



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
DERGİSİ

CUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING

Cilt/Vol: 37

Sayı/Issue: 2

Haziran/June 2022

ISSN 2757-9255



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DERGİSİ
Cukurova University, Journal of the Faculty of
Engineering



Sahibi (Owner)

Ulus ÇEVİK
Ç.Ü. Mühendislik Fakültesi Dekanı

Editör (Editor)

Serin MEZARCIÖZ

EDİTÖR KURULU (Editorial Board)

Ramazan ÇOBAN (Çukurova Üniversitesi)

Mutlu AVCI (Çukurova Üniversitesi)

Mustafa GÖK (Çukurova Üniversitesi)

Ahmet DAĞ (Çukurova Üniversitesi)

Hüseyin AKILLI (Çukurova Üniversitesi)

Ulus ÇEVİK (Çukurova Üniversitesi)

Ali KOKANGÜL (Çukurova Üniversitesi)

Mesut BAŞIBÜYÜK (Çukurova Üniversitesi)

Mevlüt Sami AKÖZ (Çukurova Üniversitesi)

Oğuz DEMİRYÜREK (Erciyes Üniversitesi)

Hüsamettin BULUT (Harran Üniversitesi)

Metin GÜRÜ (Gazi Üniversitesi)

Mehmet Emin AYDIN (University of the
West of England, İngiltere)

Azra BİLGİN (University of Colorado Boulder,
ABD)

Ulvi Can ÜNLÜGENÇ (Çukurova Üniversitesi)

Özen KILIÇ (Çukurova Üniversitesi)

Serin MEZARCIÖZ (Çukurova Üniversitesi)

Zeynep ZAIMOĞLU (Çukurova Üniversitesi)

Ali KESKİN (Çukurova Üniversitesi)

R. Tuğrul OĞULATA (Çukurova Üniversitesi)

F. Duygu SABAN (Çukurova Üniversitesi)

Hüseyin VAPUR (Çukurova Üniversitesi)

Hüseyin R. YERLİ (Çukurova Üniversitesi)

Ergun ERÇELEBİ (Gaziantep Üniversitesi)

Nihan ÇETİN DEMİREL (Yıldız Teknik Üniversitesi)

Serter ATABAY (American University of Sharjah,
United Arab Emirates)

Muammer KOÇ (Hamad Bin Khalifa University,
Qatar)

Tamio ENDO (Mie University-Japonya)

Hakemli Bir Dergidir. Yılda Dört Sayı Basılır. / Refereed Journal. Published Quarterly.

Dergimiz **TÜBİTAK ULAKBİM** Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı Listesi'nde taranmaktadır.
Indexed by **TÜBİTAK ULAKBİM** Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı Listesi

Derginin eski adı: Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi
(ISSN: 1019-1011)

YAZIŞMA ADRESİ/CONTACT

Ç.Ü. Mühendislik Fakültesi Dergi ve Yayın Kurulu Başkanlığı Balcalı 01330 Sarıçam/ADANA
Tel : (322) 338 63 57 Fax : (322) 338 61 26 E-posta: mmfdergi@cu.edu.tr - cu.mmfdergi@gmail.com

AMAÇ ve KAPSAM

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, yılda dört sayı olarak yayımlanan hakemli bilimsel bir dergidir. Mühendislik alanındaki gelişmeleri takip etmek, meslek kuruluşları ve bireylerin ulusal ve uluslararası gelişmelerine katkıda bulunmak ve bu alanlarda Türkçe bir kaynak oluşturmak amacıyla yayımlanmaktadır. Derginin yazım dili Türkçe/İngilizcedir. Daha önce başka bir yerde yayımlanmamış tüm özgün ve güncel bilimsel araştırma ve uygulamaları kapsayan makaleler kabul edilmektedir. Tüm mühendislik alanları ile ilgili teorik/deneysel ve uygulamaya yönelik çalışmalar Dergi'nin ilgi alanındadır. Çeviri ve derleme makaleler kabul edilmemektedir. **“Araştırma ve uygulama içeren makaleleri”** yayınlamaktadır.

AIM and SCOPE

Journal of the Engineering Faculty of Cukurova University is a peer-reviewed scientific journal which is currently published quarterly. The journal is published to follow the developments in the field of engineering, to contribute to the national and international development of professional organizations and individuals, and to create a Turkish resource in these areas. The language of the journal is Turkish/English. All original and up to date scientific research and applications articles that have not been published elsewhere are accepted. Theoretical/experimental and practical studies related to all engineering fields are in the scope of the Journal. Translation and compilation articles are not accepted. The journal publishes **“articles of research and practice”**.

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Daily Sea Water Temperature Forecasting Using Machine Learning Approaches..... 307**
Makine Öğrenimi Yaklaşımlarını Kullanarak Günlük Deniz Suyu Sıcaklığı Tahmini
Arif ÖZBEK
- Euler Bernoulli ve Timoshenko Kiriş Teorilerine Dayalı Eksenel Yönde Fonksiyonel Derecelenmiş Kolonların Burkulma Analizi 319**
Buckling Analysis of Axially Functionally Graded Columns Based on Euler-Bernoulli and Timoshenko Beam Theories
Burkay SİVRİ ve Beytullah TEMEL
- Risk Assessment of Construction Works in City Square Using Fine Kinney Method..... 329**
Kent Meydanlarında Yapılan İnşaat Çalışmalarının Fine Kinney Yöntemiyle Risk Değerlendirmesi
Selman ASLAN
- InceptionResNetV2 ve Sınıf Aktivasyon Haritaları ile Akciğer Kanserinin Tespit Edilmesi..... 341**
Diagnosis of Lung Cancer with InceptionResNetV2 and Class Activation Maps
Erdal BAŞARAN
- Investigation of Flame Retardancy Effect of Licorice Root Extract on Cotton and Cotton-Polyester Blended Fabrics 351**
Meyan Kökü Ekstraktının Pamuk ve Pamuk-Poliester Karışımli Kumaşlarda Güç Tutuşurluğa Etkisinin İncelenmesi
Ashlan KORUYUCU ve Fehmi Çağlar BALABAN
- Yükselen ve Alçalan Yörüngeye Ait TerraSAR-X Görüntülerinden Üretilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluk Karşılaştırması..... 367**
Accuracy Comparison of Digital Elevation Models Produced from Ascending and Descending Orbits TerraSAR-X Data
Ahmet Tarık TORUN
- Mg-2,5Al-1,0Sn-0,3Mn-0,4La-1,33Gd Mg Alaşımının Yüksek Sıcaklık Aşınma Davranışına Haddeme Hızının Etkisinin İncelenmesi 377**
Investigation of the Effect of Rolling Speed on High Temperature Wear Behavior of Mg-2.5Al-1.0Sn-0.3Mn-0.4La-1.33Gd Mg Alloy
İsmail Hakkı KARA

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

Entegre Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR Yöntemleriyle Tesis Yeri Seçimi.....	383
<i>Facility Location Selection with Integrated Fuzzy AHP and Fuzzy VIKOR Methods</i>	
Beyza TERME, İrem ÇİÇEK ve Alper KİRAZ	
Influence of Nano-Silica on the Mechanical Properties of Jute/Glass Fiber Reinforced Epoxy Hybrid Composites.....	399
<i>Nano-Silikanın Jüt/Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Hibrit Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi</i>	
Ahmet ERKLİĞ, Ömer Yavuz BOZKURT ve Wassan Falah AL-TEKREETI	
Zemin Taşıma Gücü Haritalarının Oluşturulması: Altınşehir (Adıyaman) Örneği.....	411
<i>The Creation of Soil Bearing Capacity Maps: Altınşehir (Adıyaman) Example Title</i>	
Mehmet SÖYLEMEZ	
Profillit ve Zeolit Katkılı Yapı Malzemelerinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması	419
<i>Comparison of the Physical and Mechanical Properties of Construction Materials Added Profillite and Zeolite</i>	
Nil YAPICI, Hakan GÜNEYLİ ve Ebubekir MEHMETOĞLU	
Deniz Suyu ve Hava Debi Oranının Toprak Isı Değiştiricili Bir Damıtma Sistemi Performansına Etkisinin İncelenmesi.....	429
<i>Investigating the Effect of Sea Water and Air Flow Rate Ratio on the Performance of a Desalination System with Ground Heat Exchanger</i>	
Ertaç HÜRDOĞAN, Abdulkadir GÜNEŞ ve Osman KARA	
Ni-B Alaşım Kaplamaların Kristal Yapı ve Sertlik Özelliklerine Akım Yoğunluğunun Etkisi	439
<i>The Effect of Current Density on the Crystal Structure and Hardness Properties of Electrochemically Deposited Ni-B Alloy Coatings</i>	
Ersin ÜNAL, Abdulkadir YAŞAR ve İsmail Hakkı KARAHAN	
An Investigation on Dimensional Accuracy of 3D Printed PLA, PET-G and ABS Samples with Different Layer Heights	449
<i>Üç Boyutlu Baskı ile Farklı Katman Yüksekliklerinde Üretilmiş PLA, PET-G ve ABS Parçaların Boyutsal Doğruluğu Üzerine Bir Araştırma</i>	
Çağın BOLAT ve Berkay ERGENE	

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- 3 Boyutlu Yazıcı ile Üretilen Farklı Hücre Çaplarındaki Bal Peteği Sandviç Yapıların Eğme Dayanımlarının İncelenmesi 459**
Investigation of Bending Strength of Honeycomb Sandwich Structures with Different Cell Diameters Produced by 3D Printer
Serdar KAVELOĞLU, Şemsettin TEMİZ. Oğuz DOĞAN ve Muhammed Safa KAMER
- Fotovoltaik Bir Panelin Matlab@Simulink ile Modellenmesi ve Dış Ortam Koşullarındaki Davranışının İncelenmesi..... 471**
Modeling of Photovoltaic Panel with Matlab@Simulink and Investigation of Behaviour in Outdoor Conditions
İlyas ALADAĞ ve Bülent YANIKTEPE
- Numerical Study on the Ballistic Performance of Twaron®/Epoxy Laminated Composite Plates Manufactured by Vacuum Assisted Resin Infusion Moulding Against 9 mm Bullet Threat 483**
Vakum Destekli Reçine İnfüzyon Kalıplama ile Üretilmiş Twaron®/Epoksi Lamine Kompozit Plakaların 9 mm Mermi Tehdidine Karşı Balistik Performansı Üzerine Sayısal Çalışma
Tayfur Kerem DEMİRCİOĞLU ve Fatih BALIKOĞLU
- Biyogazla Birlikte Oluşan Diğer Ürünlerin Araştırılması..... 499**
The Investigation of the Other Component During Biogas Production
Oğuz Yunus SARIBIYIK
- Investigation of the Effect of Solid Wire and Flux Combinations Used in Submerged Arc Welding of the LPG Cylinders on Mechanical Properties 509**
LPG Tüplerinin Tozaltı Ark Kaynağında Kullanılan Kaynak Teli ve Kaynak Tozu Kombinasyonlarının Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi
Uğur NUHOĞLU, Tolga MERT ve Mustafa TÜMER
- A Novel Production Method of Polymer Bolts and the Effects of the Printing Orientation on Tensile and Shear Strength of the 3D Printed Bolts 519**
Polimer Cıvatalar için Yeni Bir Üretim Yöntemi ve Farklı Baskı Yönlerinin Polimer Cıvataların Çekme ve Kesme Dayanımı Üzerine Etkisi
Oğuz DOĞAN ve Muhammed Safa KAMER

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Yüzey Pürüzlülüğünün Tahmininde Farklı Yöntemlerin İncelenmesi 531**
Investigation of Different Methods for Estimating Surface Roughness
Mehmet Fatih DEMİRDÖĞEN, Süleyman KILIÇ ve Fahrettin ÖZTÜRK
- Bazı Bitki Kaynaklarının Farklı Çözgenlerde Hazırlanan Ekstrelerinin Antimikrobiyal Aktivitesinin Araştırılması 543**
Investigation of Antimicrobial Activities of Extracts of Some Plant Sources Prepared in Different Solvents
Burcu SANCAR BEŞEN, Leyla EREN KARAHAN, Pınar PARLAKYİĞİT, Cumhuriyet KIRILMIŞ ve Sakine ERDOĞAN
- Electrochemical Synthesis of CdSe and CdSe/ZnO Films: Morphological, Structural and Electronic Properties 555**
CdSe ve CdSe/ZnO Filmlerin Elektrokimyasal Sentezi: Morfolojik, Yapısal ve Elektronik Özellikler
Gökmen SİĞİRCİK ve Tunç TÜKEN
- Spatially Adaptive DGL Test for Robust User-Assisted Multilabel Segmentation 569**
Kullanıcı Yardımına Kararlı, Uzamsal Adaptif DGL Test Tabanlı Çoklu Görüntü Kesitleme
Hüseyin AFŞER
- Ham ve Epoksi Reçine Kaplı Teknik Elyaf Kullanımının Yapı Elemanı Performansına Etkisi 577**
The Effect of Using Raw and Epoxy Resin Coated Technical Fibers on Construction Element Performance
Mutlu KURBAN, Osman BABAARSLAN ve İsmail Hakkı ÇAĞATAY

Daily Sea Water Temperature Forecasting Using Machine Learning Approaches

Arif ÖZBEK*¹ ORCID 0000-0003-1287-9078

¹Mechanical Engineering Department, Ceyhan Engineering Faculty, Cukurova University, Adana

Geliş tarihi: 14.02.2022 Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: ÖZBEK, A., (2022). Daily Sea Water Temperature Forecasting Using Machine Learning Approaches. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 307-317.

Abstract

The efficiency of turbines in seaside nuclear or coal-fired power plants is directly proportional to sea water temperature (SWT). The cooling medium temperature is critical in the design of any power plant when considering long-term average climatic conditions. As a result, the deviation in the SWT affects the efficiency of electricity generation. Accurate SWT estimation is critical for electrical output from power plant applications in this regard. Three different data-driven models such as long short-term memory (LSTM) neural network, adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) with fuzzy c-means (FCM) and grid partition (GP) were used to perform one-day ahead short-term SWT prediction, in this paper. The analyses were performed using 5-year daily mean SWTs measured by the Turkish State Meteorological Service in Canakkale Province between 2014 and 2018. The measured data was also used to validate the data produced by the proposed techniques. Performance criteria for the techniques suggested are mean absolute error (MAE), root mean square error (RMSE) and correlation coefficient (R). With the ANFIS-FCM technique, the best outcomes for MAE, RMSE and R values were obtained as 0.113°C, 0.191°C, and 0.9994, respectively, according to daily SWT forecasting.

Keywords: LSTM, ANFIS, Sea water temperature, Power plant

Makine Öğrenimi Yaklaşımlarını Kullanarak Günlük Deniz Suyu Sıcaklığı Tahmini

Öz

Deniz kenarına kurulu nükleer veya kömürle çalışan güç santrallerinde türbin verimliliği doğrudan deniz suyu sıcaklığına (SWT) bağlıdır. Uzun vadeli ortalama iklim koşulları göz önüne alındığında, soğutma ortamı sıcaklığı herhangi bir enerji santralının tasarımında önemli bir rol oynar. Bu nedenle elektrik üretimindeki verimlilik SWT'deki sapmadan etkilenmektedir. Bu bakımdan, doğru SWT tahmini, santral uygulamalarından elektrik çıkışı için önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada uzun kısa süreli bellek (LSTM) sinir ağı, uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ile bulanık c-ortalamlar (FCM) ve ızgara bölümü (GP) gibi üç farklı veri odaklı model, bir gün sonrasının tahminini gerçekleştirmek için kullanılmıştır. Analizler, 2014-2018 yılları arasında Türkiye Devlet Meteoroloji İşleri tarafından

*Corresponding author (Sorumlu yazar): Arif OZBEK, arozbek@cu.edu.tr

Çanakkale ilinde ölçülen 5 yıllık günlük ortalama SWT'ler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçülen veriler ayrıca önerilen modeller tarafından üretilen verileri doğrulamak için kullanılmıştır. Önerilen modeller için performans kriterleri, ortalama mutlak hata (MAE), ortalama kare hata (RMSE) ve korelasyon katsayısıdır (R). ANFIS-FCM tekniği ile günlük SWT tahminine göre MAE, RMSE ve R değerleri için en iyi sonuçlar sırasıyla 0,113°C, 0,191°C ve 0,9994 olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: LSTM, ANFIS, Deniz suyu sıcaklığı, Güç santrali

1. INTRODUCTION

The purpose of using water in a power station is to condense steam and remove waste heat as part of the Rankine cycle. The total water requirement of the plant depends on various important factors such as production capacity, production technology, environmental and climatic conditions of the surrounding, flow rate of the cooling fluid, and cooling system of the plant [1].

