. ZW21 döküm alaşımının sertlik değerleri.

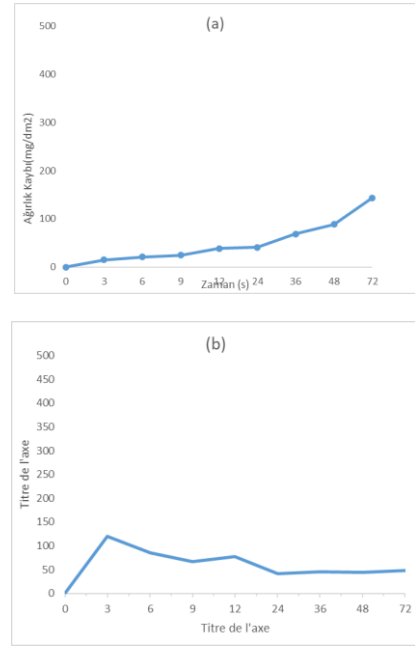
ZW21- Döküm	Brinell Sertlik Değeri (HB)
Ölçüm -1	50,88
Ölçüm -2	51,20
Ölçüm -3	47,58
Ölçüm -4	49,72
Ölçüm -5	50,23
Ortalama	49,92 = 52,55 HV

Bu sonuçlara göre ve bilindiği üzere Y ilavesinin mükemmel tane inceleme gösterdiği; ayrıca Mg'de nispeten yüksek katı çözünürlük; Y açısından zengin fazların oluşması nedeniyle, dolayısıyla tane inceltici etkisi, döküm halindeki ZW21-2Zn1Y'de sertlik değerini artırdığını göstermiştir (Ding et al., 2014). Bu çalışmada döküm halindeki ZW21 alaşımının sertlik değeri 52.55 HV' dir. Dolayısıyla, önceki araştırmada (T.J. Chen) döküm halindeki ZW21-0.5Nd-0.5Sn-0.3Zr-0.05Ca alaşımı sertliği (50 HV) karşılaştırıldığında hemen hemen aynı değerdedir.

In Vitro Korozyon Test Sonuçları

3.4. Daldırma Korozyon Testi Sonuçları

Şekil 7'de daldırma korozyon testi sonrası döküm numunenin korozyon hızı ve saatlere göre ağırlık kaybı grafikleri verilmiştir.



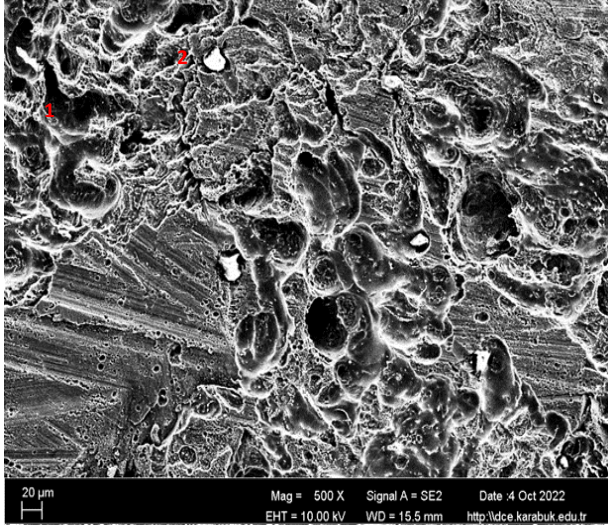
Şekil 7. Döküm alaşımının saatlere göre (a) ağırlık kaybı (b) korozyon hızı (mm/d) grafikleri.

Daldırma test sonuçlarına göre, ilk 3 saate kadar şekilde 7 (b)'de gösterildiği gibi numuneye etki eden korozyon hızı yüksektir, daha sonraki zaman aralığında korozyon gettikçe yavaşlamaktadır. Özellikle 24 saat sonrası korozyon hızı denge haline gelmiştir. Bu denge hali muhtemel yüzeyde oluşmuş olan koruyucu oksit film (MgO) tabakasına dayandırılmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. ZW21 döküm alaşımının 72 saat sonra Daldırma görüntüsü.

Döküm alaşımlarına 72 saat (3 gün) boyunca yapılan daldırma korozyon testleri sonrasında korozyona uğramış yüzeyden alınan SEM görüntüleri ve EDX analizleri Şekil 9' da verilmiştir. Bu sonuçlara göre Mg ,Zn ve Y haricinde diğer belirtilmiş elementler Hank sıvısından kaynaklıdır.

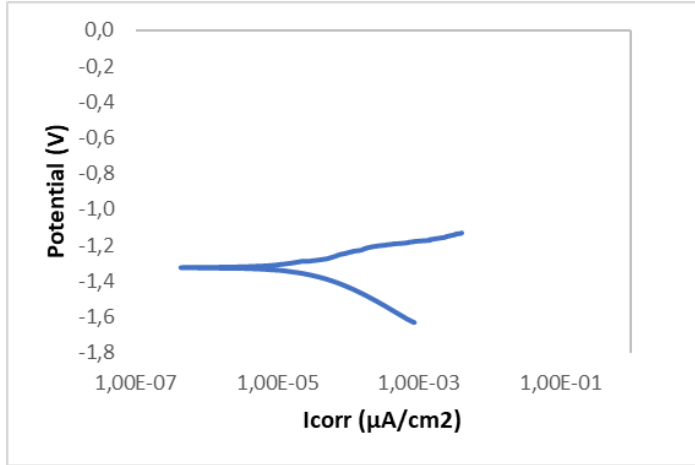


Spectrum	O	Na	Mg	S	Cl	K	Ca	Zn	Y
1	8.87	0.15	83.79	0.1	0.12	0.16	0.04	4.49	2.3
2	5.08	0.34	91.43	0.0	0.0	0.04	0.18	2.82	0.11

Şekil 9. ZW21 döküm alaşımının Daldırma SEM görüntüleri ve EDX analizleri

3.5. Potansiyodinamik Polarizasyon Test Sonuçları

Döküm halindeki ZW21 alaşımının potansiyodinamik polarizasyon testi sonrası Tafel eğrileri Şekil 10'da verilmiştir. Tafel eğrilerinden elde edilen korozyon akım yoğunluğu (I_{corr}) ve korozyon potansiyeli (E_{corr}) değerleri Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 10. ZW21 döküm alaşımının potansiyodinamik polarizasyon test grafiği.

Tablo 4. ZW21 döküm alaşımının Korozyon akımı yoğunluğu (I_{corr}) ve korozyon potansiyeli (E_{corr}) değerleri.

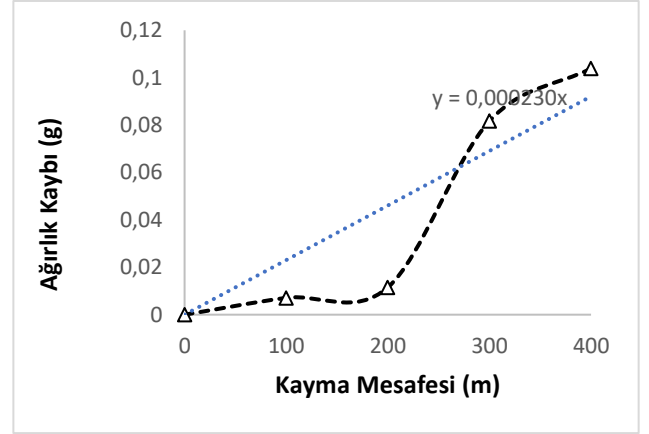
Alaşım	I_{corr} (10^{-6} A/cm ²)	E_{corr} (V)
ZW21-2Zn1Y	19,4	-1,33

Potansiyodinamik sonuçlara göre Korozyon akımı yoğunluğu, korozyon hızı ile doğru orantılı olarak değişir. Ayrıca incelenen alaşımın (Şekil 10) anodik bölgelerindeki kırılmanın, numune

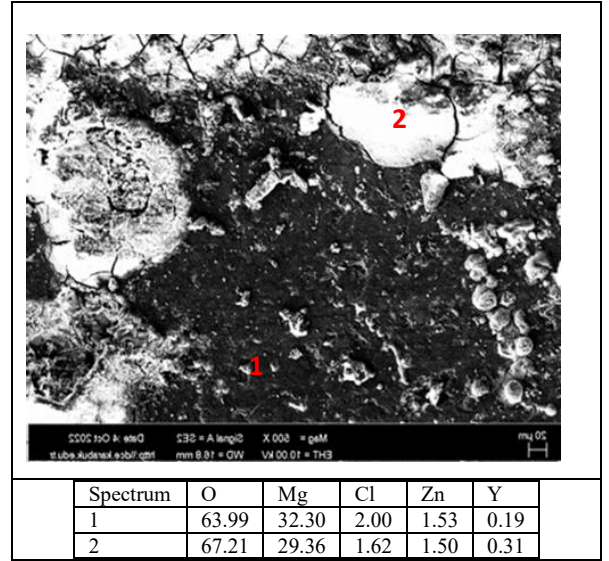
yüzeylerinde $Mg(OH)_2$ oluşumunun neden olduğu lokal çözünmeye bağlı olduğunu düşünülmektedir (Kabir et al., 2021).

3.6. Korozyon Aşınma Testi Sonuçları

ZW21 döküm alaşımının korozyon aşınma test sonucunda elde edilen ağırlık kayıpları ve aşınma oran katsayısı Şekil 11'de verilmiştir. Ayrıca Korozyon aşınma sonrası yüzeyden alınan SEM görüntüleri ve EDX analizleri Şekil 12'de görülmektedir.



Şekil 11. ZW21 döküm alaşımının grafiği.



Spectrum	O	Mg	Cl	Zn	Y
1	63.99	32.30	2.00	1.53	0.19
2	67.21	29.36	1.62	1.50	0.31

Şekil 12. ZW21 döküm alaşımının korozyon Aşınma SEM görüntüleri ve EDX analizleri.

Şekil 11'de, 200 merte sonrası ağırlık kaybının arttığı tespit edilmiştir. Bu durum koruyucu oksit tabakasının bozulması ile açıklanabilir. Dolayısıyla, Şekil 12'de verilen SEM görüntüsü ve EDX analizine göre spectrumlarda oksijen değerleri yüksek olması oksit tabakasının varlığını ortaya koymaktadır. Aşınma yüzeyinde zamanla bu tabakanın kırılarak aşınma oranının arttığı ve buna bağlı olarak ağırlık kaybında arttığı gözlemlenmiştir.

4. Genel Sonuçlar

Bu çalışmada, ZW21 döküm alaşımının mikroyapı, sertlik, korozyon ve korozyon aşınma özellikleri incelenmiş olup aşağıda genel sonuçlar sırasıyla verilmiştir.

- ZW21döküm alaşımının mikroyapısında intermetalik olarak I ve W fazları tespit edilmiştir.
- Alaşımın sertlik test sonucunda 52.55 HV sertlik değeri elde edilmiştir.
- Daldırma testinde ZW21 alaşımının yüzeyinde zamana bağlı olarak oksit film tabakası oluşmuştur ve korozyon hızı buna bağlı olarak yavaşlamıştır.
- Potansiyodinamik sonuçlara göre Korozyon akımı yoğunluğu, korozyon hızı ile doğru orantılı olarak değişmiştir.
- Korozif aşınmada ağırlık kaybının oluşumu, hem sürtünme hem de korozyon etkisiyle meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Kaynakça

- Chen, T. J., Guo, H., Ma, Y., & Hao, Y. (2015). Effects of Reheating Temperature and Time on the Microstructure and Mechanical Properties of Thixoforged ZW21 Alloy. *MATERIALS TRANSACTIONS*, 56(9), 1530–1538. <https://doi.org/10.2320/matertrans.M2015151>
- Ding, Y., Wen, C., Hodgson, P., & Li, Y. (2014). Effects of alloying elements on the corrosion behavior and biocompatibility of biodegradable magnesium alloys: a review. *J. Mater. Chem. B*, 2(14), 1912–1933. <https://doi.org/10.1039/C3TB21746A>
- Hänzi, A. C., Gerber, I., Schinhammer, M., Löffler, J. F., & Uggowitzer, P. J. (2010). On the in vitro and in vivo degradation performance and biological response of new biodegradable Mg–Y–Zn alloys☆. *Acta Biomaterialia*, 6(5), 1824–1833. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2009.10.008>
- Kabir, H., Munir, K., Wen, C., & Li, Y. (2021). Recent research and progress of biodegradable zinc alloys and composites for biomedical applications: Biomechanical and biocorrosion perspectives. *Bioactive Materials*, 6(3), 836–879. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2020.09.013>
- Li, N., & Zheng, Y. (2013). Novel Magnesium Alloys Developed for Biomedical Application: A Review. *Journal of Materials Science & Technology*, 29(6), 489–502. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2013.02.005>
- Li, Q., Wang, Q., Zhou, H., Zeng, X., Zhang, Y., & Ding, W. (2005). High strength extruded Mg–5Zn–2Nd–1.5Y–0.6Zr–0.4Ca alloy produced by electromagnetic casting. *Materials Letters*, 59(19–20), 2549–2554. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2005.03.044>
- Tahreen, N., & Chen, D. L. (2016). A Critical Review of Mg–Zn–Y Series Alloys Containing I, W, and LPSO Phases. *Advanced Engineering Materials*, 18(12), 1983–2002. <https://doi.org/10.1002/adem.201600393>
- Tie, D., Feyerabend, F., Müller, W.-D., Schade, R., Liefeth, K., Kainer, K., & Willumeit, R. (2013). Antibacterial biodegradable Mg–Ag alloys. *European Cells and Materials*, 25, 284–298. <https://doi.org/10.22203/eCM.v025a20>
- T.J. Chen , W. W. D. H. Z. Y. M. Y. H. (2012). , *Effects of heat treatment on microstructure and mechanical properties of ZW21 magnesium alloy*.
- T.J. Chen , W. W. D. H. Z. Y. M. Y. H. (). Development of a new magnesium alloy ZW21. *Materials and Design*.
- Wang, Y., Wei, M., Gao, J., Hu, J., & Zhang, Y. (2008). Corrosion process of pure magnesium in simulated body fluid. *Materials Letters*, 62(14), 2181–2184. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2007.11.045>
- Yamaguchi, M. (1998). Role of zinc in bone formation and bone resorption. *The Journal of Trace Elements in Experimental Medicine*, 11(2–3), 119–135. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-670X\(1998\)11:2/3<119::AID-JTRAS>3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-670X(1998)11:2/3<119::AID-JTRAS>3.0.CO;2-3)
- Zhang, B., Li, B., Gao, S., Li, Y., Cao, R., Cheng, J., Li, R., Wang, E., Guo, Y., Zhang, K., Liang, J., & Liu, B. (2020). Y-doped TiO₂ coating with superior bioactivity and antibacterial property prepared via plasma electrolytic oxidation. *Materials & Design*, 192, 108758. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108758>
- Zheng, Y. (2015). *Magnesium Alloys as Degradable Biomaterials*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b18932>



***B. terrestris* L. 1758 (Insecta: Hymenoptera) Türünün Boraginaceae Familyasındaki Polinasyon Biyolojisi ve Morfolojisinin Araştırılması**

Aysel Kekillioğlu¹, Ebru Kunduracı²

¹Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü Nevşehir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5841-9408),
akekillioglu@hotmail.com

²Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü Nevşehir, Türkiye, (ORCID:0000-0002-8753-8801),
kunduraciebru8@gmail.com

(4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, November 10 - 13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1206922)

ATIF/REFERENCE: Kekillioğlu, A. & Kunduracı, E. (2022). *B. terrestris* L. 1758 (Insecta: Hymenoptera) Türünün Boraginaceae Familyasındaki Polinasyon Biyolojisi ve Morfolojisinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (43), 13-16.

Öz

Bu çalışma, 2016-2018 yılları arasında Nevşehir ili ve çevresindeki Boraginaceae familyası üyelerinin, *Bombus terrestris* (Linnaeus, 1758) (Insecta: Hymenoptera: Apidae) türündeki polen biyoloji ve polen morfolojisinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Mayıs ve Eylül ayları arasında gerçekleştirilen saha çalışmalarında, *B. terrestris* örnekleri Boraginaceae familyası üyelerini ziyaret ettiği sırada gözlemlenerek, bu bitkilerle birlikte toplanmıştır. Toplanan *B. terrestris* örneklerinden elde edilen polenler; ışık ve elektron mikroskopunda incelenerek fotoğraflanmıştır. Araştırma sonucunda incelenen 45 *B. terrestris* preparatının 26'sında Boraginaceae familyası taksonlarına rastlanmıştır. Burada, Boraginaceae familyasından tespit edilen taksonlar; *Echium* sp. ve *Anchusa* sp. olarak belirlenmiştir. Boraginaceae familyasının genel polen özellikleri değerlendirildiğinde; polen ornemantasyonlarının çoğunlukla psilat veya perforat olduğu görülmekle birlikte polen şekillerinin takson düzeyinde değişiklik gösterdiği belirlenmektedir. Çalışmada ayrıca; *Bombus* arılarının çiçekli bitkileri polen kaynağı olarak kullanırken bir tercihin söz konusu olduğu tespit edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tozlaşma, Biyoloji, Morfoloji, Polen, *B. terrestris*, Boraginaceae

Investigation of Pollination Biology and Morphology of *B. terrestris* L. 1758 (Insecta: Hymenoptera) Species in Boraginaceae Family

Abstract

This study was carried out to determine the pollen biology and pollen morphology of *Bombus terrestris* (Linnaeus, 1758) (Insecta: Hymenoptera: Apidae) species of Boraginaceae family members in and around Nevşehir province between 2016 and 2018. During the field studies carried out between May and September, *B. terrestris* specimens were observed while visiting members of the Boraginaceae family and were collected together with these plants. Pollens obtained from collected *B. terrestris* samples; photographed under light and electron microscopy. As a result of the research, Boraginaceae family taxa were found in 26 of 45 *B. terrestris* preparations. Here, the taxa identified from the Boraginaceae family; *Echium* sp. and *Anchusa* sp. has been determined. When the general pollen characteristics of the Boraginaceae family are evaluated; Although it is seen that pollen ornamentations are mostly psilate or perforate, it is determined that pollen shapes vary at taxon level. Also in the study; It has been determined that bumblebees have a preference when using flowering plants as a source of pollen.

Keywords: Pollination, Biology, Morphology, Pollen, *B. terrestris*, Boraginaceae, Nevşehir

1. Giriş

Doğal floradaki birçok bitkinin polinasyonunun sağlanmasında bal arılarından sonra ikinci derecede rol oynayan *Bombus terrestris* (Linnaeus, 1758), kültürel tozlayıcı olarak da kullanılmaktadır (Durdu,2012; Kunduracı,2019; Özbek,1983,1987,1990ab,2002). Dünyada 239 *Bombus* türü tanımlanmıştır. *B. terrestris*, Türkiye doğal faunasında en yaygın görülen *Bombus* türüdür. Bu tür, deniz seviyesinden 1500 m yüksekliğe kadar çok geniş bir habitatta görülmektedir (Durdu,2012; Kunduracı,2019; Özbek,1983,1987,1990ab,2002). Sosyal yaşam sürdüren ve uzun dilli arılar içerisinde yer alan *B. terrestris* türünde; kraliçe arı 20–22 mm, işçi arı 11–17 mm, erkek arı ise 14–16 mm uzunluğundadır. Genel olarak siyah tüylü vücutlarının karın kısmının ikinci bölümünde ve göğüs kısmında bulunan portakal sarısı renkte bantlarla ve işçi arıda beyaz ana arıda devetüyü renkli kuyruk yapısıyla karakterize olmuşlardır. Ancak alttür ve ekotip düzeyinde renk yapısında farklılıklar görülmektedir (Durdu,2012;Kekillioğlu & Kunduracı,2019; Özbek,1983,1987,1990ab,2002; Kekillioğlu,2005).

Arıların, bitkilerin tozlaştırıcıları olduğu ilk kez Alman Koelreuter ve Sprengel tarafından 1750-1800'lü yıllarda fark edilmiştir. 1892'de ise Waite arı kolonilerinin meyve ağaçlarının tozlaştırılmasında kullanılabileceğini gündeme getirmiştir. Waite o dönemde çapraz tozlaşmanın (dış eşleşmenin) meyve ağaçlarında önemini saptamış ve bu bilgiyi paylaşmıştır. Daha sonraki çalışmalar bu çalışmaların üzerine kurulmuş ve meyve bahçelerinin yakınlarında arı kolonilerinin bulundurulmasının sonuçları ortaya konulmuştur (Durdu,2012;Kekillioğlu&Kunduracı,2019;Özbek,1983,1987,1990ab,2002; Kekillioğlu,2005).

Arılarla çiçekli bitkiler doğal ortaklardır. Biri, diğeri için yaşamı ve yeniden çoğalması için belirli görevleri yerine getirmekte olup bu anlamda aralarında bir 'menfaat ilişkisi' vardır. Arılar belirli bir süre boyunca gözlemlendiklerinde, farklı arı türlerinin değişik çiçeklere gittikleri görülür. Bu bitkilerin çiçeklerinin rengi, biçimi ve kokusu özel olarak bu türleri çeker. Arılar nektar toplamak için çiçeklere gittiklerinde, aynı türden bitkiler arasında polen aktarımını gerçekleştirirler. Bu olay sonucunda bitkilerde döllenme sağlanır (Durdu,2012;Kunduracı,2019;Özbek,1983,1987,1990ab,2002; Kekillioğlu,2005).

Bombus arıları, büyük bir önem taşıyan birçok bitkinin polinasyonunda görev alan böceklerdir. Oldukça gösterişli, çekici ve renkli bir görünüme sahip olan bu arılar, balarıları (*A. mellifera* L.)'na göre genellikle daha iri vücutlu ve tüylü, daha güçlü ve daha yağmacıdırlar. Uzun dilleri olmasından dolayı derin tüplü çiçekleri ziyaret ederek düşük sıcaklıklarda, kötü hava koşullarında ve düşük ışıkta bile çalışıp çiçeklerin polinasyonunu yapabilmektedirler (Durdu, 2012;Kekillioğlu & Kunduracı, 2019).

Nevşehir il genelinin vejetasyonunu oluşturan bitkilerin çoğunluğu İran-Turan elementi olup yöreden yöreye pek fazla farklılık göstermemektedir. Nevşehir florası incelendiğinde içerdikleri takson sayısına göre büyük familyalar sırayla Compositae (Asteraceae) 87, Leguminosae (Fabaceae) 74, Labiatae (Lamiaceae) 47, Cruciferae (Brassicaceae) 38, Gramineae (Poaceae) 31, Boraginaceae 30, Caryophyllaceae 28, Rosaceae 26, Umbelliferae (Apiaceae) 21 ve Liliaceae 21'dir (Akgül & Yılmaz, 2011).

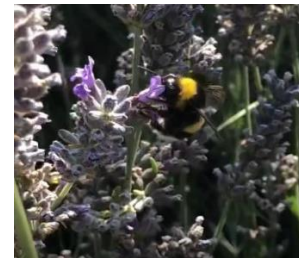
Ülkemizde ve dünyada yapılan; polen, polinasyon, polinatör vb. içerikli çalışmaların daha çok bitki odaklı olduğu görülmektedir. Genelde böceklerin, özeldense arıların doğrudan özne olduğu, bu böceklerin vücut yüzeyinde yer alan vücut örtüleri vb. özel alanlardan polen örneklerinin teminine dayanan çalışmalar ise bir kaç kısmi içerikli dolaylı araştırma dışında mevcut olmamaktadır. Bu eksiklikten yola çıkılarak bu çalışmada Nevşehir ve çevresinde *Bombus terrestris* (Linnaeus,1758) (Insecta: Hymenoptera: Apidae) türünün vücut yüzeyi ve polen sepetindeki Boraginaceae familyası polenlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma Nisan 2016- Ağustos 2018 ayları arasında, Nevşehir ili ve çevresinde yapılan arazi çalışmaları sonucunda, doğal ortamlarında ekolojik gözlemleri yapılmıştır. Mayıs ve Eylül ayları arasında yapılan arazi çalışmalarında *B. terrestris* türleri ve ziyaret ettiği Boraginaceae familyası bitki örnekleri toplanmıştır. *B. terrestris* örnekleri tül atrap yardımıyla gündüzleri yoğun olarak görüldüğü saatlerde arazi çalışmaları yapılmıştır. Toplanan arı örnekler, etil-asetatlı şişelerde öldürüldükten sonra laboratuvar ortamında üzerlerinden fırça yardımı ile polenler preparatlara aktarılmıştır. Arı örnekleri ile çalışmalar bittikten sonra laboratuvar ortamında standart müze materyali haline getirilmektedir. Hazırlanan polen preparatları Wodehouse (1935) yöntemi ile boyanarak Işık mikroskopunda incelemek polen görüntüleri fotoğraflanmıştır. Hazırlanan polen preparatlarından bir kısmı Kırıkkale Üniversitesi Elektron mikroskopunda incelenerek fotoğraflanmıştır. *B. terrestris* tür teşhisinde Richards (1968), Özbek (1979, 1983, 1990, 1997, 2000, 2002), Rasmont (1983), Reinig ve Rasmont (1988), Prys-Jones ve Corbet (1987), Goulet ve Huber (1993), Batra (1994), Pawlikowski (1996, 1999), Aytekin ve Çağatay (1999), Kekillioğlu (2005)'den yararlanılmıştır (Özbek, 1983,1987,1990ab,Akgül & Yılmaz, 2011; Cerena,2004; Pawlikowski,1999; Prys-Jones&Corbet; Richards, 1987; Rasmont, 1983; Reining, 1983; Goulet &Huber,1993; Batra, 1994; Aytekin&Çağatay, 1999; Wodehouse,1935).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. *Bombus terrestris* L. 1758 (Insecta: Hymenoptera) Taksonomi – Morfoloji



Şekil 1: *B. terrestris*

Tablo 1: *B. terrestris*'in Sistematik Basamakları

Classis:	Insecta
Ordo:	Hymenoptera
Subordo:	Apocrita
Supfamilya:	Apoidea
Familya:	Apidae
Subfamilya:	Bombinae
Genus:	<i>Bombus</i>
Species:	<i>B. terrestris</i>

Dişilerde Vücut uzunluğu kraliçe arıda 18-22 mm, işçi arıda 10-15 mm'dir. Dil uzunlukları ortalama 6,3 mm'dir. Başın uzunluğu genişliğine eşit ya da kısa olmaktadır. Yan basit gözler ile bileşik gözler arasındaki alanlar arasında grup halinde ince noktalanmalar vardır. Orta basit göz ile yan basit gözler arasındaki mesafe orta basit gözün yarıçapı kadardır.

Thoraks ve yaka koyu sarı kıllı, ikinci tergumun yüzeyi az çok parlak, hafif ve seyrek pürüzlü, koyu sarı veya kahverengimsi sarı kıllı, üçüncü tergum siyah, dördüncü ve beşinci beyaz, altıncı medialde siyah, lateralde beyaz kıllı olarak görünmektedir (Kekillioğlu&Kunduracı,2019; Özbek, 1983, 1987,1990ab,2002; Kekillioğlu,2005)

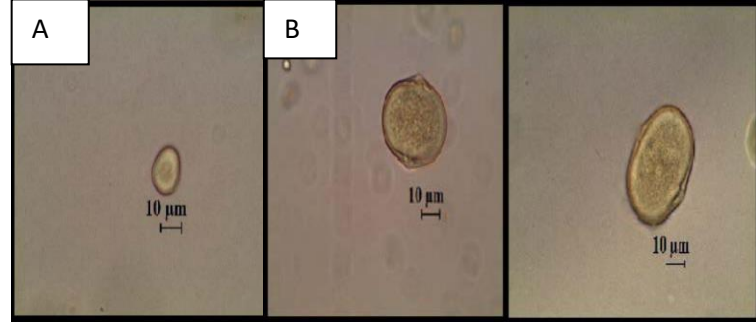
Erkeklerde vücut uzunluğu 12-18 mm'dir. Başın genişliği uzunluğundan fazladır. Supraorbital çizgi basit göze dorsalde teğet geçmektedir. Clypeus, vertex ve propleuronun alt yarısı siyah kıllı, thoraksta yaka kısmı koyu sarı ya da kahverengimsi sarıdır. İnteraler bant ve scutellum siyah kıllı görülmektedir. Abdomende birinci ve ikinci tergum koyu sarıdır. Birinci tergumun bazal kısmı seyrek siyah, üst kısmı tamamen beyaz kıllıdır. Dördüncü, beşinci ve altıncı terga beyaz ya da koyu sarı kıllı görünümündedir(Kekillioğlu&Kunduracı,2019; Özbek, 1983, 1987,1990ab,2002; Kekillioğlu,2005) .

3.2. Boraginaceae Juss. Gen. Pl. (1789) Taksonomi – Morfoloji

Boraginaceae familyası dünyanın tropikal, subtropikal ve ılıman bölgelerinde yayılış göstermektedir. En yoğun yayılış alanları İran-Turan ve Akdeniz bölgelerinin ılıman alanlarında, ayrıca Orta Amerika, Kuzey ve Güney Amerika'nın orta kesimlerinde yayılış göstermektedir (Teke,2012)

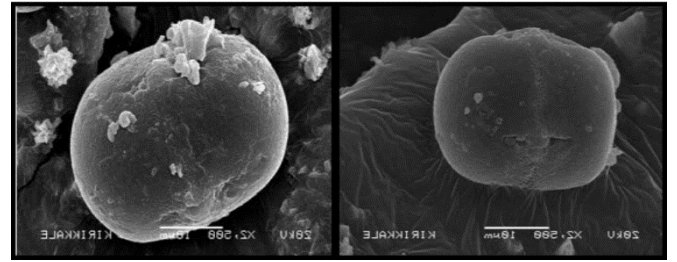
Boraginaceae familyasına ait taksonların boyutları 10-50 µm arasında değişmektedir. Polen şekli prolat ya da siferoid'dir. Polenlerin apertürleri sıklıkla trikolporat, suboblat-prolattır. Yüzey süslenmesiperfora, psilat ya da granülatır (Özmen, 2012)

Taksonların, polen mikrofotografaları ve SEM fotoğraflarıyla birlikte aşağıda verilmiştir (Şekil 2-3)



Şekil 2: A: *Echium sp.* Polen ışık mikroskobu görüntüsü

B: *Anchusa sp.* Polen ışık mikroskobu görüntüsü



Şekil 3: *Anchusa sp.* Elektron mikroskobu görüntüsü

4. Sonuç

Bombus terrestris, Türkiye, doğal faunasında bulunan bir taksondur. Farklı bölgelerde bulunan *Bombus terrestris* türlerinin yaşam döngüleri ve koloni gelişim özellikleri arasında farklılıklar bulunmaktadır (Gösterit & Gürel, 2004).

Bombus terrestris türü arıların tozlayıcı olarak kullanılmaları ile elde edilen ürünler üzerindeki olumlu etkiler küçümsenemeyecek kadar önemlidir. Ancak son yıllarda, tüm dünyada çok fazla miktarda kullanılan ve yayılcı özelliğe sahip bu arıların doğal ekosistem üzerine yapacakları olumsuz etkiler sıkça tartışılmaya başlanmıştır(Kekillioğlu&Kunduracı,2019;Özbek,1983,1987,1990ab).

Nevşehir'in mevcut faunası incelendiğinde Apidae familyasına ait kayıtlar: *Bombus terrestris* (L.1758), *Bombus (Megabombus) argillaceus* (Scopoli, 1763) ,*Bombus (Thoracobombus) zonatus* (Smith, 1854) ,*Megabombus humilis* (Illiger, 1806) ,*Megabombus zonatus* (Smith, 1854) (Kekillioğlu, 2005). Çok sayıda *B.terrestris* kaydı verilmekte fakat spesifik çalışmalar bulunmamaktadır.

Çalışmamızın sonucunda *B. terrestris* üzerinden alınan polen örneklerinden Boraginaceae familyasına ait 2 cins tespit edilmiştir. Bunlar; *Echium* ve *Anchusa* cinsleridir.

Bombus arılarının çalıştığı doğal florada bütün çiçekli bitkileri polen kaynağı olarak kullanmadığı, bir tercih söz konusu olduğu, genel olarak florada arılar için tercih edilen çiçekli tür sayısının tüm çiçekli bitki türleri içerisinde oldukça düşük bir pay aldığı düşünülmektedir. Ayrıca çalışılan floristik bölgenin de *B.terrestris*'in beslenmesi ve polinasyonun da önemli olduğu düşünülmektedir.

Her bir *B. terrestris*'in polen sepetinde bir seferde genel olarak sadece bir veya birkaç bitki türünden polen topladığı gözlemlenmiştir. *B. terrestris* başlangıçta hangi poleni tercih etmiş ise, genel olarak o tür polenleri polen sepetine toplamaya devam etmektedir. *B. terrestris*'in vücut yüzeyindeki polenlerin ise çeşitli bitki taksonlarına ait olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi olarak *B. terrestris*'in çiçekten çiçeğe geçerken, havadan bulaşma yoluyla veya yağmurlu, rüzgârlı havalarda korunma amacıyla gittikleri bitkilerin polenleri olduğu düşünülmektedir.

Hazırlanan 45 preperatın 26'sında Boraginaceae familyasına ait polenler tespit edilmiştir. Bu gözlem dikkate alındığında Boraginaceae familyasının polinasyonunda *B. terrestris*'in önemli bir yer kapladığı görülmektedir.

Kaynakça

- Akgül G. ve Yılmaz N., "Nevşehir'in Dekoratif Ağaç ve Çahırları", *1. Uluslararası Nevşehir Tarih ve Kültür Sempozyumu*, 277 – 288, Nevşehir, 2011.
- Akgül G. ve Yılmaz N., "Nevşehir'in Endemik Bitkileri ", *1. Uluslararası Nevşehir Tarih ve Kültür Sempozyumu*, 265 – 276, Nevşehir, 2011.
- Aytekin, A. M., & Çağatay, N. (1999). Systematic studies on the family Apidae (Hymenoptera) in Ankara province part I: Bombinae. *Turkish Journal of Zoology*, 23(3), 231-242.
- Batra, S. (1994). Diversify with pollen bees. *American bee journal (USA)*. Cerana M.M., " Flower morphology and pollination in *Mikania* (Asteraceae) ", *Flora* 199, 168-177, Argentina, 2004.
- Durdu, Ü. (2012). Kars Platosu Bombus Faunasının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi. *Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı*
- Goulet, H., & Huber, J. T. (1993). Hymenoptera of the world: an identification guide to families.
- Gösterit, A., & Gürel, F. (2004). Bombus terrestris arılarında işçi arı-ana arı farklılaşması ve erkek arı üretimini etkileyen faktörler. *Teknik Arıcılık*, 85, 18-24.
- Kekillioğlu, A. (2005). 'Ankara, Kırıkkale Ve Kırşehir İlleri Apidae (Insecta: Hymenoptera) Türleri Üzerine Faunistik, Sistemik Araştırmalar ve Bazı Ekolojik Gözlemler '. *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 1-31.
- Kekillioğlu, A., & Kunduracı, E. (2019). *Nevşehir ili ve çevresi Bombus terrestris (Linnaeus, 1758)(Insecta: Hymenoptera: Apidae) türünün polinasyon biyomorfolojisi ve ekolojisinin araştırılması* (Master's thesis, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi).
- Özbek, H. (1983). *Doğu Anadolunun bazı yörelerindeki Bombinae (Hymenoptera: Apoidea, Bombidae) türleri üzerinde taksonomik ve bazı biyolojik çalışmalar*.
- Özbek, H. (1987). Türkiye'nin Psithyrus Lepeletier (Hym.: Apidae) türleri. *Türkiye I. Entomoloji Kongresi Bildirileri (13-16 Ekim İzmir)*, 661, 673.
- Özbek, H. (1990). Palandöken ve Kargapazarı dağları arı (Hym. Apoidea) faunası. *X. Ulusal Biyoloji Kongresi (18-20 Temmuz 1990, Erzurum), Atatürk Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Erzurum*, 153-162.
- Özbek, H. (1990). A New Bumblebee Species of Pyrobombus Dalla Torre (Hymenoptera: Apidae, Bombinae) in Eastern Anatolia, Turkey. *Türkiye entomoloji dergisi*, 14(4), 207-214.
- Özbek, H. (2002). Arılar ve doğa. *Uludağ arıcılık dergisi*, 2(3), 22-25.

- Özmen, E. (2012). 'Ankara İli Atmosferik Spor ve Polenlerinin Araştırılması '. *Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*.
- Pawlikowski, T. (1999). A field guide to identification of bumblebees (Hymenoptera: Apidae: Bombini) in Poland. *Wydawnictwo Uniwersytetu Mikolaja Kopernika, Torun*, 30.
- Pry-Jones, O., & Corbet, S. A. (1987). Bumblebees.
- Rasmont, P. (1983). *Catalogue commenté des bourdons de la région ouest-paléarctiques (Hymenoptera, Apoidea, Apidae)*. Fac. des Sciences Agronom. de l'Etat, Zoologie Générale et Faunist.
- Reinig, W. F., & Rasmont, P. (1983). Über den anatolischen Megabombus (Thoracobombus) pascuorum (Scopoli, 1763): Hymenoptera, apidae. *Spixiana*, 6(2), 153-165.
- Richards, O. W. (1968). The subgeneric divisions of the genus Bombus Latreille (Hymenoptera: Apidae). *Bulletin of the British Museum (Natural History), Entomology*, 22, 211-276.
- Sorkun, K. (1989). 'Rize-Anzer yöresi ballarının mikroskopik analizi '. *Bot. Derg*, 13(3), 547-554.
- Teke, H. İ. (2012). *Türkiye'nin bazı endemik onosma l.(boraginaceae) taksonlarının morfolojik ve palinolojik yönden incelenmesi* (Doctoral dissertation, Adıyaman Üniversitesi).
- Wodehouse, R. P. (1935). Pollen grains. Their structure, identification and significance in science and medicine. *Pollen grains. Their structure, identification and significance in science and medicine*.



Total phenol and flavonoid contents, and antioxidant capacity of *Silybum marianum* L. Gaertner grown in Turkey

Erten Akbel^{1*}, İbrahim Bulduk²

^{1*} Department of Physiotherapy and Rehabilitation, Faculty of Health Sciences, Uşak University, Turkey (ORCID: 0000-0002-6954-3658), erten.akbel@usak.edu.tr

² Department of Occupational Health and Safety, Faculty of Health Sciences, Uşak University, Turkey (ORCID: 0000-0001-6172-7738), ibrahim.bulduk@usak.edu.tr

(4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, November 10 - 13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1206557)

ATIF/REFERENCE: Akbel, E. & Bulduk, İ. (2022). Total phenol and flavonoid contents and antioxidant capacity of *Silybum marianum* L. Gaertner grown in Turkey. *European Journal of Science and Technology*, (43), 17-20.

Abstract

Because of their therapeutic properties, the aerial parts of *Silybum marianum* have traditionally been used in folk medicine. The purpose of this study was to determine the antioxidant capacity and total phenol and flavonoid contents of methanol extracts of *Silybum marianum* aerial parts. DPPH (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazil) free radical scavenging and reducing power assays were used to assess the antioxidant capacity of *Silybum marianum*. The total phenol and flavonoid contents of each extract were determined using the Folin-Ciocalteu and aluminum trichloride methods, respectively. DPPH (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazil) free radical scavenging assays were used to assess the antioxidant capacity of *Silybum marianum* extracts. All of the extracts tested showed impressive total phenolic and total flavonoid content, as well as potent antioxidant capacity. The methanolic extract was found to be containing a number of total phenols (56.95±0.78 mg of gallic acid equivalent per gram of dried material) and flavonoids (86.09±0.35 mg of quercetin equivalent per gram of extract). The same extract also had a significantly higher DPPH-reducing power and scavenging capacity (Inhibition % = 91.77±0.12). These findings imply that *Silybum marianum* aerial parts could be used as a natural source of antioxidants in the food, pharmaceutical, and cosmetic industries.

Keywords: Antioxidant capacity, *Silybum marianum*, total flavonoid, total phenol.

Silybum marianum L. Gaertner'in Antioksidan Kapasitesi, Toplam Fenolik ve Flavonoid İçerikleri

Öz

Terapötik özelliklerinden dolayı *Silybum marianum*'un toprak üstünde kalan kısımları geleneksel olarak halk hekimliğinde kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, *Silybum marianum* toprak üstü kısımlarının metanol ekstraktlarının antioksidan kapasitesini ve toplam fenol ve flavonoid içeriklerini belirlemektir. *Silybum marianum*'un antioksidan kapasitesini belirlemek için DPPH (2, 2-difenil-1-pikrilhidrazil) serbest radikal süpürme ve indirgeme kapasitesi deneyleri kullanıldı. Test edilen tüm ekstraktlar, önemli ölçüde toplam fenolik ve toplam flavonoid içeriğinin yanı sıra güçlü antioksidan kapasite göstermiştir. Metanolik ekstraktın, bir miktar fenol (kurutulmuş materyalin gramı başına 56.95±0.78 µmg gallik asit eşdeğeri) ve flavonoidler (ekstrenin gramı başına 86.09±0.35 µmg kersetin eşdeğeri) içerdiği bulundu. Ayrıca aynı ekstraktın önemli ölçüde daha yüksek DPPH indirgeme gücüne ve süpürme kapasitesine (İnhibisyon % = 91.77±0.12) sahip olduğu gözlenmiştir. Bu bulgular, *Silybum marianum* toprak üstünde kalan kısımlarının gıda, ilaç ve kozmetik endüstrilerinde doğal bir antioksidan kaynağı olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Antioksidan kapasitesi, *Silybum marianum*, total flavonoid, total fenol.

* Corresponding Author: erten.akbel@usak.edu.tr

1. Introduction

Silybum marianum L. (Figure 1) are cultivated in the region from Southern Europe to Northern Africa, as its seeds have medicinal potential. The primary purpose of its cultivation is the extraction of silymarin, which is used to cure liver diseases, from its edible seeds. *Silybum marianum* seeds contain many flavonolignans. The main active compound in the seeds is a flavonoid known as silymarin, which is widely used to regenerate damaged liver tissues. Many research have indicated silymarin's efficacy in chemoprevention and hepatoprotection [1], [2].



Fig. 1 *Silybum marianum* L.

The antioxidant and free radical scavenging qualities of silymarin contribute to its capacity to protect the liver. Silymarin has the potential to remove free radicals from the body. It has been proven to increase superoxide dismutase activity in erythrocytes and glutathione production in hepatocytes [3]. Flavonolignans demonstrated radical scavenging properties as well as protection against lipid membrane [4] and low-density lipoprotein damage [5]. The antioxidant effect is caused by the modulation of apoptosis, cell proliferation, and differentiation pathways [6]. Many diseases, including cancer and Alzheimer's, can be caused by reactive oxygen species [7]. They are created in the human body as a result of environmental stress and normal biochemical reactions [8]. Fatty acid oxidation in cell membranes can reduce fluidity and permeability while also damaging macromolecules such as DNA, RNA, and other cellular components [9]. Silymarin supports normal cell membrane fluidity by interacting with its constituents [10].

2. Material and Method

2.1. Reagents

Folin-Ciocalteu reagent, gallic acid, and quercetin standards, aluminum chloride hexahydrate, methanol, and sodium carbonate were obtained from Sigma-Aldrich Co. (St Louis, MO, USA).

The ultrapure water used in the experimental studies with a conductivity of less than $0.05 \mu\text{S cm}^{-1}$ was produced using a Milli-Q System. All other chemicals were of analytical purity.

In this study, *silybum marianum* was grown on the grounds of Turkey's Uşak University Faculty of Agriculture and Natural Sciences. The plant's various organs were divided up and dried

for 15 days in a dark environment. The dried material was crushed in a mortar to a fine powder.

2.2. Analytical Instruments

A dual beam UV-Visible spectrophotometer using 1.0 cm quartz cells and UV-Probe software was used (Shimadzu UV-1800 spectrophotometer, Japan).

2.3. Standard solutions

25 mg of reference standard was weighed precisely and transferred to a 50 mL volumetric flask, and a 15 mL methanol was added. The content of the volumetric flask was sonicated for 5 min, and the volume was filled up to the mark with methanol. Thus, a stock standard solution with a concentration of ($500 \mu\text{g mL}^{-1}$) was prepared. The standard solution series ($50\text{--}300 \mu\text{g mL}^{-1}$, $n = 6$) was prepared by diluting from this stock solution with methanol. They were filtered through a membrane filter with a porosity of $0.45 \mu\text{m}$.

2.4. Extraction

500 mg of dried, ground plant material was carefully weighed into 100 ml flasks and 50 ml of solvent (70% methanol + 30% ultrapure water) was added. Ultrasound assisted extraction (UAE) was performed for 15 min. using a Bandelin Sonorex ultrasonic bath with a frequency of 50 kHz. Erlenmeyers were placed in an ultrasonic bath for standard ultrasonic conditions. The solvent levels in the Erlenmeyers and the water level in the ultrasonic bath were kept the same. The extraction process was carried out by adjusting the temperature and time value of the ultrasonic bath. Following extraction, the mixture was filtered using white band filter paper (Whatman).

2.5. Total phenolic content

Total phenolic compounds were determined in each extract by the Folin-Ciocalteu method as previously described [11]. The extract (1 mL), 0.5 mL of Folin-Ciocalteu reagent, 2 mL of ultrapure water and 4 mL of sodium carbonate solution (75 g L^{-1}) were mixed. After the mixture was kept in the dark at 20°C for 40 minutes, the absorbance value was measured at a wavelength of 765 nm in a spectrophotometer device. Gallic acid methanolic solutions were used to create a calibration curve, and the results were represented as gallic acid equivalents (GAE).

2.6. Total flavonoid content

The content of flavonoids was determined colorimetrically [12]. Flavonoid content was determined from a quercetin calibration curve and results were expressed as quercetin equivalents (QE). The extract (1 mL) was mixed with 1 mL of AlCl_3 solution (20 g L^{-1}) in ethanol and diluted to 25 mL with ethanol. After the mixture was kept at 20°C for 40 minutes, the absorbance value was measured at a wavelength of 415 nm in a spectrophotometer device. 1 drop of acetic acid was added to 1 mL of extract, then the volume was diluted to 25 ml with ethanol and blank samples were prepared. A quercetin calibration curve was also used for flavonols prepared by mixing quercetin ethanol solutions with 2 mL AlCl_3 (20 g L^{-1}) and 6 mL sodium acetate (50 g L^{-1}). Absorbance, after 2.5 hours of incubation at 20°C , the absorbance value of the mixture was read at 440 nm on a spectrophotometer device. The same procedure was performed with 2 mL of plant extract instead of quercetin solution. The content of flavonols was finally expressed as QE.

2.7. Total flavonoid content

The content of flavonoids was determined colorimetrically [12]. Flavonoid content was determined from a quercetin calibration curve and results were expressed as quercetin equivalents (QE). The extract (1 mL) was mixed with 1 mL of AlCl₃ solution (20 g L⁻¹) in ethanol and diluted to 25 mL with ethanol. After the mixture was kept at 20 °C for 40 minutes, the absorbance value was measured at a wavelength of 415 nm in a spectrophotometer device. 1 drop of acetic acid was added to 1 mL of extract, then the volume was diluted to 25 ml with ethanol and blank samples were prepared. A quercetin calibration curve was also used for flavonols prepared by mixing quercetin ethanol solutions with 2 mL AlCl₃ (20 g L⁻¹) and 6 mL sodium acetate (50 g L⁻¹). Absorbance, after 2.5 hours of incubation at 20 °C, the absorbance value of the mixture was read at 440 nm on a spectrophotometer device. The same procedure was performed with 2 mL of plant extract instead of quercetin solution. The content of flavonols was finally expressed as QE

2.8. Antioxidant activity

Antioxidant activity was determined using the DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil) radical method [13]. For this, 0.0024 g of DPPH was precisely weighed and a stock solution of DPPH reagent (6 x 10⁻⁵ M) was prepared by dissolving in 100 mL of methanol. A working solution of DPPH with a concentration (40 mg L⁻¹) was prepared from the stock reagent solution by diluting it with methanol. 300 µL of sample extract and 5700 µL of DPPH working solution were mixed in a 10 mL test tube. The mixture was incubated for 60 minutes at room temperature in a dark environment. The absorbance of the reaction mixture against ultrapurewater was measured at 517 nm using a spectrophotometer (Shimadzu UV-1800 spectrophotometer, Japan). On the other hand, a control solution without sample extract was prepared and its absorbance against ultrapure water was measured at 517 nm in a spectrophotometer device. The antioxidant activity was calculated as:

$$\text{Antioxidant activity (\%)} = (\text{AC(O)}_{517} - \text{AA(t)}_{517}) / \text{AC(O)}_{517} \times 100$$

where AC(O)₅₁₇ is the absorbance of the control at t = 0 min and AA(t)₅₁₇ is the absorbance of the antioxidant at t = 1 h.

3. Results and Discussion

3.1. Total phenolic content

Calibration curve generated with gallic acid standards were presented Figure 2. TPC values of different parts of plant material are presented in Table 1 as mg gallic acid equivalent (GAE) per g dried plant.

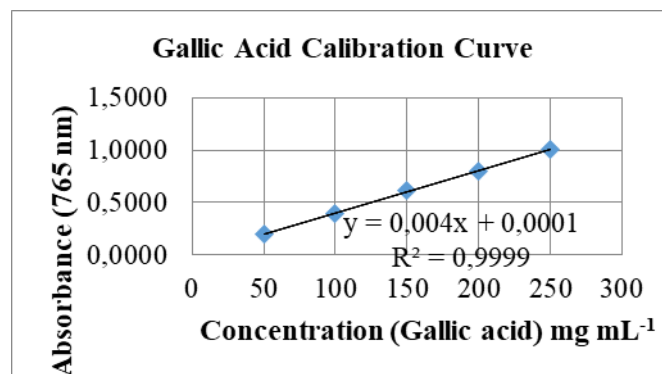


Fig. 2 Calibration curve of gallic acid standards

Sample	TPC ± S.D. mg. GAE/ g d.w.
Stem	56±0.77
Leaves	46±0.86
Flowers	39±1.04

Table 1. Total phenolic contents of Silybum marianum organs

3.2. Total flavonoid content (TFC)

Calibration curve generated with quercetin standards were presented Figure 3. TFC values of different parts of plant material are presented in Table 2 as mg quercetin equivalent (QE) per g dried plant.

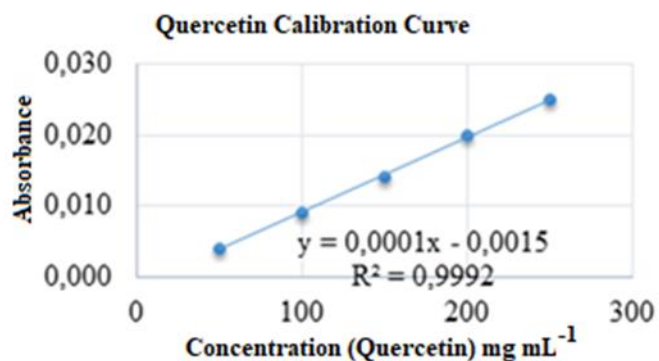


Fig. 3 Calibration curve of quercetin standards

Table 2. Total flavonoid contents of Silybum marianum organs

Sample	TPC ± S.D. mg. QE/ g d.w.
Stem	85±0.66
Leaves	62±0.92
Flowers	44±1.12

3.3. Antioxidant activity

Antioxidant activity was determined using the DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil) radical method. Antioxidant activity of different parts of plant material are presented in Table 3 as inhibition %.

Table 3. Antioxidant activity of *Silybum marianum* organs

Sample	A.A. \pm S.D. Inhibition %
Stem	85 \pm 0.66
Leaves	62 \pm 0.92
Flowers	44 \pm 1.12

Ascorbic acid solution (500 $\mu\text{g mL}^{-1}$) was used as the control solution in the antioxidant test. The capacity of ascorbic acid solution to inhibit DPPH radical was determined as 95%.

TFC, TPC and antioxidant activities of methanol extracts of five organs (ie main stem, leaves, flowers) of *Silybum marianum* L. were investigated. Total phenolic content was highest in the stem parts and then in the leaves and flowers, respectively. The total flavonoid content was similarly highest in the stem parts and then in the leaves and flowers, respectively. The organs of *Silybum marianum* L. can be used for flavonoid extraction. The antioxidant activity of the methanol extract from the organs of *Silybum marianum* L. was the highest of the stem extract, followed by the leaves. It was surprising that the phenolic, flavonoid and antioxidant activity of flowers from the stamens of *Silybum marianum* L. were lower than those of other organs. More studies are needed to identify other active compounds in the herb. The identity of flavonoids that may have contributed to the antioxidant activity in this herb should also be determined.

4. Conclusions and Recommendations

In conclusion, this study shows that extracts obtained from the organs of *Silybum marianum* L. plant have significant free radical scavenging activity on DPPH radical. The data show that methanolic extracts of *Silybum marianum* L. are a potential source of natural antioxidants.

References

- [1] Al-Anati, L., Essid, E., Reinehr, R., & Petzinger, E. (2009). Silibinin protects OTA-mediated TNF- α release from perfused rat livers and isolated rat Kupffer cells. *Molecular nutrition & food research*, 53(4), 460-466.
- [2] Jayaraj, R., Deb, U., Bhaskar, A. S. B., Prasad, G. B. K. S., & Rao, P. L. (2007). Hepatoprotective efficacy of certain flavonoids against microcystin induced toxicity in mice. *Environmental Toxicology: An International Journal*, 22(5), 472-479.
- [3] Fehér, J., Láng, I., Deák, G., Cornides, A., Nékám, K., & Gergely, P. (1986). Free radicals in tissue damage in liver diseases and therapeutic approach. *The Tokai Journal of Experimental and Clinical Medicine*, 11, 121-134.
- [4] Křen, V., Kubisch, J., Sedmera, P., Halada, P., Přikrylová, V., Jegerov, A., ... & Šimánek, V. (1997). Glycosylation of silybin. *Journal of the Chemical Society, Perkin Transactions 1*, (17), 2467-2474.
- [5] Mira, L., Silva, M., & Manso, C. F. (1994). Scavenging of reactive oxygen species by silibinin

dihemisuccinate. *Biochemical pharmacology*, 48(4), 753-759.

- [6] Škottová, N., Krečman, V., & Šimánek, V. (1999). Activities of silymarin and its flavonolignans upon low density lipoprotein oxidizability in vitro. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 13(6), 535-537.
- [7] Miguez, M. P., Anundi, I., Sainz-Pardo, L. A., & Lindros, K. O. (1994). Hepatoprotective mechanism of silymarin: no evidence for involvement of cytochrome P450 2E1. *Chemico-biological interactions*, 91(1), 51-63.
- [8] Miller, A. L. (1996). Antioxidant flavonoids: structure, function and clinical usage. *Alt Med Rev*, 1(2), 103-111.
- [9] Wiseman, H. (1996). Dietary influences on membrane function: importance in protection against oxidative damage and disease. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 7(1), 2-15.
- [10] Muriel, P., & Mourelle, M. (1990). Prevention by silymarin of membrane alterations in acute CCl4 liver damage. *Journal of Applied Toxicology*, 10(4), 275-279.
- [11] Lucini, L., Pellizzoni, M., Pellegrino, R., Molinari, G. P., & Colla, G. (2015). Phytochemical constituents and in vitro radical scavenging activity of different Aloe species. *Food chemistry*, 170, 501-507.
- [12] Colla, G., Roupheal, Y., Cardarelli, M., Svecova, E., Rea, E., & Lucini, L. (2013). Effects of saline stress on mineral composition, phenolic acids and flavonoids in leaves of artichoke and cardoon genotypes grown in floating system. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(5), 1119-1127.
- [13] MA, E., Hosseinimehr, S. J., Hamidinia, A., & Jafari, M. (2008). Antioxidant and free radical scavenging activity of Feijoa sellowiana fruits peel and leaves. *Pharmacologyonline*, 1, 7-14.



(s, S) Envanter Sisteminin Etki-Dayanıklılık Güvenilirliği

Özge Balta^{1*}, Sevcan Demir Atalay²

^{1*} Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9076-5298), ozgebalta93@gmail.com

² Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3117-0825), sevcan.demir@ege.edu.tr

(4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, November 10 - 13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1203037)

ATIF/REFERENCE: Balta, Ö. & Demir Atalay, S. (2022). (s, S) Envanter Sisteminin Etki-Dayanıklılık Güvenilirliği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (43), 21-26.

Öz

Etki-dayanıklılık modelleri güvenilirlik analizinde önemli bir role sahiptir. Bu modelde etki değişkeni, bir bileşene (sisteme) dışarıdan etki eden faktörlere, dayanıklılık değişkeni ise bileşenin (sistemin) bu dış faktörlere karşı gösterdiği dirence karşılık gelmektedir. Bu çalışma kapsamında; faaliyetteki bir işletmenin her bir deposunda talep ve teslim süresi rasgele olan bir (s, S) envanter yönetim modelinin kullanıldığı varsayımı üzerine bir simülasyon çalışması yapılmıştır. Çalışmanın hedefi, tek bir deponun toplam maliyeti ve depo için önceden belirlenmiş olan bütçe ele alınarak işletmenin envanter yönetim modelinin güvenilirliğinin etki-dayanıklılık modellerinden yararlanılarak hesaplanmasıdır. Diğer hedef, farklı yeniden sipariş noktaları kullanılarak işletmenin tek bir deposunun envanter yönetim modelinin optimizasyonunun yapılması ve modelin güvenilirliğini maksimum düzeye çıkaran yeniden sipariş noktalarının belirlenmesidir. İşletmenin tek bir deposu için envanter yönetim modelinin toplam maliyeti dayanıklılık rasgele değişkeni (X) ve depo için önceden belirlenmiş olan bütçe de etki rasgele değişkeni (Y) olarak ele alınmış; bu değişkenlerin normal dağılımdan geldiği durum için envanter sisteminin güvenilirliğine karşılık gelen $P(Y > X)$ olasılığı hesaplanmıştır. Envanter yönetim modelinin varsayımlarının değişmesinin sistem güvenilirliği üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla envanter varsayımlarından bazıları değiştirilmiş ve bu olasılık tekrar hesaplanmıştır. Hesaplanan güvenilirlik değerleri karşılaştırılmış ve envanter yönetim modelinin güvenilirliği analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Etki-Dayanıklılık Sistem Güvenilirliği, (s, S) Envanter Sistemi, Simülasyon, Güvenilirliğe Dayalı Optimizasyon

Stress-Strength Reliability Of (s, S) Inventory System

Abstract

Stress-strength models play an important role in reliability analysis. In these models, stress refers the external factors imposed upon a component (system) and the strength refers the resistance of the component (system) available to overcome the stress. In this work, a simulation study was conducted assuming (s, S) inventory management model in which demands and lead times are random was used in each warehouse of a company. The aim of this work is to calculate the reliability of the inventory management model of the company by using the stress-strength models, considering the total cost and predefined budget of the warehouse. The other aim is optimizing inventory management model of a single warehouse by using different reorder points and identifying the reorder points that maximize the reliability of the inventory management model. To achieve this purpose, total cost of a single warehouse was considered as the strength variable (X) and the predefined budget for the warehouse as the stress variable (Y); the probability of $P(Y > X)$, which corresponds to the reliability of the inventory system, was calculated assuming both variables follow normal distribution. In order to examine the effect of the change in assumptions of inventory management model on system reliability, some assumptions were changed and the probability was recalculated. These reliabilities were compared and the reliability of the inventory model was analyzed.

Keywords: Stress-Strength Reliability, (s, S) Inventory Systems, Simulation, Reliability Based Optimization.

* Sorumlu Yazar: ozgebalta93@gmail.com

1. Giriş

Envanter; firmaların, kurumların veya işletmelerin gelecekte oluşabilecek talebi karşılamaları ve işlemlerin verimli, hatasız bir şekilde yürümesi için ellerinde tuttıkları ürün ve hammaddelerdir (Kasap vd., 2010). Envanter, işletmelerin yatırım yaptığı en pahalı varlıklardan biri olduğu için envanter maliyetlerinin belirlenmesi stratejik bir önem taşımaktadır. İşletmelerin envanter tutma maliyetlerinin belirlenmesinde ve müşteri taleplerinin sorunsuz bir şekilde karşılanmasındaki kilit nokta envanter düzeyidir. Envanter düzeyinin düşük olması durumunda müşteri talepleri karşılanamaz ve bu durum tüketici memnuniyetsizliği, güvensizlik, stoksuzluk maliyeti, itibar kaybı ve müşteri kaybı gibi olumsuzluklara neden olur. Envanter düzeyinin yüksek olması durumunda ise; depo giderleri (kira, elektrik, doğalgaz), güvenlik harcamaları, çalışan giderleri, sigorta ve vergi ödemeleri, yıpranma (amortisman) ve malların modasının geçmesi gibi birçok sorun ve çıktı ile karşılaşılabilir. Bu yüzden işletmeler minimum maliyeti sağlayacak ve aynı zamanda çalışma programlarını kesintiye uğratmayacak optimal envanter düzeyi belirlemelidir. Bu durum, etkin ve verimli bir envanter yönetim (kontrol) yaklaşımının benimsenip, bir düzen içerisinde sürdürülmesi ile mümkündür. Envanter kontrol yaklaşımları, benimsenen yaklaşımın optimizasyonu, güvenilirliği ve performansı gibi konular literatürde sıklıkla çalışılmıştır. Ahmed ve Sultana (2014), Almaktoom et al. (2016), Hejazi (2017), Huang (2017) ve Maji et al. (2020) bu çalışmalara örnek olarak verilebilir.

Birçok araştırmacı bir ürünün ne zaman ve ne kadar sipariş edileceğini tespit etmek amacıyla etkili envanter politikaları belirlemek için büyük çaba sarf etmiştir. (s, S) envanter politikası da bu politikalardan biridir. Envanter alt sınırı s , teslimat süresi boyunca gelecek talebi karşılayacak bir miktar güvenlik stoğudur. Üst sınır S ise işletmenin envanterinde bulundurması gereken maksimum stok sayısıdır. Bu politikaya göre envanter her t zaman aralığında yeniden kontrol edilir. Envanter düzeyi yeniden sipariş noktası olan minimum s değerinin altına düştüğünde, stoğu üst sınır olan S değerine tamamlayacak sayıda sipariş verilir.

Çalışmanın hedefi; bir işletmenin her bir deposunda talep ve teslim süresi rasgele olan bir (s, S) envanter yönetim modelinin kullanıldığı varsayımı üzerine bir simülasyon çalışması yapılarak, tek bir deponun toplam maliyeti ve depo için önceden belirlenmiş olan bütçe ele alınarak işletmenin envanter yönetim modelinin güvenilirliğinin etki-dayanıklılık modellerinden yararlanılarak hesaplanmasıdır. Diğer hedef, farklı yeniden sipariş noktaları kullanılarak işletmenin tek bir deposunun envanter yönetim modelinin optimizasyonunun yapılması ve modelin güvenilirliğini maksimum düzeye çıkaran yeniden sipariş noktalarının belirlenmesidir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Etki-Dayanıklılık Güvenilirliği

Etki-dayanıklılık modelleri güvenilirlik analizinde sıklıkla kullanılan yöntemlerden biridir. Bu modelde etki değişkeni, bir bileşene (sisteme) dışarıdan etki eden faktörlere, dayanıklılık değişkeni ise bileşenin (sistemin) bu dış faktörlere karşı gösterdiği dirence karşılık gelmektedir. Matematiksel olarak

ifade edildiğinde, X rasgele değişkeni dayanıklılık, Y rasgele değişkeni ise etkiyi göstermek üzere, etki-dayanıklılık güvenilirliği $R = P(X > Y)$ olasılığına karşılık gelmektedir (Kotz et al., 2003). Fakat bu ifade kullanım alanlarına göre değişmektedir. Bir köprü inşasında, köprünün ağırlığı dayanıklılık değişkeni X , köprünün üzerindeki yük ise etki değişkeni Y 'yi ifade ettiğinde, güvenilirlik $R = P(X > Y)$ olasılığına karşılık gelmektedir. Bir sağlık uygulamasında ise, X kontrol grubunun yanıtını, Y de tedavi grubunun yanıtını temsil etsin. Bu durumda ise güvenilirlik, yani tedavinin etkinliği $R = P(X < Y)$ olasılığı ile ifade edilir (Jiang, 2008). Etki-dayanıklılık modelleri fizik, mühendislik, genetik, kalite kontrol, psikoloji, ekonomi, tıp, pedagoji, ilaç endüstrisi, ziraat ve biyoloji gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Johnson (1988) füze motorları ve depreme dayanıklılık gibi mühendislik alanlarında, Place et al. (1999) helikopterin iletim sisteminin güvenilirliğinin tahmini üzerine yaptığı çalışmasında, Adimari ve Chiogna (2006) tıp alanında, Domma ve Giordano (2012) ve Hejazi (2017) ise ekonomi alanında yaptıkları çalışmalarında etki-dayanıklılık güvenilirliğini kullanmışlardır.

X ve Y birbirleriyle ilişkili olmadığında bağımsız değişkenler olarak kabul edilir. X ve Y , kümülatif dağılım fonksiyonları sırasıyla $F_X(x)$ ve $F_Y(y)$ olan dayanıklılık ve etki değişkenleri olmak üzere etki-dayanıklılık güvenilirliği

$$R = P(X > Y) = \iint_{y < x} dF_X(x)dF_Y(y) \quad (1)$$

ile hesaplanır. Bu ifadedeki etki Y ve dayanıklılık X değişkenleri rasgele değişken oldukları için güvenilirlik yalnızca X ve Y 'nin olasılık dağılımları biliniyorsa hesaplanabilir. Bu nedenle, bu rasgele değişkenlerin dağılımlarını bilmek veya belirlemek önemlidir. Ancak etki-dayanıklılık modellerini içeren çalışmalarda bu rasgele değişkenlerin dağılımlarının bulunduğu varsayılmış ve bazı spesifik dağılımlar için sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan çalışmalarda genellikle X ve Y 'nin dağılımlarının aynı aileden geldiği durumlar incelenmiş; genellikle üstel, normal, gamma, poisson, weibull, log normal ve pareto dağılımları için etki ve dayanıklılık güvenilirliğinin hesaplanmasına ve tahmin edilmesine odaklanılmıştır.

3. (s, S) Envanter Sisteminin Etki-Dayanıklılık Güvenilirliği

Bu çalışma kapsamında; faaliyetteki bir işletmenin, her bir deposunda talep ve teslim süresi rasgele olan bir (s, S) envanter yönetim modelinin kullanıldığı varsayılmıştır. Kullanılan envanter modeline ilişkin varsayımlar aşağıda verilmekte olup bu varsayımlar Hejazi (2017) çalışmasında kullanılan varsayımlardan oluşmaktadır:

1. İşletme, envanter sisteminde sadece tek bir ürünü stoğunda bulundurmaktadır.
2. $I(t)$, t anındaki envanter seviyesi (bir tam sayı) olmak üzere; $I(0) = 60$ 'dır.

3. Simülasyon, 120 gün boyunca gece gündüz durmadan çalıştırılmaktadır.
 4. Müşteri gelişleri arasındaki süre 0.1 gün ortalamalı üstel dağılıma sahiptir (24 saat boyunca).
 5. Talep boyutu kesikli bir rassal değişkendir ve 1,2,3 ve 4 değerlerini sırasıyla 0.167, 0.333, 0.333, 0.167 olasılıkları ile almaktadır.
 6. Eğer işletmede müşterinin talebini fiziksel olarak karşılayacak sayıda ürün varsa, müşterinin talebi tamamen karşılanmaktadır.
 7. Eğer müşterinin talebi işletmenin elindeki ürün sayısından fazla ise müşteri elde hazır bulunan kadarını alır ve geri kalan talep miktarı birikir ($I(t)$ biriken talep miktarına eşit negatif bir değer alır).
 8. Envanter seviyesi her günün başında kontrol edilip, değerlendirilmektedir ($t = 0, 1, 2, \dots, 120$).
 9. Yönetimsel olarak $s = 20$ ve $S = 40$ olmak üzere iki sabit tam sayı seçilir (bu değerler değiştirilebilir, fakat her zaman $s < S$ koşulu sağlanmalıdır).
 10. Eğer $I(t) \geq s$ ise, bir sonraki envanter değerlendirmesine kadar herhangi bir işlem yapılmayacaktır.
 11. Eğer $I(t) < s$ ise üretici firmadan $S - I(t)$ sayıda ürün sipariş edilmelidir (Üst sınır S 'ye tamamlanacak şekilde).
 12. Sipariş maliyeti \$32 ve ürün fiyatı \$3'dür.
 13. Elde bulundurma ve stoksuzluk maliyetleri her bir ürün için sırasıyla \$1 ve \$5'dir.
- Ürünlerin üretici firmadan tedariki 0.5 ile 1 gün arasında tekdüze dağılıma sahip bir teslim süresine sahiptir. Burada bütçenin (Y) ortalaması 130 ve varyansı 12 olan normal dağılımdan geldiği varsayımı kullanılmıştır (Hejazi, 2017).

Varsayımlara uygun olarak R yazılımında simüle edilen envanter sisteminde, s ve S değişkenleri dayanıklılık rasgele değişkeni maliyet için açıklayıcı değişkenlerdir. s ve S değişkenlerinin seviyeleri sırası ile (5, 15, 25) ve (30, 45, 60) olarak belirlenmiş ve

$$z_1 = \frac{s - \frac{[\max(s)+\min(s)]}{2}}{\frac{[\max(s)-\min(s)]}{2}}$$

$$z_2 = \frac{S - \frac{[\max(S)+\min(S)]}{2}}{\frac{[\max(S)-\min(S)]}{2}}$$

dönüşümleri ile bu seviyeler $(-1, 0, 1) = (5, 15, 25)$ ve $(-1, 0, 1) = (30, 45, 60)$ olarak kodlanmışlardır. İki faktör (açıklayıcı değişken) ve üç seviye üzerinden 5 tekrar ile 3^2 faktöriyel tasarım kullanılarak toplam maliyet için sonuçlar Tablo 1'deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 1. Yeniden sipariş noktaları için simüle edilen toplam maliyet değerleri

Tekrarlar (\$)					
Yeniden Sipariş Noktaları	1	2	3	4	5
(5,30)	148,75	144,63	142,08	145,83	149,82
(5,45)	142,08	139,18	142,19	137,45	139,81
(5,60)	138,60	135,50	137,70	136,08	137,79
(15,30)	128,93	133,18	135,51	132,85	134,66
(15,45)	126,45	125,13	129,20	131,43	127,56
(15,60)	122,04	125,88	123,05	128,38	121,78
(25,30)	131,12	128,34	132,43	133,95	130,19
(25,45)	123,73	125,72	124,94	124,93	119,50
(25,60)	123,15	120,62	123,31	117,44	122,75

Toplam maliyet değişkeni, envanter alt (s) ve üst (S) sınır değerleri üzerinden modellenerek dayanıklılık rasgele değişkeni için bir tahmin modeli oluşturulmuştur. Yapılan regresyon analizi sonucunda;

$$\hat{X}(z) = 127,341 - 7,846z_1 - 4,606z_2 + 4,918z_1^2 + 1,592z_2^2$$

$$(0.000) (0.000) (0.000) (0.000) (0.038)$$

denklemini en uygun model olarak belirlenmiştir ($R_{adj}^2 = \%92$). Bu model kullanılarak elde edilecek olan \hat{X} tahminlerinin dağılımı, z_0 dayanıklılık rasgele değişkeninin tahmin edilmek istendiği yeniden sipariş noktası olmak üzere, $\hat{z}_0 \sim N(a(z_0)' \hat{\beta}, \sigma^2 a(z_0)' (Z'Z)^{-1} a(z_0))$ olacaktır. Regresyon analizi sürecine ilişkin matris gösterimleri ve \hat{X} 'nin dağılımı üzerinden X dayanıklılık rasgele değişkeninin dağılımı, $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ varsayımı altında, aşağıdaki şekilde elde edilecektir:

$$Z = \begin{bmatrix} 1 & z_{11} & z_{12} & z_{11}^2 & z_{12}^2 & z_{11}z_{12} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & z_{n1} & z_{n2} & z_{n1}^2 & z_{n2}^2 & z_{n1}z_{n2} \end{bmatrix},$$

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, \quad \hat{\beta} = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \hat{\beta}_{11} \\ \hat{\beta}_{22} \\ \hat{\beta}_{12} \end{bmatrix}$$

$a(z) = (1, z_1, z_2, z_1^2, z_2^2, z_1z_2)$ olmak üzere $\hat{\beta} = (Z'Z)^{-1} Z'X$, $\hat{\beta} \sim N(\beta, \sigma^2 (Z'Z)^{-1})$ olacaktır. Buradan $\hat{X}(z)$ tahminlerine ve dağılım karakteristiklerine geçiş yapılırsa,

$$\begin{aligned} \hat{X}(z) &= a(z)\hat{\beta} \\ E(\hat{X}(z)) &= E(a(z)\hat{\beta}) = a(z)\beta \\ Var(\hat{X}(z)) &= \sigma^2 a(z)(Z'Z)^{-1} a'(z) = \sigma^2_{\hat{X}(z)} \end{aligned}$$

elde edilecek ve buradan da $\hat{X}(z) \sim N(a(z)\beta, \sigma^2_{\hat{X}(z)})$ sonucuna ulaşılabacaktır. Bu noktada özel olarak etki ve dayanıklılık rasgele değişkenlerinin dağılımı normal dağılım olarak ele alınacak olursa

$$\begin{aligned}
 R &\cong P(X < Y) = P(\hat{X}(x) < Y) = P(\hat{X}(x) - Y < 0) \\
 &= P\left(\frac{(\hat{X}(x) - Y) - E(\hat{X}(x) - Y)}{\sqrt{V(\hat{X}(x) - Y)}} < \frac{0 - E(\hat{X}(x) - Y)}{\sqrt{V(\hat{X}(x) - Y)}}\right) \\
 &= P\left(Z < \frac{\mu_Y - z(x)\beta}{\sqrt{\sigma^2_{\hat{X}(x)} + \sigma^2_Y}}\right) = \Phi\left(\frac{\mu_Y - z(x)\beta}{\sqrt{\sigma^2_{\hat{X}(x)} + \sigma^2_Y}}\right) = \hat{p}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

şeklinde ilgili olasılık kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

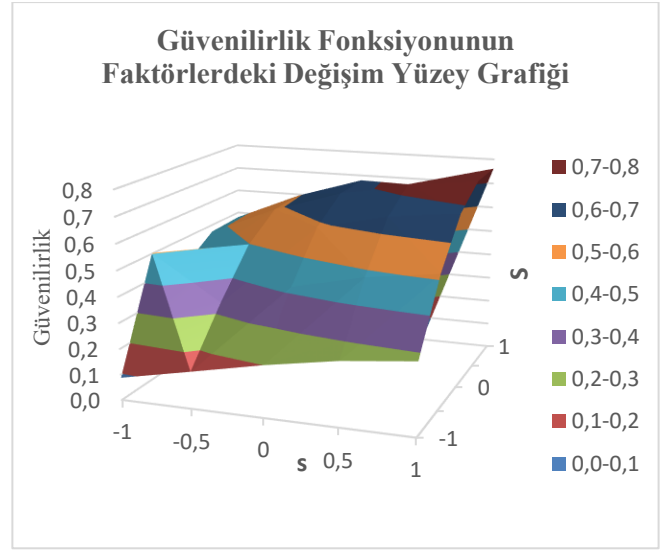
Güvenilirlik fonksiyonu, dayanıklılık rasgele değişkeni (deponun toplam maliyeti) ile etki rasgele değişkeninin (bütçe) bağımsızlığı altında ve dağılım bilgisi kullanılarak elde edilecektir. $P(Y > X)$ olasılığının hesaplanmasında, $\hat{X}(z) \sim N(a(z)\beta, \sigma^2_{\hat{X}(z)})$ tahmin değerleri ve eşitlik (2) kullanılarak, farklı yeniden sipariş noktaları için işletmenin envanter yönetim modelinin güvenilirliği hesaplanmış ve Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. İşletmenin envanter yönetim modelinin farklı yeniden sipariş noktalarına göre güvenilirliği

Yeniden Sipariş Noktaları		Güvenilirlik	Yeniden Sipariş Noktaları		Güvenilirlik
z_1	z_2	\hat{p}	z_1	z_2	\hat{p}
1	1	0,7630	0	0	0,5876
0,77	0,99	0,7677	-0,5	0	0,4178
0,5	1	0,7569	-1	0	0,2002
0	1	0,6815	1	-0,5	0,5949
-0,5	1	0,5173	0,5	-0,5	0,5874
-1	1	0,2776	0	-0,5	0,4986
1	0,5	0,7365	-0,5	-0,5	0,3327
0,5	0,5	0,7272	-1	-0,5	0,1432
0	0,5	0,6480	1	-1	0,4797
-0,5	0,5	0,4805	0,5	-1	0,4720
-1	0,5	0,2474	0	-1	0,3840
1	0	0,6790	-0,5	-1	0,5028
0,5	0	0,6721	-1	-1	0,0874

Tablo 2 incelendiğinde güvenilirlik fonksiyonunun en yüksek değerini, $z_0 = (0.77, 0.99)$ noktası civarında aldığı görülmektedir. Tablo 2’deki güvenilirlik fonksiyonunun faktörlere bağlı olarak aldığı değerler seviyelendirilmiş ve her bir seviye farklı bir renk ile Şekil 1’deki grafikte gösterilmiştir.

0.7 – 0.8 aralığını ifade eden kahverengi rengi, fonksiyonun aldığı değerlerin en üst seviyesini göstermektedir.



Şekil 1. Güvenilirlik fonksiyonunun faktörlerdeki değişime karşılık yüzey grafiği

Ters dönüşüm fonksiyonları uygulanarak bileşen bazında güvenilirliğin hangi (s, S) seviyesinde maksimum olduğu belirlenmiş olacaktır.

$$\begin{aligned}
 s &= z_1 \left(\frac{[\max(s) - \min(s)]}{2} \right) + \left(\frac{[\max(s) + \min(s)]}{2} \right) \\
 &= 0.77 \left(\frac{[25 - 5]}{2} \right) + \left(\frac{[25 + 5]}{2} \right) = 22.7
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= z_2 \left(\frac{[\max(S) - \min(S)]}{2} \right) + \left(\frac{[\max(S) + \min(S)]}{2} \right) \\
 &= 0.99 \left(\frac{[60 - 30]}{2} \right) + \left(\frac{[60 + 30]}{2} \right) = 59.85
 \end{aligned}$$

olarak hesaplanmıştır. Bu da, envanter alt (s) ve üst sınırlarının (S) sırası ile 22.7 ile 59.85 olduğu durumun, işletmenin envanter yönetim modelinin (bileşen bazında) güvenilirliğini maksimum düzeye çıkardığı anlamına gelmektedir.

Envanter modelinin varsayımlarından (5), talep boyutunun 1, 2, 3 ve 4 değerlerini alma olasılıkları, sırasıyla 0.175, 0.325, 0.236 ve 0.264 olarak varsayılmıştır. Bu varsayım altında envanter sistem simülasyonu tekrar çalıştırılarak benzer adımlar uygulanmış ve bu deponun maliyet verileri için uygun regresyon modeli elde edilmiştir. Elde edilen regresyon modeline bağlı olarak dağılım parametrelerinin tahmin değerleri hesaplanmış ve yeniden sipariş noktaları için deponun envanter yönetim modelinin güvenilirliği elde edilmiştir. İlk varsayımlara göre hesaplanan güvenilirlik R_1 , talep boyutunun değiştirilmesi

ile hesaplanan güvenilirlik R_2 olmak üzere, hesaplanan sonuçlar Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Envanter yönetim modelinin varsayımlara göre güvenilirliği (R_1, R_2)

Yeniden Sipariş Noktaları		R_1	R_2
-1	-1	0,0874	0,4729
-1	0	0,2002	0,6901
-1	1	0,2776	0,6323
0	-1	0,3840	0,6772
0	0	0,5876	0,8473
0	1	0,6815	0,8070
1	-1	0,4797	0,6517
1	0	0,6790	0,8300
1	1	0,7630	0,7870

Tablo 3 incelendiğinde $z_0 = (0, 0)$ olarak kodlanan $(s, S) = (15,45)$ envanter alt ve üst sınırlarının envanter yönetim modelinin güvenilirliğini maksimum düzeye çıkardığı görülmektedir.

Yine farklı varsayımların güvenilirlik üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla, envanter sistemi varsayımlardan (4) müşteri varış zamanları 0.5 gün ortalamayla üstel bir dağılıma sahip olacak şekilde değiştirilmiş ve etki rasgele değişkeninin (Y) ortalaması 50 ve varyansı 5 olan normal dağılımdan geldiği varsayımı kullanılmıştır. Envanter sistem simülasyonu tekrar çalıştırılarak ve benzer adımlar izlenerek deponun envanter yönetim modelinin güvenilirliği elde edilmiştir. İlk varsayımlara göre hesaplanan güvenilirlik R_1 , müşteri varış zamanları ve bütçenin değiştirilmesi ile hesaplanan güvenilirlik R_3 olmak üzere, hesaplanan sonuçlar Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Envanter yönetim modelinin varsayımlara göre güvenilirliği (R_1, R_3)

Yeniden Sipariş Noktaları		R_1	R_3
-1	-1	0,0874	0,9837
-1	0	0,2002	0,9659
-1	1	0,2776	0,7092
0	-1	0,3840	0,8538
0	0	0,5876	0,7707
0	1	0,6815	0,2977
1	-1	0,4797	0,2139
1	0	0,6790	0,1346
1	1	0,7630	0,0087

Tablo 4 incelediğinde $z_0 = (-1, -1)$ olarak kodlanan $(s, S) = (5,30)$ envanter alt ve üst sınırlarının envanter

yönetim modelinin güvenilirliğini maksimum düzeye çıkardığı görülmektedir.

4. Sonuç

Faaliyetteki bir işletmenin her bir deposunda talep ve teslim süresi rasgele olan bir (s, S) envanter yönetim modelinin kullanıldığı varsayımı üzerine bir simülasyon çalışması yapılmıştır. İşletmenin tek bir deposu için toplam maliyet dayanıklılık rasgele değişkeni (X) ve önceden belirlenen depo bütçesi ise etki rasgele değişkeni (Y) olarak ele alınmış; bu değişkenlerin normal dağılımdan geldiği durum için envanter sisteminin güvenilirliğine karşılık gelen $P(Y > X)$ olasılığı hesaplanmıştır. Farklı yeniden sipariş noktaları ele alınarak envanter sisteminin güvenilirliğini optimize eden envanter alt ve üst sınırları elde edilmiştir. Envanter yönetim modelinin varsayımlarının değişmesinin güvenilirlik üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla varsayımlardan bazıları değiştirilmiş ve bu olasılık tekrar hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, varsayımların değişmesinin aynı zamanda sistem güvenilirliğini maksimize eden yeniden sipariş noktalarının (envanter alt ve üst sınırlarının) değişmesine neden olduğu görülmüştür.