There are many studies using hybrid, machine learning and time series methods to estimate some atmospheric parameters. Researchers have developed the methods that are using adaptive network-based fuzzy inference system (ANFIS) [2,3], subtractive clustering (ANFIS-SC) and grid partition (ANFIS-GP) [4], long short-term memory (LSTM) [5,6] to predict atmospheric air temperatures. The LSTM method has been applied successfully in various fields, such as forecasting of wind speed [7-9], power of wind turbine [10-12], dam displacement [13], solar irradiance [14], electricity price [15], energy production in a solar PV plant [16] and ground surface temperature [17].

There are not many studies published to specify the forecasting of the sea water temperature using machine learning techniques in literature. Attia [1] investigated the cooling water temperature effect on the nuclear power plant thermal performance. He showed that with only a one-degree Celsius increase in seawater temperature, the nuclear power plant's thermal efficiency and electricity generation decreased by 0.152% and 0.444%, respectively. Durmayaz and Söğüt [18] and Kim and Jeong [19] also analyzed the effect of cooling water temperature on the thermal efficiency of a nuclear power plant. They stated that SWT has a direct effect on the power plant efficiency. Darmawan and Yuwono [20] investigated the

effect of increasing seawater temperature which was used as a condenser cooling medium on the performance of steam turbine. Samadianfard et al. [21] estimated the hourly water temperature at different depths in a lake in their country using some computational techniques such as adaptive network-based fuzzy inference system (ANFIS), artificial neural networks (ANNs) and gene expression programming (GEP). To evaluate the performance of their computing techniques, three different statistical indicators (the root mean square error (RMSE), the mean absolute error (MAE), and the coefficient of correlation (R)) were used.

Departing from the literature review listed above, in the present study data-driven methods (ANFIS-FCM and ANFIS-GP) and a deep learning approach established on LSTM neural network were proposed to forecast one day-ahead sea water temperature from any measurement station. The 5-year daily mean SWTs measured by the Turkish State Meteorological Service at Canakkale station on the Turkey Seas between 2014 and 2018 were used as sample data. The following are some of the study's contributions to the literature:

- With the developed methods, one hour forward SWT estimation can be made at any station without providing different meteorological data and without the need for complex calculations.
- To show which of the methods used in this study gives more sensitive results, the results obtained from all methods using the same data sets were compared with each other.
- Results obtained from LSTM and ANFIS methods were analyzed and examined according to varying input variables such as epoch number, hidden layer number, and influence radius.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Long Short-Term Memory (LSTM) Neural Network

The LSTM method was introduced by Park et al. [22]. LSTM is an artificial recurrent neural network (RNN) that solves issues by adding cell states or memory cells with fixed mistakes to allow errors to be replayed without losing gradients. Three different gates are present in an LSTM. An input port learns to protect the memory cell's fixed error stream from irrelevant inputs, while an output port learns to protect other units from the memory cell's irrelevant memory content.

Finally, the forget gate teaches how long the value is in the memory cell [23,24].

Figure 1 shows the LSTM layer architecture, indicating the flow of an X time series with S-length C properties (channels) across an LSTM layer. In this layered architecture, h_t is the output (also known as the hidden state), and c_t is the cell state at time step t . In order to calculate the first output and the updated cell state, the first LSTM part is utilized for the first state of the network and the early time step of the series. This block determines the output and the updated cell state c_t at time step t using the current state of the network (c_{t-1}, h_{t-1}) and the next time step of the array.

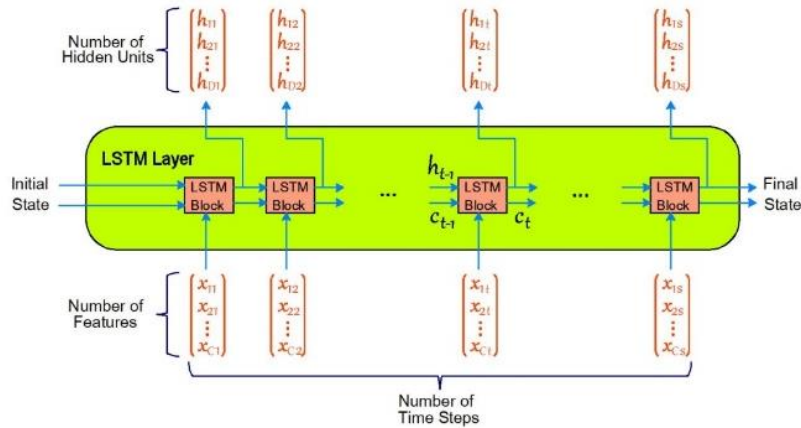


Figure 1. LSTM layer architecture

The hidden state (also known as the output state) and the cell state are both parts of the layer's state. The output of the LSTM layer for this time step is stored in the hidden state at time step t . The cell state includes information from previous time steps. At each time step, the layer performs the task of adding or removing information from the cell state. These updates are controlled using gates. Some components in the LSTM layer architecture are used to control the cell state and the hidden state of the layer. For example, input gate (i) and output gate (o) control the level of cell state update and the level of cell state added to the hidden state, respectively. Forget gate (f) checks the level of cell state reset (*forget*). On the other hand, cell candidate (g) adds the information to the cell state.

Figure 2 presents the flow of data at a time step, t . This diagram indicates how the gates forget, update, and output the cell and hidden states.

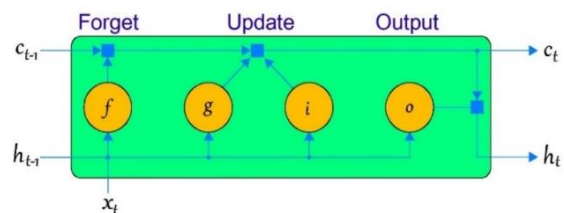


Figure 2. The flow of data at a time step, t

The input weights W , the recurrent weights R , and the bias b are called the learnable weights of an LSTM layer. The W , R , and b matrices are combinations of the input weights, recurrent

weights, and bias of each component, respectively. Detailed information about the method can be viewed from [25,26].

2.2. Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System (ANFIS)

Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System (ANFIS) is a universal estimator. It can be used for any true continuous function in a compact setup to any degree of accuracy. ANFIS is expressed as a network statement of Sugeno-type fuzzy systems equipped with neural learning capabilities. It creates fuzzy if-then rules with appropriate membership functions (MF) from input-output by employing a neural network learning algorithm. The FIS development procedure using the adaptive neural network framework is called ANFIS. On the other hand, general information regarding the ANFIS structure is available in the literature [27,28].

Fuzzy c-means (FCM) is a clustering method of ANFIS, allowing each data point to have multiple clusters and belonging to different membership degrees. The basis of the FCM algorithm involves minimizing the objective function. Similarly, the concept of FCM is available in the literature [28]. Grid partitioning (GP) algorithm divides the input data space into a rectangular subspace with the help of an axis-parallel partition. Each input is divided into membership functions of the same shape. The number of the fuzzy if-then rules is the same as Mn. Here, the input dimension is shown by n, and the number of partitioned fuzzy subsets for each input variable is denoted by M. This approach to solve a problem is simply referred to as functional decomposition. This phenomenon is as well extensively explained in the literature [29].

The primary distinction between linear regression and time series data is that time series data is time dependent, whereas linear regression data is assumed to be time independent. This implies that each observation is distinct from the others.

2.3. Error Analysis for the Proposed Methods

Three different statistical error criteria comprising mean absolute error (MAE), root mean square

error (RMSE), and correlation coefficient (R) are used in this study for the assessment of the goodness of a method. These error criteria are used to check the accuracy of the estimations based on the observed variables. The mathematical expressions of these error criteria are provided in Equations 1, 2, and 3, respectively.

Mean absolute error (MAE):

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |p(i) - o(i)| \quad (1)$$

Root mean square error (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [p(i) - o(i)]^2} \quad (2)$$

Correlation coefficient (R):

$$R = \frac{(\sum_{i=1}^N [p(i) - \bar{p}][o(i) - \bar{o}])}{(\sqrt{\sum_{i=1}^N [p(i) - \bar{p}]^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N [o(i) - \bar{o}]^2})} \quad (3)$$

where $p(i)$ and $o(i)$ are the predicted value and observed value at the time i , respectively. Also, \bar{p} and \bar{o} present average values of the estimated data and the actual data, respectively. The total number of data is represented by N .

3. RESULT AND DISCUSSION

The geographic coordinates of the measurement station are 40°08'29.6"N and 26°23'56.2"E. Figure 3 shows the observed SWT values with training (4 years) and testing (1 year) data to be used in the ANFIS and LSTM methods. 1460 daily sample data (blue-coloured, 80% of whole data) from 01 January 2014 to 31 December 2017 were used to train the methods and 365 daily sample data (red-coloured, %20 of the whole data) from 01 January to 31 December 2018 were used to test it. The maximum and minimum SWT's are 26.8°C and 7°C, respectively. The average value of all training and testing data is 17.1°C and the standard deviation of this data group is 5.6°C.

3.1. Fuzzy C-Means Clustering (ANFIS-FCM)

Table 1 shows the determination of optimal parameters for forecasting SWT using ANFIS-FCM. The simulation results are represented in that Table. From that table, the influence of the number of cluster nodes (membership functions = MFs) and fuzzy can be easily detected in the

results. 2 clusters (MFs) are determined as the best one that uses 5 input numbers and 100 epoch numbers. Greater cluster numbers do not yield satisfactory results owing to the non-good separation of the inputs. At the end of the simulation, MAE is 0.1131 °C and RMSE is 0.1907 °C with an R-value of 0.99943.

Table 1. Daily SWT performance forecast for the ANFIS-FCM method

Number of MFs	Input Number	Max epoch	MAE (°C)	RMSE (°C)	R
2	5	100	0.1131	0.1907	0.99943
3	5	100	0.1135	0.1908	0.99942
4	5	100	0.1156	0.2001	0.99937
5	5	100	0.1153	0.2036	0.99934
6	5	100	0.1240	0.2165	0.99926
7	5	100	0.1231	0.2140	0.99928
8	5	100	0.1178	0.2066	0.99933
9	5	100	0.1229	0.2181	0.99925
10	5	100	0.1245	0.2214	0.99923
10	5	300	0.1275	0.2193	0.99925

Figure 4-a exhibits not only the observed but also the predicted data for the 2018 year, and Figure 4-b and 4-c show observed and predicted testing data for June and October months, respectively to be able to see more detail. The regression graph of the observed data against the predicted is shown in Figure 4-d. The figure shows that the quality of the predicted data gives a good fit.

GP. The table shows the results of predicting the daily SWT using this classification method. The lowest MAE is equal to 0.1195 °C and RMSE is 0.2185 °C with an R-value of 0.99925 when using 2 clusters, 5 input numbers, and 10 epoch numbers. It can also be noted that when using two clusters and five input numbers, increasing the epoch number does not affect the results positively.

3.2. Grid Partitioning (ANFIS-GP)

Table 2 shows the determination of optimal parameters for forecasting of SWT using ANFIS-

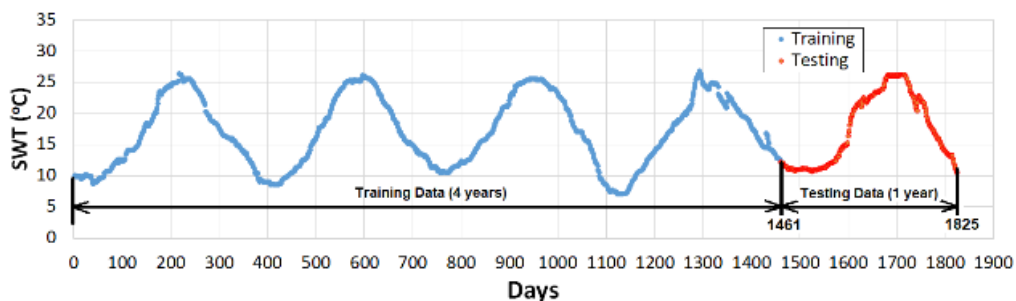


Figure 3. Observed sea water temperature time series for Canakkale, training (blue) and testing (red) data

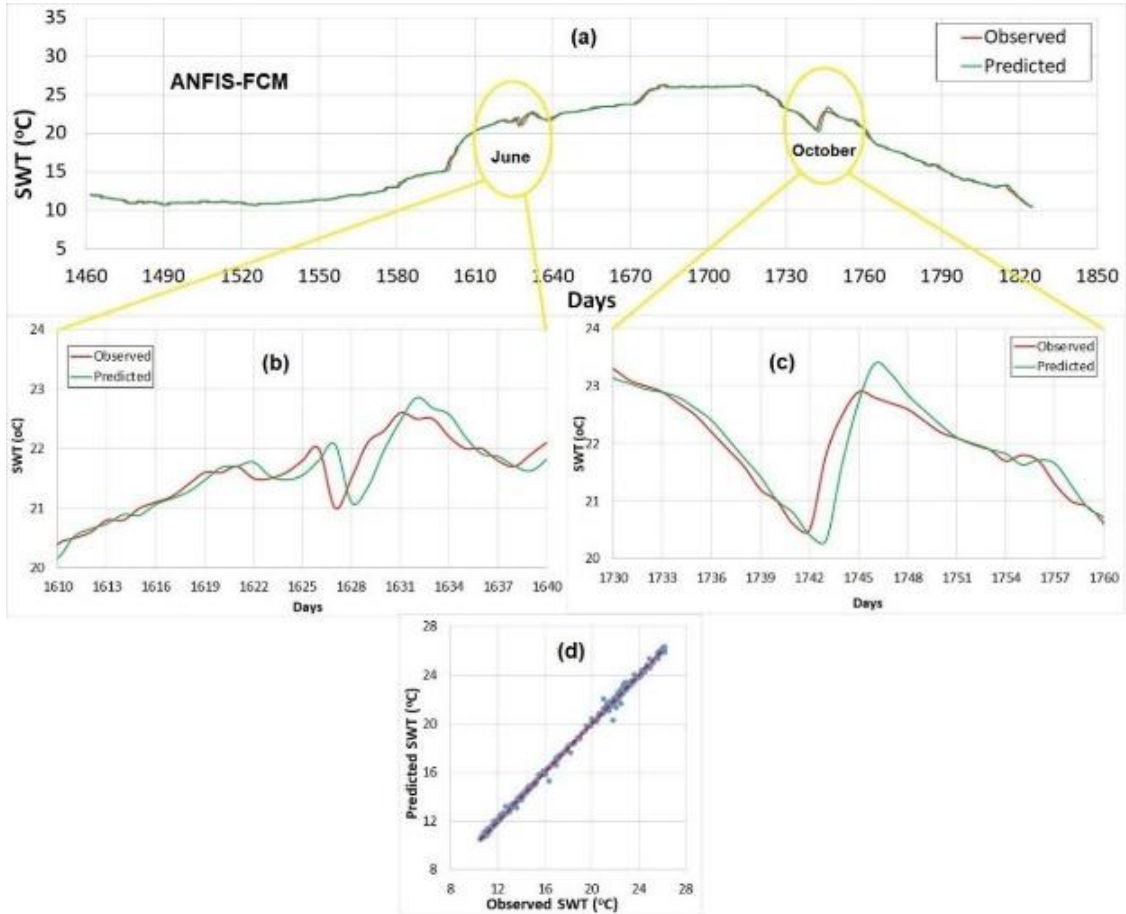


Figure 4. ANFIS with FCM clustering for observed and predicted testing data for a) whole 2018 year, b) June 2018, c) October 2018, d) the observed versus predicted data for the whole 2018 year

Table 2. Daily SWT performance forecast for the ANFIS-GP method

Number of MFs	Input Number	Max epoch	MAE (°C)	RMSE (°C)	R
2	5	10	0.1195	0.2185	0.99925
2	5	50	0.1196	0.2189	0.99925
2	5	100	0.1250	0.2361	0.99913
2	5	200	0.1456	0.2892	0.99869
2	6	50	0.1401	0.2761	0.99881
2	6	100	0.1462	0.2956	0.99864
2	7	100	0.1271	0.2883	0.99746

Figure 5 illustrates the simulation results of the ANFIS-GP method. While Figure 5-a indicates the observed and predicted testing data for the 2018 year, Figure 5-b and 5-c show observed and predicted testing data for June and October

months, respectively. Figure 5-d also displays the regression plot of the observed versus predicted data. As can be understood from the figures, the predicted and observed data are in good agreement.

3.3. Long Short-Term Memory (LSTM)

Table 3 illustrates the determination of optimal parameters for SWT forecasting using LSTM. Table points out the determination of optimal parameters for the forecasting of SWT using the LSTM method from the Canakkale station. MAE, RMSE and R-values were calculated to show the performance of the method. The influence of the hidden layer number and epoch number can be

seen in this table. 5 hidden layers and 300 epoch numbers gave the best result. The lowest MAE value is equal to 0.1295 °C and RMSE is 0.2144 °C with an R-value of 0.99927. Increasing of both the hidden layer and epoch numbers together increased the MAE and RMSE values.

Table 3. Daily SWT performance forecast for the LSTM method

Hidden Layer Number	Epoch Number	MAE (°C)	RMSE (°C)	R
5	300	0.1295	0.2144	0.99927
10	300	0.1345	0.2190	0.99924
25	300	0.1390	0.2283	0.99918
50	300	0.1653	0.2660	0.99777
50	500	0.1370	0.2247	0.99841
100	500	0.1337	0.2191	0.99924

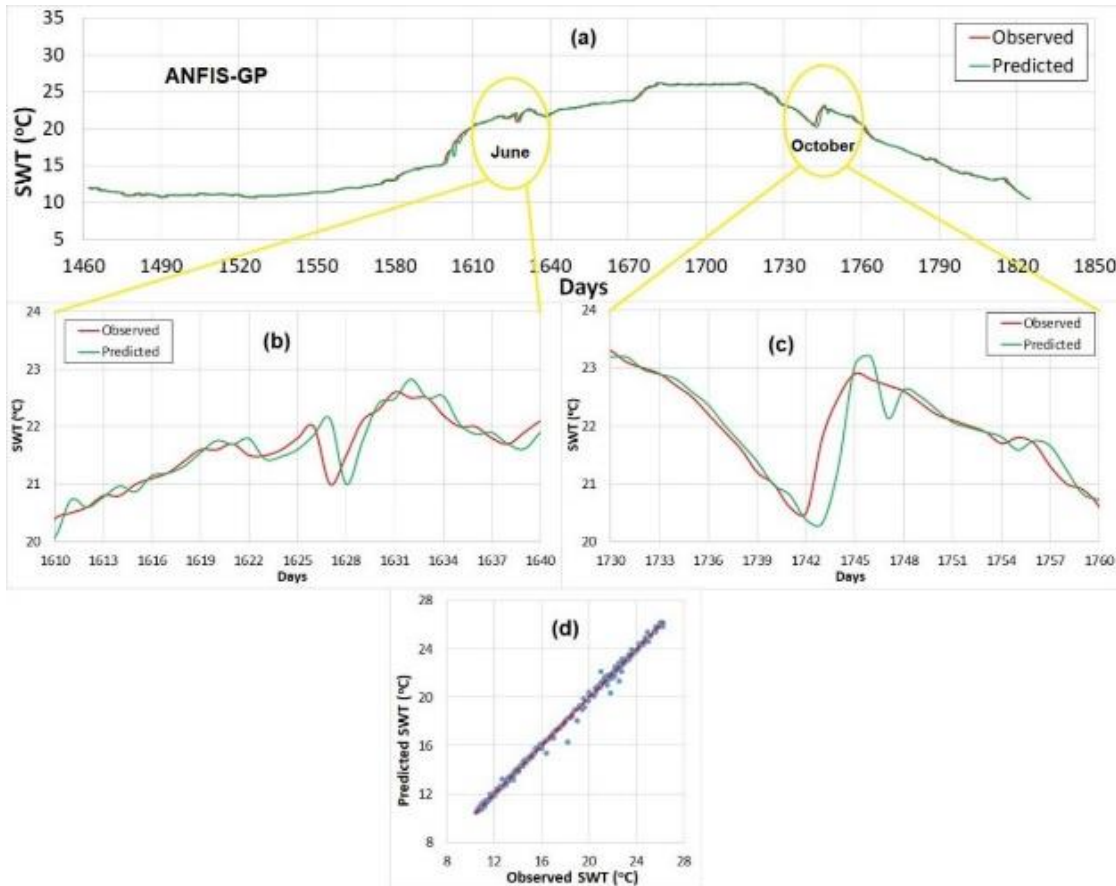


Figure 5. ANFIS with GP clustering for observed and predicted testing data for a) whole 2018 year, b) June 2018, c) October 2018, d) the observed versus predicted data for the whole 2018 year

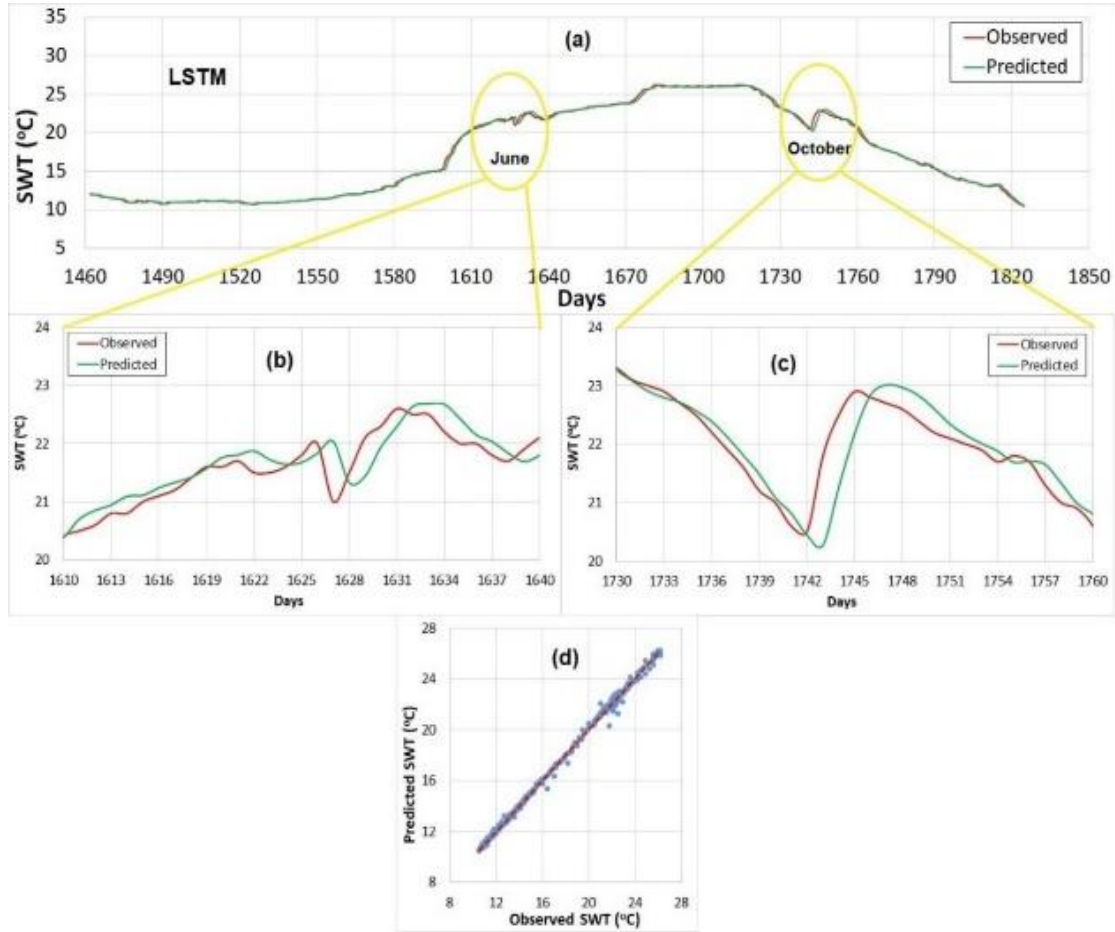


Figure 6. LSTM method for observed and predicted testing data for: a) whole 2018 year, b) June 2018, c) October 2018, d) the observed versus predicted data for the whole 2018 year

Figure 6 presents the simulation results of the LSTM method. Figure 6-a points out the observed and predicted testing data for the 2018 year and Figure 6-b and 6-c illustrate observed and predicted testing data for June and October months. Figure 6-d also displays the regression plot of the observed versus predicted data. In this figure, R value is equal to 0.99927 which indicates that the quality of the estimation results is in good fit condition.

3.4. Comparison of the Methods

The comparison was achieved to determine the most effective method of the three methods

introduced here. For this aim, the results of comparing observed and predicted daily SWT values for June and October months in the 2018 year is shown in Figure 7. In addition, for comparison, the most successful configurations that were determined in Tables 1, 2 and 3 before were evaluated. As can be seen from Table 4, the estimation ability of the ANFIS-FCM method reveals the most efficient results with an MAE value of 0.1131°C and RMSE value of 0.1907°C according to the results obtained.

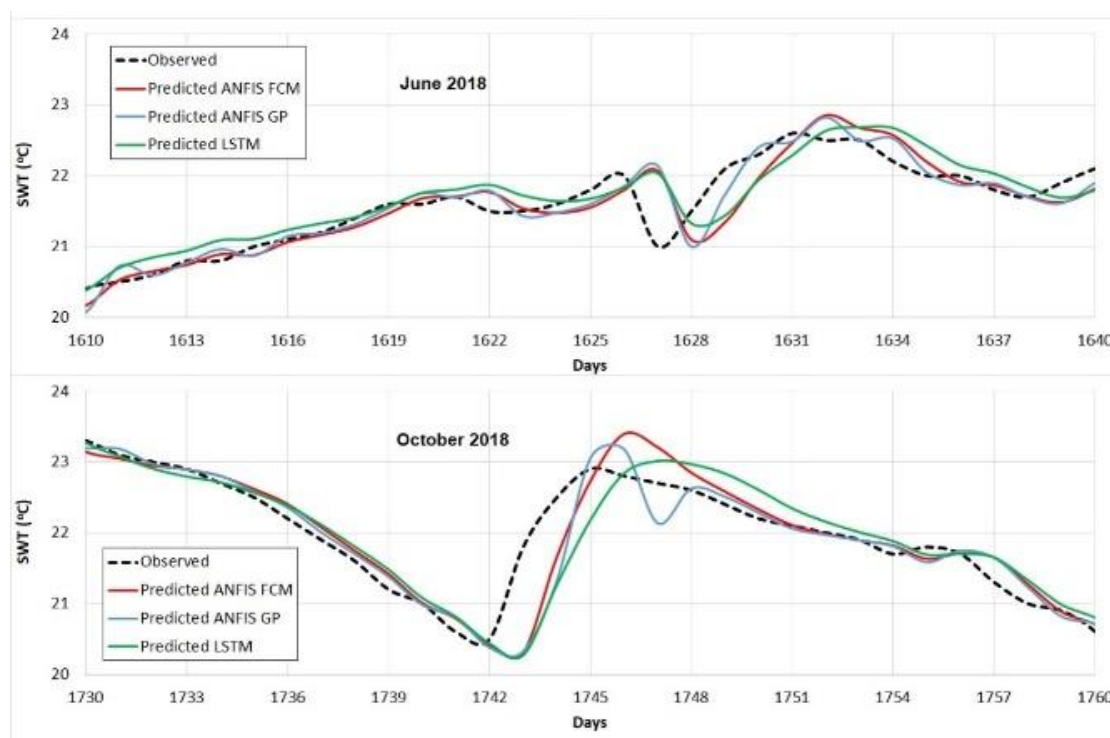


Figure 7. Comparison results of testing data for ANFIS-FCM and ANFIS-GP method with LSTM method for whole 2018 year

Table 4. Statistical accuracy results of the daily SWT forecasting

Forecasting Method	MAE (°C)	RMSE (°C)	R
ANFIS FCM	0.1131	0.1907	0.99943
ANFIS GP	0.1195	0.2185	0.99925
LSTM	0.1295	0.2144	0.99927

4. CONCLUSION

In this study, ANFIS-FCM, ANFIS-GP and LSTM neural network methods were proposed for one day-ahead forecasting of SWT.

- The RMSE values of the ANFIS-FCM, ANFIS-GP and LSTM methods were obtained as 0.1907 °C, 0.2185 °C and 0.2144 °C, respectively. It was determined that the ANFIS-FCM method gives more sensitive

forecastings than that of the ANFIS-GP and LSTM methods.

- All methods were observed to be extremely reliable and sensitive in predicting. However, the suggested ANFIS-FCM method has presented the best results in estimation performance.
- The developed method can be used to predict 1-day-ahead SWT output for any plant

without making complex calculations and providing comprehensive meteorological data.

- Future work will focus on using different deep learning functions and architectures to further improve the precision and accuracy of predictive results.

5. ACKNOWLEDGMENTS

The author would like to thank The Turkish State Meteorological Service for allowing to use of the sea water temperature data in this research. The author also thanks to the office of Scientific Research Projects of Cukurova University for funding this project under Contract no. FBA-2021-14004.

6. REFERENCES

1. Attia, S.I., 2015. The Influence of Condenser Cooling Water Temperature on the Thermal Efficiency of a Nuclear Power Plant. *Annals of Nuclear Energy*, 80, 371–378.
2. Cobaner, M., Citakoglu, H., Kisi, O., Haktanir, T., 2014. Estimation of Mean Monthly Air Temperatures in Turkey. *Comput Electron Agric*, 109 71–79.
3. Kisi, O., Shiri, J., 2014. Prediction of Long-term Monthly Air Temperature Using Geographical Inputs. *Int J Climatol*, 34, 179–186. <https://doi.org/10.1002/joc.3676>.
4. Kisi, O., Sanikhani, H., 2015. Modelling Long-term Monthly Temperatures by Several Data-driven Methods Using Geographical Inputs. *Int J Climatol*, 35, 3834–3846. <https://doi.org/10.1002/joc.4249>.
5. Ozbek, A., Sekertekin, A., Bilgili, M., Arslan, N., 2021. Prediction of 10-min, Hourly, and Daily Atmospheric Air Temperature: Comparison of LSTM, ANFIS-FCM and ARMA. *Arabian Journal of Geosciences* 14, 622. <https://doi.org/10.1007/S12517-021-06982-Y>.
6. Sekertekin, A., Bilgili, M., Arslan, N., Yildirim, A., Celebi, K., Ozbek, A., 2021. Short-term air Temperature Prediction by Adaptive Neuro-fuzzy Inference System (ANFIS) and Long Short-term Memory (LSTM) Network. *Meteorology and Atmospheric Physics* <https://doi.org/10.1007/S00703-021-00791-4>.
7. Balluff, S., Bendfeld, J., Krauter, S., 2015. Short Term Wind and Energy Prediction for Offshore Wind Farms Using Neural Networks. in: 2015, International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA). IEEE, Palermo, 379–382. <https://doi.org/10.1109/icrera.2015.7418440>.
8. Liu, H., Mi, X., Li, Y., 2018. Wind Speed Forecasting Method Based on Deep Learning Strategy Using Empirical Wavelet Transform, Long Short Term Memory Neural Network and Elman Neural Network. *Energy Convers Manag*, 156, 498–514.
9. Chen, Zeng, J.G.Q., Zhou, W., Du, W., Lu, K., 2018. Wind Speed Forecasting Using Nonlinear-learning Ensemble of Deep Learning Time Series Prediction and Extremal Optimization. *Energy Convers Manag.*, 165, 681-695.
10. Qu, X., Xiaoning, K., Chao, Z., 2016. Short-term Prediction of Wind Power Based on Deep Long Short-term Memory. *IEEE Pes Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*. IEEE, 1148–1152.
11. Wu, W., Chen, K., Qiao, Y., Lu, Z., 2016. Probabilistic Short-term Wind Power Forecasting Based on Deep Neural Networks. 2016 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS). Ieee, Beijing, 1–8. <https://doi.org/10.1109/pmaps.2016.7764155>.
12. López, E., Valle, C., Allende, H., Gil, E., Madsen, H., 2018. Wind Power Forecasting Based on Echo State Networks and Long Short-term Memory. *Energies* 11, 526. <https://doi.org/10.3390/en11030526>.
13. Zhang, J., Cao, X., Xie, J., Kou, P., 2019. An Improved Long Short-term Memory Model for Dam Displacement Prediction. *Math Probl Eng.*, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2019/6792189>.
14. Qing, X., Niu, Y., 2018. Hourly Day-ahead Solar Irradiance Prediction Using Weather Forecasts by LSTM. *Energy*, 148, 461-468. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.177>.