Kaynakça

- Adimari, G., Chiogna, M., 2006, Partially parametric interval estimation of $\Pr\{Y > X\}$. *Computational Statistics & Data Analysis* 51,1875 – 1891 pp.
- Ahmed, I. and Sultana, I., 2014, A literature review on inventory modeling with reliability consideration. *International Journal of Industrial Engineering Computations* 5:169–178 pp.
- Almaktoom, A.T., Krishnan, K.K., Wang, P. and Alsobhi, S., 2016, Cost efficient robust global supply chain system design under uncertainty, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 85, no. 1-4, 853–868 pp.
- Domma, F., Giordano, S., 2012, A stress-strength model with dependent variables to measure household financial fragility, *Stat. Methods Appl.*, vol. 21, 375-389 pp.
- Eryilmaz, S., 2008, Multivariate stress–strength reliability model and its evaluation for coherent structures, *Journal of Multivariate Analysis*, 99, 1878–1887 pp.
- Eryilmaz, S., 2008, Consecutive k-out-of-n : G system in stress-strength setup, *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, vol. 37, no.3, 579-589 pp.
- Hejazi, T. H., 2017, A multiresponse model for reliability-based simulation optimization in systems subjected to random external stresses, *Qual Reliab. Engng Int.*, vol.33, 1225–1233 pp.
- Huang, C., 2017, Evaluation of system reliability for a stochastic delivery-flow distribution network with inventory. *Annals of Operations Research, Springer*, vol. 277(1),33-45 pp.
- Jiang, L. and Wong, A. C. M., 2008, A note on inference for $P(X < Y)$ for right truncated exponentially distributed data, *Stat Papers*, 49, 637-651 pp.
- Johnson, R.A., 1988, 3 Stress-strength models for reliability, *Handbook of Statistics*, Vol.7, 27-54 pp.
- Kasap, N., Biçer, İ. ve Yüksel Özkaya, B., 2010, Stokastik envanter model kullanılarak iş makinelerinin onarımında kullanılan kritik yedek parçalar için envanter yönetim sistemi oluşturulması, *Istanbul University Journal of the School of Business Administration Cilt/Vol:39, Sayı/No:2*, 310-334 s.

- Kotz, S., & Pensky, M., 2003, The stress-strength model and its generalizations: theory and applications. Singapore: World Scientific
- Maji, A., Bhunia, A.K. and Mondal, S.K., 2020, Exploring a production-inventory model with optimal reliability of the production in a parallel-series system, *Journal of Industrial and Production Engineering*, 37:2-3, 71-86 pp.
- Place, C.S., Strutt, J.E., Allsopp, K., Irving, P.E. and Trille C., 1999, Reliability Prediction Of Helicopter Transmission Systems Using Stress–Strength Interference With Underlying Damage Accumulation, *Quality And Reliability Engineering International*, 15: 69–78 pp.



Düşük Maliyetli Soğutulabilir İnsülin Kalem Kutusunun Tasarım ve Prototip İmalatı

Mustafa Güneş^{1*}, Abdulhamit Sevgi², Çiğdem Serdengeçti³

^{1*} OSTİM Teknik Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0266-6370), mustafa.gunes@ostimteknik.edu.tr

² OSTİM Teknik Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3567-848X), abdulhamit.sevgi@ostimteknik.edu.tr

³ OSTİM Teknik Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1318-2010), cigdem.serdengecti@ostimteknik.edu.tr

(4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, November 10 - 13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1201924)

ATIF/REFERENCE: Güneş, M. & Sevgi, A., Serdengeçti, Ç. (2022). Düşük Maliyetli Soğutulabilir İnsülin Kalem Kutusunun Tasarım ve Prototip İmalatı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (43), 27-31.

Öz

Pankreasın insülini hiç üretmediği veya üretilen insülinin vücut tarafından etkin bir şekilde kullanılmadığı durumlarda kan şekerinin yükselmesine bağlı olarak ortaya çıkan ve kronik bir hastalık olan diyabetin Tip 1 türünde hastanın hayatının riske girmemesi için alınması gereken doz, insülin enjektör kalemleri ile sağlanır. Kullanılan bu kalemler, insülinin sıcaklıktan etkilenerek özelliğini yitirmesi sebebiyle soğuk zincirde muhafaza edilmelidir. Aksi takdirde hastaya ciddi zararlar verebilmesi mümkündür. Ev ortamında genellikle bu kalemler buzdolabında muhafaza edilirken, ev dışı ortamlarda korunması problem olmakta, hastalar değişen ortam sıcaklıklarından dolayı insülin kalemlerini yanlarında taşımakta güçlük çekmektedir. Bu problemin giderilmesine yönelik piyasada sınırlı sayıda insülin kalem kutuları mevcut olup, maliyetleri oldukça yüksektir. Yüksek maliyet sebebiyle toplumun her kesimi tarafından ulaşılması zorlaşmaktadır. Bu çalışmada Tip 1 diyabetli bireylerin dış ortamlarda muhafaza edebilecekleri boyutlarda ve ortam şartlarına göre soğutmaya sağlayabilecek elektronik donanıma sahip düşük maliyetli insülin kalem kutusunun tasarım ve prototip imalatı gerçekleştirilmiştir. Kutunun üretim aşamasında günümüz popüler teknolojisi olan 3 boyutlu baskı teknolojisinden faydalanılmış olup, kutu üzerindeki mikrodenetleyici ve termoelektrik soğutucu sayesinde sıcaklığın kapalı çevrim kontrolü sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: 3 Boyutlu Baskı, İnsülin Kalemi, Tip 1 Diyabet, Tip 2 Diyabet.

Design and Prototype Manufacturing of Low Cost Refrigerated Insulin Pen Box

Abstract

In cases where the pancreas cannot produce insulin at all or the produced insulin cannot be used effectively by the body, the dose to be taken is provided with insulin injector pens to prevent the patient's life from being at risk in Type 1 diabetes, which is a chronic disease that occurs due to high blood sugar. These used pens should be stored in the cold chain, as insulin loses its properties by being affected by temperature. Otherwise, it is possible to cause serious harm to the patient. While these pens are usually kept in the refrigerator in the home environment, it is a problem to protect them in out-of-home environments, and patients have difficulty carrying their insulin pens with them due to the changing ambient temperatures. There are a limited number of insulin pen boxes available in the market to solve this problem, and their costs are quite high. Due to the high cost, it is difficult to reach by all segments of the society. In this study, the design and prototype production of a low-cost insulin pencil case with electronic equipment that can provide cooling according to environmental conditions and sizes that individuals with Type 1 diabetes can store in the outdoor environment has been carried out. In

* Sorumlu Yazar: mustafa.gunes@ostimteknik.edu.tr

the production phase of the box, 3D printing technology, which is today's popular technology, was used, and closed-loop control of the temperature was ensured thanks to the microcontroller and thermoelectric cooler on the box.

Keywords: 3D Printing, Insulin Pen, Type 1 Diabetes, Type 2 Diabetes.

1. Giriş

Pankreasın insülin hormonunu yeterli miktarda üretememesi veya üretilen insülin hormonunun vücut tarafından etkin olarak kullanılamaması sonucu ortaya çıkan diyabet hastalığı son yıllarda oldukça sık rastlanır hale gelmiştir (McPhee & Papadakis, 2002; Sefil & Sefil, 2013; Vestergaard, 2007). Hastalığın karakteristik özelliği olan insülin yetersizliği sonucu hücreler glikozu kullanamaz ve kandaki şeker oranı yükselerek ölüme sonuçlanabilir. Hayati önem taşıyan bu hastalığın artmasına neden olarak yaşanan nüfus ile birlikte sedanter yaşam tarzı, beslenme alışkanlıkları ve kentleşme gibi çevresel faktörler görülmektedir. Düzenli ve dengeli beslenmeye özen göstererek sporla desteklenmiş hareketli bir yaşam tarzını benimsemek, diyabet hastalığından korunmayı mümkün hale getirebilmektedir (Kaya, 2003).

Uluslararası Diyabet Federasyonu (IDF) 2021 verilerine göre dünya üzerinde 537 milyon diyabetli hasta bulunmakta ve bu hastalığa bağlı olarak her beş saniyede bir insan hayatını kaybetmektedir. Diyabet, dünya genelinde dördüncü ölüm nedeni olmakla birlikte gelişmiş toplumlarda travma dışı amputasyonların, körlük ve böbrek yetmezliğinin önemli nedenlerinin başında gelmektedir. Diyabetli hastalarda ölümlerin yarısından fazlasının kalp hastalıkları ve kronik böbrek yetmezliği ile ilişkili olduğu bildirilmektedir (Agarwal, Venkatesh, & Tandon, 2008). Klinik olarak Tip 1, Tip 2, spesifik tipler ve gestasyonel diyabet olmak üzere dört ayrı sınıfta incelenmektedir (Schneider, 2007). Tip 2 diyabet, genetik yatkınlığı olan bireylerde çevresel faktörlerin etkisi başta olmak üzere; glikoz üretimi artışı, insülin direnci ve beta hücresi fonksiyon bozukluğu olmak üzere üç ana metabolik bozukluktan kaynaklanır (Inzucchi, & Sherwin, 2011). Orta ve ileri yaş hastalığı olarak kabul edilmekle birlikte son yıllarda genç kesim ve çocuklarda da görülmeye başlamıştır. Hastalığın tedavi sürecinin ilk aşamasında beslenme alışkanlıklarına yönelik medikal beslenme tedavisi, düzenli şekilde egzersiz programlarının uygulanması ile hasta bireyin yaşam tarzının değiştirilmesi yer alır. Bu sürece uyulmasına rağmen kan şekeri normal sınırlar içinde tutulamıyorsa tedaviye ek olarak kan şekerini düşüren ilaçlar eklenir (Song vd., 2016; Goyal, & Jialal, 2018; Cruz, Vences, & Vences, 2011; Call, Cortés, & Harris, 2021).

Tip 1 diyabet, tüm diyabetli hastaların yaklaşık %10'unu kapsamaktadır. Diyabetin bu türü insüline bağımlı şeker hastalığı olarak da bilinmektedir (Buschur, & Lawrence, 2016). İnsülin, midede sindirilebilir protein yapısına sahip olduğundan oral yolla alınmasında vücut tarafından kullanılması mümkün olmaz. Bu yüzden sadece enjeksiyon tarzında kullanılabilir (Bahreini, Rayzan, & Rezaei, 2022; Laubscher, Regier, & Jensen, 2009). Hastalar kendileri için hayati önem taşıyan insülini 'insülin kalemi' olarak bilinen enjeksiyonlar yardımıyla alırlar. Günlük insülin ihtiyacında yaş, boy, ağırlık, stres, üzüntü gibi kişisel verilerin yanında günlük gıda tüketimi ve aktivite düzeyi gibi değişkenler etkilidir.

Tip 1 Diyabet hastaları için hayati önem taşıyan ve mümkün olduğunca yanlarında bulunması gereken insülin, ısı

farklılıklarına karşı oldukça hassastır. Uzun süreli sıcak veya soğuk ortamlarda kalması durumunda yapısı bozulabilir ve etkisini yitirerek hastanın hayatını riske girmesi söz konusu olabilir (C Bossi vd., 2016). Ev ortamındayken buzdolabında (~+4°C) saklanması uygun olmakla birlikte hastalar her zaman ev ortamında bulunmayacağından dışarıda buldukları sürece ihtiyacı olan insülini yanlarında taşımaları gerekir. Özellikle yaz aylarında hasta bireyin yanında taşınması gereken insülin kalemlerini aşırı sıcak ortamlardan koruması ve sabit bir sıcaklıkta muhafaza etmesi son derece önemlidir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan klasik tip insülin kalemlerinin dış ortamlarda 2°C ile 8°C derece aralığında muhafaza edilmesi gerekmektedir. Bu sıcaklık değerleri dışında kalan insülinde bozulma yaşanabilmekte ve hastanın sağlığını tehdit eden sorunlara neden olabilmektedir (Veronesi vd., 2015; Pearson, 2010).

Tip 1 diyabetli hastaların insülin kalemlerini muhafaza etmelerine olanak tanıyan standart tip kalem kutuları mevcut olmakla birlikte bu kutuların uygun fiyatlı olanları ısı korumalı olmayıp değişken ortam sıcaklıklarında insülin kalemlerinin bozulmasına neden olabilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Klasik tip, soğutmasız insülin kalem kutusu (Shanghai, 2022)

Bu gibi durumlarda kullanılmaya yönelik, Şekil 2'de gösterildiği gibi soğutma işlevi sağlayabilen mini buzdolabı şeklinde insülin kalem kutuları Tip 1 diyabet hastalarına dış ortamlarda buldukları sürece kolaylık ve fayda sağlamaktadır.



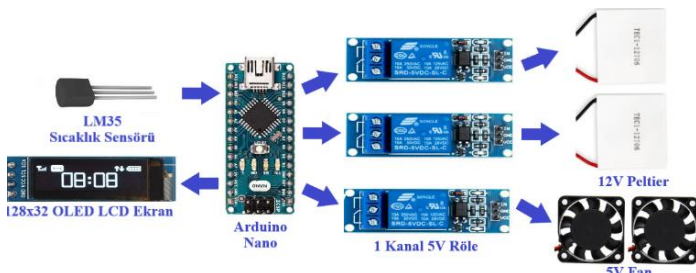
Şekil 2. Soğutma işlevi sağlayabilen insülin kalem kutusu (Alibaba, 2022).

Bu tip insülin kalem kutuları sayesinde hasta birey ev ortamı dışındayken insülin kalemini bozulmadan uygun şekilde taşıyabilmektedir. Tip 1 diyabet hastaları için son derece gerekli olan bu kutular, yurt dışından temin edilmekte ve buna bağlı olarak oldukça yüksek fiyatla satışa sunulmaktadır. Dolayısıyla ekonomik durumu iyi olmayan Tip 1 diyabetli hastaların bu ürünleri tedarik etmeleri ve kullanmaları mümkün değildir.

Bu çalışmayla; maliyeti düşük, dolayısıyla toplumun her kesimi tarafından erişimi mümkün olan ve soğutma özelliği sayesinde Tip 1 diyabet hastalarına ev ortamı dışında uzun süre bulunabilme imkânı tanıyarak yaşam kalitesini artırmaya yardımcı olan insülin kalemi taşıma kutuları üretimi hedeflenmiştir. Üretim yöntemi olarak son yıllarda pek çok alanda kullanımı hızla yaygınlaşan 3 boyutlu baskı teknolojisi kullanılmıştır. İnsülin kalemini taşımak için uygun sıcaklık şartlarını (2°C - 8°C) sağlayan ve koruyan mekanik ve elektronik donanımın tasarımı, üretilen kutuya entegre edilerek örnek bir prototipi üretilmiştir. Sistem üzerindeki mikrodenetleyici sayesinde sıcaklığın kapalı çevrim kontrolü sağlanırken, üzerindeki dijital ekrandan da sıcaklık değerleri anlık olarak takip edilebilmektedir. Prototipi üretilen insülin kalem kutusunun tasarımında, piyasada satışı gerçekleştirilen standart insülin kalemlerinin boyutları referans alınmıştır.

2. Materyal ve Metot

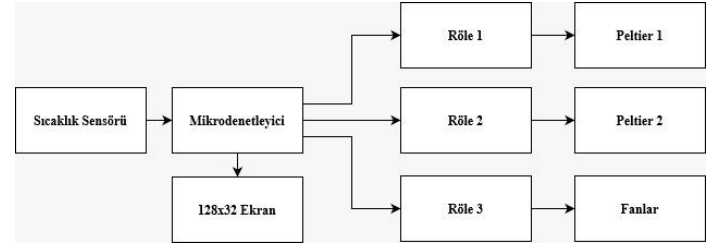
Bu çalışmada düşük maliyetli ve uzun süreli soğutma sağlayabilen insülin kalem kutusunun tasarım ve prototip imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda ilk olarak soğutma sistemi için gerekli elektronik donanım temin edilip Şekil 3'de olduğu gibi elektriksel bağlantıları yapılarak, ön yazılım üzerinde testi yapılmıştır. Cihaza gerekli enerjiyi sağlamak için USB giriş veya adaptör üzerinden sistemin beslenebilmesi gerçekleştirilmiş ve böylelikle sistemin araçlarda, seyahat esnasında, restoran, okul, iş yeri gibi dış ortamlarda kullanılması sağlanmıştır.



Şekil 3. Sisteme ait elektronik kontrol birimi tasarımı ve kullanılan elektronik donanım.

Sistemin soğutma işlevini gerçekleştirmesi için 40×40 mm boyutlarında 12V 5A'lık termoelektrik soğutucu (peltier) kullanılmıştır. Peltier, düşük ağırlığı, karmaşık olmayan yapısı, düşük gürültü ile çalışması, sıcaklık kontrolünün sağlanmasının kolay olması, küçük ebatlarda üretilmesi gibi birçok avantajının olması nedeniyle tercih edilmiştir. Peltierlerin enerjilendirilmesi için anahtarlama elemanı olarak 5V tetiklemeli röle kullanılmıştır. LM35 sıcaklık sensöründen gelen verilere göre mikrodenetleyici olarak kullanılan Arduino Nano'nun dijital pininden rölenin tetiklenmesi sağlanmıştır. Peltierden elde edilen soğuk havanın kutu içerisine dağıtılmasının sağlanması için 40×40 mm boyutlarında, 5V 1A değerinde DC motora sahip fan, işlem süresince ısınan kısmının soğutulması için de termojel kullanılmıştır. Anlık sıcaklık değerlerinin kullanıcı tarafından takip edilebilmesi için 128×32 piksel I2C haberleşme protokolünü

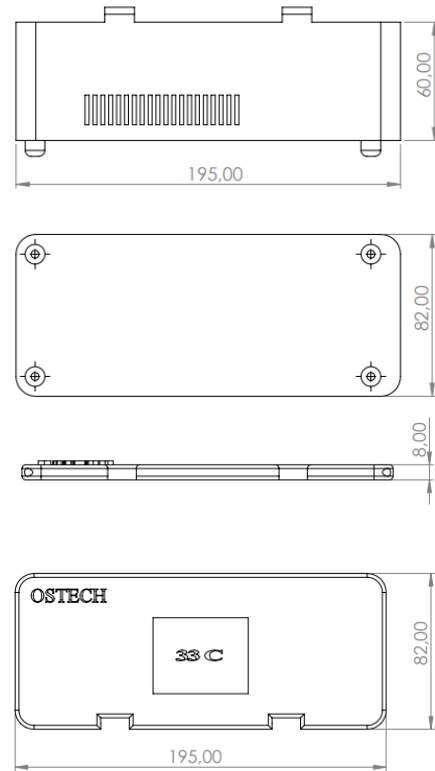
kullanan ekran tercih edilmiştir. Sisteme ait elektronik donanım ve yazılan programın çalışma algoritması Şekil 4'teki diyagramda görülmektedir.



Şekil 4. Elektronik donanıma bağlı olarak geliştirilen blok diyagramı.

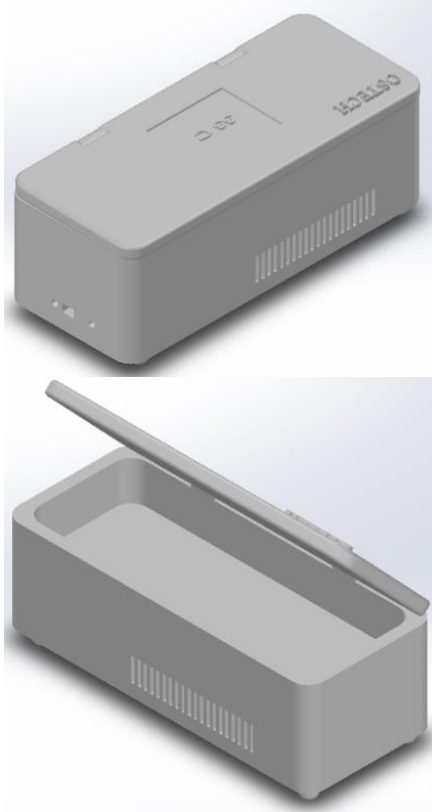
Sistemin çalışma prensibi şu şekildedir: Sıcaklık sensöründen gelen analog sıcaklık verilerine göre kutu içindeki sıcaklık 8°C 'nin üzerine çıkmaya başladığında ilk olarak röle 1 ve röle 2'nin tetiklenmesi ile peltier aktif hale getirilip soğutma işlemi başlatılmaktadır. Soğutmanın başlamasının ardından röle 3 aktive olarak kutu içerisindeki fanların çalışmasını ve soğuk havanın kutu içerisine dağıtılmasını sağlar. Bununla birlikte sistemden gelen sıcaklık verisi gerçek zamanlı olarak 128×32 ekran üzerinde görüntülenmektedir. Böylelikle kullanıcının kutu içi sıcaklığı hakkında bilgilendirilmesi sağlanır.

Sistemin genel elektronik donanımının ve yazılımının optimize edilmesinin ardından, kutunun tasarımı aşamasına geçilmiştir. Tasarım aşamasında SOLIDWORKS 2021 yazılımı kullanılarak, iki adet insülin kalemi kapasitesine sahip katı model oluşturulmuştur. İnsülin kalemlerinin ve elektronik donanımın yerleştirileceği alt kısım ile kapağına ait ölçüler farklı bakış açılarından Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Tasarımı yapılan insülin kalem kutusunun alt ve kapak kısmının genel ölçüleri.

Tasarımı yapılan insülin kalem kutusunun bilgisayar ortamında montajı gerçekleştirilerek prototip imalatına uygun formata dönüştürülmüştür. Farklı açılardan görünümü Şekil 6’te verilmiştir.



Şekil 6. Modellenen insülin kalem kutusunun farklı bakış açılarından görüntüleri.

Prototip üretimi aşamasında birçok geleneksel üretim yöntemlerinin aksine; geniş malzeme yelpazesi ve kişiselleştirilmiş tasarım imkânları ile üretime esneklik getirerek, ürünlerin daha hızlı pazarlanmasını sağlayan, düşük maliyetli ve daha az atık ile çalışan 3 Boyutlu Baskı teknolojisi kullanılmıştır. Katmanlı üretim olarak da bilinen 3 Boyutlu Baskı, genelde plastik formdaki malzemelerin katmanlar halinde üst üste eklenerek 3 boyutlu tasarımların somut nesnelere dönüştürülmesidir. Bu çalışmada açık kaynaklı Kartezyen tip yazıcı kullanılarak tasarımı yapılan kutunun üretimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 7).

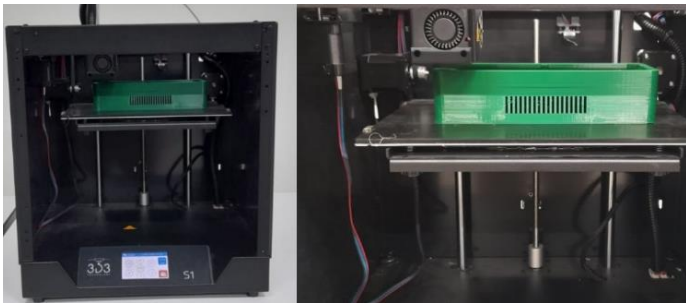
Diğer malzemelere göre genişleme katsayısının düşük olması, dayanıklı ve darbelere karşı dirençli olması ve sağlığa zararlı olmamasından dolayı 3 Boyutlu Baskı uygulamalarında sıklıkla tercih edilmekte ve son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışma kapsamında da PLA malzeme kullanılmıştır. Kutu prototip imalatının ardından sistemin montajı yapılmış ve yazılım optimize çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Baskı işlemi için FDM Kartezyen Tip 3 baskı cihazı kullanılmış, literatür doğrultusunda baskı hızı 70 mm/sn, katman yüksekliği 0,2 mm, dolgu yoğunluğu değerleri %50 olarak ayarlanmıştır (Güneş, Güneş, & Sevgi, 2021). Prototip imalatının ardından elde edilen nihai ürüne ait görsel Şekil 8’de verilmektedir.



Şekil 8. Üretim ve montaj işlemi gerçekleştirilmiş nihai ürüne ait görüntü.

4. Sonuç

Bu çalışmada, Tip 1 diyabet hastalarının kullanmakta olduğu, hayati önem taşıyan insülin kalemlerinin muhafaza edilmesine yönelik soğutma işlevine sahip, düşük maliyetli kutunun tasarım ve prototip imalatı gerçekleştirilmiştir. İlgili uygulama ile okul, kütüphane, kafeterya gibi ortamlarda veya seyahat esnasında insülin kalemlerinin güvenli bir şekilde taşınması, muhafaza edilmesi ve en önemlisi toplumun her kesimi tarafından erişilebilir olması amaçlanmıştır. Prototipi üretilen insülin kalem kutusu, ithal muadillerine göre yaklaşık 10 kat daha uygun fiyata imal edilmiştir. Maliyet farkındaki neden, insülin kutusunun imalatında 3 boyutlu baskı teknolojisinin kullanımı, oluşturulan sisteme ait mikrodenetleyici ve sensörlere ait yazılımın proje kapsamında gerçekleştirilmesidir.



Şekil 7. İnsülin kalem kutusunun prototip imalatı ve kullanılan 3 boyutlu yazıcıya ait görüntüler.

Bu çalışmada 3 Boyutlu Baskı yönteminde malzeme olarak PLA (Polilaktik asit) kullanılmıştır. PLA, doğal organik kimyasallardan elde edilen bir termoplastik bir biyopolimerdir.

Sonuç olarak, bu çalışmada 3 boyutlu baskı teknolojisi kullanılarak soğutuculu insülin kalem kutularının ithal çözümlerine alternatif olabilen, maliyeti düşük dolayısıyla herkes tarafından erişilebilir, yerli olması özelliğiyle ülkemiz ekonomisine katkıda bulunan insülin kalem kutusu üretilmiştir. Kutunun sağlam yapısı sayesinde insülin kaleminin toz, ışık gibi olumsuz dış etkenlere karşı korunması da sağlanmıştır. Söz konusu ürün, Tip 1 diyabet hastalarının dış ortamlarda daha rahat bulunmasını sağlamakta ve bu hastaların hayat kalitesinin yükselmesine katkıda bulunmaktadır.

Kaynakça

- Agarwal, S. K., Venkatesh, P., & Tandon, N. (2008). The kidney and the eye in people with diabetes mellitus.
- Alibaba, (2022, Kasım 5) Taşınabilir Seyahat Dondurucu Diyabetik İnsülin Soğutucu Mini Buzdolabı. [Çevrimiçi].<https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1MbZVdk9E3KVjSZFGq6A19XXac.jpg?width=8200&height=800&hash=1600>.
- Bahreini, F., Rayzan, E., & Rezaei, N. (2022). MicroRNAs and Diabetes Mellitus Type 1. *Current Diabetes Reviews*, 18(2), e021421191398-e021421191398.
- Buschur, E. O., & Lawrence, S. (2016). Diabetes Mellitus (Type 1). In *Care of Adults with Chronic Childhood Conditions* (pp. 131-147). Springer, Cham.
- Call, J. T., Cortés, P., & Harris, D. M. (2021). A Practical Review of Diabetes Mellitus Type 2 Treatment in Primary Care. *Romanian Journal of Internal Medicine*.
- C Bossi, A., Veronesi, G., S Poerio, C., Braus, A., Madaschi, S., Destro, M., ... & M Davis, E. (2016). A prospective study for introducing insulin pens and safety needles in a hospital setting. *The SANITHY study. Current diabetes reviews*, 12(4), 460-467.
- Cruz, G. O., Vences, A. R., & Vences, E. A. R. (2011). Diabetes mellitus type 2 treatment. *Revista de la Facultad de Medicina UNAM*, 54(1), 28-40.
- Goyal, R., & Jialal, I. (2018). Diabetes mellitus type 2.
- Güneş, M., Güneş, S., & Sevgi, A., (2021). 3 boyutlu polimer baskıda katman yüksekliğinin yüzey kalitesi ve mukavemete etkisinin incelenmesi, Uluslararası Çevrimiçi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Konferansı, Gümüşhane:
- Inzucchi, S. E., & Sherwin, R. S. (2011). *Type 2 diabetes mellitus. Cecil Medicine*. 24th ed. Philadelphia, Pa: Saunders Elsevier.
- Kaya, A. (2003). Obezite ve hipertansiyon. *Turkish Journal of Endocrinology and Metabolism*, 2, 13-21.
- Laubscher, T., Regier, L., & Jensen, B. (2009). Taking the stress out of insulin initiation in type 2 diabetes mellitus. *Canadian Family Physician*, 55(6), 608-611.
- McPhee, S. J., & Papadakis, M. A. (2002). *Current medical Diagnosis and Treatment*. International edition.
- Pearson, T. L. (2010). Practical aspects of insulin pen devices. *Journal of diabetes science and technology*, 4(3), 522-531.
- Schneider, M. E. (2007). Type 1, Type 2 Diabetes in Children Hard to Distinguish. *Clinical Endocrinology News*, 2(6), 29-29.
- Sefil, N., & Sefil, F. (2013). Diyet ve Diyabet. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tıp Dergisi*, 4(15), 25-32.
- Shanghai, (2022, Kasım 5). Blue Color Insulin Pen Box Insulin Travel Case for Pens Tinplate. [Çevrimiçi]. <http://www.diabetesinsulinpen.com/sale-9973898-blue-color-insulin-pen-box-insulin-travel-case-for-pens-tinplate-pu-leather-material.html>.

- Song, I. S., Han, K., Park, Y. M., Ji, S., Jun, S. H., Ryu, J. J., & Park, J. B. (2016). Severe periodontitis is associated with insulin resistance in non-abdominal obese adults. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 101(11), 4251-4259.
- Veronesi, G., Poerio, C. S., Braus, A., Destro, M., Gilberti, L., Meroni, G., ... & Bossi, A. C. (2015). Determinants of nurse satisfaction using insulin pen devices with safety needles: an exploratory factor analysis. *Clinical Diabetes and Endocrinology*, 1(1), 1-6.
- Vestergaard, P. (2007). Discrepancies in bone mineral density and fracture risk in patients with type 1 and type 2 diabetes—a meta-analysis. *Osteoporosis international*, 18(4), 427-444.



ISM 2.4 GHz Band Antenna Model for RF Energy Harvesting Systems

Cem Gocen¹, Ismail Akdag², Mehmet Ali Belen³, Peyman Mahouti⁴, Adnan Kaya⁵, Merih Palandoken^{6*}

¹ Izmir Katip Çelebi University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Smart Factory Systems Application and Research Center, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8086-5690), cem.gocen@ikcu.edu.tr

² Izmir Katip Çelebi University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Smart Factory Systems Application and Research Center, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6470-5892), ismail.akdag@ikcu.edu.tr

³ İskenderun Technical University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Hatay, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5588-9407), mali.belen@iste.edu.tr

⁴ Yıldız Technical University, Department of Avionics Electronic, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3351-4433), pmahouti@yildiz.edu.tr

⁵ Izmir Katip Çelebi University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Smart Factory Systems Application and Research Center, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9943-6925), adnan.kaya@ikcu.edu.tr

^{6*} Izmir Katip Çelebi University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Smart Factory Systems Application and Research Center, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3487-2467), merih.palandoken@ikcu.edu.tr

(4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, November 10 - 13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1202107)

ATIF/REFERENCE: Gocen C., Akdag I., Belen M.A., Mahouti P., Kaya A., & Palandoken M. (2022). ISM 2.4 GHz Band Antenna Model for RF Energy Harvesting Systems. *European Journal of Science and Technology*, (43), 32-35.

Abstract

In today's world many technological devices can operate with very low power levels. Despite this situation, these devices need to be fed with a sustainable energy source and constantly charged. This low level power need can be attained from ambient electromagnetic waves from any radio frequency sources. Radio frequency energy harvesting systems can be offered to feed these type of devices and these systems have been used in many areas in recent years. In this study, an antenna design that can be used in RF energy harvesting systems is emphasized. Within the scope of this study, an RF energy harvesting antenna operating at 2.4 GHz frequency has been modeled. The electromagnetic performance and antenna fundamental parameters of the RF energy harvesting antenna are numerically calculated using a commercial 3D based on a transmission line matrix (TLM) and the finite integration technique (FIT). The physical extents of the antenna are 35 x 28 x 1.6 mm. The proposed RF energy harvesting antenna has 2.1 dBi directivity and %98.1 radiation efficiency performance parameters. The antenna proposed here can be have usage areas such as an RF energy harvesting antenna for low-power medical devices, self sustainable wireless devices in Internet of Things (IoT), Wireless Body Sensor Network (WBSN) devices.

Keywords: RF Energy Harvesting, ISM Band, Microstrip Antenna, 2.4 GHz, Rectifying Antenna.

RF Enerji Hasatlama Sistemleri için ISM 2.4 GHz Bandı Anten Modeli

Öz

Günümüz dünyasında birçok teknolojik cihaz çok düşük güç seviyelerinde çalışabilmektedir. Bu duruma rağmen bu cihazların sürdürülebilir bir enerji kaynağı ile beslenmesi ve sürekli şarj edilmesi gerekmektedir. Bu düşük seviyeli güç ihtiyacı, herhangi bir radyo frekansı kaynağından gelen elektromanyetik dalgalarından elde edilebilir. Bu tür cihazları beslemek için radyo frekans enerji hasatlama sistemleri sunulabilir ve bu sistemler son yıllarda birçok alanda kullanılmaktadır. Bu çalışmada, RF enerji hasatlama sistemlerinde kullanılacak bir anten tasarımı üzerinde durulmuştur, 2.4 GHz frekansında çalışan bir RF enerji hasatlama anteni modellenmiştir. RF enerji toplama antenin elektromanyetik performansı ve anten temel parametreleri, iletim hattı matrisine (TLM) ve sonlu entegrasyon tekniğine (FIT) dayalı ticari 3D tabanlı simulator kullanılarak sayısal olarak hesaplanmıştır. Antenin fiziksel boyutları 35 x 28 x 1.6 mm'dir. Önerilen RF enerji hasat anteni, 2.1 dBi yönlülüğü ve %98.1 radyasyon verimliliği performans parametrelerine

* Corresponding Author: merih.palandoken@ikcu.edu.tr

sahiptir. Burada önerilen anten, düşük güçlü tıbbi cihazlar için RF enerji toplama anteni, Nesnelerin İnterneti (IoT) içinde kendi kendini sürdürebilen kablosuz cihazlar, Kablosuz Vücut Sensör Ağı (WBSN) cihazları gibi kullanım alanlarına sahip olabilir.

Anahtar Kelimeler: RF Enerji Hasatlama, ISM Bandı, Mikroşerit Anten, 2.4 GHz, Doğrultucu Anten.

1. Introduction

Wireless energy harvesting is nearly a century old term (Tran et al., 2017). The achievements as a result of research conducted to date have made energy harvesting (EH) that can provide alternative energy sources a reality. One definition for a wireless power transmission (WPT) system describes a unit that sends electrical power from one place to another without the use of cables or a supporting medium (Brown, 1996). Radio frequency energy harvesting (RF EH) is an energy conversion technique used to convert energy from electromagnetic (RF) signals to DC electric signal (Serdijn et al., 2014). Fundamentally, the system has two antennas to send and receive electromagnetic waves, and a DC power converter unit to convert the electromagnetic wave received by the receiving mode antenna into direct current. With the developing technology, smart devices that encountered in all areas of our lives, IoT devices with internet connectivity, small medical equipment constantly need low power. However, it is impractical to constantly charge devices with very low power consumption. By using RF EH systems, it is possible to operate some devices with low power consumption with electromagnetic waves floating freely in the air. Many of the mobile phones, modems, bluetooth devices, TV and radio systems operate with RF waves. As a concept, energy can be obtained by harvesting RF energy waves on the devices with a system designment at the operating frequency of these devices.

There are many publications on RF energy harvesting in the literature, especially on antenna with rectifier and system design (Kaur et al., 2019; M Palandoken et al., 2018; Merih Palandoken & Gocen, 2019; Zeng et al., 2017). In (Sun et al., 2012), offered rectenna with simple structure and 8.6 dBi gain operates at 2.45 GHz. Also in (Sun et al., 2012), have been modeled a rectenna for near field wireless power transmission system on high power level also operates at 2.45 GHz. Physically transparent rectifier (Sun et al., 2012), and RF EH antenna and RF to DC rectifying circuit for urban applications studies (Jiang et al., 2014) also be found in literature. (Zhang et al., 2009) has been used compact folded dipole architecture for rectenna designment.

In this paper, an antenna designment is proposed for use in RF EH applications operating at 2.4 GHz frequency. Electromagnetic numerical calculation tools have been used in antenna modeling and antenna performance has been verified with these programs. Antenna modeling has been made on FR-4 base material with a 1.6 mm thick. Section 2 presents the designment parameters of proposed RF EH antenna, Chapter 3 presents the performance parameters and numerical calculation results of the proposed antenna, and Chapter 4 presents the conclusion and recommendations.

2. Material and Method

The designment of the proposed radio frequency energy harvesting (RF EH) antenna with geometrical model parameters in mm is shown in Figure 1. The antenna substrate is FR-4 the material thickness of the substrate is 1.6 mm with a ϵ_r of 4.3 and a $\tan \delta$ of 0.02. The RF EH antenna is modeled and optimized to

retrieve the energy from the ambient at the electromagnetic spectrum in microwave range of ISM band 2.4 GHz. The physical extents of the antenna are 35 x 28 mm.

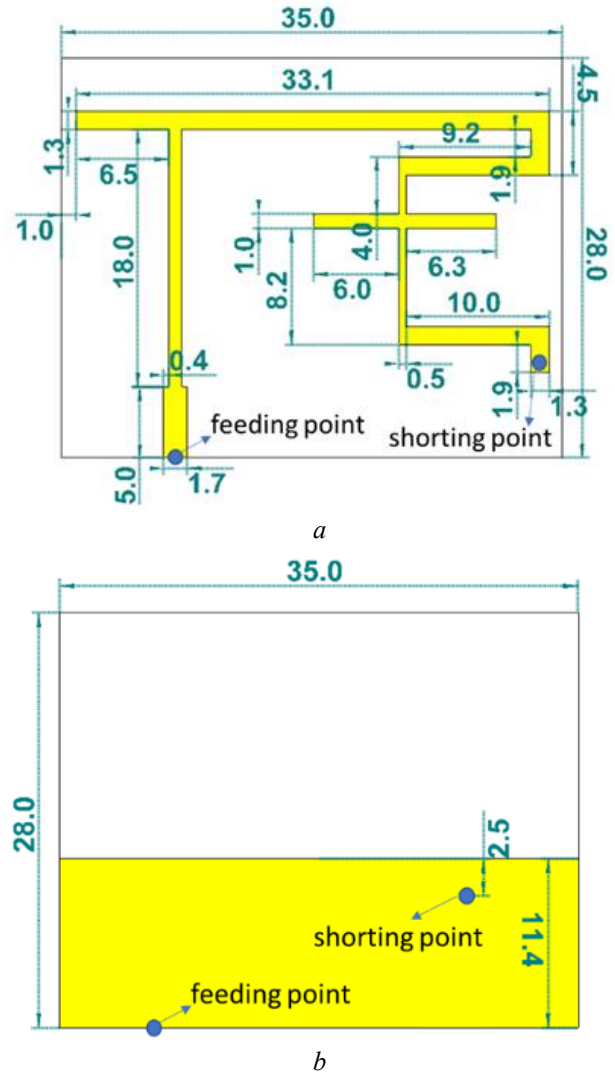


Figure 1. Proposed RF EH antenna designment: (a) top and (b) ground layers.

There is a long feed line on the top layer of the RF EH antenna, which is subsequently narrowing in the middle, this line is divided into two asymmetrical transmission lines at the top. An E-shaped conductor is formed at the end of the right one of these asymmetrical transmission lines. The E-shaped conductor, created to adjust the 2.4 GHz resonance frequency, the antenna has been short-circuited to the ground layer according to a pin to improve the return loss parameter. On the ground layer of the RF EH antenna, there is a short and wide ground conductor extending from the bottom to the middle.

3. Results and Discussion

The RF performance parameters of the RF EH antenna is numerically computed using a commercial 3D based on a TLM

and the FIT, CST Studio Suite. The operating performance of the proposed RF EH antenna has been examined in the 1.8 - 3 GHz range, and the S_{11} value has been obtained as 23.29 dB at the 2.4 GHz centre operating frequency, and the operational bandwidth has been obtained as 170 MHz in the 2.33 - 2.50 GHz range. The S_{11} graph is presented in Figure 2.

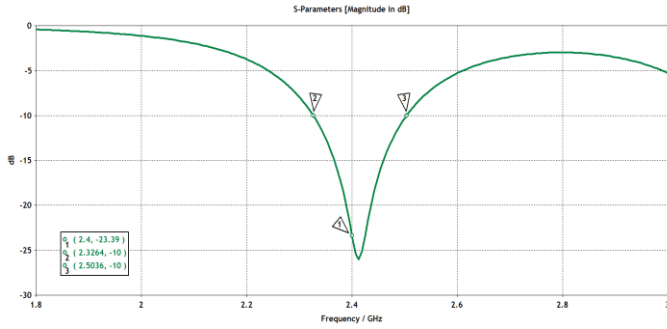


Figure 2. The S_{11} graph of the proposed RF EH antenna.

The 3D radiation pattern of the proposed RF EH antenna is shown in Figure 3. The peak level of realized gain is 2.0 dBi at 2.4 GHz. The antenna radiation performance can be concluded as 98.1% radiation efficiency with a directivity of 2.1 dBi.

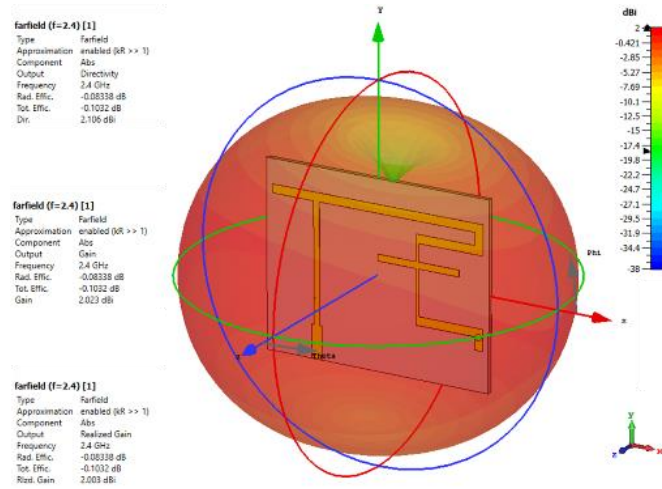


Figure 3. The 3D radiation pattern of the proposed RF EH antenna at the resonance frequency of 2.4 GHz.

The polar radiation pattern of the proposed RF EH antenna is shown in Figure 4. The HPBW of the radiated field is 92.1 degrees in the $\phi = 90$ plane.

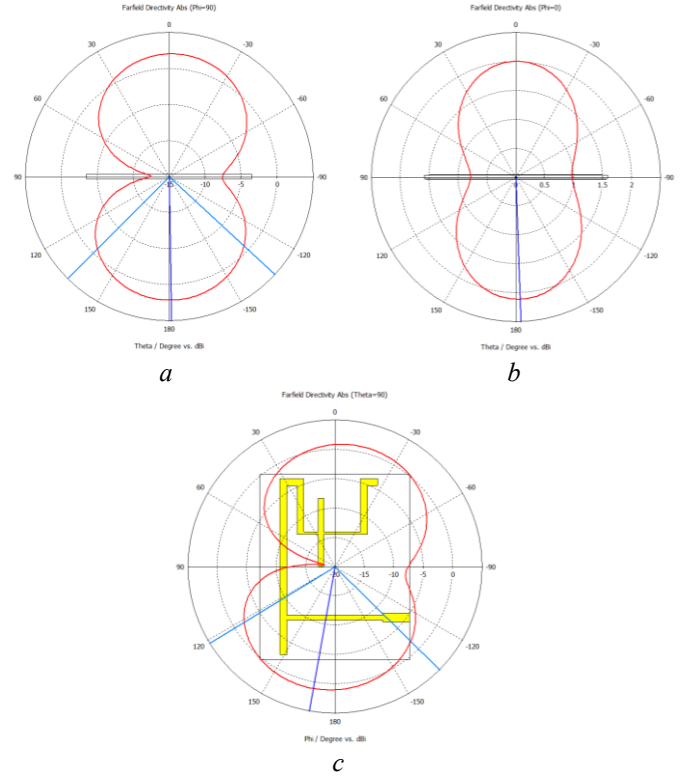


Figure 4. The 3D radiation pattern of the proposed RF EH antenna at the resonance frequency of 2.4 GHz.

4. Conclusions and Recommendations

In this study, an RF EH antenna which operates in the ISM 2.4 GHz band has been modeled. The realized antenna has 2.0 dBi gain and 98.1% radiation efficiency. Due to the small size and compact structure of the antenna, it is thought that it is possible to use it with a rectifier unit in small medical devices with low energy consumption. The performance of the proposed antenna can be improved by developing surrogate based models.

5. Acknowledge

This work has been supported by Project 121N412 of TUBITAK (Scientific and Technological Research Council of Turkey).

References

- Brown, W. C. (1996). The history of wireless power transmission. *Solar Energy*, 56(1), 3–21. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0038-092X\(95\)00080-B](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0038-092X(95)00080-B)
- Jiang, W., Zhang, B., Yan, L., & Liu, C. (2014). A 2.45 GHz rectenna in a near-field wireless power transmission system on hundred-watt level. *2014 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS2014)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/MWSYM.2014.6848644>
- Kaur, K. P., Upadhyaya, T., Palandoken, M., & Gocen, C. (2019). Ultrathin dual-layer triple-band flexible microwave metamaterial absorber for energy harvesting applications.

- International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 29(1), e21646.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/mmce.21646>
- Palandoken, M., Gocen, C., Kaya, A., Gunes, F., Baytore, C., & Can, F. C. (2018). A Novel Split-Ring Resonator and Voltage Multiplier based Rectenna Design for 900 MHz Energy Harvesting Applications. *Radioengineering*, 27(3), 711–717. <https://doi.org/10.13164/re.2018.0711>
- Palandoken, Merih, & Gocen, C. (2019). A modified Hilbert fractal resonator based rectenna design for GSM900 band RF energy harvesting applications. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 29(1), e21643.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/mmce.21643>
- Serdijn, W. A., Mansano, A. L. R., & Stoopman, M. (2014). Chapter 4.2 - Introduction to RF Energy Harvesting (E. Sazonov & M. R. B. T.-W. S. Neuman (eds.); pp. 299–322). Academic Press.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-418662-0.00019-2>
- Sun, H., Guo, Y., He, M., & Zhong, Z. (2012). Design of a High-Efficiency 2.45-GHz Rectenna for Low-Input-Power Energy Harvesting. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 11, 929–932.
<https://doi.org/10.1109/LAWP.2012.2212232>
- Tran, L.-G., Cha, H.-K., & Park, W.-T. (2017). RF power harvesting: a review on designing methodologies and applications. *Micro and Nano Systems Letters*, 5(1), 14.
<https://doi.org/10.1186/s40486-017-0051-0>
- Zeng, M., Andrenko, A. S., Liu, X., Li, Z., & Tan, H.-Z. (2017). A Compact Fractal Loop Rectenna for RF Energy Harvesting. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 16, 2424–2427.
<https://doi.org/10.1109/LAWP.2017.2722460>
- Zhang, F., Nam, H., & Lee, J.-C. (2009). A novel compact folded dipole architecture for 2.45 GHz rectenna application. *2009 Asia Pacific Microwave Conference*, 2766–2769.
<https://doi.org/10.1109/APMC.2009.5385366>



Comparison of the Effect of MFCC and GTCC Features on Determining the Ideal Recording Time for Body Sound Location Identification

Osman Ballı

Department of Computer Engineering, Malatya Turgut Ozal University, Turkey, ORCID: 0000-0001-6757-3717, osman.ballı@ozal.edu.tr

(4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, November 10 - 13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1202062)

ATIF/REFERENCE: Ballı, O. (2022). Comparison of the Effect of MFCC and GTCC Features on Determining the Ideal Recording Time for Body Sound Location Identification, *European Journal of Science and Technology*, (43), 36-40.

Abstract

One of the fastest ways to get information about the state of the human body is to analyse body sounds. The ability to transfer sounds to a digital medium facilitates this analysis. In this study, zone detection was performed from the sound data obtained from the heart, lung, and abdominal regions. 20s data with a sampling frequency of 4000 from 12 men were used in the training. The data was analysed in 9 different seconds. All data for each second is divided and prepared for training. Features were extracted using MFCC and GTCC and these features were trained in CNN model. The effect of MFCC and GTCC coefficients on the results was compared. In training, the best result was obtained from the MFCC coefficient obtained from 1.5-second recordings with 98%, and in validations, the best result was obtained from MFCC coefficients of 1-second recordings with 85%. Looking at the general validation results, it was seen that the MFCC results were more successful.

Keywords: Artificial intelligence, body sounds, convolution nneural network, gammatone cepstral coefficients, mel-frequency cestrum coefficients

Vücut Seslerinden Bölge Tanımlanması için İdeal Kayıt Süresinin Belirlenmesinde MFCC ve GTCC Özniteliklerinin Etkisinin Karşılaştırılması

Öz

İnsan vücudunun durumu hakkında bilgi almak için yapılabilecek en hızlı yöntemlerden birisi vücut seslerini analiz etmektir. Seslerin dijital ortama aktarılabilmesi bu analizi kolaylaştırmaktadır. Bu çalışmada kalp, akciğer ve karın bölgelerinden alınan ses verilerinden bölge tespiti yapılmıştır. Eğitimde 12 kişiden alınan 4000 örnekleme frekansına sahip 20s lik veriler kullanılmıştır. Veriler 9 farklı saniyede incelenmiştir. Her bir saniye için tüm veriler bölünmüş ve eğitim için hazırlanmıştır. MFCC ve GTCC kullanılarak öznitelikler çıkarılmış ve bu öznitelikler CNN modelinde eğitilmiştir. MFCC ve GTCC katsayılarının sonuçlar üzerindeki etkisi kıyaslanmıştır. Eğitimde en iyi sonuç %98 ile 1,5 saniyelik kayıtlardan alınan MFCC katsayısından, validationlarda ise en iyi sonuç %85 ile 1 saniyelik kayıtların MFCC katsayılarından elde edilmiştir. Genel validation sonuçlarına bakıldığında MFCC sonuçlarının daha başarılı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yapay zeka, vücut sesleri, evrişimli sinir ağı, gammatone kepsral katsayısı, mel-frekansı kepsral katsayıları

1. Introduction

The process of listening to body sounds is called "auscultation". Through the process of auscultation, doctors can obtain general information about human health. The most important part of this procedure is the stethoscope. Since the invention of the stethoscope in 1816, it has shown a lot of progress (Tamas et al., 2016). Especially the developments in the technological field have also affected the health field, and electronic stethoscopes have started to be used more often. Body sound data obtained thanks to these stethoscopes can be stored and analysed electronically.

The most basic material required for the use of artificial intelligence is "data". Artificial intelligence, which has begun to play an important role in the field of health, can diagnose many diseases such as COPD and asthma. At the same time, with the use of artificial intelligence methods, early diagnosis, which is an important parameter for treatment, can be made more accurately and quickly. Artificial intelligence needs to work with meaningful features to give better results. MFCC and GTCC are generally used to generate meaningful coefficients from audio data. In recent years, there have been several publications on lung sound recognition using MFCC (Pittner and Kamarthi, 1999; Mayorga et al., 2010; Bahoura and Pelletier, 2004; Bahoura and Ezzaidi, 2013). Looking at the literature, Aziz et al first pre-processed auscultatory signals through Empirical Mode Decomposition (EMD), which separates the original signal into constituent components known as intrinsic mode functions (IMFs).

IMFs carrying redundant and noisy data are rejected and thus the pre-processing has become more efficient. After pre-processing, MFCC is applied with the obtained coefficients. Support Vector Machines (SVM) classifiers are trained and tested through 5-fold cross validation. It is performed on various classifiers on a self-collected dataset containing 480 auscultation signals from normal and pneumonic subjects. different classifiers to classify pneumonia and normal subjects SVM-linear (SVM-L), SVM-Quadratic (SVM-Q), Ensemble-Boosted trees (En-B. T), Ensemble-KNN (En-KNN) and K-nearest neighbor-coarse (KNN-C) for performance evaluation to extract the highest accuracy. The highest success was achieved in SVM-Quadratic with 99.7% (Aziz et al., 2019). In their study to measure asthma severity, Shaharum et al obtained the best performance using MFCC features using the KNN classifier. As a result of training with a total of 250 breathing data from 50 men, the highest result is 95.92%, 96.33% and 98.42% average accuracy, sensitivity, and specificity (Shaharum et al., 2019). Cheng et al. collected the sleep sounds of 33 patients and 10 normal men in their study for the diagnosis of obstructive sleep apnea hypopnea syndrome. Then Mel-frequency cepstrum coefficients (MFCC), Mel Filter Banks (Fbanks), Short-Term Energy and Linear Prediction Coefficient (LPC), characteristic features of snoring, which represent different characteristics of snoring, were extracted. To identify snoring and synthesize information, an input model based on LSTM, which can capture various audio features, is designed. In the experiment, snoring related to the respiratory event and normal snoring were classified with 95.3% accuracy (cheng., 2022). In Lella and Pja's study on the diagnosis of Covid 19, the features were obtained with De-noising Auto Encoder (DAE) technique, GFCC (Gamma-tone Frequency Cepstral Coefficients), and IMFCC (Improved Multi-frequency Cepstral Coefficients) methods, and CNN trained in the model. With the

data set consisting of Breath, Cough, Sample Voice data, it achieved the highest efficiency with a value of 95.45% (Lella and Pja, 2022). Dar et al designed an effective Covid-19 detection model using designed JHBO-based DNFN. Gaussian Filter was applied to remove the noises and then feature extraction was performed with MFCC. accuracy, sensitivity, and specificity of 0.9176, 0.9218 and 0.9219 were obtained (Dar et al., 2022). Bardou et al., in their work on the classification of breathing sounds, determined the features to be used for classification as MFCC, spectrum and LBP (local binary pattern). It achieved 91.12 in training with MFCC features and SVM classifier. Using the same features and the CNN classifier, 91.67% success was achieved (Bardou et al., 2018). In another study conducted with the MFCC and CNN model, 93% success was achieved in the respiratory dataset containing 6 classes (COPD (Chronic Pulmonary Obstructive Disease), Healthy, URTI (Upper Respiratory Tract Infection), Bronchiectasis, Pneumonia, Bronchiolitis.) (Mridha et al., 2021). In the work done by Jayalakshmy and Sudha, first, feature vectors of lung sounds were extracted with intrinsic mode function (IMF). In the next step, Gammatone filters were applied to the best combination IMF features and Gammatone cepstral coefficients (GTCC) were calculated. results show that the proposed GTCC of the third IMF component applied to the clustered BiLSTM framework outperforms the competing Convolutional Neural Network classification method in terms of accuracy, specificity, and sensitivity (Jayalakshmy and Sudha, 2021). In Kutlu and Karaca's study, feature selection was done using Mel frequency cepstral coefficients (MFCC) and gammatone cepstral coefficients (GTCC) methods. With the obtained results, the classification process was not done with the traditional CNN model. The results obtained are between 82.9% and 85.83%. The results obtained using the MFCC method were determined to be more successful (Kutlu and Karaca, 2022).

In this study, a comparison of MFCC and GTCC feature extraction methods on regional sound detection was conducted. Correct labelling of data, which is one of the most important materials for artificial intelligence, is very important for training. The fact that labelling is done by people and the importance of experience makes this study important. A model design that can prevent mislabelling has been considered.

2. Material and Method

2.1. Database

Breathing sounds from 12 men and 20 regions were used in this study. These sounds include 4 abdominal regions, 4 cardiac regions and 12 lung regions. 20s sounds with a sampling frequency of 4000 Hz were taken from each region. The sounds are divided into intervals of 1,1.5,2,2.5,3,2.5,4,4.5s and characterized by MFCC and GTCC. The default features of the MFCC and GTCC functions of the Scipy library of Python were used to create the feature. For training, the same number of random lung data as Abdomen and heart regions were obtained, and training was performed with the same amount of data for each region.

2.2.Mel Frequency Spectral Coefficient (MFCC)

The three main methods used when characterizing breathing sounds are: statistics in the time-frequency domain, wavelet coefficients, and cepstrum coefficients (Meng et al., 2020). When the literature is examined, it can be seen that MFCC gives good results in sound data in general (Kutlu and Karaca, 2022). MFCC relies on Mel frequency filtering and cepstrum analysis to extract features of the audio signal spectrum. MFCC is pre-emphasized and framed first. In the framing process, the signal is divided into short pieces. The length of split signals is about 20-40 ms. A windowing method is used to avoid discontinuity between signals. The FFT is then applied to each short-term analysis window. The mel function is used to create the Mel filter bank. Discrete Cosine Transform (DCT) is applied to the resulting frames and delta coefficients are obtained (Winursito et al., 2018). The number of features of each data as a result of MFCC is given in Table 1.

Table 1. Count of MFCC Coefficient obtained by seconds

Time (s)	Count of Coefficient
1	1287
1,5	1937
2	2587
2,5	3237
3	3887
3,5	4537
4	5187
4,5	5837
5	6487

2.2. Gammatone cepstral coefficients (GTCC)

Gammatone Cepstral Coefficients (GTCCs) have continued to be effective even though MFCCs have gained importance in audio data recognition in the last few years (Jayalakshmy and Sudha, 2021). GTCC feature extraction is similar to MFCC feature extraction. First, windowing is applied to audio signals. Gammaton filter banks are then applied to the fast Fourier transformed signal to highlight the most important frequencies present in the audio signal. Finally, similar to the steps involved in MFCC, a log function and a discrete cosine transform (DCT) are applied to the output of the filter banks to obtain the coefficients. The number of features of each data as a result of GTCC is given in Table 2.

Table 2. Count of GTCC Coefficient obtained by seconds

Time (s)	Count of Coefficient
1	1273
1,5	1924
2	2574
2,5	3224
3	3874
3,5	4524
4	5174
4,5	5824
5	6474

2.3. Convolution Neural Network (CNN)

Convolutional Neural Networks are a branch of deep learning. It is the most widely used deep learning method today. This method

provides feature extraction using Convolution, Pooling, Dropmax and Full layer Connect layers. A neural network is then trained on these outputs. In this study, data consisting of MFCC and GTCC features are given as input data to CNN. The data were divided into 9 different periods and their achievements were evaluated.

When we look at the model used in this study, 3x3 filters of 64 grains were applied twice in the Convolution layer. After that, 3x3 max pooling was done. 0.60 dropout added to these two operations. These 3 operations were repeated 3 times and a flattened layer was created. A 100-neuron neural network consisting of 1 Hidden Layer is added to the Flatten layer. It was realized with 500 epochs in trains. After 500 epochs, analyzes were made on the highest train results. 70% of the data was used for training and 30% for validation. The numbers of train and validation data for the times used in MFCC and GTCC are given in Table 3.

Table 3. Train and validation data numbers used in model training

Time (s)	Count of Train Data	Count of Validation Data
1	1872	1008
1,5	1310	706
2	936	504
2,5	748	404
3	655	353
3,5	561	303
4	468	252
4,5	468	252
5	374	202

The CNN model was applied to the generated data sets and the results were compared.

3. Results and Discussion

Results Auscultation sounds provide information about the patient's general condition. Today, with the rise of artificial intelligence, the importance of data has increased. Correct processing, recording, and labelling of data in the health field are very important. Since the use of artificial intelligence in the field of health will directly affect human health, the successful results obtained in this area will positively contribute to early diagnosis and treatment.

This study examined the effect of MFCC and GTCC on the ideal regional diagnosis recording time. The records are divided into 9 periods from 1 to 5 and analyzed. When the training results with MFCC were examined (Figure 1), it was seen that the highest performance was in the data of 1.5s duration. Looking at the test data obtained in the highest performance, it was found that the highest test performance is in the 1s data. In the data of 4s, it is seen that despite the high train result, the lowest validation success.

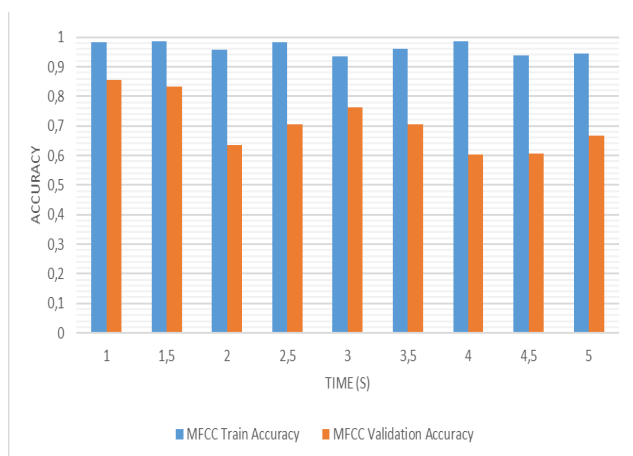


Fig. 1 MFCC performance results

When the results of the trains made with GTCC are examined (Figure 2), it is observed that the highest performance is in the data of 2s duration. It is seen that the highest successful validation results are in 1s time data, as in MFCC. It was seen that the lowest GTCC validation result was in the data with a duration of 4.5s.

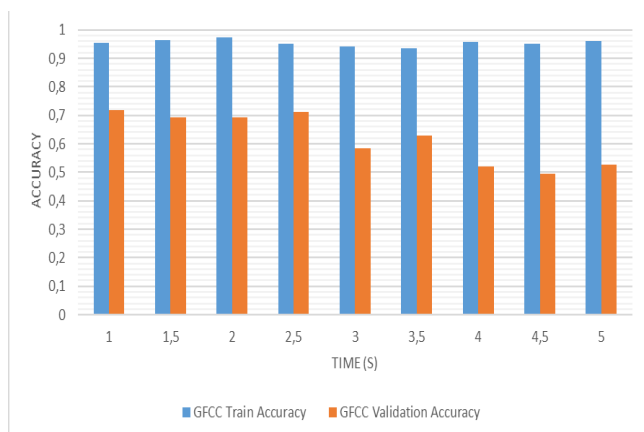


Fig. 2 GTCC performance results

When the train achievements of MFCC and GTCC are compared (Figure 3), it is generally seen that MFCC gives high results. The highest train achievements were achieved with MFCC. It is seen that the results of the 3 s data are also low in both methods.

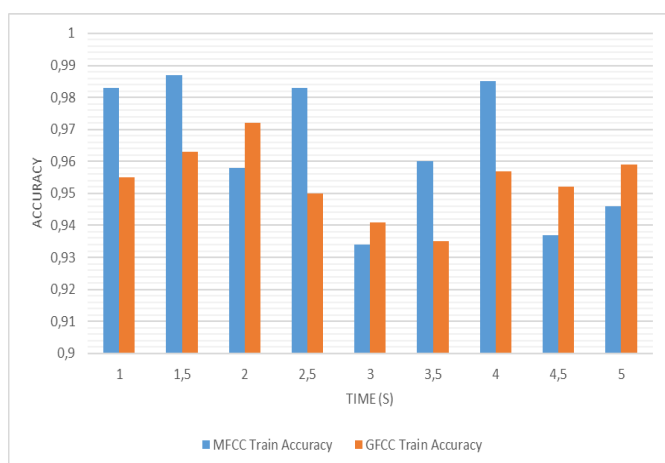


Fig. 3 GTCC Validation results

When looking at the comparison of validation results (Figure 4), it can be seen that MFCC gives better results in general.

Especially in 1s time data, the validation values are high in both methods. It is noticeable that the data of 4.5s have the lowest values.

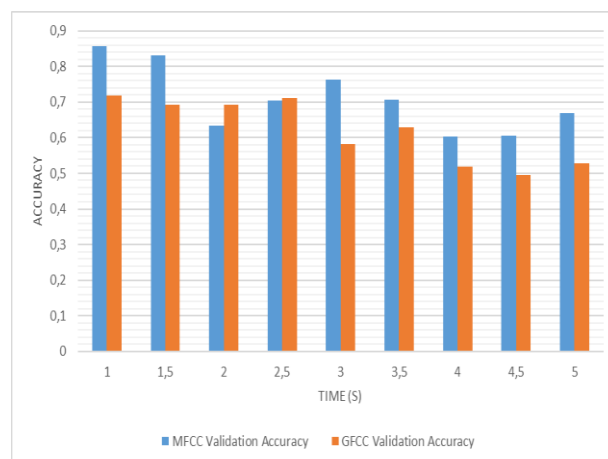


Fig. 4 GTCC validation results

According to the obtained results, it is seen that the results of the 1s duration data have high validation values. Also, it was seen that MFCC gave better validation results than GTCC. It is noticeable that the train achievements of MFCC and GTCC are close. However, since the ideal recording time was sought, it was concluded that the usable model is the 1s time model using MFCC. The most data in the train is 1s data. The validation value of the 1s time data has a high success rate and the train success rate is 98%, making this data ideal.

References

- Aziz, S., Khan, M. U., Shakeel, M., Mushtaq, Z., Khan, A. Z. 2019. "An Automated System towards Diagnosis of Pneumonia using Pulmonary Auscultations". MACS 2019 - 13th International Conference on Mathematics, Actuarial Science, Computer Science and Statistics, Proceedings.
- Bahoura, M. and Ezzaidi, H., 2013. "Hardware implementation of MFCC feature extraction for respiratory sounds analysis," in Proc. 8th Int. Workshop Syst., Signal Process. Appl. (WoSSPA), May 2013, pp. 226–229
- Bahoura, M. and Pelletier, C., 2004. "Respiratory sounds classification using cepstral analysis and Gaussian mixture models," in Proc. 26th Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc., Sep. 2004, pp. 9–12.
- Bardou, D., Zhang, K., Ahmad, S. M. 2018. "Lung sounds classification using convolutional neural networks". Artificial Intelligence in Medicine, 88, 58–69.
- Cheng, S., Wang, C., Yue, K., Li, R., Shen, F., Shuai, W., ... Dai, L. 2022. "Automated sleep apnea detection in snoring signal using long short-term memory neural networks". Biomedical Signal Processing and Control, 71(PB), 103238.
- Dar, J. A., Srivastava, K. K., Lone, S. A. 2022. "Jaya Honey Badger optimization-based deep neuro-fuzzy network structure for detection of (SARS-CoV) Covid-19 disease by using respiratory sound signals". International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics.
- Jayalakshmy, S., Sudha, G. F. 2021. "GTCC-based BiLSTM deep-learning framework for respiratory sound classification using empirical mode decomposition". Neural Computing and Applications, 33(24), 17029–17040.
- Kutlu Y, Karaca G. Recognition of turkish command to play chess game using cnn. Akıllı Sistemler ve Uygulamaları Dergisi

- (Journal of Intelligent Systems with Applications) 2022; 5(1): 71-73.
- Lella, K. K., Pja, A. 2022. "Automatic diagnosis of COVID-19 disease using deep convolutional neural network with multi-feature channel from respiratory sound data: Cough, voice, and breath". *Alexandria Engineering Journal*, 61(2), 1319–1334.
- Mayorga, P., Druzgalski, C., Morelos, R. L., Gonzalez, O. H. and Vidales, J. 2010. "Acoustics based assessment of respiratory diseases using GMM classification," in *Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol.*, Aug. 2010, pp. 6312–6316.
- Meng, F., Shi, Y., Wang, N., Cai, M., & Luo, Z. (2020). Detection of Respiratory Sounds Based on Wavelet Coefficients and Machine Learning. *IEEE Access*, 8, 155710–155720.
- Mridha, K., Sarkar, S., Kumar, D. 2021. "Respiratory Disease Classification by CNN using MFCC". 2021 IEEE 6th International Conference on Computing, Communication and Automation, ICCCA 2021, 517–523.
- Pittner, S., and Kamarthi, S. V. 1999. "Feature extraction from wavelet coefficients for pattern recognition tasks," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 21, no. 1, pp. 83–88, Jan. 1999.
- Shaharum, S. M., Sundaraj, K., Aniza, S., Palaniappan, R., Helmy, K. 2019. "A performance comparison of wheeze feature extraction methods for asthma severity levels classification". 2018 9th IEEE Control and System Graduate Research Colloquium, ICSGRC 2018 - Proceeding, (August), 145–150.
- Tamas, W., Notton, G., Paoli, C., Nivet, M. L., Voyant, C. 2016. "Hybridization of air quality forecasting models using machine learning and clustering: An original approach to detect pollutant peaks". *Aerosol and Air Quality Research*, 16(2), 405–416.
- Winursito, A., Hidayat, R. and Bejo, A. 2018. "Improvement of MFCC feature extraction accuracy using PCA in Indonesian speech recognition," 2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT), 2018, pp. 379-383.



Importance of Edge Computing in Critical Manufacturing Systems: FPGA Implementation

Tuncay Ercan^{1*}

^{1*} Yasar University, School of Applied Sciences, Department of Management Information Systems, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0014-5106),
tuncay.ercan@yasar.edu.tr

(4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, November 10 - 13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1201855)

ATIF/REFERENCE: Ercan, T., (2022). Importance of Edge Computing in Critical Manufacturing Systems: FPGA Implementation. *European Journal of Science and Technology*, (43), 41-47.

Abstract

Academic and industrial studies on smart systems, which have entered all areas of our lives, continue to their rapid developments along with gaining momentum with Industry 4.0. Especially, many of the different production devices with their molding, printing, shaping, and cutting capabilities have a certain level of automation. They work together with the material information they process, and the compatibility with other machines to make the whole production system work effectively and properly. While the abundance of data acquired is an important source for better analytics, obtaining information for business purposes from this data and helping decision support systems is the most important task expected from Information Technology and Systems in the organization. In this paper, we propose an FPGA-based edge information infrastructure to evaluate critical data from the production devices, distributed sensors, and other ISs in any industrial environment to increase the utilization and performance of the total machinery. This study helps the predictive maintenance decision for a sample plastic injection molding device according to our industrial scenario. A sample data set downloaded from the Internet with the factors like speed, vibration, and the temperature was used. An FPGA (Field Programmable Gate Array) design that will run the necessary ML algorithms with the sensor data and existing information system inputs (ERP, MES) has been carried out by using Xilinx Design Tools and Vitis IDE 2020.2. In this study, the ANFIS (Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System) system, which is an approach consisting of the integration of artificial neural networks and Fuzzy Logic, has been chosen as an Artificial Intelligence application. The estimation results obtained were evaluated over the accuracy rates achieved in similar studies in the literature.

Keywords: Edge Computing, Industry 4.0, Reconfiguration, Smart Manufacturing, FPGA, Fuzzy Logic, ANFIS.

Kritik Üretim Sistemlerinde Kenar Bilişimin Önemi: FPGA Uygulaması

Öz

Endüstri 4.0 ile birlikte ivme kazanmakla birlikte hayatımızın her alanına girmiş olan akıllı sistemler ile ilgili akademik ve endüstriyel çalışmalar hızla devam etmektedir. Özellikle üretimde kullanılan kalıp, baskı, şekillendirme, kesme vb. gibi farklı makineler, belli bir otomasyona sahiptirler. Bunların işledikleri malzeme bilgileri ve ortak çalışan diğer makinelerle uyumu bütün üretim sisteminin etkin şekilde çalışabilmesi çok önemlidir. Elde edilen verilerin bolluğu daha iyi analitik inceleme için önemliyken, bu verilerden iş amaçlı bilgi elde etmek ve karar destek sistemlerine yardımcı olmak organizasyondaki Bilgi Teknolojileri ve Sistemlerinden beklenen en önemli görevdir. Bu çalışmada üretim ortamındaki cihazlardan, sensörlerden ve işletmedeki diğer Bilgi Sistemlerinden gelen verilerin

* Corresponding Author: tuncay.ercan@yasar.edu.tr

FPGA tabanlı bir kenar bilişim altyapısı ile değerlendirilmesi önerilmektedir. Bu çalışma kapsamında üretim ortamında kullanılan örnek bir plastik enjeksiyon kalıp cihazına ait bakım kararının tahminlemesi yapılmıştır. Bunun için Internet üzerinden erişilen temsili hız, titreşim ve sıcaklık gibi faktörleri içeren bir veri seti kullanılmış, sensör verileri ve mevcut bilgi sistemi girişleri (ERP, MES) ile gerekli ML algoritmalarını çalıştıracak bir FPGA (Alan Programlanabilir Ağ Dizisi) tasarımı da, Xilinx Design Tools ve Vitis IDE 2020.2 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Veri girişi için üzerinde akıllı algoritmaların çalıştırılacağı FPGA donanımı “Xilinx Zynq xc7z020” kenar bilişim altyapısının esas ögesi olarak planlanmıştır. Çalışmada hibrit bir yaklaşım olan ANFIS (Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi) sistemi Yapay Zekâ uygulaması olarak seçilmiştir. Elde edilen tahmin sonuçları literatürdeki çalışmalarda erişilen doğruluk oranları üzerinden değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kenar Bilişim, Endüstri 4.0, Yeniden Yapılandırma, Akıllı Üretim, FPGA, Bulanık Mantık, ANFIS.

1. Introduction

Internet of Things (IoT), which became popular at the beginning of the 21st century, was considered a technology to switch from Industry 3.0 to Industry 4.0 with newer enhancements and capabilities for the products and processes in the supply chain (Trappey et al., 2017; Hofmann and Rüsçh, 2017). Supportive technologies like the Internet and embedded systems with Industry 4.0, are brought together to effectively control and manage physical objects, people, smart machines, production lines, and operating processes (Andreas et al., 2016). While physical processes in factories can be monitored with Industry 4.0, it is ensured that appropriate decisions are made by allowing objects to communicate with each other and people.

Considering the recent studies on critical IoT systems, especially in the industrial sector, smart cities, smart energy, and smart car applications take first place (IoT application areas, 2022). The increasingly complex, automatic, and sustainable characteristics of production processes in the industrial field have revealed the need for machines to operate more simply, efficiently, and consistently (Lu, 2017; Jian et al., 2016). With the increasing technology of existing industrial communication systems, wired/wireless local network alternatives have also increased. Considering that the manufacturing data is also very critical, especially the use of wireless devices and sensors should be planned very carefully in the context of security (Ercan, 2005). On the other hand, the continuous development of information and communication technologies has offered great potential to companies in the manufacturing sector (Prinz et al., 2016).

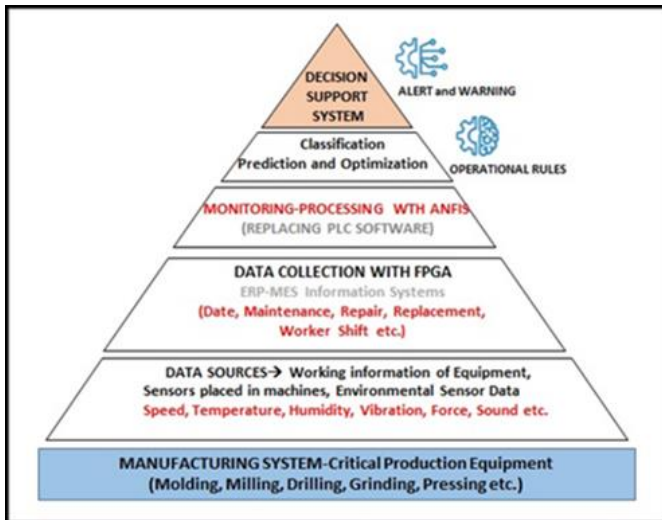


Figure 1. Sample business maintenance strategy

The Industrial Internet of Things (IIoT) has brought a major change in how we can monitor critical production systems in factories with the support of different sensors. The information

obtained from the sensors, mostly when connected to a cloud-based system, can be used in more meaningful ways by production units and factories. The data collected from the production system to automate the maintenance system in the environment can be analyzed and help to make maintenance decisions (Crosser, 2020). A related layered architectural structure is designed in Figure 1.

According to this representation, the configuration to support all maintenance and reliability functions in the manufacturing systems starts from the data sources layer where the lowest device diversity can be found. The data diversity and complexity of the production environment increase as higher levels is reached. It is very important to ensure the efficient operation of production systems and follow a cost-effective process in non-planned maintenance disruptions. In the present case, the root causes of errors are tried to be found manually through controls and measurements traditionally performed by operators. Here, IIoT comes into to industrial scene and provides the required system parameters for modeling the digital twin with the sensors placed in appropriate places, instead of receiving the system data by the operators using traditional methods. Many parameters affect modelings, such as temperature, humidity, vibration, sound, and light changes.

Within the scope of this study, sensor data of the overall machinery in the environment will be used together with the information systems such as ERP and MES used in the factory environment, then a predictive maintenance diagnosis will be made with AI operations such as classification, recognition, prediction and decision making using ANFIS (Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System) application designed on FPGA.

In the second part of the study, edge informatics involving industrial systems are examined, especially the uses of artificial intelligence in embedded systems are emphasized. In the third chapter, the FPGA-based architectural model that will work as a smart control unit for the proposed edge computing functions will be explained. In the fourth chapter, ANFIS software information about data collection and analysis on the FPGA application model is given, and the application results are evaluated in the fifth chapter. In the last section, the contributions of the study were examined and information was given about future studies.

2. System Design

Obtaining information from raw data on the IT platform and making decisions about business and processes with the help of existing IS are always done with the help of servers inside or outside the factory. The data collected from the electronic and electromechanical manufacturing devices and different sensors integrated into them, first use industrial communication protocols, then transmitted to the cloud as IP packets. Right here, there is always a need for another middleware interface in between. When

real-time and critical applications run in the Cloud environment, the transfer delay cannot be compensated. To reduce the response time of the system, another service layer called edge computing is added to the entire architecture. In edge computing, IoT devices send their requests to these edge servers, Thus, as the traffic to the cloud will decrease, the response time of the system will also be shortened (Hushmat et al., (2019). The main goal here is to use protocols that provide less bandwidth with data association (Plachy et al., 2015). Smart control boxes used as middle layer elements, follow many electro-mechanical processes predefined, especially in industrial automation tasks. They can also monitor and control many sensors and actuators in the system.

Ensuring the efficiency of critical manufacturing equipment and the quality of products is an ongoing process. Therefore, unplanned downtime for machines, hardware failures, and material defects without counting human errors are accepted as the most important reasons that can negatively affect quality and productivity (Banner, 2022). Nowadays, there are many industrial devices such as wind turbines, water pumps, and regional substations operating in remote locations without the supervision of an operator.

2.1. EDGE Computing

There are two different methods by which edge computing can be installed:1) hierarchical model and 2) software-defined model/network (SDN). In the hierarchical model, edge servers can be assigned to perform a different function according to existing applications at different distances of the network (in-plant, regional, national, etc.). The use of smart PLCs (Programmable Logic Control) with the ability to connect to the internet for maintenance purposes is widespread in industrial control such as error detection and automatic intervention to possible failures (Sisman et al., 2018).

PLC control boxes have disadvantages such as cost (especially the effect of prominent company products in some areas) and software control inflexibility. Due to the constraints of IoT devices such as energy, memory, and processor, that will collect data from the production environment, it would be more rational to send the data to an FPGA device that is close by, and has higher functional capabilities and flexibility.

In power modules, which are the most important component of working electronic devices, electrical and thermal parameters that change over time can be monitored. Thus, situations such as melting at the soldering points of this module or dislodgement of the connection conductors on the card can be detected in advance (van der Broec et al., 2020). The vibration and thermal fingerprint differences between normal and malfunctioning machines from the collected data were realized with an edge-software device with microprocessor-controlled and embedded software (Akhtari et al., 2019).

In today's industry, real-time control over cloud services causes unacceptable delays. By De Blasi and Engels, open-source software that protects the PLC as the main component and optimizes its ability to have more functions has been added and a smart box solution has been proposed (De Blasi and Engels, 2020).

The thermal temperature and ambient temperature of the machine and its parts have a significant effect on the accuracy of CNC machines. In reference (Ali et al., 2015), a study conducted with ANFIS, the effect of all thermal temperature sensors was

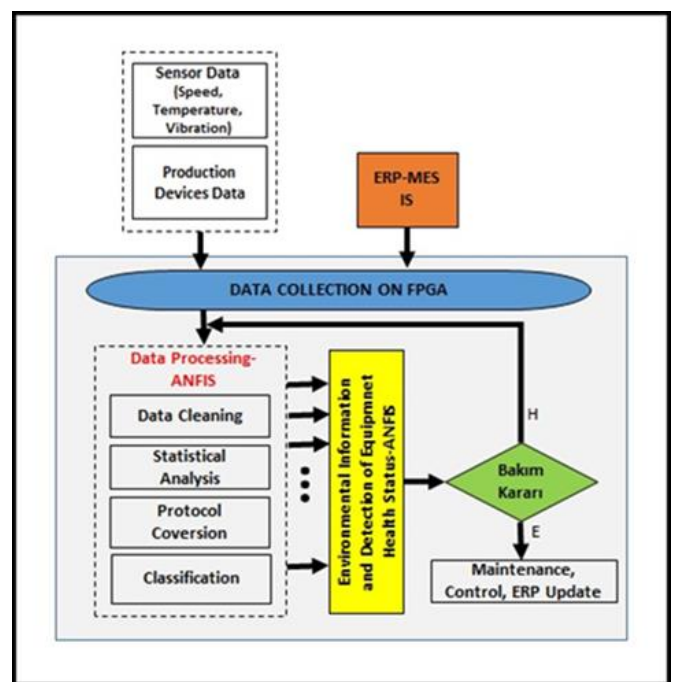
listed and grouped according to their position in the machine, and the estimation values were found successful according to the test results. Reference (Gougam et al., 2020) proposed an ANFIS algorithm successfully used in rotating part manufacturing devices, feature extraction, and autogram analysis that can find the faulty signal on bearings where it is very difficult to detect ideal operating vibrations due to the noise created by other mechanical elements.

ANFIS (Neural Fuzzy Logic Inference System), one of the machine learning algorithms that should be used as a necessity due to the abundance of data collected, was chosen in this study. It can provide the classification of operating systems according to different parameters and Predictive (Predictive) Maintenance planning by using sensor data placed in industrial systems in a planned manner. Artificial intelligence and fuzzy logic methods are actively used in many areas. However, an FPGA-based middle-layer application representing Edge Computing in industrial environments has not been encountered in the current field writing studies.

3. System Architecture

There are electronic and electromechanical devices (CNC, molding, printing, welding, cutting, etc.) in the systems that are produced depending on the industrial sector. The ability of these devices to communicate seamlessly with each other and to be managed by a control center is important for ensuring functional continuity. Resistant to factory conditions with different serial communication interfaces, allowing different devices (production, barcode, bearing, temperature, humidity, vibration sensors, etc.) to join the factory network and communicate with management equipment, with low power consumption, allowing fast installation, fast running, They need industrial serial device servers. Figure 2 shows a system architecture that we consider within the details of a former study (Ercan and Al Azzawi, 2019).

Figure 2. Proposed system architecture and Data Flow Chart



In the above design, real-time data flows from the factory ERP information system, industrial production devices, and sensors located at certain points of these devices to FPGA inputs.

In this edge information infrastructure, which works with the ANFIS algorithm on the FPGA, the incoming raw data is filtered and if necessary, the communication protocols are changed and pre-processed. Again, with the ANFIS algorithm, a possible maintenance decision is made by making maintenance estimates. While these first operations on edge smart devices analyze the data, they also help to partially overcome the difficulties that may occur while transferring it to the cloud environment (Yuriyama and Kushida, 2010).

3.1. FPGA Usage

FPGAs are digital integrated circuits consisting of programmable logic blocks and interconnections between these blocks, with wide application areas. Other circuits that can be used for the same purposes (SoC-System on Chip) can be provided with lower total costs. However, FPGA gives great flexibility and usability due to the ease of realizing all logic functions required by the designer. However, FPGAs have design and programming difficulties besides their superior features. For this reason, it is used only in very special and important areas, where advanced technology, scientific and sensitive works are required. Figure 3 shows the input/output blocks, logic, and memory blocks on the FPGA, and the communication between these blocks (FPGA Example, 2022).

With this structure, it is possible to make copies of all digital circuits that are mass-produced and to develop non-production integrated circuit software. With a language called HDL (Hardware Definition Language), flexible hardware design, ie programming, required for different applications can be made. The most important feature of industrial automation systems is that all system components and infrastructure can be operated in harmony. FPGA, which we plan to use within the scope of the study, has advantages such as flexible and reconfigurable structure, parallel data processing capacity, and multiple input/output possibilities. These different hardware features help to easily reveal the proposed original design, giving more testing opportunities for rapid prototyping. In reference (Feng et al., 2019), the authors worked on CNN-RNN (Convolutional Neural Network and Recursive Neural Network) algorithms for medical controls related to remote health. These two different machine learning algorithms were run separately on the FPGA and the CPU, and it has been shown that the FPGA performs 15.23 times fast processing.