15. Peng, L., Liu, S., Liu, R., Wang, L., 2018. Effective Long Short-term Memory with Differential Evolution Algorithm for Electricity Price Prediction. *Energy*, 162, 1301-1314. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.052>.
16. Ozbek, A., Yildirim, A., Bilgili, M., 2021. Deep Learning Approach for One-hour Ahead Forecasting of Energy Production in a Solar-pv Plant Energy Sources. Part a: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, doi.org/10.1080/15567036.2021.1924316.
17. Arslan, N., Sekertekin, A., 2019. Application of Long Short-term Memory Neural Network Model for the Reconstruction of MODIS Land Surface Temperature Images. *J Atmos Solar-Terrestrial Phys*, 194, [doi:10.1016/j.jastp.2019.105100](https://doi.org/10.1016/j.jastp.2019.105100).
18. Durmayaz, A., Sogut, O.S., 2006. Influence of Cooling Water Temperature on the Efficiency of a Pressurized-water Reactor Nuclear-power Plant. *International Journal of Energy Research*, 30,799-810. [doi:10.1002/er.1186](https://doi.org/10.1002/er.1186).
19. Kim, B.K., Jeong, Y.H., 2013. High Cooling Water Temperature Effects on Design and Operational Safety of NPPS in the Gulf Region. *Nuclear Engineering and Technology*, 45(7), 961-968. [doi:10.5516/NET.03.2012.079](https://doi.org/10.5516/NET.03.2012.079).
20. Darmawan, N., Yuwono, T., 2019. Effect of Increasing Sea Water Temperature on Performance of Steam Turbine of Maura Tawar Power Plant. *Journal for Technology and Science*, 30(2), 2088-2033. (PISSN:0853-4098)
21. Samadianfard, S., Kazemi, H., Kisi, O., Liu, W.C., 2016. Water Temperature Prediction in a Subtropical Subalpine Lake Using Soft Computing Techniques. *Earth Sciences Research Journal*, 20(2) D1-D11. [doi:10.15446/esrj.v20n2.43199](https://doi.org/10.15446/esrj.v20n2.43199).
22. Park, I., Kim, H.S., Lee, J., Kim, J.H., Song, C.H., Kim, H.K., 2019. Temperature Prediction Using the Missing Data Refinement Model Based on a Long Short-term Memory Neural Network. *Atmosphere (Basel)*, 10(11), 1–16.
23. Hochreiter, S., Schmidhuber, J., 1997. Long Short-term Memory. *Neural Computation* 9(8), 1735-1780.
24. Salman, A.G., Heryadi, Y., Abdurahman, E., Suparta, W., 2018. Single Layer & Multi-layer Long Short-term Memory (LSTM) Model with Intermediate Variables for Weather Forecasting, *Procedia Comput. Sci.*, 135, 89-98.
25. Zahroh, S., Hidayat, Y., Pontoh, R.S., Santoso, A., Sukono, Bon, A.T., 2019. Modeling and Forecasting Daily Temperature in Bandung, *Proc. Int. Conf. Ind. Eng. Oper. Manag.*, (November), 406–412.
26. Liu, R., Liu, L., 2019. Predicting Housing Price in China Based on Long Short-term Memory Incorporating Modified Genetic Algorithm. *Soft Comput.*, 23(22), 11829–11838.
27. Abyaneh, H.Z., Nia, A.M., Varkeshi, M.B., Marofi, S., Kisi, O., 2011. Performance Evaluation of ANN and ANFIS Models for Estimating Garlic Crop Evapotranspiration, *J. Irrig. Drain. Eng.*, 137(5), 280–286.
28. Erduman, A.A., 2020. Smart Short-term Solar Power Output Prediction by Artificial Neural Network, *Electr. Eng.*, 102(3), 1441–1449.
29. Karakuş, O., Kuruoğlu, E.E., Altinkaya, M.A., 2017. One-day Ahead Wind Speed/power Prediction Based on Polynomial Autoregressive Model. *IET Renew. Power Gener.*, 11(11), 1430–1439.

Euler Bernoulli ve Timoshenko Kiriş Teorilerine Dayalı Eksenel Yönde Fonksiyonel Derecelenmiş Kolonların Burkulma Analizi

Burkay SİVRİ*¹ ORCID 0000-0002-1350-9493
Beytullah TEMEL¹ ORCID 0000-0002-1673-280X

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 27.10.2021 Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: SİVRİ, B., TEMEL, B., (2022). Euler Bernoulli ve Timoshenko Kiriş Teorilerine Dayalı Eksenel Yönde Fonksiyonel Derecelenmiş Kolonların Burkulma Analizi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 319-328.

Öz

Bu çalışmada; eksenel yönde fonksiyonel derecelenmiş malzemeli, doğru eksenli kolonların burkulma yükü Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi (TFY) ile incelenmiştir. Burkulma davranışını idare eden birinci mertebeden kanonik denklemler, Euler-Bernoulli (BKT) ve Timoshenko kiriş teorilerine (TKT) dayalı olarak denge denklemleri yardımıyla elde edilmiştir. Adi diferansiyel denklem takımları, Python dilinde hazırlanan programla çözülmüştür. Malzeme değişim fonksiyonunun, uzunluk/kalınlık oranının ve farklı sınır koşullarının burkulma yüküne etkisi parametrik olarak araştırılmıştır. Elde edilen burkulma yükleri, literatürde bulunan mevcut yöntemler ve Abaqus sonlu elemanlar programında bulunan değerler ile karşılaştırılmış, uygulanan yöntemin etkinliği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Burkulma, Kolon, Fonksiyonel derecelenmiş malzemeler, Tamamlayıcı fonksiyonlar yöntemi

Buckling Analysis of Axially Functionally Graded Columns Based on Euler-Bernoulli and Timoshenko Beam Theories

Abstract

In this study, the buckling load of straight column made of functionally graded material in the axial direction is investigated by the Complementary Functions Method (CFM). The canonical equations governing the buckling behavior are obtained with the aid of equilibrium equations based on the Euler-Bernoulli and Timoshenko beam theories. The set of ordinary differential equations is solved with a program prepared in Python language. The effects of material variation coefficients, length/thickness ratios, and different boundary conditions on the buckling load are investigated parametrically. The buckling loads obtained are compared with the existing methods in the literature and the values found in Abaqus, the finite element program, and the efficiency of the applied method is shown.

Keywords: Buckling, Column, Functionally graded materials, Complementary functions method

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Burkay SİVRİ, bsivri@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Mekanik özellikleri bir noktadan diğer bir noktaya sürekli olarak değişen fonksiyonel derecelenmiş (FD) malzemeli elemanlar, havacılık ve uzay sanayi, tıp, otomotiv ve modern mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür yapıların; üretim teknikleri, aşınma, yorulma, titreşim, burkulma gibi özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar günümüzde önem kazanmıştır. Bu nedenle FD malzemeli elemanların burkulmasını inceleyen birçok çalışma mevcuttur.

Gören ve Erim, değişen kesitli konsol Timoshenko kirişlerinin stabilitesini incelemiştir. On farklı, kademeli ve kademesiz kirişin kritik burkulma yüklerini, sonlu eleman ve sonlu eleman-transfer matris metodlarını kullanarak, Matlab 5.1 programlama diliyle hesaplamışlardır [1]. Coşkun ve Atay, sabit ve değişken kesitli Euler kolonlarının burkulma yüklerini bulmak için, doğrusal olmayan adi kısmi diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan Varyasyonel İterasyon Yöntemini kullanmışlardır [2]. Shahba ve arkadaşları, homojen olmayan fonksiyonel derecelenmiş Euler-Bernoulli kirişlerinin serbest titreşim ve stabilitesini incelemiştir [3]. Huang ve Li, üniform olmayan ve eksen boyunca eğilme rijitliği değişen Euler-Bernoulli kolonlarının burkulma davranışlarının incelenmesi için analitik yaklaşım sunmuşlardır. Mafsal uçlu, ankastre uçlu ve konsol kolonların burkulma davranışını idare eden diferansiyel denklemi, Fredholm integral denklemine indirgemişlerdir [4]. Elishakoff, fonksiyonel derecelenmiş kolonların burkulma davranışını incelemiştir. Çalışmasında konsol kolonların burkulma modunu, farklı polinom varyasyonlarını dikkate alarak vermiştir [5]. Yılmaz ve arkadaşları, elastik mesnetli üniform olmayan eksenel yönde fonksiyonel derecelenmiş kolonların burkulma analizini Lokalize Diferansiyel Kuadratür Yöntemi ile incelemiştir [6]. Filiz ve Aydoğdu, Ritz Metodu yardımıyla eksenel yönde fonksiyonel derecelenmiş Euler-

Bernoulli kirişlerinin çeşitli sınır koşullarında boyutsuz frekans parametrelerini ve kritik burkulma yüklerini bulmuşlardır [7]. Uluköy, malzeme özelliğinin genişlik boyunca değiştiği eksenel basınç yükü altındaki kolonun burkulma analizini sonlu eleman tabanlı Ansys programını kullanarak yapmıştır [8]. Xiao ve Li, bir ucunda dönme yayı bulunan homojen olmayan konsol kolonların Euler burkulmasını incelemiştir. Burkulma yüklerini kesin olarak bulabilmek için problem bir Bessel denklemine dönüştürülmüştür. Bulunan kesin burkulma yüklerini, moment metodu kullanılarak bulunan yaklaşık burkulma yükü değerleriyle karşılaştırmışlardır [9]. Lee ve Lee, kesit ve malzeme özelliklerinin kolon eksenine boyunca doğrusal değiştiği Euler-Bernoulli kolonlarının serbest titreşim ve burkulma analizini birleşik bir modelde sunmuşlardır. Yönetici denklemleri elde edip, bu denklemleri determinant arama algoritması ile birleştirilmiş doğrudan integrasyon yöntemiyle çözmüşlerdir. Buldukları sonuçları, Adina sonlu eleman yazılımından elde ettikleri sonuçlarla karşılaştırmışlardır [10]. Akgöz, kesitlerinin uzunlukları boyunca sürekli değiştiği eksenel basınç altındaki narin kolonların burkulma davranışını incelemiştir. Kolonlar Euler-Bernoulli kiriş teorisiyle modellenmiş ve burkulma yükleri Ritz Metoduyla bulunmuştur [11]. Lee ve Lee, burkulma kapasitesini en üst düzeye çıkarmak için eksenel derecelenmiş değişen kesitli kolonların optimizasyonunu incelemiştir. Diferansiyel denklemler, determinant arama algoritması ile birleştirilmiş doğrudan integrasyon yöntemi ile çözülmüştür [12]. Rajasekaran, fonksiyonel derecelenmiş üniform olmayan kirişlerin serbest titreşim ve burkulma analizlerini diferansiyel transformasyon yöntemini kullanarak incelemiştir [13]. Sivri ve Temel, Eksenel yük altında homojen-izotrop malzemeye sahip değişken kesitli Timoshenko kolonlarının kritik burkulma yüklerini TFY kullanarak bulmuşlardır. Farklı sınır koşullarının, uzunluk/kalınlık oranının ve farklı kesit değişim modellerinin burkulma yüküne etkilerini incelemiştir [14]. Nguyen ve arkadaşları, fonksiyonel derecelenmiş gözenekli

kirişlerin burkulma, eğilme ve titreşim davranışlarının analizi için bir kayma deformasyon teorisi sunmuşlardır. Lagrange eşitliklerini kullanarak elde ettikleri yönetici denklemler üzerinden sınır koşullarının, gözenek dağılımının ve kayma deformasyonunun mekanik özellikler üzerindeki etkisini araştırmışlardır [15]. Derikvand ve arkadaşları, çekirdek bölgesi gözenekli fonksiyonel derecelenmiş sandviç kirişlerin burkulma analizini incelemiştir. Virtüel iş prensibiyle elde ettikleri burkulma davranışını yöneten diferansiyel denklemleri, diferansiyel transformasyon yöntemiyle çözmüşlerdir [16].

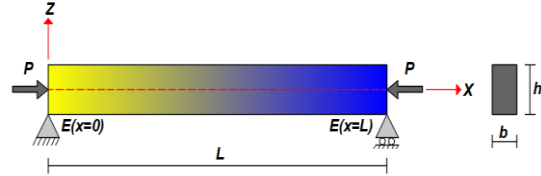
Analitik çözümün mümkün olmadığı veya zor olduğu diferansiyel denklemlerin çözümünde nümerik yöntemlerden yararlanılmaktadır. Literatür incelendiğinde araştırmacılar FD malzemeli kolonların mekanik özelliklerini sonlu eleman programları ve nümerik yöntemleri kullanarak araştırmışlardır. Yapılan bu çalışmada FD malzemeli üniform kolonların burkulma analizi için sınır değer problemini, başlangıç değer problemine dönüştürme prensibine dayanan TFY kullanılmıştır. TFY'nin, kodlanabilirliği, denklem takımından bağımsız sabit başlangıç koşulları kullanması ve matematiksel işlem verimliliği burkulma analizinde yöntemi cazip hale getirmektedir.

Bu çalışmada; kayma deformasyonunun etkileri de dikkate alınarak, eksenel yönde FD malzemeli kolonların burkulma davranışını idare eden birinci mertebeden adi diferansiyel denklem takımı kanonik formda elde edilmiştir. Bulunan denklem takımı üzerinden; malzeme değişim fonksiyonunun, uzunluk/kalınlık oranının, kayma deformasyonunun ve farklı sınır koşullarının burkulma yüklerine etkileri araştırılmıştır.

2. TEMEL DENKLEMLER VE ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Şekil 1'de eksenel basınç kuvveti altındaki FD malzemeli kolonda; A dikdörtgen kesitin alanını, I atalet momentini, $E(x)$ ise elastisite modülünün x

ekseni boyunca malzeme fonksiyonuyla değişimini göstermektedir.



Şekil 1. Fonksiyonel derecelenmiş kolon

Eksenel ve düşey yer değiştirmeler, U_x ve U_z ile birim şekil değiştirmeler ε_x ve γ_{xz} ; TKT'ye göre Eşitlik 1-4'deki gibi ifade edilmektedir [17].

$$U_x = u(x) + z\theta(x) \quad (1)$$

$$U_z = w(x) \quad (2)$$

$$\varepsilon_x = \frac{\partial U_x}{\partial x} = u' + z\theta' \quad (3)$$

$$\gamma_{xz} = \theta + w' \quad (4)$$

Şekil 1'de verilen dikdörtgen kesit özelliklerine göre iç kuvvetler ile gerilmeler arasındaki ilişkiler Eşitlik 5-7'de verilmektedir.

$$N = b \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x dz = b \int_{-h/2}^{h/2} E(x) \varepsilon_x dz \quad (5)$$

$$M = b \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x z dz = b \int_{-h/2}^{h/2} E(x) \varepsilon_x z dz \quad (6)$$

$$Q = k_s b \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xz} dz = b k_s \int_{-h/2}^{h/2} \frac{E(x)}{2(1+\nu)} \gamma_{xz} dz \quad (7)$$

Burada, k_s kesite bağlı kayma düzeltme katsayısını, ν ise poisson oranını göstermektedir.

Eşitlik 3-4, iç kuvvet-gerilme bağıntılarında yerine yazılarak Eşitlik 8-10 elde edilir. Normal kuvvet, kesme kuvveti ve momentteki değişimler ise, Eşitlik 11-13'de verilmektedir [18]. Bu çalışmada

burkulma davranışını idare eden birinci mertebeden kanonik denklem takımı Eşitlik 8-13'deki gibi elde edilmiştir.

$$\frac{du}{dx} = \frac{N}{K_{11}} \quad (8)$$

$$\frac{dw}{dx} = -\left(\frac{K_{33}}{K_{33} - P}\right)\theta \quad (9)$$

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{M}{K_{22}} \quad (10)$$

$$\frac{dN}{dx} = 0 \quad (11)$$

$$\frac{dQ}{dx} = 0 \quad (12)$$

$$\frac{dM}{dx} = Q - P\left(\frac{K_{33}}{K_{33} - P}\right)\theta \quad (13)$$

Burada K_{11} , K_{22} ve K_{33} kesit rijitlik sabitleri olup, Eşitlik 14,15'de verilmiştir.

$$\{K_{11}, K_{22}\} = \{E(x)A, E(x)I\} \quad (14)$$

$$K_{33} = k_s G(x)A \quad (15)$$

Çalışmada özel olarak, BKT'ye dayalı burkulma yükü hesaplarında Eşitlik 9 ve Eşitlik 13'de, $K_{33} / (K_{33} - P) = 1$ olarak alınmaktadır.

$$S(y) = a_n y^{(n)} + a_{n-1} y^{(n-1)} + \dots + a_1 y' + a_0 \quad (16)$$

Eşitlik 16'da genel formu verilen sınır değer problemi, n adet birinci mertebeden adi diferansiyel denklem takımına indirgenir. Tamamlayıcı fonksiyonlar yöntemiyle diferansiyel denklem takımının çözümü [17,19,20]; n adet homojen, bir adet homojen olmayan başlangıç değer problemi çözümü şeklinde Eşitlik 17'deki gibi yazılır. Çalışmada başlangıç değer

problemlerinin çözümünde beşinci mertebe Runge-Kutta algoritması kullanılmıştır [21].

$$y(x) = y_0(x) + c_1 y_1(x) + \dots + c_n y_n(x) \quad (17)$$

Eşitlik 17' de; $y_0(x)$ homojen olmayan çözümü, $y_n(x)$ homojen çözüm fonksiyonlarını, c_n terimleri ise integrasyon sabitlerini ifade etmektedir. İntegrasyon sabitleri problemin sınır koşullarından elde edilir. Bu çalışmada ele alınan problemler çözülürken, yapı elemanlarında en sık karşılaşılan mesnetlenme durumlarına ait Çizelge 1'de verilen sınır koşulları (SK) dikkate alınmıştır.

Çizelge 1. Sınır koşulları

Sınır koşulları	Serbestlikler		
Ankastre (A)	$u = 0$	$w = 0$	$\theta = 0$
Sabit (S)	$u = 0$	$w = 0$	$M = 0$
Serbest Uç (Se)	$u = 0$	$Q = 0$	$M = 0$

Analizi yapılan problemin burkulma yükleri, sınır koşulları dikkate alınarak, diferansiyel denklem takımının homojen çözümünden elde edilen katsayılar matrisinin determinantını sıfır yapan değerlerden elde edilmektedir. Burkulma yükleri, Secant metoduyla iteratif olarak bulunmaktadır.

3. SAYISAL UYGULAMALAR

3.1. Uygulama I

Kullanılan çözüm yönteminin uygunluğu, yakınsaması ve etkinliğini göstermek için literatürde analitik çözümü verilen homojen-izotrop malzemeye sahip bir kolon ele alınmıştır [22]. Kolonun geometri ve malzeme özellikleri Eşitlik 18'de verilmiştir. Burkulma davranışını idare eden diferansiyel denklem takımı TFY ile $N = \{5, 10, 20, 50\}$ adım aralıkları ve çeşitli sınır koşulları için çözülmüştür.

$$r = \frac{I}{AL^2} = 0,01, k_s = 5/6, \nu = 0,3 \quad (18)$$

Çizelge 2. Homojen-İzotrop Euler-Bernoulli kolonlarının boyutsuz burkulma yükleri ($\overline{P}_{cr} = P_{cr} L^2 / EI$)

SK	Bu çalışma				Wang [22]
	$N=5$	$N=10$	$N=20$	$N=50$	
S-S	9,86920	9,86960	9,86960	9,86960	9,86960
A-S	20,18424	20,19060	20,19072	20,19072	20,19073
A-A	39,41029	39,47681	39,47839	39,47842	39,47842
A-Se	2,46740	2,46740	2,46740	2,46740	2,46740

Çizelge 2’de BKT’ye dayalı homojen izotrop kolonların TFY ile bulunan birinci burkulma moduna ait boyutsuz burkulma yükleri verilmiştir. Çizelge 3’de ise kayma deformasyonunun etkisinin

dikkate alındığı TKT’ye dayalı homojen izotrop kolonların birinci boyutsuz burkulma yükleri sunulmuştur.

Çizelge 3. Homojen-İzotrop Timoshenko kolonlarının boyutsuz burkulma yükleri ($\overline{P}_{cr} = P_{cr} L^2 / EI$)

SK	Bu çalışma				Wang [22]
	$N=5$	$N=10$	$N=20$	$N=50$	
S-S	7,54573	7,54596	7,54596	7,54596	7,54596
A-S	12,38488	12,38727	12,38732	12,38732	12,38732
A-A	17,67594	17,68931	17,68962	17,68963	17,68963
A-Se	2,29102	2,29102	2,29102	2,29102	2,29103

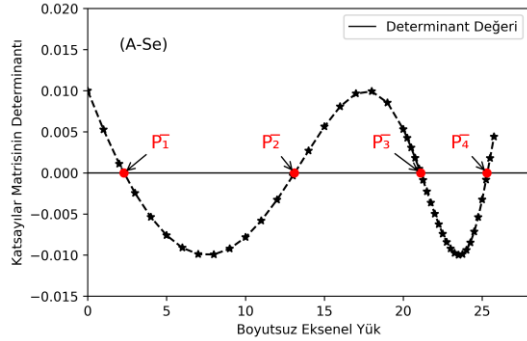
TKT’ye dayalı homojen-izotrop konsol kolonun dört burkulma moduna ait boyutsuz burkulma yükleri Çizelge 4’de verilmiştir. Bu sınır koşuluna sahip kolonun P eksenel yüküne bağlı katsayılar matrisi determinantının değişimi ise Şekil 2’de gösterilmiştir.

burkulma yükleriyle çok uyumlu olduğu görülmektedir. S-S sınır koşuluna sahip; homojen-izotrop Euler-Bernoulli kolonunun $N=10$ adım aralığında literatür ile birebir uyum sağladığı görülmektedir. Timoshenko kolonu için çözüm aralığı $N=20$ adım alındığında yeterli hassasiyet sağlanmıştır.

Çizelge 2-4 incelendiğinde, TFY ile elde edilen burkulma yüklerinin, literatürde bulunan mevcut

Çizelge 4. Homojen-İzotrop Timoshenko konsol kolonunun boyutsuz burkulma yükleri ($\overline{P}_{cr} = P_{cr} L^2 / EI$)

A-Se	Bu çalışma				Wang [22]
	$N=5$	$N=10$	$N=20$	$N=50$	
\overline{P}_1	2.29102	2.29102	2.29102	2.29102	2.29103
\overline{P}_2	13.11484	13.11785	13.11791	13.11791	13.11791
\overline{P}_3	21.06022	21.09093	21.09196	21.09198	21.09198
\overline{P}_4	25.33910	25.33024	25.33488	25.33498	25.33498



Şekil 2. A-Se sınır koşulu için katsayılar matrisinin determinantının değişimi

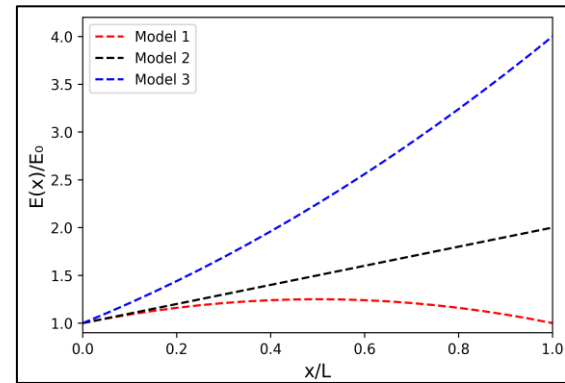
3.2. Uygulama II

Bu uygulamada, eksenel yönde FD malzemeli kolonların analizleri için malzeme modelleri Çizelge 5’de ve değişim fonksiyon grafikleri Şekil 3’de verilen literatürde üzerinde durulan üç farklı model ele alınmıştır [3,13]. E_0 terimi $x=0$ başlangıç noktasındaki elastisite modülünü göstermektedir. FD malzemeli kolonlarda $k_s = 0,85$, $\nu = 0,3$ olarak sabit alınmıştır. Bu

uygulama için TFY ile yapılan analizlerde $N = 20$ adım aralığı kullanılmıştır.

Çizelge 5. Malzeme değişim fonksiyonları

Model no	Değişim fonksiyonları
Model 1	$E_0(1+x-x^2)$
Model 2	$E_0(1+x)$
Model 3	$E_0(1+2x+x^2)$



Şekil 3. Elastisite modülünün kolon boyunca değişimi

Çizelge 6. BKT’ye göre FD malzemeli kolonların birinci boyutsuz burkulma yükleri ($\bar{P}_{cr} = P_{cr} L^2 / EI$)

SK	Model 1		Model 2		Model 3	
	Bu çalışma	Rajasekaran [13]	Bu çalışma	Rajasekaran [13]	Bu çalışma	Rajasekaran [13]
S-S	12,00000	12,00000	14,51125	14,51125	20,79229	20,79229
A-S	23,66437	23,66438	29,44896	29,44897	42,10915	42,10919
A-A	45,39557	45,39565	57,39388	57,39401	81,92314	81,92347
A-Se	2,86537	2,86375	3,11770	3,11770	3,83638	3,83638

Eksenel yönde fonksiyonel derecelenmiş BKT’ye göre kolonların birinci boyutsuz kritik burkulma yükleri Çizelge 6’da verilmiştir.

BKT’ye dayalı FD malzemeli kolonların çeşitli sınır koşulları için TFY ile bulunan boyutsuz burkulma yüklerinin literatürde verilen sonuçlarla oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. A-A sınır koşulunda; bu çalışmadan elde edilen sonuçlarla literatürde bulunan mevcut sonuçların, malzeme değişim modellerine göre, {Model 1, Model 2, Model 3} bağıl farkları sırasıyla, { $\%1,76 \times 10^{-4}$, $\%2,27 \times 10^{-4}$, $\%4,03 \times 10^{-4}$ } olarak bulunmuştur.

Timoshenko teorisine dayalı eksenel yönde fonksiyonel derecelenmiş kolonların burkulma analizi için TFY ve Abaqus [23] sonlu elemanlar paket programı kullanılmıştır. Sonlu elemanlar programında, malzeme değişiminin hassas olarak modellenebilmesi için kolon, uzunluğu boyunca 200 adet homojen-izotrop elemana bölünmüştür. Abaqus ile analizlerde, kayma deformasyonunun dikkate alındığı B21 elemanı kullanılmıştır. Farklı sınır koşullarına sahip, FD malzemeli Timoshenko kolonlarının çeşitli L/h oranlarındaki birinci boyutsuz kritik burkulma yükleri Çizelge 7-10’da sunulmuştur.

Çizelge 7. TKT'ye göre FD malzemeli (S-S) kolonların boyutsuz burkulma yükleri ($\bar{P}_{cr} = P_{cr}L^2/E_0I$)

S-S	L/h							
	5		10		20		50	
	TFY	Abaqus	TFY	Abaqus	TFY	Abaqus	TFY	Abaqus
Model 1	10,80851	10,80795	11,67826	11,67756	11,91792	11,91715	11,98679	11,99003
Model 2	13,09563	13,09508	14,13040	14,12970	14,41419	14,41373	14,49563	14,49653
Model 3	18,44967	18,44918	20,15927	20,15850	20,63077	20,62978	20,76629	20,76825

Çizelge 8. TKT'ye göre FD malzemeli (A-S) kolonların boyutsuz Burkulma Yükleri ($\bar{P}_{cr} = P_{cr}L^2/E_0I$)

A-S	L/h							
	5		10		20		50	
	TFY	Abaqus	TFY	Abaqus	TFY	Abaqus	TFY	Abaqus
Model 1	19,52678	19,15028	22,47451	22,24680	23,35530	23,18256	23,61438	23,46390
Model 2	24,45475	23,79053	28,02424	27,69678	29,07975	28,87166	29,38927	29,22015
Model 3	34,49752	33,37868	39,94574	39,45156	41,54909	41,27102	42,01864	41,80950

Çizelge 9. TKT'ye göre FD malzemeli (A-A) kolonların boyutsuz burkulma yükleri ($\bar{P}_{cr} = P_{cr}L^2/E_0I$)

A-A	L/h							
	5		10		20		50	
	TFY	Abaqus	TFY	Abaqus	TFY	Abaqus	TFY	Abaqus
Model 1	32,55260	32,55503	41,32260	41,32656	44,30405	44,30837	45,21734	45,22418
Model 2	40,50100	40,54020	52,01028	52,03872	55,94869	55,96512	57,15777	57,17063
Model 3	55,70032	55,88985	73,53695	73,67220	79,66902	79,72704	81,55473	81,58725

Çizelge 10. TKT'ye göre FD malzemeli (A-Se) kolonların boyutsuz burkulma yükleri ($\bar{P}_{cr} = P_{cr}L^2/E_0I$)

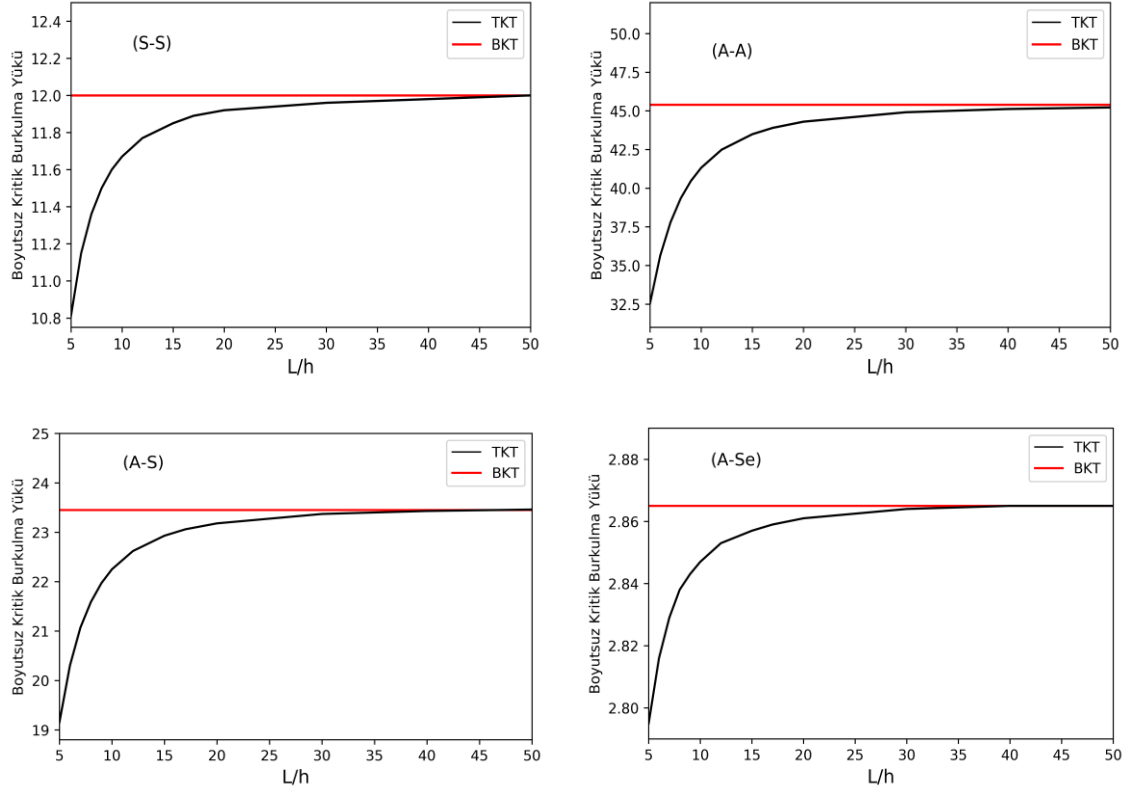
A-Se	L/h							
	5		10		20		50	
	TFY	Abaqus	TFY	Abaqus	TFY	Abaqus	TFY	Abaqus
Model 1	2,79511	2,79513	2,84748	2,84752	2,86088	2,86084	2,86465	2,86834
Model 2	3,05877	3,05880	3,10275	3,10279	3,11394	3,11408	3,11709	3,11900
Model 3	3,77934	3,77941	3,82197	3,82210	3,83277	3,83278	3,83580	3,83954

A-A sınır koşuluna sahip, $L/h=5$ olan FD Timoshenko kolonun; TFY ve Abaqus ile bulunan burkulma yüklerinin, malzeme değişim modellerine göre, {Model 1, Model 2, Model 3} bağıl farkları sırasıyla, { %7,46x10⁻³, %9,68x10⁻², %3,40x10⁻¹ } olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada, FD malzemeli kolonlar için bulunan boyutsuz burkulma yüklerinin, hem literatürde verilen mevcut sonuçlar hem de Abaqus sonlu

elemanlar programından elde edilen sonuçlar ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Model 1 malzeme değişim fonksiyonu için BKT ve TKT'ye dayalı olarak modellenen FD malzemeli kolonlarda L/h oranlarının farklı sınır koşullarında birinci boyutsuz burkulma yüklerine etkisi Şekil 4'de gösterilmiştir. FD kolonlarda L/h oranı arttıkça TKT'den elde edilen sonuçların BKT sonuçlarına yaklaştığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4. Farklı sınır koşullarına sahip model 1 FD malzemeli kolonlarda L/h oranının birinci boyutsuz burkulma yüklerine etkisi

S-S ve A-Se sınır koşullarına sahip, FD malzemeli Euler-Bernoulli ve Timoshenko kolonlarının çeşitli L/h oranlarındaki ikinci ve üçüncü boyutsuz kritik burkulma yükleri Çizelge 11,12’de sunulmuştur. Model 3 malzeme değişim fonksiyonuna sahip, FD malzemeli Timoshenko kolonlarının TFY ile bulunan ilk üç boyutsuz

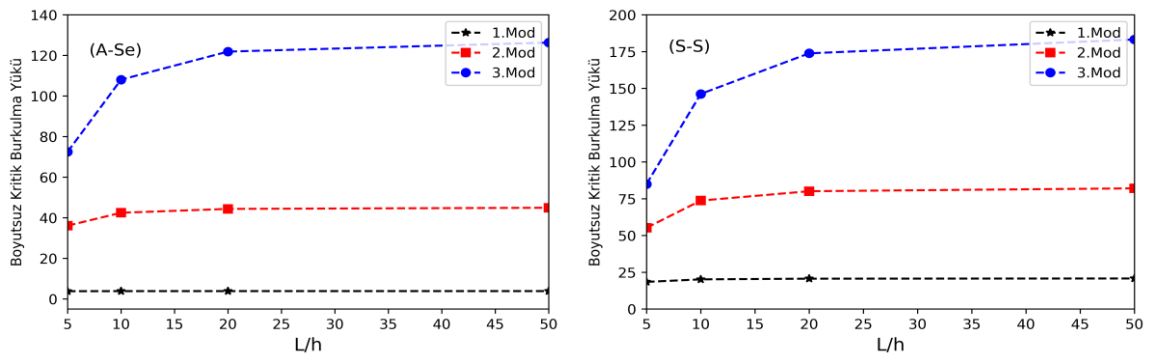
burkulma yüklerinin L/h oranlarına bağlı değişimleri Şekil 5’de gösterilmiştir. TKT’ye göre FD kolonların ikinci ve üçüncü boyutsuz burkulma yükleri, birinci boyutsuz burkulma yüküne benzer olarak L/h oranı arttıkça BKT değerlerine yaklaşmaktadır.