4. Software System and ANFIS Effect

Neural Fuzzy Logic Inference System (ANFIS) is a hybrid modeling method consisting of a combination of ANN and Fuzzy Logic methods. The most important step in modeling with fuzzy logic is determining the membership degrees of input/output variables. Then, inference rules, which give the relationship between these changes made on the inputs and the appropriate outputs, are applied. ANFIS, by using the learning ability of ANN, provides optimization by determining the most appropriate membership functions and inference rules in the training dataset. ANFIS can be evaluated as a three-layer feedforward ANN.

In this network structure shown in Figure 3, the first layer is the layer where the input variables are applied and membership functions are determined with the help of ANN, the second layer is the layer where the fuzzy rules are created and inference is performed, and the last layer is the layer where the inference system result is obtained (Khazal and Ercan, 2018). In the fuzzy

logic control example designed in Figure 5, the first layer predecessor and the result parameters in the fourth layer of the selected input values are improved by ANFIS below (Karaboga and Kaya, 2019).

The initial weight values, which are the most important disadvantages of using artificial neural networks, are dealt with by fuzzification, which is the first step of fuzzy logic in the model (Kar et al., 2014). The Sugeno Fuzzy model is used for learning and finding the most suitable one of ANFIS structure ANNs that are not included in this study. This method provides a mechanism that is more suitable for System modeling and control design. However, we used the Mamdani model for Fuzzy Logic Control since we only focused on general FPGA applications.

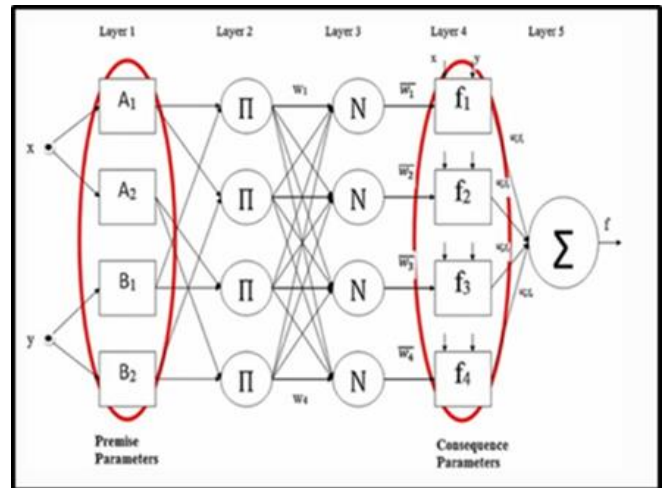


Figure 3. ANFIS responsible for Premise and Consequence parameters

VHDL (Very High-Speed Integrated Circuit Hardware Description Language), one of the two hardware programming languages (Verilog and VHDL), was used over MATLAB to implement ANFIS on FPGA integrated hardware structure.

As an example of the inputs used in the proposed model (vibration, speed, and temperature controlling the raw material input placed in any molding machine and the information from the vibration sensors in the fixed and moving parts of the molds can be analyzed. The data flow chart in Figure 2 has been followed for easy interpretation and understandability of the ANFIS classification and estimation algorithm in the study. In such a system with a maintenance decision target, the past maintenance information of the device and the device from the ERP information system and the threshold exceeding values that can be obtained with reports from a possible SCADA system can also be used for the final decision.

4.1. Detection of Anomaly in the Production Systems

The parts to be provided with data by using sensors in mold machines are generally the moving arm part of the mold chamber, the temperature of the mold raw material, or the motor that enables the movement of the raw material to the mold room. A representative picture of this is given in Figure 4, and the obtained data set is given in Table 1.

The data needed for the molding machine in the system was provided by the Huawei German Research Center on the "Predictive Maintenance Datasets" site. There are 3 different

parameters and 112,002 sample records consisting of measurement values of Speed, Humidity, and Vibration sensors (Axenie and Bortoli, 2020).

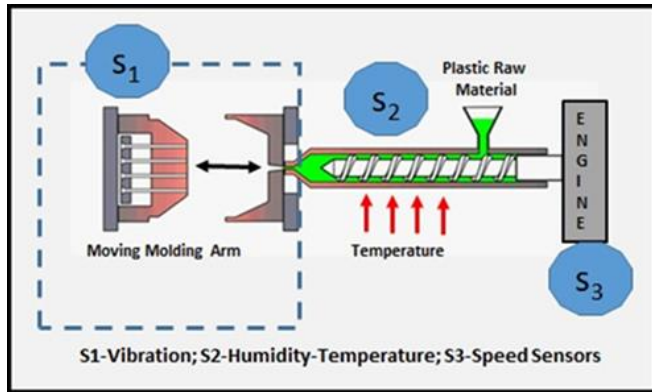


Figure 4. Proposed plastic injection molding machine and suitable sensors

The most important goals in the use of Edge Information infrastructure as a Predictive Maintenance (PdM) targeted

Table 1. Features of a Sample Set

Statistical Values	Speed (rpm)	Temperature (%)	Vibration (Db)
Minimum	16.933	72.399	2.000
Maksimum	93.744	75.400	99.995
Average	55.338	73.236	28.229
St.Deviation	5.067	0.426	1.27

5. Findings and Discussion

The combined Artificial Intelligence and Fuzzy Logic (ANFIS) method has been used for classification, recognition, prediction, data association, diagnosis, interpretation, and

business model are to operate power and computing resources efficiently and to keep the collected data quality at a high level.

For this reason, anomaly detection approaches, which are at the intersection of statistical, data mining, and machine learning methods, are among the prominent studies to ensure the quality of sensor data. Anomaly detection methods; With approaches such as removing duplicate data, removing noise, and estimating lost data, which are used to improve data reliability and quality, it stands in an important place in revealing unexpected patterns outside of normal data (Kalaycı and Ercan, 2018).

FPGA hardware "Xilinx Zynq xc7z020" was used in the study. Different "Intellectual Property- (IP)" s were revealed by making hardware design with Vivado High-Level Synthesis-(HLS) for each different ANFIS algorithm that will work on it (Ercan and Al Azzawi, 2019). Thus, a special hardware structure was created in which different ANFIS functions by using different memories and switches in the FPGA circuit board starting from the sensor inputs.

decision-making purposes, which are the areas of this predictive maintenance work, as well as being actively used in many areas. Membership values in our Fuzzy Logic system designed for these data to be used as FPGA inputs are given in Table 2.

Table 2.Fuzzy Logic Membership Values

Input Type	Membership Values	Membership Ranges
Vibration	Low	2-40
	Medium	40-80
	High	80-100
Temperature	Low	71-73
	Medium	73-74
	High	74-76
Speed	Slow	16-30
	Normal	30-55
	Fast	55-80
	Dangerous	80-94

As output, options such as "Control, Monitoring, and Intervention" have been determined to make the maintenance decision in Figure 2. 10 fuzzy inference rules were designed according to the current values. While using the Sugeno Fuzzy model for the ability to find the most appropriate preliminary and result parameters together with the learning of ANFIS structure ANNs, we have used the Mamdani model as an example of FPGA application in edge computing. In Figure 5 below, our output obtained with our data entries, Membership values, and established rules for Fuzzy Logic Control functions are shown.

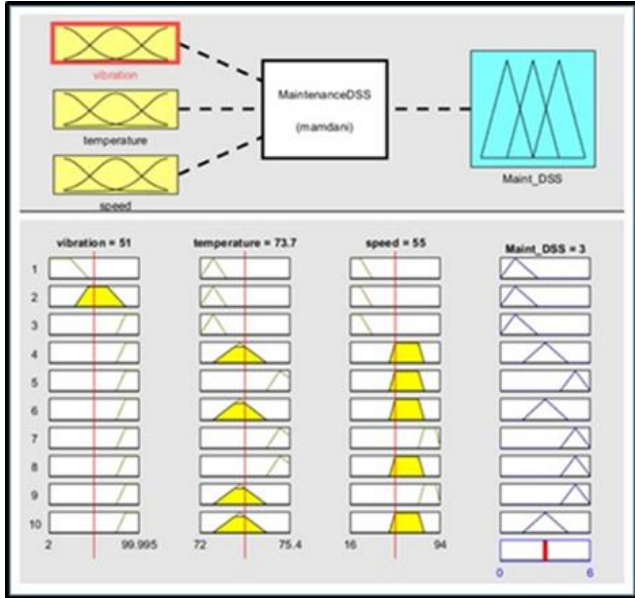


Figure 5. Fuzzy Logic Inference Model

The experimental findings were interpreted among themselves considering different experimental conditions, on the other hand, the measured values were compared with the numerical values obtained using the formulas given in the literature. In the Fuzzy Logic data analysis performed without ANN, especially when all three input data are determined to be high in the data set, our mold device gives an intervention alarm, while the temperature values are at a medium level and the monitoring output is obtained in places where vibration and speed are high. Provided that the data set remains the same, the intervention information generally does not change in the changes in membership values, but different results are obtained for monitoring. The results obtained in the study were compared with the results obtained by using the MATLAB program on desktop computers without FPGA and the results of different data mining algorithms used in the literature. The values for the speed sensor in the bearings are quite small in this data set. With a new data set and different input numbers, the ANFIS algorithm can be used with all its features.

6. Conclusions and Recommendations

In the study, for Fuzzy Logic modeling, the measurement values of the Speed, Humidity, and Vibration sensors provided from the "Predictive Maintenance Datasets" site in the Huawei German Research Center at "zenodo.org/record/3653909#.X_nBAOgzZPY" were used. Membership functions and rules string in the Fuzzy Logic system is created with these values used as FPGA inputs. A maintenance decision modeling, which is automatically determined with options such as "Control, Monitoring, and Intervention" as output, has been made. Its fast,

flexible and reconfigurable FPGA architectural structure provides the opportunity to test all kinds of designs while offering added values such as performance, cost, and time savings. The availability and performance of the total equipment will automatically increase as a result of the evaluation of the devices, sensors, and other Information Systems used in the production environment with FPGA edge information infrastructure. Our two main conclusions are;

1. The use of flexible FPGA hardware as a smart control box in Edge Computing infrastructure helps to collect more critical data due to much more data input and is a perfect solution for Industry 4.0 as it allows effective analysis.
2. In the manufacturing industry of Industry 4.0, the use of different sensors for the operation and environment information of the devices contributes to the organization and management of the value chain process in the entire production infrastructure.

References

- Akhtri S., et al. (2019). Intelligent Embedded Load Detection at the Edge on Industry 4.0 Powertrains Applications, IEEE 5th International forum on Research and Technology for Society and Industry (RTSI).
- Ali M. Abdulshahed, Andrew, P. Longstaff, Simon Fletcher. (2015). The application of ANFIS prediction models for thermal error compensation on CNC machine tools, Applied Soft Computing, 27, pp.158-168.
- Andreas, S. Selim, E. and Sihm, W. (2016). A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises, Procedia CIRP, 52, pp.161-166.
- Axenie, C., Bortoli, S. (2020). Predictive Maintenance Dataset. Available: https://zenodo.org/record/3653909#.X_nBAOgzZPY
- Banner, Fault Detection. Available: <https://www.bannerengineering.com/tr/tr/solutions/error-proofing.html?pageNum=1&#all>
- Crosser, Factory Floor Integration in Industry 4.0. Available: <https://www.crosser.io/blog/posts/2020/January/factory-floor-integration-in-industry-40-complementing-the-isa-95-automation-pyramid/>
- De Blasi S., Engels E. (2020). Next generation control units simplifying industrial machine learning, IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE).
- Ercan, T. 2005. Modeling and Designing Wireless Networks for Corporations: Security Policies and Reconfiguration. Dokuz Eylul University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ph.D. Thesis.
- Ercan, T., Al Azzawi, AK.,(2019). Design of an FPGA-based Intelligent Gateway for Industrial IoT. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, 8, (1.2), pp.126-130.
- Feng X. et al. (2019). Accelerating CNN-RNN Based Machine Health Monitoring on FPGA, IEEE International Conference on Artificial Intelligence Circuits and Systems (AICAS).
- FPGA Example. Available: <http://jjmk.dk/MMMI/PLDs/FPGA/fpga.h11.jpg>.
- Gougam F. et al. (2020). Health Monitoring Approach of Bearing: of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) for RUL-estimation and Autogram Analysis for Fault-localization, Prognostics and Health Management Conference (PHM).

- Hofmann, E. and Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as prospects on logistics, *Computers in Industry*, 89, pp.23-34.
- Hushmat A.K., Kar, G.M., Rather, A.(2019). Survey on Edge-Based Internet-of-Things, *International Journal of Computer Networks and Applications (IJCNA)*, 6, 6.
- IoT application areas. Available: <https://iot-analytics.com/top-10-iot-project-applications>
- Jian, Q., Ying L. and Grosvenor, R. (2016). A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond, *Procedia CIRP*, 52, pp.173-178.
- Kalaycı, İ., Ercan, T. (2018). Anomaly Detection in Wireless Sensor Networks Data by Using Histogram Based Outlier Score Method, 2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), Ankara-Turkey, pp.1-6.
- Kar S, Das S, Ghosh P.K.. (2014). Applications of neuro-fuzzy systems: a brief review and future outline. *Appl Soft Comput*, 15, pp.243–259.
- Karaboga, D., Kaya, E. (2019). Adaptive network-based fuzzy inference system (ANFIS) training approaches: a comprehensive survey. *Artif Intell Rev*, 52, pp.2263–2293.
- Khazal A., Ercan T. (2018). ANFIS Analysis of Wireless Sensor Data with FPGA. *ACTA INFOLOGICA*, 2(1), pp.22-32.
- Lu, Y.,(2017). Industry 4.0: A Survey on Technologies, Applications and Open Research Issues, *Journal of Industrial Information Integration*, 6: pp.1–10.
- Plachy, J., Becvar, Z. and Strinati, E. C. (2015). Cross-layer approach enabling communication of a high number of devices in 5G mobile networks, *Proc. IEEE 11th Int. Conf. Wireless Mobile Comput., Netw. Commun. (WiMob)*, pp.809-816.
- Prinz, C., Morlock, F., Freith, S. Kreggenfeld, N. Kreimeier, D. and Kuhlenkötter, B. (2016). Learning Factory Modules for Smart Factories in Industrie 4.0, *Procedia CIRP*, 54, pp.113-118.
- Sisman et al. (2018). The importance of PLC in the predictive maintenance of electronic equipment, *IEEE 10th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*.
- Trappey, A., C. Trappey, U. Govindarajan, A. Chuang, and J. Sun. (2017). A Review of Essential Standards and Patent Landscapes for the Internet of Things: A Key Enabler for Industry 4.0., *Advanced Engineering Informatics*, 33: pp.208–229.
- van der Broec, C.H. et al. (2020). Time Monitoring of Thermal Response and Life-Time Varying Parameters in Power Modules, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 56, 5, pp.5279-5291.
- Yuriyama, M. and Kushida, T. (2010). Sensor-Cloud Infrastructure- Physical SENSOR Management with Virtualized Sensors on Cloud Computing, *NBiS*, pp.1-8.



Farklı Fiber Yönlenme Açılarının Tabakalı Kompozit Kirişlerin Doğal Frekansına Etkisinin Yanıt Yüzey Metodu ile İncelenmesi

Sinan Maras^{1*}, Abdullah Tahir Şensoy²

^{1*} Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2651-374X), sinan.maras@omu.edu.tr

² Samsun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9371-8307), tahir.sensoy@samsun.edu.tr

(4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, November 10 - 13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1201793)

ATIF/REFERENCE: Maras, S. & Şensoy, A. T. (2022). Farklı Fiber Yönlenme Açılarının Tabakalı Kompozit Kirişlerin Doğal Frekansına Etkisinin Yanıt Yüzey Metodu ile İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (43), 48-54.

Öz

Bu çalışma, farklı fiber yönlenme açılarının karbon elyaf takviyeli epoksi tabakalı kompozitlerin doğal frekans değerlerine ne şekilde etki ettiğinin yanıt yüzey metodu (YYM) ile belirlenmesini amaçlamaktadır. Box-Behnken tasarımına (BBT) göre belirlenen 15 adet tasarım konfigürasyonu ile deney tasarımı gerçekleştirilmiştir. ANSYS sonlu elamanlar analizi paket programında deney tasarım noktalarındaki girdi parametrelerine uygun olarak oluşturulan modellerin modal analizleri gerçekleştirilmiştir. Temel frekans değerleri yanıt vektörü olarak elde edilmiştir. Kuadratik regresyon (KR) modelinin kurulması için girdi parametreleri ve bu parametrelere karşılık gelen yanıt verileri kullanılmıştır. Modelin tahmin kabiliyetinin artırılması ve daha basit bir model kurulması amacıyla, istatistiksel olarak anlamsız olan terimler modelden çıkarılmıştır. Varyans analizi (ANOVA) sonuçlarına göre, literatürle uyumlu bir şekilde, dış tabakalardaki fiber yönlenme açılarının yapının doğal frekansına olan etkisinin, tarafsız ekseninde bulunan merkez tabakaya kıyasla yaklaşık 2 kat daha fazla olduğu hesaplanmıştır. Rastgele tasarım parametrelerinde modellenen 112 adet sonlu elemanlar modeli modal analize tabi tutulmuştur. Titreşim analizi sonuçları kullanılarak makine öğrenmesi tabanlı "Gauss Process Regression" yöntemi ile yeni bir regresyon modeli kurulmuştur. Önerilen bu matematiksel modelin BBT örneklem parametreleri için KR modeline kıyasla yaklaşık 34 kat daha az hata ile tahmin sağlayabildiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tabakalı Kompozitler, Titreşim Analizi, Sonlu Elemanlar Metodu, Box-Behnken Yöntemi, Yanıt Yüzey Metodu

Investigating the Effect of Different Fiber Orientation Angles on the Natural Frequency of Laminated Composite Beams by Response Surface Method

Abstract

This study aims to determine how different fiber orientation angles affect the natural frequency values of carbon fiber reinforced epoxy layered composites by response surface method (RSM). Experimental design was carried out with 15 design configurations determined according to the Box-Behnken Design (BBD). Modal analyzes of the models created in accordance with the input parameters at the experimental design points were carried out in the ANSYS finite element analysis package program. The fundamental frequency values were obtained as the response vector. Input parameters and corresponding response data were used to construct the quadratic regression (QR) model. Statistically insignificant terms were removed from the model in order to increase the predictive ability of the model and to establish a simpler model. According to the analysis of variance (ANOVA) results, in accordance with the literature, the effect of fiber orientation angles in the outer layers on the natural frequency of the structure was calculated to be approximately 2 times higher than in the central layer located in the neutral axis. 112 finite element models modeled in random design parameters were subjected to modal analysis. A new regression model was established with the machine learning-based "Gaussian Process Regression" method using the vibration analysis results. It has been determined that this proposed mathematical model can provide an estimate with approximately 34 times less error for BBD sampling parameters compared to the QR model.

Keywords: Laminated Composites, Vibration Analysis, Finite Element Method, Box-Behnken Method, Response Surface Method

* Sorumlu Yazar: sinan.maras@omu.edu.tr

1. Giriş

Kompozit malzemeler rijitliği, enerji yutma kapasitesi, yorulma dayanımı, aşınma direnci, korozyon direnci vb. gibi özellikler açısından diğer birçok malzemeye göre daha üstün olmaları sebebiyle günümüzde mühendislik malzemesi olarak pek çok yapıda kullanılmaktadır. Tabakalı kompozitler ise temel malzeme doğrultusuna göre farklı veya aynı açısall yönelmeye sahip, birçok katmanın üst üste istiflenmesi ile oluşturulan kompozit yapılarıdır. Tabakalı kompozit malzemelerin farklı yüklem şartlarında çalışabilmesi için gerekli olan mekanik özellikleri, tabakaların yönelme açıları ve diziliş sırası değiştirilerek elde edilebilmektedir. Günümüzde otomobil, uçak ve uzay endüstrilerinde yaygın olarak kullanılan bu malzemelerin tasarım aşamasında titreşim davranışlarının incelenmesi oldukça büyük bir önem arz etmektedir (Şahin, 2006). Kompozit yapıların dinamik davranışlarının incelenmesi hususunda birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda malzeme ve geometrik parametrelerin, yapının enerji yutma kapasitesi, doğal frekans ve mod şekilleri gibi dinamik davranışı üzerindeki etkileri nümerik ve deneysel olarak incelenmiştir (Ganapathi, Kalyani, Mondal, & Prakash, 2009; Srinivasa, Suresh, & Prema Kumar, 2014; Thai & Kim, 2010; Zhen & Wanji, 2006). Bu yöntemlerin her biri yüksek hesaplayıcı kapasitesi, uzun hesaplama zamanı ve yüksek üretim maliyeti gibi oldukça zahmetli bir süreç gerektirmektedir. Birçok problemde ise gerçek değere yakın hassas sonuçlar fiziksel anlamda birkaç özel durumda gerekebilmektedir. Mühendislik problemlerinde hesaplama süresini kısaltıp daha hızlı ve daha kolay hesaplama imkânı ile kabul edilebilir hassasiyette sonuçlar veren istatistiksel regresyon analizi kullanımı son yıllarda giderek artmaktadır (Dagli, Ergut, & Turan, 2020). Tabakalı kompozit malzemelerin istatistiksel yöntemlerle titreşim analizinin incelenmesi üzerine yapılan çalışmalardan, Pashmforoush (2019) fonksiyonel olarak derecelendirilmiş grafen takviyeli kompozit plakaların serbest titreşim özellikleri üzerinde istatistiksel bir analiz yapmıştır. Kalınlık oranı, hacim oranı, plaka sınır şartı gibi çeşitli girdi parametrelerinin bir fonksiyonu olarak plakaların boyutsuz doğal frekanslarını ifade etmek için bir regresyon modeli geliştirmiştir. Altabay (2018), bazalt elyaf takviyeli polimer tabakalı kompozitlerin değişken kalınlık ve elastik kısıtlama katsayılı sınır şartlarındaki doğal frekanslarının tahmini için sonlu şerit geçiş matrisine dayalı olarak yanıt yüzey metodunu (YYM) kullanmışlardır. de Assis and Gomes (2021), tabakalı kompozit plakalardaki bir çatlağın konumunu, boyutunu ve yönünü tahmin etmek için YYM, metasezgisel ayçiçeği optimizasyonu ve yapay sinir ağları yöntemlerini kullanmışlardır. Reddy, Reddy, and Reddy (2013) dört kenarı ankastre sınır koşuluna sahip, tabakalı kompozit plakanın fiber yönelme açısına bağlı olarak doğal frekanslarını tahmin etmek için D-optimal tasarım ve YYM kullanmışlardır. Doğal frekanslar, sonlu elemanlar metodu (SEM) paket programı ile bulunmuştur. Geliştirilen modeli, model geliştirmek için hiç kullanılmayan test verileriyle test etmişler, belirleme katsayısı ve kalıntı analizini kullanarak modeli doğrulamışlardır. Optimal istifleme dizilimi için yan-kalınlık oranlarının, en-boy oranlarının ve modül oranlarının doğal frekans üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Pashmforoush (2022), grafen takviyeli fonksiyonel derecelendirilmiş plakanın serbest titreşim davranışını, SEM ve makine öğrenmesi yaklaşımlarını kullanarak incelemiştir ve regresyon analizini

gerçekleştirmiştir. Doğal frekansı etkileyen en önemli parametrelerin sırasıyla sınır şartı tipi, grafenin hacim oranı ve ardından kalınlık oranı ve dağılım modeli olduğu sonucuna varmıştır. Jeawon, Drosopoulos, Foutsitzi, Stavroulakis, and Adali (2021), üç fazlı grafen/elyaf takviyeli tabakalı nanokompozit plakaların temel frekansını maksimize etmek için optimum tasarımı ve analizi üzerine çalışmışlardır. Grafen ve fiberin homojen olmayan dağılımlarının yanı sıra fiber yönelmelerinin tasarım verimliliğini artırmada oldukça etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Adali and Verijenko (2001), çeşitli açısall dizilişe sahip hibrit kompozitlerin serbest titreşimlerinde, temel frekansı maksimize etmek için optimal istifleme dizilimlerini araştırmışlardır. Karakaya and Soykasap (2011), temel doğal frekans ve burkulma yükünün maksimizasyonu için hibrit kompozit plakaların istifleme dizilimi tasarımını genetik ve benzetimli tavlama algoritmalarını kullanarak araştırmışlardır. Todoroki and Ishikawa (2004), çeşitli istifleme dizilişlerine sahip silindirik bir kabuğun burkulma yükünün maksimizasyonunda yanıt yüzeyinin oluşturulması için yeni bir deneysel tasarım yöntemi önermişlerdir. Cherniaev and Komarov (2015) mukavemet, burkulma, titreşim ve imalat kısıtlamalarına bağlı bir kompozit tahrik mili tasarımında, elyaf yönelme açılarının ve tabaka istifleme sırasının belirlenmesinde YYM kullanmışlardır. Jafari, Yousefi, and Hosseini-Hashemi (2015) çarpık tabakalı kompozit plakaların titreşim analizinde istifleme sırasını optimize etmek için genetik algoritma (GA) ve yapay sinir ağlarını kullanmışlar ve tasarım değişkenleri olarak fiber yönelme açılarını ele almışlardır. Çarpık açıların, sınır koşullarının, en-boy oranlarının ve simetrik ve anti-simetrik yerleşimin optimal sonuçlar üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Fallahi (2021) lineer fiber yönelme açılarının tanımını kullanarak ilk kritik burkulma yükünü ve ilk doğal frekansı maksimize etmek için GA optimizasyon yöntemini uygulamıştır. GA yaklaşımının yakınsamasını göstermek için tepki yüzeyi (RS) yöntemini kullanan bir model geliştirmiştir.

Literatür taraması sonucunda, tabakalı kompozit kirişlerin titreşim analizi ile ilgili, çeşitli tabaka dizilişi durumlarında elde edilen doğal frekansları minimize veya maksimize etmeyi amaçlayan optimizasyon çalışmalarının bulunduğu görülmektedir. Ancak, fiber yönelme açısındaki değişikliğe bağlı olarak kompozit kirişin doğal frekansların tahmini hususunda oldukça sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada literatüre katkı sağlaması açısından, üç tabakalı karbon fiber takviyeli kompozit kirişlerdeki fiber yönelme açılarının yapının doğal frekansına olan etkilerinin YYM ile incelenmesi amaçlanmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

Yöntem iki ana adımdan oluşmaktadır: Nümerik analiz ve YYM. İlk adım, 3 tabakaya sahip fiber takviyeli kompozit kirişin sonlu elemanlar modelinin elde edilerek doğrulanmasını, ikinci adım ise bağımsız değişken olarak tanımlanan tabakalardaki yönelme açılarının farklı kombinasyonlarını içeren deney tasarımını ve bu kombinasyonların yapının doğal frekansına olan etkilerinin farklı yanıt yüzey metodları ile irdelenmesini içermektedir.

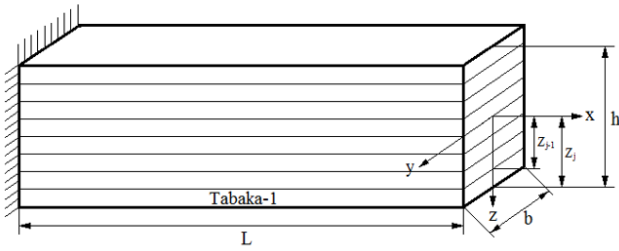
2.1. Nümerik Analiz

Tabakalı kompozit kirişin titreşim parametreleri, sonlu eleman yöntemi ile modellenip çözümü gerçekleştirilerek belirlenmiştir. Kiriş ANSYS paket programı ile modellenmiştir. Model, SHELL 281 elemanı kullanılarak oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. SHELL 281 elemanının 8 düğümü bulunmaktadır. Her düğüm, x, y, z yönlerinde öteleme ve dönme dahil olmak üzere 6 serbestlik derecesine sahiptir. Bu eleman, ince kabuk yapılarının analizi için uygun bir geometriye sahiptir (Ozdemir et al., 2018).

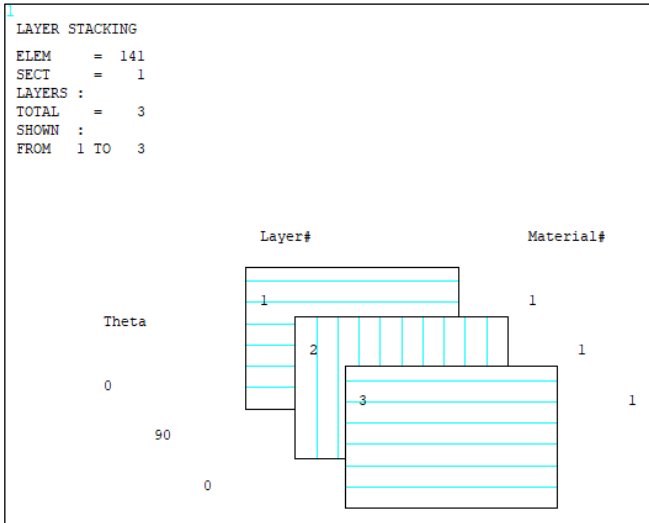
Modellenen tabakalı kompozit kiriş 320 eleman ve 1050 düğümden oluşmaktadır. Geometrik olarak kirişin uzunluğu ve genişliği sırasıyla $L=200$ mm, $b=25$ mm'dir. Her katmanın kalınlığı $t=0.269$ mm'dir (Şekil 1). Kirişler ankastre-serbest şartına sahiptir ve karbon fiber/epoksi katmanlardan oluşan 3 tabakalı yapı olarak modellenmiştir (Şekil 2). Çalışma kapsamında ele alınan kompozit malzemenin özellikleri (Ghasemi, Paknejad, & Fard, 2013) aşağıda verildiği gibidir.

$$E_{11}=120 \text{ GPa}, E_{22}=7.9 \text{ GPa}, G_{12}=G_{13}=5.5 \text{ GPa},$$

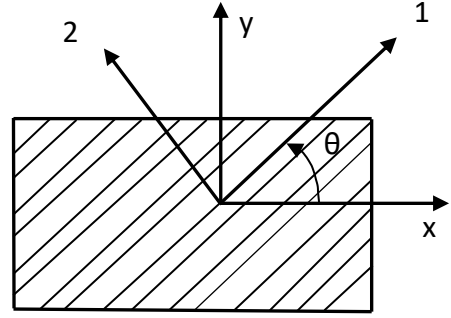
$$\nu_{12}=\nu_{23}=0.33 \text{ (poison oranı)}, (\text{yoğunluk}) =1580 \text{ kg/m}^3.$$



Şekil 1. Ankastre-serbest sınır şartındaki tabakalı kompozit kiriş



Şekil 2. Tabakalı elemanların istifleme açısı, sırası ve her bir tabakanın malzeme tipi



Şekil 3. Tabakalı kompozit kirişin yön doğrultuları

Çeşitli fiber yönelme açılarının (Şekil 3) yapının doğal frekansına olan etkisinin incelenmesinden önce oluşturulan ANSYS modelinin doğruluğunun kanıtlanması için elde edilen doğal frekanslar literatürde verilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Örnek 1: Yapılan çözüm yönteminin geçerliliğini sağlamak amacı ile Hu N. vd. (2002)' in çalışmasında verilen sonuçlar ile bu çalışmada ANSYS SEM paket programı ile elde edilen doğal frekans değerleri karşılaştırılmıştır.

Tabakalı kompozit kiriş için kullanılan malzeme ve geometrik parametre değerleri: $E_{11}=134$ GPa, $E_{22}=10.3$ GPa, $G_{12}=G_{13}=5$ GPa, $\nu_{12}=0.33$ (poison oranı), $L=127$ mm (kirişin boyu), $b=12.7$ mm (kirişin eni), $h=1.2$ mm (kirişin kalınlığı), $\rho=1.48$ kg/m³ şeklindedir. Tablo 1'de ankastre-ankastre sınır şartında $[0^\circ/90^\circ]_{2s}$ fiber yönelmesine sahip tabakalı kompozit kiriş için elde edilen doğal frekans değerleri görülmektedir. Tablo 1' den de görüleceği gibi Hu N. vd. (2002)' nin çalışmasında verilen sonuçlar ile bu çalışmada bulunan değerler birbirine çok yakın değerlerdir.

Tablo 1. Sekiz tabakalı kompozit düz kirişin $[0^\circ/90^\circ]_{2s}$ ankastre-serbest sınır şartında çeşitli metodlardan elde edilen doğal frekans değerlerinin kıyaslanması

Metod	Modlar (Hz)		
	1. mod	2. mod	3. mod
(Hu vd. 2002) SEM	81.87	-	-
(Hu 1999) Midlin SEM	82.00	-	-
(Luo ve Hanagud 2000) Analitik Çözüm (Shen ve Grady 1992)	81.86	-	-
Deneysel	80.08	-	-
(Gökmen Atlıhan 2010) Analitik Çözüm	81.99	-	-
ANSYS (Bu çalışma)	82.31	515.00	1438.10

Örnek 2: İkinci örnek olarak Çalım F., (2009)' nin çalışmasında verilen tabakalı kompozit düz kirişin doğal frekans değerleri, bu çalışma kapsamında oluşturulan modelden elde edilen doğal frekans değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmada kullanılan malzeme ve geometrik özelliklerin değerleri: $E_1=144.8$ Gpa, $E_2=E_3=9.65$ Gpa, $G_{12}=G_{13}=4.14$ Gpa, $G_{23}=3.45$ Gpa, $\nu_{12}=0.3$ (poison oranı), $L=762$ mm

(kirişin boyu), $b=6.35$ mm (kirişin eni), $h=6.35$ mm (tabaka kalınlığı), yoğunluk $=1389.23$ kg/m³ şeklindedir. Tablo 2'de basit mesnetli, tek tabakalı (0°), grafit/epoksi düz kirişin düzlem dışı doğal frekans değerleri verilmiştir. Tablo 2' den de görüleceği gibi mevcut sonuçların Çalım F., (2009)' nin çalışmasının sonuçlarıyla iyi bir uyum içinde olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Basit mesnetli tek tabakalı (0°) grafit/epoksi düz kirişin düzlem dışı doğal frekans değerleri (kHz)

Metod	Modlar (kHz)		
	1. mod	2. mod	3. mod
(Chandrashekhara et al. 1990) Analitik	0.051	0.203	0.454
(Nabi and Ganesan 1994) SEM	0.054	0.213	0.472
(Yıldırım et al. 1999) Transfer matris metodu	0.051	0.202	0.451
(Rao S. and Ganesan N. 1995) SEM	0.051	0.202	0.454
(Çalım F. (2009) Nümerik	0.051	0.202	0.451
ANSYS (Bu çalışma)	0.050	0.202	0.452

2.2. Yanıt Yüzey Metodu

3 sürekli değişken için toplam 15 adet tasarım kombinasyonu Box-Behnken deney tasarımı ile belirlenmiştir. Belirlenen kombinasyonlarda tasarlanan fiber tabakalı kompozit modeller ANSYS programında modal analize tabi tutulmuştur. Elde edilen doğal frekans değerleri ile girdi parametreleri arasında 2. dereceden bir regresyon modeli kurulmuştur:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j>i}^k \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \epsilon \quad (1)$$

Denklemden, β_0 sabit katsayısı, β_i regresyon modelinin lineer terimlerinin katsayılarını, β_{ii} kuadratik terimlerin katsayılarını, β_{ij} etkileşimli terimlerin katsayılarını, X_i belirlenen bağımsız değişkenleri (deney tasarımının faktörleri), ϵ ise hata miktarını ifade etmektedir. (1) no'lu denkleme göre MATLAB programı kullanılarak kurulan regresyon modeli Denklem 2'de verilmiştir.

$$y = 29.279 - 0.28971x_1 - 0.06851x_2 - 0.28971x_3 + 0.000288x_1x_2 + 0.00121x_1x_3 + 0.00288x_2x_3 + 0.00140x_1^2 - 0.000125x_2^2 + 0.00140x_3^2 \quad (2)$$

Ana terim olan x_2 hariç ($p>0.05$) anlamlılık seviyesine sahip terimler istatistik olarak anlamsız olduğundan modelden çıkarılarak regresyon modeli tekrar kurulmuştur:

$$y = 27.976 - 0.27588x_1 - 0.03130x_2 - 0.27588x_3 + 0.00121x_1x_3 + 0.00139x_1^2 + 0.00139x_3^2 \quad (3)$$

Varyans analizi (ANOVA) sonuçlarına göre (3) nolu modelin R^2 , Adj- R^2 ve RMSE (ortalama hata kareleri toplamı karekökü) değerleri sırasıyla 0.969, 0.945 ve 1.26 olarak hesaplanmıştır. İstatistiksel indikatörler modelin tahmin yeteneğinin geliştirildiğini göstermektedir.

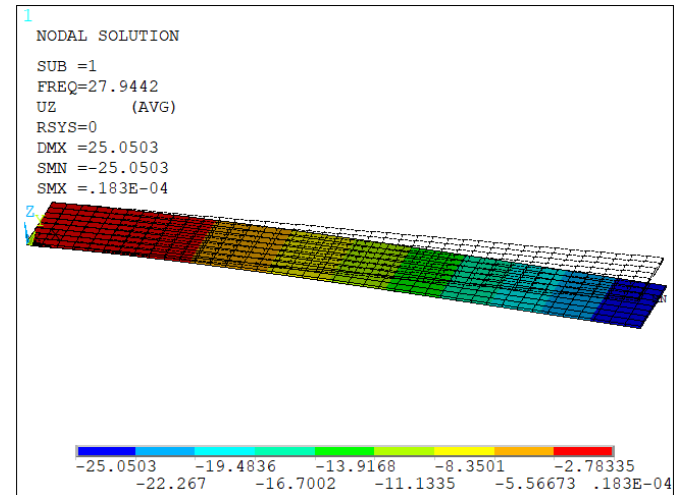
Diğer bir regresyon modeli ise makine öğrenmesi tabanlı bir yaklaşım ile kurulmuştur. Gerekli verilerin elde edilmesi e-ISSN: 2148-2683

için ANSYS Workbench ACP modülünde 112 adet rastgele parametrelerde kompozit model oluşturularak Modal Analiz modülünde analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veri seti MATLAB programında bulunan "Regression Learner" araç kutusu ile 5-katlamalı çapraz doğrulama kullanılarak 19 farklı yöntem için analiz edilmiştir. RMSE değeri diğer yöntemlere kıyasla daha düşük olan "Gaussian Process Regression Matern 5/2(GPRM)" modeli tahminleyici fonksiyon olarak kullanılmıştır.

3. Bulgular

SEM paket programında oluşturulan modelden elde edilen sonuçlar, literatürdeki farklı çözüm yöntemlerinden elde edilen sonuçlar ile kıyaslanıp modelin doğruluğu test edildikten sonra YYM ile tasarım parametreleri incelenmiştir. Örneğin, $[0^\circ/90^\circ/0^\circ]$ dizilişine sahip kompozit kirişin birinci mod şekli ve doğal frekans değeri Şekil 4'de görülmektedir.

Analiz sonuçları kullanılarak elde edilen (2) nolu regresyon modelinin varyans analizi (ANOVA) sonuçlarına göre R^2 , Adj- R^2 ve RMSE (ortalama hata kareleri toplamı karekökü) değerleri sırasıyla 0.976, 0.932 ve 1.39 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. Ankastre-serbest sınır şartındaki $[0^\circ/90^\circ/0^\circ]$ dizilişine sahip kompozit kirişin temel doğal frekansı ve 1. mod şekli

Analizlerde kullanılan x_2 , x_1x_2 , x_2x_3 ve x_2^2 terimlerinin p-değerleri sırasıyla 0.15, 0.44, 0.44 0.74 olarak bulunmuştur. İstatistik olarak anlamsız olan bu terimler (x_2 hariç) çıkarılarak elde edilen (3) nolu indirgenmiş kuadratik regresyon modeline ait ANOVA sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

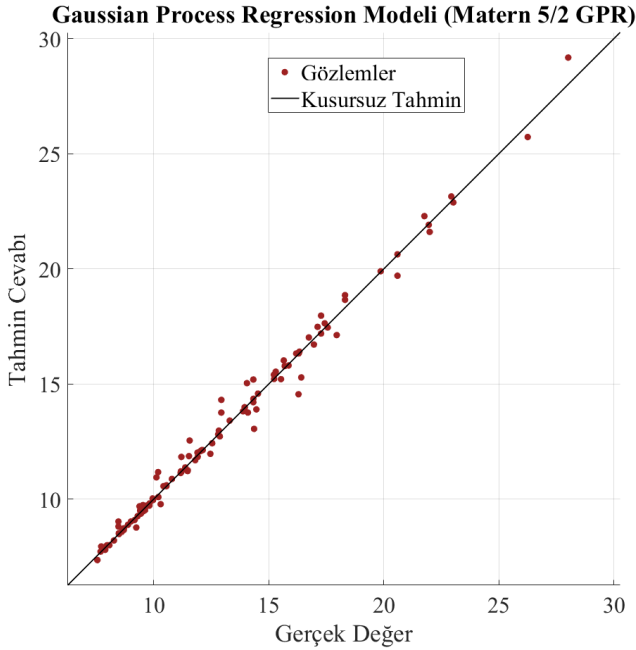
Tablo 3. İndirgenmiş Kuadratik Modele Ait Varyans Analizi Tablosu (ANOVA)

Varyans Kaynağı	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalama	F-Değeri	P-Değeri	Notlar
x_1	1	147.490	147.490	92.982	1.1×10^{-5}	Anlamlı
x_2^*	1	15.870	15.870	10.005	0.0133	Anlamsız
x_3	1	147.490	147.490	92.982	1.1×10^{-5}	Anlamlı

$x_1 : x_3$	1	24.275	24.275	15.303	0.0044	Anlamlı
x_1^2	1	29.720	29.720	18.736	0.0025	Anlamlı
x_3^2	1	29.720	29.720	18.736	0.0025	Anlamlı
Hata	8	12.689	1.58			

*Ana terim olduğundan modelden çıkarılmamıştır

Varyans analizi sonuçlarına göre (3) nolu modelin R^2 , Adj- R^2 ve RMSE (ortalama hata kareleri toplamı karekökü) değerleri sırasıyla 0.969, 0.945 ve 1.26 olarak hesaplanmıştır. GPRM yönteminde R^2 ve RMSE değerleri sırasıyla 0.99 ve 0.43 olarak elde edilmiştir.



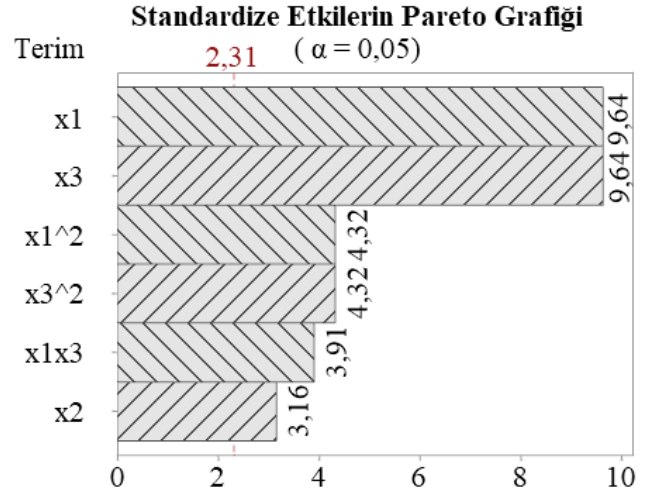
Şekil 5. Gerçek değerler ve GPRM modeli tahmin cevapları

Tablo 4. Box-Behnken Deney Tasarımına Göre Oluşturulan Regresyon Modeli Ve Makine Öğrenmesi Tabanlı Regresyon Modelinin Karşılaştırılması

Deneç No	Girdi Parametreleri			Doğal Frekans Değerleri (ANSYS)	Doğal Frekans Değerleri (Kuadratik Model)	%Hata $\frac{ y_{KM}-y }{y} \times 100$	Doğal Frekans Değerleri (GPRM)	%Hata $\frac{ y_{GPRM}-y }{y} \times 100$
	x_1	x_2	x_3	y	y_{KM}	ϵ_{KM}	y_{GPRM}	ϵ_{GPRM}
1	0	90	45	14.327	15.489	8.114	14.341	0.1021
2	90	45	90	7.716	9.661	25.21	7.718	0.0371
3	45	45	45	9.703	9.827	1.285	9.714	0.1151
4	90	45	0	12.936	13.029	0.723	12.953	0.1344
5	45	45	45	9.703	9.827	1.285	9.714	0.1151
6	0	0	45	18.311	18.337	0.146	18.349	0.2111
7	45	90	0	14.327	15.489	8.114	14.316	0.0757
8	45	45	45	9.703	9.827	1.285	9.714	0.1151
9	45	90	90	8.466	7.053	16.68	8.474	0.1006
10	0	45	90	12.936	13.029	0.723	12.949	0.1038
11	45	0	0	18.311	18.337	0.146	18.335	0.1333
12	45	0	90	10.116	9.901	2.118	10.106	0.0979
13	90	90	45	8.466	7.053	16.68	8.469	0.0463
14	0	45	0	28.010	26.533	5.271	28.095	0.3063
15	90	0	45	10.116	9.901	2.118	10.215	0.9801

Şekil 5'te görüldüğü üzere gerçek ve tahmin değerlerine göre elde edilen veri noktaları 1:1 çizgisi (kusursuz tahmin) etrafında yoğunlaşmaktadır.

Şekil 6'da standardize etkilerin pareto grafiği verilmiştir.



Şekil 6. Standardize Etkilerin Pareto Grafiği

Sonuçlar incelendiğinde regresyon modelindeki terimlerin yapının doğal frekansına olan etkileri bakımından en etkili terimlerin dış tabakalar olduğu, bu terimlerin kuadratik etkilerinin ise yanıt üzerinde ikinci derecede etkili olduğu görülmektedir. Merkez tabakadaki yönelme açısının yanıt üzerine etkisinin en az olduğu ve bu terimi içeren kuadratik ve etkileşimli terimlerin ise yanıt üzerinde anlamlı bir değişim yaratmadığı görülmektedir.

4. Tartışma

(2) ve (3) nolu denklemlerde verilen regresyon modellerinin istatistiksel indikatörleri karşılaştırmalı olarak incelendiğinde indirgenmiş modelin tahmin yeteneğinin geliştirildiği görülmektedir. Her ne kadar modellerin R^2 ve $Adj-R^2$ değerleri oldukça yeterli gözükse de birçok çalışmada göz ardı edilen husus yalnızca bu değerlerin baz alınarak modelin spesifik bir tasarım noktası için nasıl cevap ürettiğinin araştırılmamasıdır. Bu bağlamda (3) nolu denklemde oluşturulan regresyon modelinin her bir tasarım noktası için ürettiği tahmin tatmin edici görülmemiştir. Tablo 4'de verilen 15 konfigürasyonun yüzde hata değerlerinin ortalaması Y_{KM} ve Y_{GPRM} için sırasıyla 5.99 ve 0.17 olarak hesaplanmıştır. Şekil 6'da verilen hassasiyet analizi sonuçları incelendiğinde yapının doğal frekans değerlerinin dış tabakalardaki fiber yönlenme açısı değişimine merkez tabakaya kıyasla daha duyarlı olduğu görülmektedir. Elde edilen bu çıkarımı destekler nitelikte literatürdeki ilgili çalışmalar incelendiğinde, (Pingulkar & Suresha, 2016) yaptıkları çalışmada, tabakaların en dış katmanların yönlenme açılarındaki değişimin doğal frekanslar üzerinde oldukça duyarlı olduğu sonucuna varmışlardır. En dıştaki tabakanın hibridizasyonunun ve fiber yönlenme açısındaki değişimin, fiber hacim oranına ve matris malzemesindeki değişime kıyasla kompozit plakaların doğal frekansları üzerinde daha önemli bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Narita (2003) ise tabakalı kompozit plakaların doğal frekansını maksimize etmeyi amaçlayan yeni bir katmansal optimizasyon yaklaşımını önermiştir. En dıştaki tabakadaki fiber yönlenme açısındaki değişimin yapının doğal frekansına olan etkisinin, en içteki tabakadakine kıyasla çok daha fazla olduğunu belirlemiştir. Bu durumun sebebi, tabakaların bükülmesinde dış tabakanın iç tabakaya göre daha fazla rijitlik etkisine sahip olması ve doğal frekansın belirlenmesinde daha etkili olmasıdır. Diğer bir deyişle, ankastre-serbest sınır şartlarında eğilmeye zorlanan bir kirişte tarafsız eksenden uzaklaştıkça bası ve/veya çeki gerilmeleri artmakta olduğundan tabakaların rijitliğinin de artması gerekmektedir. Dolayısıyla, tarafsız eksene olan uzaklığa göre malzeme hacim oranı değişen ve buna bağlı olarak gerilmelerin yanı sıra rijitliğin de değiştiği fonksiyonel derecelendirilmiş kompozit malzemelerin tasarımı, dinamik davranışlarının incelenmesiyle ilgili araştırmalar günümüzde son derece hız kazanmış durumdadır (Garg, Chalak, Zenkour, Belarbi, & Sahoo, 2022). Gelecek çalışmalarda ise fonksiyonel kademelendirilmiş farklı geometrilerdeki kompozit kirişlerde tasarım parametrelerinin optimizasyonunun yapılması amaçlanmaktadır.

5. Sonuçlar

BBT yöntemi ile oluşturulan kuadratik regresyon modelinin R^2 değeri 0.97 olarak, GPRM yöntemi ile elde edilen modelin R^2 değeri ise 0.99 olarak hesaplanmıştır. Her iki modelin R^2 değerleri yakın olsa da BBT deney tasarımına göre belirlenen noktalardaki ortalama hata oranlarında GPRM modelinde KM modeline kıyasla ~34 kat daha az hata elde edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre ise dış tabakalardaki fiber yönlenme açılarının yapının doğal frekansına olan etkisi merkez tabakaya kıyasla ~2 kat daha fazladır. Önerilen bu regresyon modelinin kullanımı ile oldukça zahmetli süreçler barındıran tabakalı kompozit

malzemelerin tasarımında ihtiyaç duyulan nümerik analiz ve deneysel çalışmaların yerine, kabul edilebilir bir hassasiyette sonuçlar üretilmesi mümkündür. Böylelikle, daha düşük hesaplayıcı kapasitesi ve daha kolay hesaplama imkânı sağlanarak üretim süreci çok daha efektif bir şekilde planlanabilir.

Kaynakça

- Adali, S., & Verijenko, V. (2001). Optimum stacking sequence design of symmetric hybrid laminates undergoing free vibrations. *Composite structures*, 54(2-3), 131-138.
- Altabay, W. A. (2018). High performance estimations of natural frequency of basalt FRP laminated plates with intermediate elastic support using response surfaces method. *Journal of Vibroengineering*, 20(2), 1099-1107.
- Cherniaev, A., & Komarov, V. (2015). Multistep optimization of composite drive shaft subject to strength, buckling, vibration and manufacturing constraints. *Applied Composite Materials*, 22(5), 475-487.
- Dagli, B. Y., Ergut, A., & Turan, M. E. (2020). İçinden Akışkan Geçen Boru Doğal Frekansının Genelleştirilmiş Regresyon Yapay Sinir Ağları Yöntemi İle Tahmini. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(2), 863-874.
- de Assis, F. M., & Gomes, G. F. (2021). Crack identification in laminated composites based on modal responses using metaheuristics, artificial neural networks and response surface method: a comparative study. *Archive of Applied Mechanics*, 91(10), 4389-4408.
- Fallahi, N. (2021). GA optimization of variable angle tow composites in buckling and free vibration analysis through layerwise theory. *Aerospace*, 8(12), 376.
- Ganapathi, M., Kalyani, A., Mondal, B., & Prakash, T. (2009). Free vibration analysis of simply supported composite laminated panels. *Composite Structures*, 90(1), 100-103.
- Garg, A., Chalak, H., Zenkour, A., Belarbi, M.-O., & Sahoo, R. (2022). Bending and free vibration analysis of symmetric and unsymmetric functionally graded CNT reinforced sandwich beams containing softcore. *Thin-Walled Structures*, 170, 108626.
- Ghasemi, F. A., Paknejad, R., & Fard, K. M. (2013). Effects of geometrical and material parameters on free vibration analysis of fiber metal laminated plates. *Mechanics & Industry*, 14(4), 229-238.
- Jafari, R., Yousefi, P., & Hosseini-Hashemi, S. (2015). *Stacking sequence optimization of laminated composite plates for free vibration using genetic algorithm and neural networks*. Paper presented at the International conference on advances in mechanical engineering, ICAME.
- Jeawon, Y., Drosopoulos, G., Foutsitzi, G., Stavroulakis, G., & Adali, S. (2021). Optimization and analysis of frequencies of multi-scale graphene/fibre reinforced nanocomposite laminates with non-uniform distributions of reinforcements. *Engineering Structures*, 228, 111525.
- Karakaya, Ş., & Soykasap, Ö. (2011). Natural frequency and buckling optimization of laminated hybrid composite plates using genetic algorithm and simulated annealing. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 43(1), 61-72.
- Narita, Y. (2003). Layerwise optimization for the maximum fundamental frequency of laminated composite plates. *Journal of Sound and Vibration*, 263(5), 1005-1016.

- Ozdemir, M., Sadamoto, S., Tanaka, S., Okazawa, S., Yu, T., & Bui, T. (2018). Application of 6-DOFs meshfree modeling to linear buckling analysis of stiffened plates with curvilinear surfaces. *Acta Mechanica*, 229(12), 4995-5012.
- Pashmforoush, F. (2019). Statistical analysis on free vibration behavior of functionally graded nanocomposite plates reinforced by graphene platelets. *Composite Structures*, 213, 14-24.
- Pashmforoush, F. (2022). Natural frequency prediction of functionally graded graphene-reinforced nanocomposite plates using ensemble learning and support vector machine models. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 09544062221126641.
- Pingulkar, P., & Suresha, B. (2016). Free vibration analysis of laminated composite plates using finite element method. *Polymers and Polymer Composites*, 24(7), 529-538.
- Reddy, B. S., Reddy, M., & Reddy, V. N. (2013). Vibration analysis of laminated composite plates using design of experiments approach. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, 2(1), 40-49.
- Srinivasa, C. V., Suresh, Y. J., & Prema Kumar, W. P. (2014). Experimental and finite element studies on free vibration of skew plates. *International Journal of Advanced Structural Engineering (IJASE)*, 6(1), 1-11.
- Şahin, Y. (2006). Kompozit malzemelere giriş (2. Baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Thai, H.-T., & Kim, S.-E. (2010). Free vibration of laminated composite plates using two variable refined plate theory. *International Journal of Mechanical Sciences*, 52(4), 626-633.
- Todoroki, A., & Ishikawa, T. (2004). Design of experiments for stacking sequence optimizations with genetic algorithm using response surface approximation. *Composite structures*, 64(3-4), 349-357.
- Zhen, W., & Wanji, C. (2006). Free vibration of laminated composite and sandwich plates using global-local higher-order theory. *Journal of Sound and Vibration*, 298(1-2), 333-349.



Diş Renklenmeleri ve Güncel Tedavileri

Sevdiye Burke^{1*}, Begüm Güray EFES²

^{1*} İstanbul Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi/ Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6681-7828), dtsevdiyeburke@hotmail.com

² İstanbul Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi/ Restoratif Diş Tedavisi, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9350-3341), begumge@istanbul.edu.tr

(4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, November 10 - 13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1201771)

ATIF/REFERENCE: Burke, S., Güray Efes, B., (2022). Diş Renklenmeleri ve Güncel Tedavileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (43), 55-68.

Öz

Günümüzde görsel ve estetik önemin artması, ayrıca sosyal medya etkisinin ortaya çıkması ile birlikte diş beyazlatma işlemleri hastaların en çok ilgi duydukları dental estetik tedavilerden biri haline gelmiş ve son on yılda hastaların diş beyazlatma tedavisine olan talepleri ciddi bir artış göstermiştir. Bunun yanı sıra dişlerdeki renklenmeler estetik kaygıyla birlikte psikolojik ve sosyal problemlere de neden olabilmektedir. Daha beyaz dişlere sahip olmanın hastalar için öneminin artması, yıllar içinde beyazlatma ajanları ve prosedürlerinin sayısında inanılmaz bir artışa neden olmuştur. Bu ajanlar, diş macunları, gargaralar, jeller, bantlar, beyazlatıcı ajan içeren fırçalar ve sigaretler gibi diş hekimi danışmanlığı olmaksızın kullanılan ev tipi ürünler olabildiği gibi profesyonel olarak diş hekimi tarafından klinikte uygulanan yüksek konsantrasyonlu ofis tipi beyazlatma ajanlarıdır. Beyazlatma tedavisinin seçimi, diş renklenmesinin tipine, lokasyonuna ve yoğunluğuna göre değişiklik göstermektedir. Diş hekimleri, beyazlatma tedavisi arayışında olan hastaları, günümüzde popülaritesi oldukça artış gösteren bu ürünler hakkında doğru bir şekilde bilgilendirmeli, oral ve sistemik sağlık sınırları içinde en yüksek beyazlatmayı sağlayabilmelidirler. Diş renklenmeleri genel olarak iç kaynaklı ve dış kaynaklı renklenmeler olarak sınıflara ayrılabilir. Renklenmenin nedenini bilmek diş hekiminin beyazlatma tekniğini planlamasına ve tedavinin sonuçlarını tahmin etmesine yardımcı olur. Böylece bu derlemenin amacı, diş renklenmelerinin nedenlerini değerlendirerek, güncel tedavi seçenekleri için uygulanan materyal ve yöntemlerin kısa bir tasvirini sağlamaktır

Anahtar Kelimeler: vital beyazlatma, devital beyazlatma, iç renklenme, dış renklenme, estetik

Tooth Discoloration and Current Treatments

Abstract

Today, with the increase in visual and aesthetic importance, also the effect of social media teeth whitening procedures have become one of the dental aesthetic treatments that patients are most interested in. In addition, the coloration of the teeth can also cause psychological and social problems along with aesthetic anxiety. The growing importance of having whiter teeth for patients has resulted in a tremendous increase in the number of whitening agents and procedures over the years. These agents, toothpastes, mouthwashes, gels, tapes, containing a whitening agent used by dentists, such as household products like brushes and gum without consulting a dentist is professionally applied in the clinic with high concentrations of office-type bleaching agents. The choice of whitening treatment varies according to the type, location and intensity of tooth coloration. Dentists should accurately inform patients in search of whitening treatment about these products, whose popularity is increasing significantly today, and they should be able to provide the highest whitening within the limits of oral and systemic health. Tooth discoloration are divided into two as external and internal discoloration. Knowing the cause of discoloration helps the dentist on planning the whitening technique and predict the results of treatment. The purpose of this review is to evaluate the causes of tooth discoloration and planning to describe the methods and materials used for current treatment.

Keywords: vital whitening, devital whitening, internal discoloration, external discoloration, esthetic

* Sorumlu Yazar: dtsevdiyeburke@hotmail.com

1. Giriş

Diş renginin değişmesi, günümüzde estetik kaygıların da artması sebebiyle, bir hastanın diş hekimine başvurmasının en sık nedenlerinden biridir (Özduman Z., Çelik Ç., 2017). Diş renklenmesi genellikle estetik açıdan hoş olmadığından, hastalar açısından psikolojik olarak travmatize edicidir (Alaçam T., 1990). Diş renklenmesinin etiyojisinin anlaşılması doğru tanıyı koymak için oldukça önemlidir. Bazı durumlarda, lekelenme mekanizması tedavinin sonucunu etkileyebilir ve diş hekiminin hastalara sunduğu tedavi seçeneklerini etkileyebilir. Genetik, çevresel, medikal ve dişe ait çeşitli faktörlerle meydana gelen diş renklenmelerinin etiyojileri farklı sınıflamalara sahiptir.

Diş renklenmesinin nedenleri, dış kaynaklı veya iç kaynaklı renklenmeler olarak sınıflandırılabilir (Çakır Kırılı M., & Genç Şen Ö., 2021).

2. Dış Kaynaklı Renklenmeler

Dış kaynaklı renklenmeler genellikle lokal orijinlidir. Dış kaynaklı renk değişikliği, diş yapısının dış yüzeyinde yer alan ve topikal veya dış kaynaklı ajanların neden olduğu renk değişikliğidir (Manuel ST, Abhishek P, & Kundabala M, 2010). Geleneksel olarak, dış kaynaklı diş renklenmeleri kaynağına göre metalik veya metalik olmayan renklenmeler olarak da sınıflandırılabilirler.

2.1 Metalik Renklenmeler

Dişlerin dış kaynaklı renklenmesi, mesleki olarak metalik tuzlara ve metal tuzları içeren bir takım ilaçlara maruz kalma ile ilişkili olabilir (Jenan Ehsan Alali et al, 2020). Demir takviyesi kullanan kişilerde ve demir dökümhane işçilerinde dişlerin karakteristik olarak siyah boyanması net bir şekilde dökümante edilmiştir (Alazmah A., 2021). Bakır, bakır tuzları içeren ağız (Waerhag M, Gjermo P, Rolla G, & Johansen J R., 1984) ve endüstriyel koşullarda metalle temas halinde olan işçilerde yeşil bir lekelenmeye neden olur (Ardu S, Stavridakis M, & Krejci I., 2007).

Diğer bazı metaller, örneğin permanganat; ağız gargaralarında kullanıldığında menekşe ve siyah renklenme oluşturabilirler. Diş hekimliğinde kullanılan gümüş nitrat tuzu dişlerde gri renklenmeye, (Dayan D, Heifferman A, Gorski M, & Begleiter A., 1983) stanöz florür ise sarımsı kahverengi renklenmeye neden olur [60]. Demir ve potasyum permanganat ilaçlarının bırakılması halinde renklenme ortadan kalkar. Civa ve gümüş renklenmesi amalgam dolguların uygulanması sonrasında iyonların dentin kanallarına nüfuzu ile meydana gelir. Bu tip boyanmaların uzaklaştırılması oldukça zordur.

2.2 Metalik Olmayan Renklenmeler

Metalik olmayan renklenmelerde, dental plak ya da pelikülün yapısına penetre olan maddeler dişin boyanmasına sebep olur. Kötü ağız hijyenine sahip bireylerde bu renklenme yeşil- turuncu iken, ağız hijyeni iyi olan bireylerde ise siyah/kahverengi görünmektedir (Addy M & Moran J., 1995). Yoğun kahve, çay tüketimi ve nikotin renklenmeleri de sık olarak görülen dış kökenli boyanma sebepleridir. Bu boyanmalar dişin servikal ve orta üçlüsünde kahverengi ve siyah renklenmelerle karakterizedir (Mirbod SM, & Ahing SL., 2000). Tütün çiğneyen kişilerde dişteki mikro çatlaklara nüfuz eden boyanmalarda renklenmenin uzaklaştırılması oldukça zordur. Dış kaynaklı renklenmelerin tedavisi genellikle lastik/ fırça ve abraziv bir patla polisaj yapmak ve oral hijyeni geliştirmekle mümkündür.

e-ISSN: 2148-2683

3. İç Kaynaklı Renklenmeler

İç kaynaklı renk değişikliği, diş sert dokularının yapısal bileşiminde veya kalınlığında bir değişikliğin ardından meydana gelir (Murchison D, Charlton D, & Moore B., 1992), (Newbrun E., 1992). Bir dizi metabolik hastalık ve sistemik faktörün diş gelişimini etkilediği ve sonuç olarak renk değişikliğine neden olduğu bilinmektedir. Travma gibi lokal faktörler de iç renklenmelerin sebeplerindedir (Suliman M., 2005), (Pindborg JJ., 1970), (Watts A, & Addy M., 2001).

3.1 Metabolik hastalıkların sebep olduğu içsel renklenmeler

Fenilketonüri, konjenital eritropoetik porfiri, konjenital hiperbilirubinemi gibi birçok sistemik hastalık iç kökenli renklenmelere neden olmaktadır.

3.1.1 Fenilketonüri

Fenilketonüri doğuştan gelen metabolizma hatası, homojenitistik asit oluşumunu teşvik eden tirozin ve fenilalanin metabolizmasının tamamlanamamasına sebep olur ve bu da dişlerde kahverengi bir renk değişikliğine neden olarak kalıcı dişleri etkiler (Mwafi N., Alasmar A, Al-Momani et.al., 2021). Tedaviye yanıt vermemektedirler. Çocuk büyüdükçe renklenme ortadan kaybolmaktadır (Feinman AR, ET AL., 1987).

3.1.2 Konjenital eritropoetik porfiri

Konjenital eritropoetik porfiri kemik iliğinde, kırmızı kan hücrelerinde, idrarda, dışkıda ve dişlerde porfirin birikimine yol açan, porfirin metabolizmasında bir hatanın olduğu, nadir görülen, çekinik, otozomal, metabolik bir hastalıktır (Fayle S A, & Pollard M A., 1994). Porfirin metabolizmasındaki bozukluk sonucu açığa çıkan hematoporfiri, kemik ve dişlerde depolanır. Dişlerde kırmızı-kahverengi renklenmeye sebep olur. Bu durum eritrodonti olarak bilinir. Süt dişleri daha fazla etkilenir. Dişler, beyazlatma işlemlerine yanıt vermemektedir (Çalışkan MK. , 2006).

3.1.3 Konjenital hiperbilirubinemi

Konjenital hiperbilirubinemi hemoliz sonrası oluşan yıkım ürünleri, dişlerde sarı-yeşil renklenmelere sebep olmaktadır. Hafif yeni doğan sarılığı nedeni ile görülen şiddetli hemoliz sonucu pigmentler, kalsifiye diş dokularında özellikle neonatal çizgilerde birikerek renklenmelere neden olmaktadır (Watanabe K, Shibata T, Kurosawa T, Morisaki I, Kinehara M, Igarashi S, & Arisue M., 1999). Bu tür renklenmelerin tedavi edilmesine gerek olmadığı, çocuk büyüdükçe renklemenin kaybolacağı bildirilmektedir (Koruk A, Ceyhan D, & Kırzioğlu Z., 2010).

3.2 Kalıtsal hastalıkların neden olduğu içsel renklenmeler

3.2.1 Amelogenesis imperfekta

Amelogenesis imperfekta, kalıtsal geçiş gösteren, süt ve daimi dişlerdeki minenin yapısını, miktarını ve bileşimini etkileyen mine gelişim anomalisidir. Genellikle otozomal dominant ya da otozomal resesif geçiş gösterir; X-kromozomuna bağlı geçişler seyrekdir (Koyutürk A, Kahvecioğlu F, Şener Y, & Gökalp A., 2006), (Koroğlu A, Ekren O, & Kurtoğlu C., 2012). Ameloblastların boylarının kısalığından ötürü sağlıklı bir mine üretimi olmaz. Dişlerin görünümü Amelogenesisin tipine bağlıdır. Nispeten hafif hipomatür "karla kaplı" ince mineden, sert

mineye sahip daha şiddetli kalıtsal hipoplaziye karakterize olan sarıdan sarı-kahve rengine doğru farklılık gösterir (Murchison D, Charlton D, & Moore B., 1992).

Amelogenesis imperfekta tedavisi iki açıdan ele alınabilir. Birincisi koruyucu tedavidir. Bu aşamada oral hijyen alışkanlıklarının kazandırılması, diş taşı temizliği, florid uygulamaları, hassasiyet giderici ürün uygulamaları önerilmektedir. İkincisi ise restoratif tedavidir (Williams WP, & Becker LH., 2000), (Wright JT, Waite P, Mueninghoff L, & Sarver DM., 1991). Mine dokusu bozulmamış, sadece renkleşmişse beyazlatma ya da mikroabrazyon tedavisi uygulanabilir. Hipokalsifiye mineye kompozit reçine veya porselen veneer uygulamaları yapılabileceği bildirilmektedir. Mine ve dentine estetik kompozit dolgu restorasyonları yapılamadığı durumlarda kuron restorasyonların yapılması gerekmektedir. Hastalarda, dikey boyut kaybı olduğu durumlarda oklüzal splintle dikey boyut yükseltilmesine ihtiyaç olabilmektedir (Tengün A, & Özer F., 2002), (Sari T, & Usumez A., 2003). Tedavi planlamasında hastanın yaşı, sosyo-ekonomik durumu, hastalığın tipi ve şiddeti, tedavi sırasındaki ağız içi durumu gibi pek çok faktör etkili olmaktadır. Amelogenesis imperfektanın süt ve sürekli dişlerde estetik görünüm, fonksiyon, oklüzyon, fonasyon ve dişeti sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri geleneksel diş tedavilerinden daha farklı yaklaşımları gündeme getirmekte ve düzenli takipler gerektirmektedir (Doruk C, Ozturk F, Sari F, & Turgut M., 2011).

3.2.2. Dentin defektleri

Dentin defektleri, çevresel veya kalıtsal etkenler ile oluşabilmektedirler (Sclare R., 1948).

3.2.3 Dentinogenesis Imperfekta

Shields ve ark. üç tip dentinogenesis imperfekta tipini sunmuştur (Kaur R, Karadwal A, Sharma D, & Sandhu M., 2021). Klinik olarak, dentinogenesis imperfekta ile her iki dentisyon da yani süt ve sürekli dişlerin her ikisi de etkilenir. Dişlerin rengi kahverengiden mavi skalaya kadar değişir, bazen kehribar veya gri olarak da tanımlanır (Weyman J., 1962). Mine, hastaların yaklaşık üçte birinde hipoplastik veya hipokalsifiye olabilir ve minesini etkilenen bir hastada mine dentinden kopma eğilimindedir (Lee E, Wadhwa P, Kim M, Jiang H, Um I, & Kim Y., 2021). DI tedavisi restoratif, endodontik ve protetik yollara başvurulabilir.

3.3 İatrojenik nedenlerle oluşan içsel renklenmeler

3.3.1. Tetrasiklin Renklenmesi

Plasenta bariyerini aşabilen geniş spektrumlu bir antibiyotik olan tetrasiklin, diş gelişimi sırasında kullanıldığı taktirde içsel renklenmeye neden olduğu bilinmektedir. Tetrasiklin renklenmesi, stabil bir ortofosfat kompleksi olarak hidroksil apatit kristallerinin yüzeyindeki kalsiyum iyonları ile şelatlanan ilacın sistemik uygulamasından kaynaklanır (Murchison D, Charlton D, & Moore B., 1992), (Türker S, & Biskin T., 2002). Tetrasiklin'den etkilenen dişler sarımsı veya kahverengi-gri bir görünüme sahiptir. Bu durum erüpsiyonda daha kötüdür ve zamanla azalmaktadır. Dişlerde görülen renklenme şiddetinin; kullanılan tetrasiklin grubuna, kullanım süresine ve kullanıldığı zamanda dişin hangi formasyon fazında olmasına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Etkilenen dişler ayrıca ultraviyole ışık altında floresan ve parlak sarı bir renk verirler (Sánchez AR, & Rogers RS., 2004). Minenin kalınlığı kole bölgesinde daha ince olduğu için renklenme bu bölgede daha yoğun gözlenmektedir

(Wallman I, & Hilton H., 1962). Aşırı ve uzun süre tetrasiklin alındığında, renklenmelerin yanında mine hipoplazilerine de rastlanabilmektedir. Tetrasiklin, oksitetrasiklin, dimetiltetrasiklin, dişleri sarı-kahverengimsi-gri tonlarda boyarken, klortetrasiklin dişleri gri tonda boyamaktadır. Vibramisin ve Doksasiklin gibi renklenme yapmayan tetrasiklin preparatları da bulunmaktadır (Koruk A, Ceyhan D, & Kırzioğlu Z., 2010), (Sapir S, & Shapira J., 2007).

Tetrasiklin renklenmelerinin hafif tipte olanlarında vital beyazlatma yöntemleriyle sonuç alınabiliyorken, renklenmenin şiddetli olduğu olgularda vital beyazlatma tedavisine yanıt alınmadığı bildirilmektedir (Sapir S, & Shapira J., 2007).

Karbamid peroksid ile birlikte peroksidaz ya da laktoperoksidaz gibi enzimlerin yüksek konsantrasyonlarda kullanılmasıyla daha etkin beyazlatma sağlanabildiği bildirilmiştir (Gimeno I, Riutord P, Tauler P, Tur JA, & Pons A., 2008). Bu gibi sonuç alınmayan durumlarda restoratif tedavi yeterli olamıyorsa protetik tedaviler düşünülmelidir.

3.3.2. Florozis

Florozis kronik bir diş renklenmesidir. Doğal olarak su kaynaklarından veya florür içeren ağız gargaraları, tabletler veya diş macunları sebebiyle ortaya çıkabilir. Şiddeti, yaş ve alınan doz ile ilgilidir ve her iki dentisyonu da etkileyebilir. Gebeliğin 2. trimestri ile 8 yaş arasındaki süre zarfında günde 1 ppm' den fazla flor alımına bağlı olarak meydana gelir. Flor ameloblastlar üzerine direkt olarak tesir eder ve hipoplazilerle beraber tebeşir görünümlü beyaz ya da sarıdan kahverengiye varan renk değişimlerine sebep olur. Florozis hafif ise kuron yüzeyi beyaz, opak lekeli çizgiler ve noktalar halinde iken, daha ileri vakalarda sarı-koyu kahverengi ve tebeşir görüntüsündedir (Hilton S., 1967).

Florozisin tedavisi, şiddetine göre belirlenmektedir. Hafif fluorozisli dişlerde genellikle düzenli takipler önerilmektedir. Fizyolojik atrizyonla görünümün düzelebileceği belirtilmiştir. Hafif fluorozisli ve minor lezyonları bulunan dişlerde mikroabrazyon ve eksternal beyazlatma uygulamalarından sonra CPP-ACP uygulamasının, minede remineralizasyonu sağlayarak hassasiyeti giderebileceği ve estetik görünümü destekleyebileceği belirtilmiştir (Dayan D, Heifferman A, Gorski M, & Begleiter A., 1983), (Waerhag M, Gjermo P, Rolla G, & Johansen J R., 1984). Orta derece fluorozisli dişlerde mikroabrazyon tekniği ve kompozit restorasyonların uygulanabileceği belirtilmiştir. Şiddetli fluorozisli dişlerde ise, kompozit restorasyonların, kuronların, laminate vernerlerin uygulanabileceği belirtilmiştir (Hilton S., 1967).

3.4 Travma nedeni ile oluşan içsel renklenmeler

3.4.1. Mine hipoplazisi

Mine hipoplazisi lokalize veya generalize olabilir. Mine hipoplazisinin en yaygın lokalize nedeni, süt dişlenmede travma veya enfeksiyondur (Nikiforuk G, & Fraser D., 1981). Konjenital D vitamini eksikliği, kızamıkçık enfeksiyonu, hamilelik sırasında ve çocukluk çağındaki kalsiyum eksikliği durumlarında ilaç alımı, mine hipoplazisine ve dolayısıyla minenin dışsal renklenmesine zemin hazırlayan, genellikle daha sonra içsel hale gelen çukurlaşma veya oyuklaşmaya neden olabilir (Fearne J M, Bryan E M, Elliman A M, Brook A H, & Williams D M., 1990). Mine hipoplazilerinin tedavisinin, lezyonun şiddetine göre şekillendiği bildirilmektedir. Mine hipoplazilerinin tedavisinde; etch-bleach-seal, mikroabrazyon tekniğinden, intrakuronal, ekstrakuronal

restorasyonlara kadar uzanan çeşitli tedavi yaklaşımlarından yararlanılabilir (Koruk A, Ceyhan D, & Kırzioğlu Z., 2010).

3.4.2. Pulpal hemorajiler

Sürmüş bir dişe yönelik akut travma, intrapulpal kanamaya neden olarak dişin kırmızı bir renk almasına kaynak oluşturabilir. Pulpa nekrotik hale geldikçe bu renk değişikliği birkaç gün içinde gri-kahverengiye dönüşebilir. Bu durum özellikle anterior dişlerde görülmektedir (Miller EK, Lee JY, Tawil PZ, Teixeira FB, & Vann WF., 2012). Bazen diş kendi kendine rejenere olur ve beyazlatma tedavisi yapılmaksızın diş doğal rengine yeniden kavuşur. Bu durum pulpa nekrozu gerçekleşmemişse görülebilir. Bu renk bozukluğuna sahip dişlere vitalite testi uygulanmalıdır. Renklenme periyodunun uzaması çoğu zaman pulpa nekrozunu işaret eder. Travmadan sonra oluşan ankiloz nedeniyle de dişlerde beyaz veya sarı-kahverengi renklenme görülebilir (Arens D., 1989), (Kielbassa AM, & Wrbs KT., 2000).

3.4.3. Diş sert dokularının rezorpsiyonu

Diş sert dokularında oluşan rezorpsiyon, mine-dentin sınırında pembe bir görünümle karakterizedir. Dentin dokusunun aşırı rezorpsiyonuyla birlikte vasküler yapının mineden yansması sonucu bu durum meydana gelmektedir. Klinik olarak internal rezorpsiyon, pembe lekeler neden olur. Ayrıca; periodontal dokuların hasarı sonucu oluşan eksternal rezorpsiyonda da pembe lekelenme görülebilir (Zimmerli B, Jeger F, & Lussi A., 2010). Granülasyon dokusu kaynaklı pembe dişler, kök kanal tedavisi ardından kompozit dolgu tedavisi ile estetik açıdan da iyileştirilebilirler (Yılmaz N., & Çiçek E., 2015).

3.4.5 Dentin hiperkalsifikasyonu

Meydana gelen herhangi bir travma sonucu, dişlerdeki kanlanmanın geçici olarak bozulmasıyla birlikte odontoblastlar etkilenmekte ve böylece pulpa odası ile kanal duvarlarında düzensiz dentin yapımı oluşmaktadır. Bu durumda dişler vital olmalarına rağmen saydamlıkları azalmakta ve renkleri sarı-kahverengiye dönüşmektedir (Miller EK, Lee JY, Tawil PZ, Teixeira FB, & Vann WF., 2012). Tedavide ilk olarak vital beyazlatma denenmelidir. Eğer bu tedavi istenen sonucu vermez ise, kök kanal tedavisi ve ardından intrakuronal beyazlatma yapılır (Bayırlı G., 1998).

3.5. Yaşlanma

Sekonder dentinin doğal yerleşimi, dişlerin ışık yansıtma özelliklerini etkiler ve bu da yaşla birlikte dişlerin kademeli olarak koyulaşmasına neden olur. Vital diş beyazlatma tedavileri uygulanabilir (Moreno E., 1993).

4. Renklenmiş Dişlerin Tedavileri

Temel işlem renklenmiş bölgelerin oksidasyonudur (Goldstein RE. & Garber DA., 1995). Oksidasyonun yeterli olmadığı veya estetik açıdan tatmin edici olmadığı vakalarda restoratif veya protetik tedaviler uygulanabilir. Başarı tekniğinin ve uygulanacak materyalin seçimine bağlıdır. Tedavi yöntemleri öncelikle vital ve devital dişlerde uygulanacak yöntemler olarak ikiye ayrılır (Heymann HO., 2002).

5. Tedavide Kullanılan Ajanlar

Kullanılan ürünler genellikle okside edicilerdir (Goldstein RE, & Garber DA., 1995). Güncel beyazlatma ajanları aktif ve

inaktif içeriklere sahiptir. Aktif içerikler; hidrojen peroksit, karbamid peroksit ve sodyum perborattır. İnaktif içerik ise; kalınlaştırıcı ajan, taşıyıcı, sürfaktan (yüzey aktif madde), pigment, aroma ve koruyucudan oluşur (Türkiye Klinikleri J Restor Dent-Special Topics, 2017).

Karbamid peroksit, sonunda su ile reaksiyona giren ve aktif bileşenlerine ayrılan kararlı bir yapısal komplekstir (R.B Price, M Sedarous, & G.S Hiltz, 2000).

Hidrojen peroksit, günümüzde beyazlatma tedavisinde aktif ajan olarak kullanılmaktadır. Hidrojen peroksitin parçlanması sonucu ortaya çıkan oksijen molekülleri dişlere penetre olarak pigmente molekülleri parçalar ve beyazlatma işlemi gerçekleşir (Greenwall, L., 2001). Sıklıkla %30-35'lik konsantrasyonları kullanılmaktadır. Hidrojen peroksit dişin geçirgenliğini artırır. Hidrojen peroksit düşük molekül ağırlığı nedeniyle proteinlerin denature olmasına neden olarak dişin yapısındaki iyonların hareketliliğini artırır. Beyazlatma da kalan boşluklara hidrojen peroksitin penetrasyonu ve organik materyalle reaksiyona girmesi sonucu gerçekleşir (Mc Ewoy, 1989).

Sodyum Perborat, su ile birleştiğinde hidrojen peroksit, sodium metaborat ve serbest oksijen açığa çıkar. Hidrojen peroksit beyazlatma işlemini başlatacak olan aktif oksijeni salar (Rotstein I., 1993), (Arı H, & Üngör M., 2002).

Kalınlaştırıcı Ajan, %0.5-1.5 konsantrasyondaki karbapol bu açıdan en çok kullanılan maddedir. Moleküler ağırlığı yüksektir ve bu poliakrilik asit polimerinin 2 ana avantajı bulunmaktadır. Bunlardan ilki, beyazlatma ajanının viskozitesini artırarak, yüzeye tutuculuğunu artırmak, ikincisi ise aktif oksijen salınımını 4 kata kadar arttırmayı sağlamasıdır (Greenwall, L., 2001).

Taşıyıcı olarak ise genellikle gliserin ve propilen glikol kullanılır. Taşıyıcılar, beyazlatma ajanlarında nemi korumayı ve diğer maddelerin çözünmesini sağlarlar (Haywood VB., 1992).

Yüzey aktif madde ve renk seyrelticiler, beyazlatıcı ajanlarının etkinliklerini arttırmalar. Yüzey aktif madde, beyazlatma ajanının yüzeye yayılmasını sağlar. Renk seyrelticiler, pigmentlerin süspansiyon halinde durmasını sağlar.

Koruyucu olarak genellikle sodyum metil ve propilparaben kullanılır. Kullanım amaçları, beyazlatma ajanlarında bakterilerin gelişmesini engellemektir (Şeker o, & Sarı H., 2019).

Tatlandırıcılar, beyazlatıcı ajanın tadının kabul edilebilirliğini artırır (Haywood VB., 1992).

Anason, taflan, yeşil nane, keklik üzümü, ve sakkarin gibi maddeler içerebilir (Alqahtani M Q., 2014).

6. Diş Beyazlatma Yöntemleri

Günümüz koşullarında, hastaların kendi konfor alanlarında uygulayabildikleri beyazlatıcı diş macunları, bantlar ve jellerin gibi yöntemlerin yanı sıra diş hekimi tarafından muayenehanede uygulanabilen beyazlatma ajanları da bulunmaktadır. Beyazlatma tedavileri vital ve devital olmak üzere iki gruba ayrıldıkları gibi klinik ortamında ve klinik dışında olmak üzere de sınıflandırılabilirler (Heymann HO., 2002).

6.1 Vital Dişlerde Beyazlatma Teknikleri:

Vital beyazlatma teknikleri bazı durumlarda uygulanabilirken, bazı vakalarda uygulanmaları uygun olmamaktadır.

Vital Beyazlatma Tedavilerinin Endike Olduğu Vakalar:

Hafif ve orta şiddetli tetrasiklin renklenmeleri vakalarında (Haywood VB, Leonard RH, & Dickinson GL., 1997), sarı kahverengi lekelenmeler gösteren hafif şiddette florozis vakalarının tedavilerinde (Hayes PA, Full C, & Pinkham J., 1986) yaşlılığa bağlı oluşan renklenme ve sararmalarda, uzun süre çay, kahve, tütün kullanımına bağlı oluşan dış kaynaklı renklenmelerde ve dişlerinin doğal renginden memnun olmayan kişilerde vital beyazlatma tedavileri uygulanabilir.

Vital Diş Beyazlatma Tedavilerinin Kontrendike Olduğu Vakalar:

Minede çatlak, defekt ya da kırık varlığında, aşırı hassas dişlerde, geniş pulpa dokusuna sahip kişilerde (özellikle gençlerde), çok koyu renk bozukluklarında hamile ve emziren kişilerde, sabırsız ve aşırı beklentili kişilerde (Koopere olunamayacak kişilerde) vital tedavi kontrendikedir.

Başlıca 2 teknik vardır:

6.1.1 Mikroabrazyon ve makroabrazyon teknikleri

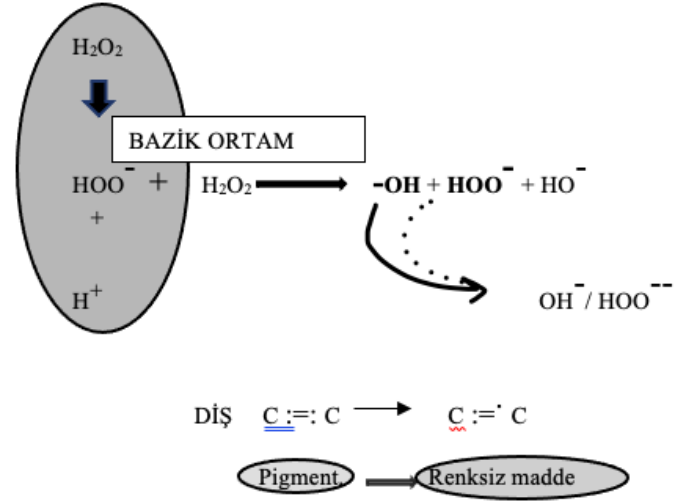
Yüzeysel ve lokalize renklenmelerin giderilmesinde kullanılan konservatif yöntemlerdir (Roberson MT, Heymann O, & Edward J (Eds.), 2011). Renklenen bölge fiziksel olarak aşındırılır. Çok derin defekt ve renklenmelerde başarılı bir yöntem değildir. Mikroabrazyonda, renklenmenin 0.2-0.3 mm'den daha derin olduğu ve bu nedenle mikroabrazyonun yetersiz kaldığı durumlarda, dişin kompozit materyallerle restore edilmesi gerekmektedir. Renklenmenin olduğu bölgeye mikroabrazyon patı olan hidroklorik asit, sitrik asit, fosforik asit veya nitrik asit gibi düşük konsantrasyonlu bir asidin bir polisaj lastiği yardımı ile düşük turda hafif basınçla uygulanmasıyla gerçekleştirilir (Croll TP,1991). Sonrasında, tedavi edilen bölgeye flor içeren bir cila patı ve topikal florür uygulaması yapılır.

Makroabrazyon ise, dişler üzerindeki lokalize ve yüzeysel renklenmenin giderilmesi için uygulanabilmektedir. Öncelikle 12 bıçaklı kompozit bitirme frezleri ya da ince grenli elmas bitirme frezleri kullanılır. İşlem hava su soğutması altında, hafif basınçla ve uygun ışık ortamında gerçekleştirilmelidir. 30 bıçaklı bitirme frezleri ve ekstra ince grenli elmas bitirme frezlerinin kullanımının ardından cila lastikleri ile işlem bitirilir (Çelik Ç., 2017).

6.1.2 Jel teknikleri

Günümüzdeki en popüler ve yaygın kullanıma sahip tekniklerdir. Düşük ve yüksek konsantrasyonda beyazlatıcı jellerin kullanıldığı bu tekniklerde kullanılan ürünler aktif madde olarak genellikle karbamid peroksit ya da hidrojen peroksit içermektedirler. Jel teknikleri kullanılan ürünlerin konsantrasyonuna bağlı olarak diş hekimi kontrolünde evde veya diş hekimi tarafından klinikte uygulanabilirler.






Şekil 1. Hidrojen peroksit ile yapılan beyazlatma işleminin mekanizması



6.1.2.1 Diş Hekimi Kontrolünde Evde Yapılan Beyazlatma İşlemi

Karbamid peroksidin %10'luk konsantrasyonunun veya daha düşük konsantrasyonda hidrojen peroksit jellerinin kullanımı, "gece koruyucu vital beyazlatma" olarak da bilinen vital beyazlatmanın standart teknik haline gelmesine neden olmuştur (de la Pena VA, & Cabrita OB.,2006), (Faraoni-Romano JJ, Turssi CP, & Serra MC.,2007). Hastanın alt ve üst çenesinden alınan ölçüler doğrultusunda çeşitli kalınlıklarda olabilmek üzere şeffaf plaklar oluşturulmaktadır. Hekimin belirlediği miktarda beyazlatma jelini plağın vestibülüne yerleştirerek, hastanın beyazlatma plağını evde kullanmasına izin verilir (Suliman M.,2006). En az 7-14 gün kullanım süresi vardır. Bu yöntemde beyazlatma işlemi daha yavaş olduğundan geri dönüşümü de daha uzun zaman alır ve bu durum muayenehanede yapılan beyazlatma işlemine göre bir avantaj sayılabilir (Perdigao J, Baratieri LN, & Arcari GM., 2004).

Tablo 1. Diş hekimi kontrolünde evde yapılan beyazlatma işlem

Hastadan ölçülerin alınması	
	
Şeffaf plakların üretimi	Beyazlatıcı ajanın plak içine yerleştirilmesi
	
Plakların ağız içine yerleştirilmesi	Plakların temizlenmesi
	

6.1.2.2 Diş Hekimi Tarafından Klinikte Uygulanan Beyazlatma İşlemi



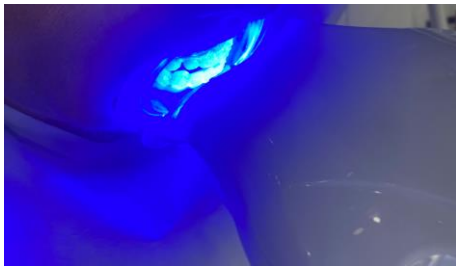


“Chairside Bleaching” ofis tipi beyazlatmanın bir diğer tanımıdır. Diş hekimi tarafından klinikte uygulanan beyazlatma işleminde yüksek konsantrasyonda oksijen salabilen materyaller kullanılmaktadır. Sıklıkla %30-35’lik konsantrasyonlarda hidrojen peroksit kullanılmaktadır (Heymann HO., 2002).

Beyazlatmaya başlanmadan önce renk seçimi yapıp kayıt altına alınır. Diş yüzeyindeki plak flor içermeyen bir pasta temizlendikten sonra dudak, yanaklar, dil ve dişetlerinin ekartasyonu sağlanmalıdır. Her bir diş yüzeyini tamamen kaplayacak şekilde beyazlatıcı jel uygulanarak yayılmalı ve ardından jelin üretici firma talimatları doğrultusunda kimyasal olarak veya ışık aktivasyonu sağlanmalıdır (Çelik Ç., 2017).

Genellikle 45 dakikalık sürede yapılan tedavi sonrası beyazlatma ajanı, bol su ile yıkanarak uzaklaştırılır. Tedavinin ardından beyazlık derecesi kontrol edilerek seans süresi ve sayısı

değerlendirilebilmektedir Atalı P, Tarçın B, Dokumacıgil G, & Korkut B., 2020a).

Tablo 2. Diş hekimi tarafından klinikte uygulanan beyazlatma işlemi

Beyazlatma Tedavisi Öncesi	
Hastadan ağız içi fotoğraflar alınması	
	
Dokuların ekartasyonu ve beyazlatma jelinin uygulanması	Işık uygulanması
	
Beyazlatma Tedavisi Sonrası	
Jelin temizlenmesi, beyazlık kontrolü ve seans sayısının değerlendirilmesi	
	

6.1.3 Hasta Tarafından Satın Alınarak Kullanılan Güncel Sistemler

Diğer adı ile Over-the counter-products günümüzde oldukça popüler sistemlerdir ve diş hekiminin danışmanlığı ve kontrolü olmaksızın hastanın market ve eczanelerden temin edebileceği ürünler ile yapılan beyazlatma teknikleridir. Dişe yapışan bantlar, fırça ile uygulanan “paint-on” ürünler, hidrojen peroksit ya da karbamid peroksit içerikli diş macunları ve beyazlatıcı gargaralar en çok kullanılan ürünlerdir (Joiner A. Tooth colour: a review of the literature.,2004), (Gerlach RW, & Zhou X., (2001).

Diş beyazlatıcı stripler, farklı yüzdelerde (%5.3, %6.5, %14) hidrojen peroksit emdirilmiş yapışkanlar olup ön dişlere yerleştirilmesi ile beyazlatıcı etkilerini göstermektedir. Uygulama

süreleri 5 ila 60 dakika arasında ve günde 1 yada 2 kezdir (RW., 2007). İki haftalık kullanımlarından sonra başarılı sonuçlar alındığı klinik çalışmalarda bildirilmiştir. Gece plağı ile uygulanan ev tipi beyazlatma sistemlerine kıyasla kullanımı daha kolay ve kısadır fakat çapraşık ve malpoze dişlerde uygulanmaları zordur (Atalı P, Tarçın B, Dokumacıgil G, & Korkut B., 2020b).

Hızlı kozmetik çözümlerin aranması talebiyle birlikte “Teeth Whitening Gum” (Robell Research, NY, America) adı altında sigaretler geliştirilmiştir. Bir çok markanın üretimine dahil ettiği sigaretlerin içeriğindeki Calprox (hidrojen peroksit veya kalsiyum peroksit) beyazlatma vaadi yanı sıra, dişteki lekeleri temizlemesi gibi koşulları yerine getirdiği, ayrıca yeni geliştirilen sigaretlerde veneerler ve kompozit dolgulu dişlerde dahi etkili olduğu iddia edilmektedir (<https://www.supersmile.com/products/freshen-breath-teeth-whitening-gum-stain-removal-on-the-go>, 2021).

Paint-on ürünler dişlerin vestibül yüzeyine bir fırça ile uygulanan ve yavaş bir şekilde peroksit salınımı yapacak şekilde hazırlanmışlardır. Dişlerin fırçalanmasıyla birlikte diş yüzeyinden temizlenebilirler. Hidrojen peroksit sodyum perkarbonat ya da karbamid peroksit gibi beyazlatma ajanlarından birini içerebilirler (Evaluation of Tooth-color Change Using Four Paint-on Tooth Whiteners. Oper Dent, 2007).

Mavi LED ışık teknolojisinin evlere taşınmasıyla birlikte Optic White, Advanced LED Whitening (Colgate- Palmolive Company, England, US) gibi kitler geliştirilmiştir. Örneğin; Kırmızı şarap, çay, kahveden kaynaklanan zorlu lekelerle karşı daha yüksek etkinlik için tasarlanmışlardır. Bu teknoloji ile %9 konsantrasyonda hidrojen peroksit ajanının LED ışık-plak aparatına yerleştirilerek 10 dakika ve 10 günlük kullanım ile 6 tona kadar beyazlatma vaat edilmektedir.

Beyazlatıcı özellikteki gargaralar, içeriğinde düşük konsantrasyonda hidrojen peroksit (%2) ve dişlerin yeniden renklenmesini önlemek için de sodyum heksametafosfat barındırır. Bu ajanların uzun süre kullanımı kontrendike olup ağız mukozasında irritasyon ve diş hassasiyetine neden olabilmektedirler.

Beyazlatma tedavisi sırasında ve sonrasında beyazlığı korumak için aşındırıcı içermeyen ve renklenmeyi engelleyici diş macunları önerilir.

6.2 Devital Dişlerin Tedavisi

Devital Beyazlatma Tedavilerinin Endike Olduğu Vakalar:


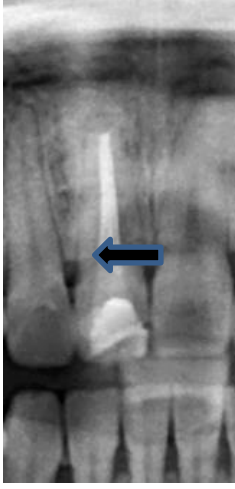



Pulpa nekrozu, intrapulpal hemoraji ve endodontik tedavi sonrası pulpa dokusu artıkları ile koronal boşlukta pat kalıntıları sonucu renklenmiş endodontik tedavili dişlerdir (Atreya, S., & Patel, B., 2016). Devital beyazlatmanın en önemli yan etkisi ve dezavantajı servikal kök rezorpsiyonudur [34]. Servikal kök rezorpsiyonuna sık sık sebebiyet veren faktörlerse yüksek konsantrasyonda beyazlatma ajanı uygulanması, dişin travma öyküsü ve beyazlatmanın ajanının termokatalitik yöntemlerle uygulanmasıdır. Walking bleachingde öncelikle kök kanal tedavisi bitirilmeli ve servikal olarak bir örtücü ajan

uygulanmalıdır. Beyazlatıcı ajan dişin içine bırakılır, böylece bir sonraki ziyarete kadar beyazlatma olarak işlevini gerçekleştirebilir. Ağartıcı ajan 3-4 ziyarete kadar 3-7 günde bir değiştirilmelidir (Heithersay GS., 2004), (Heithersay GS, Dahlstrom SW, & Marin PD., 1994), (Plotino G, Buono L, Grande N, Pameijer C, & Francesco S., 2008). Walking bleaching tekniği az zaman gerektirmesi, hekim ve hasta açısından daha rahat bir tedavi seçeneği sunması gibi avantajlarından ötürü sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir (Zimmerli B, Jeger F, & Lussi A., 2010). Servikal kök rezorpsiyonu dahil, olası komplikasyonlar hakkında hasta bilgilendirilmelidir. Beyazlatma işlemine başlamadan önce, kök kanal dolgusunun mevcut kalitesini ve periapikal dokuların durumunu değerlendirmek için bir preoperatif radyografi çekilmelidir. Şüpheli durumlarda kök kanal tedavisi yapılmalı ve intrakoronal beyazlatmaya başlamadan en az bir hafta önce dolgu materyalinin sertleşmesine izin verilmelidir. Kök kanal dolgusu, mine-sement birleşiminin 1-2 mm altına indirilmelidir. Ağartma maddelerinin pulpa odasından apikal foramenlere yayılmasını önlemek için kök kanal dolgusu en az 2 mm'lik bir materyal (çinko fosfat, cam iyonomer, polikarboksilat siman veya mineral trioksit aggregate (MTA)) ile kapatılmalıdır (de Oliveira LD, Carvalho CA, Hilgert E, Bondioli IR, de Araujo MA, & Valera MC., 2003). Pulpa odasına, 30-60 saniye boyunca %37'lik fosforik asit uygulanır, yıkanır ve kurutulur böylece beyazlatma materyalinin penetrasyonu için dentin tübüllerinin açılmasına izin verilir. Hasta haftalık olarak muayene edilir ve işlem diş beyazlayana kadar tekrarlanır. Genellikle tatmin edici beyazlatma tedavisi 1-3 seansta elde edilir (Camps J, de Franceschi H, Idir F, & Roland C., 2007).

Beyazlatma tamamlandıktan sonra, boşluk asitle aşındırma tekniği kullanılarak yapılan reçine kompoziti ile restore edilmektedir. Kompozit dolgu için en uygun süre genellikle beyazlatmanın tamamlanmasını takip eden 3 haftadır [80]. Herhangi bir bakteri penetrasyonunu önlemek ve servikal kök rezorpsiyonu riskini en aza indirmek için bu süre zarfında kalsiyum hidroksit ile pansuman önerilir (Gimlin DR, & Schindler WG., 1990).

Termokalalitik yöntem daha az tercih edilmekle birlikte bu yöntemde çok benzemekte ve dişe yerleştirilen beyazlatma materyali ısı ile aktive edilmektedir.

Tablo 3. Wakling bleaching uygulama basamakları

Kanal tedavisi uygulanması/ kontrolü	Kök kanal dolgusunun mine-sement birleşimi altına indirilmesi
	
Beyazlatma ajanı uygulanması	
	
Kalsiyum hidroksit ile pansuman yapılması	
	
Kompozit dolgu ile bitirilmesi	
	
Beyazlatma Öncesi	Beyazlatma Sonrası



7. Beyazlatma Tedavisinde Güncel Gelişmeler

Hastalar genellikle diş beyazlatma tedavisinden sonra diğer estetik ve ortodontik tedaviler için de motive olurlar. Ancak, beyazlatma tedavisi uygulanmış dişlerde adeziv restorasyonların veya reçine braketlerin bağlanma kuvvetleri düşüktür (García-Godoy F, Dodge WW, & Donohue M., 1993), (Toko T, & Hisamitsu H., 1993). Bağlantı kuvvetindeki bu düşüşü önlemek için farklı yöntemler denense de; sıklıkla kullanılan garanti metod, beyazlatma sonrası adeziv sistem içeren restorasyonların ertelenmesidir (da Silva Machado Jefferson ve ark., (2007).

Beyazlatma sonrası kompozit reçinelerin bağlanma kuvvetinde oluşan düşüşün antioksidan kullanımı ile tersine çevrilebileceğini Lai ve arkadaşları açıklamışlardır (Lai SCN ve ark.,2002), (Hansen JR, Frick KJ, Walker MP, Demarco FF, Turbi- no ML, Jorge AG, et al. ,2014).

Askorbik asit, ortalama pH:4 iken sodyum askorbat pH:7' dir. Bu nedenle sodyum askorbat askorbik aside kıyasla diş için daha uygun bir ajandır (Lai SCN ve ark.,2002), (Hansen JR, Frick KJ, Walker MP, Demarco FF, Turbi- no ML, Jorge AG, et al. ,2014), (Vohra FA, & Kasah K., 2014). Yapılan invitro bir çalışmada, 2 gr'lık 35% hidrojen peroksit jelini indirmek için, 20 mL'lik 25% sodyum askorbat solüsyonu önerilmiştir. Ek olarak antioksidan etkinin görülmesi için 5 dk'lık uygulamanın yeterli olduğu gösterilmiştir (Freire A ve ark., 2009).

Sıçanlarda yapılan bir çalışmada ozon, dişlerde tetrasiklin renklenmesini beyazlatmak amacıyla kullanılmış ve başarılı olmuştur (Tessier J, Rodriguez PN, Lifshitz F, Friedman SM, & La- nata EJ., 2010).

Hidrojen peroksidin ozon ile kombine halinde kullanımı, hidrojen peroksidin dişte tek başına kullanımına kıyasla dişte daha açık renk oluşturduğu da gözlenmiştir (Al-Omiri MK, Abul Hassan RS, AlZarea BK, & Lynch E.,2016).

Lee ve arkadaşları, soğuk atmosferik basınçta plazma uygulamasının diş beyazlatmasında kullanılabileceğini bildirmişlerdir (Lee HW ve ark., 2009).

Mevcut beyazlatma yöntemleri, peroksitlerin mine prizmalarının basit difüzyonuna dayanır, bu nedenle peroksitlerle yeterli temas süresi gerektirir. Ofiste yapılan tedaviler genellikle kimyasal veya ışık aktivasyonu ile olur, bu da sıklıkla diş hassasiyeti ve olası yumuşak doku hasarı ile sonuçlanır. ChenhuiPeng ve arkadaşları tedavi süresini azaltırken etkinliği artırma niyetiyle, elektrokinetik tarafından yönlendirilen nano

akımlar yoluyla hidrojen peroksiti mine nanoporlarından derinlere taşımak için bir yöntem uygulamışlardır ve böylece aynı konsantrasyondaki hidrojen peroksit için çalışma süresinin 10 kat kısaltılabileceği gösterilmiştir (Peng C. Ve ark, 2019).

Ofis tipi beyazlatmada, tatmin edici bir sonuç için genellikle iki veya üç seans gerekmektedir. Hekimler genellikle rengin oturması ve büyük bir hassasiyete sebebiyet vermemek için 1 haftalık aralıklarla beyazlatma seanslarını gerçekleştirmektedirler. Bu konuda yapılmış güncel bir araştırmaya göre seanslar arası 2 günlük bekleme süresinin 7 günlük bekleme süresinden diş hassasiyeti ve beyazlatma etkinliği açısından bir fark olmadığı gösterilmiştir de (Paula EA, Nava JA, Rosso C, Benazzi CM, Fernandes KT, Kossatz S, & et al., 2015).

Son zamanlarda popüleritesi artış gösteren Antivet® Kit (MDC, Silver Spring, U.S), tütün ürünleri tüketimi, renkli soda, şarap ve kahve gibi diş kaynaklı nedenlerle oluşan lekeleri ve florozis etkenli renklenmeleri yok etmek için üretilmiştir. Mineye zarar vermeden, hassasiyete neden olmadan, tek seans uygulama ile lekeleri çıkarmaktadır (<https://www.dentiss.com/antivet-dis-lekesi-temizleme-kiti-y2804.html>, 2021). Kit, ayrıca, florozdan etkilenen dişlerde daha iyi braket yapışmasını sağlamak için ortodonti işlemi öncesi bir tedavi olarak önerilmektedir. İçeriği asidik ve bazik olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Asidik temelli solüsyon (Antivet), çözünebilir tuzları üretmek üzere kontrollü pH değerine sahip (<3) trikarboksilik asit ile stabilize edilmiş %21 konsantrasyonda hidroflorik asitten oluşmaktadır. Bazik solüsyon (nötralizer) ise, pH>12 olan kalsiyum hidroksitten oluşur. Dişleri izole etmek için ilk önce bir diş bariyeri (lastik örtü) uygulanır. Daha sonra diş yüzeyine bir fırça veya pamuk rulo ile kit içinde bulunan düşük pH'lı mine temizleme solüsyonu uygulanarak tedaviye başlanır ve solüsyon, leke çıkarılınca kadar diş üzerine yavaşça sürülür (bir pamuk rulo ile 1'er dakika aralıklarla 2 veya 3 kez uygulama). Düşük pH solüsyonu, florür iyonlarını florozisli bölgeden ayırmaya yardımcı olur. Mine temizleme solüsyonu ile işlemden sonra, yine kitin içinde bulunan nötralize edici çözelti (likit kalsiyum hidroksit) 2 dakika boyunca uygulanır (<https://www.dentiss.com/antivet-dis-lekesi-temizleme-kiti-y2804.html>, 2021).

Diğer yandan, mikro-invaziv teknoloji olarak da tanımlanmakta olan reçine infiltrasyon sistemi Icon® (DMG, Hamburg, Germany), sağlıklı diş yapısından madde kaybı olmaksızın, az miktarda aşındırma yaparak mikroporozitelerin reçin ile tıkanmasını sayesinde mine dayanıklılığını artırmaktadır. Reçine infiltrant sistemi, başlangıç çürük lezyonlarının tedavisi

için mikroabrazyon ve diğer restoratif tedavilerin uygulanmasına bir alternatif olarak uygulanmaktadır (Weisrock G, Terrer E, Couderc G, Koubi S, Levallois B, Manton D, & Tassery H., 2011).

Fakat çürük lezyonlarının tedavisinin yanı sıra gelişimsel mine defektlerinde reçine infiltrant uygulamalarının, hafif ve orta şiddetli florozis olgularında renk maskeleme etkisi başarılı bulunmuş ve minimal invaziv tedavi uygulamalarında alternatif tedavi seçeneği olarak uygulanabileceği belirtilmiştir (Gugnani N, Pandit IK, Gupta M, & Josan R., 2012).

Diş hekiminin, reçine infiltrasyon sistemleri ile renk maskeleme ve renklenmenin uzaklaştırılması işleminin, lezyonun yapısı ve derinliği ile ilişkili olarak başarı ya da başarısızlıklarla sonuçlanabileceği bilgisini hasta ile paylaşması, hasta beklentisi açısından büyük önem taşımaktadır.

Vijayapriyanga Senthilkumar ve arkadaşlarının güncel olarak yaptığı bir çalışmaya göre, karbamid peroksitin diş beyazlatma etkisi, aktif kömür ve çilek püresi içeren ajanlarda daha fazladır. Kömür ve çilek püresi gibi doğal ürünlerin de diş beyazlatmayı desteklediği sonucuna varılmıştır. Diş beyazlatmanın etkinliğini zararlı etkiler olmadan daha da arttırabilecek bu doğal ürünlere birkaç elementin dahil edilmesiyle daha ileri çalışmalar yapılmalıdır (Vijayapriyanga Senthilkumar, & Sindhu Ramesh., 2021).

En yeni gelişme olarak Ftalimidoperoksikaproik Asit (PAP), Hidroksiapatit (Nano) ve Potasyum Sitrataktif bileşenleri içeren beyazlatıcı formülasyon tanıtılmıştır. (hismile, UK) PAP formülasyonu, diş ağartmasından tipik olarak beklenen yan etkileri hafifleten bir beyazlatma tedavisi sunar. Aktif bileşen PAP ile bu yöntem dişin mineral veya protein yapısından ödün vermeden hızlandırılmış beyazlatma sonuçları üretmektedir. PAP oral yumuşak dokuları tahriş etmez, bu da yumuşak dokuları korumak için dişeti bariyerine gerek olmadığı anlamına gelmektedir. (<https://birmingham.dentistryshow.co.uk>, 2022).

Beyazlatıcı ajana Nano-hidroksiapatit ve potasyum sitratın dahil edilmesi, beyazlatma işlemi sırasında mine yapısının sağlamlaştırılması ve önceden var olan diş hassasiyetinin azaltılması gibi bazı ek faydalar sağlamaktadır. Tedavi öncesi hassasiyeti olan hastalar beyazlatma tedavisine başlamadan önce tedavi edilmelidir. Desensitize diş macunu (potasyum nitrat içerikli) ve florür jelleri, tedaviden önce veya tedavi sırasında 2-3 hafta kullanılabilir (Ozduman ZC, & Celik C., 2017). Nötr ve renksiz sodyum florür jeli, 10 ila 30 dakika boyunca beyazlatma tedavisinden önce veya sonra bir gece boyunca önerilebilir. Ayrıca, %3 ila %5 potasyum nitrat ve florür içeren jeller kullanılabilir. Aşırı hassasiyet durumunda beyazlatma tedavisinin uygulama sıklığı veya süresi azaltılabilir ve gerekirse tedavi kesilebilir (Majeed A, Farooq I, Grobler SR, & Rossouw RJ., 2015).

8. Sonuçlar

Renklenmenin etyolojisinin tam olarak anlaşılması ve doğru yöntemler kullanılması ile ilgili olarak hekimin bilgi ve deneyimi çok önemlidir. Renklenme tedavilerinin vakaya göre başarı oranının değişebileceği gerçeği her zaman göz önünde bulundurulmalı ve hastaya aktarılmalıdır. Renklenmenin konservatif yöntemlerle çözülemediği durumlarda mutlaka protetik tedaviler düşünülmelidir.

Kaynakça

- Addy M & Moran J. (1995) Mechanisms of stain formation on teeth, in particular associated with metal ions and antiseptics. *Adv Dent Res.*; 9:450-456.
- Alaçam T. (1990) Endodonti, 1. Basım GÜ Basın Yayın Yüksekokulu Basımevi
- Alazmah A. (2021), Primary Teeth Stains and Discoloration. *J Child Sci* 2021;11:e20–e27
- Al-Omiri MK, Abul Hassan RS, AlZarea BK, & Lynch E. (2016) Improved tooth bleaching combining ozone and hydrogen peroxide--A blinded study. *J Dent. Mar*; 46: 30-35.
- Alqahtani M Q. (2014) Tooth bleaching procedures and their controversial effects: a literature review. *The Saudi Dental Journal*; 26:33-46
- Antivet® Diş Lekesi Temizleme Kiti <https://www.dentiss.com/antivet-dis-lekesi-temizleme-kiti-y2804.html>,(2021)
- Ardu S, Benbachir N, Stavridakis M, Dietschi D, & Krejci I, Feilzer A. (2009) A combined chemo-mechanical approach for aesthetic management of superficial enamel defects. *Br Dent J.*; 206:205-208.
- Ardu S, Stavridakis M, & Krejci I. (2007) A minimally invasive treatment of severe dental fluorosis. *Quintessence Int.*; 38:455-458.
- Arens D. (1989) The role of bleaching in esthetics. *Dent Clin North Am* 33,319.
- Arı H, & Üngör M. (2002) In vitro comparison of different types of discoloured teeth. *Int Endod J*;35(5):433-6.
- Atalı P, Tarçın B, Dokumacıgil G, & Korkut B, (2020a) *Diş Beyazlatma Teknikleri*, Erdemir U, Restoratif Diş Tedavisi Akıl Notları,1. Baskı, Güneş Tıp Kitapevleri, ,300-302
- Atalı P, Tarçın B, Dokumacıgil G, & Korkut B, (2020b) *Diş Beyazlatma Teknikleri*, Erdemir U, Restoratif Diş Tedavisi Akıl Notları,1. Baskı, Güneş Tıp Kitapevleri, ,308
- Atreya, S., & Patel, B. (2016). Nonvital Bleaching. *Endodontic Treatment, Retreatment, and Surgery*, 449–463
- Bayırlı G. (1998) Diş Renkleşmeleri ve Beyazlatma. In: *Endodontik Tedavi 1. İstanbul Üniversitesi Basımevi ve film merkezi*. I1998, 585-621.
- Camps J, de Franceschi H, Idir F, & Roland C, (2007) About I. Time-course diffusion of hydrogen peroxide through human dentin: clinical significance for young tooth internal bleaching. *J Endod.*;33:455-459.
- Croll TP (1991). *Enamel microabrasion*. Chicago: Quintessence.
- Çakır Kırılı M., & Genç Şen Ö. (2021), Renklenmiş Kanal Tedavili Dört Farklı Olgunun Beyazlatma Tedavisi ile Estetiklerinin Yeniden Kazandırılması, *Türkiye Klinikleri J Dental Sci.*; 27(3):514-20
- Çalışkan MK. (2006) *Endodontide tanı ve tedaviler*, Nobel Tıp Kitapevleri.
- Çelik Ç., (2017) *Türkiye Klinikleri J Restor Dent-Special Topics*;3(2):104-12
- da Silva Machado Jéfferson ve ark. (2007) The Influence of Time Interval between Bleaching and Enamel Bonding. *J Esthet Restor Dent. Apr*; 19(2): 111-118
- Dayan D, Heifferman A, Gorski M, & Begleiter A. (1983) Tooth discoloration — extrinsic and intrinsic factors. *Quintessence Int*; 2: 195-199.
- de la Pena VA, & Cabrera OB. (2006) Comparison of the clinical efficacy and safety of carbamide peroxide and hydrogen peroxide in at-home bleaching gels. *Quintessence Int*; 37: 551-556.

- de Oliveira LD, Carvalho CA, Hilgert E, Bon-dioli IR, de Araujo MA, & Valera MC. (2003) Sealing evaluation of the cervical base in intracoronal bleaching. *Dent Traumatol*; 19(6): 309-313.
- de Paula EA, Nava JA, Rosso C, Benazzi CM, Fernandes KT, Kossatz S, & et al. (2015) In-office bleaching with a two- and seven-day intervals between clinical sessions: A randomized clinical trial on tooth sensitivity. *J Dent*. 2015 Apr; 43(4): 424-429.
- Doruk C, Ozturk F, Sari F, & Turgut M. (2011) Restoring in epidemiologic studies: a summary of the function and aesthetics in a class ii division 1 European meeting on MIH held in Athens, Eur J patient with amelogenesis imperfecta: a clinical Paediat Dent 2003; 4: 110-3.report. *Eur J Dent*; 5: 220
- Evaluation of Tooth-color Change Using Four Paint-on Tooth Whiteners. *Oper Dent* 2007;32(4):394-8
- Faraoni-Romano JJ, Turssi CP, & Serra MC. (2007) Concentration-dependent effect of bleaching agents on microhardness and roughness of enamel and dentin. *Am J Dent*; 20: 31-34.
- Fayle S A, & Pollard M A. (1994) Congenital erythropoietic porphyria-oral manifestations and dental treatment in childhood: a case report. *Quintessence Int*; 25: 551-554
- Fearne J M, Bryan E M, Elliman A M, Brook A H, & Williams D M. (1990) Enamel defects in the primary dentition of children born weighing less than 2000g. *Br Dent J* 1990; 168: 433-437
- Feinman AR, ETAL. (1987) Bleaching teeth. Quintessence Pub. Chicago.
- Freire A ve ark. (2009) Reaction kinetics of sodium ascorbate and dental bleaching gel. *J Dent.*; 37(12): 932-936.
- García-Godoy F, Dodge WW, & Donohue M, (1993) O'Quinn JA. Composite resin bond strength after enamel bleaching. *Oper Dent.*; 18(4): 144-147.
- Gerlach RW, & Barker ML. (2004) Professional vital bleaching using a thin and concentrated peroxide gel on whitening strips: an integrated clinical summary. *J Contemp Dent Pract*; 5(1):1-14
- Gerlach RW, & Zhou X. (2001) Vital bleaching with whitening strips: summary of clinical research on effectiveness and tolerability. *J Contemp Dent Pract.*;2(3):1-16.
- Gimeno I, Riutord P, Tauler P, Tur JA, & Pons A. (2008) The whitening effect of enzymatic bleaching on tetracycline. *J Dent.*;36:795-800.
- Gimlin DR, & Schindler WG. (1990) The management of postbleaching cervical resorption. *J Endod* 1990; 16(6): 292-297.
- Goldstein RE, & Garber DA. (1995). Complete dental bleaching. Quintessence Chicago.
- Greenwall, L. (2001) Bleaching techniques in restorative dentistry-an illustrated guide. London: Martin Dunitz
- Evaluation of Tooth-color Change Using Four Paint-on Ltd.. p. 1-263
- Gugnani N, Pandit IK, Gupta M, & Josan R. (2012). Caries infiltration of noncavitated white spot lesions: A novel approach for immediate esthetic improvement. *Contemp Clin Dent*, 3(2): 199-202
- Hansen JR, Frick KJ, Walker MP, Demarco FF, Turbino ML, Jorge AG, et al. (2014) Effect of 35% sodium ascorbate treatment on microtensile bond strength after nonvital bleaching. *J Endod*. Oct; 40(10): 1668-1670
- Hayes PA, Full C, & Pinkham J. (1986) The etiology and treatment of intrinsic discolorations. *J Can Dent Assoc*; 52(3):217 -20.
- Haywood VB, Leonard RH, & Dickinson GL. (1997) Efficacy of six months of nightguard vital bleaching of tetracycline-stained teeth. *J Esthet Dent*; 9: 13-29.
- Haywood VB. (1992) History, safety, and effectiveness of current bleaching techniques and applications of the nightguard vital bleaching technique. *Quintessence Int*. ;23:471-488.
- Heithersay GS. (2004) Invasive cervical resorption. *Endod Topics.*;7:73-92
- Heymann HO. (2002) Additional conservative esthetic procedures. In: Robenson TM, Heymann HO, Swift EJ (Eds.). *Sturdevant's Art and Science of Operative Dentistry*, 4th ed. Missouri, Mosby Inc.: p. 591-560
- Hiethersay GS, Dahlstrom SW, & Marin PD (1994). Incidence of invasive cervical resorption in bleached root filled teeth. *Aust Dent J.*;39:82-7
- Hilton S. (1967) The mechanism of tetracycline staining in primary and permanent teeth. *J Dent Child*; 34: 478. <https://birmingham.dentistryshow.co.uk>
- Jenan Ehsan Alali et al, (2020) Teeth discoloration removal and management. *International Journal of Medicine in Developing Countries*;4(7):1070-1074
- Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. (2004) *Journal of dentistry.*;32:3- 12.
- Kaur R, Karadwal A, Sharma D, & Sandhu M, (2021) Dentinogenesis imperfecta type II: Diagnosis, functional and esthetic rehabilitation in mixed dentition, *J Oral Maxillofac Pathol.* ; 25(Suppl 1): 76-80.
- Kielbassa AM, & Wrbas KT. (2000) Extrinsische und intrinsische Zahnverfärbungen Teil 1: Ursachen. *Zahnaerztl Welt* 109,177.
- Koruk A, Ceyhan D, & Kırzioğlu Z. (2010) Çocuklar ve Gençlerde Diş Beyazlatma İşlemlerine Yaklaşım- Derleme. *Atatürk Üniv Diş Hek Fak Derg.*;3
- Koyutürk A, Kahvecioğlu F, Şener Y, & Gökalp A. (2006) Geçici overdenture protezler ile rehabilite edilen amelogenesis imperfekta: Olgu sunumu. *CÜ Diş Hek Fak Derg* 2006; 9: 41-5.
- Köroğlu A, Ekren O, & Kurtoğlu C. (2012) Farklı tip amelogenesis imperfektalı hastaların protetik rehabilitasyonu: iki olgu sunumu. *Atatürk Üni Diş Hek Fak Derg*; 5 :34-9
- Lai SCN ve ark. (2002) Reversal of compromised bonding in bleached enamel. *J Dent Res*. Jul; 81(7): 477-481. 63.
- Lee E, Wadhwa P, Kim M, Jiang H, Um I, & Kim Y, (2021) Organic Matrix of Enamel and Dentin and Developmental Defects, Bona A and Karaaslan H, Structure and Composition of Dental Hard Tissues and Developmental Dental Defects, IntechOpen Book Series, United Kingdom.
- Lee HW ve ark. (2009) Tooth Bleaching with Nonthermal Atmospheric Pressure Plasma. *J Endod*. Apr; 35(4): 587-591
- Liu H, & Tu J, (2021), Reduction of extrinsic tooth stain by a toothpaste containing 10% high cleaning silica, 0.5% sodium phytate and 0.5% sodium pyrophosphate: an 8-week randomised clinical trial, *BMC Oral Health.*;113: 731
- Majeed A, Farooq I, Grobler SR, & Rossouw RJ. (2015) Tooth bleaching: a review of the efficacy and adverse effects of various tooth whitening products. *Journal of the College of Physicians and Surgeons Pakistan*, Vol. 25(12):891-896.
- Manuel ST, Abhishek P, & Kundabala M (2010) Etiology of tooth discoloration *Nig Dent J* Vol 18 No. 2 July -Dec;56-63
- Mc Ewoy, (1989) SA. Chemical agents for removing intrinsic stains from vital teeth. II. Current techniques and clinical application. *Quint Int*; 20(6):379-384.

- Miller EK, Lee JY, Tawil PZ, Teixeira FB, & Vann WF. (2012) Emerging therapies for the management of traumatized immature permanent incisors. *Pediatr Dent.*;34:66-69.
- Mirbod SM, & Ahing SI. (2000) Tobacco-associated lesions of the oral cavity: Part I. Nonmalignant lesions. *J Can Dent Assoc*; 66:252-256
- Moreno E. (1993) Role of Ca-PF in caries prevention: chemical aspects. *Int Dent J.* ;43:71-80.
- Murchison D, Charlton D, & Moore B. (1992) Carbamide peroxide bleaching: effects on enamel surface hardness and bonding. *Oper Dent.* ;17:181-185.
- Mwafi N., Alasmar A, Al-Momani et.al. (2021), Alkaptonuria with extensive ochronotic degeneration of the Achilles tendon and its surgical treatment, *Asian Biomed (Res Rev News)*; 15(3):129–136
- Newbrun E. (1992) Current regulations and recommendations concerning water fluoridation, fluoride supplements, and topical fluoride agents. *J Dent Res.*;71:1255-1265.
- Nikiforuk G, & Fraser D. (1981) The etiology of enamel hypoplasia: a unifying concept. *J Pediatr*; 98: 888-893.
- Optic White Advanced Tooth Whitening <https://www.colgate.com/en-us/whitening-hub/products/colgate-optic-white-advanced-led-whitening.2021>
- Ozduman ZC, & Celik C. (2017) Tooth discolorations and bleaching treatments. *Yeditepe Dental Journal*;13(1):37-44.
- Özduman Z., Çelik Ç., (2017) Diş renklemeleri ve beyazlatma tedavileri *Journal* 13:37-1
- Peng C. Ve ark, (2019) Exchanged teeth whitening by nanofluicid transport of hydrogen peroxide into enamel with electrokinetic flows, *ScienceDirect, Dental Materials*, Nov; 1637-1643 (1)
- Perdigao J, Baratieri LN, & Arcari GM. (2004); Contemporary trends and techniques in tooth whitening: a review. *Pract Proced Aesthet Dent*; 16: 185- 192.
- Pindborg JJ. (1970) Chronic mechanical injuries. *Pathology of the dental hard tissues.*:p.294-311.
- Plotino G, Buono L, Grande N, Pameijer C, & Francesco S. (2008) Non vital tooth bleaching: a review of the literature and clinical procedures. *J Endod.*;34: 394-407
- R.B Price, M Sedarous, & G.S Hiltz, (2000) The Ph of Tooth-Whitening Products, *Journal of Canadian Dental Association* 66(8)421-426
- Roberson MT, Heymann O, & Edward J (Eds.). (2011) *Sturdevantis art and science of operative dentistry*. 5. baskı. Ankara: Güneş Kitap Evi;: p.196-211.
- Rotstein I, Friedman S, Mor C, Katznelson J, Sommer M, & Bab I. (1991) Histological characterization of bleaching-induced external root re-sorption in dogs. *J Endod*; 17(9): 436-441.
- Rotstein I. (1993) Role of catalase in the elimination of residual hydrogen peroxide following tooth bleaching. *J Endod*;19(11):567-9
- RW. (2007) Randomized controlled trial of professional at-home tooth whitening in teenagers. *Gen Dent* ;55(7):669-74
- Sánchez AR, & Rogers RS (2004) 3rd, Sheridan PJ. Tetracycline and other tetracycline-derivative staining of the teeth and oral cavity. *Int J Dermatol*; 43: 709-715
- Sapir S, & Shapira J. (2007) Clinical solutions for developmental defects of enamel and dentin in children. *Pediatric Dent*;29: 330-6
- Sari T, & Usumez A. (2003) Restoring function and esthetics in a patient with amelogenesis imperfecta: a clinical report. *J Prosthet Dent*;90:522-5.
- Sclare R. (1948) Hereditary opalescent dentine. *Br Dent J.* 1;84:164-166
- Sulieman M. (2006) An overview of bleaching techniques: 2. Night guard vital bleaching and non-vital bleaching. *SADJ.* ;61:352, 354, 356 passim.
- Sulieman M. (2005); An overview of tooth discoloration: extrinsic, intrinsic and internalized stains. *Dent Update.*;32:463-471
- Şeker o, & Sarı H, (2019) COLOUR AND BLEACHING IN AESTHETIC DENTISTRY, DENTAL AND MEDICAL JOURNAL – REVIEW, Teeth whitening gum <https://www.supersmile.com/products/freshen-breath-teeth-whitening-gum-stain-removal-on-the-go>, 2021
- Tengün A, & Özer F. (2002) Restoring function and esthetics in a patient with amelogenesis imperfecta: A case report. *Quintessence Int*;33:199–204.
- Tessier J, Rodriguez PN, Lifshitz F, Friedman SM, & La-nata EJ. (2010) The use of ozone to lighten teeth. An experimental study. *Acta Odontol Latinoam.*; 23(2): 84-89.
- Toko T, & Hisamitsu H. (1993) Shear bond strength of composite resin to unbleached and bleached human dentine. *Asian J aesthetic Dent. Jan*; 1(1): 33-36
- Türkiye Klinikleri J Restor Dent-Special Topics 2017;3(2):104-12
- Türker S, & Bisikin T. (2002) The effect of bleaching agents on the microhardness of dental aesthetic restorative materials. *J Oral Rehabil.*;29:657-661.
- Vijayapriyanga Senthilkumar, & Sindhu Ramesh. (2021) Comparative Evaluation Of Natural Tooth Whitening Agents - An Invitro Study. *Int J Dentistry Oral Sci.*;08(02):1749-1752.
- Vohra FA, & Kasah K. (2014) Influence of bleaching and antioxidant agent on microtensile bond strength of resin based composite to enamel. *Saudi J Dent Res.*; 5(1): 29-33. 65
- Waerhag M, Gjerme P, Rolla G, & Johansen J R. (1984) Comparison of the effect of gingivitis. *J Clin Periodontal*, 11:176-180
- Wallman I, & Hilton H. (1962) : Teeth pigmented by tetracycline. *Lancet.* 827-829.
- Watanabe K, Shibata T, Kurosawa T, Morisaki I, Kinehara M, Igarashi S, & Arisue M. (1999) Bilirubin pigmentation of human teeth caused by hyperbilirubinemia. *J Oral Pathol Med.*;28:128-130
- Watts A, & Addy M. (2001) Tooth discoloration and staining: Tooth discoloration and staining: a review of the literature. *Br Dent J.*;190:309.
- Weatherall J A, Robinson C, & Hallsworth A S. (1972) Changes in the fluoride concentration of the labial surface enamel with age. *Caries Res*; 6: 312-324
- Weisrock G, Terrer E, Couderc G, Koubi S, Levallois B, Manton D, & Tassery H. (2011). Naturally aesthetic restorations and minimally invasive dentistry. *J Minim Interv Dent*, 4(2): 23-34
- Weyman J. (1962) Discoloration of teeth possibly due to administration of tetracyclines; a preliminary report. *Brit Dent J.*;113:51-54.
- Williams WP, & Becker LH. (2000) Amelogenesis imperfecta: functional and esthetic restoration of a severely compromised dentition. *Quintessence Int*; 31: 397-403.
- Wright JT, Waite P, Mueninghoff L, & Sarver DM. (1991) The multidisciplinary approach managing enamel defects. *JADA*;122:62-5.

Yılmaz N., & Çiçek E., (2015) İnternal rezorbsiyonlu iki pembe dişin endodontik tedavisi, *Turkiye Klinikleri J Dental Sci Cases* 2;1(4):232-6

Zimmerli B, Jeger F, & Lussi A. (2010) Bleaching of nonvital teeth. A clinically relevant literature review *Schweiz Monatsschr Zahnmed*; 120(4): 306-320.

Zimmerli B, Jeger F, & Lussi A. (2010) Bleaching of nonvital teeth. *Schweiz Monatsschr Zahnmed.*;120:306-313.



Otsu ve Rocchio Metotlarıyla Beyin Tümörü Tespiti

Rıfat Aşlıyan^{1*}

^{1*} Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, Aydın, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1495-713X), rasliyan@adu.edu.tr

(4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, November 10 - 13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1200979)

ATIF/REFERENCE: Aşlıyan, R. (2022). Otsu ve Rocchio Metotlarıyla Beyin Tümörü Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (43), 69-74.

Öz

Beynimiz, kafatası içinde bulunan ve merkezi sinir sisteminin en karmaşık organıdır. En karmaşık organımız olan beynimiz vücudumuzun tüm fonksiyonlarını kontrol eder. Beyin tümörleri, beyindeki hücrelerin kontrolsüz bir şekilde büyümesiyle ortaya çıkar. Beyin tümörlerini erken teşhis etmek genellikle daha fazla tedavi imkanı sağlar. Beyin tümörlerinin teşhisinde en çok manyetik rezonans görüntüleme kullanılır. Bu çalışmada, Otsu ve Rocchio metotları kullanılarak bölütleme sistemleri geliştirildi. Beyin MR görüntüsünü girdi olarak alan, kafatası ayırma, ön-işleme, segmentasyon ve art-işleme işlemlerini gerçekleştiren sistemler tasarlandı ve uygulandı. Ön-işlemeden önce, kafatası bölgesi beyin MR görüntü veri setindeki görüntülerden çıkarılır. Ön-işlemede çeşitli filtreleme ve morfolojik tekniklerle beyin görüntülerinin kalitesi artırılır ve görüntülerin gürültüsü ortadan kaldırılır. Bölütlemeye ise Otsu metodu ile eşik değerlerinin belirlenmesi ile beyindeki tümörlü bölge tespit edilir. Art-işlemede, beyin tümörü veri setinin eğitim veri seti kullanılarak Rocchio sınıflandırıcı metodu eğitilir ve belirlenen tümörlü bölgelerin en uygun olanı bulunur. Böylece en doğru tümörlü bölge tespit edilerek optimize edilmiş olur. Test safhasında, sistemlerin başarılarını değerlendirmek amacıyla doğruluk, kesinlik ve seçicilik metrikleriyle sistemlerin başarıları karşılaştırılmıştır. Art-işleme sonucunda başarının önemli ölçüde arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Beyin Tümörü Bölütleme, Tıbbi Görüntüleme, Beyin MR Görüntüsü, Otsu Metodu, Rocchio Metodu.

Brain Tumour Detection with Otsu and Rocchio Methods

Abstract

Our brain is the most complicated organ of the central nervous system, located inside the skull. Our most complex organ, our brain, controls all the functions of our body. Brain tumours occur when cells in the brain grow uncontrollably. Detecting brain tumours early usually provides more treatment opportunities. Magnetic resonance imaging is mostly used in the diagnosis of brain tumours. In this study, segmentation systems were developed using Otsu and Rocchio methods. Systems that take brain MR images as input and perform skull separation, pre-processing, segmentation and post-processing have been designed and implemented. Before pre-processing, the skull region is extracted from the images in the brain MR image dataset. In pre-processing, the quality of brain images is improved and the noise of the images is eliminated by various filtering and morphological techniques. In segmentation, the tumour region in the brain is determined by detecting the threshold values with the Otsu method. In post-processing, the Rocchio classifier method is trained using the training dataset of the brain tumour dataset and the most suitable one of the determined tumour regions is found. Thus, the most accurate tumour region is detected and optimized. In the test phase, the success of the systems was compared with the accuracy, precision and selectivity metrics to evaluate the success of the systems. As a result of post-processing, it was observed that success of the system is increased significantly.

Keywords: Brain Tumor Segmentation, Medical Imaging, Brain MRI Image, Otsu Method, Rocchio Method.

* Sorumlu Yazar: rasliyan@adu.edu.tr

1. Giriş

Beyin tümörleri, beyin hücrelerinin büyümesi, vücut tarafından kontrol edilemeyen, aşırı büyüyen hücrelerden oluşur. Beyin tümörlerindeki hücre artışı kontrol dışıdır. Genel olarak, tümörler iyi huylu veya kötü huylu tümörler şeklinde sınıflandırılır. Beyin hücreleri kafatası içinde bulunur. Kafatası ise, hareketli eklemleri olmayan bir kemik yapısıdır. Bu sebeple, kafatası genişleyemez ve beyin tümörü, beyin içinde oluşuktan sonra genişleyerek beyin hücrelerine baskı yapar.

Beyin tümörleri ilk olarak beyin içinde oluşmuşsa bu tip beyin tümörlerine birincil beyin tümörleri adı verilir. Fakat, kanser hücreleri vücudun diğer bölgelerinde meydana gelip beyne de yayılmışsa bu tip tümörler, ikincil veya metastatik tümör olarak isimlendirilir. Beyin tümörleri beyinde farklı hızlarda yayılabilir. Büyüme hızı, beyin tümörünün konumuna bağlıdır. Tümörün yeri de insan sinir sistemine zarar vermesi bakımından çok önemlidir. Aynı zamanda, tümörün tedavisi, tümörün büyüklüğüne, bulunduğu yere ve tipine bağlıdır. Beyin tümörlerinin teşhisi, hastanın rahatsızlıkları ve şikayetleri ile başlar. Devamında doktorlar hastaların reflekslerinin, güçlerinin, duyularının, dengelerinin ve sinirlerinin ne kadar iyi olduğunu araştırırlar. Doktorlar, tümör olduğundan şüphelenirlerse beyin tümörlerini tespit etmek için MR çekirmek gibi farklı tetkikler yaparlar.

Bir beyin tümörünün kesin teşhisi genellikle manyetik rezonans görüntüleme ile başlar. Beyindeki tümör belirlendikten sonra yaygın olarak yapılan işlem, biyopsi veya ameliyatla beyin tümörünün tipine karar vermektir. Yani, beyin tümörünün bir parçası alınıp ve uzmanlar tarafından incelenerek ne tip tümör olduğu belirlenir.

Beyin tümörleri farklı görüntüleme yöntemleri ile görüntülenmektedir. Başlıca görüntüleme yöntemleri CBT (Bilgisayarlı Beyin Tomografisi), MRI (Manyetik Rezonans Görüntüleme), PET Taraması (Pozitron Emisyon Tomografisi) ve SPECT'tir (Tek Foton Emisyon Bilgisayarlı Tomografi).

Medikal görüntü işlemede, beyin tümörünün bölütlenmesi, yani beyin MR görüntüsündeki tümörlerin bölütlere ayrılması, yerlerinin belirlenmesi hem doktorlara hem de hastalara çok büyük fayda sağlayacaktır. Çok daha kısa zamanda ve doğru tanının konulmasına sebep olacaktır.

Beyin tümörü tespitinde ve bölütlenmesinde farklı sınıflandırma ve bölütleme metotları kullanan çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların bazılarında Otsu metodu (AlAzawee, 1995; Karaddi, v.d., 2018; Aşlıyan ve Atbakan, 2020), K-ortalamlar (Batista ve Kitney, 1995; Wu, M, v.d., 2007; Juang ve Wu, 2010), destek vektör makineleri (Zhang v.d., 2004; Ayachi ve Amor, 2009), kendi kendini düzenleyen haritalar (SOM) (Dharshini ve Hemanandhini, 2016; Saraswathi v.d., 2019), yapay sinir ağı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) (Sharma ve Mukharjee, 2013; Kathirvel ve Batri, 2017), evrişimli sinir ağı (Pereira v.d., 2016), bulanık C-ortalamlar (Prakash ve Kumari, 2016), ve genetik algoritmalar (Ali v.d., 2013) kullanılmıştır.

Beyin tümörü bölütlemenin genel yapısında, beyin tümörü MR görüntüleri, bölütleme sistemine girdi olarak alınmaktadır. İlk olarak, kafatası ayırma safhasında kafatası tespit edilerek görüntüdeki kafatası çıkarılır. Daha sonra ön-işleme safhasında, beyin görüntüde kalan kısmına Gaussian ve Wiener filtreleri gibi bazı gürültü azaltma filtreleme yöntemleri uygulanmaktadır. Devamında, Otsu yöntemi ile bölütleme işlemi yapılır. En son

olarak art-işleme safhasında bölütlenerek elde edilen beyin tümörü görüntüsü iyileştirilerek bölütleme başarısı artırılmıştır. Art-işleme safhasında Rocchio metodu kullanıldı. Bu metot ile eğitim veri setindeki tümürlü bölgelerin özelliklerine göre Rocchio metodu ile eğitilir ve bir model oluşturulur. Test veri setindeki görüntülerle sistemin başarısı test edilir. Art-işleme işlemi sistemin başarısını artırdığı görülmüştür.

Bu çalışmada üç farklı sistem geliştirildi. İlk Kafatası ayırmadan yapılan bölütleme işlemidir. İkincisi, kafatasının ayırdıktan sonra yapılan bölütleme işlemi ve üçüncüsü ise hem kafatası ayrılmış ve sonrasında art-işleme uygulanmış sistemdir. Bu geliştirilen sistemlerin en başarılısı kafatası ayrılmış ve art-işleme uygulanmış sistemdir. Bu sistemlerin uygulanmasıyla başarı oranları olarak %96 doğruluk, %95 kesinlik ve %95 seçicilik sonuçları elde edilmiştir. Diğer segmentasyon yöntemlerinden daha başarılı olduğu görülmüştür.

Bu çalışmanın diğer bölümleri aşağıdaki gibi planlanmıştır. İkinci bölümde, Otsu yöntemi ve Rocchio metotlarının nasıl çalıştığı açıklanmıştır. Üçüncü bölümde, veri seti ve sistemin başarısını ölçen metrikler hakkında bilgiler verilmiştir. Aynı zamanda sistemin test sonuçları sunulmuş ve yöntemlerin başarısı değerlendirilmiştir. Çalışmanın ana noktaları sonuç bölümünde özetlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada beyin MR görüntülerinin bölütlenmesi için Otsu yöntemi kullanıldı. Bölütleme işleminden sonra daha başarılı bölütlemeye ulaşmak için Rocchio sınıflandırıcı metodu ile art işleme yapılmıştır. Bu bölümde, Rocchio ve Otsu yöntemleri açıklanmıştır.

2.1. Rocchio Sınıflandırma Metodu

Rocchio (Hastie v.d., 2001; Park v.d., 2003) ya da diğer adıyla en yakın merkez sınıflandırma metodu basit ve hızlı bir sınıflandırma yöntemidir. Bu metot, yeni bir örneğin hangi sınıfa ait olduğunu bulmak için sınıfların merkezlerini sınıf olarak kabul ederek merkezlere olan uzaklıkları hesaplar ve verilen bir örnek vektörünü, en yakın uzaklığa sahip olan sınıf olarak sınıflandırır.

Denklem 1'de \mathbf{o}_{S_j} , S_j sınıfının aritmetik ortalamasını ifade eden merkez vektördür. $|S_j|$, bu sınıfın örnek sayısıdır. \mathbf{x}_i 'ler ise eğitim veri setindeki S_j sınıfının örnekleridir. Bu örnekler ne kadar niteliğe sahipse o kadar elemana sahip vektörlerdir.

$$\mathbf{o}_{S_j} = \left(\sum_{\mathbf{x}_i \in S_j} \mathbf{x}_i \right) / |S_j| \quad (1)$$

Denklem 1'deki gibi diğer sınıfları da temsil edecek diğer prototip vektörler de elde edilir. Sınıflandırma gerçekleştirirken hangi sınıfta ait olduğu bilinmeyen bir örnek \mathbf{x} vektörünün sınıfını belirlemek için Denklem 2 kullanılır.

$$S(x) = \underset{S_j}{\operatorname{argmin}} d(\mathbf{x}, \mathbf{o}_{S_j}) \quad (2)$$

$d(\mathbf{x}, \mathbf{o}_{S_j})$, \mathbf{x} ve \mathbf{o}_{S_j} vektörleri arasındaki uzaklığı temsil etmektedir.

Rocchio sınıflandırıcı, bu çalışmada art-işleme aşamasında kullanılmıştır. Eğitim veri setindeki örnekler üç öznitelikten yani tümör bölgesinin alanı, çembersellik ve eksantrik durumunu belirten değerlerden oluşan vektörler ile temsil edilir. Bu örneklerin merkez vektörleri hesaplanır.

K-en yakın komşudan farklı olarak sınıfı belli olmayan bir örneği sınıflandırmak için sadece her sınıfın merkez vektörleriyle uzaklıklarını hesaplamak ve en yakın yani en çok benzeyen sınıfı bulmak yeterlidir. Fakat, K-en yakın komşu metodunda sınıfın her örneğiyle uzaklıkların hesaplanması ve en küçük uzaklığın bulunması gerekir. Bu da çalışma zamanı karmaşıklığını artıracaktır. Rocchio metodunda çalışma zamanı karmaşıklığı doğrusaldır yani $O(n)$ 'dir.

Uzaklıkların hesaplanmasında farklı uzaklık ölçüleri kullanılabilir. Bu çalışmada Öklid uzaklık ölçüsü tercih edilmiştir. Denklem 3'te \mathbf{x} ve \mathbf{y} örnek vektörlerinin Öklid uzaklığına göre nasıl hesaplandığını göstermektedir. Burda özniteliklerin sayısı k ile belirtilmektedir.

$$d(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2} \quad (3)$$

2.2. Otsu Metodu

Otsu metodu (AlAzawee, 1995; Karaddi, v.d., 2018; Aşlıyan ve Atbakan, 2020), bilgisayarla görü, görüntü analizi ve işlemede sıklıkla kullanılan adaptif bir eşikleme yöntemidir. Genellikle, girdi olarak alınan gri-tonlamalı görüntüler, eşik değerler belirlenerek bölütleme yapılır ya da siyah-beyaz görüntüye dönüştürülür. Yani, Otsu metodu, buradaki uygun eşik değerlerinin elde edilmesinde kullanılır. Bu eşik değerleri farklı sınıflardaki görüntü piksellerin ayırt edilmesinde belirleyici olmaktadır. Uygun eşik değerleri, sınıf içi piksel değerlerin varyansını en aza indirerek ve sınıflar arası piksel değerlerinin en çok artırarak belirlenmektedir.

Sınıf içi varyansı en aza indirmek için, iki sınıf için ağırlıklı bir varyans toplamı tanımlanır.

Sınıflar arası varyans, Denklem 4'te gösterildiği gibi hesaplanır ve optimal eşik değerini bulmak için maksimize edilir.

$$\sigma^2(t) = w_b(t)w_f(t)[\mu_b(t) - \mu_f(t)]^2 \quad (4)$$

Denklem 5 ve 6'da nasıl hesaplandığı gösterilen w_b ve w_f ağırlıkları, t eşik değeri ile ikiye bölünen görüntünün sırasıyla ön ve arka plan kısımlarının olasılıklarını ifade etmektedir.

Bu olasılık değerleri, görüntünün histogramı bulunduğundan sonra hesaplanır. Görüntü histogramı, görüntüdeki bütün piksel değerlerinin toplam sayılarını yani piksel yoğunluğunu gösteren grafik olarak ifade edilebilir. Denklem 7 ve 8'de gösterildiği gibi $\mu_b(t)$ ve $\mu_f(t)$, görüntülerin sırasıyla ön ve arka plan kısımlarının ortalamalarını temsil etmektedir.

$$w_b(t) = \sum_{i=0}^{t-1} p(i) \quad (5)$$

$$w_f(t) = \sum_{i=t}^{B-1} p(i) \quad (6)$$

$$\mu_b(t) = \frac{\sum_{i=0}^{t-1} i p(i)}{w_b(t)} \quad (7)$$

$$\mu_f(t) = \frac{\sum_{i=t}^{B-1} i p(i)}{w_f(t)} \quad (8)$$

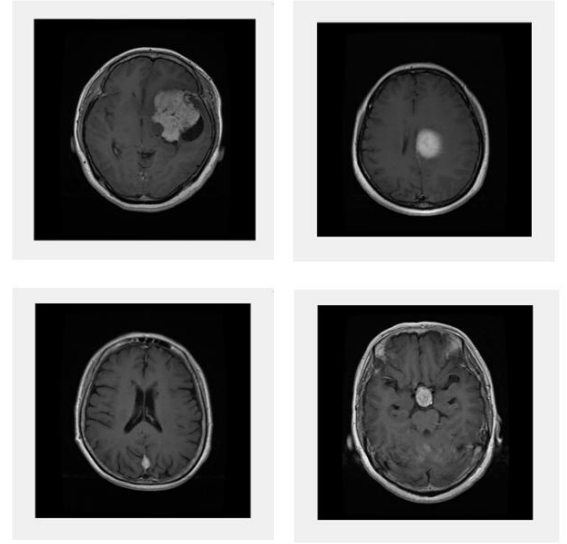
Otsu Algoritması:

1. Gri-tonlamalı görüntü alınır.
2. Gri-tonlamalı görüntünün histogramı hesaplanır.

3. Görüntünün piksel yoğunluk olasılıkları bulunur.
4. $w_b(0)$, $w_f(0)$, $\mu_b(0)$ ve $\mu_f(0)$ için başlangıç değerleri atanır.
5. Bütün eşik değerleri $t=0$ 'dan en yüksek piksel yoğunluk değerine kadar aşağıdaki adımlar uygulanır.
6. $w_b(t)$, $w_f(t)$, $\mu_b(t)$ ve $\mu_f(t)$ değerleri güncellenir.
7. $\sigma^2(t)$ hesaplanır.
8. $\sigma^2(t)$ 'nin maksimum olduğu t eşik değeri belirlenir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmadaki beyin tümörü veri seti, bütünü tümör alanını içeren ve gri-tonlamalı (256x256) piksel içeren 107 görüntüden oluşmaktadır. Veri setinin %70'i eğitim veri seti olarak, geri kalan kısmı test veri seti olarak bölünmüştür. Veri seti (Brain Tumor Dataset, 2019) menenjiyom (meningioma), gliyom (glioma) ve hipofiz (pituitary) tümör olmak üzere üç çeşit beyin tümörü olan hastalardan alınan T1-ağırlıklı, kontrastlı görüntüleri içerir. Şekil 1'de veri setindeki dört beyin MR görüntüsü verilmiştir.



Şekil 1. Veri setindeki dört beyin tümörü görüntüsü

Beyin tümörü bölütleme sistemlerinin başarı oranları doğruluk, kesinlik ve seçicilik gibi metriklerle değerlendirilmiştir. Bu metrikler, Denklem 9, 10 ve 11'de gösterildiği gibi DP, DN, YP ve YN kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP + DN}{DP + YP + DN + YN} \quad (9)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP + YP} \quad (10)$$

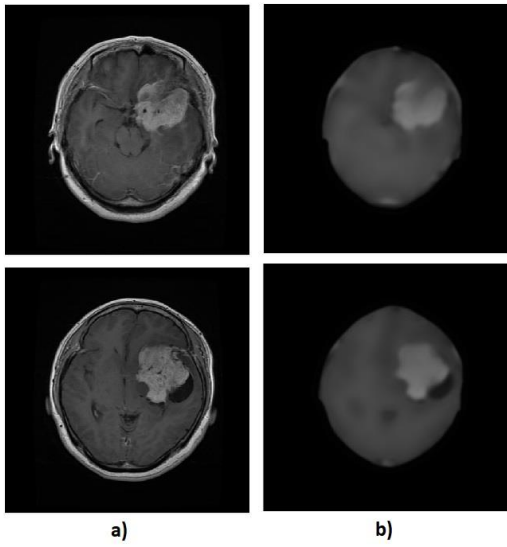
$$\text{Seçicilik} = \frac{DN}{DN + YP} \quad (11)$$

Denklem 9, 10 ve 11'de belirtilen DP (Doğru Pozitif), sistemin beyin görüntüsünün tümör alanını doğru olarak tanıdığı piksel sayısıdır. Ancak, DN (Doğru Negatif), sistemin tümör olmayan alanı doğru olarak tanıdığı piksel sayısını ifade eder. Aynı şekilde YP (Yanlış Pozitif), tümör olmayan alanı yanlış sınıflandıran piksel sayısıdır. Fakat, YN (Yanlış Negatif), tümör bölgesini yanlış sınıflandıran piksel sayısıdır.

Beyin tümörü bölütleme sistemlerinin kodları, Intel Core i7-4700HQ 2.40 GHz işlemci, 16 GB Ana bellek, 256 GB SSD, 2 TB Harddisk ve Windows 10 işletim sistemi özelliklerine sahip bilgisayarda, MATLAB ile yazılmıştır.

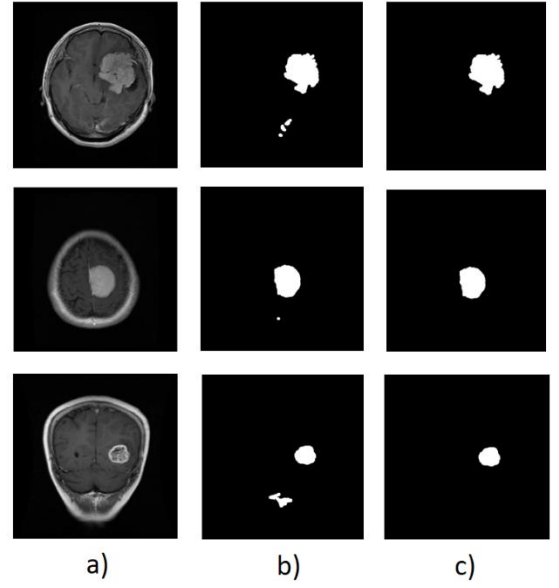
Şekil 2'nin ilk sütununda, beyin MR tümörü görüntüleri, veri setinden elde edilen gerçek görüntülerdir. İkinci sütunda beyin kafatası kısmının ayrıldığı görüntüler gösterilmektedir. Aynı zamanda, bu gri tonlamalı görüntüler, Gaussian ve Wiener gürültü azaltma filtresi ile filtrelenir. MR görüntüleri, bu filtrelerin konvolüsyonu ile yumuşatılır. Üçüncü sütundaki siyah-beyaz görüntülerin beyaz bölgeleri, MR görüntülerinin beyin tümörü bölgeleri olarak tespit edilir.

Şekil 3'te ilk sütunda beyin MR görüntülerin orijinal görüntüleri gösterilmektedir. İkinci sütunda ise kafatası ayrıldıktan sonra bölütleme yapılmış olduğundaki görüntülerdir. Üçüncü sütunda ise art-işleme aşamasında Rocchio sınıflandırıcı ile eğitilmiş modeller kullanılarak elde edilen görüntülerdir. Görüleceği üzere gürültü olarak ifade edebileceğimiz kısımlar ortadan kaldırılmış ve başarı artırılmıştır.



Şekil 2. Beyin MR görüntüleri a) Beyin MR görüntüleri b) Kafatası ayrılmış beyin MR görüntüleri

Şekil 4'te görüleceği gibi ilk olarak eğitim veri setindeki beyin tümörünün özelliklerini belirlemek için beyin tümörü bölgesini içeren görüntüler Rocchio sınıflandırıcı ile öznitelikleri kullanılarak bir model oluşturulur. Burada kullanılan öznitelikler tümör piksel alanı, tümör çembersellik ve eksantrik değerleridir. Sonrasında test veri setindeki görüntülerden kafatası kısmı ayrılmış ve ön-işlemede görüntü kontrast ayarlama, Wiener ve Gaussian gürültü azaltma filtreleri uygulanmıştır. Devamında Otsu metodu ile eşik değerleri belirlenerek bölütleme yapılmıştır. Asıl bu çalışmada yapılan en önemli çalışma art-işlemedir. Art-işlemeyle hatalı bölütleme kısımları ortadan kaldırılmıştır. Her bir bölütlenmiş kısım eğitilmiş model yardımıyla ne ölçüde tümör bölgesi olduğu belirlenir. Eğitilmiş modelle, en çok tümör bölgesine benzeyen kısım tümörlü bölge olarak tespit edilir. Böylece başarı artırılmış olur.



Şekil 3. Otsu bölütleme metodu ile elde edilen beyin MR görüntüleri a) Beyin MR görüntüleri b) Bölütlenmiş beyin MR görüntüleri c) Art-işleme uygulanmış görüntüler



Şekil 4. Beyin tümörü tespitinin genel yapısı

Tablo 1, beyin tümörü bölütlemeye kafatası ayırma işlemi yapılmadan Otsu bölütlemeyle gerçekleştirilen sistemin başarı oranları gösterilmektedir. Bu başarı oranları oldukça düşüktür. Fakat, Tablo 2'de görüldüğü gibi kafatası ayrıldıktan sonra Otsu metoduyla yapılan bölütleme işleminde başarı oranları yaklaşık %10 civarında artmıştır. Bununla birlikte bu sisteme art-işleme

safhasını dahil ettiğimizde başarı daha da artmıştır. Tablo 3, kafatası ayrılmış ve hem Otsu hem de art-işlemede Rocchio metodu uygulanmış sistemin başarı oranı gösterilmektedir. Ortalama %4 oranında başarıyı artırmıştır.

Tablo 1. Kafatası ayırma işlemi yapılmadan Otsu bölütlemeye gerçekleştirilen sistemin başarı oranları

Başarı Ölçüleri	Otsu Metodu Bölütleme
Doğruluk	%82
Kesinlik	%72
Seçicilik	%82

Tablo 2. Kafatası ayırma işleminden sonra Otsu bölütlemeye gerçekleştirilen sistemin başarı oranları

Başarı Ölçüleri	Kafatası Ayırma+Otsu Metodu Bölütleme
Doğruluk	%91
Kesinlik	%93
Seçicilik	%91

Tablo 3. Kafatası ayırma işleminden sonra Otsu bölütlemeye gerçekleştirilen sistemin başarı oranları

Başarı Ölçüleri	Kafatası Ayırma+Otsu Metodu Bölütleme+Rocchio Metodu
Doğruluk	%96
Kesinlik	%95
Seçicilik	%95

4. Sonuç

Bu çalışmada, ilk olarak beyin tümörü veri seti eğitim ve test olmak üzere ikiye bölünmüş ve sistem, eğitim veri setinin örnekleri kullanılarak Rocchio metoduyla eğitilmiştir. Sonrasında test veri setindeki görüntüler Otsu metodu ile bölütlenmiştir. Kafatası ayrılmadan ve ayrıldıktan sonraki görüntüler bölütlenmiş ve doğruluk, kesinlik ve seçicilik başarı ölçülerine göre değerlendirilmiş ve başarıları karşılaştırılmıştır. Sistemin başarı oranı, kafatası ayrıldıktan sonra yaklaşık %10 artmıştır. Bununla birlikte art-işlemeli sistem uygulandığında %10'a ek olarak başarı oranları yaklaşık %4 daha yükselmiştir. Sistemin doğruluk, kesinlik ve seçicilik oranları sırasıyla %96, %95 ve %95 olmuştur. Sonraki çalışmalarda hem bölütleme hem de art-işleme aşamasında farklı metodlar kullanılarak çalışmalar yapılacaktır.

Kaynakça

- AlAzawee, W. S. (1995). Computer-Aided Brain Tumor Edge Extraction Using Morphological Operations. MSc Thesis, Western Michigan University, Kalamazoo, USA.
- Ali, S. M., Abood, L. K. & Abdoon, R. S. (2013). Brain tumor extraction in MRI images using clustering and morphological operations techniques. *Int J Geograph Inform Syst Appl Remote Sens*, vol. 4(1).
- Aşlıyan, R. & Atbakan, İ. (2020). Automatic Brain Tumor Segmentation with K-Means, Fuzzy C-Means, Self-Organizing Map and Otsu Methods. *Journal of Selcuk-Technic*, 267-281.
- Ayachi, R. & Amor, N. (2009). Brain tumor segmentation using support vector machines. *European Conference on Symbolic and Quantitative Approaches to Reasoning with Uncertainty*, 736-747.
- Batista, J. & Kitney, R. (1995). Extraction of tumors from MR images of the brain by texture and clustering. *Conference on Image Analysis and Processing*, 235-240.
- Brain Tumor Dataset. (2019) Website. [Online]. Available: https://figshare.com/articles/brain_tumor_dataset/1512427.
- Dharshini, R. & Hemanandhini, S. (2016). Brain tumor segmentation based on Self Organising Map and Discrete Wavelet Transform. *International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*, Coimbatore, India.
- Hastie, T., Tibshirani, R. & Friedman, J. (2001). *The Elements of Statistical Learning*. Springer Series in Statistics. Springer Verlag, New York.
- Juang, L. & Wu, M. (2010). MRI brain lesion image detection based on color-converted k-means clustering segmentation. *Measurement*, 43(7), 941-949.
- Karaddi, S., Babu, P. & Reddy, R. (2018). Detection of Brain Tumor Using Otsu-Region Based Method of Segmentation. *International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, 128-134.
- Kathirvel, R. & Batri, K. (2017). Detection and diagnosis of meningioma brain tumor using ANFIS classifier. *Imaging Syst Technol*, 27, 187-192.
- Park, H., Jeonand, M. & Rosen, J. B. (2003). Lower dimensional representation of text data based on centroids and least squares. *BIT*, 43(2), 1-22.
- Pereira, S., Pinto, A., Alves, V. and Silva, C. A. (2016). Brain tumor segmentation using convolutional neural networks in MRI images. *IEEE Trans Med Imag*, 35, 1240-1251.
- Prakash, R. M. & Kumari, R. S. S. (2016). Fuzzy C means integrated with spatial information and contrast enhancement for segmentation of MR brain images. *Int J Imag Sys Technol.*, 26, 116-123.
- Saraswathi, D., Priya, B. L. & Lakshmi, R. P. (2019). Brain Tumor Segmentation and Classification using Self Organizing Map. *International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN)*, Pondicherry, India.
- Sharma, M. & Mukharjee, S. (2013). Brain Tumor Segmentation using Genetic Algorithm and Artificial Neural Network

Fuzzy Inference System ANFIS. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer, Berlin, Heidelberg, 177, 329-339.

Wu, M., Lin, C. & Chang, C. (2007). Brain tumor detection using color-based k-means clustering segmentation. *Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, 245-250.

Zhang, J., Ma, K., Er, M. & Chong, V. (2004). Tumor segmentation from magnetic resonance imaging by learning via one-class support vector machine. *Workshop on Advanced Image Technology*, 207-211.



Development Study of Kalaodi Agrotourism Area in the City of Tidore Islands

Dini Sulfana Djufri^{1*}, Muhammad Irfan²

^{1*} Bosowa University, Faculty of Engineering, Department of Urban and Regional Planning, Makassar, Indonesia, (ORCID: 0000-0002-6532-9021), dini.sulfana09@gmail.com

² Akdeniz University, Institute of Natural Science, Department of Urban and Regional Planning, Antalya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4629-5943), muhirfanfaizal@gmail.com

(4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, November 10 - 13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1200824)

ATIF/REFERENCE: Djufri, D. S. & Irfan, M. (2022). Development Study of Kalaodi Agrotourism Area in the City of Tidore Islands. *European Journal of Science and Technology*, (43), 75-79.

Abstract

This research aims to learn how much potential the development of Kalaodi Agrotourism region in Tidore Archipelago is. The research conducted in Kalaodi Agrotourism region, Tidore Archipelago. The purposes of this research are (1) discovering the potential of Kalaodi Agrotourism region in Tidore Archipelago (2) finding strategies to developing Kalaodi Agrotourism region in Tidore Archipelago. Data collection is gathered by field survey, study literature and obtaining information from respected instances, and using qualitative approach. The data analyzed by using qualitative descriptive analysis to discover the potential of Kalaodi Agrotourism while SWOT analysis is used to find development strategies of Kalaodi Agrotourism in Tidore Archipelago. The development strategies of Kalaodi Agrotourism are using agricultures potential provided in Kalaodi subdistrict which is increasing the quality of agriculture's product, improving the human resource capability in agriculture sector so the people of Kalaodi can developing their own agrotourism, optimizing accessibility, conserving the attractions of local cultures of Kalaodi as the major appeal for tourists to come, as well as requesting government's action to involve the society in improving Kalaodi Agrotourism.

Keywords: Agrotourism, Development Study, Kalaodi, Tidore Islands.

Tidore Adaları-Kalaodi Şehri Tarım Turizm Alanı Geliştirme Çalışması

Öz

Bu araştırma, Tidore Takımadalarında Kalaodi Agrotourism bölgesinin gelişiminin ne kadar potansiyel olduğunu öğrenmeyi amaçlamaktadır. Kalaodi Agrotourism bölgesinde, Tidore Takımadaları'nda yürütülen araştırma. Bu araştırmanın amaçları (1) Tidore Takımadaları'ndaki Kalaodi Agroturizm bölgesinin potansiyelini keşfetmek (2) Tidore Takımadaları'nda Kalaodi Agrotourism bölgesini geliştirmek için stratejiler bulmaktır. Veri toplama, saha araştırması, literatür çalışması ve saygın örneklerden bilgi alınması ve nitel yaklaşım kullanılarak toplanır. Kalaodi Agroturizminin potansiyelini keşfetmek için nitel tanımlayıcı analiz kullanılarak analiz edilen veriler, Tidore Takımadalarında Kalaodi Agrotourism'in geliştirme stratejilerini bulmak için SWOT analizi kullanılır. Kalaodi Agrotourism'in geliştirme stratejileri, Kalaodi nahiyesinde sağlanan tarım potansiyelini kullanmak, bu da tarım ürünlerinin kalitesini artırmak, tarım sektöründeki insan kaynakları kapasitesini geliştirmek, böylece Kalaodi halkının kendi agroturizmlerini geliştirmesini sağlamak, erişilebilirliği optimize etmek, yerel cazibe merkezlerini korumak. Kalaodi kültürlerini, turistlerin gelmesi için en büyük çekiciliğin yanı sıra hükümetin Kalaodi Tarım Turizmini geliştirmeye toplumu dahil etmek için harekete geçmesini talep ediyor.

Anahtar Kelimeler: Tarım Turizmi, Geliştirme Çalışması, Kalaodi, Tidore Adaları.

* Corresponding Author: dini.sulfana09@gmail.com

1. Introduction

Tourism development is one way to encourage development efforts at both the central and regional levels. This tourism development cannot be separated from the existence of natural resources and artificial resources as the potential of each region in Indonesia. The potential of the area is one of the superior tourism assets in the form of the beauty of the natural panorama, as well as the history and culture that is inherited.

Referring to Law Number 10 of 2009 concerning Tourism and Government Regulation Number 50 of 2011 concerning the Master Plan for National Tourism Development (RIPPARNAS), that each region must have a strategic tourism area in their respective regions as part of tourism development which will later become a tourism destination. the.

Indonesia is a country rich in tourism objects, ranging from nature-based, cultural history to special interests. Tourism in Indonesia has been considered as one of the important economic sectors, even this sector is expected to become the largest foreign exchange earner. Currently, the challenge for Indonesia in developing its tourism sector is to apply the concept of environmentally friendly tourism or the concept of green tourism and ecotourism in dealing with the issue of global warming and climate change (Anonymous 2014). Despite experiencing significant degradation in terms of environmental conservation, Indonesia is still one of the most targeted countries due to its greenery and natural beauty. The trend that arises due to the issue of global warming is the increase in tourist visits with environmentally friendly characteristics such as ecotourism & green tourism, one of which is Agrotourism or commonly called Agrotourism.

Agrotourism is part of a tourist attraction that supports the concept of environmentally friendly tourism development or green tourism and ecotourism. Because this tourism object utilizes agricultural business as the main object. Agrotourism activities aim to broaden knowledge, experience, recreation, and business relations in agriculture which includes food crops, horticulture, plantations, fisheries, and livestock supported by forestry and agricultural resources. The development of agrotourism is essentially an effort to exploit the potential of agricultural tourism attractions.

One of the attractions of tourists to visit an area is its natural panorama. North Maluku is one area that has potential in the field of tourism and has many areas with beautiful natural panoramas. One of them is Kalaodi Village, which is in East Tidore District, Tidore Islands City, which is one of the villages designated as an agrotourism area.

Kalaodi Village is one of the agrotourism areas in the Tidore Islands City with geological conditions in the form of volcanic material units and regosol soil types. As well as hydrological conditions utilizing springs, because the Kalaodi area is in a highland area with an altitude of 700 meters above sea level so that the village is in a highland area. It has a beautiful natural panorama and a cool atmosphere. In addition, Kalaodi Village also has the potential for natural resources that lead this village to become an agrotourism area. Characteristics of the cultivation of agricultural and plantation products in the form of fruit plants such as durian, mango, rambutan and others, food crops such as corn, sweet potatoes, and vegetables with an agricultural area of

±55.5 hectares, with agricultural production of 60 ,3 tons/Ha, while the plantations consist of coconut, nutmeg, and cloves with a plantation area of ±100 Ha with a production yield of 44.5 tons/Ha.

The development of agrotourism in Kalaodi Village, if developed, can provide opportunities in efforts to improve the local community's economy, in addition to contributing as a source of Regional Original Income (PAD) for the City of Tidore Islands. However, until now the potential for tourism objects owned by Kalaodi Village as an agrotourism area has not been optimally developed by the Tidore Islands City government as a tourist attraction. Some of the obstacles that cause development in this area are not optimal include the lack of promotion of the Kalaodi Village as an agrotourism area, the lack of supporting facilities and infrastructure as a tourist area, the low accessibility of the system to and from the Kalaodi agrotourism area, and the absence of governance from the Tidore City government. islands by involving the local community of Kalaodi Village as an agrotourism area. For this reason, it is necessary to formulate concrete and operational policy steps to achieve stable management of agrotourism objects in Kalaodi Village. xxxxxxx.

2. Material and Method

Data analysis techniques used in this study include:

1. Qualitative descriptive analysis

Qualitative analysis is a method of collecting data that is processed and analyzed by observing descriptive analysis techniques. This analysis is used to describe the characteristics or characteristics of the variables that have been determined.