Çizelge 11. FD malzemeli kolonların ikinci boyutsuz burkulma yükleri ($\bar{P}_{cr} = P_{cr} L^2 / E_0 I$)

		TKT				BKT
		L/h=5	L/h=10	L/h=20	L/h=50	
S-S	Model 1	32,83244	42,09713	45,28704	46,26834	46,46007
	Model 2	40,47397	52,17372	56,18381	57,41558	57,65615
	Model 3	55,22680	73,72140	80,08105	82,03683	82,41894
A-Se	Model 1	21,04813	24,45013	25,47903	25,78277	25,84145
	Model 2	25,97227	30,17636	31,44109	31,81386	31,88584
	Model 3	36,07691	42,44074	44,34839	44,91009	45,01852

Çizelge 12. FD malzemeli kolonların üçüncü boyutsuz burkulma yükleri ($\bar{P}_{cr} = P_{cr}L^2/E_0I$)

		TKT				BKT
		L/h=5	L/h=10	L/h=20	L/h=50	
S-S	Model 1	54,01398	84,42919	98,20922	102,90829	103,85460
	Model 2	65,90379	104,81752	122,37768	128,35686	129,56043
	Model 3	84,96454	146,21802	173,82769	183,23303	185,12663
A-Se	Model 1	43,94567	61,96694	69,03023	71,30487	71,75519
	Model 2	54,07350	77,01162	85,96255	88,84061	89,41012
	Model 3	72,45161	108,05099	121,87528	126,31432	127,19240

**Şekil 5.** TKT'ye göre FD malzemeli kolonlarda L/h oranının boyutsuz burkulma yüklerine etkisi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, basınç kuvveti altında aksel yönde fonksiyonel derecelenmiş kolonların burkulma davranışı incelenmiştir. Analizlerde, hem Euler-Bernoulli hem de Timoshenko kiriş teorileri kullanılmıştır. Homojen-izotrop kolonlar üzerinde yöntemin uygunluğu, yakınsaması ve etkinliği gösterilmiştir. Bu çalışmada bulunan burkulma yüklerinin, hem literatürde verilen mevcut sonuçlar hem de Abaqus sonlu elemanlar programından elde edilen sonuçlar ile uyumlu olduğu görülmüştür. FD kolonlarda en büyük boyutsuz burkulma yükleri, Model 3 malzeme değişim fonksiyonu için bulunmuştur. Aynı malzeme değişim fonksiyonu ve L/h oranına sahip kolonlarda en büyük burkulma yükleri A-A sınır koşulunda elde edilirken, en küçük burkulma yükleri A-Se sınır koşulunda elde edilmiştir. L/h oranı arttıkça Timoshenko teorisinden elde edilen sonuçların Euler-Bernoulli kiriş teorisi sonuçlarına yaklaştığı; bu oran azaldıkça kayma deformasyonunun kritik burkulma yüküne

etkisinin arttığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, uygulanan yöntemin farklı sınır koşullarına sahip FD kolonların burkulma analizlerinde etkin olarak kullanılabileceği gösterilmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın bir bölümü Çukurova Üniversitesi tarafından düzenlenen 22. Ulusal Mekanik Kongresi'nde sunulmuştur.

6. KAYNAKLAR

- Gören, B., Erim, S., 2000. Değişken Kesitli Ankastre Timoshenko Kirişin Statik Stabilité Analizi. DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, 2(2), 75-86.
- Coşkun, S.F., Atay, M.T., 2009. Determination of Critical Buckling Load for Elastic Columns of Constant and Variable Cross-Sections Using Variational Iteration Method. Computers and Mathematics with Applications, 58(11-12), 2260-2266.

3. Shahbaa, A., Attarnejada, R., Hajilara, S., 2011. Free Vibration and Stability of Axially Functionally Graded Tapered Euler-bernoulli Beams. *Shock and Vibration*, 18(5), 683-696.
4. Huang, Y., Li, X.F., 2011. Buckling Analysis of Nonuniform and Axially Graded Columns with Varying Flexural Rigidity. *Journal of Engineering Mechanics*, 137(1), 73-81.
5. Elishakoff, I., 2012. Buckling of a Column Made of Functionally Graded Material. *Archive of Applied Mechanics*, 82(10), 1355-1360.
6. Yılmaz, Y., Girgin, Z., Evran, S., 2013. Buckling Analyses of Axially Functionally Graded Nonuniform Columns with Elastic Restraint Using a Localized Differential Quadrature Method. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2013/793062>.
7. Filiz, S., Aydoğdu, M., 2015. Eksenel Fonksiyonel Derecelenmiş Kirişlerin Titreşim ve Burkulma Analizi. XIX. Ulusal Mekanik Kongresi, Trabzon, 483-491.
8. Uluköy, A., 2016. Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemenin Lineer Burkulma Analizi. *AKÜ FEMÜBİD*, 16 Özel Sayı, 122-127.
9. Xiao, B.J., Li, X.F., 2019. Exact Solution of Buckling Load of Axially Exponentially Graded Columns and its Approximation. *Mechanics Research Communications*, 101, 103414.
10. Lee, J.K., Lee, B.K., 2019. Free Vibration and Buckling of Tapered Columns Made of Axially Functionally Graded Materials. *Applied Mathematical Modelling*, 75, 73-87.
11. Akgöz, B., 2019. Ritz Yöntemi ile Değişken Kesitli Kolonların Burkulma Analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(2), 452-458.
12. Lee, J.K., Lee, B.K., 2021. Buckling Optimization of Axially Functionally Graded Columns Having Constant Volume. *Engineering Optimization*, 1-17. <https://doi.org/10.1080/0305215X.2020.1862824>.
13. Rajasekaran, S., 2013. Buckling and Vibration of Axially Functionally Graded Nonuniform Beams Using Differential Transformation Based Dynamic Stiffness Approach. *Meccanica*, 48, 1053-1070.
14. Sivri, B., Temel, B., 2022. Değişken Kesitli Timoshenko Kolonlarının Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemiyle Burkulma Analizi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(1), 122-128.
15. Nguyen, N.D., Nguyen, T.N., Nguyen, T.K., Vo, T.P., 2022. A New Two-variable Shear Deformation Theory for Bending, Free Vibration and Buckling Analysis of Functionally Graded Porous Beams. *Composite Structures*, 282, 115095.
16. Derikvand, M., Farhatnia, F., Hodges, D.H., 2021. Functionally Graded Thick Sandwich Beams with Porous Core: Buckling Analysis via Differential Transform Method. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 1-28.
17. Noori, A.R., Rasooli, H., Aslan, T.A., Temel, B., 2020. Fonksiyonel Derecelenmiş Sandviç Kirişlerin Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi ile Statik Analizi. *Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(4), 1091-1101.
18. Timoshenko, S.P., Gere, J.M., 1961. *Theory of Elastic Stability*. McGraw-Hill, 560.
19. Noori, A.R., Aslan, T.A., Temel, B., 2020. Static Analysis of FG Beams via Complementary Functions Method. *European Mechanical Science*, 4(1), 1-6.
20. Noori, A.R., Aslan, T.A., Temel, B., 2020. An Efficient Approach for In-plane Free and Forced Vibrations of Axially Functionally Graded Parabolic Arches with Nonuniform Cross Section. *Composite Structures*, 200, 701-710.
21. Chapra, S.C., Canale, R.P., 2003. *Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler İçin Sayısal Yöntemler*. Literatür Yayınevi, 1026.
22. Wang, C.M., Wang, C.Y., Reddy, J.N., 2005. *Exact Solutions for Buckling of Structural Members*. CRC Press, Florida, 224.
23. Dassault Systèmes, ABAQUS/CAE v6.14, 2016.

Risk Assessment of Construction Works in City Square Using Fine Kinney Method

Selman ASLAN*¹ ORCID 0000-0002-6766-7315

¹Muş Alparslan University, Department of Transportation Services, Muş

Geliş tarihi: 15.02.2022 Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: ASLAN, S., (2022). Risk Assessment of Construction Works in City Square Using Fine Kinney Method. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 329-340.

Abstract

Our country, as in other developing countries, tries to minimize work accidents by taking adequate and appropriate measures. It is necessary to adopt and implement occupational health and safety in all work areas, regardless of small or large size. In this context, risk assessments regarding occupational health and safety are vital. Various work accidents may occur in areas such as city squares where human density is high. This study includes the result of an exemplary study by emphasizing the importance of risk assessment in construction works that carried out in areas where people and vehicles are dense, such as busy streets, squares, or boulevards in cities. The results were obtained using Fine Kinney Risk Assessment Method. It was shown that the construction-related risks are vital and have a significant impact on the people not only construction workers but also who have to pass through the construction site.

Keywords: Construction sector, Fine Kinney risk assessment method, Occupational health and safety

Kent Meydanlarında Yapılan İnşaat Çalışmalarının Fine Kineey Yöntemiyle Risk Değerlendirmesi

Öz

Ülkemiz de diğer gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi iş kazaları yeterli ve uygun önlemler alınarak en aza indirilmeye çalışılmaktadır. İş güvenliğini küçük büyük demeden bütün çalışma alanlarında benimsemek ve uygulamak gerekmektedir. Bu kapsamda iş güvenliği ile ilgili yapılacak risk değerlendirmeleri de önem arz etmektedir. İnsan yoğunluğunun fazla olduğu kent meydanları gibi alanlarda çeşitli iş kazaları meydana gelebilmektedir. Bu çalışma, kentlerdeki işlek sokak, meydan veya bulvar gibi insan ve araç bakımından yoğun olan bölgelerde yapılan inşaat işlerinde risk değerlendirmesi yapılmasının önemine değinerek örnek bir çalışmanın sonucunu içermektedir. Sonuçlar Fine Kinney Risk Değerlendirme Yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. İnşaatla ilgili risklerin hayati önem taşıdığı ve sadece inşaat işçilerini değil, inşaat sahasından geçmek zorunda olan insanları da önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İnşaat sektörü, Fine Kinney risk değerlendirme yöntemi, İş sağlığı ve güvenliği

*Corresponding author (Sorumlu yazar): Selman ASLAN, se.aslan@alparslan.edu.tr

1. INTRODUCTION

With the rapidly increasing construction, one of the most important problems of the construction in the city squares is that the construction activities affect life negatively [1]. Depending on the innovations, the change in the production process and the increase in the work volume may cause negative consequences such as work accidents and occupational diseases [2]. Activities in the construction sector are provided by different working teams. It can be in the form of other materials or different manufacturing for each activity. Therefore, the whole process needs to be well coordinated. In this respect, there may be problems in the healthy execution of the activities in the construction that are not well organized, and work accidents are inevitable. In a poorly managed construction site, the working environment is usually not regular due to the fact that each team focuses on their own work and the use of different equipment and materials, and the confusion of this environment causes work accidents [3]. When such construction sites are in places where there is a high density of people, such as the city square, it is even more difficult to provide the construction site organization. An important problem in such construction sites in the city is whether or not appropriate work security is taken. It is important to consider adequate occupational health and safety, especially in construction sites that have activities during working hours and are located in city squares. The occupational health and safety to be taken here will not be enough to cover only the workers at the construction sites, it should also be considered for the citizen passing by the construction site for any reason. During some construction activities taking place in the city squares, the construction site environment is not closed adequately and appropriately. Therefore, various work accidents occur. For example, 43810 of the 286068 work accidents that occurred in 2016 were the fall of people due to slipping or stumbling [4]. This type of work accident can also happen in such construction sites.

There are various regulations on a city or national basis regarding how the construction sites in the city squares should be. For example, one of them

is the city construction site regulation and some of the measures to be taken in terms of occupational health and safety in this regulation are as follows [5]:

- The perimeter of the construction site security area will be surrounded by prefabricated elements or aluminium sheet metal with a height of 2,00 m and the ground connections of this enclosure will be made in a way that does not create a security weakness.
- To ensure vehicle safety in both long-term and short-term-mobilized construction sites, places, and points that pose a safety risk will be determined in the active work area of the construction site, and high-strength barriers by the standards will be placed at these places as protective-separators.
- In the construction site security area, like a pit, rubble pile, etc.; in the presence of situations that pose a safety threat to people (especially the disabled, children, and the elderly); long-term construction sites will be surrounded by containment elements (sheet metal, prefabricated elements, concrete barriers, etc.) fixed to the ground in a way to ensure safe pedestrian access for 24 hours. During the daytime, the dangerous areas will be protected by at least two construction site security personnel in a way to ensure passage order and control, depending on the pedestrian density and the degree of security threat.

As mentioned above, it is necessary to take additional measures about occupational health and safety in places with a high density of people such as city squares. It is important how much the above-mentioned substances are applied in such areas. By applying these substances, work accidents can be minimized at construction sites. Otherwise, these accidents are inevitable. These various regulations can be grouped as city-based, national-based, or international. The critical point is whether to comply with these regulations. If these precautions are taken while the construction sites are being created, the occurrence of work accidents will be reduced. In developed countries, such regulations are strictly enforced and success is achieved in terms of occupational health and

safety. For example, in the Construction and Repair Regulations published by the Chicago Department of Transportation in Chicago, USA, has published a comprehensive guide for conducting construction and restoration works on public roads [6]. Within the scope of this article, a risk assessment was made in terms of occupational health and safety at a construction site located in one of the busiest squares of Adana. It is the project of covering the construction site underpass. The risks observed within the scope of the risk assessment were recorded at certain times and the Fine Kinney Risk Assessment method was applied.

2. MATERIAL AND METHOD

The risk assessment determines the risks that may arise from the hazards and gives an idea at what level the risk is in terms of probability of occurrence, frequency of occurrence, and severity. As a result of the risk assessment, the employer and other stakeholders related to occupational health and safety take the necessary precautions. While risk management is the process of using logical and systematic methods applied to share information and consult about risks. On the other hand, risk identification is the process of identifying risk elements, preparing a report, and defining each risk element [7]. According to the 6331 Occupational Health and Safety Law, risk assessment refers to the studies that must be carried out to determine the existing or external hazards in the workplace, the factors that cause these hazards to turn into risks, and the analysis and grading of the risks that can arise from the hazards, and to decide on control measures [8]. There are three primary purposes of risk assessment in terms of occupational health and safety [9];

- Protecting employees,
- Ensuring production safety,
- Ensuring business security.

As mentioned above, occupational health and safety is important not only for employee health but also for business and production safety. With a well-made risk assessment, while a safer

environment is prepared for employees in terms of occupational health and safety, it will also be beneficial for the business. While taking measures in terms of occupational health and safety, it is not sufficient to take measures to protect employees only. It is necessary to take precautions for everyone around the construction site or who has contact with the construction site in some way. Therefore, the risk assessment is comprehensive for everyone affected by the construction site. This study focused more on the risk assessment of people indirectly affected by the construction site. Work accidents will be less with the measures to be taken as a result of the risk assessment to be made in this context.

There are various risk assessment methods regarding occupational health and safety, both qualitative and quantitative. Preliminary Hazard Analysis, Fine Kinney Method Failure Mode and Effects Analysis, Fault Tree Analysis, Event Tree Analysis, L Type Matrix, X Type Matrix, Root Cause Analysis are some of them. In this study, the Fine Kinney Risk Assessment method is applied. The Fine Kinney Risk Assessment method was developed by Fine in 1971 under the name of "Mathematical Assessment for Hazard Control" [10]. The method was first used as the Kinney method in 1976 by G.F. Kinney and A.D. It was presented in a technical document by Wiruth [11]. In the first document prepared by Fine, the evaluation criteria of the method and how the mathematical model will be applied are given in detail [10]. On the other hand, Kinney transformed the application of the method from a mathematical approach to a graphical form [11]. The method is known as the Fine-Kinney method in the literature. The basic idea behind the Fine-Kinney method [11]:

- Many of the dangers in our lives are not completely preventable and it is not possible to eliminate all risks against dangers.
- With careful thought and effort, most of the risks in daily life can be reduced to an acceptable level.
- Limited resources of time and effort should be used to reduce risk and provide maximum benefit, rather than completely eliminating risks.