2. SWOT analysis

To answer the second problem formulation using SWOT analysis, namely, to find out the strategy for developing the Kalaodi agrotourism area in the Tidore Islands City. SWOT analysis is one of the analytical techniques to assess the area in a whole environment. To examine a direction for controlling the development of built-up land, it is necessary to conduct an analysis by looking at internal factors (which arise from within the development area) consisting of strengths and weaknesses, as well as external factors (existing or coming from outside the development area) consisting of opportunities and threats.

3. Results and Discussion

3.1. Potential Analysis of Agrotourism Area

In terms of developing a tourist area, it is hoped that the attractiveness of the area can be lifted. The Kalaodi agrotourism area has potential that can be used as the main capital for better development.

a. Potential Analysis of Agriculture and Plantation Sector

Agro tourism object is one of the tourism's objects whose tourist attraction is agriculture. Travel activities do not damage or pollute nature with the aim of admiring and enjoying the beauty of nature, animals, or wild plants in their natural environment and being used as a means of education. The Kalaodi agrotourism area is one of the areas in the Tidore Islands City which has the potential for natural resources such as agriculture and plantations, where agricultural commodities are fruits and vegetables with an agricultural land area of 55.5 hectares. The agricultural condition

of the Kalaodi agrotourism area can be said to be quite good, seen from the increasing demand for agricultural products (fruits and vegetables) in the Kalaodi agrotourism area with the number of requests in 2014 including fruit plants consisting of durian, mango, rambutan, and others with a production yield of ± 21 tons/year and vegetables in the form of long beans, wax vegetables, chilies, tomatoes, and others with a production yield of ± 39.3 tons/year. And the leading commodity in the Kalaodi agrotourism area is durian fruit with a land area of 33 hectares and production of ±13 tons/year.

In addition to agricultural products, tourists can also enjoy plantation products with commodities of nutmeg, cloves, and cinnamon which are plant spices with world quality which are in great demand by the Dutch and Portuguese in the colonial era, so that they can be of historical value to increase the knowledge of tourists. And based on the data for plantation production is 44.5 tons/year. By looking at the potential of agriculture and plantations, this can provide economic value to local communities with increasing demand and become the main attraction for everyone to visit and enjoy agricultural products in the Kalaodi agrotourism area.

b. Natural Panorama

The Kalaodi agrotourism area is one of the areas located at an altitude in the city of Tidore, islands so that it has a beautiful natural panorama. Because it is in a highland area so that visitors or tourists can enjoy the green scenery, sea views, Failonga Island, Halmahera and Maitara and Ternate, the centre of Tidore City and the sunrise view is also very beautiful when viewed from this area. In addition, the cool atmosphere with cold air can add to the comfort of visitors or tourists. This natural panorama can also be used as a photography activity.

c. Cultural Attractions

The traditional ceremony that is still being carried out is paca goya or the cleaning of sacred places, which is led by a traditional head or commonly called suwohi. For three days during the procession of the ceremony, Kalaodi was in a state of silence, without any sounds, including the sound of motorized vehicles. Pacagoya is implemented based on the residents' intentions. Usually after the harvest, as a form of gratitude for the abundance of blessings received. There is also a cooperation tradition called Bari, Marong, and Galasi. The expression Bari is used generally for cooperation in everything, from clearing plantation land, building houses and so on. Marong is a working group in clearing garden land. Galasi is a cooperation in land clearing using an hourglass system (roasted sand filled in bottles like the old times). If the sand at the top of the bottle is empty, the job is declared complete. So, the cultural attractions of the Kalaodi community need to be maintained as unique and attractive for the Kalaodi Village itself as an agrotourism area.

d. Ake Celeng Waterfall Tourism Area

In addition to being able to develop the Kalaodi agrotourism area as a mainstay agrotourism area, it can be combined with natural tourism of the Ake Celeng waterfall, so that synergy is

needed which will become an integration in development which will certainly be able to attract more tourists. Ake celeng is also one of the natural attractions which is also one of the supporting tourism objects in the Kalaodi Agrotourism Area where this natural tourism object is surrounded by circular rocks that make the scenery under the Ake Celeng waterfall look like a bowl holding water. The surroundings are still very natural and untouched so that a different atmosphere can be an attraction for tourists or visitors to not only enjoy agrotourism but also the natural attractions of the Ake Celeng waterfall.

e. Analysis of the Development of the Kalaodi Agro Agrotourism Area

Agricultural potential, unique culture, customs, beautiful natural panoramas, and tourism supporting the Ake Celeng waterfall are the main objects in attracting visiting tourists. Some objects and tourist attractions that have not been marketed so that in the face of an era full of competition because other objects are also trying to attract the number of tourists. Therefore, every tourist attraction has an attraction that can compete with other tourism objects.

Another goal of the development of agrotourism in the Kalaodi agrotourism area is to improve the welfare of the local community and in general the people of the Tidore Islands City and the preservation of the surrounding environment, both the natural and artificial environments, or concerning human resources and natural resources in the Kalaodi agrotourism area.

To bring tourists to the agrotourism area, a strategy is needed in its development to avoid competition with other objects that have relatively similar attractions, as well as spatial improvements that have the needs of both domestic and foreign tourists. The development carried out should include all elements that complement the tourist trip, for example service improvement when tourists leave their homes to the object / place that is the destination and return to their homes. The main elements of concern to support tourism development in the Kalaodi agrotourism area are tourist objects and attractions, tourist facilities, management/infrastructure, community / environment.

3.2. Analysis of the Strategy of the Kalaodi Agrotourism Development Area in the City of Ternate Islands

To answer the next question, namely the development strategy of the Kalaodi agrotourism area in the city of Tidore Islands, the analysis used is a SWOT analysis. SWOT analysis is the identification of various factors systematically to formulate strategies related to the vision, mission, strategic plans, and organizational decisions (Rangkuti, 2003: 18). The SWOT analysis matrix can be seen in the following table:

Table 1. SWOT Analysis Matrix of Kalaodi Agrotourism Area Development Strategy in Tidore Islands

Strengths (S)	Weakness (W)
➤ Kalaodi agrotourism is one of the villages in Tidore Islands City which has a lot potential in the	➤ The lack of availability of facilities and infrastructure in supporting the development of the agrotourism area.

<p>Internal</p> <p>Eksternal</p>	<p>agrotourism sector, especially fruits and vegetable crops and plantations.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ The geographical location of Kalaodi village which is strategically suitable for markets to be developed as an agrotourism area. ➤ The enthusiasm of the community to participate in the development of the kalaodi agrotourism area. ➤ unique cultural attractions located in the Kalaodi agrotourism area. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ it is still difficult to access public transportation from and to the Kalaodi area on normal days except of market days ➤ the lack of cooperation between the government and the local community (Kalaodi Village) in the management system in development of Kalaodi as a tourist destination in this case agrotourism
<p>Opportunity (O)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Kalaodi village is designated as one of the lending agrotourism object as stated in the RTRW and RIPPARDA OF Tidore Islands City ➤ there is natural tourism of the Ake Celeng Waterfall ➤ The existence of the development can improve the economy of the local community 	<p>Strategy SO</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Optimizing the arrangement of agrotourism areas and the development programs in the agricultural sector (Durian, Mango, etc) in the agrotourism area. ➤ Increase community participation and preserve the cultural heritage in the Kalaodi village 	<p>Strategy WO</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Improving facilities and infrastructure in Kalaodi village as agrotourism development and optimizing , accessibility for the agrotourism area. ➤ Improve the cooperation between the government and Kalaodi community in developing tourist attractions in the Kalaodi Area
<p>Threat (T)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Environmental damage due to illegal logging ➤ The entry of foreign cultures that can affect the local culture 	<p>Strategy ST</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Enviromental conservation through reforestation so that the area is maintained and safe ➤ There is fiterization so that the ancestral culture is still preserved 	<p>Strategy WT</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Strengthen SO,WO,ST to confront threats and weaknesses ➤ Promote agrotourism area tourism programs in Kalaodi Village to the whole community

4. Conclusions and Recommendations

Based on the results of the analysis and discussion that has been done, the conclusions that can be drawn are as follows:

Kalaodi Village has potential in the agricultural sector, beautiful natural scenery, culture, and customs and has Akeceleng waterfall as a supporting tourism to be developed as an agrotourism area.

Based on the results of the SWOT analysis to formulate the Agrotourism Area Development Strategy, namely: by utilizing the agricultural potential in the Kalaodi Village (improvement of the quality of the population's agricultural products) which is still natural by adding artistic panoramic nuances, efforts to add facilities and infrastructure in the agrotourism area, Efforts to increase human resources (HR) of the Kalaodi community in the agricultural sector so that the community has human resources that have the potential to develop agrotourism areas, optimize accessibility to and from the Kalaodi area, efforts to maintain and preserve cultural attractions of local wisdom in the area as one of the one of the attractions of tourists visiting agrotourism areas, as well as the role of local governments by involving the community in the management of the Kalaodi agrotourism area.

References

Anonim. (2014). Ranah berita tantangan Indonesia dalam mengembangkan Sektor Pariwisata.

Badan Pusat Statistik. (2015). Kota Tidore Kepulauan Dalam Angka.

Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. (2004). Tentang Kriteria Kawasan Agrowisata dan Prasyarat Kawasan Agrowisata. Jakarta 2004

Bangun, Cahyani Nur. (2003). Strategi Pengembangan Agrowisata sebagai Pariwisata Alternatif di Desa Barusjahe Kabupaten Karo Sumatera Selatan, Tesis Universitas Udayana , Denpasar.

Fendeli, C. (1995). Dasar-dasar manajemen Kepariwisataan Alam, Liberti, Yogyakarta.

Merpaung, H. (2000). Pengetahuan Kepariwisataan, Alfabeta, Bandung

Merpaung, H. (2002). Pengantar Kepariwisataan, Alfabeta, Bandung

Pendit, N, S. (1994). Ilmu Pariwisata Sebuah Pengantar Perdana. Pradnya Paramitha Jakarta.

Sugiyono. (2014). Metode Penelitian Kombinasi. Alfabeta. Bandung.

- Rangkuti, F. (1997). Analisis SWOT Teknik Membedah Kasus Bisnis, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Salusu J.M.A. (1996). Pengambilan Keputusan strategi untuk organisasi publik dan organisasi non publik. Gramedia Jakarta.
- Suhardi, Kristian. (2013). Strategi Pengembangan Wisata Agro Wonosari, Skripsi Universitas Widyatama, Bandung.
- Undang Undang No. 10 Tahun 2009, Tentang Kepariwisataa n , Jakarta.
- Widiastuti, Ning. (2005). Pengembangan Kawasan Agrowisata Tlogo, Skripsi Universitas Diponegoro, Semarang.
- Yoeti, A.O. (1982). Pengantar Kepariwisataa n, Sebuah Pengantar Perdana, Pradaya Paramitha, Bandung.



Classification of Transcription Factor DNA in the Brassica Plant Species by Deep Learning

Ali Burak Öncül^{1*}

^{1*} Kastamonu University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, Kastamonu, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9612-1787), boncul@kastamonu.edu.tr

(4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, November 10 - 13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1200680)

ATIF/REFERENCE: Öncül, A. B. (2022). Classification of Transcription Factor DNA in the Brassica Plant Species by Deep Learning. *European Journal of Science and Technology*, (43), 80-85.

Abstract

Determining the types of DNA and proteins, examining their similarities, etc., remains among the challenging problems in the research field. For this reason, the data obtained and the use of this data are also limited. In this study, we combined the power of computer science in data processing with biology. We classified the DNAs of transcription factor proteins found in cruciferous Brassica plants and identified the DNAs related to the synthesis of transcription factor proteins in the plant. We compiled the dataset from the Plant Transcription Factor Database (PlantTFDB). We used the code dictionary structure in the preprocessing part and provided a fast and successful model using Bidirectional LSTM and Bidirectional GRU networks. Our model has 90.40% test accuracy and 86.75% 5-fold cross-validation accuracy. Using LSTM in the layer with fewer units and GRU in the layer with more units in the model provided a shorter training time for the model. In addition, although the prepared model classifies the transcription factor DNAs of Brassica plants, it will also be successful at a certain level in the transcription factor DNAs of other plants. The prepared model stands out as an important innovation that has been added to the literature in terms of its field of study.

Keywords: Bioinformatics, DNA classification, Deep learning, Bidirectional, LSTM, GRU.

Brassica Bitki Türlerinde Transkripsiyon Faktörü DNA'sının Derin Öğrenme ile Sınıflandırılması

Öz

DNA ve protein türlerinin belirlenmesi, benzerliklerinin incelenmesi vb. araştırma alanındaki zorlu problemler arasında yer almaktadır. Bu nedenle elde edilen veriler ve bu verilerin kullanımı da sınırlıdır. Bu çalışmada bilgisayar biliminin veri işlemedeki gücünü biyoloji ile birleştirdik. Turpgillerden Brassica bitkilerinde bulunan transkripsiyon faktörü proteinlerinin DNA'larını sınıflandırdık ve bitkideki transkripsiyon faktörü proteinlerinin sentezi ile ilgili DNA'ları belirledik. Veri setini Bitki Transkripsiyon Faktörü Veritabanından (PlantTFDB) derledik. Önleme kısmında kod sözlüğü yapısını kullandık ve Çift Yönlü LSTM ve Çift Yönlü GRU ağlarını kullanarak hızlı ve başarılı bir model sağladık. Modelimiz %90,40 test doğruluğuna ve %86,75 5-kat çapraz doğrulama doğruluğuna sahiptir. Modelde daha az birimli katmanda LSTM ve daha fazla birimli katmanda GRU kullanılması model için daha kısa eğitim süresi sağlamıştır. Ayrıca hazırlanan model Brassica bitkilerinin transkripsiyon faktör DNA'larını sınıflandırsa da diğer bitkilerin transkripsiyon faktör DNA'larında da belli bir düzeyde başarılı olacaktır. Hazırlanan model, çalışma alanı açısından literatüre katılmış önemli bir yenilik olarak öne çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Biyoinformatik, DNA sınıflandırma, Derin öğrenme, Çift yönlü, LSTM, GRU.

* Corresponding Author: boncul@kastamonu.edu.tr

1. Introduction

Deoxyribo Nucleic Acid (DNA) is the hereditary genetic information found in almost all living things. "The information in DNA is stored as a code made up of four chemical bases: adenine (A), guanine (G), cytosine (C), and thymine (T)." DNA is formed by the different sequencing of the A, G, C and T codons in every living thing. The DNA of almost every cell in the body of every living thing is the same. The ordering of these codons directly influences the creation and diversity of each organism, that is, each part of the organism. The order of these mentioned bases (A, G, C, T) ensures the diversity of the organism and each part of the organism and the survival of the organism. This structure is similar to the formation of different words with a different arrangement of letters and the formation of different sentences and texts with the arrangement of these different words (WATSON & CRICK, 1953).

The rules used to transform the information encoded in genetic material, namely DNA and mRNA, into proteins are called genetic code. The genetic code defines nucleotide triplet sequences called codons that determine which amino acid will be added during protein synthesis (Shu, 2017).

The gene is an essential physical and functional part of heredity. Genes formed from DNA through the genetic code, amino acids, and therefore the sequencing of amino acids serve as instructions for making molecules called proteins. In humans, genes range from a few hundred DNA bases to more than 2 million bases (WATSON & CRICK, 1953). The 3D structure of a DNA fragment is given in Figure 1. The helical structure in this 3D representation consists of the four chemical bases, A, G, C, and T, and are arranged reciprocally. This ordered chain structure is the structure that makes up DNA.

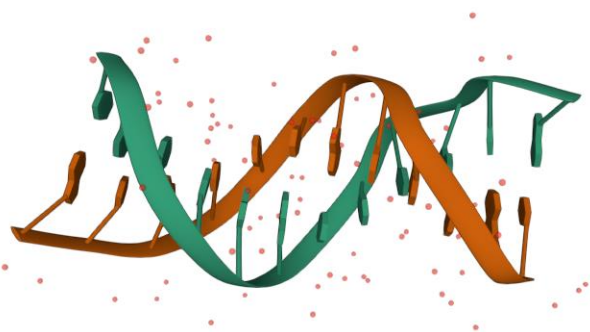


Fig. 1 An exemplary DNA 3D structure (Narayana et al., 1991)

The process, which is the first step of gene expression from the gene's DNA to the production of the primary RNA transcript, is called transcription. Transcription and subsequent process steps drive protein production. Here, the necessary information for protein production is provided from DNA. These transcription factors bind to specific DNA sequences in gene regulatory regions and control the transcription of the DNA sequences to which they bind. The function of transcription factors (TF) is to regulate the gene expression necessary for the survival of the cell and the organism (Karin, 1990; Latchman, 1993). Transcription factors manage many vital processes, such as development, growth, intercellular communication, and environmental response, together with DNA connection (Riaño-Pachón et al., 2007).

Since each different transcription factor protein will produce from a different DNA sequence, classifying the DNAs that produce

these proteins will play an important role in the preliminary research of the proteins produced. The data processing power of computer science is frequently used to support biological studies on DNA and proteins. The first joint computer science and biology studies were statistics-based (Baldi & Brunak, 2001). The most important of these studies can be shown as Hidden Markov Model (HMM) (Eddy, 1996) based studies (Gromiha, 2010) and Basic Local Alignment Search Tool (BLAST) (Altschul et al., 1990). Some of these studies, in which predictions are made by subtracting the sequences of nucleotides or amino acids and their probabilities of being in certain positions, with the support provided by statistical science, require additional information such as various labels (Price et al., 2018; Strothoff et al., 2020).

After the statistics-based studies, various artificial neural networks, machine learning applications, and computer science innovations have successfully found their place among the studies in the field. Examples of these studies are Support Vector Machine (SVM), K-Nearest Neighbors (KNN), and Naive Bayes Classifier-based studies (Huerta et al., 2000). In later studies, with the development of the concept of deep learning, models prepared with Convolutional Neural Networks (CNN) and Recurrent Neural Networks (RNN) based Long Short-Term Memory (LSTM), and Gated Recurrent Unit (GRU) come to the fore (Du et al., 2016).

Looking at the developments in the field, we designed a deep learning model based on Bidirectional LSTM and Bidirectional GRU to classify the DNA sequences of TFs of Brassica plants. Thanks to the model we designed, we classified the TF DNAs of Brassica plants without needing additional information except for DNA sequences, with a short training period. Thus, we created a piece of preliminary information about the TF proteins to be synthesized for the studies in the field of biology.

The remainder of the article is organized as follows: Chapter 2 includes a literature review, chapter 3 includes the methods used, chapter 4 the results of the experimental study, chapter 5 the discussion and conclusion, and finally, chapter 6 references.

2. Related Studies

Classification and analysis of previously discovered or newly discovered DNA sequences is still a challenging problem. When the literature is examined, it has been seen that various studies have been carried out for the classification of DNA sequences. Biological studies, experiments and analyzes constitute the basis of these studies. These biologically-based studies are relatively time-consuming, costly, and more prone to human error. After biological-based studies, it is statistical-based studies or artificial intelligence studies from the power combination of biology and computer science [12].

In one study, the prediction of DNA N6-methyladenosine regions among plant species was studied with a model prepared based on CNN and bidirectional LSTM (Tang et al., 2022). In another bidirectional GRU-based study, DNA N4-methylcytosine regions in the mouse genome were estimated by Jin et al. (Jin et al., 2022). In a Word2Vec-based deep learning study, it was aimed to identify DNA N4-methylcytosine regions (Fang et al., 2021). Support vector machines (SVM) were used in a study on DNA and amino acid approaches for human authentication with deep transfer learning (Sakr et al., 2022). In a study on predicting 3D chromatin interactions from DNA sequence using Deep Learning,

CNN, LSTM and GRU networks were studied and the transfer learning method was applied (Pieczyk et al., 2022). In a study on the classification of viruses such as COVID, SARS, MERS, dengue, hepatitis and influenza, a hybrid model based on CNN and LSTM was prepared (Gunasekaran et al., 2021).

When the literature is examined, although different studies have been carried out in different DNA studies, no deep learning study has been observed in TF DNAs, especially in TF DNAs of plants belonging to the Brassica species. The code dictionary preprocessed model we have prepared classifies the DNA sequences that make up the TF proteins in Brassica plants and provides a solution to the problem of detecting and classifying the source DNAs of the proteins to be formed.

3. Material and Method

TF proteins play a very important role in the regulation of vital functions in the life of Brassica plants. The expression of these TF proteins also depends on the information in the DNA of these TFs. For these reasons, knowing the biological and bioinformatic structure and classes of Brassica plants enables them to dominate many features of the plant. Looking at the literature, no deep learning studies were found about the TF DNA of Brassica plants. This situation reveals the importance and necessity of the classification of these DNAs. To create a data set to be used in this study, the data were downloaded and processed in scattered form from PlantTFDB, one of the large databases related to TFs.

PlantTFDB is a comprehensive and public database designed by a team of researchers to provide communication with the plant genome, TFs in gene families, and additional information about these TFs. The PlantTFDB website contains individual DNA and protein sequences and individual TF listings for each family and transcription factor (Jin et al., 2017).

3.1. Structure of the DNA Sequences

DNA sequences are genetic material that consists of a cascade of nucleotides. There are different symbols in the literature denoting adenine (A), guanine (G), cytosine (C) and thymine (T) nucleotides and other states other than these defined nucleotides ("Nomenclature for Incompletely Specified Bases in Nucleic Acid Sequences. Recommendations 1984. Nomenclature Committee of the International Union of Biochemistry (NC-IUB).," 1986). Symbols other than these 4 basic nucleotides are very few and have been ignored in the prepared model. Just as letters form words and words form sentences, so the ordering of the symbols of nucleotides creates DNA sequences. The resulting DNAs are also divided into classes according to their functions.

3.2. Data Preprocessing

The data downloaded from PlantTFDB, together with the sequences and their families, are collected in a single file and the data set is created. DNA sequences with a structure such as "AATGCAATTT...", expressed in characters, must be digitized to be given to the deep learning model. Numbers from 1 to 4 are assigned to 4 nucleotides in 14384 DNA sequences. For other negligible cases, the number 0 is assigned. Figure 2 shows the frequency with which nucleotides are found in sequences.

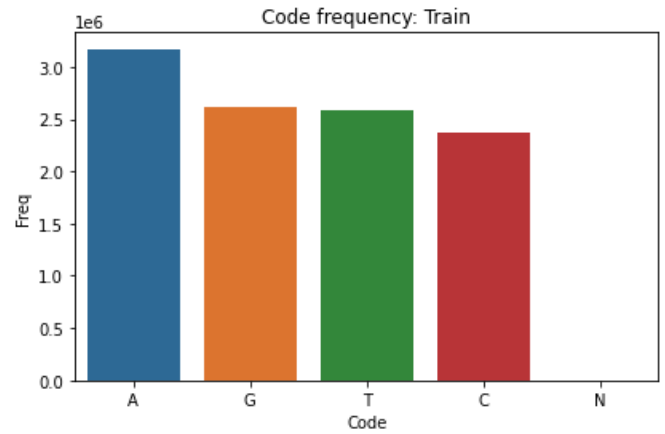


Fig. 2 Nucleotide frequency

In this way, the sequences are digitized. The length of the digitized sequences should be equalized for the deep learning model to have a healthy training process. For this reason, it was decided to calculate the average length of the sequences and determine the sequence size as 1070. The graph showing the average lengths of the sequences is presented in Figure 3.

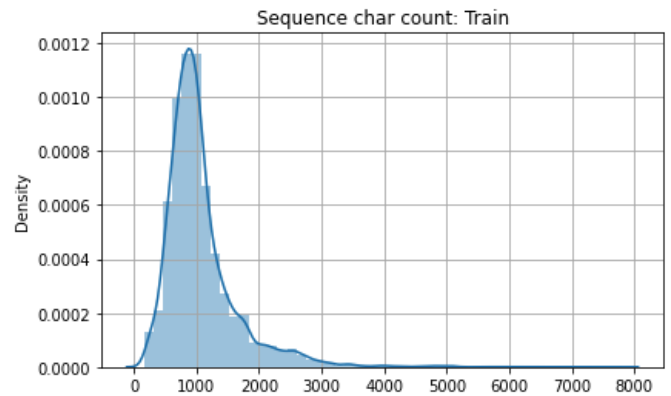


Fig. 3 Average lengths of the sequences

Among the sequences digitized in this way, the longer ones were shortened to 1070, and the shorter ones were extended by filling in 0's at the end (Bileschi et al., 2022). Then, the classes of the sequences, that is, the 58 families to which the DNAs belong, were coded with one-hot encoding, just as stated in the study of Yang et al., and all the data were prepared (Yang et al., 2018). The data prepared and separated as 80% train, 10% validation and 10% test are ready to be given to the deep learning model.

3.2. Long Short-Term Memory (LSTM) and Gated Recurrent Unit (GRU)

LSTM and GRU networks use sequential information in the data and make predictions by storing historical states and long-short-term dependencies, which are structurally similar and provide almost the same results. In LSTM, there are input and forget gates (Greff et al., 2017). On the other hand, in GRU, forget function is done with a key, not a gate (Gao & Glowacka, 2016). GRU has a relatively faster training and working time compared to LSTM since there is a missing gate compared to LSTM. These models can process long texts and data and successfully detect long-term dependencies and which information will be forgotten, thanks to the gates they contain and the calculations they make (Şeker et al., 2017).

In evaluating the prepared model, accuracy, precision, recall, f-score criteria (Luque et al., 2019) and a 5-fold cross-validation

method were used (Xiong et al., 2020). In addition, the train and validation accuracy and loss graphs of the model and the ROC curve were also used (KILIC, 2013).

The embedding layer of Keras was used in the prepared model, and the vector size was determined as 256. A 128-unit

layer Bidirectional LSTM and a 256-unit layer Bidirectional GRU are used in the model. Since GRU is relatively fast compared to LSTM, more units are preferred in GRU than LSTM. Table 1 shows the design details of the model.

Table 1. Example of a table

Layer	Output Shape	Param #
Embedding	(None, 1070, 256)	1280
Bidirectional LSTM	(None, 1070, 256)	394240
Bidirectional GRU	(None, 512)	789504
Dropout (0.25)	(None, 512)	0
Flatten	(None, 512)	0
Dense	(None, 256)	131328
Dropout (0.25)	(None, 256)	0
Dense (Classification)	(None, 58)	14906

3. Results and Discussion

The data set used consists of 14384 sequences. In order to allocate more data for training, the data set is divided into three parts, 80% train, 10% validation and 10% test, with the Python Scikit-Learn library. A value of 0.001 was used in all layers as the learning rate in the model. The batch size value is set to 256 because long arrays are used. ADAM is used as the optimization function. Since a 58-class data set was used, the categorical cross-entropy function was chosen as the loss function. The model completed its excellent training in 28 epochs. The evaluation results of the model are as follows:

- Accuracy: 90.40%
- Precision: 90.37%
- Recall: 89.34%
- F-score: 88.77%
- 5-fold cross-validation: 86.75%
- Train time: 16.85 min.

Figure 4 shows the accuracy and loss graphs of the model, and Figure 5 shows the ROC curve.

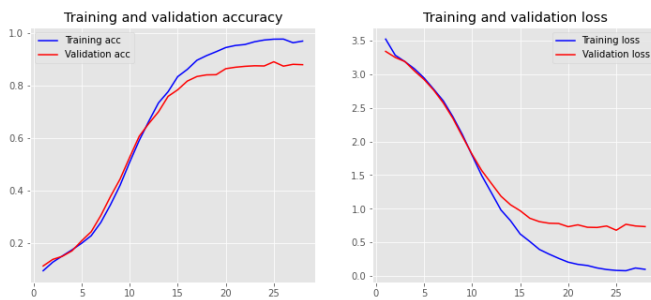


Fig. 4 Accuracy and loss graphs for deep learning model

Some extension of Receiver operating characteristic to multi-class

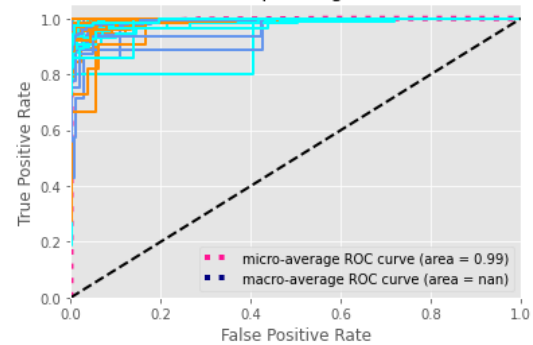


Fig. 5 ROC curve for deep learning model

The results in Table 2 and the graphs in Figure 4 and 5 showed that the model successfully classified TF DNAs in plants belonging to the Brassica species and made an important contribution to the literature. The proximity of all curves to the upper left corner in Figure 5 shows that the model has successfully classified all 58 classes.

When we look at the literature, although there are studies such as the N6-methyladenosine region determination study of Tang et al. (Tang et al., 2022), the study of Sakr et al. including DNA and amino acid approaches (Sakr et al., 2022), and the detection of DNA of viruses such as COVID and SARS, it is possible to determine the DNA of transcription factors. No study could be seen on the transcription factor DNAs of plants of the genus and Brassica species. In this study, which we have done on this gap in the literature, we have succeeded in classifying the DNA of transcription factors in Brassica species. The model I prepared includes 1 layer of Bidirectional LSTM and 1 layer of Bidirectional GRU. Thanks to these layers, the structures and motifs of long DNA sequences can be captured, and various long- and short-term dependencies can be detected, resulting in a successful classification. In this way, we were able to have preliminary research information and classification information of the proteins to be synthesized from these DNAs. In addition, with this model, we filled a gap in the literature.

4. Conclusions and Recommendations

By preparing this study, we classified the DNAs that synthesize the transcription factors that greatly affect the life cycles and functions of plants belonging to the Brassica plant species according to the transcription factor type. Thanks to this classification and model, the time to be spent with biological experiments, human-induced errors, and high costs have been tried to be avoided. In addition, thanks to this speed and success, more work can be done. This prepared model stands out as an important innovation that has been added to the literature regarding Brassica plants.

References

- Altschul, S. F., Gish, W., Miller, W., Myers, E. W., & Lipman, D. J. (1990). Basic local alignment search tool. *Journal of Molecular Biology*, 215(3), 403–410. [https://doi.org/10.1016/S0022-2836\(05\)80360-2](https://doi.org/10.1016/S0022-2836(05)80360-2)
- Baldi, P., & Brunak, S. (2001). *Bioinformatics, Second Edition: The Machine Learning Approach*. MIT Press.
- Bileschi, M. L., Belanger, D., Bryant, D. H., Sanderson, T., Carter, B., Sculley, D., Bateman, A., DePristo, M. A., & Colwell, L. J. (2022). Using deep learning to annotate the protein universe. *Nature Biotechnology*, 40(6), 932–937. <https://doi.org/10.1038/s41587-021-01179-w>
- Du, X., Cai, Y., Wang, S., & Zhang, L. (2016). Overview of deep learning. *2016 31st Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC)*, 159–164. <https://doi.org/10.1109/YAC.2016.7804882>
- Eddy, S. R. (1996). Hidden Markov models. *Current Opinion in Structural Biology*, 6(3), 361–365. [https://doi.org/10.1016/S0959-440X\(96\)80056-X](https://doi.org/10.1016/S0959-440X(96)80056-X)
- Fang, G., Zeng, F., Li, X., & Yao, L. (2021). Word2vec based deep learning network for DNA N4-methylcytosine sites identification. *Procedia Computer Science*, 187, 270–277. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.04.062>
- Gao, Y., & Glowacka, D. (2016). Deep Gate Recurrent Neural Network. In R. J. Durrant & K.-E. Kim (Eds.), *Proceedings of The 8th Asian Conference on Machine Learning* (Vol. 63, pp. 350–365). PMLR. <https://proceedings.mlr.press/v63/gao30.html>
- Greff, K., Srivastava, R. K., Koutnik, J., Steunebrink, B. R., & Schmidhuber, J. (2017). LSTM: A Search Space Odyssey. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 28(10), 2222–2232. <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2016.2582924>
- Gromiha, M. M. (2010). Protein Sequence Analysis. *Protein Bioinformatics*, 29–62. <https://doi.org/10.1016/B978-8-1312-2297-3.50002-3>
- Gunasekaran, H., Ramalakshmi, K., Rex Macedo Arokiaraj, A., Deepa Kanmani, S., Venkatesan, C., & Suresh Gnana Dhas, C. (2021). Analysis of DNA Sequence Classification Using CNN and Hybrid Models. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2021, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2021/1835056>
- Huerta, M., Haseltine, F., Liu, Y., Downing, G., & Seto, B. (2000). *NIH working definition of bioinformatics and computational biology*.
- Jin, J., Tian, F., Yang, D.-C., Meng, Y.-Q., Kong, L., Luo, J., & Gao, G. (2017). PlantTFDB 4.0: toward a central hub for transcription factors and regulatory interactions in plants. *Nucleic Acids Research*, 45(D1), D1040–D1045. <https://doi.org/10.1093/nar/gkw982>
- Jin, J., Yu, Y., & Wei, L. (2022). Mouse4mC-BGRU: Deep learning for predicting DNA N4-methylcytosine sites in mouse genome. *Methods*, 204, 258–262. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2022.01.009>
- Karin, M. (1990). Too many transcription factors: positive and negative interactions. *The New Biologist*, 2(2), 126–131.
- KILIC, S. (2013). ROC Analysis in Clinical Decision Making. *Journal of Mood Disorders*, 3(3), 135. <https://doi.org/10.5455/jmood.20130830051624>
- Latchman, D. S. (1993). Transcription factors: an overview. Function of transcription factors. *Int. J. Exp. Path*, 74, 417–422.
- Luque, A., Carrasco, A., Martín, A., & de las Heras, A. (2019). The impact of class imbalance in classification performance metrics based on the binary confusion matrix. *Pattern Recognition*, 91, 216–231. <https://doi.org/10.1016/J.PATCOG.2019.02.023>
- Narayana, N., Ginell, S. L., Russu, I. M., & Berman, H. M. (1991). Crystal and molecular structure of a DNA fragment: d(CGTGAATTCACG). *Biochemistry*, 30(18), 4449–4455. <https://doi.org/10.1021/bi00232a011>
- Nomenclature for incompletely specified bases in nucleic acid sequences. Recommendations 1984. Nomenclature Committee of the International Union of Biochemistry (NC-IUB). (1986). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 83(1), 4–8. <https://doi.org/10.1073/pnas.83.1.4>
- Piecyk, R. S., Schlegel, L., & Johannes, F. (2022). Predicting 3D chromatin interactions from DNA sequence using Deep Learning. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 20, 3439–3448. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2022.06.047>
- Price, M. N., Wetmore, K. M., Waters, R. J., Callaghan, M., Ray, J., Liu, H., Kuehl, J. v, Melnyk, R. A., Lamson, J. S., Suh, Y., Carlson, H. K., Esquivel, Z., Sadeeshkumar, H., Chakraborty, R., Zane, G. M., Rubin, B. E., Wall, J. D., Visel, A., Bristow, J., ... Deutschbauer, A. M. (2018). Mutant phenotypes for thousands of bacterial genes of unknown function. *Nature*, 557(7706), 503–509. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0124-0>
- Riaño-Pachón, D. M., Ruzicic, S., Dreyer, I., & Mueller-Roeber, B. (2007). PlnTFDB: an integrative plant transcription factor database. *BMC Bioinformatics*, 8(1), 42. <https://doi.org/10.1186/1471-2105-8-42>
- Sakr, A. S., Pławiak, P., Tadeusiewicz, R., & Hammad, M. (2022). Cancelable ECG biometric based on combination of deep transfer learning with DNA and amino acid approaches for human authentication. *Information Sciences*, 585, 127–143. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2021.11.066>
- Şeker, A., Diri, B., & Balık, H. H. (2017). Derin Öğrenme Yöntemleri ve Uygulamaları Hakkında Bir İnceleme. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(3), 47–64.
- Shu, J. J. (2017). A new integrated symmetrical table for genetic codes. *Biosystems*, 151, 21–26. <https://doi.org/10.1016/J.BIOSYSTEMS.2016.11.004>
- Strodthoff, N., Wagner, P., Wenzel, M., & Samek, W. (2020). UDSPMProt: universal deep sequence models for protein classification. *Bioinformatics*, 36(8), 2401–2409. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btaa003>
- Tang, X., Zheng, P., Li, X., Wu, H., Wei, D.-Q., Liu, Y., & Huang, G. (2022). Deep6mAPred: A CNN and Bi-LSTM-based deep learning method for predicting DNA N6-methyladenosine

- sites across plant species. *Methods*, 204, 142–150.
<https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2022.04.011>
- WATSON, J. D., & CRICK, F. H. C. (1953). Molecular Structure of Nucleic Acids: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid. *Nature*, 171(4356), 737–738.
<https://doi.org/10.1038/171737a0>
- Xiong, Z., Cui, Y., Liu, Z., Zhao, Y., Hu, M., & Hu, J. (2020). Evaluating explorative prediction power of machine learning algorithms for materials discovery using k-fold forward cross-validation. *Computational Materials Science*, 171, 109203. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2019.109203>
- Yang, K. K., Wu, Z., Bedbrook, C. N., & Arnold, F. H. (2018). Learned protein embeddings for machine learning. *Bioinformatics*, 34(15), 2642–2648.
<https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bty178>



The Influence of Turbulence Models on the Numerical Modelling of a 3D Wing in Ground Effect

Yavuz Hakan Ozdemir¹, Taner Cosgun^{2*}

¹ Canakkale Onsekiz Mart University, Department of Motor Vehicles and Transportation Technologies, Canakkale, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0406-0532), yhozdemir@comu.edu.tr

^{2*} Yildiz Technical University, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1364-0133), tcosgun@yildiz.edu.tr

(4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, November 10 - 13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1200056)

ATIF/REFERENCE: Ozdemir, Y.H. & Cosgun, T (2022). The Influence of Turbulence Models on the Numerical Modelling of a 3D Wing in Ground Effect. *European Journal of Science and Technology*, (43), 86-90.

Abstract

This paper deals with the influence of different RANS turbulence models on the numerical modelling of a 3D rectangular symmetrical wing in ground effect. Travelling near a solid surface, so-called ground effect, considerably alters the aerodynamic characteristics of a wing. This paper aims to investigate the performance of the widely used eddy viscosity turbulence models while predicting the changing aerodynamic behavior due to the ground effect. Three different RANS turbulence models, realizable $\kappa - \epsilon$, $\kappa - \omega$ SST and Spalart-Allmaras models are taken into consideration. The effectiveness of the turbulence models were tasted in comparison with the experimental data in different angles of attack and ground heights. Results reveals that, the effect of the turbulence models on the numerical accuracy of the ground effect aerodynamics calculations are related to the altitude and the angle of attack. The choice of the turbulence model becomes important when the wing travels in very close proximity to the ground and the angle of attack is low or negative. The discrepancy of the calculated results mainly comes from the pressure distribution variations on the lower side of the wing. For high angles of attack, or relatively larger ground heights, the difference between the predictions of the turbulence models become negligible.

Keywords: Ground effect, Rectengular wing, Aerodynamics, CFD, Turbulence models, RANS.

Türbülans Modeli Seçiminin Zemin Etkisindeki 3B Bir Kanatın Sayısal Modellemesine Olan Etkisi

Öz

Bu çalışma, farklı RANS türbülans modellerinin Zemin etkisinde çalışan 3B simetrik bir kare kanatın sayısal modellemesindeki etkisini incelemektedir. Katı bir Zemin yakınında hareket etme, ya da bilinen ismiyle yer etkisi, bir kanatın aerodinamik karakteristiğini önemli oranda etkiler. Bu makalede amaç, farklı eddy viskozitesi türbülans modellerinin yer etkisi esnasındaki aerodinamik davranışı modelleme yönünden performansının araştırılmasıdır. Üç farklı türbülans modeli, realizable $\kappa - \epsilon$, $\kappa - \omega$ SST and Spalart-Allmaras modelleri incelemeye dahil edilmiştir. Türbülans modellerinin etkinlikleri farklı hücum açıları ve kanat yükseklikleri için deneysel verilerle karşılaştırmalı olarak test edilmiştir. Sonuçlar göstermektedir ki, türbülans modellerinin yer etkisi aerodinamiği hesaplamaları konusundaki başarısı irtifa ve hücum açısı ile doğrudan ilişkilidir. Türbülans modeli seçimi kanat yere çok yakın hareket edşyorken ve hücum açısı düşük ya da negatifken önemli hale gelmektedir. Elde edilen sonuçların birbirlerinden farklılığı temel olarak kanat alt yüzeyindeki basınç dağılımından kaynaklanmaktadır. Yüksek hücum açıları ve irtifalarda farklı türbülans modelleri ile elde edilen tahminler arası fark ihmal edilebilir düzeyde kalmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Zemin Etkisi, Kare Kanat, Aerodinamik, HAD, Türbülans modelleri, RANS.

1. Introduction

Operating in the vicinity of the ground provides several benefits to the objects by enhancing the aerodynamic lift and efficiency. This advantage makes the ground effect an important phenomena for various present or experimental practical applications.

Many researchers have been dealing with the ground effect aerodynamics for several years with the aim of understanding the flow physics of the ground effect or to obtaining the best performance from it. Zerihan and Zhang (2012) carried out experimental wind tunnel measurement to analyze the performance of a single element wing close ground proximity. He et al. (2014) performed shape optimization of NACA4412 in order to evaluate the performance in WIG craft applications. Jia et al. (2016) numerically investigated the aerodynamics of a banked wing in ground effect. They studied different configurations like the use of rectangular wing, delta wing endplates, ailerons..etc. Qu et al. (2016) investigated the flow physics of a multi element wing working in ground effect. Zaheer et al. (2019) evaluated the performance of different airfoil geometries in ground effect by the aid of computational fluid dynamics (CFD). Qu et al. (2015) conducted a series of numerical analyses with 2D NACA4412 airfoil in ground for wide range of angles of attack. Ozden et al. (2020) revealed the features of a low-aspect-ratio wing in ground effect by performing wind tunnel measurements. Nirooei (2018) conducted CFD analyses to study the aerodynamic and stability characteristics of modified NACA4412 airfoil in extreme ground effect. Lee and Han (2020) experimentally investigates the high angle of attack ground effect aerodynamics of the low-aspect ratio modified NACA0012 wing.

There are also a group of studies focused on the accuracy of the numerical simulations concerning to the ground effect aerodynamics. Schmid et al. (2009) tested different modelling approaches for the trustworthy numerical modelling of airfoils and wings in ground effect. Doig and Barber (2012) investigates different numerical features like tunnel walls and turbulence model for the numerical simulations of a 2D airfoil in ground effect. Jithin et al. (2021) evaluated the performance of different turbulence models in the numerical modelling of 2D NACA4412 airfoil in ground effect. Firooz and Gadami (2006) assessed the effect of ground boundary condition and turbulence models on the accuracy of the numerical simulation of a 2D airfoil concerning ground effect.

Present paper covers the CFD modelling of a 3D wing in ground effect using different RANS turbulence models. NACA0012 rectangular wing is used for simulations. The effect of the turbulence models on the lift predictions were provided in comparison with the available experimental data from the literature. Pressure distributions are also investigated to analyze the discrepancy between the results.

2. Material and Method

In this study, the flow over a 3D rectangular wing with NACA0012 section was investigated with the aid of CFD. The main dimensions of the wing is given in table 1. A commercial Navier-Stokes solver, Simcenter Star-CCM+ was utilized in the calculations. The solution numerical configuration is similar to the experimental work of Moore et al.(Moore, Wilson, & Peters,

2002) for validation purposes. The computations were carried out in a Cartesian coordinate system with the center on $c/3$ and positive $-x$ axes pointing flow direction.

Table 1. The main dimensions of the wing

Chord, c	0.317 m.
Span, s	0.96 m.
Aspect Ratio, AR	3.02 m.
Area , A	0.303 m ²

The wing is located at $10c$ from the inlet, $20c$ from the outlet boundary and $3.3c$ from the sidewalls. The distance from the bottom wall (ground height) was equal to $h/c=0.1$ and $h/c=0.3$. The angle of attack (AoA) for each wing height was varying in the range of $-3^\circ < \alpha < 5^\circ$. The geometrical description of the problem is shown in fig.1. Uniform velocity condition is applied to the inflow boundary. No-slip boundary condition was applied to the wing surface, while the ground was treated as moving wall, for better representation of the real flow physics (Schmid et al., 2009). The free stream velocity at the inlet is 38m/s , which corresponds to the Reynolds number of $Re=8 \times 10^5$ ($Re = Uc / \nu$, where u is free stream velocity, c is chord length and ν is kinematic viscosity)

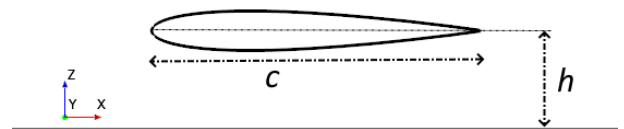


Fig. 1 Description of the problem

The solution domain was constructed using hexahedral elements. The view of the mesh structure close to the wing is given in fig.2. there are several refinement regions located around the wing and the wake region. Addition mesh refinement was applied to the region between wing and the ground to capture the high velocity and pressure gradients. Prismatic mesh layers was constructed along the wing surface for the better representation of the boundary layer. The first mesh point was located to ensure the y^+ ($y^+ = u_\tau y / \nu$, where u_τ is friction velocity and y is the height of the first mesh point) is about 30-100. The grid structure was systematically refined and the change of the lift coefficient was observed to investigate the mesh dependency of the results.

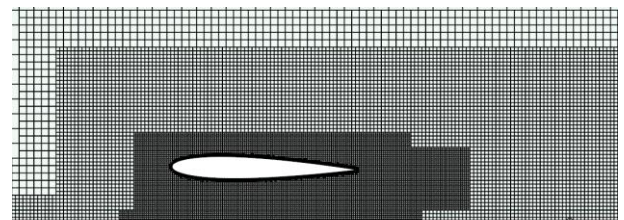


Fig. 2 Mesh structure around the wing

The solver implements finite volume method for the discretization of the governing equations. A second order scheme was applied for spatial and temporal discretization. The time step was 10^{-4} for all simulations. the details of the turbulence models can be found in the solvers manual (Siemens, 2019).

3. Results and Discussion

The flow around the wing for varying altitudes and AoAs are numerically calculated using different RANS turbulence models. In fig.3, the lift vs. AoA results for the wing height at $h/c=0.3$ are presented in comparison with the experimental data of Moore et al. (Moore et al., 2002). As can be shown in the figure, the choice of the turbulence model has no considerable influence on the lift coefficient predictions. all results are in very good agreement with the experimental data for all AoAs in the investigated range.

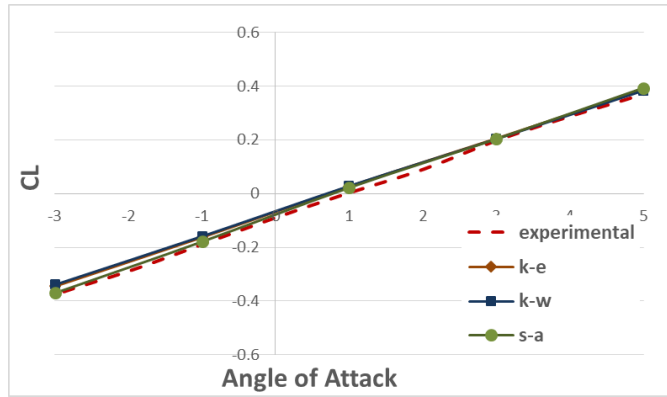


Fig. 3 Comparison of turbulence models for lift at $h/c=0.3$

For the clearer understanding of the agreement/ discrepancies between the lift force computations of different turbulence models, pressure coefficient results are depicted in comparison. Fig. 4 shows the pressure distribution along the mid-section of the wing at $h/c=0.3$ and $\alpha = 5^\circ$. The figure shows a typical pressure distribution of a positive lift generating foil: higher pressure at the lower surface. The similarity between the lift calculations of different models can be also seen in the pressure predictions.

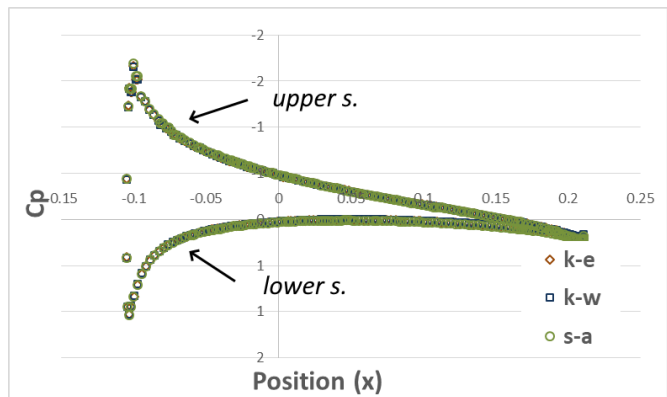


Fig. 4 Pressure distribution along the wing at $h/c=0.3$ and $a=5$

Same pressure coefficient calculations in fig.4 are also investigated for a negative AoA. Fig.5 gives the pressure distribution along the mid-section of the wing at $h/c=0.3$ and $\alpha = -3^\circ$. The predictions of different models are still similar, but the pressure balance along the wing changes for the negative AoA. The pressure coefficients along the lower surface of the wing are higher compared to those of upper surface. Thus, for this scenario, the wing generates negative lift.

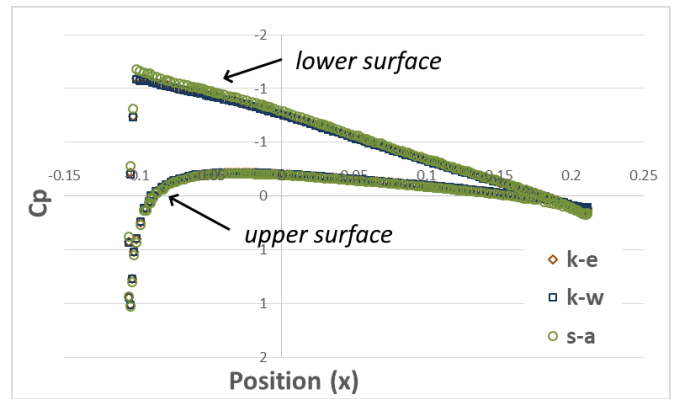


Fig.5 Pressure distribution along the wing at $h/c=0.3$ and $a=-3$

The lift calculation results in the fig.3 are repeated for a lower wing height. In fig.6, the lift vs. AoA results for the wing height at $h/c=0.1$ are presented in comparison with the experimental data. The lift force predictions of different turbulence models are not in agreement for this case. The discrepancy between the results become notable as the AoA decreases. Among the three, Spalart-Allmaras turbulence model produces lowest lift coefficient values for all AoAs, while $\kappa - \omega$ SST model produces the highest ones. Realizable $\kappa - \epsilon$ model seems to provide the best performance in the manner of the agreement with the experimental data.

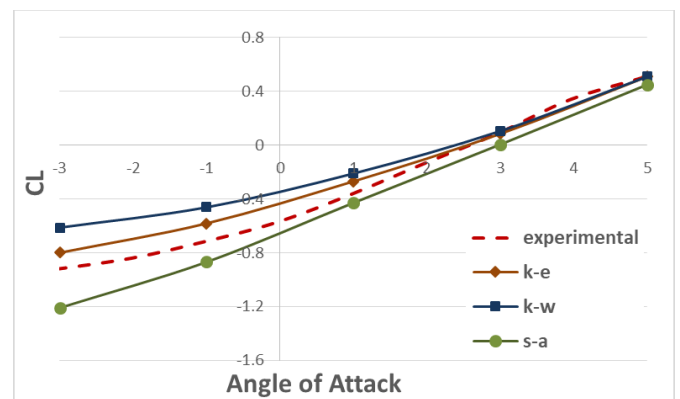


Fig. 6 Comparison of turbulence models for lift at $h/c=0.1$

The pressure distribution along the wing is provided to seek for the ground of the discrepancy between turbulence model predictions. Fig. 7 shows the pressure results for $h/c=0.1$ and . For this high AoA, the calculated pressure coefficients do not show a considerable difference as in the lift results in fig.6. As seen from the figure, near the trailing edge pressure values at the lower surface become comparable to those of upper surface. However, in the first half of the chord length in the stream-wise direction, the pressure values along the lower surface are higher due to the air cushion effect of the close ground proximity.

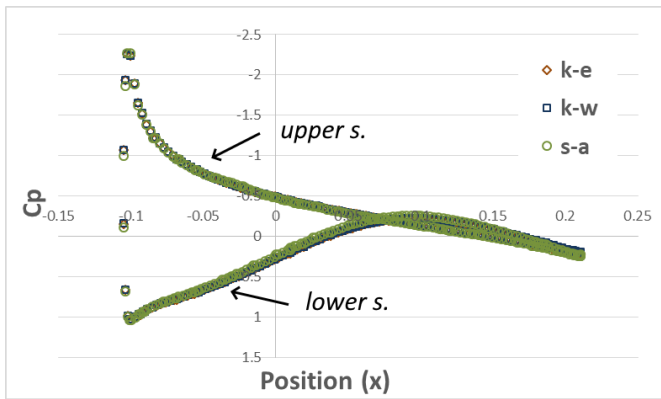


Fig. 7 Pressure distribution along the wing at $h/c=0.1$ and $a=5$

Fig.8 gives the pressure distribution along the mid-section of the wing at $h/c=0.1$ and $\alpha = -3^\circ$. For this case, the difference between the calculated pressure coefficient results are notable. In general, lower surface of the wing produces higher pressure values compared to those of upper surface, thus the wing generates negative lift. All turbulence models captures this behaviour in success. The magnitude of the calculated peak pressure values in the lower surface are in agreement with the amount of the discrepancy of the lift values in fig.6. There are no significant difference between the pressure coefficients along the upper surface.

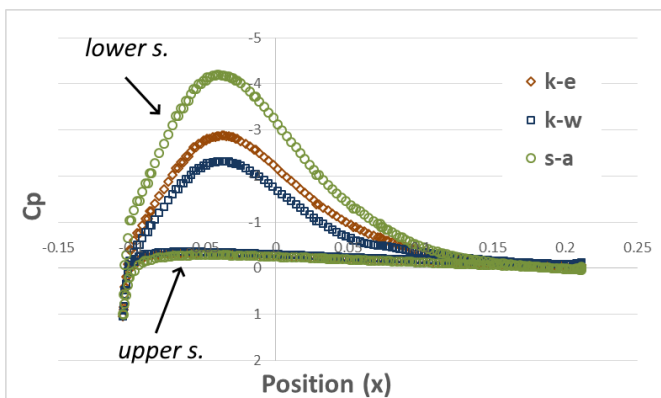


Fig. 8 Pressure distribution along the wing at $h/c=0.3$ and $a= -3$

4. Conclusions and Recommendations

Present paper aims to investigate the effect of the turbulence model choice on the numerical accuracy of the ground effect aerodynamics calculations of a rectangular wing. The flow around the 3D wing with a NACA0012 cross section is numerically modelled using three different turbulence models which are realizable $\kappa - \epsilon$, $\kappa - \omega$ SST and Spalart-Allmaras models. Two different ground height is tested as $h/c=0.1$ and $h/c=0.3$, while the AoA is varying in the range of $-3^\circ < \alpha < 5^\circ$.

The results show that the effect of the turbulence models on the accuracy of the numerical results are depending on the wing height and the AoA. All turbulence models provides very close results for high ($h/c=0.3$) altitude. However, when the wing height is low, there is a discrepancy between the results of the different turbulence models and this discrepancy becomes notable as the AoA decreases. Realizable $\kappa - \epsilon$ performs slightly better than the others in negative AoAs. It is also seen that, the difference

between the pressure calculations on the lower surface of the wing results in the discrepancy in the lift predictions.

References

- Doig, G., & Barber, T. J. (2012). Considerations for Numerical Modeling of Inverted Wings in Ground Effect. *AIAA Journal*, 49(10), 2330–2333. <https://doi.org/https://doi.org/10.2514/1.J051273>
- Firooz, A., & Gadami, M. (2006). Turbulence Flow for NACA 4412 in Unbounded Flow and Ground Effect with Different Turbulence Models and Two Ground Conditions : Fixed and Moving Ground Conditions. *Int. Conference on Boundary and Interior Layers*.
- He, Y., Qu, Q., & Agarwal, R. K. (2014). Shape optimization of an airfoil in ground effect for application to WIG craft. *Journal of Aerodynamics*, 2014. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2014/931232>
- Jia, Q., Yang, W., & Yang, Z. (2016). Numerical study on aerodynamics of banked wing in ground effect. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 8(2), 209–217. <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2016.03.001>
- Jithin, P. N., & Arumugham-Achari, A. K. (2021). Shape Optimisation of NACA4412 In-Ground Effect- Selection of a Turbulence Model. *ASME 2021 Fluids Engineering Division Summer Meeting*, 1. <https://doi.org/https://doi.org/10.1115/FEDSM2021-65600>
- Lee, S. H., & Han, Y. O. (2020). Experimental Investigation of High-Angle-of-Attack Aerodynamics of Low-Aspect-Ratio Rectangular Wings Configured with NACA0012 Airfoil Section. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, 21(2), 303–314. <https://doi.org/10.1007/S42405-019-00215-Z/FIGURES/15>
- Moore, N., Wilson, P. A., & Peters, A. J. (2002). An investigation into wing in ground effect aerofoil geometry. In *RTO-MP-095; NATO RTO.11; NATO RTO* (p. 20). Washington DC, USA.
- Nirooei, M. (2018). Aerodynamic and static stability characteristics of airfoils in extreme ground effect. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 232(6), 1134–1148. <https://doi.org/10.1177/0954410017708212>
- Ozden, K. S., Karasu, I., & Genc, M. S. (2020). Experimental investigation of the ground effect on a wing without/with trailing edge flap. *Fluid Dynamics Research*, 52(4), 045504. <https://doi.org/10.1088/1873-7005/ABA1D8>
- Qu, Q., Ju, B., Huang, L., Liu, P., & Agarwal, R. K. (2016). Flow physics of a multi-element airfoil in ground effect. *54th AIAA Aerospace Sciences Meeting*, 0(January), 1–16. <https://doi.org/10.2514/6.2016-0856>
- Qu, Q., Wang, W., Liu, P., & Agarwal, R. K. (2015). Airfoil Aerodynamics in Ground Effect for Wide Range of Angles of Attack. *AIAA Journal*, 53(4), 1048–1061. <https://doi.org/10.2514/1.J053366>
- Schmid, S., Lutz, T., & Krämer, E. (2009). Impact of Modelling Approaches on the Prediction of Ground Effect Aerodynamics. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 3(3), 419–429. <https://doi.org/10.1080/19942060.2009.11015280>
- Siemens. (2019). *Star-CCM+ User Guide version 14.02*.
- Zaheer, Z., Reby Roy, K. E., Nair, G. S., Ragipathi, V., & Niranjana, U. V. (2019). CFD analysis of the performance of different airfoils in ground effect. *Journal of Physics:*

Conference Series, 1355(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1355/1/012006>

Zerihan, J., & Zhang, X. (2012). Aerodynamics of a Single Element Wing in Ground Effect. *Journal of Aircraft*, 37(6), 1058–1064. <https://doi.org/https://doi.org/10.2514/2.2711>



Performance Analysis of Air Fuel Heating Effects on Cogeneration Cycles

Rabi Karaali*¹, Arzu Keven²

^{1*} Bayburt University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Bayburt, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2193-3411), rabikar@gmail.com

² Kocaeli University, Golcuk Vocational High School, Department of Vehicle and Transport Technology, Kocaeli, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0040-9167), arzu.keven@kocaeli.edu.tr

(4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, November 10 - 13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1199414)

ATIF/REFERENCE: Karaali, R. & Keven, A. (2022). Performance Analysis of Air Fuel Heating Effects on Cogeneration Cycles. *European Journal of Science and Technology*, (43), 91-96.

Abstract

The electrical energy consumption is increasing in our country and in the world. The electrical energy and heat energy are primary energies and has a vital role on industry and our lives. The production of these two energies in different cycles leads to energy loss and low efficiency. With the production of both in the same cycle, the efficiency increases a lot, and the energy losses and emission values decrease a lot. By installing cogeneration system to produce electrical and heat energy, the energy consumption costs can be reduced importantly. The cycle in which the fuel and the air entering into combustion chamber is heated by the heat taken from the exhaust gases at the outlet of the gas turbine is analyzed by using exergy analysis method and, first and second laws of thermodynamics. The heat energy remained in the exhaust gases are used to produce in steam production, after some heat energy is consumed to heat the air and the fuel, in this cycle. The performance analysis of the devices that make up the cycle such as turbine, recuperator compressor, combustion chamber, and heat exchanger and for the whole cycle and were obtained and discussed. Exergy efficiency, exergy losses and other performance parameters of the devices were obtained and discussed.

Keywords: Cogeneration, Exergy, Air fuel heating.

Hava Yakıt Isıtmanın Kojenerasyon Çevrimleri Üzerindeki Etkilerinin Performans Analizi

Öz

Ülkemizde ve dünyada elektrik enerjisi tüketimi giderek artmaktadır. Elektrik enerjisi ve ısı enerjisi birincil enerjilerdir ve endüstride ve hayatımızda hayati bir role sahiptir. Bu iki enerjinin farklı döngülerde üretilmesi, enerji kaybına ve verimin düşmesine neden olur. Her ikisinin de aynı çevrimde üretilmesi ile verim çok artar, enerji kayıpları ve emisyon değerleri çok azalır. Elektrik ve ısı enerjisi üretmek için kojenerasyon sistemi kurularak, enerji tüketim maliyetleri önemli ölçüde azaltılabilir. Gaz türbini çıkışında egzoz gazlarından alınan ısı ile yanma odasına giren yakıtın ve havanın ısıtıldığı çevrim, ekserji analizi yöntemi ve termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları kullanılarak analiz edilmiştir. Egzoz gazlarında kalan ısı enerjisi, bu çevrimde havayı ve yakıtı ısıtmak için bir miktar ısı enerjisi tüketildikten sonra buhar üretiminde kullanılır. Türbin, reküperatör kompresör, yanma odası, ısı eşanjörü gibi çevrimi oluşturan cihazların ve tüm çevrim için performans analizleri elde edilmiş ve tartışılmıştır. Cihazların ekserji verimi, ekserji kayıpları ve diğer performans parametreleri elde edilmiş ve tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kojenerasyon, Ekserji, Hava yakıt ısıtma.

1. Introduction

In the conventional system, there is heat generation in two separate systems to produce power and heat. In the cogeneration system, on the other hand, the heat produced with the help of a single heat generation system is first produced with electrical energy with the energy carrier fluid, and the remaining heat energy is used for steam or hot water production. In this case, while the total energy efficiency of the classical (conventional) system is around 58%, the energy efficiency of the cogeneration plant can reach up to 90%. If these two situations are compared, it is seen that there is an opportunity to benefit from the energy of the fuel approximately 30% more in the cogeneration plant. In addition, operating and initial investment costs of the system can be significantly reduced when a cogeneration facility is installed in systems that need heat and electrical energy at the same time. Cogeneration systems; It can be classified as central use plant systems, industrial systems and small systems. However, the characteristics of all three are different and in some applications one can replace the other. Central-use plant systems and industrial systems have been available for many years, and today the main trend, orientation and development is in small systems (ASHRAE, 2000; Karaali and Öztürk, 2015; Peters et al., 2003).

The main engine's characteristics are the gas turbine, like working method, and efficiency affect the properties, the working conditions of the overall cycle. It is possible to classify according to the working methods of this cycles as gas-steam turbine combined cogeneration cycles, gas turbine cogeneration cycles, steam turbine cogeneration cycles, fuel cells and motorized cogeneration cycles. Adding a steam turbine to the cycle for using the exhaust heat coming from the gas turbine the combined (gas-steam) cogeneration systems, can be obtained. If the steam is in the state of low pressure, it is used a process. By adding a second combustion chamber, the combined system can provide very flexible electricity to heat ratio (ASHRAE, 2000; Karaali and Öztürk, 2015; Peters et al., 2003).

In the motorized cogeneration plants, it can be produced steam from the exhaust gases at around 300 – 550 °C, and overall efficiency about 75–92% can be obtained. For this plant, advantages like low facility costs, high electrical efficiency, short operating and interruption times for maintenance-repair, and low heat rates, can be said. It is possible to benefit from energy at a higher rate by converting the large-scale conventional power plants, which are common in our country, to combined heat-power systems. Karaali and Öztürk (2015) designed the case of converting an existing conventional power plant to a cogeneration system for district heating and examined the thermodynamic and economic feasibility of this alternative situation, and their results were calculated of both energies saving and the environmental effect, and economic feasibility. compared with the current system. With this conversion, it has been seen that the country's resources can be saved with a clean environment and less dependence on natural gas. It has been shown that if the facility established to generate electricity is converted into a cogeneration facility and a very small amount of electricity generation is given up, district heating can be made and its efficiency will increase. The investment costs required for this return within a year and it is seen that the investment is profitable (Karaali and Öztürk, 2015; Bejan et al., 1996; Horlock, 1997).

In fuel cells, electricity is produced as a result of the electrochemical reaction of fuel (Hydrogen or Methane) and oxygen in a fuel cell (around 280 °C), and heating etc. from low temperature wastes. It is possible to use it as a heat source for processes such as in these systems, the electrical energy production efficiency can be over 75% and the cogeneration efficiency can be over 90%. When these advantages mentioned in such facilities are evaluated, a significant amount of energy savings can be achieved with a more economical energy production. In addition, less environmental pollution is created and the amount of CO₂ released into the atmosphere is at lower levels.

Due to the emergence of more heat and power needs in 1980s, gas turbine cogeneration cycles have become widespread in the world and many studies have been carried out and published by many researchers on their exergy analysis since the early 1980s. Changing heat and electricity needs have increased the interest in gas turbine plants, and the widespread use of natural gas due to its advantages over other fuels, this interest has come to this day. Injection steam in a combustion chamber started in the 1950s in order to reduce the combustion chamber exit temperature and increase the work force obtained, and it continues to be applied today because it reduces NO_x and its compounds to a minimum level and improves efficiency (Karaali and Öztürk, 2010; Jaluria, 2008)

2. Material and Method

A gas turbine cogeneration system's main device is the gas turbine. It can be seen in figure 1, air is pressured in a compressor, after that it is burned with the fuel in a combustion chamber. Exhaust gases at high temperatures are produced at the outlet of the combustion chamber give some of its energy in the turbine to produce electricity by the generator. After that, most of its heat energy passes to the water in the HRSG. By that way, electrical energy from the generator and steam or hot water from the HRSG is obtained at the same time.

The steam or hot water are used in drying, heating, or for the process heat needs. Also, the steam or the hot water are used sometimes for district heating, electricity production by using steam turbines, absorption cooling, or other needs. By using and adding some components like steam or water injection, heat exchangers, recuperator, steam turbine added to the main machine, or absorption cooling different systems can be obtained. Also, by using different fluids like CO₂ as the working fluid, different cycles can be obtained.

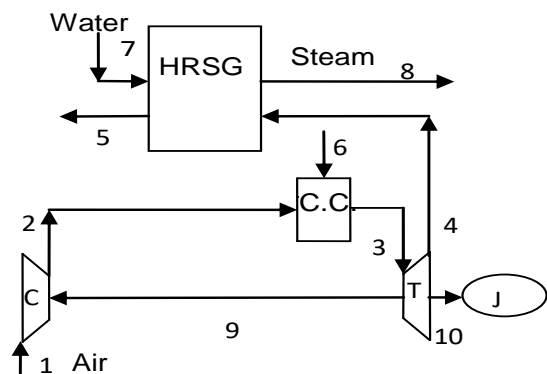


Fig. 1 The diagram of the basic (bsc) cogeneration system.

In Figure 2, air fuel heating (afh) cogeneration plants is shown. In that system, some of the heats are used to heat the air and the fuel, and the other heats are used to produce steam. Cogeneration plants consist some different components and temperature, chemical composition and pressure changes happen in those components. Also, in the combustion chamber a chemical reaction are obtained.

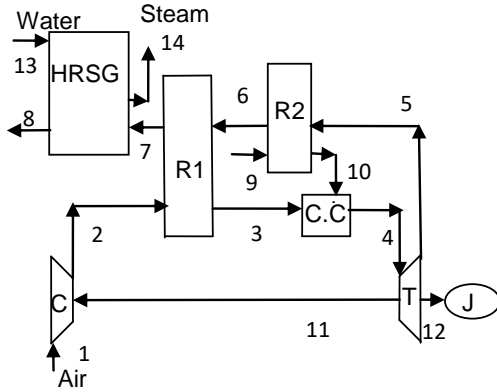


Fig. 2 The diagram of the air fuel heating (afh) cogeneration system.

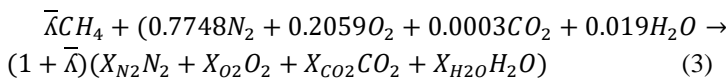
Assumptions made in the calculations and in the analysis of the system in this study are as follows (Bejan et al., 1996). The system works in the continuous regime, the laws of ideal gas mixture are applied to exhaust and air. The fuel is Methane, and that taken as ideal gas. Also, combustion is complete, there are no NOx formation. There is no heat loss except from the combustion chamber and are 2% upper calorific value of the fuel. An open system that the properties of the matter is uniformly distributed in each area of the control surface where there is a mass exchange, and the heat and the work exchanges is not change over time which are called continuous flow continuous open. For open system and steady state, the first law of thermodynamics,

$$\dot{Q}_{KH} - \dot{W}_{KH} + \sum_g \dot{m}_g \left(h_g + \frac{v_g^2}{2} + gz_g \right) - \sum_c \dot{m}_c \left(h_c + \frac{v_c^2}{2} + gz_c \right) = 0 \quad (1)$$

In steady state, the law of conservation of mass is,

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_c \quad (2)$$

In combustion the chemical energies are converted into thermal energy. For this study it is assumed that the combustion reaction takes place ideally and completely. It is also assumed that the natural gas is methane gas to simplify the calculations. the following chemical reaction is taken as a basis,



The minimum mass of air required to complete theoretical combustion is called the stoichiometric amount of air. However, for complete combustion more air than the theoretical amount of air is always used. The excess air coefficient is the ratio of the actual amount of air to the theoretical amount of air (Bejan et al., 1996; Horlock, 1997).

In table 1, energy, entropy and mass equations of the devices of the air fuel heating (afh) system are given.

In table 2, exergy efficiency, and exergy equations of the devices of the air fuel heating (afh) system are given.

Table 1. Energy, entropy and mass equations of the devices of the air fuel heating (afh) system (Bejan et al., 1996; Moran et al., 2000; Horlock, 1997; Peters et al., 2003).

Component	Mass Equation	Energy Equation	Entropy Equation
Compressor	$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$	$\dot{m}_1 h_1 + \dot{W}_C = \dot{m}_2 h_2$	$\dot{m}_1 s_1 - \dot{m}_2 s_2 + \dot{S}_{gen,C} = 0$
Recuperator1	$\dot{m}_2 = \dot{m}_3$ $\dot{m}_6 = \dot{m}_7$	$\dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_6 h_6 = \dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_7 h_7$	$\dot{m}_2 s_2 + \dot{m}_6 s_6 - \dot{m}_3 s_3 - \dot{m}_7 s_7 + \dot{S}_{gen,R1} = 0$
Recuperator2	$\dot{m}_5 = \dot{m}_6$ $\dot{m}_9 = \dot{m}_{10}$	$\dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_9 h_9 = \dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_{10} h_{10}$	$\dot{m}_5 s_5 + \dot{m}_9 s_9 - \dot{m}_6 s_6 - \dot{m}_{10} s_{10} + \dot{S}_{gen,R2} = 0$
Combustion Chamber	$\dot{m}_3 + \dot{m}_{10} = \dot{m}_4$	$\dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_{10} h_{10} = \dot{m}_4 h_4 + 0.02 \dot{m}_{10} LHV$	$\dot{m}_3 s_3 + \dot{m}_{10} s_{10} - \dot{m}_4 s_4 + \dot{S}_{gen,CC} = 0$
Turbine	$\dot{m}_4 = \dot{m}_5$	$\dot{m}_4 h_4 = \dot{W}_T + \dot{W}_C + \dot{m}_5 h_5$	$\dot{m}_4 s_4 - \dot{m}_5 s_5 + \dot{S}_{gen,T} = 0$
HRSG	$\dot{m}_7 = \dot{m}_8$ $\dot{m}_{13} = \dot{m}_{14}$	$\dot{m}_7 h_7 + \dot{m}_{13} h_{13} = \dot{m}_8 h_8 + \dot{m}_{14} h_{14}$	$\dot{m}_7 s_7 + \dot{m}_{13} s_{13} - \dot{m}_8 s_8 - \dot{m}_{14} s_{14} + \dot{S}_{gen,HRSG} = 0$
Overall Cycle		$\bar{h}_i = f(T_i)$ $\bar{s}_i = f(T_i, P_i)$ $\dot{m}_{air} h_{air} + \dot{m}_{fuel} LHV_{CH_4} - \dot{Q}_{Loss,CC} - \dot{m}_{eg,out} h_{eg,out} - \dot{W}_T - \dot{m}_{steam} (h_{water,in} - h_{steam,out}) = 0$ $\dot{Q}_{Loss,CC} = 0.02 \dot{m}_{fuel} LHV_{CH_4}$	

Exergy or availability are theoretical maximum value of the useful work. Which can be obtained if equilibrium with the environment is achieved at the end of a reversible process. It has two components, chemical and physical. The perfect gas mixtures physical exergy can be written in molar terms for mixed substances,

$$e_{phy} = (\bar{h} - \bar{h}_0)_{mix} - T_0 \cdot (s - s_0)_{mix} = \sum_i x_i \left[\int_{T_0}^T \bar{c}_{poi}(T) dT - T_0 \cdot \left(\int_{T_0}^T \frac{\bar{c}_{poi}(T)}{T} dT - \bar{R} \ln \frac{P_i}{P_0} \right) \right] \quad (4)$$

The chemical exergies are maximum useful works which can be obtained when a substance in the reference state (T_0, P_0) becomes thermodynamic equilibrium in terms of chemical composition with its surroundings (Bejan et al., 1996; Horlock, 1997).

The chemical exergy of the gas mixtures is,

$$\bar{e}_{chem,mix} = \sum_i x_i \cdot \bar{e}_{chem,i} + \bar{R} \cdot T_0 \cdot \sum_i x_i \cdot \ln x_i \quad (5)$$

Thus, the total exergy of a flow or control mass can be written as

$$\bar{E} = \bar{E}_{phy} + \bar{E}_{chem} \quad (6)$$

Table 2. Exergy equations, and exergy efficiency equations of the devices of the air fuel heating (afh) cycle (Bejan et al., 1996; Moran et al., 2000; Horlock, 1997; Peters et al., 2003).

Component	Exergy Equation	Exergy Efficiency
Compressor	$\dot{E}_{D,C} = \dot{E}_1 + \dot{W}_C - \dot{E}_2$	$\eta_{ex,C} = \frac{\dot{E}_{out,C} - \dot{E}_{in,C}}{\dot{W}_C}$
Recuperator1	$\dot{E}_{D,R1} = \dot{E}_2 + \dot{E}_6 - \dot{E}_3 - \dot{E}_7$	$\eta_{ex,R1} = \frac{\dot{E}_{out,air,R1} - \dot{E}_{in,air,R1}}{\dot{E}_{out,exhaust,R1} - \dot{E}_{in,exhaust,R1}}$
Recuperator2	$\dot{E}_{D,R2} = \dot{E}_5 + \dot{E}_9 - \dot{E}_6 - \dot{E}_{10}$	$\eta_{ex,R2} = \frac{\dot{E}_{out,air,R2} - \dot{E}_{in,air,R2}}{\dot{E}_{out,exhaust,R2} - \dot{E}_{in,exhaust,R2}}$
Combustion Chamber	$\dot{E}_{D,CC} = \dot{E}_3 + \dot{E}_{10} - \dot{E}_4$	$\eta_{ex,CC} = \frac{\dot{E}_{out,CC}}{\dot{E}_{in,CC} + \dot{E}_{fuel}}$
Turbine	$\dot{E}_{D,T} = \dot{E}_4 - \dot{E}_5 - \dot{W}_C - \dot{W}_T$	$\eta_{ex,T} = \frac{\dot{W}_{net,T} + \dot{W}_C}{\dot{E}_{in,T} - \dot{E}_{out,T}}$
HRSG	$\dot{E}_{D,HRSG} = \dot{E}_7 - \dot{E}_8 + \dot{E}_{13} - \dot{E}_{14}$	$\eta_{ex,HRSG} = \frac{\dot{E}_{steam,HRSG} - \dot{E}_{water,HRSG}}{\dot{E}_{in,exhaust,HRSG} - \dot{E}_{out,exhaust,HRSG}}$
Overall cycle	Exergy efficiency	$\begin{aligned} \dot{E} &= \dot{E}_{ph} + \dot{E}_{ch} \\ \dot{E}_{ph} &= \dot{m}(h - h_0 - T_0(s - s_0)) \\ \dot{E}_{ch} &= \frac{\dot{m}}{M} \left\{ \sum x_k \bar{e}_k^{ch} + \bar{R}T_0 \sum x_k \ln x_k \right\} \\ \eta_{ex} &= \frac{\dot{W}_{net,T} + (\dot{E}_{steam,HRSG} - \dot{E}_{water,HRSG})}{\dot{E}_{fuel}} \end{aligned}$

Exergy equation for open systems which input and output mass quantities are equal to each other is,

$$\sum_i \dot{m}_i h_i - \sum_i T_0 \dot{S}_i - \sum_j \dot{m}_j h_j + \sum_j T_0 \dot{S}_j + \sum \dot{Q}_k - \sum \dot{Q}_k \frac{T_0}{T_k} - \dot{W} = \dot{E}_{loss} \quad (7)$$

3. Results and Discussion

In figure 3, variation of exergy efficiency and electrical efficiency of the air fuel heating (afh) and basic (bsc) cogeneration systems with compressing ratio are given. As can be seen that the air fuel heating (afh) cycle has higher efficiency than the basic (bsc) one approximately 9%. Also, the air fuel heating (afh) cycle has higher electrical efficiency than the basic (bsc) one approximately 21%.

In figure 4, variation of exergy efficiency of the air fuel heating (afh) cogeneration plant with excess air rates for different compression ratio are given. It is concluded those, increasing

excess air rates affect increases in the exergy efficiency of the air fuel heating (afh) about 25%. Also, increasing the compression ratio have an effect on increasing the exergy efficiency of the air fuel heating (afh) about 13%.

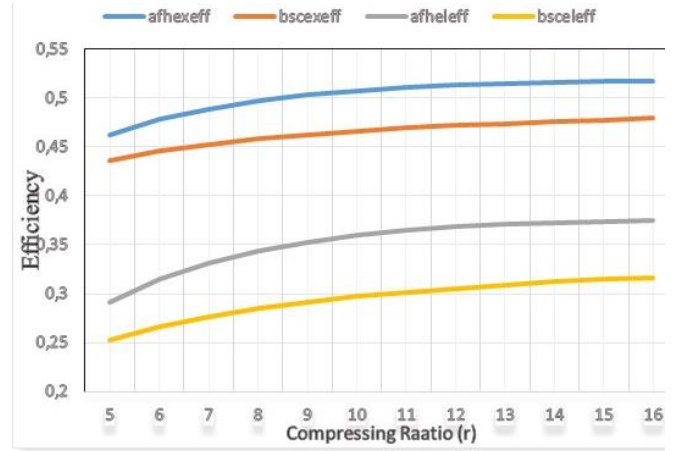


Fig. 3 Variation of exergy efficiency and electrical efficiency of the air fuel heating (afh) and basic (bsc) cogeneration systems with compressing ratio.

In figure 5, variation of efficiencies of the compressor, the combustion chamber, the turbine, and the HRSG of the air fuel heating (afh) system with compression ratio are given. An increase in the compression ratio results an increase in the efficiency of the compressor about 1.7%, the recuperator about 17%, the combustion chamber about 2%, and the (heat exchanger) HRSG about 4.4% for the afh cycle. But, increasing the compression ratio decreases the efficiency of the turbine about 3.6%.

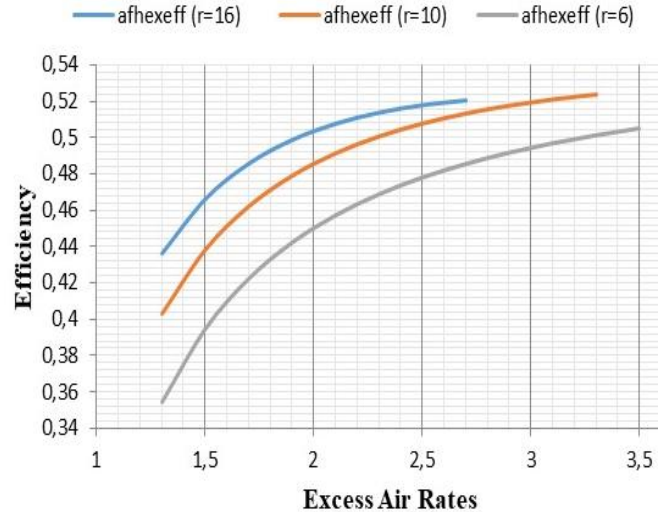


Fig. 4 Variation of exergy efficiency of the air fuel heating (afh) cogeneration system with excess air rates for different compression ratio.

In figure 6, variation of exergy efficiency of the air fuel heating (afh) cogeneration system with excess air rates for different ambient temperatures are given. As concluded that, increasing the excess air rates of the afh cogeneration system increases the exergy efficiency about 30%. Decreasing the excess

air ambient temperatures increases the exergy efficiency about 1%.

In figure 7, variation of electrical efficiency of the air fuel heating (afh) cogeneration system with excess air rates for different ambient temperatures. That is seen, the electrical efficiency of the afh cogeneration plant increases with the excess air rates about 85%. Also, decreasing the excess air ambient temperatures from 308 K to 288K increases the electrical efficiency about 7%.

In figure 8, variation of efficiency of the compressor of the air fuel heating (afh) cogeneration system with excess air rates for different ambient temperatures are given. It is concluded this, increasing the excess air rates do not have a real effect on the efficiency of the compressor. However, an increasing in the inlet air temperature cause an increase in the efficiency of the compressor. But decreases the overall cycle exergy efficiency. The reason is, an increase in inlet air temperature cause an increase in compressor work which decreases the turbine work and electricity obtained.

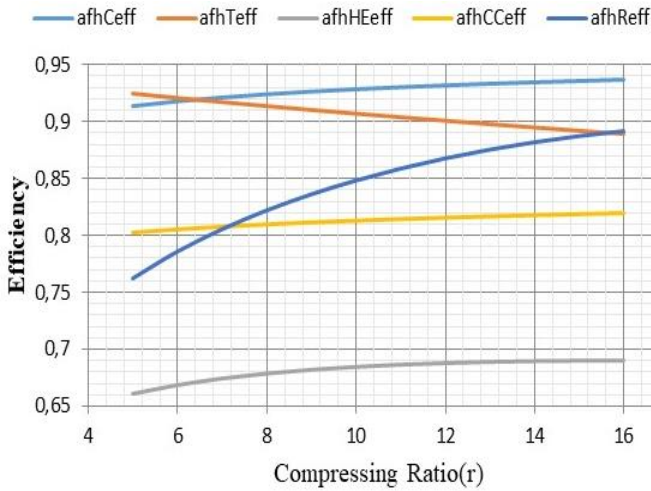


Fig. 5 Variation of efficiencies of the compressor, the turbine, the combustion chamber and the heat recovery steam generator of the air fuel heating (afh) system with compression ratio

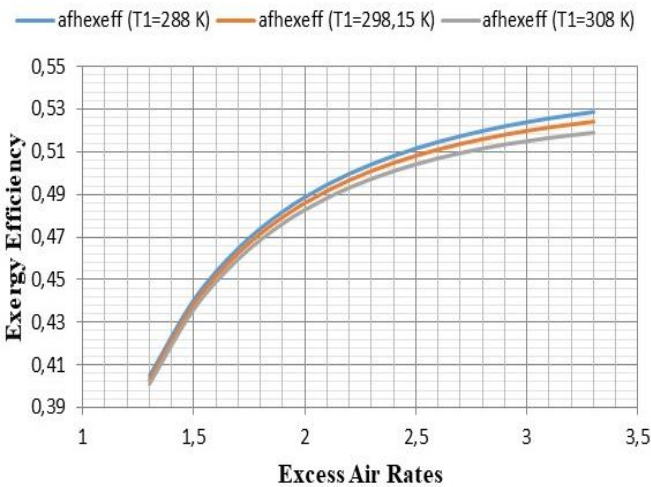


Fig. 6 Variation of exergy efficiency of the air fuel heating (afh) cogeneration system with excess air rates for different ambient temperatures.

In figure 9, variation of efficiency of the turbine of the air fuel heating (afh) cogeneration system with excess air rates for different ambient temperatures are given. It is concluded those, an increase in excess air rates affects an increase in the efficiency of turbine about 12%. Also, decreasing the excess air ambient temperatures from 308 K to 288K increases the turbine efficiency about 0.7%.

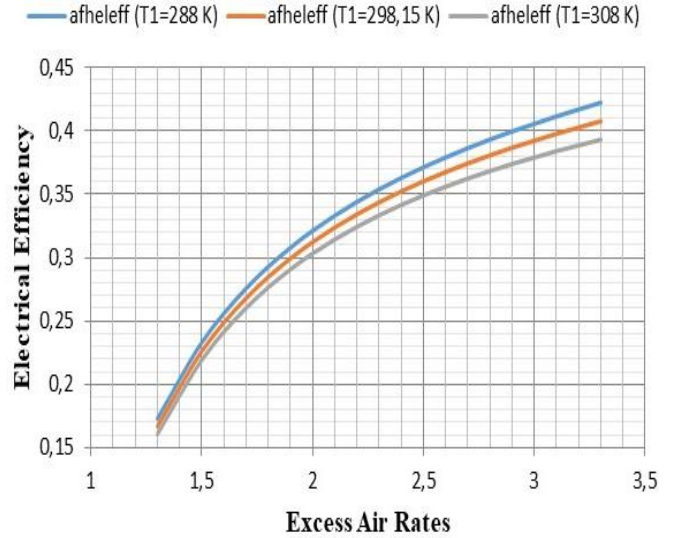


Fig. 7 Variation of electrical efficiency of the air fuel heating (afh) cogeneration system with excess air rates for different ambient temperatures.

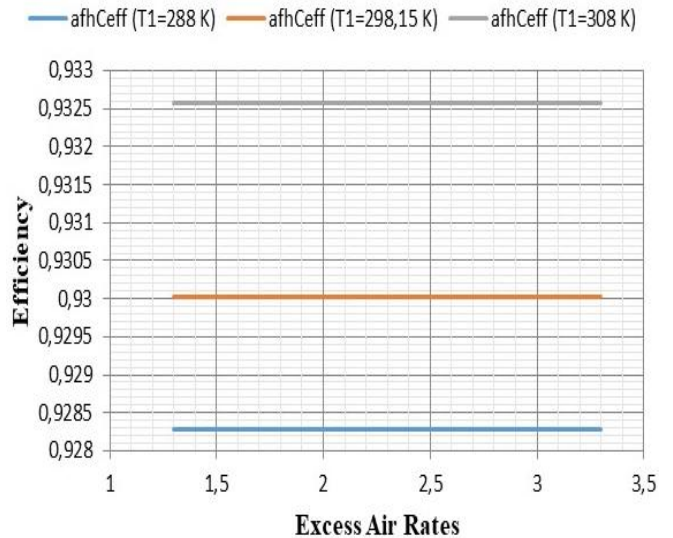


Fig. 8 Variation of efficiency of the compressor of the air fuel heating (afh) cogeneration system with excess air rates for different ambient temperatures.

In figure 10, variation of efficiency of heat exchanger of the air fuel heating (afh) cogeneration system with excess air rates for different ambient temperatures are given. That is concluded these, an increasing in excess air rates cause an increase on efficiency of heat exchanger of air fuel heating (afh) cogeneration system about 36%. Also, decreasing the excess air ambient temperatures from 308 K to 288K increases the heat exchanger efficiency about 3%.

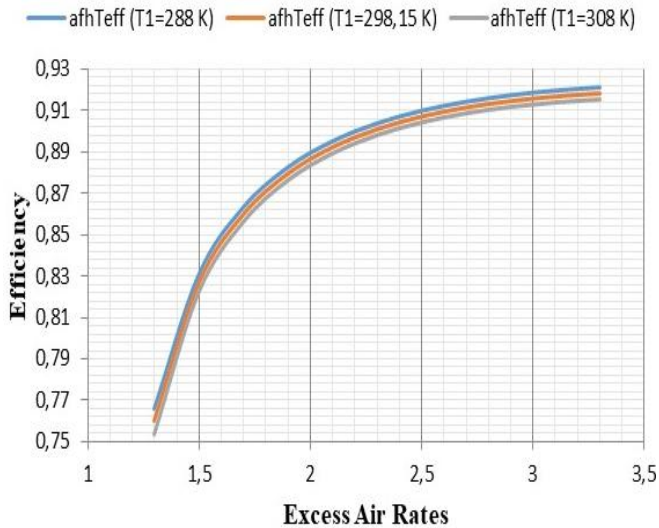


Fig. 9 Variation of efficiency of the turbine of the air fuel heating (afh) cogeneration system with excess air rates for different ambient temperatures.

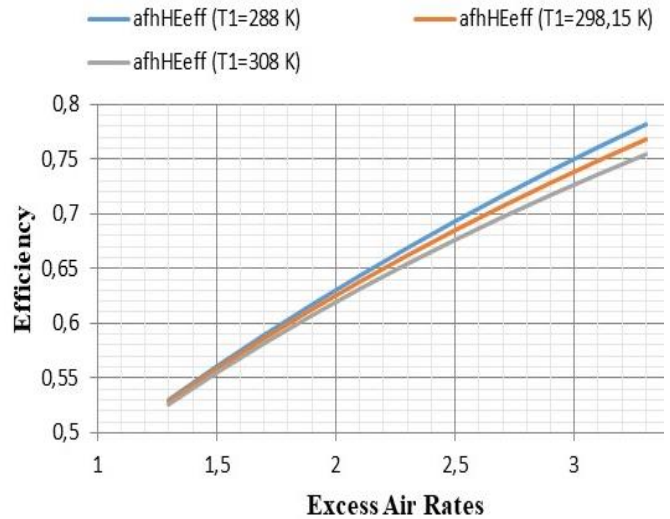


Fig. 10 Variation of efficiency of the heat exchanger of the air fuel heating (afh) cogeneration system with excess air rates for different ambient temperatures.

4. Conclusions and Recommendations

The results showed that using air fuel heating (afh) system in a basic cycle makes better than the basic one in electrical efficiency. Also, the exergy efficiency of the afh plant is higher than the bsc plant. The afh cogeneration system can be used when the electrical demand increases for production more electricity or for more efficiency. The performance like exergy efficiency, electrical efficiency and devices efficiencies are depending on excess air rates, compression ratio and atmospheric temperature, importantly. For every device of the air fuel heating (afh) and basic (bsc) cogeneration system, the energy and the exergy analyses are done. The results of the calculations are given in results section. The performance of the afh cogeneration plant is depending on compression ratio, excess air rates and atmospheric temperature. Less atmospheric temperature, more excess air rates and higher compression ratio can increase the exergy efficiency and electrical efficiency. Excess air rates and compression ratio are very effective on the exergy and electric efficiencies so that these two factors should be optimized. However, excess air rates are very effective on the efficiencies and for 2.3 value of the excess air rates gives the optimum. To obtain all optimum working conditions, a thermodynamic and thermoeconomic optimization must be studied. Also, for further studies in optimizations of the cogeneration systems can found in the literature (Jaluria, 2008; Karaali and Ozturk, 2015; Karaali and Ozturk, 2017; Tozlu, 2021).

References

ASHRAE. (2000). *Cogeneration systems and engine and turbine drives*. ASHRAE systems and equipment handbook (SI).
 Peters MS, Timmerhaus KD, West RE. (2003). *Plant design and economics for chemical engineers*. Mc Graw Hill chemical engineering series. 5th ed.
 Moran JM, Tsatsaronis G. (2000). *The CRC handbook of thermal engineering*. CRC Press LLC.
 Bejan A, Tsatsaronis G, Moran M. (1996). *Thermal design and optimization*. Wiley Pub.

Jaluria Y. (2008). *Design and optimization of thermal systems*. CRC Press.
 Horlock JH. (1997). *Cogeneration-combined heat and power (CHP)*. CRIEGER Pub.
 Karaali, R., and Ozturk, I.T. (2015). Thermoeconomic optimization of gas turbine cogeneration plants. *Energy* 80, 474-485.
 Tozlu Alperen, Gençaslan Betül, Özcan Hasan. (2021). Thermoeconomic Analysis of a Hybrid Cogeneration Plant with Use of Near-Surface Geothermal Sources in Turkey. *Renewable Energy*, vol.176, pp:237 – 250.
 Karaali, R., and Ozturk, I.T. (2015). Thermoeconomic analyses of steam injected gas turbine cogeneration cycles. *ACTA Physica Polonica A*. 128, 2B, p: B279-B281.
 Karaali, R., and Ozturk, I.T. (2017). Efficiency improvement of gas turbine cogeneration systems. *Tehnicki vjesnik - Technical Gazette*, 24, Suppl.1 p:21-27. DOI: 10.17559/TV-20140509154652
 Özahi E., Abuşoğlu A., Tozlu A. (2021). A Comparative Thermoeconomic Analysis and Optimization of Two Different Combined Cycles by Utilizing Waste Heat Source of an Mswpp. *Energy Conversion and Management*, vol.228.
 Karaali, R., and Ozturk, I.T. (2017). Effects of Ambient Conditions on Performance of Gas Turbine Cogeneration Cycles. *J. of Thermal Science and Technology*, Volume 37 No. 1, pages 93-102.
 Karaali, R., and Ozturk, I.T. (2017). Performance Analyses of Gas Turbine Cogeneration Plants. *J. of Thermal Science and Technology*, Volume 37, No. 1, pages 25-33.



Exergy Analysis of Inlet Air Absorption Cooling Effects on Basic Cogeneration Systems

Rabi Karaali*¹, Arzu Keven²

* Bayburt University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Bayburt, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2193-3411), rabikar@gmail.com

² Kocaeli University, Golcuk Vocational High School, Department of Vehicle and Transport Technology, Kocaeli, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0040-9167), arzu.keven@kocaeli.edu.tr

(4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, November 10 - 13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1199382)

ATIF/REFERENCE: Karaali, R. & Keven, A. (2022). Performance Analysis of Air Fuel Heating Effects on Cogeneration Cycles. *European Journal of Science and Technology*, (43), 97-103.

Abstract

The use of the electrical energy is increasing in our life and in the world. The electrical energy is lost in the connection lines about 11%, as it is known. By producing the electrical and the heat energy in a cogeneration system to meet the needs, it can be obtained more efficiency in the use of fuel, and that can reduce energy costs. In a cogeneration cycle, by the absorption cooling system, the air entering into the compressor is cooled, and the cooling is obtained from energy of the heat of the exhaust gases. The system in this study is analyzed by using exergy analysis method and 1. and 2. laws of thermodynamics. Some of the heat energy is consumed to cool the air, in this cycle and the remaining heat is used to produce steam. The performance analysis of the whole cycle and also the devices that make up the cycle such as compressor, combustion chamber, turbine and heat exchanger were obtained and discussed. Also exergy losses, exergy efficiency and other performance parameters of the devices were obtained and discussed. The results showed that using absorption cooling (abc) system in a basic cycle made better than the basic one in electrical efficiency. However, because of the absorption cooling (abc) system the exergy efficiency is slightly less than the basic one. The absorption cooling (abc) cogeneration system can be used when the steam demand decreases or electrical demand increases for production more electricity.

Keywords: Cogeneration, Exergy, Absorption.

Giriş Havaının Absorpsiyonlu Soğutma Etkilerinin Temel Kojenerasyon Sistemlerinde Ekserji Analizi

Öz

Elektrik enerjisinin kullanımı hayatımızda ve dünyada giderek artmaktadır. Elektrik enerjisi bilindiği gibi bağlantı hatlarında yaklaşık %11 oranında kaybolmaktadır. Bir kojenerasyon sisteminde elektrik ve ısı enerjisinin ihtiyaca cevap verecek şekilde üretilmesi ile yakıt kullanımında daha fazla verim elde edilebilir ve bu da enerji maliyetlerini azaltabilir. Bir kojenerasyon çevriminde absorpsiyonlu soğutma sistemi ile kompresöre giren hava soğutulur ve soğutma egzoz gazlarının ısısının enerjisinden elde edilir. Bu çalışmada sistem, ekserji analizi yöntemi ve termodinamiğin 1. ve 2. yasaları kullanılarak analiz edilmiştir. Bu çevrimde ısı enerjisinin bir kısmı havayı soğutmak için tüketilir ve kalan ısı buhar üretmek için kullanılır. Tüm çevrimin performans analizi ve çevrimi oluşturan kompresör, yanma odası, türbin ve ısı eşanjörü gibi cihazlar elde edilmiş ve tartışılmıştır. Ayrıca cihazların ekserji kayıpları, ekserji verimliliği ve diğer performans parametreleri elde edilmiş ve tartışılmıştır. Sonuçlar, temel bir çevrimde absorpsiyonlu soğutma (abc) sisteminin kullanılmasının, elektrik verimliliğinde temel olandan daha iyi olduğunu gösterdi. Bununla birlikte, absorpsiyonlu soğutma (abc) sistemi nedeniyle ekserji verimliliği, temel olandan biraz daha düşüktür. Absorpsiyonlu soğutma (abc) kojenerasyon sistemi, daha fazla elektrik üretimi için buhar talebi azaldığında veya elektrik talebi arttığında kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Kojenerasyon, Ekserji, Absorpsiyon.

1. Introduction

The use of electrical energy is increasing in our life and in the world. The electrical energy is lost in the connection lines about 11%, as it is known. By producing the electrical and the heat energy in a cogeneration system to meet the needs, it can be obtained more efficiency in the use of fuel, and that can reduce energy costs. By using cogeneration system, most of companies can secure to protect themselves for electricity cuts. Also, small scale companies can be used in university campuses, hotels, district heating systems, etc., (ASHRAE, 2000; Karaali, 2015).

In the industry most of the cogeneration plants are between 4 and 25 MW in size. Other cogeneration plants have more power than 25 MW or less power than 4 MW which is said micro cogeneration. That rate can be altered, month by month or on the annual average. Electrical to heat ratio is approximately 1.0, for the cogeneration plant driven by gas engine, approximately 0.6 for the cogeneration plant driven by gas turbine, and less than 0.4 for the cogeneration plant driven by steam power. The total efficiency of a cogeneration plant is the sum of the heat energy and electricity produced by the system to the fuel energy used. In a good designed cogeneration plant, the energy efficiencies are about 80–90% (Horlock, 1997). In cogeneration systems driven by gas turbine, the exhaust gases temperatures are about 850-1550 °C. Exhaust gases temperatures depends to the kind of fuel used into combustion chamber and on the compression rates. The mechanical energy obtained in the turbine, and at the outlet of the turbine the exhaust gases temperature decreases to 450-850 °C. The steam is obtained in the HRSG from the heat energy of the exhaust gas after the turbine (Karaali, 2015; Peters et al., 2003).

The first industrial gas turbines were used in industry in the 1950s and their designs were influenced by steam turbines and aerodynamic designs. In the late 1950s and early 1960s, lightweight gas turbines were modeled after aircraft engines and were used in power generation, electricity generation, and compression operations in pipelines. Industrial gas turbines are similar to steam turbines with a compression ratio of 12:1, combustion chamber outlet temperature 650-816 °C and shaft efficiency between 23-27%. In the 1970s, second generation industrial gas turbines were produced with a new approach and shaft efficiency increased to 32-37%. In these, the combustion chamber outlet temperatures have increased and the turbine blades have been made more resistant to high temperatures (Karaali, 2015; Peters et al., 2003).

Karaali and Öztürk (2015), applied some improvement methods for different situations considered for cogeneration systems. These methods of preheating the combustion air and the fuel, injecting the steam into the combustion chamber that produced from the system, and cooling inlet air. In between those methods, preheating the air and the fuel has very good electrical power performance. In addition, the combination of steam injection and preheating of fuel and air was also analyzed. With comparing and combining different improvement methods, they said that the preheating the combustion air and fuel method must be chosen for a cogeneration cycle. In case of a thermal power resource, steam injection method can be considered. For the possibility of cooling the compressor inlet air that does not bring much cost with the possibilities outside the system, it should be included into the cycle (Karaali, 2015). However, if it is possible

to inject water into inlet air of the system, absorbent cooling by using some of the heat, or otherwise, in summer working conditions, additional improvement can be possible (Karaali, 2015; Peters et al., 2003).

According to ASHRAE (2000), the altitude of the cogeneration plant to be established, the humidity of the air and the temperature of the average ambient air should be known. In order to prevent NOx formation, demineralized water up to 2% of its mass can be sprayed into the inlet air of the cycle or steam can be injected into the combustion chamber. In addition, it is possible to increase the power by injecting water vapor around 3% of its mass into the compressor outlet air (ASHRAE, 2000).

Cooling the intake air increase the mechanical power and reduces the electrical heat ratio by cooling the inlet air, the density of the air is increased, which for most turbines where the volumetric flow is constant, means increasing the incoming air mass. As a cooling method, it can be applied by injecting water particles into the incoming air (evaporative cooling), absorption cooling or cooling by mechanical means. In evaporative cooling, the density of the incoming air is increased with the injected water particles, and the cooling of the incoming air is ensured by the evaporation of these water particles. In ideal evaporative cooling, the relative humidity of the air should be close to 100% (ASHRAE, 2000; Karaali, 2015). Thus, the temperature of the dry air is reduced by 5-15%. Mechanical cooling is done by chilled water system (more expensive and larger devices), absorption cooling system or direct mechanical cooling. Cooling the inlet air of the compressor increase the mechanical power produced, and reduces the heat power. Also, cooling the inlet air extends the life of the turbine by decreasing the temperature of the exhaust gases of the outlet of the combustion chamber (Karaali, 2015; Peters et al., 2003).

Some factors affect the performance of the gas turbine cogeneration cycles. These factors are altitude, ambient temperature, ambient and turbine inlet outlet pressures. For every 10 °C increase of the inlet temperature decrease the mechanical power produced are about 9%. The increase of 300 meters in altitude decreases the mechanical power produced about 3.5%. The pressure drops of the air pressure, for each kPa in the filters, in the ducts or in the devices reduces the electrical power approximately 2% and pressure loss in the sound breaker, flow or combustion chamber, decreases the mechanical power about 1.2% (Karaali, 2015; Peters et al., 2003).

Elhanan (2006), examined the triple generation (trigeneration) by using waste exhaust gases for absorption cooling in his thermoeconomic analysis in his doctoral thesis. In the combined heat power generation system, seven different situations are considered for different compressor compression ratios (8, 10, 12) and different natural gas fuel prices (0.15, 0.20, 0.25 \$/m³) of the ammonia water-cycle absorption refrigeration system. Considering this, he calculated that the system could pay itself back in 7-9 years. In this study, no optimization was made, but thermoeconomic analysis was performed (Elhanan, 2006).

2. Material and Method

A gas turbine cogeneration system's main device is the gas turbine. It can be seen in Figure 1, air is pressured in a compressor, after that it is burned with the fuel in a combustion chamber. High

temperature exhaust gases are produced at the outlet of the combustion chamber give some of its energy in the turbine to produce electricity by the generator. After that, most of its heat energy passes to the water in the HRSG. By that way, electrical energy from the generator and steam or hot water from the HRSG is obtained at the same time.

The steam or hot water are used in drying, heating, or for the process heat needs. Also, the steam or the hot water are used sometimes for district heating, electricity production by using steam turbines, absorption cooling, or other needs. By using and adding some components like steam or water injection, heat exchangers, recuperator, steam turbine added to the main machine, or absorption cooling different systems can be obtained. Also, by using different fluids like CO₂ as the working fluid, different cycles can be obtained. In Figure 2 general diagram of the case of using absorption cooling system in the basic cogeneration system is given.

In Figure 2, the system that the air entering into the compressor is cooled by the absorption device by using and driven the heat of the exhaust is shown. In that system, some of the heats are used to cool the air, the other heats are used to produce steam.

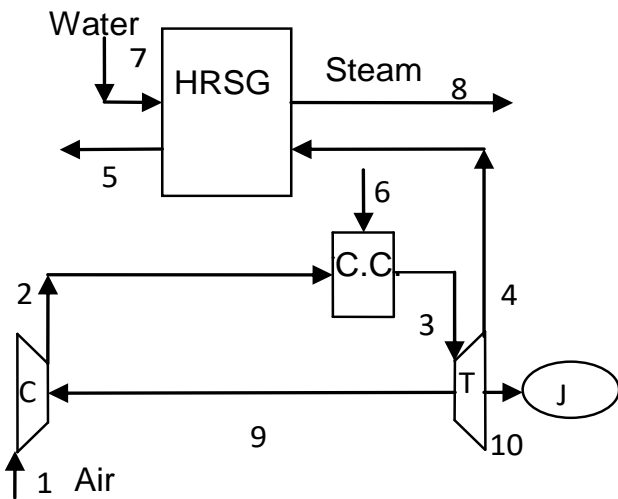


Fig. 1 The diagram of the basic cogeneration system.

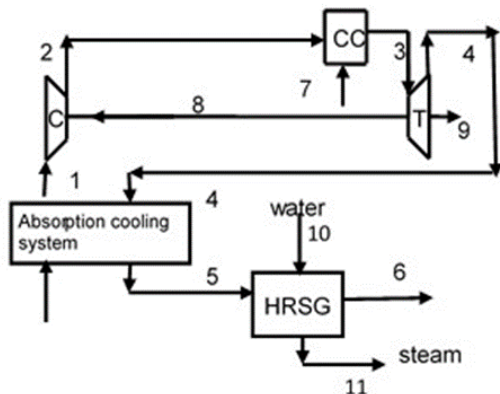


Fig. 2 General diagram of the case of using absorption cooling system in the basic cogeneration system.

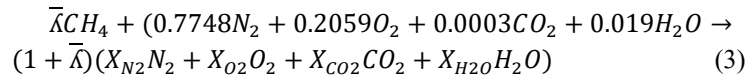
Cogeneration plants consist some different components and temperature, chemical composition and pressure changes happen in those components. Also, in the combustion chamber a chemical reaction are obtained. Assumptions made in the calculations and in the analysis of the system in this study are as follows (Moran et al., 2000; Jaluria, 2008). The system works in the continuous regime, the laws of ideal gas mixture are applied to exhaust and air. The fuel is Methane, and taken as ideal gas. Also, combustion is complete, there are no NO_x formation. There is no heat loss except from the combustion chamber and are 2% of the fuel upper calorific value. An open system that the properties of the matter is uniformly distributed in each area of the control surface where there is a mass exchange, and the heat and the work exchanges is not change over time which are defined as continuous flow continuous open. For open system and steady state, the first law of thermodynamics,

$$\dot{Q}_{KH} - \dot{W}_{KH} + \sum_g \dot{m}_g \left(h_g + \frac{v_g^2}{2} + gz_g \right) - \sum_c \dot{m}_c \left(h_c + \frac{v_c^2}{2} + gz_c \right) = 0 \quad (1)$$

In steady state, the law of conservation of mass is,

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_c \quad (2)$$

In combustion the chemical energies are converted into thermal energy. For this study it is assumed that the combustion reaction takes place ideally and completely. It is also assumed that the natural gas is methane gas to simplify the calculations. the following chemical reaction is taken as a basis,



The minimum mass of air required to complete theoretical combustion is called the stoichiometric amount of air. However, for complete combustion more air than the theoretical amount of air is always used. The excess air coefficient is the ratio of the actual amount of air to the theoretical amount of air (Moran et al., 2000; Bejan et al., 1996). Exergy or availability are theoretical maximum value of the useful work. Which can be obtained if equilibrium with the environment is achieved at the end of a reversible process. It has two components, chemical and physical. The perfect gas mixtures physical exergy can be written in molar terms for mixed substances,

$$e_{phy} = (\bar{h} - \bar{h}_0)_{mix} - T_0 \cdot (s - s_0)_{mix} = \sum_i x_i \left[\int_{T_0}^T \bar{c}_{p0i}(T) dT - T_0 \cdot \left(\int_{T_0}^T \frac{\bar{c}_{p0i}(T)}{T} dT - \bar{R} \ln \frac{P_i}{P_0} \right) \right] \quad (4)$$

The chemical exergies are maximum useful works which can be obtained when a substance in the reference state (T₀, P₀) becomes thermodynamic equilibrium in terms of chemical composition with its surroundings (Moran et al., 2000; Bejan et al., 1996). The chemical exergy of the gas mixtures is,

$$\bar{e}_{chem,mix} = \sum_i x_i \cdot \bar{e}_{chem,i} + \bar{R} \cdot T_0 \cdot \sum_i x_i \cdot \ln x_i \quad (5)$$

Thus, the total exergy of a flow or control mass can be written as

$$\bar{E} = \bar{E}_{phy} + \bar{E}_{chem}$$

(6) **3. Results and Discussion**

Table 1. The energy, the entropy and the mass equations of the devices of the absorption cooling (abc) system (Moran et al., 2000; Bejan et al., 1996; Horlock, 1997).

Component	Mass Equation	Energy Equation	Entropy Equation
Compressor	$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$	$\dot{m}_1 h_1 + \dot{W}_C = \dot{m}_2 h_2$	$\dot{m}_1 s_1 - \dot{m}_2 s_2 + \dot{S}_{gen,C} = 0$
Turbine	$\dot{m}_3 = \dot{m}_4$	$\dot{m}_3 h_3 = \dot{W}_T + \dot{W}_C + \dot{m}_4 h_4$	$\dot{m}_3 s_3 - \dot{m}_4 s_4 + \dot{S}_{gen,T} = 0$
HRSG	$\dot{m}_5 = \dot{m}_6$ $\dot{m}_{10} = \dot{m}_{11}$	$\dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_{10} h_{10} = \dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_{11} h_{11}$	$\dot{m}_5 s_5 + \dot{m}_{10} s_{10} - \dot{m}_6 s_6 - \dot{m}_{11} s_{11} + \dot{S}_{gen,HRSG} = 0$
Combustion Chamber	$\dot{m}_2 + \dot{m}_7 = \dot{m}_3$	$\dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_7 h_7 = \dot{m}_3 h_3 + 0.02 \dot{m}_7 LHV$	$\dot{m}_2 s_2 + \dot{m}_7 s_7 - \dot{m}_3 s_3 + \dot{S}_{gen,CC} = 0$
Overall Cycle	$\bar{h}_i = f(T_i)$ $\bar{s}_i = f(T_i, P_i)$ $\dot{m}_{air} h_{air} + \dot{m}_{fuel} LHV_{CH4} - \dot{Q}_{Loss,CC} - \dot{m}_{eg,out} h_{eg,out} - \dot{W}_T - \dot{m}_{steam} (h_{water,in} - h_{steam,out}) = 0$ $\dot{Q}_{Loss,CC} = 0.02 \dot{m}_{fuel} LHV_{CH4}$		

Table 2. Exergy equations, and exergy efficiency equations of the devices of the absorption cooling (abc) cycle (Moran et al., 2000; Bejan et al., 1996; Horlock, 1997).

Component	Exergy Equation	Exergy Efficiency
Compressor	$\dot{E}_{D,C} = \dot{E}_1 + \dot{W}_C - \dot{E}_2$	$\eta_{ex,C} = \frac{\dot{E}_{out,C} - \dot{E}_{in,C}}{\dot{W}_C}$
Turbine	$\dot{E}_{D,T} = \dot{E}_3 - \dot{E}_4 - \dot{W}_C - \dot{W}_T$	$\eta_{ex,T} = \frac{\dot{W}_{net,T} + \dot{W}_C}{\dot{E}_{in,T} - \dot{E}_{out,T}}$
HRSG	$\dot{E}_{D,HRSG} = \dot{E}_5 - \dot{E}_6 + \dot{E}_{10} - \dot{E}_{11}$	$\eta_{ex,HRSG} = \frac{\dot{E}_{steam,HRSG} - \dot{E}_{water,HRSG}}{\dot{E}_{in,exhaust,HRSG} - \dot{E}_{out,exhaust,HRSG}}$
Combustion Chamber	$\dot{E}_{D,CC} = \dot{E}_2 + \dot{E}_7 - \dot{E}_3$	$\eta_{ex,CC} = \frac{\dot{E}_{out,CC}}{\dot{E}_{in,CC} + \dot{E}_{fuel}}$
Overall cycle	Exergy efficiency	$\dot{E} = \dot{E}_{ph} + \dot{E}_{ch}$ $\dot{E}_{ph} = \dot{m}(h - h_0 - T_0(s - s_0))$ $\dot{E}_{ch} = \dot{m} \left\{ \sum x_k \bar{e}_k^{ch} + \bar{R} T_0 \sum x_k \ln x_k \right\}$ $\eta_{ex} = \frac{\dot{W}_{net,T} + (\dot{E}_{steam,HRSG} - \dot{E}_{water,HRSG})}{\dot{E}_{fuel}}$

Exergy equation for open systems (input and output mass quantities are equal to each other) is,

$$\sum_i \dot{m}_i h_i - \sum_i T_0 \dot{S}_i - \sum_j \dot{m}_j h_j + \sum_j T_0 \dot{S}_j + \sum \dot{Q}_k - \sum \dot{Q}_k \frac{T_0}{T_k} - \dot{W} = \dot{E}_{loss} \quad (7)$$

In table 1, energy, entropy and mass equations of the devices of the absorption cooling (abc) system are given.

In table 2, the exergy, and the exergy efficiency equations of the devices of the absorption cooling (abc) system are given.

In Figure 3, variation of exergy efficiency and electrical efficiency of the absorption cooling (abc) and basic cogeneration system with compressing ratio are given. As can be seen that, performance of the absorption cooling (abc) system is better than the basic one. The exergy efficiency of the absorption cooling (abc) and the basic systems are almost the same. However, the electrical efficiency of the absorption cooling (abc) is higher than the basic cogeneration system about 4-5%. Since the heat energy of the exhaust's gases are used for cooling the inlet air of the cycle the exergy efficiency of the absorption cooling (abc) system is slightly less (about 0.2%) than the basic cycle.

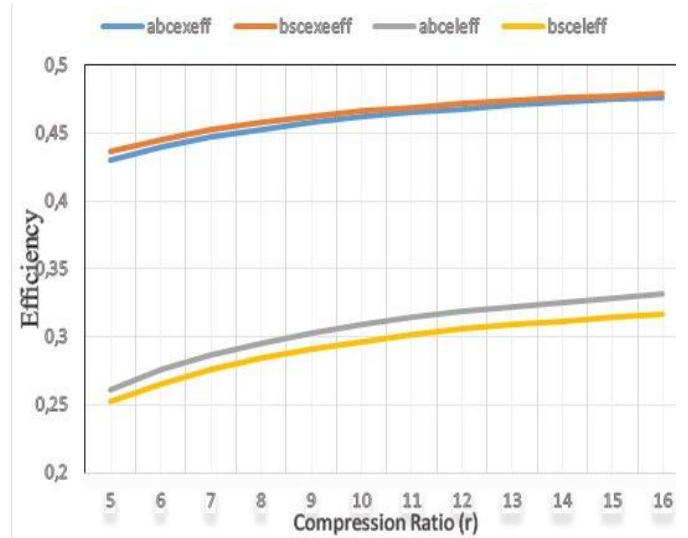


Fig. 3 Variation of exergy efficiency and electrical efficiency of the absorption cooling (abc) and basic cogeneration system with compressing ratio.

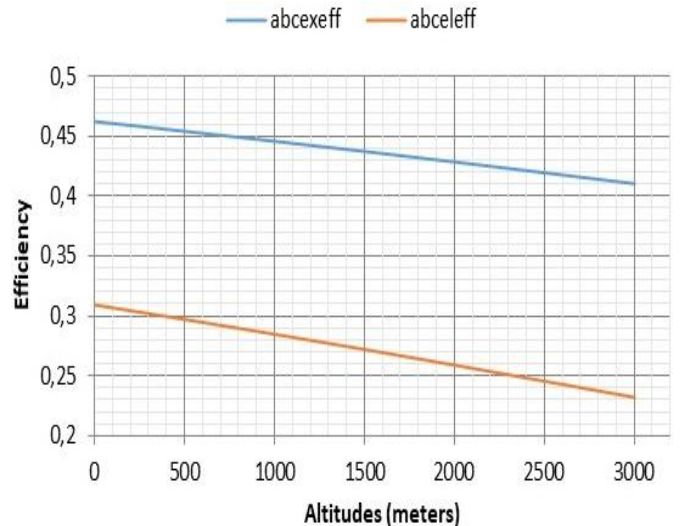


Fig. 4 Variation of exergy efficiency and electrical efficiency of the absorption cooling (abc) system with altitudes.

In Figure 4, variation of exergy efficiency and electrical efficiency of the absorption cooling (abc) system with altitudes are given. As it is showed those, exergy efficiency and electrical efficiency are decreasing with increasing altitudes. From zero meters to 3000 meters the decreases in exergy efficiency are from

0.462 to 0.4105 which means about 11% decrease. Also, from zero meters to 3000 meters the decreases in electrical efficiency are from 0.3092 to 0.2314 which means about 25% decrease. The reasons of these decreases are the altitude increasing, decreases the density of the air so the compressor work increases.

In Figure 5, variation of the efficiencies of the compressor, the turbine, the combustion chamber, and the heat recovery steam generator of the absorption cooling (abc) system with altitudes are given. From zero meters to 3000 meters the decreases in efficiency of the compressor are from 0.9216 to 0.8218 which means about 11% decrease. The alteration in the efficiency of the turbine can be neglected. But, from zero meters to 3000 meters the decreases in the efficiency of the combustion chamber are from 0.9216 to 0.8218 which means about 1% decrease, and the decreases in the efficiency of the HRSG are from 0.6706 to 0.6463 which means about 3.6% decrease.

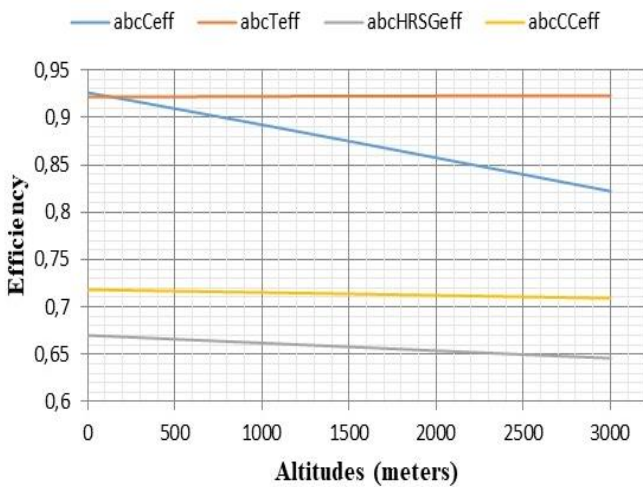


Fig. 5 Variation of efficiencies of the compressor, the turbine, the combustion chamber, and the heat recovery steam generator of the absorption cooling (abc) system with altitudes.

In Figure 6, variation of the exergy efficiency and electrical efficiency of the absorption cooling (abc) system with compression ratio are given. As it is showed this, the exergy efficiency also the electrical efficiency is increasing with the increasing compression ratio. The increasing in the exergy efficiency is from 0.4304 to 0.4766 which means about 11% increase, and the increasing in the electrical efficiency is from 0.2614 to 0.3313 which means about 26% increase.

In Figure 7, variation of the efficiencies of the compressor, the combustion chamber, the turbine and the heat recovery steam generator of the absorption cooling (abc) system with compression ratio are given. As can be seen that, increasing from 5 to 16 the compression ratio increases the efficiency of the compressor from 0.9113 to 0.9348 which means about 2.6% increase. The alteration in the efficiency of the turbine is from 0.9775 to 0.8881 which means about 9% decrease. The reason is more work are spending for compressing which is decreasing the turbine obtained work. However, increasing from 5 to 16 the compression ratio increases the efficiency of the combustion chamber from 0.6535 to 0.7559 which means about 16% increase, and the increases in the efficiency of the HRSG are from 0.6535 to 0.6782 which means about 3.8% increase.

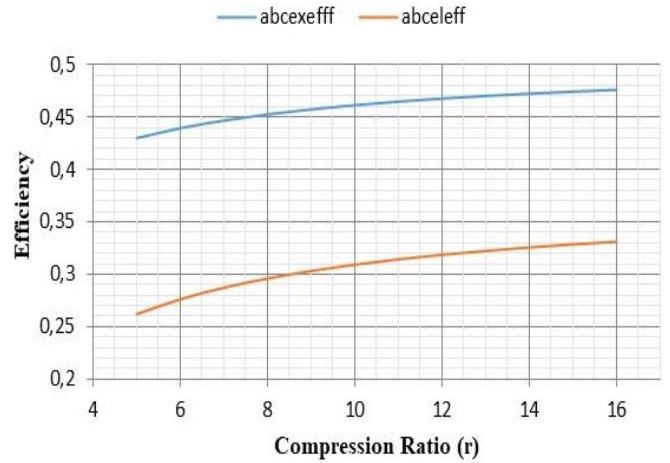


Fig. 6 Variation of exergy efficiency and electrical efficiency of the absorption cooling (abc) system with compression ratio.

In Figure 8, variation of the exergy efficiency of the absorption cooling (abc) system with excess air rates for different compression ratio are given. It is seen that, increasing the compressing ratio from 5 to 16 makes the exergy efficiency an increase for the absorption cooling (abc) cycle about 9%. However, increasing the value of the excess air rates from 1.3 to 3.5 give a maximum exergy efficiency of 0.4804 at excess air rate about 2.1. That point is the optimum excess air rate that the system must run.

In Figure 9, variation of the compressor efficiency of the absorption cooling (abc) system with excess air rates for different compression ratio are given. As can be seen that, the increases in the excess air rates from 1.3 to 3.5 does not make any effect on the compressor efficiency. However, the increases in the compression ratio from 5 to 16 increases the absorption cooling (abc) system's compressor efficiency about 2%.

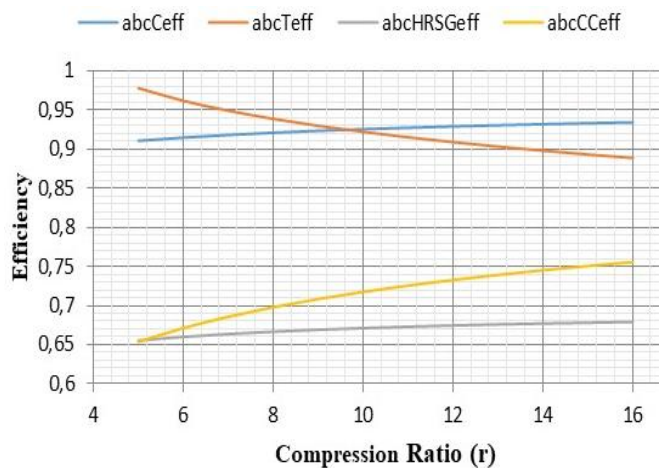


Fig. 7 Variation of efficiencies of the compressor, the combustion chamber, the turbine and the heat recovery steam generator of the absorption cooling (abc) system with compression ratio.

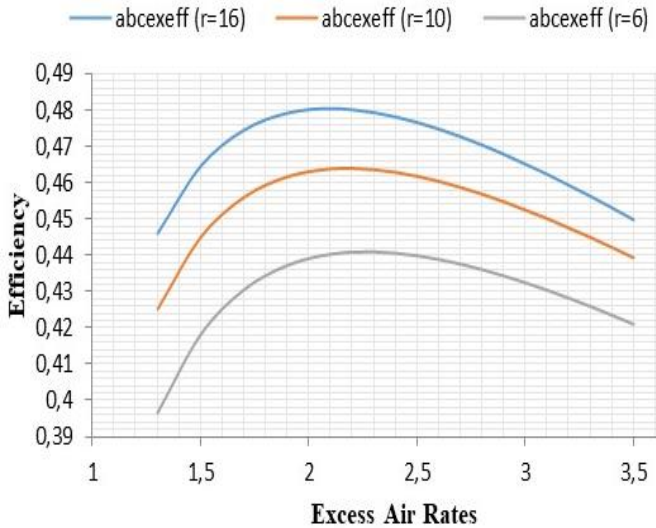


Fig. 8 Variation of the exergy efficiency of the absorption cooling (abc) system with excess air rates for different compression ratio.

In Figure 10, variation of the combustion chamber efficiency of the absorption cooling (abc) system with excess air rates for different compression ratio are given. It is shown that, combustion chamber efficiency is increasing (about 5-8%) with the decreasing excess air rates and is increasing (about 7-13%) with compression ratio.

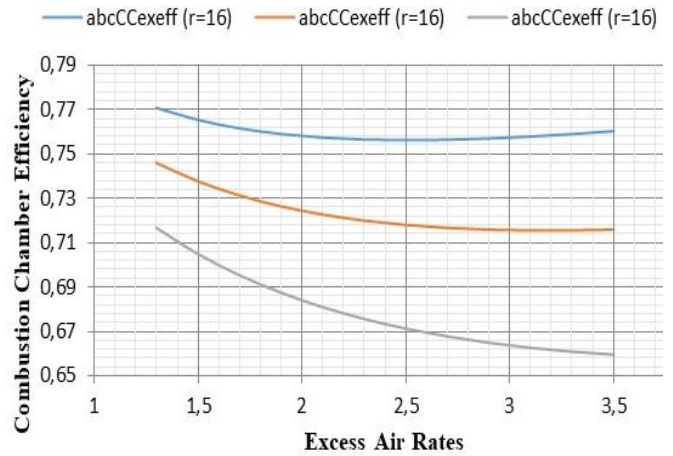


Fig. 10 Variation of the combustion chamber efficiency of the absorption cooling (abc) system with excess air rates for different compression ratio.

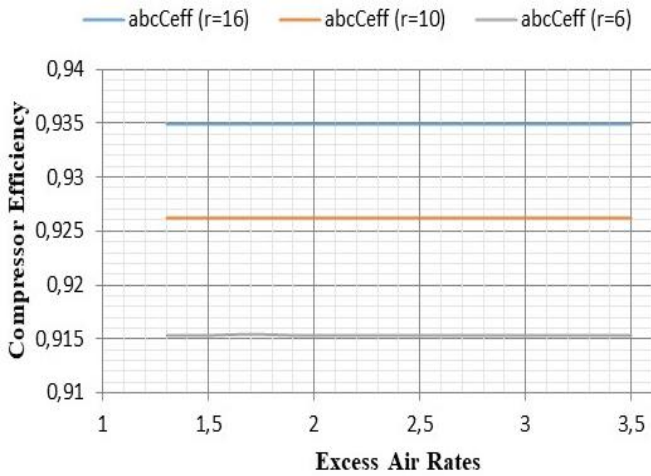


Fig. 9 Variation of the compressor efficiency of the absorption cooling (abc) system with excess air rates for different compression ratio.

In Figure 11, variation of the turbine efficiency of the absorption cooling (abc) system with excess air rates for different compression ratio are given. It is shown that, the turbine efficiency is increasing (about 9-22%) with the increasing excess air rates and is increasing (about 0-12%) with compression ratio.

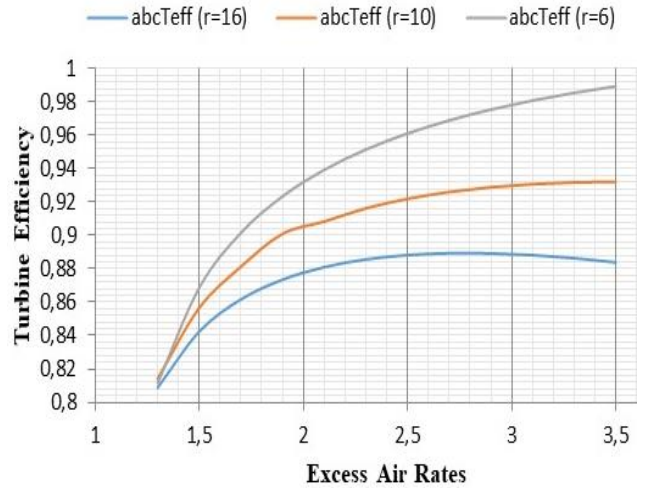


Fig. 11 Variation of the turbine efficiency of the absorption cooling (abc) system with excess air rates for different compression ratio.

In Figure 12, variation of the heat recovery steam generator efficiency of the absorption cooling (abc) system with excess air rates for different compression ratio are given. It is shown that, the HRSG efficiency is increasing (about 39%) with the increasing excess air rates and is increasing (about 1%) with compression ratio.

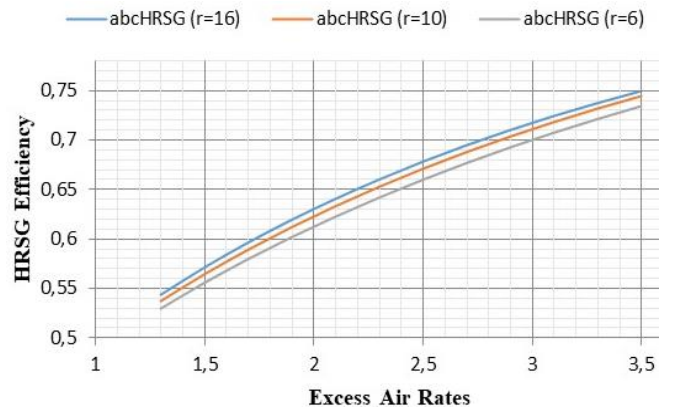


Fig. 12 Variation of the heat recovery steam generator efficiency of the absorption cooling (abc) system with excess air rates for different compression ratio.

4. Conclusions and Recommendations

The results showed that using absorption cooling (abc) system in a basic cycle made better than the basic one in electrical efficiency. However, because of the absorption cooling (abc) system the exergy efficiency is slightly less than the basic one, the absorption cooling (abc) cogeneration system can be used when the steam demand decreases or electrical demand increases for production more electricity. For every device of the absorption cooling (abc) cogeneration system's energy and exergy analyses are done. The results of the calculations are given in results section. The performance of the absorption cooling (abc) cogeneration system is depending on altitudes, compression ratio, excess air rates and atmospheric temperature, mainly. Less atmospheric temperature, less altitudes and higher compression ratio can increase the exergy efficiency and electrical efficiency. However, excess air rates and compression ratio are very effective on the efficiencies and for excess air rates, 2.1 excess air rate value gives the optimum so that these two factors should be optimized. For all optimum working conditions, a thermodynamic and thermoeconomic optimization should be done. Further studies in these optimizations can found in the literature (Karaali and Ozturk, 2015; Jaluria, 2008; Tozlu, 2021; Karaali and Ozturk, 2017).

References

- ASHRAE. (2000). *Cogeneration systems and engine and turbine drives*. ASHRAE systems and equipment handbook (SI).
- Peters MS, Timmerhaus KD, West RE. (2003). *Plant design and economics for chemical engineers*. Mc Graw Hill chemical engineering series. 5th ed.
- Elhanan, A.E.M.E. (2006). Cogeneration of Electricity and Cooling by Gas Turbines. (Ph.D. thesis) İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Moran JM, Tsatsaronis G. (2000). *The CRC handbook of thermal engineering*. CRC Press LLC.
- Jaluria Y. (2008). *Design and optimization of thermal systems*. CRC Press.
- Bejan A, Tsatsaronis G, Moran M. (1996). *Thermal design and optimization*. Wiley Pub.
- Horlock JH. (1997). *Cogeneration-combined heat and power (CHP)*. CRIEGER Pub.
- Karaali, R., and Ozturk, I.T. (2015). Thermoeconomic optimization of gas turbine cogeneration plants. *Energy* 80, 474-485.
- Karaali, R., and Ozturk, I.T. (2015). Thermoeconomic analyses of steam injected gas turbine cogeneration cycles. *ACTA Physica Polonica A*. 128, 2B, p: B279-B281.
- Tozlu A., Gençaslan B., Özcan H. (2021). Thermoeconomic Analysis of a Hybrid Cogeneration Plant with Use of Near-Surface Geothermal Sources in Turkey. *Renewable Energy*, vol.176, pp:237 – 250.
- Karaali, R., and Ozturk, I.T. (2017). Efficiency improvement of gas turbine cogeneration systems. *Tehnicki vjesnik - Technical Gazette*, 24, Suppl.1 p:21-27. DOI: 10.17559/TV-20140509154652
- Karaali, R., and Ozturk, I.T. (2017). Effects of Ambient Conditions on Performance of Gas Turbine Cogeneration Cycles. *J. of Thermal Science and Technology*, Volume 37 No. 1, pages 93-102.

- Karaali, R., and Ozturk, I.T. (2017). Performance Analyses of Gas Turbine Cogeneration Plants. *J. of Thermal Science and Technology*, Volume 37, No. 1, pages 25-33.
- Özahi E., Abuşoğlu A., Tozlu A. (2021). A Comparative Thermoeconomic Analysis and Optimization of Two Different Combined Cycles by Utilizing Waste Heat Source of an Mswpp. *Energy Conversion and Management*, vol.228.



Askeri Alanda Endüstri 4.0 Uygulamaları

Güzide Karakuş*, İbrahim Gönen²

^{1*} Necmettin Erbakan Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık Yönetimi Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2897-7222), gkarakus@erbakan.edu.tr

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9705-1394), igonen_26@hotmail.com

(4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, November 10 - 13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1195394)

ATIF/REFERENCE: Karakuş, G. & Gönen, İ. (2022). Askeri Alanda Endüstri 4.0 Uygulamaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (43), 104-109.

Öz

Dördüncü Sanayi Devrimi doğrultusunda hayata geçirilen dijital teknolojiler ve uygulamalar tüm sektörlerde dijital dönüşümü gereklilik haline getirmiştir. Bu dönüşümün tüm ülkeler için öncelikli ve kritik olarak görülen askeri alana yansması da kaçınılmazdır. Dünyanın önde gelen orduları, savunma ve saldırı sistemlerini ileri seviyelere çıkarmak, düşman karşısında galip gelmek ve savaş alanındaki can ve mal zayıflarına en az seviyelere indirebilmek için dijital teknolojilere yatırım yapmaktadır. Savunma alanındaki dijital yatırımlar küresel güç parametrelerini değiştirebilme potansiyeline sahip niteliktedir.

Konunun önemi göz önünde bulundurularak bu çalışmada askeri alanda hayata geçirilen Endüstri 4.0 uygulamalarının araştırılması amaçlanmıştır. Temmuz – Ekim 2022 tarihleri arasında gerçekleştirilen araştırmada konu kapsamında akademik yayınlar ile kamu ve özel sektör kuruluşlarının internet kaynakları incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre askeri alanda eğitim ve savunma faaliyetlerinde Endüstri 4.0 uygulamalarından; artırılmış gerçeklik, simülasyon, otonom robotlar, insansız hava araçları ve büyük veri kullanılmaktadır. Gelecek yıllarda farklı Endüstri 4.0 araçlarının da yeni uygulamalar ile askeri eğitim ve operasyonlarda hayata geçirileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Dijital Dönüşüm, Askeri Alanda Dijitalleşme, Artırılmış Gerçeklik, Drone, Robot.

Industry 4.0 Applications in Military Area

Abstract

Digital technologies and applications implemented in line with the Fourth Industrial Revolution have made digital transformation a necessity in all sectors. It is inevitable that this transformation will reflect on the military field, which is seen as a priority and critical for all countries. The world's leading armies invest in digital technologies in order to improve their defense and attack systems, to be victorious against the enemy, and to minimize the loss of life and property on the battlefield. Digital investments in military area have the potential to change global power parameters.

Considering the importance of the subject, it is aimed to investigate Industry 4.0 applications implemented in the military area in this study. In the research carried out between July and October 2022, academic publications and internet resources of public and private sector organizations were examined. According to the findings, Industry 4.0 applications in military training and defense activities; augmented reality, simulation, autonomous robots, unmanned aerial vehicles and big data are used. It is foreseen that different Industry 4.0 tools will be implemented in military training and operations with new applications in the coming years.

Keywords: Industry 4.0, Digital Transformation, Digitalization in the Military Area, Augmented Reality, Drone, Robot.

* Sorumlu Yazar: gkarakus@erbakan.edu.tr

1. Giriş

Dünyada yaşanan dördüncü sanayi devriminin tanımlanması amacıyla kullanılan Endüstri 4.0 kavramı bir çok dijital teknoloji ve uygulamayı beraberinde getirmektedir. Her sektör farklı düzeyde bu dijital dönüşümden etkilenecek olup bu doğrultuda yatırımlar gerçekleştirilmektedir. Bu doğrultuda her işletme kendi ihtiyaçları doğrultusunda yeni dijital araçlar hayata geçirmekte veya geleceğe yönelik dijitalleşme yol haritaları tanımlanmaktadır.

Dijital araçlar Dünya genelinde kamu ve özel mülkiyete ait farklı sektörlerde farklı düzeylerde kullanım alanı bulurken avantajları konusunda da araştırmalar devam etmektedir. Tüm sektörlerde olduğu gibi askeri alanda da dijital dönüşüm konusunda birçok farklı uygulama hayata geçirilirken özellikle strateji geliştirme ve operasyonel faaliyetlerde Endüstri 4.0 araçları kullanılmaktadır. Bunun yanında savaş ve muharebe eğitimlerinde de dijital teknolojiler yoğun biçimde yer almaktadır (Wassom, 2014). Dijital teknolojiler ile gerçekleştirilen eğitimlerde gerçek mühimmat kullanımına ihtiyaç duyulmaması hem maliyet hem de emniyet açısından avantajlar sunmaktadır.

Diğer bir askeri uygulama, komuta merkezlerinin savaş esnasında uzaktan görsel çözümleme ile izlenmesi ve kuvvetler arasında bilgi alışverişi gerçekleştirilmesidir. Harekât bölgesinin hareket kabiliyetinin olmaması durumunda insansız hava araçları ile hedeflerin gözlenebilmesi ve gereken durumlarda imha edilebilmesi, tuzaklanmış bombaların otonom robotlar ile can kaybı riskinin yok edilerek imha edilebilmesi Endüstri 4.0 uygulamalarının bu kapsamda sunduğu avantajlar arasındadır.

2. Materyal ve Metot

Araştırmanın amacı tüm Dünya’da köklü bir değişim ve dönüşüme neden olan Endüstri 4.0 teknolojilerinin yine tüm ülkeler için kritik önemde olan askeri alandaki uygulamalarının tanımlanmasıdır. Bu doğrultuda Temmuz – Ekim 2022 tarihleri arasında askeri uygulamalar, savunma sanayi, Endüstri 4.0 ve dijital teknoloji anahtar kelimeleri kullanılarak akademik yayınlar, kamu ve özel sektör kuruluşlarının internet kaynakları kapsamında araştırma gerçekleştirilmiştir. Askeri alanda kritik önemde olan eğitim faaliyetlerinin etkinliğinin artırılması, strateji geliştirme ve operasyonel faaliyetlerin geliştirilmesi amacıyla kullanılan dijital teknolojilerin neler olduğu tanımlanmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Savaşlar ve çatışmalar tüm toplumlar için tehlikeli ve yıkıcı sonuçlara yol açmaktadır. Tüm toplumlar bu sonuçları en aza indirebilmek için stratejiler geliştirirken teknolojik uygulamalara da yatırım yapmaktadırlar (Van Creveld, 2010). Askeri alanda kullanılan teknolojiler savaş durumundaki bireylere buldukları ortamda karşılarına çıkabilecek engeller ile baş edebilme imkanı sağlamak hedefindedir (Fairclough, 2018). Askeri otoriteler savaş ve operasyonlarda karşılaşacakları zorlu görevleri icra edebilmek ve bu görevlere ilişkin verileri eğitimlerinde kullanmak üzere yeni teknolojilerle entegre edilmiş sistemlerin ve araçların geliştirilmesi yönünde çalışmalar yürütmektedirler (Livingston vd., 2011).

Teknolojik gelişmeler, savunma sanayi ekonomisinin gelişmesindeki en temel yapı taşıdır. Ordular tarafından savaş kabiliyeti, farkındalık, stratejik / taktik planlama faaliyetleri gibi askeri sistemlerin yeni teknolojiler ile daha etkin bir biçimde kullanılması amaçlanmaktadır. Bu sebeple rakiplerine üstünlük kurmak isteyen devletler, ordularını teknolojik sistemler ve araçlar ile donatma, donattıkları bu sistemleri de sürekli olarak geliştirme gayesi içerisindeyler (Meydan, 2015).

Askeri birlikleri en etkin şekilde yönetmek, muharebe esnasında karar verme gücünü arttırmak, askerlerin bilgi, beceri, kabiliyetlerini arttırmak ve tecrübelendirmek için birçok farklı dijital teknoloji kullanılmaktadır. Bu çalışmada günümüzde en yaygın kullanılan askeri uygulamalar olan; eğitim simülasyonları, artırılmış gerçeklik, otonom robotlar, büyük veri ve analitik ortam, dijital siber güvenlik başlıkları kapsam dahiline alınmıştır.

3.1. Artırılmış Gerçeklik (Augmented Realty / AR)

AR (Artırılmış Gerçeklik /Augmented Realty), kullanıcıların görsel alanını artırmak için dijital bilgilerin kullanıldığı teknoloji olup, dünya ile irtibatın koparılmadığı, dijital bilgi ve verilerin gerçek dünya ile entegre edildiği bir ortamdır (İçten&Bal, 2017). AR askeri eğitimlerde kullanılan önemli uygulamalardan biridir (Wassom, 2014). Gündelik yaşamı ve birçok alanı etkileyen AR, Silahlı Kuvvetler tarafından silah sistemlerinin geliştirilmesi çalışmalarında da kullanılmaktadır (ThinkTech STM, 2018). Askeri alanda AR araştırmaları aşağıda belirtilen alt başlıklarda ele alınmaktadır:

3.1.1. Harekât Ortamında Artırılmış Gerçeklik

Elektronik giyilebilir askeri eşyalar, artırılmış gerçeklik teknolojisinin gelecekteki en önemli ekipmanları arasında yer almaktadır. Dijital sensörler, akıllı gözlükler ve haberleşme cihazları eğitim aşamasında operasyonlara katılan askerlerin görev kabiliyetlerini daha ileri seviyeye çıkarmakta, anlık bilgi ve analizlerinin komuta ve kontrol merkezi ile paylaşılmasını sağlamaktadır [8] (Baysal, 2020). DST (Dismounted Soldier Training System / İndirilmiş Asker Eğitimi), bu eğitimler için geliştirilmiş bir uygulama olup stratejik ve eğitici oyun tabanlı askerî eğitim sistemidir. Dijital eğitime katılan askerler DST sisteminde gerçeğe yakın bir savaş senaryosunda kendilerine verilen emir ve görevleri yerine getirmektedir. Bu eğitimler gerçek bir mekânda kapalı ve küçük bir alan içerisinde yapılmakta olup sanal olarak dağlık, ormanlık, çöl ve arazilerde gerçekleştirilen tatbikatlardır. Eğitimdeki askerler, eğitimdeki sanal ortamı görebilmek, çatışma anında meydana gelen sesleri duyabilmek ve aynı anda takım arkadaşlarıyla irtibata geçebilmek için giyilebilir ekipmanlar ve silahlar kullanılmaktadırlar (Flores, 2013).

Şekil 1’de artırılmış gerçeklik ile gerçekleştirilen bir askeri eğitime ilişkin görsel sunulmuştur.



Şekil 1. Artırılmış Gerçeklik ile Eğitim Yapan Askerler (ThinkTech, 2018)

3.1.2. Komuta Merkezli Taktiksel Ortam

Holografik Taktik Kum Havuzu (Holographic Tactical Sandbox / HTS) savaş ve tatbikat bölgesini holografi olarak artırılmış gerçeklik dijital gözlüklere aktaran operasyon, planlama, taktik sistemi olup hareketlerin planlaması ve icra edilmesi aşamasında komuta yönetim kademesi tarafından kullanılmaktadır. Savaş alanının coğrafi verileri, şehir yerleşim planları ele alınarak dost ve düşman birliklerinin yerleşimlerine göre planlama yapılabilen, operasyon anında tüm hareketler anlık olarak görüntülenebilmekte, izlenebilmekte ve analiz edilebilmektedir. Gelen bilgilere göre komuta kademesinin fikirleri, görüşleri ve bakış açıları analiz edilip çıkan sonuçlara göre görüntüler oluşturulmakta ve bir koordinasyon merkezindeki masa başında belirli bir merkeze bakılarak operasyon yönetilmektedir. HTS, artırılmış gerçeklik, giyilebilir teknolojiler ve yüksek kalitede çözünürlüğe sahip üç boyutlu görüntüleme sistemlerinden oluşmaktadır. HTS’de otomatik veri eşleme ve komuta görevleri için Airbus Fortion® TacticalC2 ve Microsoft’un HoloLens yazılımları kullanılmaktadır (Palladino, 2019). Türkiye’de HAVELSAN tarafından geliştirilmiş olan ASGER (Holografik Komuta Kontrol Sistemi)’de benzer amaca hizmet etmektedir. Şekil 2’de görseline yer verilen ASGER, bütün eğitimlerde ve savaş hazırlığı (planlama, yönetim, analiz) aşamalarında kullanılacak temel verileri analiz edip, Kara, Deniz ve Hava Kuvvetlerinin savaşta istek ve ihtiyaçlarına, özel holografik komuta kontrol sistemleri vasıtasıyla destek verecek niteliktedir (Havelsan, 2020a).



Şekil 2. ASGER (Holografik Komuta Kontrol Sistemi) (Havelsan, 2022a)

3.1.3. Uçak Bakım Eğitim Ortamında Artırılmış Gerçeklik

Askeri uçakların arıza ve bakım ihtiyaçlarının tespiti ve arızaların giderilmesi için de artırılmış gerçeklik uygulamaları kullanılmaktadır. Bakım personeli, AR gözlüğünü kullanarak bakım eğitimleri verilebilir, bakım kayıtları arşivlenebilir, bu

kayıtlara hızlı bir biçimde ulaşılarak arıza durumunda etkili kararlar geliştirilebilir. Bakıma ilişkin tüm işlem ve kullanılan malzemelere ilişkin bilgi havuzu oluşturulması ve uçuş öncesinde uçağın elverişliliğinin kontrolü açısından da artırılmış gerçeklik önemli avantajlar sunmaktadır (Erkoyuncu, Alrashed, Dalle Mura, Roy & Dini, 2016). ABD Hava Eğitim ve Öğretim Komutanlığı (AETC), AR gözlüğü kullanarak uçak bakım teknisyenlerinin bilgi ve becerilerini geliştirmek için eğitimler gerçekleştirmektedir. Bu kapsamda envanterinde bulunan tüm uçaklar için dijital eğitim verilen uçak hangarları, gelişmiş AR özellikli tam teçhizatlı eğitim araç ve gereçleri ile çalışmalar yürütmektedir (Eginli&Nacaklı, 2020).

Şekil 3’de AR teknolojisinin uçak bakımında kullanılmasına ilişkin görsel sunulmuştur.



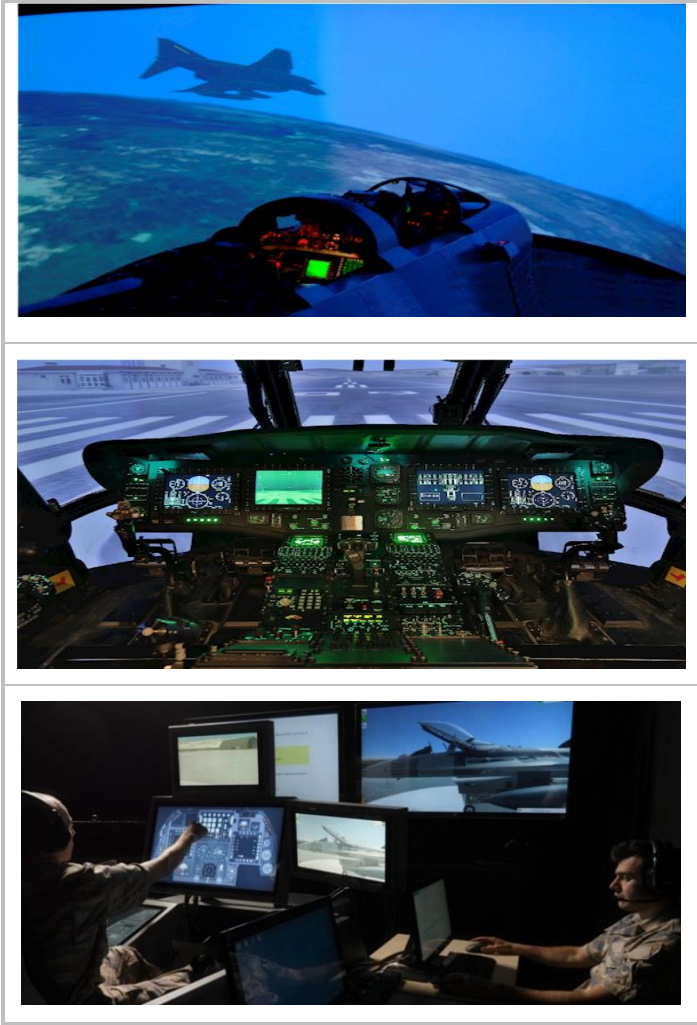
Şekil 3. Uçak Bakımlarında Kullanılan AR (Kara, 2020)

3.2. Simülasyon Eğitimi

Simülasyon eğitiminde kullanılan uygulamalar, teori ve realite arasında bağ kurulmasını sağlayan, psikomotor becerilerin, baskı ve stres altında karar verme, kritik düşünme gibi davranışları geliştirildiği uygulamalardır (Chronister & Brown, 2012). Simülasyon eğitimleri üç temel aşamadan oluşmaktadır;

- Uygulama öncesi bilgilendirme / ön bilgilendirme,
- Simülasyon uygulaması,
- Çözümleme ve analiz.

Ön bilgilendirme safhasında eğitime katılanlara simülasyon hakkında bilgi verilerek simülasyon aşamasında kullanacakları alet ve ekipmanlar tanıtılmaktadır. Simülasyon uygulama aşaması, eğitilenlerin yeterliliklerini arttırmak için eğiticilerin belirlediği kurallar ve talimatlar doğrultusunda yeteneklerini icra ettikleri aşamadır. Simülasyon eğitiminin son aşaması olan çözüm ve analiz safhası simülasyon eğitiminin uygulaması sonrasında eğitilenlerin edindiği deneyimlerin ve kazanımların eğitici ve rehber tarafından değerlendirilmesidir (Cant & Cooper, 2011). Şekil 4’de uçuş simülatörüne ilişkin görseller sunulmuştur.



Şekil 4. Savaş Uçağı Simülâtör Eğitimi (Havelsan, 2020b)

Uçuş eğitimlerinde uçak simülâtörlerinin kullanılması, kaza, hayati tehlike ve kayıp olasılıklarını ortadan kaldırmaktadır. Kayıpları azaltarak maliyetleri de düşüren simülâtörler sayesinde eğitilenlerin acil durum ve iniş – kalkış durumlarında karar verme yeterlilikleri geliştirilmektedir. Simülâtör eğitimindeki bir uçuşta, gerçek uçuşlara dair hayati risklerin ön planda olduğu şartlarda, pilotlar hata yapma eğilimine sahiptir. Riskleri ortaya çıkarmak, analiz etmek ve minimize etmek amacıyla simülasyon eğitimi yapmak, risklerin nasıl ortadan kaldırılacağına öğrenilmesinde çok etkilidir. Pilotlara uygulan uçuş simülâtör eğitimi, gerçek uçakla yapılan uçuşa göre daha az stresli bir ortamda yapılması nedeniyle uçuş anında acil uygulama prosedürleri eğitimi için hızlı, güvenli ve etkili bir eğitim metodu olarak görülmektedir (Havelsan, 2020b).

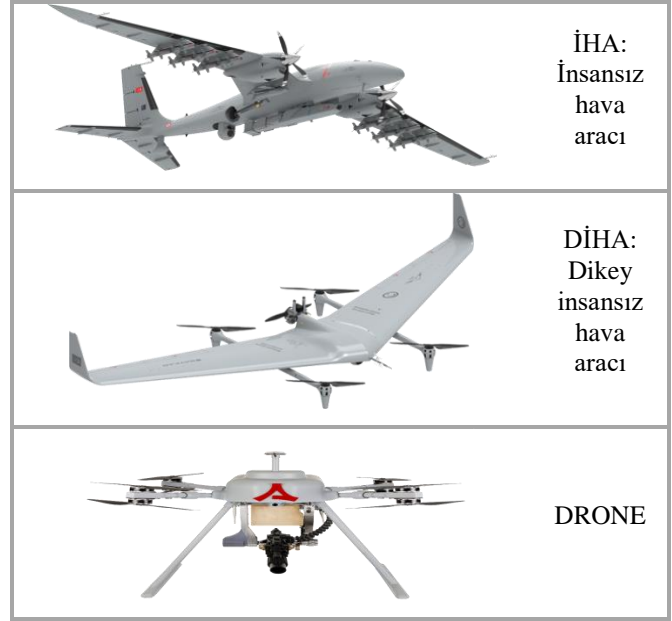
3.3. Gelişmiş Otonom Robotlar

Otonom robotlar, belirlenmiş işleri yapma özelliği olan robotların haricinde, belli bir zekaya sahip olan robotik sistemleri tanımlamak için kullanılmaktadır. Gelişmiş otonom robotlar, elektronik sistemler içindeki yerleri ve sahip oldukları teknoloji düzeyi değerlendirildiğinde gelecekte hayatımızda önemli bir yere sahip olacakları öngörülmektedir (Yazıcı, 2016). Askeri alanda otonom sistem robotlar, savunma ve hızlı karar verme gibi alanlarda kullanılmaktadır. Otonom sistem, hareketli nesneye karşı taktik geliştirme hususunda süratle karar almaktadır. Örneğin fırlatılan füze, dijital ortama yapılan siber saldırı, elektronik savaş aracının önlenmesi veya ateşlenmesi

gibi faaliyetler otonom sistem robotlar tarafından yürütülmektedir (Yılmaz, 2018). Günümüzde her sektörde ağır ve tehlikeli işleri yürütmek amacıyla kullanılan otonom robotlar askeri alanda da çeşitli uygulamalar ile yer almaktadır:

3.3.1. İnsansız Hava Araçları ve Dronlar

İnsansız hava araçları (İHA), içinde insan olmayan uçaklardır. İHA'ların uçuşu bir insan kontrolör aracılığıyla uzaktan kumanda veya bir otomatik pilot olarak adlandırılan sabit bilgisayarlar tarafından otonom olarak gerçekleştirilmektedir (Sharma vd., 2020). Şekil 5'de askeri alanda kullanılan İHA'lara ilişkin örnek görseller sunulmuştur.



Şekil 5. Askeri alanda kullanılan insansız hava araçları örnekleri (www.baykartech.com.tr, E.T.: 24.10.2022)

Günümüzde teknolojik gelişmeler ile birlikte İHA'ların kullanım alanları sivil ve askeri alanda sürekli genişlemektedir (Dikmen, 2015). İHA'lar zorlu şartlarda en önemli ve zahmetli görevleri icra edebilmesinden dolayı gözlemlene, inceleme, istihbarat ve keşif görevlerinin en önemli parçası niteliğindedir.

3.3.2. Bomba İmha Otonom Robotları

Bomba İmha Robotu (BİR) el yapımı bomba patlayıcıların, zorlu ve elverişsiz koşullar altında, canlı güvenliğini tehlikeye atmamak için patlayıcıyı güvenli bir mesafeden etkisiz hale getirilmesi için geliştirilmiş taşınabilir, yüksek hareket kabiliyetine sahip bir üründür (Aselsan, 2022a). UNICEF'e göre her yıl savaş sırasında tarım arazileri ve içilebilir ve sulama kaynaklarına ve etraflarına konulan mayınlar ve patlayıcılar dünya genelinde 20.000'e yakın kişiyi ya öldürmekte ya da sakat bırakmaktadır. Afganistan, Suriye, Libya ve Irak gibi ülkelerin savaş alanlarındaki yollara ve yerleşim yerlerine tuzak olarak kurulan el yapımı patlayıcılar (EYP) ve mayınlar askeri personelin hayatını tehdit eden önemli unsurlardır (Kara, 2020). Bu olumsuz sonuçları ortadan kaldırmak için bomba imha operasyonlarında robotların kullanılması önemli avantajlar sunmaktadır. Türk Silahlı Kuvvetleri tarafından kullanılmakta olan Bomba İmha Robotu ERTUĞRUL Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Bomba İmha Robotu (Aselsan, 2022b)

3.4. Büyük Veri & Analitik Ortam

Büyük veri, karmaşık çözümlere ileri düzeyde anlam kazandırılması ve stratejik ve taktik kararların alınması için gerekli bilgilerin teminine imkân sağlamaktadır (Aselsan, 2022b). Silahlı Kuvvetlerde veri analitiği kavramı büyük ölçüde istihbarat alanında kullanılmaktadır. İstihbarat, dijital frekansların ve yayınların saptanmasıyla yabancı bir ortam ya da şahıslardan maksatla ilgili eylem, amaç ve becerilerin elde edilmesidir. Sinyal istihbaratı üç alt katman altında toplanmaktadır Bunlar (Dilek, 2019);

- İletişim sistemlerinden elde edilen *muhabere istihbaratı (COMINITY)*
- Radar ve silah sistemlerinden elde edilen *elektronik istihbaratı (ELINITY)*
- Test edilen ve geliştirilmekte olan silah sistemlerinden elde edilen *yabancı ülke ölçme cihazları sinyal istihbaratları (FISINITY)*'dir.

Dünyanın önde gelen ordularının savaş uçakları, 2000'li yılların başlarından itibaren görev icra etkinliğini arttırmak amacıyla teknolojik düzeyi artırılmış sensörler, IR sistemler, radar, ağ terminalleri, taktik ve analiz içeren dijital ekranlar, giyilebilir ekipmanlar, nesnelerin interneti ve yapay zekâ gibi Endüstri 4.0 teknolojilerini operasyonlarına entegre etmektedirler. Bu askeri ortamlarda üretilen çok büyük hacimde ve çeşitli boyutlardaki veri, yer mekanizmalarına ivedi ve güvenilir iletişim araçlarıyla iletilerek, analiz edilmekte ve karar verme süreçlerinde hayat kurtarıcı bilgilere dönüşmektedir [24]. Şekil 7'de veri analizi ile yönetilen bir harekate ilişkin görsele yer verilmiştir.



Şekil 7. Veri Analizi ile Yönetilen Harekât (www.21yyte.org.tr, E.T.: 18.10.22)

3.5. Dijital Dönüşümde Siber Güvenlik

Dijital teknolojilerin gelişmesiyle birlikte siber tehditlerde de önemli artışlar yaşanmıştır. Siber suçlular güçlü saldırılarla şehirlerin elektrik enerjilerini kesmek, ülke yönetiminde kullanılan dijital teknolojiyi çökertmek, askeri teçhizatları zarar vermek ve ulusal güvenlik sırlarına sızmak gibi birçok saldırı yöntemi uygulamaktadır (ThinkTech, 2018). **Siber güvenlik**, yöntemlerin, ağların, planlamaların ve olguların çeşitli uygulamalar, teknolojik aletler ve kontrol yöntemleriyle siber saldırılara karşı koruma altına alınmasıdır. Siber güvenliğin temel gayesi sistemlerin, elektronik ağların ve teknolojilerin izinsiz eylemlere karşı yetersizlikten tahaffuzunu sağlamak ve siber saldırı risklerini en düşük seviyeye indirmektir (De Groot, 2022). Türk Silahlı Kuvvetleri dijital saldırıları engellemek adına SİSAMER (Siber Savunma Harekât Merkezi) projesini hayata geçirmiştir.

4. Sonuç

Küreselleşme ile ortaya çıkan ekonomik ve siyasi gelişmeler ülkelerin askeri alanda yürüttükleri politika ve uygulamaları önemli ölçüde etkilerken temel yetkinliklere odaklanma, dış kaynak kullanımı ve işbirlikleri ön plana çıkarmaya başlamıştır [5]. Bu değişime paralel olarak dördüncü sanayi devrimi doğrultusunda teknolojiye yaşanan büyük ve hızlı değişim askeri uygulamaları önemli ölçüde etkilemiş ve ülkeler arasında muharebe biçimlerinde dahi değişiklikler doğurmuştur. Bu çalışmada askeri alanda hayata geçirilen Endüstri 4.0 uygulamaları akademik yayınlar ve uygulayıcıların internet kaynaklarından edinilen bilgiler doğrultusunda tanımlanmıştır. Yapılan araştırmaya göre; artırılmış gerçeklik, giyilebilir teknolojiler, simülasyon, gelişmiş otonom robotlar, bomba imha robotları ve büyük veri askeri alanda aktif olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamaların tamamı eğitim, bakım ve operasyon maliyetlerini azaltma, verimlilik ve etkililiği artırma, karar verme gücünü geliştirme gibi avantajlar sunmanın yanı sıra en önemli faktör olarak görülen insan zaiyatını azaltma imkanı sunmaktadır. Gelecekte de gelişen Endüstri 4.0 uygulamalarının askeri alana özelleştirileceği öngörülmektedir.

Kaynakça

- Aselsan, (2022a). Ertuğrul Bomba İmha Robotu, <https://www.aselsan.com.tr/tr/cozumlerimiz/insansiz-sistemler/insansiz-kara-ve-deniz-araclari/ertugrul-bomba-imha-robotu> (E.T.: 21.10.2022).
- Aselsan, (2022b). *Büyük Veri & Analitik*, <https://www.aselsan.com.tr/tr/cozumlerimiz/bilgi-teknolojileri-sistemleri> (E.T.: 20.10.2022)
- Baysal H., (2020). *Savunma Sanayi ve Artırılmış Gerçeklik*, <https://www.globalsavunma.com.tr/savunma-sanayii-ve-artirilmis-gerceklik.html> (E.T.: 16.10.2022).
- Cant, R. P. & Cooper, S. J., (2011). The Benefits of debriefing as formative feedback in nurse education, *Australian Journal of Advanced Nursing*, The, 29(1), 37-47.
- Chronister, C. & Brown, D., (2012). Comparison of simulation debriefing methods. *Clinical Simulation in Nursing*, 8(7), 281-288.
- Creveld, M. V., (2010). *Technology And War: From 2000 BC To The Present*, Simon and Schuster.

- De Groot, J., (2022). What is Cyber Security? Definition and Best Practices, <https://digitalguardian.com/blog/what-cyber-security>, (E.T.: 21.10.2022).
- Dikmen M., (2015). İnsansız Hava Aracı (İHA) Sistemlerinin Hava Hukuku Bakımından İncelenmesi, *Savunma Bilimleri Dergisi*, 145–176.
- Dilek B. D., (2019). *Big Data ve Yapay Zeka ile Askeri Operasyonlarda Taktik Üstünlük Kazanmak*, <https://www.21yyte.org/Tr/Merkezler/Islevsel-Arastirma-Merkezleri/Milli-Guvenlik-ve-Dis-Politika-Arastirmalari-Merkezi/Big-Data-ve-Yapay-Zeka-Ile-Askeri-Operasyonlarda-Taktik-Ustunluk-Kazanmak> (E.T.: 19.10.2022).
- Eginli M. & Nacaklı, Y., (2020). Uçak bakım eğitimlerinde artırılmış gerçeklik kullanımının değerlendirilmesi, *Journal of Aviation*, 4(1), 61-78.
- Erciyoncu, J. A., Alrashed, M., Dalle Mura, M., Roy, R. & Dini, G., (2016). Real life augmented reality for maintenance. In *Proceedings of the International Conference on Modeling, Simulation and Visualization Methods (MSV)* (p. 64). The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp).
- Fairclough, G., (2018). Savaşın Değişen Karakteri. Özel, Y., İnaltekin, E., *Savaşın Değişen Modeli: Hibrit Savaş*. İstanbul: Milli Savunma Üniversitesi Basımevi.
- Flores, C.D., (2013). *Virtual simulators provide realistic training*. <https://www.jbmdl.jb.mil/News/Article/243602/virtual-simulators-provide-realistic-training/>, (E.T.: 08.10.2022).
- Havelsan, (2020a). *HAVELSAN ASGER Holografik Komuta Kontrol Sistemi*. <https://www.havelsan.com.tr/sectorler/savunma-ve-guvenlik/musterek/arttirilmis-gerceklik/havelsan-asger#:~:text=HAVELSAN%20ASGER%20Holografik%20Komuta%20Kontrol,3B%20bile%C5%9Fenlerin%20hologram%20%C5%9Feklinde%20sunulmas%C4%B1d%C4%B1r> (E.T.: 20.10.2022).
- Havelsan, (2020b). *Havelsan Sanal Bakım Eğitim Sistemleri*, <https://www.havelsan.com.tr/sectorler/egitim-ve-simulasyon/eg-itim-tamamlayicilari/egitim-cozumleri/havelsan-sanal-bakim-egitim-sistemleri> (E.T.: 18.10.2022).
- İçten, T. & Bal, G., (2017). Artırılmış gerçeklik teknolojisi üzerine yapılan akademik çalışmaların içerik analizi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 401–414.
- Livingston, M.A., Rosenblum, L.J., Brown, D.G., Schmidt, G.S., Julier, S.J., Baillot, Y., Meydan, C. H., (2015). Dünya ordularında yeniden yapılanmanın kaynakları üzerine bir inceleme, *Güvenlik Stratejileri Dergisi*, 11(21), 1-38.
- Meydan, C., (2015). Dünya Ordularında Yeniden Yapılanmanın Kaynakları Üzerine Bir İnceleme. *Güvenlik Stratejileri Dergisi*, 11(21), 1-39.
- Palladino, T., (2019). *Airbus Previews Military Sandbox App for HoloLens*. <https://hololens.reality.news/news/airbus-previews-military-sandbox-app-for-hololens-0203995/> (E.T.: 18.10.2022).
- Sharma, A., Vanjani, P., Paliwal, N., Basnayaka, C. M. W., Jayakody, D. N. K., Wang, H. C. & Muthuchidambaranathan, P., (2020). Communication and networking technologies for UAVs: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 168, 102739.
- Swan, E., Ai, Z. ve Maassel, P. (2011). Military Applications of Augmented Reality. *Handbook of Augmented Reality*, Springer, New York, NY, 671-706.
- Van Creveld, M., (2010). *Technology and War: From 2000 BC to the Present*. Simon and Schuster.
- ThinkTech STM, (2018). *Askeri Eğitimde Son Teknolojinin Kullanımı*, <https://thinktech.stm.com.tr/detay.aspx?id=190> (E.T.: 20.10.2022).
- Wassom, B.D., (2015). Augmented Reality Law, Privacy, and Ethics: Law, Society, and Emerging AR Technologies. Syngress.
- Yazıcı, A., (2016). Endüstri 4.0 ve otonom robotlar, *Elektrik Mühendisliği*, 459.
- Yılmaz, F. (2018). Robotlar hayatımızda, *FSM İlmî Araştırmalar İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*, (12), 109-120.