From this basic idea, there will always be risks in life. We aim is to reduce the risks to a level that will affect our lives less, instead of eliminating the risks. The Fine-Kinney method is widely used for professional risk assessment. The approach in this method is based on the sensitivity of the potential hazards in the work area to the employee and the result that will occur on the employee if the threat occurs [7]. The Fine-Kinney Method is widely used in the construction and cement industry, and it is stated to be one of the simple methods applicable to small and medium-sized businesses [12]. There are three variables in mathematically determining the Risk Value in the Fine-Kinney method. The risk value is obtained by multiplying these three variables. These;

- Possibility
- Frequency (Frequency of exposure to danger)
- Severity
- Risk Value = Probability x Frequency x Severity

Necessary actions are also taken according to the risk value obtained. Necessary measures should be taken immediately according to the resulting risk value. The scales of Probability, Frequency, and Severity variables are shown in the tables below (Table 1, Table 2, Table 3). The frequency value is the exposure time of the worker to the situation. The value of severity is the damage that the employee will suffer in the face of this event. The frequency value will be effective in the score to be taken for probability.

Table 1. Probability scale [11]

Probability value	Probability of hazard occurrence
0.1	Almost impossible
0.2	Practically impossible
0.5	Bare chance
1	Very unlikely
3	Rare but possible
6	Most likely
10	Very strong possibility

Table 2. Frequency scale [11]

Frequency value	Description	Hazard occurrence frequency
0.5	very rare	Once a year or less
1	quite rare	Once or several times a year
2	Rare	Once or several times a month
3	Sometimes	Once or several times a week
6	Often	once or several times a day
10	Continuous	Continuous or multiple times per hour

Table 3. Severity scale [11]

Severity value	Description	Harm of hazard
1	Should be considered	Mild, harmless or unimportant
3	Important	Low job loss, minor damage, first aid
7	Serious	Significant damage, external treatment, loss of working days
15	Very serious	Disability, loss of limb, environmental impact
40	Too bad	Death, total disability, severe environmental impact
100	Disaster	Multiple deaths, major environmental disaster

The risk value is obtained by multiplying the probability, frequency, and severity values. As seen in Table 4, decisions are made according to 5 different risk value ranges. It is also shown with different coloring for each range. For example, if the risk value is over 400, this is a very high risk and the relevant work should be stopped and the risk should be reduced to an acceptable level.

Table 4. Risk value [11]

Risk value	Decision	Action
$R > 400$	Very high risk (Stop)	Work should not be started until the identified risk has been reduced to an acceptable level.
$200 < R \leq 400$	High risk	It should be decided to continue the activity by taking urgent measures for these risks.
$70 < R \leq 200$	Significant risk (Moderate)	Actions should be initiated immediately to reduce the identified risks.
$20 < R \leq 70$	Possible risk (Low)	Existing controls should be maintained and it should be audited that these controls are maintained.
$R \leq 20$	Acceptable risk (Insignificant)	Additional control processes may not be needed to eliminate identified risks.

The advantages and limitations of the Fine-Kinney method are shown in Table 5 below. The most important advantage is that it is simple to use. The most important shortcoming of the Fine-Kinney method is that it does not consider occupational diseases. However, the result of some events is in the form of an occupational disease [13]. If the Fine-Kinney process is performed by a single person, it may be insufficient because it presents only one person's unique perspective. Therefore, a multidisciplinary team is needed [14].

Table 5. Advantages and limitations of the Fine-Kinney method [14]

Advantages	Limitations
Numerical	Random data
Simple to use	Costly
Risk ranking	No guarantees in risk identification
Effectiveness of the measures	It is a subjective method
Allows evaluation	No council can be made for different risk scores

Risk acceptability assessment	Hazard confusion: probability, frequency and severity not clearly defined.
If necessary, measures are taken.	False sense of security
Education, information, reflection	Lack of precision: how to interpret score differences?
	Applicable only for certain risks.

Fine-Kinney method has been used by many studies. Some of these studies are briefly mentioned below. In this study, there will be a different area where the Fine-Kinney method is applied.

- A New Approximation for Risk Assessment Using the AHP and Fine Kinney Methodologies [15]

In this study, a risk assessment study was conducted in a large manufacturing company where hazards were determined based on experience, and the statistical records of the last 10 years were categorized and each category was prioritized using the AHP method. The hazards identified in the field were evaluated with the Fine-Kinney method.

- Comparative Analysis of Methods for Risk Assessment - "Kinney" And "Auva" [16]

KINNEY and AUVA methods were used to assess risk in workplace safety, environmental safety and fire protection, and a comparative analysis was made to indicate possible advantages or disadvantages of the selected methods.

- Indicators in Risk Management [7]

It gives an example of the Risk Indicators Method, which gives more objective results for risk assessment. The authors recommend the Risk Indicators Method based on the Fine-Kinney method.

- A New Approach to Fine Kinney Method and an Implementation Study [12]

In this study, new approaches were introduced to the classical Fine-Kinney method (Linear interpolation and square interpolation). New risk scores were obtained by increasing the sensitivity of the probability and frequency scales in the classical Fine-Kinney.

- Kinney-type Methods”: Useful or Harmful Tools in the Risk Assessment and Management Process [14]

The neglected points in the Fine-Kinney method and the possible threats that may be encountered in the application of the method are mentioned. The main objective of this article is whether such methods can meet the current requirements for risk quantification in terms of risk ranking and assessment of anticipated prevention actions.

- Occupational Health and Safety in Industrial Enterprises Producing Workshop Type [17]

In this study, analysis of hazards, risk assessment, determination of regulatory activities and surveillance steps are mentioned. During the implementation phase, four different risk assessment methods (Fine Kinney Risk Assessment Method, FMEA Risk Assessment Method, 5x5 L Type Matrix Risk Assessment Method and 3T Risk Assessment Method) were compared.

- 3T and Fine-Kinney Risk Analysis Methods in Occupational Health and Safety and Its Application in a Metal Industry Business [13]

In this study, an application study was conducted on both correct scoring and comparing the methods by considering the 3T risk analysis method and the Fine-Kinney method.

- Risk Analysis Application in the Metal Industry [18]

In this study, Fine Kinney Risk Assessment was applied for the steel mill and rolling mill divisions

of an iron and steel business (376 risks). The information and observations received from the employees were taken into account in the risk assessment.

- Risk Management in Occupational Health and Safety with Fine-Kinney Method: The Example of a Marble Factory [19]

In this study, hazards and risks were determined in the marble business. The identified risks were analyzed using the Fine-Kinney method and the measures to be taken to prevent these risks from occurring are listed. After the measures were taken, the working conditions in the enterprise were tried to be improved.

- Risk Assessment within the Scope of Occupational Health and Safety Management System: “An Application in the Health Sector” [20]

In this study, a risk assessment was performed using the Fine Kinney Method in the medical pathology laboratory of a private hospital. The risks identified in the laboratory, the measures were taken against these risks and the precautions to be taken are given in detail in the risk assessment report.

3. RESULTS

Hazards were determined by making observations in the area where the construction site works were carried out at different times. The probability, frequency, and severity values of the risks related to these hazards were determined by consulting expert opinions. Then, the risk scores included in the Fine Kinney Risk Assessment were obtained. Pictures of the study area are given in Appendix 1. As a result of the observations obtained, 47 risks were determined to conduct the Fine Kinney Risk Assessment. Table 6 provides information on 47 risks. Out of 47 risks observed as a result of the Fine Kinney Risk Assessment, 9 are very high risk (stop), 6 are high risk, 15 are significant risk (moderate), 14 are possible risk (low), and 3 are acceptable risk (non-significant) was determined.

Each risk value range is also shown with a different color.

One of the very high risks is not closing the gaps in the construction site or not closing them properly. Due to these reasons, work accidents due to falling may occur. Exposure to this risk occurs at more than one point of the construction site. This risk is more likely to occur, especially at night, due to the lack of sufficient lighting. Due to the lack of suitable, adequate signs and safe roads for people who want to pass through the construction site, people try to pass from any part of the construction site. In this case, work accidents due to falling will occur. Entering the construction site by unauthorized persons is also determined as a very high risk. In such construction sites, which are dense in terms of human intensity, it is very important to close the construction site appropriately and adequately. In the construction sites that are closed appropriately, people will not have to pass everywhere according to their heads. Incomplete use of warning and danger signs has also been identified as a very high risk. People may be exposed to various work accidents without these signs about occupational health and safety. The high risks mentioned above are the risks that come to the fore in such construction sites. Those who are exposed to these risks are both construction site workers and people who have to pass there somehow. In this context, these risks gain importance.

Traffic accidents may occur and vehicles may be damaged in some way due to working on the vehicle road without taking the necessary traffic precautions. If the construction site is not closed properly, it may cause damage to the surrounding workplaces and the environment. The scattered stacking of the material on the construction site causes all kinds of accidents on the construction site. The inability to distinguish between employees and third parties, the absence of an employee responsible for the safety of the construction site (security guard or watchman), and the lack of communication due to the complexity of the construction site can also be the

cause of work accidents. Psychosocial factors may occur due to the exposure of third parties who work near the construction site or who have to pass through the construction site.

The last 3 risks, which are also shown in green in the Fine Kinney Risk Assessment Table (insufficient ergonomic conditions of the operator's cabin, theft of material, periodic maintenance of Construction Machinery) are the lowest risks in terms of risk values. These are interpreted as acceptable or insignificant risks. No action is required for these risks.

Table 6. Fine Kinney Risk Assessment (sorted by risk value)

No	Hazards	Risk	P	F	S	R.V
1	Lack of first aid supplies	Failure to do first aid	6	10	40	2400
2	Improper enclosure of the generator	Fire	1	10	100	1000
3	Employees not receiving training on OHS	Accidents due to lack of information	3	6	40	720
4	Leaving the generator cover open	Fire	3	2	100	600
5	Not closing the gaps in the construction site	Fall-related accidents	6	6	15	540
6	Improper sealing of gaps within the construction site	Fall-related accidents	6	6	15	540
7	Material or object falling into the underpass	Traffic accident	0.5	10	100	500
8	Unauthorized persons entering the construction site	tripping, falling object	3	10	15	450
9	Incomplete use of warning and danger signs	All kinds of accidents due to ignorance of the hazards	6	10	7	420

Risk Assessment of Construction Works in City Square Using Fine Kinney Method

10	Inappropriate behavior of the operator (talking on the phone on the job, etc.)	Any accident due to operator distraction	3	3	40	360
11	Working in poor lighting conditions (placement of precast beams overnight)	Falling, penetrating sharps, overturning of construction machinery, hitting people and/or objects	3	3	40	360
12	Working on the vehicle road without taking traffic precautions	Traffic accident	0.5	6	100	300
13	Employees not wearing helmets	Fall-related injuries	3	6	15	270
14	Use of warning and danger signs in the wrong place	Any accident caused by misdirection	3	10	7	210
15	Failure to properly secure warning and danger signs	All kinds of accidents as a result of the plates falling over	3	10	7	210
16	Failure to place marking plates for pedestrian and vehicle traffic	Traffic accidents, crashing into people and vehicles	0.5	10	40	200
17	Disorganized stacking of material at the construction site	Waste of material, loss of time, slowdown of work	6	10	3	180
18	Inability to distinguish between employees and third parties	Distinction between authorized and unauthorized, turmoil	6	10	3	180
19	Employees not working in a suitable construction site environment	Slowing down of work, loss of time, material damage	6	10	3	180
20	Employees not wearing work shoes	Penetrating, cutting object, crushing	3	3	15	135

21	Employees not wearing work gloves	Penetrating, cutting object and friction injuries	3	3	15	135
22	Due to the openness of the construction site, workers and third parties are affected by dust.	Health deterioration due to dust in the eyes and inhalation of dust	3	6	7	126
23	3rd parties tripping over dilatation joints and building materials	Fall-related accidents	3	6	7	126
24	Failure to provide appropriate and understandable communication with the pointer	Any kind of accident due to the lack of direction of the operator	0.5	6	40	120
25	Not using PPE during transportation of precast beams	Falling from high	1	3	40	120
26	Lack of communication due to the complexity of the construction site	Loss of time, decrease in efficiency	6	6	3	108
27	Failure to remove the rubble at the construction site on time	Narrowing of the working area, slowing down of work, visual pollution	6	6	3	108
28	Working on the pedestrian road without taking the necessary traffic precautions	Traffic accident	1	6	15	90
29	Setting up the site office in the wrong place	Accidents due to reduced control over the construction site	3	10	3	90
30	Lack of an employee responsible for the safety of the construction site	Material theft, unauthorized persons entering the construction site	3	10	3	90

31	Employees not wearing work clothes	Cleaning	3	3	7	63
32	Failure to carry loads suitable for the capacity of the mobile crane	Any accident due to material drop	0.2	3	100	60
33	Incorrect handling and placement of precast beams	Waste of construction element, loss of time, material damage	0.2	3	100	60
34	Unbalanced loading	Overturning the vehicle, tipping the load	0.5	3	40	60
35	Emergency assembly location not specified	Chaos	3	0.5	40	60
36	Psychosocial factors of third parties due to noise	Noise-induced attention loss and stress etc.	3	6	3	54
37	Not closing the underpass to traffic during the transportation of precast beams	Traffic accident	0.1	3	100	30
38	Not closing the underpass to traffic during night work	Traffic accident	0.1	3	100	30
39	Damage to third party vehicles	Scratches of vehicles, damage to tires	3	3	3	27
40	Damage to third parties' workplaces and the environment	Dust, mud, stone splashes	3	3	3	27
41	Use of construction machinery by unauthorized and unqualified persons	All kinds of accidents due to lack of professional competence	0.2	3	40	24
42	Failure of the reversing lamp and siren	Bumping into people and/or objects	0.5	3	15	22.5
43	Vehicle headlights not	Traffic accident	0.5	3	15	22.5

	working					
44	Manual lifting and transport	Getting musculoskeletal diseases	0.5	6	7	21
45	Inadequacy in ergonomic conditions of the operator's cabin	Any accident due to operator distraction	0.2	3	15	9
46	Theft of material	Business slowdown, material damage	3	0.5	3	4.5
47	Periodic maintenance of Construction Machinery	Accidents caused by technical problems (Fire, Overturning)	0.2	3	7	4.2
P: Possibility, F: Frequency, S: Severity, R.V: Risk Value						

4. CONCLUSION

As in the whole world and also in our country, studies on occupational health and safety are increasing. As a result, work accidents decrease and improvements in occupational health and safety occur. However, the point reached is not yet at the desired level. In some sector-based or activity-based areas, adequate work security is not taken. Adopting occupational health and safety should be in every field and at all times. Thus, a culture of safety will be formed at the social level. As seen in this study, adequate and appropriate measures are not considered in places where people are dense such as city squares. Work accidents also occur at construction sites in such places. With the risk assessment to be made in this context, it is envisaged to identify the hazards, to identify and rank the risks, and to minimize the accidents that may occur as a result.

In this study, a risk assessment is carried out at the construction site located in a city square with a high density of people. It is more appropriate to carry out a Fine Kinney Risk Assessment in such construction sites, both because there are people who are indirectly affected and because there is a high density of people. Because, in such construction sites, it is important to take into account the frequency value while calculating the

risk value. Risks were determined by observing the construction site on different days. Within the scope of Fine Kinney Risk Assessment, 47 risks were obtained. Some of the 47 risks revealed by risk assessment are similar to the risks that arise in different types of construction sites. However, within the scope of this study, it is aimed to highlight the risks that are affected by people who do not belong to the construction site but have to move to the construction site. In this context, the affected people may not have received occupational health and safety training within the scope of the construction site, may not have occupational health and safety awareness, or may not have any knowledge of occupational health and safety. These people may not know how to behave in dangerous situations in terms of occupational health and safety. For this reason, the occupational health and safety to be taken in such construction sites should be handled more carefully and in a broader framework, considering such people as well. It will also be important that the inspections are carried out very strictly by both the relevant official institutions and the employer's occupational health and safety unit. In this context, it will be important to consider the following measures within the scope of occupational health and safety:

- The construction site area should be surrounded by barriers, security or guard should be appointed to protect the construction site and prevent unauthorized people from entering the construction site, areas should be created for pedestrians to walk safely outside the construction site.
- Traffic should be directed with traffic signboards, barriers should be placed between the construction site and other active roads.
- Warning and danger signs should be placed completely and constantly checked for both employees and anyone who may have to pass through the roads specified on the construction site.
- Before starting work, all hazards and risks should be explained to the employees in their training on occupational health and safety, it

should be specifically stated that people outside the construction site may also be affected in such construction sites, the employees should be constantly observed, and the employees should be informed about any changes in the construction site.