Farklı İklim Bölgelerinde Çatı Türünün Bina Isıtma ve Soğutma Yüküne Etkisi

Gökçenur Orhan^{1*}, Betül Bektaş Ekici²

^{1*} Fırat Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Elazığ, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6314-6021), gokcenurorhan@hotmail.com

² Fırat Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0142-0587), bbektas@firat.edu.tr

(4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, November 10 - 13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1190487)

ATIF/REFERENCE: Orhan G. & Bektaş Ekici B. (2022). Farklı İklim Bölgelerinde Çatı Türünün Bina Isıtma ve Soğutma Yüküne Etkisi. *European Journal of Science and Technology*, (43), 110-115.

Öz

Günümüzde dünya nüfusunun hızla artmasına bağlı olarak enerji gereksinimi artmış ve doğal kaynaklar bu tüketimi karşılayamayacak seviyelere yaklaşmıştır. Dünya üzerinde kullanılan enerjinin %30-40'ının binalarda tüketildiği bilinmektedir. Kullanılan bu enerjinin büyük bir kısmının fosil kaynaklardan elde edilmesine bağlı olarak atmosfere salınan kirletici gazların ve son zamanlarda kentlerin yüz yüze kaldığı kentsel ısı adası etkisinin artış gösterdiği görülmektedir. Bu sorunların minimuma indirilmesi için bina ölçeğinde gerçekleştirilen bazı sürdürülebilir uygulamalar mevcuttur. Çatılar, yapıları dış ortam koşullarından koruyan en önemli yapı bileşenleri olmalarının yanı sıra binalardaki enerji kayıp ve kazançları üzerinde etkisi de oldukça fazladır. Bu sebeple binalarda enerjinin etkin kullanılabilmesi için çatıların iklim koşulları gözeticilerle tasarlanması ve uygulanması son derece önemlidir. Bu çalışmada farklı iklim bölgelerinde farklı çatı tiplerinin ısıtma ve soğutma yükleri bakımından gösterdiği performansları incelenmiş olup örnek bir binanın; TS825 Standardına göre farklı iklim bölgelerinde bulunan 5 ilde (Hatay, Bursa, Elazığ, Sivas, Kars) farklı çatı tipleri (kıрма, teras ve yeşil çatı) ile kurgulanan senaryolara ait ısıtma ve soğutma enerjisi yükleri DesignBuilder programında benzetim yolu ile belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çatı, Isıtma Ve Soğutma Enerjisi, Designbuilder, Enerji Performansı, Enerji Simülasyonu

The Effect Of Roof Type On Building Heating And Cooling Loads In Different Climate Zones

Abstract

Today, due to the rapid increase in the world population, the need for energy has increased and natural resources have approached levels that cannot meet this consumption. It is known that 30-40% of the energy used in the world is consumed in buildings. It is seen that the pollutant gases released into the atmosphere due to the fact that most of this energy is obtained from fossil sources and the effect of the urban heat island, where cities are faced, has increased recently. There are some sustainable practices carried out at the building scale to minimize these problems. Roofs are the most important building components that protect buildings from outdoor conditions, as well as have a great impact on energy losses and gains in buildings. For this reason, it is extremely important to design and apply the roofs considering the climatic conditions in order to use energy effectively in buildings. In this study, the performances of different roof types in terms of heating and cooling loads in different climatic regions were examined. According to the TS825 Standard, the heating and cooling energy loads of the scenarios constructed with different roof types (hip, terrace and green roof) in 5 provinces (Hatay, Bursa, Elazığ, Sivas, Kars) located in different climatic regions were determined by simulation in the DesignBuilder.

Keywords: Roof, Heating and Cooling Energy, DesignBuilder, Energy Performance, Energy Simulation

* Sorumlu Yazar: gokcenurorhan@hotmail.com

1. Giriş

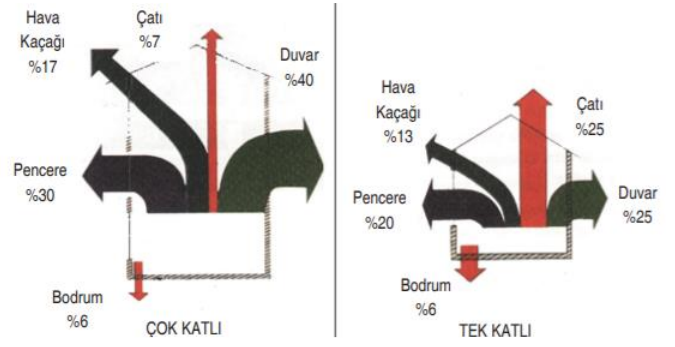
Günümüzde dünyada meydana gelen hızlı nüfus artışı ve beraberinde gelen kentleşme, yeşil alanların azalmasına, artan enerji talebinin fosil kaynaklardan karşılanamayacak seviyeye gelmesine neden olmuştur. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının hızla tüketilmesi beraberinde birçok çevre sorununu getirmiştir. Fosil yakıtların aşırı kullanımı atmosferdeki kirli gazların ve ısının artmasına bağlı olarak küresel bir iklim değişikliğine yol açmaktadır. Kentlerde meydana gelen kontrolsüz yığılmalar neticesinde yaşanan çevre sorunları ile birlikte şehirler kentsel ısı adası etkisi ile karşı karşıya kalmış ve yapılarda konfor koşullarının sağlanması amacı ile kullanılan enerjinin artmasına yol açmıştır [1].

X Azalan enerji kaynakları ve çevreye verilen zararın giderek artması enerjinin etkin kullanılması fikrini gerekli kılmıştır. Bundan dolayı, doğal kaynakların aşırı kullanımını önleyen ve ekolojik yaşamı koruyarak enerji tasarrufunu destekleyen bir tasarıma olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır [2].

Binalar, dünyada kullanılan enerjinin büyük kısmından sorumludur. İmar faaliyetleri her yıl küresel olarak kullanılan enerjinin %40'ını tüketmektedir [3]. Konut binaları bu faaliyetlerin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu nedenle konutlarda enerji tüketimini minimum düzeyde tutmak ve enerjinin verimli kullanılmasını sağlamak bu yapıların çevresel etkilerini azaltmak oldukça önemlidir. Binalarda enerji kullanımının azaltılması ve enerjinin etkin bir şekilde kullanılması için yapının ilk tasarım aşamasından kullanım aşamasına kadar yapılacak birçok uygulama ve önlemler bulunmaktadır. Bu uygulamalar sürdürülebilir mimarlık üst başlığında enerji etkin yapılar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Enerji etkin yapılar; çevresel sorumluluk anlayışıyla, iklime ve o yere özgü şartlara uygun, kaynakları minimum düzeyde tüketen, yenilenebilir enerji kaynak kullanımını öncüleyen, doğal ve atık üretmeyen malzemelerin kullanılmasını teşvik eden, ekosistemlere duyarlı yapılar olarak tanımlanabilirler [4]. Yapılarda enerji gereksinimini etkileyen en önemli faktörlerden biri bina formudur. Binanın formu; bina cephesinin derinliğine oranı, bina yüksekliği, çatı tipi (düz, beşik, kırma), çatı eğimi ve cephe gibi parametrelerle tanımlanabilir [5].

Çatı, binaların en üstünde bulunan ve binayı dış etkenlerden koruyan en önemli yapı elemanıdır. Gün boyu dış ortam ve iklim koşullarına maruz kalan çatılar binaların enerji kullanımında önemli rol oynamaktadır. Bir binada ısı kayıplarının yaklaşık %10'u döşemelerden, %10-25'i pencerelerden, %30-60'ı duvarlardan ve %25'i de tavan ve çatılardan gerçekleştiği ifade edilmektedir. Isınan havanın yükselmesi sonucunda bina içerisindeki ısı da çatıdan dışarıya çıkmaya çalıştığından, binanın ısı performansında dikkat edilmesi gereken yapı elemanlarından biri olmaktadır [6]. Az ve çok katlı binalarda bina ısı yüklerine farklı oranlarda etki etmekte olan çatılar (Şekil 1) iklim bölgelerinin koşullarına göre öncelikle yağmur ve kar sularının birikmemesi için farklı eğimlerde ve formlarda kurgulanabilmektedir (Şekil 2).



Şekil 1. Az ve çok katlı yapılar için genel olarak ısı kayıp oranları (Figure 1. Heat loss rates in general for low and very rigid structures) [7]



Şekil 2. Farklı eğimlerle farklı iklim bölgeleri için oluşturulmuş çatı örnekleri (Figure2. Examples of roofs created for different climatic zones with different slopes)

Çatılardan kaynaklanan enerji kayıp ve kazançların belirlenebilmesi ve çatıların bina enerji performansı üzerindeki etkilerini analiz edebilmek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Kılıç Turan ve Gülten [8], yaptıkları çalışmada taban alanı aynı olan farklı formlardaki binaların teras çatılı ve yeşil çatılı olması durumunda soğutma yüküne olan etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada Elazığ ve Antalya illerine ait iklim verileri kullanılmıştır. Yeşil çatı elemanının hesaplamalara dâhil edilmesi ile her iki il için de bina soğutma yükünün azaldığı görülmüştür. Yao ve diğ.[9], geleneksel bir çatı ile yeşil çatı uygulamasının performanslarını eQuest yazılımı kullandıkları benzetim tabanlı çalışmaları ile kıyaslamışlardır. Çalışmada yeşil çatı uygulamasıyla ısıtma ve soğutma enerjisinden tasarruf sağlanırken, yeşil çatının barındırdığı ek katmanlar nedeniyle yaşam döngüsü maliyetinin arttığı ve çevresel etkinin daha az olduğu sonucuna varılmıştır. Ayçam ve Kınalı [10], ofis binalarında yeşil çatıların bina ısıtma ve soğutma yüklerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada sıcak ve soğuk iki iklim bölgesi kullanılmış ve standart teras çatı ile seyrek bitkili yeşil çatı karşılaştırılmıştır. Ferrante ve diğ.[11], Palermo şehrinde geleneksel bir çatı ile yeşil çatının enerji tasarrufuna olan katkısını incelemişlerdir. Sonuçlar yeşil çatılı kurgulanan simülasyonun daha etkin bir enerji tasarrufu sağladığını göstermektedir.

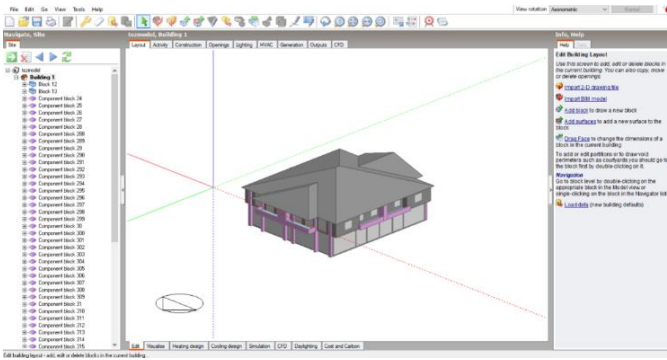
2. Materyal ve Metot

Çalışmada bodrum, zemin ve 1 normal kattan oluşan örnek bir konut binası kullanılmış olup, yapının mevcut halinde bulunan kırma çatıya ek olarak düz teras çatı ve yeşil çatı uygulamalarına ait farklı senaryolar üretilmiştir. Bu senaryolar TS 825 Standardındaki beş farklı iklim bölgesinde seçilmiş olan iller (Hatay (1. Bölge), Bursa (2. Bölge), Elazığ (3.Bölge), Sivas (4. Bölge) ve Kars (5. Bölge) için göz önünde bulundurulmuş ve

bütün senaryolar için binanın ısıtma ve soğutma değerleri DesignBuilder programında hesaplanmıştır.

2.1. DesignBuilder

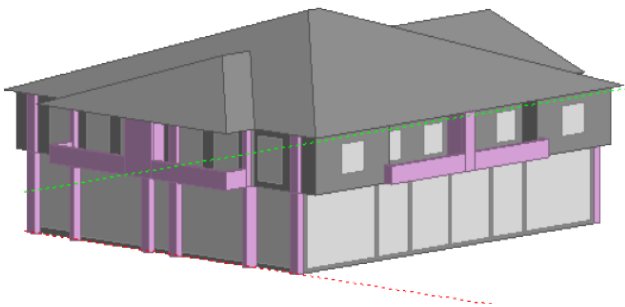
Design Builder, değişken koşullarda bina enerji performansını analiz eden Energy Plus tabanlı bir enerji benzetim yazılımıdır. Kolay kullanıma olanak sağlayan ve anlaşılır arayüzü sayesinde tüm binaların modellenmesi, ısıtma, soğutma, aydınlatma yüklerinin belirlenmesi, gün ışığı analizi, CO2 salımı vb. gibi birçok hesaplamayı aynı anda yapılabilme özelliğine sahiptir [12]. Yapı malzemeleri ve yapım teknikleri açısından alt yapısında oldukça geniş bir kütüphanesi bulunan yazılım ayrıca özel yapım elemanları, malzemeleri ve boyutlarına ait veri girişini de sağlayarak, farklı tasarımlardaki binaları modellemeye olanak vermektedir. Günümüzde enerjinin etkin ve doğru kullanımı gibi konuların giderek hayati önem arz etmesi sebebiyle Design Builder ve benzeri enerji benzetim programları bu alanlarda gelişmeye devam etmektedir. Programa ait kullanıcı arayüzü Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. DesignBuilder arayüzü (Figure 3. DesignBuilder interface)

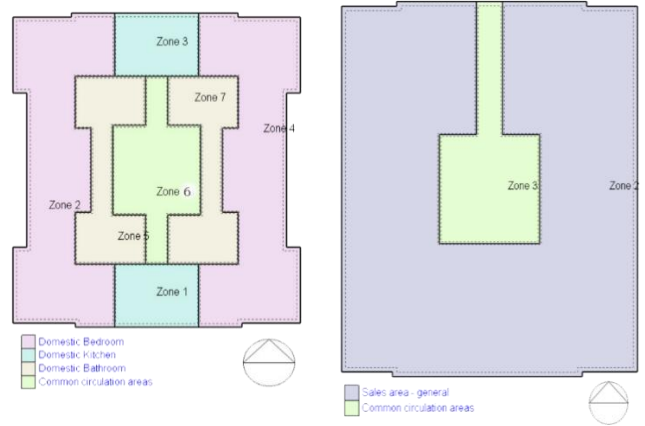
2.2. Örnek Bina ve Özellikleri

Çalışmada 3D modeli Şekil 4'te gösterilen bir konut yapısı ele alınmıştır. Bina zemin+1 kat olarak tasarlanmış zemin kat ticari alan olarak kullanıma ayrılmıştır. Ayrıca binanın bodrum katında depo alanları ve otopark bulunup bu bölümler hesaplamalara dahil edilmemiştir. Yapıda; normal katta 4 konut dairesi ve zemin katta 6 adet ticari alan yer almaktadır. Bina betonarme taşıyıcı sisteme sahip olup dış ve iç duvarlar tuğladır. Binanın mevcut çatısı geleneksel kırma çatı olup çatı elemanları ve diğer bileşenlerle birlikte Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 4. Mevcut binanın modeli (Figure 4. Model of existing building)

Binanın diğer yapı elemanları sabit tutularak çatı bileşenleri değiştirilmiş ve buna bağlı senaryolar oluşturulmuştur. 3 farklı çatı tipi kullanılarak oluşturulan senaryolar 5 farklı il için ayrı ayrı değerlendirilmiş ve hesaplamalar bu şekilde yapılmıştır. Öncelikle Design Builder programında mevcut konut bloğu modellenmiş ve iklim, etkinlik ve yapı malzemeleri modele tanımlanmıştır. Yapıda ısıtma yükleri birbirlerine yakın olan mekanlar birlikte ele alınmış ve bina zonlara (ısıtma bölgelerine) ayrılmıştır. Normal katlarda 7 ısıtma bölgesi oluşturulurken zemin kat 2 ısıtma bölgeye ayrılmıştır. Konut ve ticari alanlara ait belirlenmiş olan ısıtma bölgeleri Şekil 5'te verilmiştir. Meteorolojik veriler yazılımından [URL-1] Hatay, Bursa, Elazığ, Sivas ve Kars illeri için temin edilen meteorolojik veriler programa girilmiş ve her senaryo için bina ısıtma ve soğutma yüklerine ait hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.



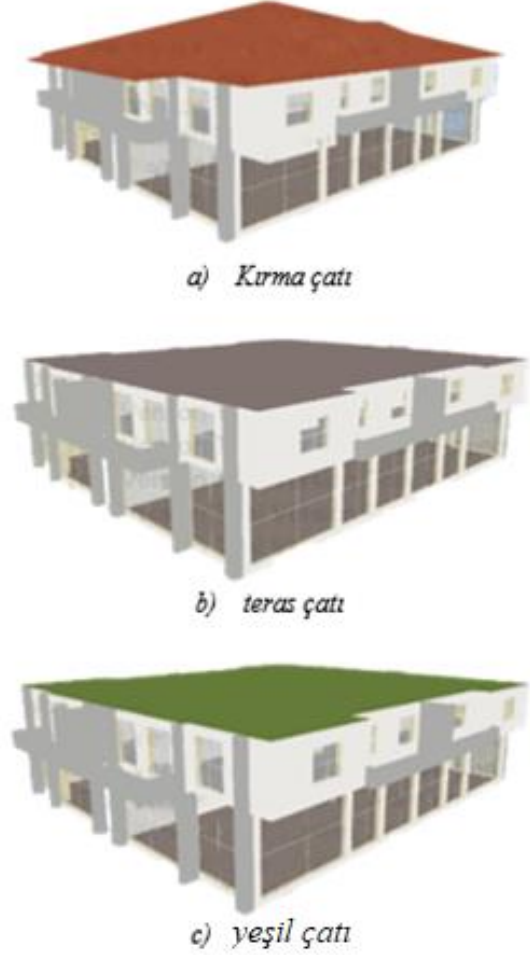
Şekil 5. Bina ısıtma Bölgeleri (Figure 5. Building thermal zones)

Tablo 1. Yapı elemanları (Table 1. structural elements)

Yapı Elemanları	Katmanlar (dıştan içe)	Kalınlık (mm)	İletkenlik (w/mk)	Yoğunluk (kg/m ³)
Duvar	sıva	30	0.5	1300
	taş yünü	40	0.03	100
	AAC blok	200	0.11	2800
	Alçı sıva	20	0.4	1000
Döşeme	Döşeme betonu	200	1.4	2100
	Taş yünü	50	0.03	100
	Tesviye betonu	60	0.38	1200
	Kaplama	2.5	1.8	2560
Pencere	Cam	3	Güneş geçirgenliği insidansı: 0.83 Güneş yansımaları insidansı: 0.75 Görünür geçirgenlik insidansı: 0.89 Görünür yansımaları insidansı: 0.81	
	Hava boşluğu	13		
	cam	3		

2.3. Oluşturulan Senaryolar ve Çatı Özellikleri

Binanın mevcut çatı türü olan kırma çatının yapı elemanları ve parametreleri programa girilerek hesaplama yapıldıktan sonra oluşturulan senaryolardaki çatı türleri için de kurgulanan parametreler programa dahil edilip hesaplamalar yapılmıştır. Kullanılan çatı elemanları Tablo 2'de gösterilmiştir. Farklı çatı türlerine ait görseller Şekil 6'da görüldüğü gibidir.



Şekil 6. Çatı türleri (Figure 6. Roof types)

Tablo 2. Çatı elemanları (Table 2. Roof elements)

Senaryo	Çatı Bileşenleri	Kalınlık (mm)	İletkenlik (W/mK)	Öz Isı (J/kgK)	Yoğunluk (kg/m ³)
Mevcut Durum Kırma Çatı (U değeri: 0,51 W/m ² K)	Kiremit	25	2.00	837	2243
	Su Yal.	6	0.190	840	960
	Ahşap Kaplama	20	1.340	1340	1010
	Eğim Betonu	50	1.400	650	2100
	Isı Yal.	110	0.035	1400	35
	Su Yal.	5	0.190	840	960
	Bet. Döş.	150	2.500	1000	2400
	Tavan Sıvası	25	0.510	960	1120
Senaryo 2 Yeşil Çatı (U değeri: 0,19 W/m ² K)	Bitki Katmanı	100	0.300	1000	1000
	Toprak	100	0.069	880	260
	Filter Katmanı	1	0.220	1800	910
	Drenaj	25	0.500	1800	980
	Ayırıcı Tabaka	5	0.190	1200	1400
	Eğim Betonu	50	1.400	650	2100
	Isı Yal.	110	0.025 2	1000	700
	Su Yal.	5	0.036	840	160
	Bet. Döş.	150	2.500	1000	2400
	Tavan Sıvası	25	0.510	960	1120
Senaryo 3 Teras Çatı (U değeri: 0,72 W/m ² K)	Çakıl	50	0.520	180	2050
	Keçe	10	0.05	1300	120
	Eğim Betonu	50	1.400	650	2100
	Isı Yal.	70	0.035	1400	35
	Su Yal.	5	0.190	840	960
	Bet. Döş.	150	2.500	1000	2400
	Tavan Sıvası	25	0.510	960	1120

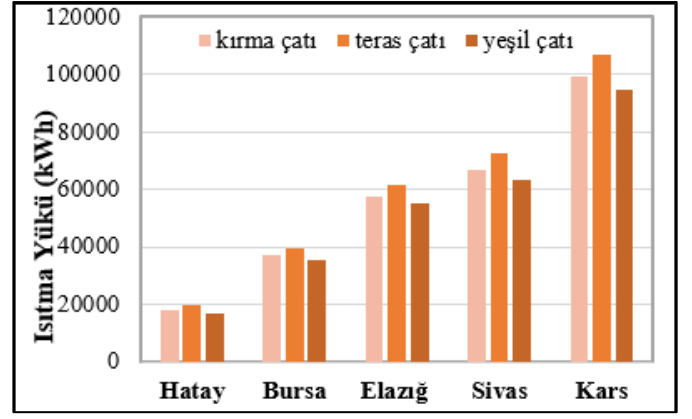
3. Bulgular ve Değerlendirme

Bu çalışmada bir konut bloğunun farklı iklim bölgelerinde hangi çatı türüyle en iyi enerji performansı göstereceği araştırılmıştır. Farklı iklim bölgelerinden olmak üzere 5 farklı il seçilmiş ve senaryolar bu iller üzerinden kurulmuştur. Elde edilen veriler tablo ve grafiklerle açıklanmış ve karşılaştırmalı sonuçlar gösterilmiştir. Her il için farklı senaryolara ait sonuçlar tablo şeklinde belirtilmiş ve illerin karşılaştırılması grafiklere aktarılmıştır.

Tablo 3. Elde edilen veriler (Table 3. The data obtained)

Çatı Türleri	Elazığ	
	Isıtma yükü (kWh)	Soğutma yükü (kWh)
Kırma çatı	57334.69	43625.8
Teras çatı	61892.25	45513.5
Yeşil çatı	54929.75	42882.2
Çatı Türleri	Hatay	
	Isıtma yükü (kWh)	Soğutma yükü (kWh)
Kırma çatı	18088.74	83261.05
Teras çatı	20052.02	85022.33
Yeşil çatı	16872.66	81042.94
Çatı Türleri	Kars	
	Isıtma yükü (kWh)	Soğutma yükü (kWh)
Kırma çatı	99570	10550
Teras çatı	107110	11130
Yeşil çatı	94745.39	9965
Çatı Türleri	Sivas	
	Isıtma yükü (kWh)	Soğutma yükü (kWh)
Kırma çatı	66627.58	18467.4
Teras çatı	72554.82	18606
Yeşil çatı	63320.61	18020.6
Çatı Türleri	Bursa	
	Isıtma yükü (kWh)	Soğutma yükü (kWh)
Kırma çatı	36964.95	45234.16
Teras çatı	39617.31	49787.98
Yeşil çatı	35295.99	43576.2

Elde edilen sonuçlara göre tüm iklim bölgelerinde yeşil çatı uygulamalarıyla hem ısıtma hem de soğutma yükü bakımından daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 7-8). Sonuçlar değerlendirildiğinde:



Şekil 7. Farklı çatı türleri için ihtiyaç duyulan ısıtma yükleri (Figure 7. Heating loads needed for different roof types)

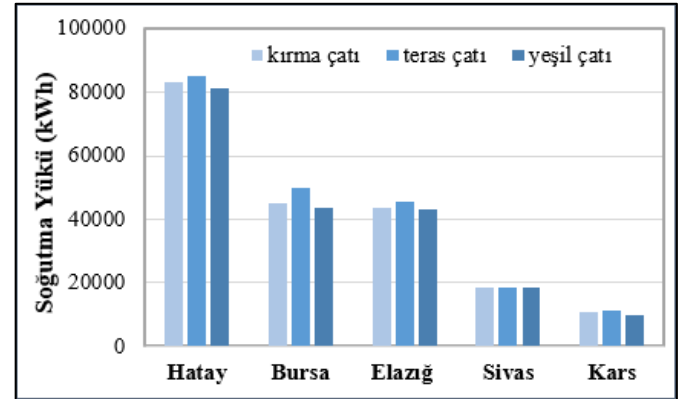
• Yeşil çatıların bina ısıtma yüküne olumlu etkisi sırasıyla Elazığ'da %4.2, Hatay'da %6.7, Kars'ta %4.9, Sivas'ta %5 ve Bursa'da %4.5 olarak hesaplanmıştır.

• Yeşil çatıların bina soğutma yükü üzerindeki olumlu etkisi sırasıyla; Elazığ'da %2, Hatay'da %2.7, Kars'ta %5.4, Sivas'ta %2.5 ve Bursa'da %3.7 olarak hesaplanmıştır.

Teras çatılar ise mevcut kırma çatıya ve yeşil çatıya göre daha olumsuz sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Buna göre:

• Teras çatıların bina ısıtma yüküne olan etkisi kırma çatıya göre; Elazığ'da %8, Hatay'da %10.8, Kars'ta %7.5, Sivas'ta %8.8 ve Bursa'da %7 oranında artmıştır.

• Teras çatıların bina soğutma yüküne etkisi ise kırma çatıya göre; Elazığ'da %4.3, Hatay'da %2.2, Kars'ta %5.5, Sivas'ta %1 ve Bursa'da %10 oranında artış göstermiştir.



Şekil 8. Farklı çatı türleri için ihtiyaç duyulan soğutma yükleri (Figure 8. Cooling loads needed for different roof types)

Yeşil çatıların ısıtma yüküne etkisinin soğutma yüküne olan etkisinden daha fazla olduğu tüm illerde ortak olarak karşımıza çıkmaktadır. Yeşil çatıların ısıtma yüküne olumlu etkisi ele alınan iller bazında değerlendirildiğinde en fazla sıcak iklim bölgesinde (1. Bölge) yer alan Hatay (%6.7) ilinde görülmektedir. Daha sonra sırasıyla Sivas (%5), Kars (%4.9), Bursa (%4.5) ve Elazığ (%4.2) illeri takip etmektedir.

Yeşil çatıların soğutma yüküne etkisi ise en yüksek % 5.4 oranla Kars'ta (5. Bölge) ortaya çıkmıştır. Sırasıyla diğer illerde ise; Bursa (% 3.7), Hatay (%2.7), Sivas (% 2.5) ve Elazığ (%2) olarak görülmektedir.

Teras çatıların ısıtma yüküne etkisi iller bazında değerlendirildiğinde ise en fazla etkinin görüldüğü il yine Hatay

(1. Bölge) olarak karşımıza çıkmaktadır. Teras çatının normal kırma çatıya oranla %10.8 daha fazla enerji gereksinimi ortaya çıkardığı görülmüştür. Bunu sırasıyla Sivas (%8.8), Elazığ (%8), Kars (%7.5) ve Bursa (%7) takip etmektedir.

Teras çatıların soğutma yüküne etkisi incelendiğinde kırma çatı ve yeşil çatıya oranla daha fazla enerjiye ihtiyaç duyduğu saptanmıştır. Teras çatıların en fazla soğutma yüküne ihtiyaç duyduğu il olan Bursa'da (2. Bölge) normal kırma çatıya oranla %10 daha fazla bina soğutma enerjisi harcadığı görülmektedir. Sırasıyla diğer illerde ise soğutma yükünün Kars (%5.5), Elazığ (%4.3), Hatay (%2.2) ve Sivas (%1) olmak üzere daha fazla enerjiye ihtiyaç duyduğu görülmektedir.

4. Sonuç

Tüm sonuçlar ele alındığında yeşil çatı sistemlerinin tüm iklim bölgelerinde bina ısıtma ve soğutma yüklerine etkisinin daha fazla olduğu görülmektedir. Yeşil çatılar hem mevcut kırma çatı sistemine hem de teras çatı sistemlerine göre daha avantajlı sonuçlar ortaya koymuştur. Bu nedenle yeşil çatılar enerji korunumu bakımından uygulanması en doğru seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çatılar yalnızca binanın üzerini örten yapı elemanı olarak değil aynı zamanda binanın enerji performansına etki eden, yapıya estetik değer katan ve yapının iç konfor şartlarını sağlamakta önemli payı olan sistemler olarak düşünülmelidir. Bu nedenle binalar enerji etkin yapılar kapsamında tasarlanırken en uygun çatı uygulamaları seçilmeli ve böylece çevresel ve ekonomik açıdan fayda sağlanmalıdır.

Kaynakça

- [1] Akyıldız, N. A. (2020). Evaluation of Public Tender Law Changes in Turkey in Context of Economic Sustainability. *International Journal of Scientific Research and Management*, 8(5), 18- 28.
- [2] Bektaş Ekici, B. and Akyıldız, N. A. (2021). 'Effect of Green Wall Systems on Building Heating and Cooling Loads in Sustainable Design.' *Architectural Sciences and Technology*, Livre De Lyon, Book Chapter, 281-299, ISBN: 978-2-38236-136-8.
- [3] Engin, N. (2012). Enerji Etkin Tasarımda Pasif İklimlendirme: Doğal Havalandırma, *Tesisat Mühendisliği*, 129, 62-70.
- [4] Efe Yavaşcan, Emel ve URAK, Zehra Gediz (2019), Geleneksel Niğde Evlerinde Enerji Etkin Yapı Tasarımının İncelenmesi, *İdil Sanat ve Dil Dergisi* 2019, 56, 503-513.
- [5] Berköz, B., Yılmaz Aygün, Z., Kocaaslan, G., Yıldız, E., Ak, F. (1995). Enerji etkin konut ve yerleşme tasarımı. *Tübitak-Intag*, Proje No:201, İ.T.Ü., İstanbul..
- [6] Koca, A. (2005). Farklı çatı tiplerinde laminar doğal konveksiyonla ısı transferinin sayısal olarak incelenmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [7] Yaman, Ö., Şengül, Ö., Selçuk, H., Çalıklı, O., Kara, İ., Erdem, Ş., Özgür, D. (2015). Binalarda Isı Yalıtımı ve Isı

Yalıtımı Malzemeleri, *Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH)*, 487, 62-75.

- [8] Gülten, A. & Turan, B. K. (2020). Yeşil Çatıların Farklı Bina Formları İçin Soğutma Yüküne Etkisini İncelenmesi: Elazığ Ve Antalya Örneği. *Ejons International Journal*, 4(14), 220-239.
- [9] M Yao, Y., Zhu, S., Wang, H., Li, H., ve Shao, M. (2018). A spectroscopic study on the nitrogen electrochemical reduction reaction on gold and platinum surfaces. *Journal of the American Chemical Society*, 140(4), 1496-1501
- [10] Ayçam, İ. & Kınalı, M. (2013). Ofis Binalarında Yeşil Çatıların Isıtma ve Soğutma Yüklerine Olan Etkilerinin Analizi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 135, 26-34..
- [11] Ferrante, P., La Gennusa, M., Peri, G., Scaccianoce, G. ve Sorrentino, G. (2015). Comparison between conventional and vegetated roof by means of a dynamic simulation. *Energy Procedia*, 78, 2917-2922.

[URL-1] <https://meteonorm.meteotest.ch/en/>



Cornus alba Reinforced Polyester-Epoxy Hybrid Composite Production and Characterization

Abayhan Buran¹, Murat Ersin Durğun², Ercan Aydoğmuş^{3*}

¹Firat University, Faculty of Engineering, Department of Bioengineering, Elazığ, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4204-8638), a.buran@firat.edu.tr

²Firat University, Faculty of Engineering, Department of Bioengineering, Elazığ, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2651-1063), medurgun@firat.edu.tr

³Firat University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Elazığ, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1643-2487), ercanaydogmus@firat.edu.tr

(4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, November 10 - 13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1200781)

ATIF/REFERENCE: Buran, A., Durğun, M. E., & Aydoğmuş, E. (2022). *Cornus Alba* Reinforced Polyester-Epoxy Hybrid Composite Production and Characterization. European Journal of Science and Technology, (43), 116-120.

Abstract

In this study, ornamental cranberry (*Cornus alba*) reinforced hybrid composite is synthesized. The plant leaves have been collected, dried, and ground for composite production. After it is reinforced into unsaturated polyester (UP) at different rates by mass, it is mixed to show a homogeneous distribution. Then, 5 wt.% of the total mixture is added to the epoxy resin and polymerization reactions are started with the help of necessary additives and catalysts. The product obtained is poured into standard molds and after waiting one day for curing, necessary tests are carried out. According to the results obtained, biomass supplementation reduces the density of the hybrid composite. Although the addition of epoxy resin increases the hardness of the composite, the ornamental cranberry supplement reduces Shore D hardness. It is observed that the thermal conductivity coefficient decreases as the ratio of polyester resin in the composite increases. However, both epoxy resin and biomass reinforcement slightly raises the thermal conductivity coefficient. Also, high biomass reinforcement both weakens the mechanical strength of the hybrid composite and negatively affects the surface morphology. In this study, it was determined that the composite obtained by using 88.5 wt.% UP, 3 wt.% Epoxy A, 1.5 wt.% Epoxy B, 5 wt.% biomass, 1.5 wt.% methyl ethyl ketone peroxide (MEKP), and 0.5 wt.% cobalt octoate (Co Oc) showed optimum properties.

Keywords: Polyester, epoxy, ornamental cranberry, hybrid composite, characterization.

Süs Kızılcığı Takviyeli Polyester-Epoksi Hibrit Kompozit Üretimi ve Karakterizasyonu

Öz

Bu çalışmada süs kızılcığı (*Cornus alba*) takviyeli hibrit kompozit sentezlenmiştir. Bitki yaprakları toplanmış, kurutulmuş ve kompozit üretimi için öğütülmüştür. Doymamış polyestere (UP) kütlece farklı oranlarda takviye edildikten sonra homojen bir dağılım gösterecek şekilde karıştırılmaktadır. Daha sonra toplam karışıma ağırlıkça % 5 epoksi reçine ilave edilir ve gerekli katkı maddeleri ve katalizörler yardımıyla polimerizasyon reaksiyonları başlatılır. Elde edilen ürün standart kalıplara dökülerek bir gün kürlenmesi beklendikten sonra gerekli testler yapılır. Elde edilen sonuçlara göre biyokütle takviyesi hibrit kompozitin yoğunluğunu azaltmaktadır. Epoksi reçine ilavesi kompozitin sertliğini artırsa da süs kızılcığı takviyesi kompozitin Shore D sertliğini azaltmıştır. Kompozitteki polyester reçine oranı arttıkça ısı iletkenlik katsayısının azaldığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte kompozite hem epoksi reçine hem de biyokütle takviyesi ısı iletkenlik katsayısını az da olsa yükseltmiştir. Ayrıca yüksek biyokütle takviyesi hem hibrit kompozitin mekanik mukavemetini zayıflatmakta hem de yüzey morfolojisini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çalışmada, ağırlıkça % 88.5 UP, % 3 Epoksi A, % 1.5 Epoksi B, % 5 biyokütle, % 1.5 metil etil keton peroksit (MEKP) ve % 0.5 kobalt oktoat (Co Oc) kullanılarak elde edilen kompozit optimum özellikler göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Polyester kompozit, Atık mısır koçanı, Termal iletkenlik, Aktivasyon enerjisi, Yoğunluk, Sertlik.

1. Introduction

Today, the use of composite materials is becoming more common day by day. A composite material can be defined as the joining of two or more materials with better properties than the components used alone. The reinforcement may include fiber-reinforced polymer composites, natural fibers, or synthetic fibers. In the future, it is foreseen that such composites will be preferred with the increase in the usage areas of natural fibers. Being compatible with the environment, having a low carbon footprint, and being economical and easy to work with provide important advantages. However, it should be used in certain proportions (optimum). The use of high proportions in the composite will weaken the mechanical properties of the product. For this reason, in many of the studies in the literature, researchers have paid attention to the mechanical properties of composites in the use of natural fibers [1].

Plants such as banana, sisal, bamboo, kenaf, jute, bamboo, and sugarcane can be used as natural fibers. Natural fibers have become important in the automobile, textile, manufacturing, and sports industries as they have superior mechanical advantages and properties. Natural fibers are seen as a safer alternative to synthetic fibers [2].

As a result of reinforcing natural fiber to traditional materials in the polymer structure, both renewable resources are used and economical composite materials are produced. The complete decomposition of natural fibers and the evaluation of biomass wastes will ensure that environmentally friendly composites are preferred. Therefore, natural fiber composites are of great interest in various research papers on fiber extraction, chemical treatments, fiber-matrix adhesion, or processing conditions [3].

Due to the decrease in fossil resources, environmental risks, and negative effects of petrochemical resources on human health, natural fibers offer an alternative solution to the production of biocomposite materials [4]. To improve some physical and chemical properties of biocomposite materials, it is necessary to determine the use, compatibility, and interaction of such natural fibers. Fiber strength is also important in choosing the natural fiber determined according to the desired application and purpose of use. This selection should not negatively affect the structure of the biocomposite both physically and chemically [5].

The leaves of ornamental cranberry also called *Cornus alba*, which is a genus of *Cornus L.* from the family Cornaceae, are used in the production of composites [6,7]. Leaf extracts of this plant show acceptable antimicrobial activity against different types of bacteria and fungi. It has also been observed that the leaves of the plant have rich fatty acid and organic acid content [8-12].

In this study, new hybrid composites are produced using renewable resources. Biocomposites with low density, economic and easy workability are being developed by the intended use. It is intended that the obtained composite has decreased petrochemical composition, reduced carbon footprint, and easy-to-recycle, environmentally friendly features [13-17].

2. Materials and Methods

In this study, it was supplied by UP, MEKP, and Co Oc Turkuaz Polyester. Epoxy resin and its components were also purchased from Polisan Company. In addition, the leaves of the *Cornus alba* plant were collected and dried in the province of Elazığ/Türkiye.

In experimental studies, the biomass filler was ground to a particle size of -50/100. By adding this filler to the UP, the mixture was homogenized. Then, certain amounts of Epoxy A and Epoxy B components were added to it. At the last stage, MEKP and Co Oc additives are added to the mixture, mixed, and casting is made into standard molds [18-35].

Figure 1 shows the untreated state of *Cornus alba* leaves and their structure after grinding.



Figure 1. Leaves of *Cornus alba* plant

In Figure 2, the production scheme of the hybrid composite is given briefly and each stage is shown.

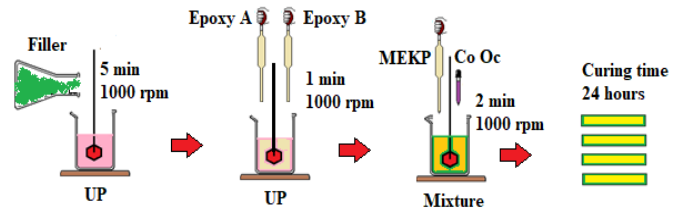


Figure 2. Hybrid composite production scheme

Table 1 indicates each component used in the experiments and their amounts. The ratios of UP and filler change, while the amounts of other components are kept constant.

Table 1. Composite production plan in experimental studies

UP (wt.%)	EA (wt.%)	EB (wt.%)	MEKP (wt.%)	Co Oc (wt.%)	Filler (wt.%)
93.5	3.0	1.5	1.5	0.5	0
92.5	3.0	1.5	1.5	0.5	1
90.5	3.0	1.5	1.5	0.5	3
88.5	3.0	1.5	1.5	0.5	5
86.5	3.0	1.5	1.5	0.5	7

3. Results and Discussion

In this study, the density, Shore D hardness, thermal conductivity coefficient, and pore matrix of the composite obtained have been investigated. In addition, evaluations are made about the mechanical properties and machinability of the composite. In Figure 3, Figure 4, and Figure 5, the density, hardness, and thermal conductivity effects of the biomass filler on the produced hybrid composite have been evaluated, respectively.

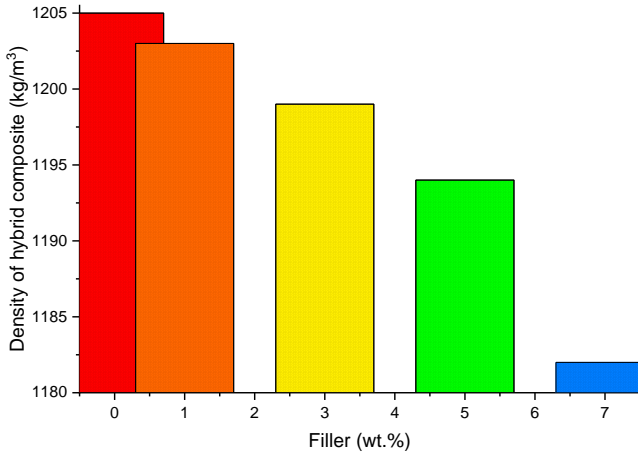


Figure 3. The effect of biomass reinforcement on the density of the hybrid composite

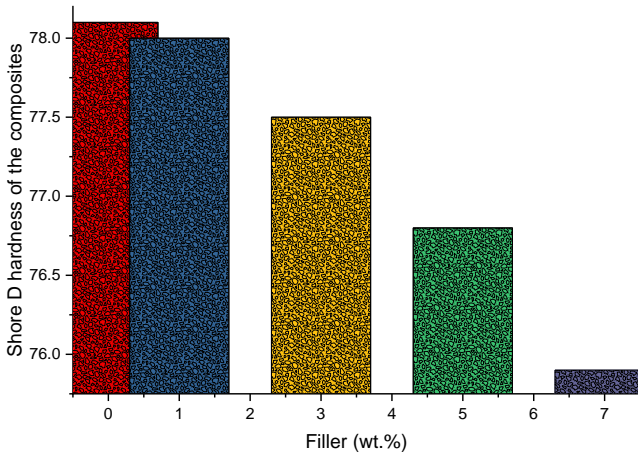


Figure 4. The effect of biomass reinforcement on the hardness of the composites

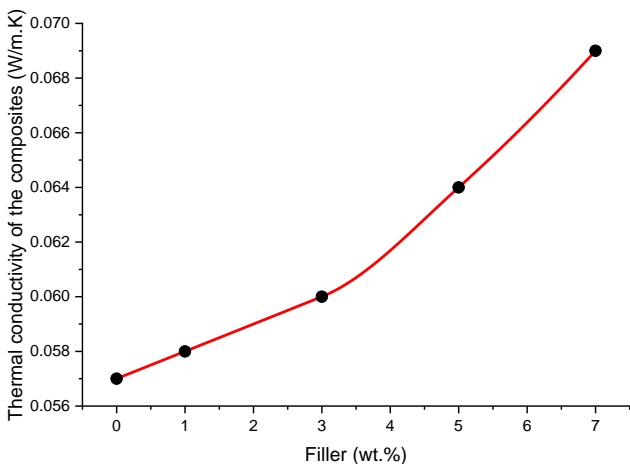


Figure 5. The effect of biomass reinforcement on the thermal conductivity of the composites

Table 2 provides activation energies determined from thermal decomposition tests of the hybrid composites. It is seen that as the filler content is increased, the activation energy of the resulting the composites lowers. Coats-Redfern method has been used to compute activation energy (E_a) values. The three-dimensional diffusion equation is found the highest correlation coefficients in this strategy [27-30].

Activation energies of biomass reinforced the composites in the range of 0.15 to 0.85 conversion ratio are calculated. Thermal decomposition experiments have been carried out from 293 K to 873 K at a heating rate of 10 K/min.

Table 2. Calculated activation energies of the hybrid

Filler ratios (wt.%)	Activation energy (E_a : kJ/mol)
0	120.07
1	116.95
3	113.20
5	110.68
7	109.43

4. Conclusions and Recommendations

In this study, a total of 4.5 wt.% epoxy resin was reinforced to improve some thermophysical properties of the polyester composite. The use of such additives has improved the hybrid composite to both improve its mechanical properties and increase its thermal stability [31-42]. Biomass filler reinforcement obtained by grinding the leaves of *Cornus alba* plant decreased the density of the composite. Also, the use of filler in high proportions in the composite creates a porous matrix and reduces Shore D hardness. However, the filler reinforcement slightly increased the thermal conductivity coefficient of the composites. The use of such fillers in the composite ensures the use of fewer petrochemicals, economical production, and workability. Besides, the use of renewable biomass wastes in hybrid composites contributes to the widespread use of environmentally friendly products.

According to the results obtained in this study, optimum composite production was made with 5 wt.% biomass reinforcement. Higher filler reinforcement negatively affected both the mechanical properties and surface morphology of the composite [43-51]. SEM images of pure and biomass reinforced composites are given in Figure 6 and Figure 7. It is seen that the surface of the 7% biomass reinforced composite by weight is not homogeneous and regular. Accordingly, it is understood that high rates of biomass reinforcement have a negative effect on both the composite matrix and the surface morphology.

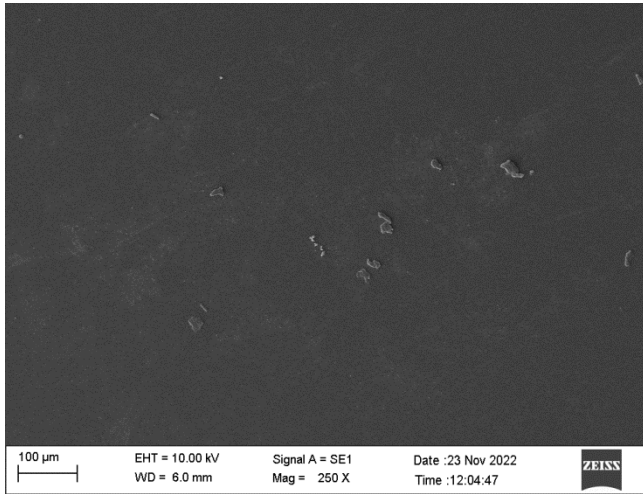


Figure 6. SEM image of the non-biomass-reinforced composite

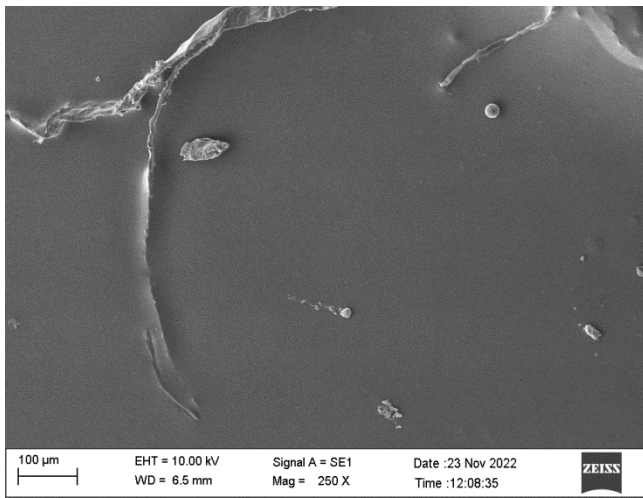


Figure 7. SEM image of biomass (7 wt.%) reinforced hybrid composite

References

- [1] Ankit, Rinawa, M., Chauhan, P., Suresh, D., Kumar, S., and Kumar, R. S. A review on mechanical properties of natural fiber reinforced polymer (NFRP) composites, *Materials Today: Proceedings*, 1-5, 2021.
- [2] Samuel, O. D., Agbo, S., and Adekanye, T. A. Assessing mechanical properties of natural fibre reinforced composites for engineering applications, *J. Miner. Mater. Charact. Eng.* 11(08), 780-784, 2012.
- [3] Satyanarayana, K. G., Sukumaran, K., Mukherjee, P. S., Pavithran, C., and Pillai, S. G. K. Natural fibre-polymer composites, *Cem. Concr. Compos.* 12(2), 117–136, 1990.
- [4] Yan Cheung, H., po Ho, M., tak Lau, K., Cardona, F., and Hui, D. Natural fibre-reinforced composites for bioengineering and environmental engineering applications, *Compos. Part B Eng.* 40(7), 655–663, 2009.
- [5] Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., and Sain, M. Progress report on natural fiber reinforced composites, *Macromolecular Materials and Engineering.* 299, 9–26, 2014.
- [6] Tural, S., and Koca, I. Physico-chemical and antioxidant properties of *Cornelian* cherry fruits (*Cornus mas L.*) grown in Turkey, *Sci Hort.* 116(4), 362–366, 2008.
- [7] Dean, M. Flowers, fruit, foliage, *Flower Garden Mag.* 45, 52–56, 2001.
- [8] Xiang, Q. Y., Brunsfeld, S. J., Soltis, D. E., and Soltis, P. S. Phylogenetic relationships in *Cornus* based on chloroplast DNA restriction sites: Implications for biogeography and character evolution, *Syst. Bot.* 21, 515–534, 1996.
- [9] Fan, C. Z., and Xiang, Q. Y. Phylogenetic relationships within *Cornus* (*Cornaceae*) based on 26S rDNA sequences, *Am. J. Bot.* 88, 1131–1138, 2001.
- [10] Milenković-Anđelković, A. S., Anđelković, M. Z., Radovanović, A. N., Radovanović, B. C., and Nikolić, V. Phenol composition, DPPH radical scavenging and antimicrobial activity of Cornelian cherry (*Cornus mas*) fruit and leaf extracts, *Hem Ind.* 69(4), 331–337, 2015.
- [11] Krivoruchko, E. V. Carboxylic Acids from *Cornus mas*, *Chem Nat Compd.* 50(1), 112–113, 2014.
- [12] Drkenda, P., Spahić, A., and Begić-Akagić, A., Pomological characteristics of some autochthonous genotypes of Cornelian cherry (*Cornus mas L.*) in Bosnia and Herzegovina, *Erwerbs-obstbau.* 56(2), 59–66, 2014.
- [13] Orhan, R., and Aydoğmuş, E. Production of Sunflower Stalk Reinforced Polyester Composite and Investigation of some Thermophysical Properties, *Al-Farabi 4th International Congress on Applied Sciences*, Erzurum, 2022.
- [14] Orhan, R., Topuz, S., and Aydoğmuş, E. Experimental and Theoretical Study on Mechanical Properties of Apricot Stone Shell Reinforced Polyester Composites, *3. Asia Pacific International Congress on Contemporary Studies*, South Korea, 2020.
- [15] Aydoğmuş, E. and Dağ, M. Characterization of Thermophysical of Biomass Reinforced Polyester Composite, *1st International Conference of Physics*, Ankara, 2021.
- [16] Orhan, R., and Aydoğmuş, E. Investigation of some thermophysical properties of *Asphodelus aestivus* reinforced polyester composite, *Firat University Journal of Experimental and Computational Engineering* 1(3), 103–109, 2022.
- [17] Orhan, R., and Aydoğmuş, E. Production and Characterization of Waste Corncob Reinforced Polyester Composite, *European Journal of Science and Technology Special Issue.* 42, 176-179, 2022.
- [18] Dağ, M., Yanen, C., and Aydoğmuş, E. Effect of Boron Factory Components on Thermophysical Properties of Epoxy Composite, *European Journal of Science and Technology*, 36, 151–154, 2022.
- [19] Aydoğmuş, E., Şahal, H., and Demirel, M. H. Production of Epoxy Composites from Boron Factory Components, *13th International Conference of Strategic Research on Scientific Studies and Education*, Antalya, 2021.
- [20] Yanen, C., Dağ, M., and Aydoğmuş, E. Investigation of Thermophysical Properties of Colemanite, Ulexite, and Tincal Reinforced Polyester Composites, *European Journal of Science and Technology*, 36, 155–159, 2022.
- [21] Aydoğmuş, E., Dağ, M., and Yalçın, Z. G. Production and Characterization of The Composite from Unsaturated Polyester Resin with Tincal Ore, *4th International Conference on Physical Chemistry and Functional Materials*, Elazığ, 2021.
- [22] Dağ, M., Yanen, C., and Aydoğmuş, E. Effect of Boron Factory Components on Thermophysical Properties of Epoxy Composite, *1st International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences*, Konya, 2022.

- [23] Yanen, C., Dağ, M., and Aydoğmuş, E. Investigation of Thermophysical Properties of Colemanite, Ulexite, and Tincal Reinforced Polyester Composites, 1st International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences, Konya, 2022.
- [24] Yılmaz, E., and Aydoğmuş, E. Production of Tincal Ore Reinforced Polyester Composite and Determination of Some Thermophysical Properties, 5th International Symposium on Innovative Approaches in Smart Technologies, Türkiye, 2022.
- [25] Yılmaz, E., Aydoğmuş, E., and Demir, A. Production of Tincal Ore Reinforced Vinylester Composite and Investigation of Its Thermophysical Properties, Karadeniz 9th International Conference on Applied Sciences, Artvin, 2022.
- [26] Aydoğmuş, E., and Arslanoğlu, H. Kinetics of thermal decomposition of the polyester nanocomposites, *Petroleum Science and Technology*, 39(13–14), 484–500, 2021.
- [27] Aydoğmuş, E., Dağ, M., and Yalçın, Z. G. Thermal Decomposition Kinetics of the Colemanite Filled Polyester Composite, 3rd International Conference on Physical Chemistry and Functional Materials, Malatya, 2020.
- [28] Aydoğmuş, E., Dağ, M., and Yalçın, Z. G. Thermal Decomposition Kinetics of the Waste Clay Filled Polyester Composite, 3rd International Conference on Physical Chemistry and Functional Materials, Malatya, 2020.
- [29] Aydoğmuş, E., Dağ, M., and Yalçın, Z. G. Thermal Decomposition Kinetics of the Ulexite-Filled Polyester Composite, 3rd International Conference on Physical Chemistry and Functional Materials, Malatya, 2020.
- [30] Dağ, M., Yalçın, Z. G., and Aydoğmuş, E. Production of Diatomite Reinforced Polyester Composite and Investigation of Its Thermophysical Properties, 1st International Karatekin Science and Technology Conference, Çankırı, 2022.
- [31] Dağ, M., Aydoğmuş, E., and Yalçın, Z. G. Obtaining Diatomite Reinforced Epoxy Composite and Determination of Its Thermophysical Properties, 1st International Karatekin Science and Technology Conference, Çankırı, 2022.
- [32] Şahal, H., and Aydoğmuş, E. Investigation of Thermophysical Properties of Polyester Composites Produced with Synthesized MSG and Nano-Alumina, *European Journal of Science and Technology*, 34, 95-99, 2022.
- [33] Şahal, H., Aydoğmuş, E., and Arslanoğlu, H. Investigation of thermophysical properties of synthesized SA and nano-alumina reinforced polyester composites, *Petroleum Science and Technology*, 1–17, 2022.
- [34] Yanen, C., and Aydoğmuş, E. Characterization of Thermo-Physical Properties of Nanoparticle Reinforced the Polyester Nanocomposite, *Dicle University Journal of the Institute of Natural and Applied Science*, 10(2), 121–132, 2021.
- [35] Erzen, B., and Aydoğmuş, E. Pumice Stone Reinforced Polyester Composite Production and Characterization, *International Pumice and Perlite Symposium*, Bitlis, 2021.
- [36] Arslanoğlu, H., Aydoğmuş, E., and Dağ, M. Obtaining and Characterization of Perlite Reinforced Epoxy Composites, *International Pumice and Perlite Symposium*, Bitlis, 2021.
- [37] Şahal, H., and Aydoğmuş, E. Investigation of Thermophysical Properties of Polyester Composites Produced with Synthesized MSG and Nano-Alumina, 2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences, Konya, 2022.
- [38] Aydoğmuş, E., Arslanoğlu, H., and Dağ, M. Production of waste polyethylene terephthalate reinforced biocomposite with RSM design and evaluation of thermophysical properties by ANN, *Journal of Building Engineering*, 44, 103337, 2021.
- [39] Aydoğmuş, E., and Demirel, M. H. Waste Tire Rubber Reinforced Polyester Composite Production and Characterization, 8th International Conference on Materials Science and Nanotechnology for Next Generation, Elazığ, 2021.
- [40] Arslanoğlu, H., and Aydoğmuş, E. WPET Reinforced Polyester Composite Production and Thermal Characterization by RSM Design, 8th International Conference on Materials Science and Nanotechnology for Next Generation, Elazığ, 2021.
- [41] Aydoğmuş, E., Dağ, M., Yalçın, Z. G., and Arslanoğlu, H. Synthesis and characterization of EPS reinforced modified castor oil-based epoxy biocomposite, *Journal of Building Engineering*, 47, 103897, 2022.
- [42] Aydoğmuş, E. Biohybrid nanocomposite production and characterization by RSM investigation of thermal decomposition kinetics with ANN, *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12, 4799-4816, 2022.
- [43] Şahal, H., and Aydoğmuş, E. Production and Characterization of Palm Oil Based Epoxy Biocomposite by RSM Design, *Hittite Journal of Science and Engineering*, 8(4), 287-297, 2021.
- [44] Aydoğmuş, E., Dağ, M., Yalçın, Z. G., and Arslanoğlu, H. Synthesis and characterization of waste polyethylene reinforced modified castor oil-based polyester biocomposite, *Journal of Applied Polymer Science*, 139, e525256, 2022.
- [45] Demirel, M. H., and Aydoğmuş, E. Production and Characterization of Waste Mask Reinforced Polyester Composite, *Journal of Inonu University Health Services Vocational School*. 10(1), 41-49, 2022.
- [46] Demirel, M. H., and Aydoğmuş, E. Waste Polyurethane Reinforced Polyester Composite, Production and Characterization, *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 9(1), 443–452, 2022.
- [47] Aydoğmuş, E., Dağ, M., and Yalçın, Z. G. Obtaining of Some Industrial Factory Wastes Reinforced Polyester Composites, 5th International Congress on Engineering and Technology Management, İstanbul, 2021.
- [48] Aydoğmuş, E., Dağ, M., and Yalçın, Z. G. Thermal and Mechanical Properties of The Polyester Composites Produced with Cable Factory Wastes, 4th International Conference on Physical Chemistry and Functional Materials, Elazığ, 2021.
- [49] Aydoğmuş, E., and Şahal, H. Polyester and Epoxy Hybrid-Composite Production and Characterization, 13th International Conference of Strategic Research on Scientific Studies and Education, Antalya, 2021.
- [50] Şahal, H., and Aydoğmuş, E. Investigation of Thermophysical Properties of Polyester Composite Produced with Synthesized Schiff Base, *MAS 16th International European Conference on Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, Mardin, 2022.
- [51] Orhan, R., Aydoğmuş, E., Topuz, S., and Arslanoğlu, H. Investigation of thermo-mechanical characteristics of borax reinforced polyester composites, *Journal of Building Engineering*, 42, 103051, 2021.



Pandeminin Elektrik Enerji Sistemlerinin İşletilmesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Ali Ajder^{1*}

^{1*} Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9411-4452), aliajder@yildiz.edu.tr

(4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, November 10 - 13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1210114)

ATIF/REFERENCE: Ajder, A., (2022). Pandeminin Elektrik Enerji Sistemlerinin İşletilmesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (43), 121-125.

Öz

Dünya Sağlık Örgütü koronavirüsü (COVID-19) 11 Mart 2020'de küresel salgın ilan etmiştir. Bu tarihten sonra farklı ülkelerde karar vericiler almış oldukları kısmi kapanma, tam kapanma ve kademeli normalleşme tedbirleri ile epidemiyi pikini zayıflatmaya çalışmışlardır. Kapanma tedbirlerinden kaynaklı küresel elektrik talebi 2020 yılında ortalama %4 azalmıştır. Ayrıca pandeminin özellikle ilk döneminde dünyanın birçok bölgesinde elektrik tüketim profilleri değişmiştir. Hem enerji tüketimindeki azalma hem de tüketim profillerinin değişliği, elektrik şebekesi operasyonunun güvenilirliğini ve uyarlanabilirliğini inceleme fırsatı sağlamıştır. Bu çalışmada, COVID-19 küresel salgınının elektrik enerjisi talebine, elektrik enerji üretimine, iletim/ dağıtım sistemine, elektrik piyasalarına etkisine ait dünyadan çeşitli örnekler verilerek, pandemi sürecinin Türkiye elektrik enerjisi sistemlerine etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrik piyasaları, Elektrik üretimi, Enerji tüketimi, Güç sistemleri, İletim ve dağıtım sistemleri, Koronavirüs pandemisi.

Investigation of the Impact of the Pandemic on the Power System Operations

Abstract

The World Health Organization (WHO) declared the coronavirus (COVID-19) a global pandemic on March 11, 2020. After this date, decision-makers in different countries tried to weaken the epidemic peak with partial lockdowns, complete lockdowns, and gradual normalization measures. The average decrease in global electricity demand was 4% in 2020 due to these measures. In addition, electricity consumption profiles have changed in many regions of the world, particularly in the first period of the pandemic. Both the decrease in energy consumption and the variability of consumption profiles allowed examining the reliability and adaptability of the power system operation. In this study, various examples from around the world are given to observe the impact of the COVID-19 pandemic on electricity demand, electricity generation, transmission/ distribution systems, electricity markets, and the impact of the pandemic on Turkey's power systems is examined.

Keywords: COVID-19 pandemic, Electricity generation, Electricity markets, Energy consumption, Power systems, Transmission and distribution systems.

* Sorumlu Yazar: aliajder@yildiz.edu.tr

1. Giriş

2019'un aralık ayında bilinen ilk koronavirüs vakası Çin'in Wuhan şehrinde ortaya çıkarak birkaç ay içerisinde tüm dünyaya yayılmıştır (Haochen, 2020). 11 Mart 2020 tarihinde Dünya Sağlık Örgütü tarafından küresel pandemi olarak ilan edilmiştir. 630 milyon insana bulaşıp, 6,5 milyondan daha fazla insanın hayatını kaybetmesine neden olmuştur (*World Health Organization*). Tartışmasız en önemli etkisi sağlık alanında olmakla beraber, 2020'nin şubat ayından itibaren ekonomik olarak tüm dünya COVID-19 resesyonuna maruz kalmıştır. Özellikle ülkelerin almış olduğu kapanma tedbirleri kararları tüm sektörleri farklı şekilde etkilemiştir (Abu-Shanab vd., 2021; Gonçalves vd., 2022; Rai vd., 2020b, 2020a). Hiç olmazsa daha sonra ortaya çıkması muhtemel benzer senaryolar için bu etkilerin konularının uzmanları tarafından multidisipliner olarak değerlendirilmesi zorunludur.

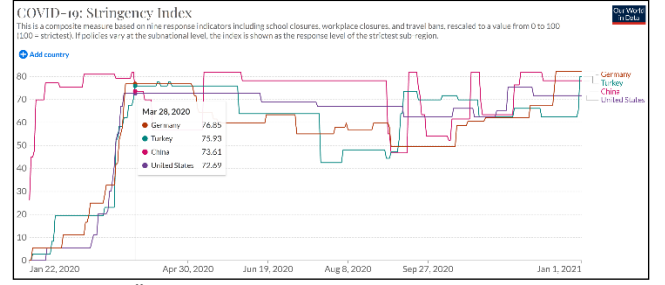
Hükümetlerin sağlık kuruluşlarındaki yoğunluğu ötelemek adına almış oldukları kapanma kararları kaçınılmaz olarak enerji sektörünü de etkilemiştir (Agdas & Barooah, 2020; Zhong vd., 2020). Elektrik enerjisinin modern toplum açısından gerekliliği göz önünde bulundurulduğunda güç sistemlerinin en kötü senaryo durumunda bile güvenilirliğinin ve adaptasyonunun önemi daha iyi anlaşılabilir. Enerji sektörü açısından ilk olarak söylenmesi gereken kapanma tedbirleri ve uzaktan çalışma neticesinde elektrik enerjisine olan talebin neredeyse tüm ülkelerde ciddi anlamda düştüğüdür.

Türkiye'de ilk koronavirüs vakası 11 Mart 2020 tarihinde görülmüştür (*T.C. Sağlık Bakanlığı*). Bu tarihten sonra insanların hem bireysel aldıkları tedbirler hem de kamusal alınan önlemler ile evlere kapanma ve sosyal iletişimin kesilmesi kendini göstermiştir. Bunun doğal sonucu olarak meskenlerde elektrik enerjisi kullanımı artarken, işyerlerinin ve üretim tesislerinin üretimlerini tamamen veya kısmen durdurması sanayide enerji kullanımında azalma trendini ortaya çıkarmıştır.

Bu çalışmada koronavirüs pandemisinin dünyaya yayılmasıyla elektrik enerji sektöründe yaşanan değişimler araştırılmıştır. 2020 Mart ayından itibaren vaka sayılarının artmasının getirdiği değişikliklerin ve düzenlemeye tabii toplumsal değişiminin elektrik tüketimine, elektrik enerji üretiminin kaynaklara dağılımına etkisi incelenmiştir. Ayrıca pandemi sürecinin iletim ve dağıtım sistemlerinde ne gibi problemlere neden olabileceği tartışılarak, elektrik piyasaları üzerindeki etkisi özetlenmiştir. Türkiye'de pandemi sürecinde elektrik enerji sistemlerindeki durumun analizinde EPİAŞ (Enerji Piyasaları İşletme AŞ) ve TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim AŞ)'nin kamuya açık kaynaklarından faydalanılmıştır (*EPİAŞ; TEİAŞ*).

2. Elektrik Enerji Tüketimi Üzerindeki Etkisi

İnsan davranışında meydana gelen değişiklikler bilindiği gibi elektrik talebini doğrudan etkilemektedir. Koronavirüse bağlı olarak yayılma riskini azaltmak için sosyal ilişkiler azalmıştır. 2020'nin ilk aylarından itibaren farklı ülkelerin elektrik yükünde önemli miktarda azalma ve yük profilinde değişiklikler meydana gelmiştir. Kuşkusuz bunun en önemli nedeni hükümetlerin almış olduğu kapanma tedbirleridir.



Şekil 1. Ülkelerin almış olduğu kapanma kararlarının karşılaştırılması

Şekil 1'de görüldüğü gibi öncelikle Çin'den başlayan kapanma tedbirleri kısa sürede diğer ülkelere de yansımıştır (*COVID-19 Data Explorer- Our World in Data*). Şekilde verilen kapanma tedbirleri sıklık indeksi okul ve iş yerlerinin kapanması ya da seyahat yasakları gibi dokuz göstergenin birlikte değerlendirilmesi ile oluşturulmuştur; 100 en sıkı durumu gösterirken, 0 herhangi bir kapanma tedbirinin alınmadığı durumu göstermektedir. Ülkelerde karar vericilerin almış oldukları kapanma tedbirlerinin doğal sonucu olarak elektrik yükü düşmeye başlamıştır. Birçok şebeke operatörünün raporlarından, okul ve iş yerlerinin kapanması nedeniyle sabah ve akşamüstü yaşanan pik yükte bir gecikme yaşandığı bilgisine ulaşılabılır. Pandemi başlangıcı için genel bir değerlendirme yapılmak istendiğinde, işletmeler tarafından kullanılan elektrik miktarı azaldığı, ancak insanlar evden çalıştığı için konut tüketiminin arttığı söylenebilir. Bunun yanında seyahat yasakları ile işe gidip gelmenin tamamen olmadığı durumda, insanlar evlerinde daha geç uyanarak hayatlarına başlamışlardır. Evde gün boyunca daha geç vakitlerde başladıkları çalışmalarına tutarlı bir şekilde çalıştıkları (birçok şirketin uzaktan çalışmaya dönmesi ile) varsayımı ile yapılacak enerji tüketim profili çalışmaları ele alınmalıdır.

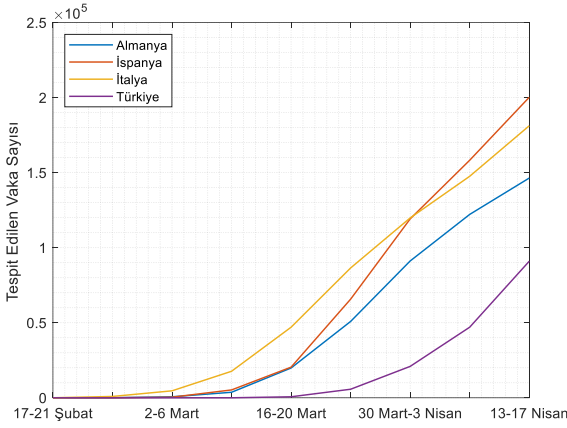
Amerika'daki durumdan bahsetmeden önce elektrik şebeke yapısının Türkiye'den farklı olduğunu söylemek gerekmektedir. Elektrik sistemi tek bir sistem işletmecisi tarafından yönetilmeyip, Kuzey Amerika için dokuz bağımsız sistem işletmecisi (Independent System Operator- ISO) bulunmaktadır; CAISO - California ISO, NYISO - New York ISO, PJM - Pennsylvania-New Jersey-Maryland Interconnection gibi (*FERC*).

Örneğin PJM'deki durum ele alınırsa, mart ayının ortalarında işletmeler ve okullar için kapanma kararı verilmiştir ve tüketiciler alınan kapanma tedbirleri ile evde kalmaya başlamışlardır. Bu durumun doğal sonucu olarak elektrik enerji kullanım rutinleri değişmeye başlamıştır. PJM işletmecilerinin 17 ile 19 Mart arasındaki gözlemleri, sabah pik yükünün tahmin modellerinin tipik olarak öngördüğünden 1-2 saat sonra ulaştığını, kabaca sabah 8'den sabah 9-10'a kaydığını göstermektedir. Ayrıca hem sabah hem de akşam pik yükü beklenenden yaklaşık %5 daha düşük gerçekleşmiş ve toplam enerji kullanımı da azalmıştır. Pandeminin etkileri en çok 2020 baharında gerçekleşmiştir. 2021'in başında, hafta içi pik yük yaklaşık %1 oranında azalmışken, daha sonra günlük pik yük pandemi öncesi seviyelere geri dönmüştür (Chen vd., 2022).

Çin'deki elektrik enerji tüketimi, karantinanın başladığı 2020 yılının ocak ayında hızlı bir şekilde düşmüştür ve şubat ayında bu düşüş daha belirgin bir hale gelmiştir. 2020 yılı şubatında 2019 şubat ayına kıyasla azalma %13 civarındadır. Bu durumda her ne kadar şubat ayının 2019 ve 2020'deki sıcaklık farkı etkili olsa da hava durumu düzeltildikten sonra şubat 2020'de şubat 2019'a kıyasla enerji tüketiminde düşüş yaklaşık %11 civarındadır.

Karantina kararlarındaki sıklık hafifletildikçe, elektrik enerji tüketimi biraz artış eğilimi göstermiştir. 2020'nin nisan ayından itibaren Çin'deki enerji tüketimi tamamen pandemi öncesi seviyelere dönmüştür. Ağustos ayından sonra ise hava durumu düzeltmeli elektrik enerji tüketimi 2019 yılındaki seviyesinden %6 daha yüksek olarak gerçekleşmiştir (Chen vd., 2022).

Koronavirüs Çin'de ortaya çıktıktan sonra birkaç ay içerisinde Avrupa'ya ulaşmıştır. Şekil 2 Johns Hopkins Üniversitesi Sistem Bilimi ve Mühendisliği Merkezi'nin (CSSE) COVID-19 Veri Deposu'ndan alınan verilere göre Almanya, İspanya, İtalya ve Türkiye'de toplam teyit edilen vakaları göstermektedir (JHU CSSE).

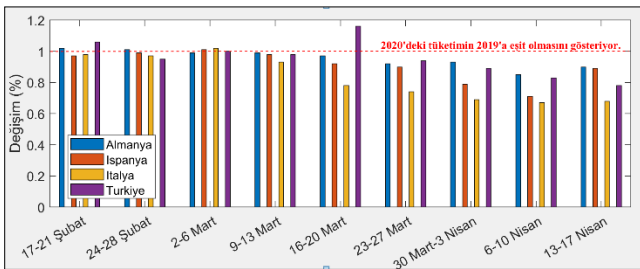


Şekil 2. Pandeminin ilk süreçlerinde vaka sayılarının ülkelere göre karşılaştırılması

Vaka sayılarının hızla yükselmesi ile neredeyse tüm Avrupa ülkelerinde tüketimin genel olarak azaldığı söylenebilir. ENTSO-E den alınan verilere göre kıta Avrupası'nda en yüksek enerji tüketimine sahip olan Fransa, Almanya, İtalya ve İspanya'da enerji tüketimi düşmüştür; İspanya ve İtalya'da bu düşüş yaklaşık %25'e ulaşmıştır (ENTSO-E).

Türkiye'de de ilk vaka tespit edildikten (11 Mart 2020) sonraki birkaç hafta içerisinde elektrik tüketiminde hızlı bir düşüş trendi kendini göstermiştir. Tabii ki bu durumun nedeni alınan tedbirlerdir. Türkiye'de gelişmekte olan bir ülkedir; hem bu sebeple hem de nüfus artmasına paralel olarak elektrik enerjisi tüketimi geçmiş yıllar ile kıyaslandığında genel olarak artış eğilimindedir. Koronavirüs sürecine bakıldığında mart- haziran ayları elektrik tüketimi geçmiş 3 senenin aynı aylarının ortalama değerinden %15- %20 daha düşük gerçekleşmiştir (Bulut, 2020).

Şekil 3 pandeminin ilk dönemi için Almanya, İspanya, İtalya ve Türkiye elektrik tüketimlerinin haftalar bazında karşılaştırılmasını göstermektedir.



Şekil 3. Ülkelerin elektrik enerji tüketimlerinin haftalar bazında karşılaştırılması

Şekil 3'te hafta içi saat 08:00-18:00 aralığındaki elektrik tüketimi esas alınmıştır. Bir önceki yıl aynı haftada gerçekleştirilen tüketim ile 2020 yılı tüketimi karşılaştırılmıştır. Kırmızı kesikli çizgi ile yatay ekseninde değişim miktarının 1 olması şekil üzerinde de belirtildiği gibi 2020 ile 2019 tüketimlerinin birbirine eşitliğini göstermektedir (TEPAV).

3. Elektrik Üretimi Üzerindeki Etkisi

COVID-19 salgınının elektrik üretimine etkisi ülkelere göre farklılık göstermektedir. Genel durum değerlendirildiğinde yaygın bir bulgu, üretim kesintilerinin etkilendiği, daha düşük yük nedeniyle genel üretimin azaldığı ve enerji üretiminin yenilenebilir kaynaklara kaydı olarak söylenebilir.

PJM'de genel olarak planlı bakımlar yapıldığı zaman ilkbahar mevsimidir. Pandeminin başlangıcından itibaren PJM, potansiyel olarak daha büyük kesintilere dönüşmelerini önlemek için daha önceden belirlenmiş bakım faaliyetlerini üretim ve iletim lisans sahipleriyle koordineli bir çalışmayla yeniden planlamıştır. Tüm bunlara ek olarak, ekipman sorunlarını ele almak ve sistem katılımcılarının mağduriyetlerini engellemek adına çeşitli kılavuzlar yayımlayıp, tavsiye niteliğinde görüşler bildirmiştir. 2020 yılı PJM için genel olarak değerlendirildiğinde COVID-19 nedeniyle planlı bakımlar başlangıçtaki ilk düşüşlere rağmen, üretim lisans sahipleri bakım faaliyetlerini yılın sonraki zamanlarına erteleyerek ya da daha büyük planlı kesintileri daha kısa bakım kesintilerine bölerek pandemi döneminde önemli bakım çalışmalarını yapabilmişlerdir.

Avrupa'da planlı bakım çalışmaları takvimi yeniden ele alınmış; yapılan değerlendirmeler neticesinde bir kısmı ertelenirken, bir kısmı ise tamamen iptal edilmiştir. Pandemi aynı zamanda üretim planlamasındaki kaynak kullanımını da etkilemiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nde, 2020 mart ayından itibaren en fazla üretim doğal gaz santrallerinden yapılırken, kapanma kararlarının etkilerinin iyice hissedildiği bahar aylarından itibaren yenilenebilir enerji kaynakları kömürle çalışan elektrik santrallerinin katkısını geride bırakmıştır. Mart ayının ikinci yarısında California ISO'da (CAISO) güneş enerjisi kesintisi %50'den fazla artmıştır. 2020 yaz aylarında talepte olan artışa cevap verebilmek adına kömür ve nükleer enerjiden yapılan üretim pik yapmıştır. 2020 sonbahar ve kışında yenilenebilir kaynakların mevsimsel eğilimleri takip ettiği söylenebilir. ABD'nin enerjiyle ilgili toplam karbon emisyonları 2020'de %11 veya bir başka deyişle 2019'a göre 570 milyon metrik ton düşmüştür. Küresel düzeyde enerji ile ilgili karbon emisyonları incelendiğinde %5,8 veya 2 milyar ton düştüğü söylenebilir (Zhong vd., 2020).

Tablo 1. Türkiye yıllar bazında elektrik üretiminin aylara dağılımı

	2019 (GWh)	2020 (GWh)	2021 (GWh)
Ocak	26058,6	27131,9	27290,7
Şubat	23522,1	25010,2	24645,9
Mart	24843,6	24754,1	28213,9
Nisan	23808,4	20363,3	26395,9
Mayıs	25013,3	20937,8	25499,4
Haziran	24258,1	23537,4	27228,9
Temmuz	28789,7	28650,8	31266,1
Ağustos	27713,5	29343,5	33024
Eylül	25418,7	27743	28148,5
Ekim	24248,6	25675	26713,2
Kasım	23997	25931,7	27040,9
Aralık	26226	27624,3	29255,7
Toplam	303897,6	306703,1	334723,1

Tablo 1, Türkiye'nin aylık elektrik üretiminin yıllara göre değişimini göstermektedir. Özellikle mart ayından sonra talepteki düşüşle elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımında değişiklikler meydana gelmiştir. Özetle söylenmesi gereken konvansiyonel santrallerin üretimi azalmışken, özellikle rüzgâr ve güneş olmak üzere yenilenebilir enerji santrallerin üretim içindeki payları artmıştır.

4. İletim ve Dağıtım Sistemleri Üzerindeki Etkisi

Pandemi süreci sadece elektrik şebekeleri açısından değil aslında tüm sektörler için tedarik zincirlerinin önemini bir kez daha göstermiştir. Özellikle global olarak üretilen uzun üretim tedarik sürelerine sahip ekipmanlar bu süreçten doğrudan etkilenmişlerdir. Bir başka önemli alınacak ders stok yönetiminin nasıl yapılması gerektiği ile alakalı olmuştur. Doğru yedek ekipmana sahip olmak, mevcut hasarı azaltmak ve sistemi zamanında çalışır hale getirmek için çok önemlidir. Pandemi sürecinde imalat şirketlerinin üretimi hem personel kaynaklı hem de bu şirketlerin de hammaddeye erişiminden kaynaklı etkilenmiş, bunun sonucunda tüm dünyada ekipman üretimi yavaşlamıştır.

Amerika'daki genel durum incelendiğinde kamu hizmetlerinde acil durumlarda kullanılabilir bazı yedek ekipman stoklarının zaten mevcut olduğu görülmektedir. PJM ve kamu hizmetleri, tedarik zinciri ve ilgili yakıt güvenliği konusunda sorunları birlikte belirleyerek daha bütünsel bir yaklaşım içinde çalışmışlardır. Örneğin, etkilenen alanları hızlı bir şekilde aktif duruma getirmek için, ekstra yüksek voltajlı transformatörler ve diğer yedek ekipman gibi kritik varlıkları önceden belirleyerek ve hızlı müdahale planları oluşturarak potansiyel tedarik zinciri gecikmelerini azaltmışlardır.

Hindistan'da özellikle tam kapanmanın olduğu dönemlerde daha az planlı iletim kesintisi gerçekleştirilmiştir.

Avustralya, İtalya, Brezilya ve Türkiye'de büyük bir iletim veya dağıtım problemi olmamıştır.

Pandemi süresince Nesnelerin İnterneti teknolojilerinin entegre edildiği trafo merkezi otomasyonu kullanılarak kritik

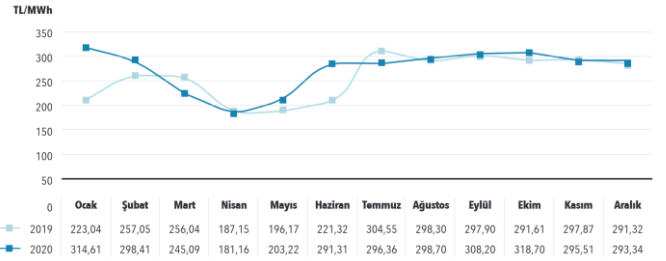
bölgelerin gerçek zamanlı ekipman durumu izlenebilir ve bunların konfigürasyonları için iş gücü ihtiyacını önemli ölçüde azaltabilir.

5. Elektrik Piyasaları Üzerindeki Etkisi

Elektrik piyasalarının dünya genelinde pandemi süresince olağan şekilde işlediği söylenebilir. Tam kapanmaların olduğu karantina döneminde enerji tüketimindeki düşüş elektrik piyasalarını doğrudan etkilemiştir. Elektrik talebinin azalmasının doğal sonucu olarak enerji fiyatının düştüğü söylenebilir.

Avustralya WEM'de pandemi sürecinde düşük spot fiyatlar ve artan negatif fiyat oluşumları yaşanmıştır. Bununla birlikte, pandeminin başlangıcında enerji fiyatlarının düşük gerçekleşmesinin en önemli nedeni akaryakıt fiyatlarındaki düşüş olarak söylenebilir, diğer bir neden ise tabii ki de kapanma tedbirlerine bağlı olarak talebin azalmasıdır.

Avrupa'da tüketimin azalması, birçok ülkede gün öncesi piyasasında talebin düşmesine neden olarak, elektrik fiyatları üzerinde ciddi bir etki yaratmıştır. Örneğin, İtalya'da 2019 yılında 53,11 €/MWh olan piyasa takas fiyatı, 2020 yılının mart ve nisan ayında tek tip alım fiyatının ortalama değeri %46'lık bir düşüşle 28,45 €/MWh olarak gerçekleşmiştir. Almanya'da, bir önceki yılın aynı döneminde daha fazla negatif fiyat oluşmasına rağmen ortalama piyasa takas fiyatı 2020 yılında yarı yarıya azalmıştır. Özellikle nisan ayının ikinci yarısında güneş santrallerinden, kara ve deniz rüzgarından sağlanan yenilenebilir enerji miktarı önemli ölçüde artarak, piyasa takas fiyatı üzerinde olumsuz etkilere neden olmuştur.



Şekil 4. Türkiye aylık ortalama piyasa takas fiyatının karşılaştırılması

Türkiye aylık ortalama piyasa takas fiyatlarının 2020 ile 2019 yılları için karşılaştırılması Şekil 4'te verilmiştir. 2020 yılında Elektrik Gün Öncesi Piyasası'nda yıllık işlem hacmi 103,71 milyar TL olarak gerçekleşmişken, Gün İçi Piyasası'nda ise, 3,831 milyar TL tutarında işlem gerçekleştirilmiştir.

Bunun yanı sıra Gün Öncesi Piyasası'nda 2019'da 152,12 TWh olan GÖP eşleşme miktarı, 2020 yılında yüzde 19,22 artarak, 181,36 TWh; Gün İçi Piyasası'nda 2019'da 5,45 TWh olan GİP eşleşme miktarı, 2020 yılında yüzde 26,21 artarak 6,88 TWh şeklinde gerçekleşerek geçmiş tüm yıllar dikkate alındığında en yüksek değerler elde edilmiştir (EPIAŞ Faaliyet Raporu 2020).

6. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Küresel pandemiden kaynaklı sosyal ve ekonomik faaliyetler farklılık göstermekle birlikte ülkelerin çoğunda azalmıştır. Epidemiyik pikinin ötelenmesine yönelik alınan tam ya da kısmi kapanma kararları neticesinde insan davranışlarında değişiklikler

meydana gelmiştir. Ancak özellikle sağlık alanında artan yoğunluk, eğitim ve çalışma şeklinin uzaktan eğitim ve uzaktan çalışmaya dönüşmesi... vb. ihtiyaçlar modern toplumun güvenilir bir elektrik altyapısına ve yeterli iş gücünün hazır olmasına ne kadar ihtiyacı olduğunu göstermiştir.

Bu çalışma elektrik sektörü açısından pandeminin etkilerini incelemek istediğimizde her ülkenin kendi dinamiklerine göre değerlendirilmesinin gerektiğini göstermiştir. Yine de bu dinamikler göz önünde bulundurularak bazı genellemeler yapılabilir.

Ülkelerin birçoğunda alınan tam kapanma kararlarından sonra tüketim değerlerinin azaldığı görülmüştür. Bazı yük üretim santrallerin ve pik yük üretim kaynaklarının dağılımlarında alınan kapanma kararlarının etkisi olmuştur. Bu konuda yaşanması muhtemel haksız rekabet için detaylı çalışmalara ihtiyaç vardır. İletim ve dağıtım sistemleri için pandemi kritik ekipmanların lojistiğinde yaşanacak gecikmeler dikkate alınarak stok yönetiminin önemini göstermiştir. Ayrıca trafo merkezi otomasyon sistemleri ve nesnelerin interneti gibi teknolojilerin adaptasyonunun hızlandırılması pandemi gibi süreçlerin en az hasarla atlatılmasını sağlayabilir. Elektrik piyasalarında genel olarak azalan elektrik talebine bağlı fiyatların düşmesi gözlenmiştir. Yine yenilenebilir santrallerinin üretim dağılımı içindeki payının artması sonucu sifira yakın ya da negatif fiyat oluşumunun artması konusu ayrıca değerlendirilmelidir.

Bu çalışmada çok fazla detayına girilmeyen insan sağlığı konusu tabii ki de enerji sistemleri açısından da çok önemlidir. Sistem işletmecisi konusunda uzman personelin sayılarının artması karantina süreçlerinde önem arz edecektir. Yine sistem işletmecilerinin uzaktan çalıştırılmaları düşünüldüğünde siber güvenlik ile alakalı konular göz önünde bulundurulmalıdır.

Pandemi süreci, yaşanan doğal felaketler, karbon emisyon oranları... vb. enerji sistemlerinin her türlü yeni teknolojilere, çalışmalara ihtiyacını göstermektedir. Örneğin yenilenebilir enerjinin üretimdeki payının artması konusunda arz güvenliği göz ardı edilmemelidir; depolama teknolojileri bu konuda çözüm sağlayabilir. Yeni enerji sistemlerinin gerektirdiği sisteme uygun piyasa tasarımları planlanmalı ve bunlarla alakalı gerekli kanunlar, yönetmelikler, regülasyonlar hazırlanmalıdır. Pandemi enerji sistemleri konusunda farklı tecrübeler kazandırmıştır, bundan ders çıkarılarak sonraki benzer süreçlere adaptasyonu kolaylaştıracak planlamalar yapılmalıdır.

7. Teşekkür

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FKD-2021-4481 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

References

- Abu-Shanab, R., Al-Hattami, A., Salman, N., & Ahmed, A. (2021). The Effectiveness of the Performance Appraisal of Public Sector Employees During Covid-19 Pandemic. *2021 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies, 3ICT 2021*, pp. 685-692.
- Agdas, D., & Barooah, P. (2020). Impact of the COVID-19 Pandemic on the U.S. Electricity Demand and Supply: An Early View From Data. *IEEE Access*, 8, vol. 8, pp. 151523-151534, August 2020

- Bulut, M. (2020). Covid19 Sürecinin Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi, BMBAD*, cilt. 3, sayı. 1, s. 18- 28. Kasım 2020.
- Chen, H., Bryson, M., Sharafi, D., Rossi, S., Narasimhan, S. R., & Barroso, L. (2022). Operating the Power Grid During a Pandemic: COVID-19 Experiences. *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 20, no. 6, pp. 26- 37, November/December 2022.
- COVID-19 Data Explorer- Our World in Data. Erişim tarihi 08 Kasım 2022, <https://ourworldindata.org/explorers/coronavirus-data-explorer>
- ENTSO-E | Home Page | European Network of Transmission System Operators for Electricity website, Erişim tarihi 08 Kasım 2022, <https://www.entsoe.eu/>
- EPIAŞ | Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. Erişim tarihi 08 Kasım 2022, <https://www.epias.com.tr/>
- EPIAŞ | 'Enerji Piyasaları 2020 Faaliyet Raporu', Şubat 2021.
- FERC | Federal Energy Regulatory Commission. Erişim tarihi 07 Kasım 2022, <https://www.ferc.gov/>
- Gonçalves, C. P., Ramos, D. S., Rosa, P. S., Balan, M. H., Bezerra, B., Cavalieri, M., & Mello, R. F. de. (2022). The impact of COVID-19 on the Brazilian Power Sector: operational, commercial, and regulatory aspects. in *IEEE Latin America Transactions*, vol. 20, no. 4, pp. 529-536, April 2022.
- Haochen, W. (2020). Western perspectives of the COVID-19 in China. *Proceedings - 2020 International Conference on Public Health and Data Science, ICPHDS 2020*, pp. 116-119.
- JHU | The John Hopkins University CSSE. Erişim tarihi 08 Kasım 2022, <https://systems.jhu.edu/research/public-health/ncov/>
- Rai, J., Tripathi, R. C., & Gulati, N. (2020a). A Comparative Study of Implementing Innovation in Education Sector Due to COVID-19. *2020 9th International Conference System Modeling and Advancement in Research Trends (SMART)*, 2020, pp. 94- 97.
- Rai, J., Tripathi, R. C., & Gulati, N. (2020b). A Comprehensive Survey of IT Sectors Affected by Covid-19. *2020 9th International Conference System Modeling and Advancement in Research Trends (SMART)*, pp. 52-54
- T.C. Sağlık Bakanlığı | Erişim tarihi 08 Kasım 2022, <https://www.saglik.gov.tr/>
- TEİAŞ | Erişim tarihi 08 Kasım 2022, <https://www.teias.gov.tr/>
- TEPAV | Erişim tarihi 08 Kasım 2022, <https://www.tepav.org.tr/>
- WHO | World Health Organization. Erişim tarihi 08 Kasım 2022, <https://www.who.int/>
- Zhong, H., Tan, Z., He, Y., Xie, L., & Kang, C. (2020). Implications of COVID-19 for the electricity industry: A comprehensive review. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 6(3).



Structural Analysis of the Nose Landing Gear of a Fighter Aircraft

Gözde Aydın^{1*}, İbrahim Özko²

^{1*} İstanbul Technical University, Department of Aeronautics and Astronautics Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0142-2056), aydingo@itu.edu.tr

² İstanbul Technical University, Aerospace Research Center, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9300-9092), ozkol@itu.edu.tr

(4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, November 10 - 13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1200620)

ATIF/REFERENCE: Aydın, G., Ozko, I. (2022). Structural Analysis of the nose Landing Gear of a Fighter Aircraft. *European Journal of Science and Technology*, (43), 126-135.

Abstract

The landing gear, which is one of the most important mechanical systems in aircraft, is the structure that is exposed to landing loads, one of the most important and critical loads that the aircraft is exposed to throughout its life cycle. In addition to the fact that the landing gear system must have high strength to these loads, long life, high performance, low volume, minimum weight, and low cost are important criteria. For this purpose, the optimum design is created by making a structural analysis using the landing gear finite element method. The main purpose of this study is to analyze the strength criteria by performing the structural analysis of the nose landing gear of a fighter aircraft. For the design, the most critical static and dynamic loads in the landing condition were calculated and applied as vertical, side, and drag forces. The displacement and stress values obtained as the final result by using metallic materials such as Aluminum 7075 T6 alloy, Titanium Ti-6Al-4V alloy, PH13-8Mo, 300M Steel, SAE 1035, and AISI 4340 steel alloy in the nose landing gear fork, torque links, side stay arms, and main strut were compared. The safety of the parts was examined from the results of the analysis. CAD drawings were made using Siemens NX and ANSYS SpaceClaim program. Structural analysis was applied with the ANSYS Workbench program, which uses the finite element method.

Keywords: Landing Gear, Static Structural, Materials, Stress, Deformation, ANSYS.

Bir Savaş Uçağının Burun İniş Takımının Yapısal Analizi

Öz

Uçaklardaki en önemli mekanik sistemlerden biri olan iniş takımı, uçağın yaşam döngüsü boyunca maruz kaldığı en önemli ve kritik yüklerden biri olan iniş yüklerine maruz kalan yapıdır. İniş takımı sisteminin bu yüklerle karşı yüksek dayanıma sahip olmasının yanı sıra uzun ömür, yüksek performans, düşük hacim, minimum ağırlık ve düşük maliyet önemli kriterlerdendir. Bu amaçla iniş takımı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapısal analiz yapılır ve optimum tasarım oluşturulur. Bu çalışmanın temel amacı, bir savaş uçağının burun iniş takımının yapısal analizini yaparak mukavemet kriterlerini analiz etmektir. Tasarım için, iniş durumundaki en kritik statik ve dinamik yükler hesaplanmış ve düşey, yan ve sürükleme kuvvetleri olarak uygulanmıştır. Burun iniş takımı çatalı, tork bağlantıları, yan destek kolları ve ana dikmede, Alüminyum 7075 T6 alaşımı, Titanyum Ti-6Al-4V alaşımı, PH13-8Mo, 300M Çelik, SAE 1035 ve AISI 4340 çelik alaşımı gibi metalik malzemeler kullanılarak nihai sonuç olarak elde edilen deplasman ve gerilme değerleri karşılaştırıldı. Analiz sonuçlarından parçaların güvenliği incelenmiştir. CAD çizimleri Siemens NX ve ANSYS SpaceClaim programı kullanılarak yapılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemini kullanan ANSYS Workbench programı ile yapısal analiz uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İniş Takımı, Statik Yapısal, Malzemeler, Gerilme, Deformasyon, ANSYS

1. Introduction

The landing gear is one of the most complex and critical systems in aircraft. One of the most basic tasks of the landing gear is to dampen the reaction forces coming to the aircraft during landing and take-off. Any damage to the landing gear while performing this function could result in a serious accident. Many different types of landing gear have been designed since the history of aviation. Currently, the most commonly used landing gear configuration is the tricycle landing gear. This landing gear is more stable in crosswinds and has good ground maneuverability. In addition, while fixed landing gears were used in the designs at first, it has been seen that this type of landing gear is disadvantageous in terms of aerodynamics over time. The retractable landing gear has been designed to meet the demands of higher speed and longer stay in the air. Although it is a more complex structure, the use of retractable landing gear has become widespread over time, considering the performance requirements in aircraft.

This change in the landing gear has advantages as well as disadvantages. Aerodynamically, the retractable landing gear is more efficient as it creates less drag than the fixed landing gear. However, the retractable landing gear has a more complex structure and is more weight. Weight is one of the most important elements in airplanes. By reducing its weight, more fuel can be added, thereby increasing airtime, or by reducing weight, adding more payload to the aircraft. Therefore, it is always desirable to reduce the weight of the aircraft. Landing gear makes up about 6% of the total weight of the aircraft. Designing landing gear with a high strength-to-weight ratio is the most important design requirement (Currey, 1988).

2. Geometry

First, the tricycle landing gear type was decided. Then, when deciding on the position of the main and nose landing gear, it should be ensured that the aircraft moves on the ground, does not roll over, reduces the side wind effect, and allows maneuverability during landing and take-off, taking into account the position of the center of gravity. The weight of the aircraft and the position range of the center of gravity constitute the main parameters in the design of the landing gear. Layout should be done by considering the clearance and tipping criteria. For this, the position of the center of gravity must be determined well. However, the position of the center of gravity changes under different conditions. Therefore, a certain allowable range for the center of gravity is specified. In the literature, this range is specified as a ratio of the mean aerodynamic chord (MAC), which indicates the length between the leading edge and trailing edge of the wing. The preferred center of gravity is in the range of 8% to 15% MAC (Conway, 1958).

The vertical distance between the landing gear attachment point to the aircraft and the landing gear contact point with the ground is called the landing gear height. The distance between the nose landing gear and the main landing gear is called the wheelbase. It is a parameter that affects the turning performance of the aircraft. Greater wheelbase means greater turning angle. It also affects the load distribution between the landing gear (Sadraey, 2012).

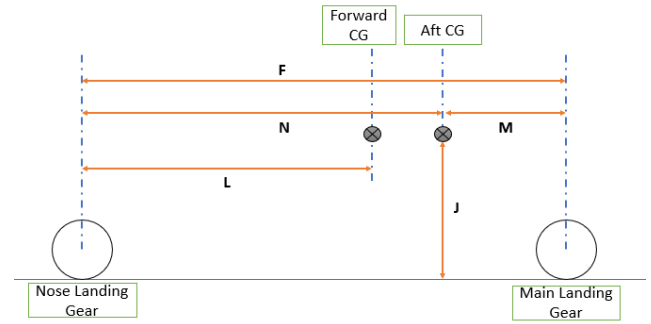


Figure 1 Landing Gear Layout

The values of the parameters indicating the landing gear arrangement shown in **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** are given in Table 1.

Table 1. Landing Gear Arrangement Parameters

F (mm)	L (mm)	N (mm)	M (mm)	J (mm)
4000	2590	2800	1200	1000

The main structural parts that make up the nose landing gear can be listed as rim, tire, oleo-pneumatic shock absorbing cylinder, wheel axle, wheel fork, links, side stay arm, main strut. The components of landing gear are shown in **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**

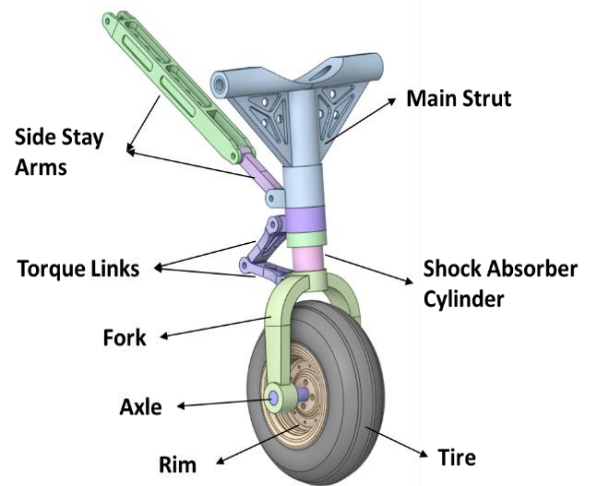


Figure 2 Landing Gear Components

3. Loads

The loadings to the landing gear are examined according to different landing conditions. For calculations, first of all, it is necessary to know the weight of the aircraft and the position of the landing gear relative to the aircraft's center of gravity. When the plane is in taxi, the wheels of the plane share the weight in certain proportions. This ratio is inversely proportional to the distance from the center of gravity. This result is obtained with the general moment equation. Considering this situation, the main landing gear is closer to the center of gravity and the nose landing gear is located further away. Considering the aircraft in the literature, when the nose landing gear and the main landing gear are evaluated by proportioning their distance from the center of gravity, it can be said that the nose landing gear carries about 5-20% of the load, and the main landing gear carries a load in the range of 80-95%. (Gudmundsson, 2014).

The critical forces acting on the landing gear under landing conditions can be listed as follows.

- 1- High drag force only when landing.
- 2- Normal drag and side force during landing.
- 3- Anti-drag forces by buckling of the strut under high frictional contact loads.
- 4- Forces due to brakes throughout the taxi.
- 5- Forces from rolling back.
- 6- Rotation and swing forces during taxi.
- 7- Sharp turning forces on the ground.

When calculating critical loading conditions, 80% of the take-off weight is used. A landing gear analysis will be performed for a fighter aircraft with a take-off weight of 16000 kg.

Formulas used for nose landing gear load:

$$N_1 = W_T \left(\frac{l_m + 0.4h}{l_m + l_n} \right)$$

W_T : Take-off weight.

l_m : Length between main landing gear and center of gravity.

l_n : Length between nose landing gear and center of gravity.

h : Height of the center of gravity from the ground.

N : Normal force.

$$N_2 = W_T \left(\frac{l_m + \frac{chD_B}{W_T}}{l_m + l_n} \right)$$

$D_B = \frac{4}{3}$ *(Drag corresponding to the maximum braking of the aircraft in motion)

c : Coefficient = 2

$$N_3 = \frac{1.75 * W_T * l_m}{l_m + l_n} + \frac{D_M h}{l_m + l_n}$$

$D_M = \frac{4}{3}$ *(Drag versus maximum braking of the aircraft on a main landing gear while in motion)

$$S = 0.25 \times N$$

S : Side force

$$D_1 = 0.4 \times N$$

D_1 : Drag force

$$D_2 = -0.7 \times N$$

D_2 : Drag force in rolling-back

The three most critical conditions for landing are three-point landing with high friction, taxiing with brake and rolling-back. The forces were calculated for these three conditions using the above formulas.

4. Materials

The selected materials must be resistant to the incoming forces under loading conditions. Mechanical properties of materials are given in tables.

Table 2. Al 7075 T6 Mechanical Properties

Density (g/cm ³)	Young Modulus (MPa)	Poisson Ratio	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)
2.81	70960	0.33	572	503

Table 3. Ti-6Al-6V-2Sn Mechanical Properties

Density (g/cm ³)	Young Modulus (MPa)	Poisson Ratio	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)
4.54	110300	0.32	1050	980

Table 4. Ti 10V-2Fe-3Al Mechanical Properties

Density (g/cm ³)	Young Modulus (MPa)	Poisson Ratio	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)
4.65	110300	0.33	1430	1240

Table 5. Ti 6Al-4V Mechanical Properties

Density (g/cm ³)	Young Modulus (MPa)	Poisson Ratio	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)
4.43	113800	0.342	960	880

Table 6. PH13- 8Mo Mechanical Properties

Density (g/cm ³)	Young Modulus (MPa)	Poisson Ratio	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)
7.80	221000	0.28	1480	1415

Table 7. AISI 1035 Mechanical Properties

Density (g/cm ³)	Young Modulus (MPa)	Poisson Ratio	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)
7.87	196000	0.29	620	550

Table 8. 300M Steel Mechanical Properties

Density (g/cm ³)	Young Modulus (MPa)	Poisson Ratio	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)
7.83	205000	0.28	1931	1586

Table 9. AISI 4340 Mechanical Properties

Density (g/cm ³)	Young Modulus (MPa)	Poisson Ratio	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)
7.7	200000	0.29	1792	1496

5. Methods

The landing gear was analyzed by static analysis in the ANSYS Workbench program. The flow chart of the modelling process is shown in the Figure 3.

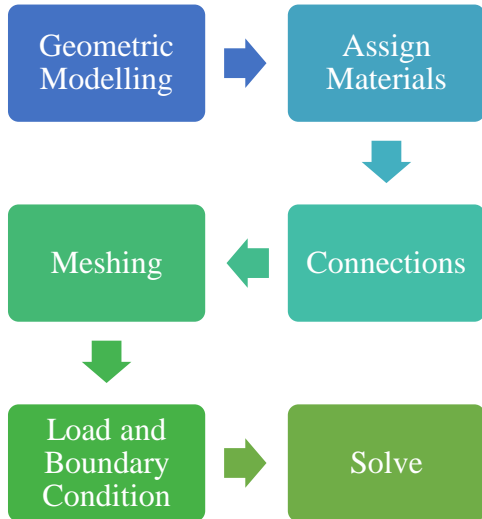


Figure 3 Flow Chart of Modelling

5.1. Geometric Modelling

The wheel and rim were removed from the analysis geometry. The analysis geometry is shown in **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı..**

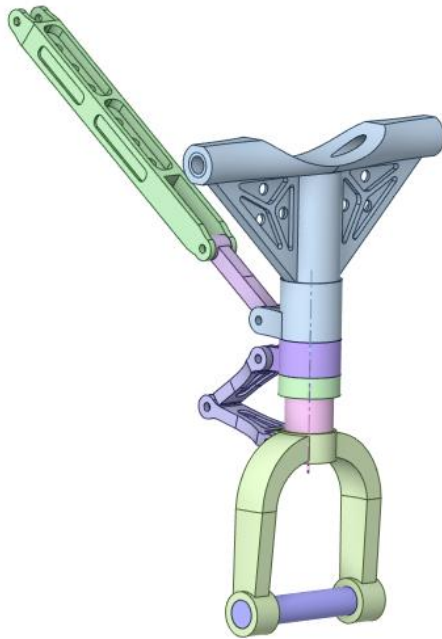


Figure 4 Analysis Geometry

5.2. Assigning Material Properties

Materials were assigned to the components, taking into account the loads on the components and the elasticity and strength of the materials. In some components, different materials were selected and analyzes were made. The information of the materials selected for the components is given in the Table 10.

Table 10. Material Information

Component	Material
Main Strut	AISI 4340
	PH13- 8Mo

	Ti-10V-2Fe-3Al
	Ti-6Al-6V-2Sn
Shock Absorber Cylinder	300M Steel
Fork	AISI 4340
	PH13- 8Mo
	Ti-10V-2Fe-3Al
Torque Links	Al 7075 T6
	Ti 6Al-4V
	AISI 1035
Axle	AISI 4340
Side Stay Arms	Al 7075 T6
	Ti 6Al-4V
	AISI 1035

5.3. Connections

Contact relationships are defined to the connection areas between the components. Pin connections are defined as revolute joints. By determining the bearing areas between the piston and the main strut, the connection is defined as a cylindrical joint. Bolt connections are defined as fixed joints.

5.4. Meshing

Tetrahedral elements are generally used in the three-dimensional model. Hexahedral elements are used in cylindrical structures. Mesh sizes were adjusted by paying attention to the element quality of each component above 0.7. The average element quality of the entire structure is 0.81. The mesh of geometry is shown in the figure.



Figure 5 Mesh of FE Model

5.5. Load and boundary Conditions

In the oleo pneumatic shock absorber, compression in the nitrogen gas was applied as a pressure load. In addition, according to the load calculations, analyzes were made for the three most critical conditions. These forces were applied on the axle as a remote

force from the wheel contact point. The loads for these critical conditions are given in the Table 11.

Table 11. Loads

Case	Condition	Noise Landing Gear Loads (N)		
		Normal Force	Drag Force	Side Force
1	Three point landing with high friction	101085	80868	0
2	Taxing with brake	112310	56155	28077
3	Rolling-back	55225	-38657	0

6. Results

As a result of stress analysis, Von-Mises stresses and deformation results were examined. The stress and deformation results for the three critical conditions of the landing gear system are shared in the figures below. Stress and deformation values caused by material changes on a component basis are shared in the tables.

G: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1

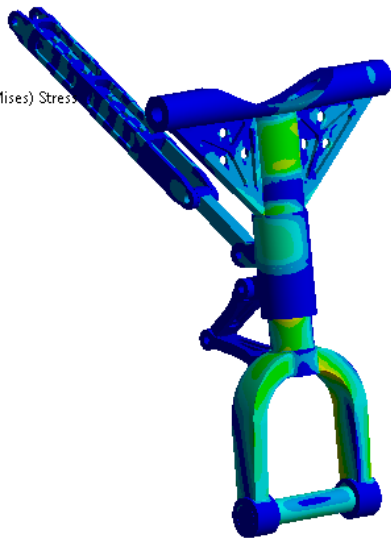
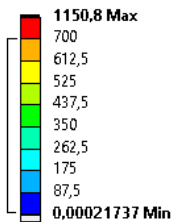


Figure 6 Case 1- Von-Mises Stress

G: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1

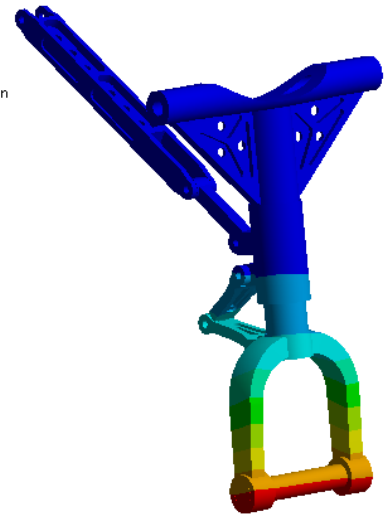
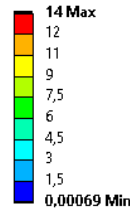


Figure 7 Case 1- Deformation

H: Copy of Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1

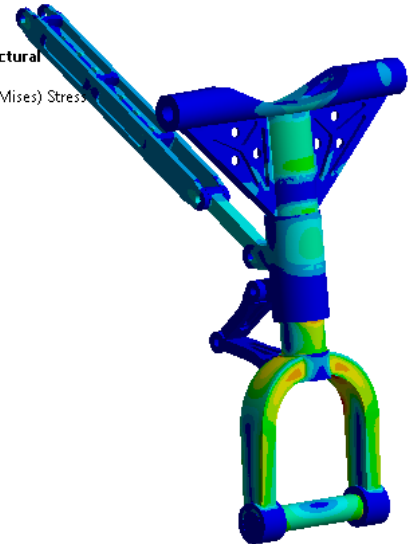
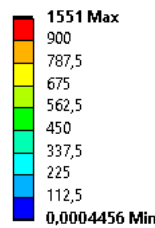


Figure 8 Case 2- Von-Mises Stress

H: Copy of Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1

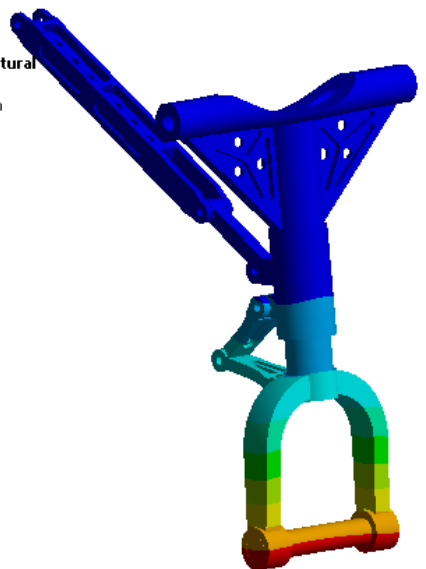
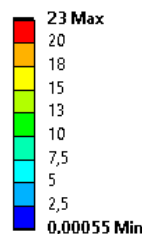


Figure 9 Case 2- Deformation

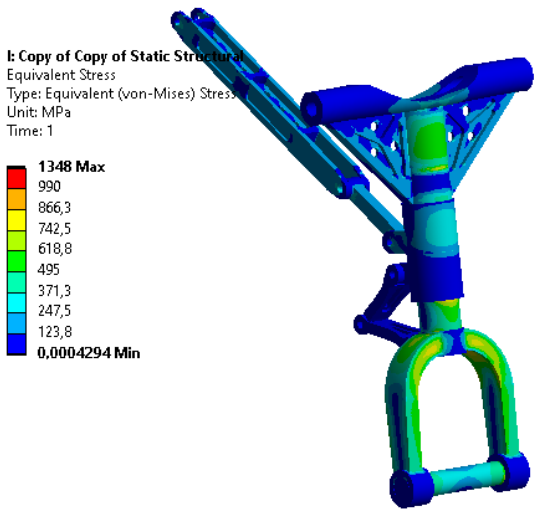


Figure 10 Case 3- Von-Mises Stress

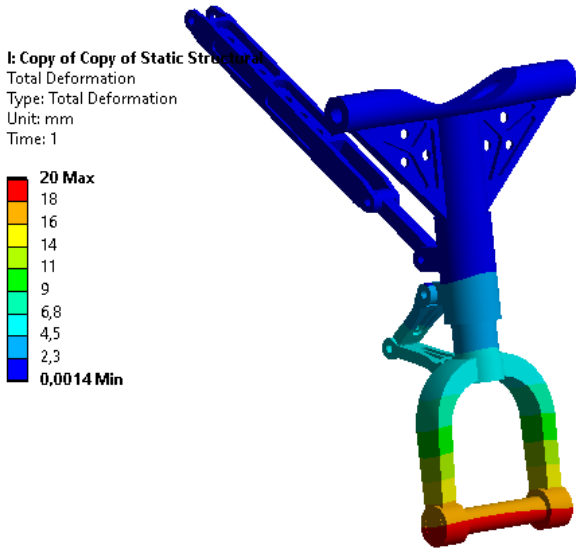


Figure 11 Case 3- Deformation

As a result of the stress analysis, with factor of safety calculations the reliability of the structure is determined. The factor of safety is found by the ratio of the yield stress to the maximum stress. The margin of safety is equal to the factor of safety minus one.

$$\text{Factor of Safety (F. S.)} = \frac{\text{Yield Stress}}{\text{Maximum Stress}}$$

and

$$\text{Margin of Safety (M. S.)} = \frac{\text{Yield Stress}}{\text{Maximum Stress}} - 1$$

6.1. Main Strut

For the main strut, analyzes were made using AISI 4340, PH13-8Mo, Ti-10V-2Fe-3Al, and Ti-6Al-6V-2Sn materials and the results are shared in the Table 12. Since the most critical condition for the main strut is Case 3, the results for Case 3 are compared.

Table 12. Results of Main Strut

Material	Weight (kg)	Max. Stress (MPa)	Deformation (mm)	M.S.
AISI 4340	22.98	798	1.8	0.87
PH13-8Mo	23.28	797	1.7	0.77
Ti-10V-2Fe-3Al	13.88	807	2.4	0.53
Ti-6Al-6V-2Sn	13.55	805	2.4	0.22

AISI 4340	22.98	798	1.8	0.87
PH13-8Mo	23.28	797	1.7	0.77
Ti-10V-2Fe-3Al	13.88	807	2.4	0.53
Ti-6Al-6V-2Sn	13.55	805	2.4	0.22

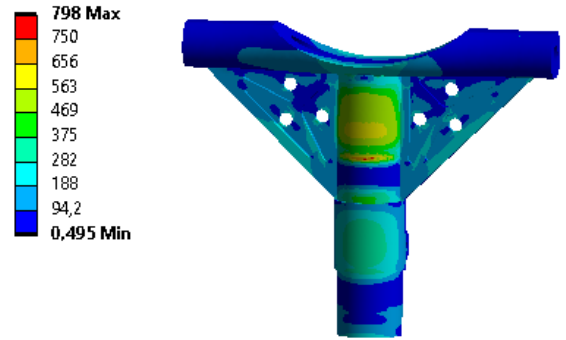


Figure 12 Von-Mises Stress of Main Strut for AISI 4340

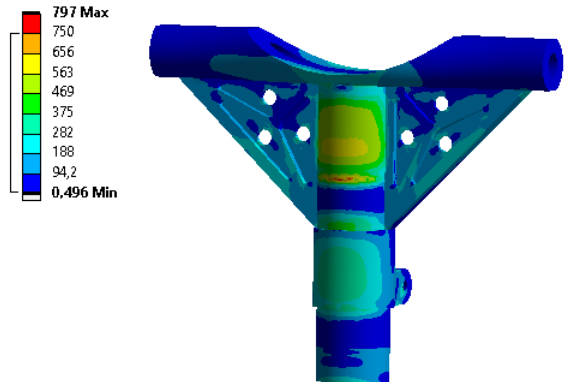


Figure 13 Von- Mises Stress of Main Strut for PH13-8Mo

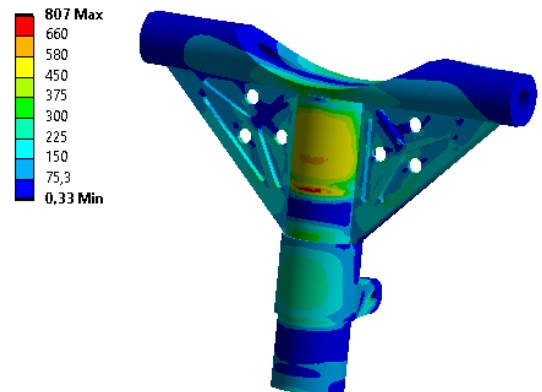


Figure 14 Von- Mises Stress of Main Strut for Ti 10V-2Fe-3Al

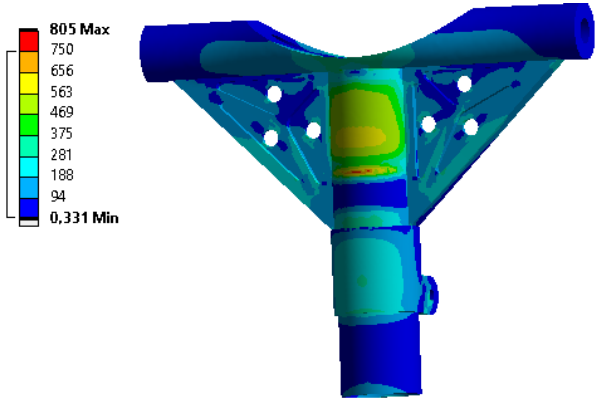


Figure 15 Von- Mises Stress of Main Strut for Ti-6Al-6V-2Sn

6.2. Fork

For the main strut, analyzes were made using AISI 4340, PH13-8Mo and Ti-10V-2Fe-3Al materials and the results are shared in the Table 13. Since the most critical condition for the fork is Case 2, the results for Case 2 are compared.

Table 13. Results of Fork

Material	Weight (kg)	Max. Stress (MPa)	Deformation (mm)	M.S.
AISI 4340	11.93	997	18.3	0.5
PH13-8Mo	12.09	994	17.4	0.42
Ti-10V-2Fe-3Al	7.2	1052	26.12	0.18

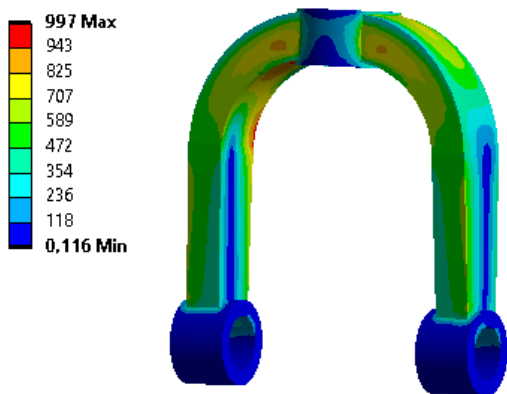


Figure 16 Von-Mises Stress of Fork for AISI 4340

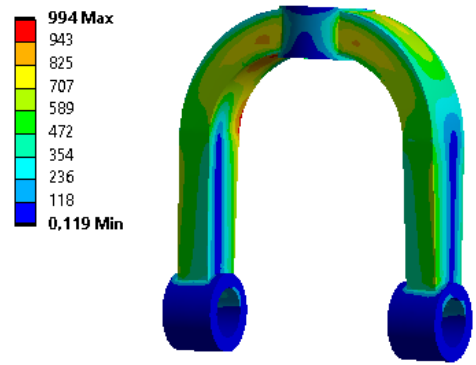


Figure 17 Von-Mises Stress of Fork for PH13-8Mo

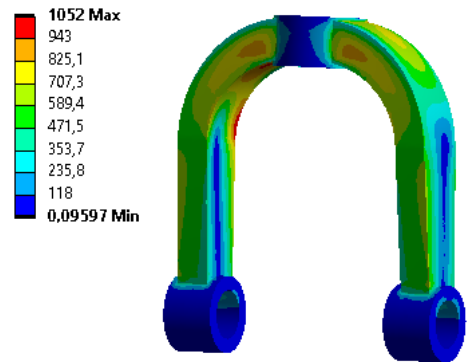


Figure 18 Von-Mises Stress of Fork for Ti-10V-2Fe-3Al

6.3. Torque Links

For the torque links, analyzes were made using Al 7075 T6, Ti 6Al-4V and AISI 1035 materials and the results are shared in the Table 14. Since the most critical condition for the torque links is Case 1, the results for Case 1 are compared.

Table 14. Results of Torque Links

Material	Weight (kg)	Max. Stress (MPa)	Deformation (mm)	M.S.
Al 7075 T6	1.04	47	4	9.7
Ti 6Al-4V	1.64	60	3	13.7
AISI 1035	2.91	86	2.9	5.4

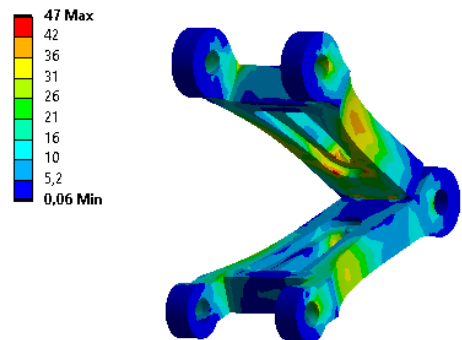


Figure 19 Von-Mises Stress of Torque Links for Al 7075 T6

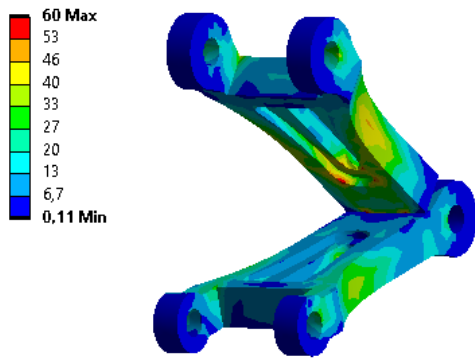


Figure 20 Von-Mises Stress of Torque Links for Al 7075 T6

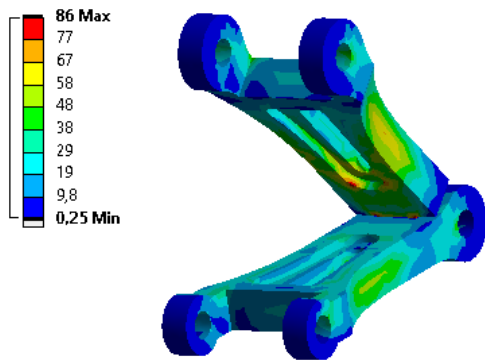


Figure 21 Von-Mises Stress of Torque Links for AISI 1035

6.4. Side Stay Arms

For the side stay arms, analyzes were made using Al 7075 T6, Ti 6Al-4V and AISI 1035 materials and the results are shared in the Table 15. Since the most critical condition for the side stay arms is Case 2, the results for Case 2 are compared.

Table 15. Results of Side Stay Arms

Material	Weight (kg)	Max. Stress (MPa)	Deformation (mm)	M.S.
Al 7075 T6	2.7	429	2.11	0.17
Ti 6Al-4V	4.28	436	1.25	1.02
AISI 1035	7.6	423	0.71	0.3

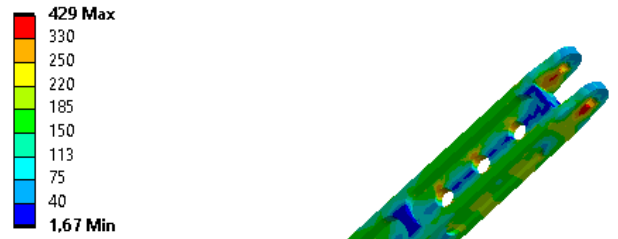


Figure 22 Von-Mises Stress of Side Stay Arms for Al 7075 T6

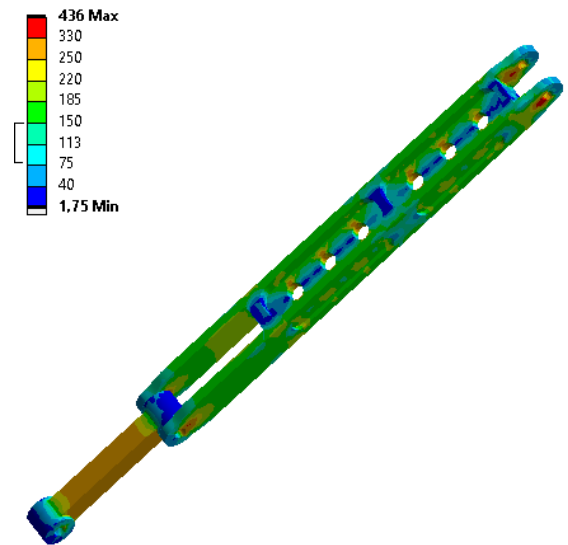


Figure 23 Von-Mises Stress of Side Stay Arms for Ti 6Al-4V

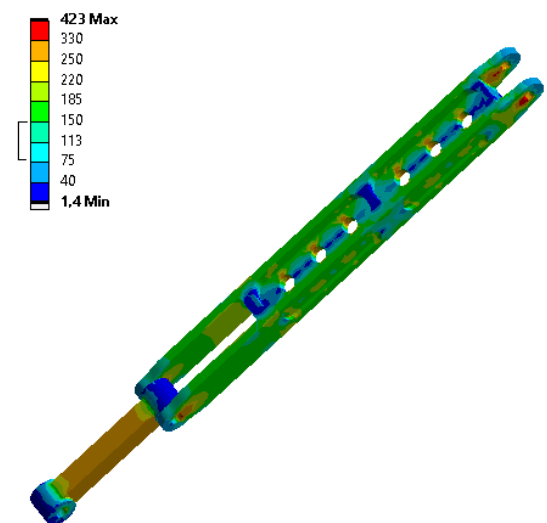


Figure 24 Von-Mises Stress of Side Stay Arms for AISI 1035

6.5. Shock Absorber Cylinder

For the shock absorber cylinder, analyzes were made using 300M Steel the results are shared in the Table 16.

Table 16. Results of Shock Absorber Cylinder

Material	Weight (kg)	Max. Stress (MPa)	Deformation (mm)	M.S.
300M	4	1489	4.8	0.1

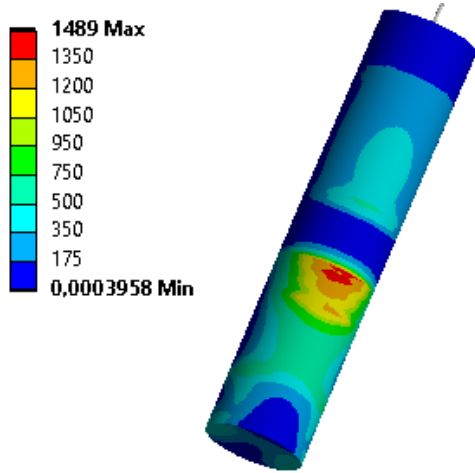


Figure 25 Von-Mises Stress of Shock Absorber Cylinder for 300M

6.5. Axle

For the axle, analyzes were made using AISI 4340 Steel the results are shared in the Table 17.

Table 17. Results of Axle

Material	Weight (kg)	Max. Stress (MPa)	Deformation (mm)	M.S.
AISI 4340	4.1	891	27.1	0.68

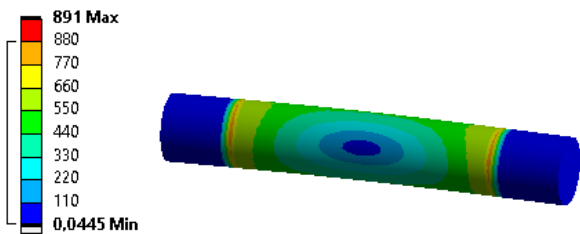


Figure 26 Von-Mises Stress of Axle for AISI 4340

7. Discussion

The accuracy of this study is based on ref. 13 and 14. In both studies, the landing gear was analyzed with the ANSYS program and the structural behavior of titanium alloy 6Al-4V, aluminum alloy 7075 T6 and SAE 1035 steel was investigated. As a result of the studies, it was seen that the lowest deformation was in SAE

1035 steel. Likewise, the same materials were used for the torque links and side stay arms in this study, and the lowest deformation was seen in 1035 steel. Thus, the accuracy of the prepared model is proven. The deformation values and comparison for different materials are shown in

Table 18 and Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı..

Table 18 Deformation Comparission

Material	Deformation (mm)			
	Ref. 13	Ref. 14	Torque Links	Side Stay Arms
Al 7075 T6	2.82	0.35	4.0	2.11
Ti 6Al-4V	1.77	0.3	3.0	1.01
AISI 1035	1.03	0.25	2.1	0.71

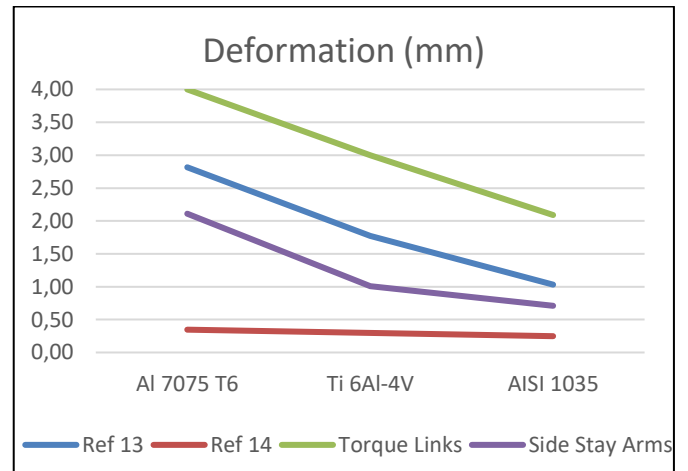


Figure 27 Comparission of Deformation Between Different Materials

4. Conclusions and Recommendations

This study was written with reference to T. D. Nygyen's "Finite Element Analysis of a Nose Gear During Landing" (2010). Structural analysis of the nose landing gear was carried out using the finite element approach. First of all, critical landing conditions were determined and load calculations were made. Then, the contact relationships between the components are defined. Loads were applied as remote force using the method in the reference source. After these processes, the structural analysis of the landing gear system was made for different materials. The results were compared on the basis of parameters such as deformation and stress. Depending on the design requirements, weight, deformation and stress constraints are examined and material changes or design changes can be made in line with the requirements.

References

- Arunagiri, P., Vijayakumar, Ayesha Khan, M., & Jani, S.P. (2022). Structural analysis and materials deformations of landing gear. *Materials Today: Proceedings*.
- Raymer, D. (2018). Aircraft design: a conceptual approach. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.
- Basavaraddi, S.R., Manonmani, K.N., & Swami, P. (2015). STRESS AND FATIGUE ANALYSIS OF LANDING GEAR AXLE OF A TRAINER AIRCRAFT. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 04, 224-228.
- Conway, H. G. (1958). Landing gear design. Chapman & Hall.
- Currey, N. S. (1988). Aircraft landing gear design: principle and practices. AIAA Education Series, Washington, D.C.
- Dileep, E., Oblisamy, L., Krithiga, R.S., & Jacob, J. (2016). Structural Analysis of Aircraft Landing Gear During Rough Landing. *International journal of engineering trends and technology*, 41, 256-261.
- Jeevanantham, V., Vadivelu, & Manigandan, P. (2017). Material Based Structural Analysis of a Typical Landing Gear.
- Gowda, A.C., & Basha, S.N. (2014). Linear Static and Fatigue Analysis of Nose Landing Gear for Trainer Aircraft.
- Gudmundsson, S. (2014). General aviation aircraft desing: Applied methods and procedures. ELSEVIER.
- Nguyen, T. (2010). FINITE ELEMENT ANALYSIS OF A NOSE GEAR DURING LANDING.
- Prasad, V., Reddy, P.K., Rajesh, B., & Sridhar, T. (2020). DESIGN AND STRUCTURAL ANALYSIS OF AIRCRAFT LANDING GEAR USING DIFFERENT ALLOYS. *International Journal Of Mechanical Engineering And Technology (IJMET)*.
- Rajesh, A.R., & Bt, A. (2015). Design and Analysis Aircraft Nose and Nose Landing Gear. *Journal of Aeronautics and Aerospace Engineering*.
- Raju, M.M., Patan, S. (2017). DESIGN AND STRENGTH ANALYSIS OF NOSE LANDING GEAR. *International Journal and Magazine of Engineering, Technology, Management and Research*, 04, 71-75.
- Sadraey, M. H. (2013). Aircraft design: A systems engineering approach. John Wiley and Sons.
- Schmidt, R. K. (2021). The design of aircraft landing gear R-455. SAE International, 2021.
- United States., Battelle Memorial Institute., William J. Hughes Technical Center (U.S.), United States., & United States. (2019). *MMPDS-14: Metallic materials properties development and standardization (MMPDS)*.



Türkiye’de Biyoteknoloji Girişimciliği Önündeki Engellerin SWARA Yöntemi İle Ağırlıklandırılması

Nazlı Seyhan^{1*}

¹Gümüşhane Üniversitesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Türkiye, (orcid:0000-0003-0759-9119), nazliarik@gumushane.edu.tr

(4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, November 10 - 13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1218377)

ATIF/REFERENCE: Seyhan. N. (2022). Türkiye’de Biyoteknoloji Girişimciliği Önündeki Engellerin SWARA Yöntemi İle Ağırlıklandırılması. *European Journal of Science and Technology*, (43), 136-141.

Öz

Biyoteknoloji girişimciliği, bilimsel ve ticari disiplinlerin kaynaşması yoluyla yaşamı değiştiren ürünler yaratan ve ticarileştiren bir girişim oluşturmak için zaman içinde birlikte çalışan bireylerden oluşan bir ekip tarafından gerçekleştirilen tüm faaliyetlerin toplamını ifade etmektedir. Biyoteknolojik faaliyetler sonucunda bulaşıcı hastalıklarda bulaş riskinin azaltılması, fosil yakıt kullanım oranının azaltılması ve biyoyakıt kullanımının artırılmasıyla sera gazı salınımının minimize edilmesi, biyokimyasal temizlik ürünleri ile su kullanımının ve atık üretiminin azaltılması, zirai zararlılarla mücadelede çevreye verilebilecek zararın en aza indirilmesi gibi faydalarıyla birlikte; gelecekte de yaşam süresi ve kalitesinde iyileştirilmesine yönelik sağlık, gıda, tarım, su, enerji, giyim gibi ihtiyaçların doğal kaynaklardan karşılanabilmesi yönünden de bu faaliyetler oldukça önemli görülmektedir. Dünyada teknolojinin gelişmesiyle de artık ileri teknolojiye sahip özgün ürünlere dönük ürün ve çalışmaların belirleyici rol oynayacağı görülmektedir. Bu çalışmada, Türkiye’de biyoteknoloji girişimciliği önündeki engellere değinilerek, bu engeller çok kriterli karar vermede kriter ağırlıklandırmada kullanılan subjektif metotlardan olan SWARA metoduyla ağırlıklandırılmıştır. Çalışma, sunulacak ampirik analiz bulgularıyla araştırmacılara biyoteknoloji girişimciliği önündeki engellerde hangi faktörlerin daha önemli rol oynadığının saptanması bakımından katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Biyoteknoloji, Girişimcilik, Biyogirişimcilik, SWARA Metodu.

Weightening the Barriers to Biotechnology Entrepreneurship in Turkey by SWARA Method

Abstract

Biotechnology entrepreneurship refers to the sum total of all activities performed by a team of individuals working together over time to create an enterprise that creates and commercializes life-changing products through the fusion of scientific and commercial disciplines. Along with the benefits such as reducing the rate of infectious diseases as a result of biotechnological activities, reducing the use of fossil fuels and increasing the use of biofuels, minimizing the greenhouse gas effect, reducing the use of water and waste with biochemical cleaning products, and giving less damage to the environment in the fight against agricultural pests; These activities are considered very important in terms of meeting the needs of natural resources for health, food, feed, clean water, energy and clothing for increasing life expectancy and quality in the future. With the development of technology in the world, it is now seen that developments in advanced technology, complex and unique products will play a decisive role. In this study, the obstacles in front of biotechnology entrepreneurship in Turkey are mentioned and these obstacles are weighted with the SWARA method, which is one of the subjective methods used in criterion weighting in multi-criteria decision making. The study will contribute to the researchers in terms of determining which factors play a more important role in the barriers to biotechnology entrepreneurship with the empirical analysis findings to be presented.

Keywords: Biotechnology, Entrepreneurship, Bioentrepreneurship, SWARA Method

1. Giriş

İnsan yaşamında biyolojik araştırmaların eski bir tarihe sahip olduğu bilinmektedir. Başlangıçta bilinçli olmadan kullanılan bu faaliyetlerin biyolojik bilimlerdeki gelişmeler ve teknolojik yenilikler ile bilinçli kontrollü bir şekilde uygulanmasına sebep olmuştur. 20.yy sonları ve 21.yy başlarında biyoteknolojinin gelişiminde, genom bilimi, rekombinant DNA teknolojisi gibi çalışmaları oldukça etkili olmuştur. Bazı hücrelerin büyük miktarda üretiminin zorluğu, doğal kaynak kullanımındaki kısıtlılık ve maliyet gibi bir çok faktör biyoteknolojik gelişimi öncelikli ve zorunlu ihtiyaç haline getirmiştir (Kiper, 2013).

Biyoteknolojinin kullanımı aslında binlerce yıl öncesine dayanmaktadır ve tarımın başlangıcına denk geldiği kabul edilebilir: biyoteknolojik tip işlemler, bira (tahılların fermantasyonu ile elde edilen), yoğurt ve şarap gibi eski çağlardan beri bilinen ürünleri elde etmek için kullanılır (Sadrae vd., 2018: 546). Biyoteknoloji faaliyetleri her ne kadar eski zamanlara dayansa da dönemselsel olarak gelişim sürecinde farklı engellerle karşılaşıldığı söylenebilir. Var olan bilgi ve ilgili alanda yapılan çalışmaların gelişmesi, teknolojik ilerleme, ekonomik gelişme ve kaynaklara erişim bu faktörlerin gelişmesini etkileyen önemli unsurlardandır. Gelişmiş ülkelere bakıldığında Türkiye’de biyoteknoloji ve biyoteknoloji girişimciliğine yapılan yatırım ve destekler her ne kadar yeterli görülmesine de bu durumun altında yatan sebeplerin araştırılması da konunun öneminin anlaşılması ve sorunlara çözüm önerileri sunulmasına imkan sağlayacaktır. Bu çalışmada da Türkiye’de biyoteknoloji girişimciliği önündeki engellere değinilmiş ve bu engeller çok kriterli karar vermede (ÇKKV) kriter ağırlıklandırma için kullanılan subjektif bir metod olan SWARA metoduyla ağırlıklandırılmıştır.

2. Kavramsal Çerçeve ve Literatür

Biyoteknoloji muazzam potansiyele sahip bir bilim alanıdır. OECD biyoteknoloji kavramını, biyolojik ajanlar kullanarak (mikroorganizmalar, enzimler, hayvan veya bitki hücreleri gibi) malzemeleri dönüştürmek için mal ve hizmet üretmek amacıyla bilimsel ve mühendislik ilkelerinin (mikrobiyoloji, genetik, biyokimya, kimya ve biyokimya mühendisliğine dayalı) kullanılması şeklinde ele almıştır. (OECD, 1989).

Karl Ereky tarafından kullanılmaya başlanan biyoteknoloji teriminin tanım ve kapsamını gelişen modern tekniklerle birlikte farklılık kazanmıştır. Karl Ereky tarafından “Biyoteknolojik sistemler yardımıyla hammaddelerin yeni ürünlere dönüştürüldüğü işlemlerdir” şeklinde tanımlanan biyoteknoloji kavramı gelişmiş biyoteknolojik sistemlerin kullanımından sonra moleküler düzeyde başlayan çalışmalarla kapsamının genişlemesiyle farklı şekillerde ifade edilmeye başlanmıştır (Kayıhan, 2018: 9). Birleşmiş Milletler Biyolojik Çeşitlilik Konvansiyonuna göre biyoteknoloji “Ürünlerin ya da süreçlerin üretimi veya modifikasyonu için biyolojik sistemlerin veya canlı organizmaların kullanıldığı teknolojik uygulamalar” şeklinde ifade edilmektedir. Diğer bir ifadeyle biyoteknoloji “Belirli bir kullanıma yönelik olarak, ürün ve süreçler geliştirmek veya varolanları değiştirmek için, biyolojik sistemler, yaşayan organizmalar veya türevlerini kullanan her türlü teknolojik uygulama olarak” tanımlanmaktadır. Günümüzde biyoteknoloji multidisipliner olarak biyoteknoloji çalışmaları; genetik, mikrobiyoloji, biyokimya, gıda mühendisliği, , moleküler

biyoloji, , hücre biyolojisi, embriyoloji gibi biyolojik bilimlerle birlikte elektrik, kimya mühendisliği, bioenformatik vb. farklı alanlarda da bilgi ve yöntemleriyle kullanılmaktadır (Tanyolaç vd., 2018: 601).

Biyolojik teknolojilerin tarih boyunca yapılan birçok kullanımını daha iyi anlamak için OECD, biyoteknolojileri üç kategoride sınıflandırmıştır: Fermantasyon gibi binlerce yıllık geleneksel biyoteknolojiler; Aşı, enzim ve hibrit elde etmek için kullanılan biyolojik süreçler gibi sanayi devriminden sonra geliştirilen modern biyoteknolojiler; 1970’den beri DNA rekombinasyonu ve hücre füzyonunun keşfi sayesinde geliştirilen yeni biyoteknolojiler (Nosella vd., 2005).

Sağlık, tarım, çevre, gıda, enerji alanlarında bir çok yaşam alanında biyoteknoloji yer almaktadır. Bu sebeple biyoteknoloji farklı alanlarda farklı renk kodlarıyla ifade edilmektedir. Sağlık ve medikal alanında **Kırmızı Biyoteknoloji**, Su ve deniz alanında **Mavi Biyoteknoloji** , Gıda ve beslenme alanında **Sarı Biyoteknoloji**, Tarım ve çevre alanında **Yeşil Biyoteknoloji**, Sulama ve çölleşme alanlarında **Kahverengi Biyoteknoloji**, Endüstriyel alanda **Beyaz Biyoteknoloji**, Klasik fermentasyon ve biyoproses teknolojisi alanında **Gri Biyoteknoloji**, Biyoinformatik ve nanobiyoteknoloji alanlarında **Altın Biyoteknoloji** ve Biyoterör ve biyosuç alanlarında **Siyah Biyoteknoloji** kavramları kullanılmaktadır (Akkaya ve Pazarlıoğlu, 2012).

Türkiye’nin biyoteknoloji alanında yaptığı çalışmalara bakıldığında, 1982 yılında Enzim Teknolojisi İhtisas Komisyonu oluşturulmuş, 1984 yılında Biyoteknolojide Türkiye’nin Önceliklerini Saptamaya Yönelik İhtisas Komisyonu kurulmuş, 1985 yılında ise TÜBİTAK tarafından Biyoteknoloji Alanında Türkiye ve Geliştirme Politikası başlıklı rapor hazırlanarak politika önerileri yapılmıştır. Öte yandan Vizyon 2023 Strateji Belgesi’nin çalışma raporlarında da “21. yüzyılın teknolojisi olarak tanımlanan biyoteknolojiye sadece insanımızın yaşam kalitesini yükseltmekle sınırlı olmayan ekonomik ve teknolojik bir üstünlük kazandıracaktır” ifadesi yer almaktadır. Özellikle sağlık ve tarım sektörlerinde biyoteknolojik uygulamaların başarılı bir şekilde uygulanmasıyla sağlanabilecek sinerjideki etkilerinin çok daha büyük olacağı düşünülmüştür (Yardımcı, 2013: 44). Bununla birlikte biyoteknolojinin dünyada giderek artan önemi düşünüldüğünde bu konuda yaşanan gelişmeleri göz ardı etmeden biyoteknoloji sektöründe sürdürülebilir ve etkin bir yapıya ulaşabilmek amacıyla “Türkiye Biyoteknoloji Stratejisi ve Eylem Planı (2015-2018)” yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

Türkiye 9. Beş Yıllık Kalkınma Planı’nda araştırma-geliştirmeye dayanan üretim yeteneğinin geliştirilmesi ve güçlendirilmesi için öncelikli alan olarak belirlenen biyoteknoloji, multidisipliner yeni araştırma teknolojileri ve yöntemlerini kapsayan çeşitli sektörlerde uygulama alanlarını içermektedir. Sektörel verimlilik ve inovasyon yönünden günümüzde biyoteknoloji ve biyoteknoloji araştırma teknolojilerinin göz ardı edilmesi mümkün değildir. Sağlık, gıda, tarım ve hayvancılık, çevre, endüstri vb. alanlarda yer almaya başlayan biyoteknoloji, bu sektörlerde alt yapı, personel donanımı, araştırma ve geliştirme faaliyetlerini, üretilen ürün niteliği ve miktarı gibi hususlara farklı bakış açısı kazandırmıştır. Geleneksel sektörlerin yanında hormon, antibiyotik ve bazı diğer ilaç aktif maddesi olan kimyasallar, rekombinant protein ve proenzimlerin üretimi, artık ve atık maddelerinden yeni enerji

kaynakları üretme gibi özel alanlar da biyoteknolojinin alt sektörleri arasında yer almaktadır (Kiper, 2013: 33).

Biyoteknolojinin kritik büyüklüğe ulaşabilmesinde aşağıda yer alan bazı kurumsal yetkinliklere sahip olması gerektiği vurgulanmaktadır (Bartholomew, 1997):

- Temel araştırma alanlarındaki yerli fonların düzeyi ve kapsamı
- Alandaki uluslararası araştırma kurumlarıyla olan ilişkiler
- Temel ve diğer bilimsel alanlardaki eğitim seviyesi
- Araştırma- Geliştirme Enstitülerinin çalışmalarını ticarileştirebilme becerileri
- Üniversite- Sanayi işbirlikleri ve hareketlilik
- Risk sermayesi kaynağı ve pazarının büyüklüğü
- Teknoloji alanında hükümet ve kurumların/şirketlerin başarı düzeyi
- İlgili alanda teknoloji birikimi

TUIK, biyoteknoloji faaliyetinde bulunan girişim kavramını “ürünlerinde veya hizmetlerinde biyoteknoloji kullanan (biyoteknolojik tekniklerden en az birini kullanan) ve/veya biyoteknoloji Ar-Ge faaliyeti gerçekleştiren girişim teknoloji ve mühendisliği bir araya getiren ileri modern biyoteknoloji uygulamaları girişimler” şeklinde ifade etmiştir (TUIK, 2020). Bugün iş dünyası, yeni pazar alanları ve ürünler yaratma arayışıyla dolu. Yeni ürünlerin yaratılması, teknolojinin yayılması, üretkenliğin ve kalitenin artırılması ve hizmetlerin iyileştirilmesi yoluyla yeni pazar alanı biçimindeki iş, her zaman ilerlemenin aktif temsilcisi olmuştur. Biyoteknoloji, bilgi havzası yoluyla ekonomik sektörde yeni bir ufuk yaratmış ve yatırımcılar ve girişimciler, biyoteknoloji sektörlerine yönelmeye başlamıştır.

Biyoteknoloji sektörü oldukça büyük bir pazardır. Büyüme oranında yaşanan düşüşe rağmen, biyoteknoloji endüstrisi hala büyük gelirler sağlayan ve büyük ölçekte insanları istihdam eden ekonomik bir motordur. 2016 yılında, halka açık ABD ve Avrupa biyoteknoloji şirketlerinin toplam geliri 139,4 milyar ABD doları rekor seviyeye ulaştı ve aynı şirketler 200.000'den fazla kişiyi istihdam etmiştir (EY 2017: 32). Ancak bu durum, sadece biyoteknoloji endüstrisinin kapsamında değildir. Dünya çapında yapılan bir biyoteknoloji hamlesi, uygun becerilere sahip çalışanlara istihdam yaratarak ekonomiye katkıda bulunmaktadır (Aziz ve Rowland, 2018: 62).

Herhangi bir ülkede bir biyoteknoloji endüstrisinin gelişimi, teknolojinin özellikleri - özellikle bilimsel bilgiyle yakın ilişkisi - ülkeye özgü faktörler - bilimsel bilgi tabanının düzeyi ve doğası, kurumsal yapı ve hükümetin üstlendiği rol— ülkenin yeni fırsatlardan yararlanma ve ilgili sonuçları uygun hale getirme yeteneği ile biçimlenir (Fontes, 2001: 60). Girişimci yüksek teknoloji firmalarının yaşadığı endüstrilerde, kurumsal başarının birincil belirleyicisi, firmanın yeni ürünler geliştirme hızıdır (Stalk ve Hout 1990). Yeni ürünleri hızlı bir şekilde geliştirme ve piyasaya sürme yeteneği, daha fazla finansal bağımsızlık, dış görünürlük ve meşruiyet, erken pazar payı için erken nakit akışları elde etmek ve hayatta kalma olasılığını artırmak için önemlidir. Ayrıca, bir firma yeni ürünleri ne kadar hızlı geliştirir ve bunları pazara sunarsa, ilk hamle avantajlarını yakalama olasılığı o kadar yüksek olacaktır. Bu, patent korumasının göreceli etkinliğinin, "kazanan her şeyi alır" senaryosunun var olduğu patent yarışlarına

yol açtığı farmasötikler gibi endüstriler için kesinlikle doğrudur (Deeds ve Hill, 1996: 42).

İleri teknolojik sektörlerin ortaya çıkmasındaki kritik unsurlardan biri, ilgili alanlarda bilimsel ve teknolojik yeteneklerin ve bunların ticari amaçlarla uygulanmasındaki yeterliliklerin geliştirilmesidir. Ancak orta düzeyde gelişmiş ülkeler (IDC'ler), bilgi üretimi ve birikimi üzerindeki kısıtlamalar ve zayıf teknoloji ve sermaye piyasaları nedeniyle bu alanlarda kapsamlı yetkinlik geliştirme süreçleri için gerekli koşulları ve teşvikleri oluşturamayabilir (Fontes, 2007: 351).

3. Yöntem (SWARA Metodu)

Kriter ağırlıklandırma sıklıkla kullanılan metodlardan olan SWARA (Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis) metodu ilk olarak Keršuliene vd. (2010) tarafından önerilmiştir. Bu metotta alternatifler değerlendirilirken belirlenen kriterler daha önemliden önemsiz doğru sıralanır ve uzmanın kararıyla oylama yapılarak önemsiz kriterler elimine edilmektedir. Kalan kriterlerde önem ağırlıkları hesaplanırken her bir karar vericinin belirlediği sıralama dikkate alınmaktadır (Keršuliene vd., 2010). SWARA yöntemini kullanarak kriterlerin göreceli ağırlıklarını belirleme süreci aşağıdaki adımlar kullanılarak doğru bir şekilde gösterilebilir (Stanujkic vd., 2015: 182):

Adım 1. Kriterler, olası önem düzeylerine göre azalan şekilde sıralanır ve en önemli kriter 1,00 puanını alır.

Adım 2. İkinci kriterden başlanarak, uzman her bir kriter için j kriterinden bir önceki (j-1) kritere göre göreceli önem değerlerini belirler. Keršuliene vd. (2010), bu oranı ortalama değerini karşılaştırmalı önemi, (s_j) olarak ifade etmektedir.

Adım 3. Katsayı değerleri eşitlik (1) yardımıyla belirlenir.

$$k_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ s_j + 1 & j > 1 \end{cases} \quad (1)$$

Adım 4. Önem vektörü eşitlik (2) yardımıyla hesaplanır.

$$w_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{k_{j-1}}{k_j} & j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

Adım 5. Son olarak kriterlerin ağırlık değerlerinin hesaplanması eşitlik (3) ile yapılmaktadır.

$$q_j = \frac{w_j}{\sum_{k=1}^n w_k} \quad (3)$$

4. Veri Seti ve Bulgular

Çalışmada TUIK tarafından “biyoteknoloji girişimciliği önündeki engeller raporu”nda yer alan engeller baz alınmış ve bu engeller uzman görüşüne sunulmuş ve önem sırası ve derecesi belirlenmiş ve karar matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 1. Biyoteknolojik Ar-Ge Faaliyetleri Önündeki Engellere Göre Girişim Sayıları

Biyoteknolojik Ar-Ge Faaliyetleri önündeki engeller	2018	2019	2020
1.Sermayeye erişim	210	219	304
2.Teknolojiye/bilgiye erişim	112	99	169
3.Nitelikli insan kaynaklarına erişim	181	185	248
4.Uluslararası piyasalara erişim	80	65	102
5.Dağıtım ve pazarlama kanallarının eksikliği	59	53	71
6.Genel algı/kabul	77	82	118
7.Yasal düzenleme gereksinimleri	122	115	171
8. Başkaları tarafından tutulan patent hakları/yüksek lisanslama maliyetleri	86	86	129
9.Genomlar, protein dizileri üzerine veri tabanlarına erişim	95	95	131
10.Yurt dışından genetik kaynak temini	128	113	160
11.Teknoloji transferi	118	103	165

Kaynak: TUIK (2020)

2018, 2019 ve 2020 yıllarındaki Biyoteknolojik Ar-Ge Faaliyetleri Önündeki Engellere Göre Girişim Sayıları değerlendirildiğinde toplam girişim sayıları içindeki oransal olarak en çok paya sahip olan engellerin sermayeye erişim, nitelikli insan kaynaklarına erişim, teknolojiye/bilgiye erişim ve yasal düzenleme gereksinimleri olduğu görülmektedir. Bu durum Türkiye’de biyoteknolojik girişim faaliyetlerinde girişimcilerin halen finansman ve insan kaynağı elde etmede zorlandıklarının bir göstergesidir.

Tablo 2. SWARA Metodu Bulguları

Biyoteknolojik Ar-Ge Faaliyetleri önündeki engeller	Ağırlık Değerleri (wj)
1.Sermayeye erişim	0.1592
2.Teknolojiye/bilgiye erişim	0.0801
3.Nitelikli insan kaynaklarına erişim	0.1224
4.Uluslararası piyasalara erişim	0.0728
5.Dağıtım ve pazarlama kanallarının eksikliği	0.0925
6.Genel algı/kabul	0.0600
7.Yasal düzenleme gereksinimleri	0.1020
8. Başkaları tarafından tutulan patent hakları/yüksek lisanslama maliyetleri	0.0662
9.Genomlar, protein dizileri üzerine veri tabanlarına erişim	0.0630
10.Yurt dışından genetik kaynak temini	0.0971
11.Teknoloji transferi	0.0841

Çalışmada belirlenen engeller uzman görüşüne sunulmuş ve öncelikle uzmanın en önemli kriterden başlayarak önem düzeylerini belirlemeleri istenmiştir. Çalışma sonucunda uzman görüşü yardımıyla engellerin önem sırası ve derecesi tespit edildikten sonra karar matrisi oluşturulmuştur. Sırasıyla yöntem kısmında yer alan eşitlik (1), eşitlik (2) ve eşitlik (3) yardımıyla

Katsayı değerleri, Önem vektörü ve kriter ağırlıkları hesaplanmıştır.

Çalışmadan elde edilen bulgulara göre, SWARA yöntemiyle elde edilen ağırlık değerlerine bakıldığında Türkiye’de biyoteknoloji Ar-Ge faaliyetleri önündeki engellerden en önemli ağırlıklara sahip olan engellerin Sermayeye erişim (% 15,9), Nitelikli insan kaynaklarına erişim (%12,2), Yasal düzenleme gereksinimleri (%10,2) olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Nitekim girişim sayısı oranlarına bakıldığında Sermayeye erişim (0,171), Nitelikli insan kaynaklarına erişim (0,1402), Yasal düzenleme gereksinimleri (0,096) engellerinin tüm biyoteknolojik girişimciliği engelleri arasında büyük orana sahip olduğu görülmektedir.

3. Sonuç ve Öneriler

Biyoteknolojideki hızlı gelişme, birçok sektöre entegre olabilmesi ve yaşam biliminde teknik ve araçların tamamının kullanılabilmesi gibi özellikleriyle günümüzde ve gelecekte küresel ekonomide ciddi etkilerinin olması beklenmektedir. Bu etkiler, var olan verimliliğini artırmak ve süreci hızlandırmak için üreticilerden, tedarikçilere, bağlantılı kurum ve kuruluşlar (üniversiteler, ticari birlikler ve ilgili devlet kuruluşları) ilgili alanda biyokümeler oluşturmaya başlamıştır. Ulusal inovasyon sistemlerine ilişkin son literatür, üniversiteler, endüstriyel kuruluşlar ve devlet kurumları arasındaki yoğun bilimsel işbirliklerini göstermektedir (Etzkowitz ve Leydesdorff, 2000; Etzkowitz ve diğerleri, 2000) ve bu durum üniversite araştırmalarının giderek artan bir şekilde ulusal bilgi yoğun ağların bir yeri olarak işlev görebileceğini göstermektedir. Özellikle uluslararası sektörde yaygın bir şekilde kullanılan kümelenmenin sağlayacağı iş birlikleri ile araştırmacılara sağlanan hizmetler ile çalışanların kazanacağı teknolojik bilgi ve deneyimler, araştırma geliştirme faaliyetlerinin ve ortaya çıkacak ürünlerin üretimini kolaylaştıracağı düşünülmektedir. Ayrıca oluşturulan biyokümeler ağların gelişmesine, son kullanıcıya ürünün ulaştırılmasına ve ürünün ticarileştirilmesine imkan tanıyacaktır.

Birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülke biyoteknoloji alanında araştırma ve inovasyonu desteklemekte ve bu gelişimin sürdürülebilir olması için bazı politika ve strateji planları yapmaktadır. Biyoteknoloji alanında ulusal ve uluslararası nitelikteki bütünleşik bir stratejinin uygulamaya geçirilmesi ve bu stratejilerin desteklenmesi, Ar-Ge çıktılarının ticarileştirilmesinde, yeni şirketlerin kurulmasında ve patent üretilmesinde olumlu gelişmelere de olumlu katkıları olacaktır. Ayrıca özel sektörde biyoteknoloji alanında yapılan Ar-Ge faaliyetlerine olan ilginin artırılmasında var olan desteklerin gelişmiş ülkelerin ve AB ülkelerinin destekleri dikkate alınarak artırılması var olan yatırımların artmasına ve yerli ürünlerin de uluslararası pazarlara ulaşmasında faydalı olacaktır.

Türkiye biyoteknoloji alanında temel politikasının, muhtemel etkilere yönelik biyolojik çeşitliliğin kazanılması, insan ve hayvan sağlığının korunması temel ilkeleriyle birlikte ulusal ihtiyaçlara yönelik günümüzde ve gelecekte modern biyoteknoloji ve ürünlerden faydalanılması şeklinde ifade etmiştir. Bununla birlikte ulusal biyoteknoloji stratejisinde biyokümelenme ve inovasyonun desteklenmesine, yapılan projelere desteklerin artırılması ve nitelikli eleman kazanımı olduğunu bildirmiştir (Kiper, 2013: 41). Türkiye’de özellikle biyoteknoloji sektöründe Ar-Ge ve inovasyon çalışmalarının desteklenmesi ve bu yapının gelişiminin sürdürülebilirlik

kazanması oldukça önemlidir. Ayrıca öncelikli önem taşıyan biyoteknoloji alt dallarının belirlenerek gerekli desteklerin ve araştırmacı- sanayi işbirliklerinin sağlanması da yapının temelini sağlamlaştırılması açısından büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada da Türkiye’de biyoteknoloji girişimciliği önündeki engellere değinilmiş ve bu engeller çok kriterli karar vermede kullanılan subjektif kriter ağırlıklandırma metodlarından olan SWARA metoduyla ağırlıklandırılmıştır. Çalışmada ilgili literatür incelenerek, biyoteknoloji girişimciliği önündeki engeller; Sermayeye erişim, Teknolojiye/bilgiye erişim, Nitelikli insan kaynaklarına erişim, Uluslararası piyasalara erişim, Dağıtım ve pazarlama kanallarının eksikliği, Genel algı/kabul, Yasal düzenleme gereksinimleri, Başkaları tarafından tutulan patent hakları/yüksek lisanslama maliyetleri, Genomlar, protein dizileri üzerine veri tabanlarına erişim, Yurt dışından genetik kaynak temini ve Teknoloji transferi engelleri olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda uzman görüşü yardımıyla belirlenen karar matrisiyle bu engellerin ağırlık değerleri belirlenmiştir. Ağırlık değerlerinden elde edilen sonuca göre, Türkiye’de biyoteknoloji girişimciliği önündeki engellerden en önemli engellerin sırasıyla *Sermayeye erişim*, *Nitelikli insan kaynaklarına erişim* ve *Yasal düzenleme gereksinimleri* iken diğerlerinden daha az öneme sahip olan engellerin ise *Başkaları tarafından tutulan patent hakları/yüksek lisanslama maliyetleri* ve *Genomlar, protein dizileri üzerine veri tabanlarına erişim* olduğu bulgusuna ulaşılmıştır.

Biyoteknolojinin Türkiye’de biyoteknoloji alanındaki gelişmelere bakıldığında “politika” kapsamında yani kalkınma politikalarında yer almasının 1980’lerde; bilim-teknoloji politikalarında yer almasının da 1990’larda olduğu görülmektedir. “Yasalaştırma” konusunda biyogüvenlik çalışmalarının daha geriden geldiği görülmektedir. Burada dikkat çeken nokta, biyogüvenlik önlemlerinin yaşamımızda gün be gün daha etkili şekilde yer alan biyoteknoloji ürün ve uygulamalarının gerisinden gelmesinden kaynaklıdır. Bu durum aslında biyoteknolojide karşılaşılabilecek muhtemel risklere açık olma manasını taşımaktadır (Erbaş, 2008: 22).

Son olarak özellikle yurtdışı pazarlara açılma ve üretimin ölçek büyümesi aşamalarında yatırımcılarla biyogirişimcilerin veya KOBİ’lerin ihtiyacı olan kazan-kazan koşullarının oluşturulması gerektiği düşünülmektedir. Ülkemizde girişimciliğe yönelik destek ve mentorluk programlarının artması güzel bir adım olmakla birlikte bu gelişmelerde problem odaklı çalışmalara öncelik verilmesi gerçekten mevcut problemlere çözüm üretilmesini de sağlayabilecektir. Kurumsal entegrasyon sağlayarak süreçlerde görevli olacak kurumların olabildiğince aynı çatı altında bir araya getirilmesi, tüm bu stratejilerin işlerliğini kolaylaştıracaktır.

Bu kapsamda, sektörel inovasyon stratejilerinde Türkiye’nin mevcut durumda ekonomisinin dayandığı ana sektörlerden olan geleneksel (tekstil, seramik, demir çelik gibi) alanlarda geleneksel üretim sistemleri ve düşük katma değerli ürünlerden daha yüksek katma değer sağlayacak yapısal ve fonksiyonel ürünlere doğru evrilmeyi sağlayacak “seviye yükseltme” stratejileri için mekanizmalar geliştirilmesinin sektörel inovasyon stratejilerinde önemli bir hedef olarak dikkate alınması yararlı görülmektedir.

Sonuç olarak çoğunlukla tüm Ar-Ge ve inovasyon sistemlerindeki ekosistemde, insan kaynakları, finansman ve bilgi-teknoloji sağlayıcıları, teknoloji kullanıcıları ve politika yapımcılarının oluşturduğu bir zicir olduğu görülmektedir. Bu

zincirde herhangi bir halkanın olmayışı veya beklenen düzeyde etkin olmayışı gelişimin sektöre uğramasına sebep olacaktır. Ayrıca düşük teknolojiden direkt olarak yüksek teknolojiye geçiş mümkün olamayacağından onun yerine bu süreçte sürdürülebilir, uzun dönemli ve planlı yaklaşımların daha etkili olacağı muhtemeldir. Bu kapsamda özellikle Türkiye’nin ekonomik kalkınmasında etkili olan geleneksel (tekstil, seramik, demir çelik gibi) alanlarında geleneksel üretim sistemlerinin düşük katma değerli ürünlerden yüksek katma değer sağlayacak daha gelişmiş ürünlere yönelik evrilme sağlanmasında “seviye yükseltme” stratejilerinin benimsenerek sektörel inovasyonun kazanılmasında temel hedef haline getirilmesi de gelişime katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

- Akkaya, A., Pazarlıoğlu, N. (2012), “21.Yüzyılın Anahtar Teknolojisi:Beyaz Biyoteknoloji”, Kırıkkale Üniversitesi Bilimde Gelişmeler Dergisi, 22- 33.
- Aksan Kurnaz, I., Salman Ünver, S. ve Sart, G. (2019). Adım Adım Biyogirişimcilik: Biyoteknoloji Girişimci ve Yatırımcılarına Yol Haritası: Sonsöz ve Yol Haritası, Erişim: https://www.researchgate.net/publication/344282524_ADIM_ADIM_BIYOGIRISIMCILIK_BIYOTEKNOLOJI_GIRISIMCI_VE_YATIRIMCILARINA_YOL_HARITASI_SONSOZ_VE_YOL_HARITASI_16_BOLUM (Kasım, 2022).
- Aziz, A. A. A., & Rowland, S. (2018). The entrepreneurship skills that biotechnology graduates need: findings from entrepreneurial employees in a developing economy. *Entrepreneurship Education*, 1(1), 61-83.
- Bartholomew, S. (1997). National systems of biotechnology innovation: complex interdependence in the global system. *Journal of international business studies*, 28(2), 241-266.
- Deeds, D. L., & Hill, C. W. (1996). Strategic alliances and the rate of new product development: an empirical study of entrepreneurial biotechnology firms. *Journal of business venturing*, 11(1), 41-55.
- Erbaş, H. (2008). Türkiye’de biyoteknoloji ve toplumsal kesimler: profesyoneller, kentsel tüketiciler, köylüler. Ankara: Ankara Üniversitesi Biyoteknoloji Enstitüsü.
- Etzkowitz, H., Leydesdorff, L., 2000. The dynamic of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university-industry-government relations. *Research Policy* 29, 109–123.
- Etzkowitz, H.A., Webster, C., Gebhardt, B., Terra, R.C., 2000. The future of the university and the university of the future: evolution of ivory tower to entrepreneurial paradigm. *Research Policy* 29, 313–330.
- EY (2017). Biotechnology report 2017. Beyond borders: Staying the course. London: Ernst & Young LLP
- Fontes, M. (2001). Biotechnology entrepreneurs and technology transfer in an intermediate economy. *Technological forecasting and social change*, 66(1), 59-74.
- Fontes, M. (2007). Technological entrepreneurship and capability building in biotechnology. *Technology analysis & strategic management*, 19(3), 351-367.
- Kayhan, C. (2018). Biyoteknoloji: On Bin Yıllık Serüven, *PiVOLKA*, 8(27),9-12.
- Kerşulienne, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of business economics and management*, 11(2), 243-258.

- Kiper, M. (2013). Biyoteknoloji Sektörel İnovasyon Sistemi: Biyoteknoloji Sektörel İnovasyon Sistemi Kavramlar Dünyadan Örnekler Türkiye’de Durum ve Çıkarımlar. Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV).
- Nosella, A., Petroni, G., & Verbano, C. (2005). Characteristics of the Italian biotechnology industry and new business models: the initial results of an empirical study. *Technovation*, 25(8), 841-855.
- Sadraei, R., Jafari Sadeghi, V., & Sadraei, M. (2018). Biotechnology revolution from academic entrepreneurship to industrial: chemo-entrepreneurship. *Biometrics & Biostatistics International Journal*, 7(6), 546-550.
- Stalk, G. ve Hout, T.M. (1990). *Competing against Time*. New York: Free Press.
- Stanujkic, D., Karabasevic, D., & Zavadskas, E. K. (2015). A framework for the selection of a packaging design based on the SWARA method. *Engineering Economics*, 26(2), 181-187.
- Tanyolaç, B., Kaya, H. B., Soya, S., & Akkale, C. (2018). *Biyoteknoloji ve Biyoinformatik*.
- TUIK (2020), *Biyoteknoloji İstatistikleri, Biyoteknolojik Ar-Ge faaliyetleri ve biyoteknoloji ürünlerinin ticarileştirilmesi önündeki engellere göre girişim sayısı*, Erişim: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Biotechnology-Statistics-2019-33822> (2 Haziran, 2022).