- Which materials will be stacked where should be specified in the construction site layout plan, materials should be stacked in a way that does not cause waste, and rubble should be removed from the construction site without accumulating.
- Gaps within the construction site should be properly closed, necessary lighting should be provided.
- The construction site office should be planned in a way that dominates the entire construction site area.
- Continuous effective supervision should be provided

There are also different methods of risk assessment. In future studies, comparisons between methods can be made by applying different risk assessment methods for such construction sites. In addition, for such construction sites, the relevant official institutions may prepare a guide within the scope of the above-mentioned measures and express that employers should implement them. Since observations are not made at the construction site every day, different risks that may arise are not included in this study. Risks related to occupational disease risk, biological and chemical hazards are not included in the risk assessment.

5. REFERENCES

1. Beşiktepe, D., 2007. İnşaat Sektöründe Şantiye Gürültüsünün Değerlendirilmesi: Bir Konut Şantiyesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 113.
2. Akcay, C., Aslan, S., Sayin, B., Manisalı, E., 2018. Estimating OHS Costs of Building Construction Projects Based on Mathematical Methods. Safety Science, 109, 361-367.

3. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2018. Kanal Kazısı Çalışmalarında İş Sağlığı ve Güvenliği Rehberi. İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü İş Sağlığı ve Güvenliği Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü Başkanlığı. <https://www.csgb.gov.tr/medias/12262/kanalkazicalismaisgreh.pdf>. Erişim Tarihi: 14.03.2022, Ankara.
4. Kalkınma Bakanlığı, 2018. İş Sağlığı Güvenliği Çalışma Grubu Raporu. <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/04/IsSagligiGuvencaliGrubuRaporu.pdf>. Erişim Tarihi: 14.03.2022, Ankara.
5. Malatya Belediyesi, 2011. Urban Construction Site Regulation. <https://www.malatya.bel.tr/yonetmelikler/>. Erişim Tarihi: 14.03.2022, Malatya.
6. Chicago Department of Transportation, 2019. Chicago Public Way Construction Regulations. https://www.chicago.gov/content/dam/city/depts/cdot/Construction%20Guidelines/2019/2019_CDOT_Rules_and_Regs_101819.pdf. Erişim Tarihi: 14.03.2022, Chicago.
7. Berezutskyi, V., Berezutskaya, N., 2015. Indicators in Risk Management. *Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Rozdział 9*, 108-116.
8. İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, 2012. T.C. Resmi Gazete, Kanun Numarası: 6331, Sayı: 28339, Tarih: 30.06.2012. Erişim Adresi: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=6331&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5> Erişim Tarihi: 14.03.2022, Ankara.
9. Mum M., 2015. İstanbul'da Yaya Üst Geçitlerinin Güvenliği ve Kaza Risk Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 115.
10. Fine, W.T., 1971. Mathematical Evaluations for Controlling Hazards. Naval Ordnance Lab White Oak. Maryland, 34.
11. Kinney, G.F., Wiruth, A.D., 1976. Practical Risk Analysis for Safety Management. Naval Weapons Center China Lake CA, USA, 25.
12. Oturakçı, M., Dağsuyu, C., Kokangül, A., 2015. A New Approach to Fine Kinney Method and an Implementation Study. *Alphanumeric Journal*, 3(2), 83-92.
13. Köşek Özler, M., 2016. İş Sağlığı ve Güvenliğinde 3T ve Fine-Kinney Risk Analizi Yöntemleri ve Metal Sektöründeki Bir İşletmede Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 125.
14. Babut, G.B., Moraru, R., Cioca, L., 2011. Kinney-Type Methods: Useful or Harmful Tools in the Risk Assessment and Management Process. In *International Conference on Manufacturing Science and Education, Romania*, 1-5.
15. Kokangül, A., Polat, U., Dağsuyu, C., 2017. A New Approximation for Risk Assessment Using the AHP and Fine Kinney Methodologies. *Safety Science*, 91, 24-32.
16. Stankovic, M., Stankovic, V., 2013. Comparative Analysis of Methods for Risk Assessment-Kinney and Auva. *Safety Engineering*, 3(3), 129-136. Doi: 10.7562/SE2013.3.03.04.
17. Çakmak, E., 2014. Atölye Tipi Üretim Yapan Sanayi İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim Uzmanlığı Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Ankara, 265.
18. Özgür, M., 2013. Metal Sektöründe Risk Analizi Uygulaması. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Teftiş Kurulu Başkanlığı, İş Müfettişi Yardımcılığı Etüdü, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Ankara, 116.
19. Özçelik, A., 2013. İş Sağlığı ve Güvenliğinde Fine-Kinney Yöntemiyle Risk Yönetimi: Mermer İşletmesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 98.
20. Kılıcı, S., 2015. İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi Kapsamında Risk Değerlendirmesi: "Sağlık Sektöründe Bir Uygulama". Yüksek Lisans Tezi, Gediz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 54.

Appendix 1. Images from the Construction Site



InceptionResNetV2 ve Sınıf Aktivasyon Haritaları ile Akciğer Kanserinin Tespit Edilmesi

Erdal BAŞARAN*¹ ORCID 0000-0001-8569-2998

¹Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Ağrı

Geliş tarihi: 11.02.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atf şekli/ How to cite: BAŞARAN, E., (2022). InceptionResNetV2 ve Sınıf Aktivasyon Haritaları ile Akciğer Kanserinin Tespit Edilmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 341-349.

Öz

Akciğer kanseri, hayati tehlikesi son derecede yüksek olan bir hastalıktır. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre kanserden ölüm oranı en yüksek olan hastalıktır. Oldukça sinsi olan bu hastalık erken evrelerde herhangi bir semptom göstermemektedir. İlk evrelerde hastalık doğru teşhis edildiği takdirde tedavisi mümkün olan bir hastalıktır. Bilgisayarlı tomografi ile akciğer bölgesindeki kitleler tespit edilebilmekte ve deneyimli doktorlar tarafından teşhis konulabilmektedir. Derin öğrenme yöntemlerinden biri olan evrişimsel sinir ağı günümüzde birçok hastalığın tespit edilmesinde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Sınıf aktivasyon haritaları evrişimsel sinir ağı ile eğitilirken görüntünün ayırt edici bölgeleri önemine göre renklendirilmekte ve böylece hedef sınıfa yönelik önemli bölgeler tespit edilebilmektedir. Bu çalışmada bilgisayarlı tomografi ile elde edilen üç sınıftan oluşan toplam 1197 akciğer görüntüsü InceptionResNetV2 evrişimsel sinir ağı ile eğitilmiş sınıf aktivasyon haritaları ve görüntülere ait önemli bölgeler tespit edilerek bu bölgelere ait öznelikler çıkarılmıştır. Elde edilen öznelikler destek vektör makinaları ile sınıflandırılarak %95.44 doğruluk oranı ile sınıflandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akciğer kanseri, Inceptionresnetv2, Sınıf aktivasyon haritaları, Destek vektör makinaları

Diagnosis of Lung Cancer with InceptionResNetV2 and Class Activation Maps

Abstract

Lung cancer is a life-threatening disease. According to the World Health Organization, cancer is the disease with the highest mortality rate. This disease, which is quite insidious, does not show any symptoms in the early stages. If the disease is diagnosed correctly in the early stages, it can be treated. With computed tomography, masses in the lung region can be detected and diagnosed by experienced

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Erdal BAŞARAN, ebasaran@agri.edu.tr

doctors. Convolutional neural network, which is one of the deep learning methods, is successfully applied in the detection of many diseases today. When class activation maps are trained with a convolutional neural network, distinctive regions of the image are colored according to their importance, so that the important regions for the target class can be determined. In this study, a total of 1197 lung images consisting of three classes obtained by computed tomography, class activation maps were trained with the InceptionResNetV2 convolutional neural network, and the important regions of the images were determined that the features of these regions were obtained. The Obtained features were classified using support vector machines and classified with an accuracy rate of 95.44%.

Keywords: Lung cancer, Inceptionresnetv2, Class activation maps, Support vector machines

1. GİRİŞ

Akciğer kanseri diğer kanser çeşitleri arasında ölüm oranı en yüksek olan kanser çeşididir. Bu hastalığa tanı konulduktan sonra hayatta kalma oranı en düşük olan, ölüm sayısında ise her yıl kademeli bir şekilde artarak dünyadaki en riskli hastalıklardan biridir [1]. Dünya sağlık örgütünün kanserden kaynaklanan ölüm oranlarına bakıldığı zaman en fazla ölümün 1.8 milyon ile akciğerden kaynaklandığı bildirilmiştir [2]. Akciğer kanserinin temel nedeni, dünya çapında akciğer kanseri vakalarının yaklaşık % 80'ini hastaların sigara içmesine bağlanmıştır. Bu hastalığı erken evrede tespit etmek zordur ve akciğer kanseri teşhisi konan kişilerin yaklaşık % 25'i hiçbir semptom göstermemiştir [3]. Bilgisayarlı tomografi (BT), tıpta yaygın olarak kullanılan tanı yöntemlerinden biridir. BT cihazı ile akciğer kanserinin yanı sıra birçok hastalığın erken tanısı kolaylıkla konabilmektedir.

Derin öğrenme yöntemleri son zamanlarda tıbbi görüntüleme cihazları aracılığıyla görüntülerde kitle tespiti yapılabilmekte ve bunlar hastalık tipine göre sınıflandırılabilir [4][5]. BT görüntüleri ile bilgisayar destekli meme kanseri teşhisine yönelik olarak evrişimsel sinir ağı (ESA) ve yığılmış otomatik kodlayıcı (stacked autoencoder) iyi huylu ve kötü huylu görüntüler %84,15 doğruluk oranı ile sınıflandırılmıştır [6]. Görüntü kontrastları maksimum yoğunluk ağırlıkları yaklaşımı ile gama düzeltmesi işleminden sonra görüntü özelliklerinin çıkarılması için çoklu doku, nokta ve geometrik özellikler kullanılmış ve komşuluk bileşen analizi ile özellik

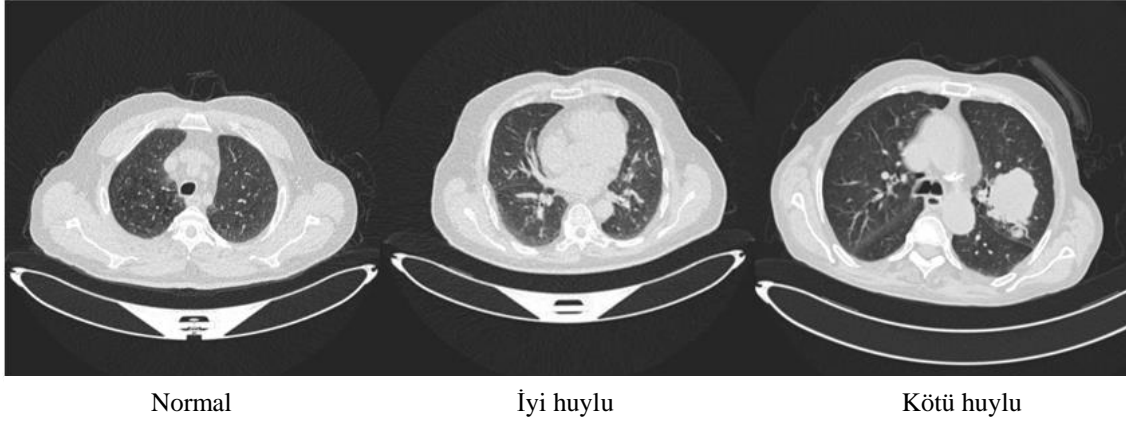
seçiminden sonra topluluk öğrenimi ile sınıflandırma gerçekleştirilmiştir [7]. Akciğer kanserine yönelik olarak yine ESA modeli olan DarkNet-19 mimari ile görüntüleri ait özellikler çıkarıldıktan sonra Equilibrium ve Manta Ray Foraging optimizasyon algoritmaları ile özellik seçim işlemi gerçekleştirilmiş ve SVM ile sınıflandırma yapılmıştır. Önerilen model aynı zaman kolon kanseri görüntüleri üzerinde de başarılı bir şekilde test edilmiştir [8].

Bu makalede akciğer kanserinin bilgisayar destekli teşhis edilebilmesi için class activation map algoritmasının SqueezeNet ESA modeli ile eğilerek başarılı bir sınıflandırma işlemi yapmaktır. Çalışmanın ikinci bölümünde kullanılan yöntem ve veri seti açıklandıktan sonra üçüncü bölümde deneysel çalışmaların sonuçlarına yer verilmiştir. Bunu sırasıyla tartışma ve sonuç bölümü izlemiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Veri Seti

Bu veri seti farklı aşamalarda kanser ve sağlıklı tanısı konan hastaların CT taramalarını içerir. BT görüntülerine onkologlar ve radyologlar tarafından etiketleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Veri setinde normal durum BT görüntü sayısı 416 iken iyi huylu BT ve kötü huylu BT sınıfına sahip görüntü sayısı sırasıyla 120 ve 561'dir. Veri setinde toplamda 1097 akciğer BT görüntü bulunmaktadır [9]. Veri setinde bulunan her bir sınıfa ait bir görüntü Şekil 1'de verilmiştir.

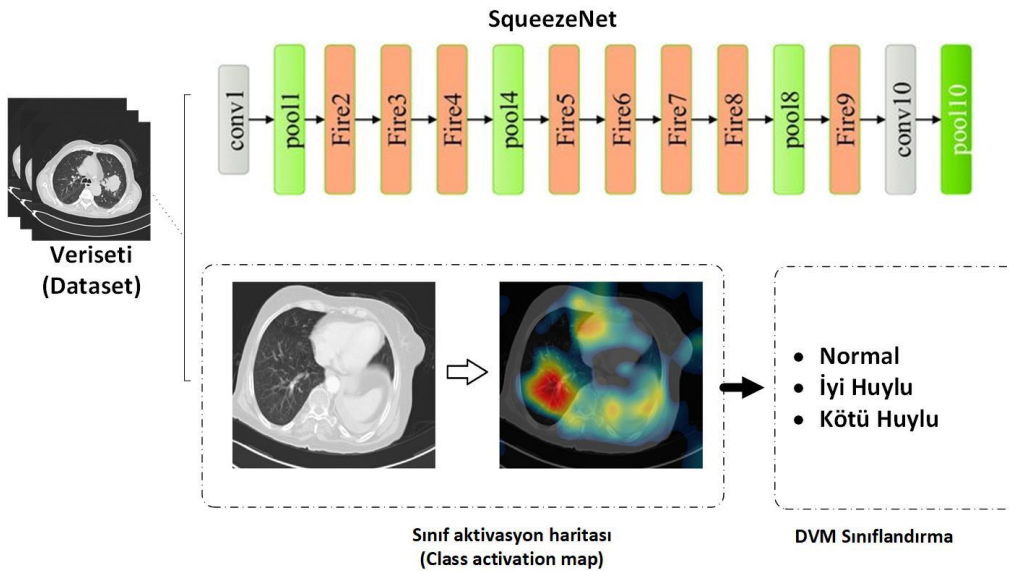


Şekil 1. Üç sınıflı veri setinden örnek resimler

2.2. Önerilen Yöntem

Bilgisayarlı tomografi (BT) cihazı ile elde edilen ve Normal akciğer BT, iyi huylu ve kötü huylu BT görüntüleri olmak üzere 3 sınıftan oluşan veri setini sınıflandırmak için ilk olarak SqueezeNet ESA modeli ile görüntüler sınıflandırılmıştır. Ardından Class Activation Map tekniği ile ESA modelleri sınıflandırma yapılırken görüntünün hangi bölgesinin sınıf hedefine yönelik olarak ayırt edici olmasına göre renklendirme tekniği

kullanılarak görüntünün önemli bölgeleri tespit edilmiştir. CAM tekniğini akciğer BT görüntüleri üzerinde uygulamak için SqueezeNet ESA modeli kullanılmıştır. Burada renk haritasını ortaya çıkarmak için ağın son konvolüsyon katmanını takip eden ReLu katmanı (relu_conv10) kullanılmıştır. Görüntüler renklendirildikten sonra CAM özellikleri elde edilmiştir ve bu özellikler destek vektör makinalarına giriş olarak verilmiştir. Önerilen modelin akış diyagramı Şekil 2 üzerinde gösterilmiştir.



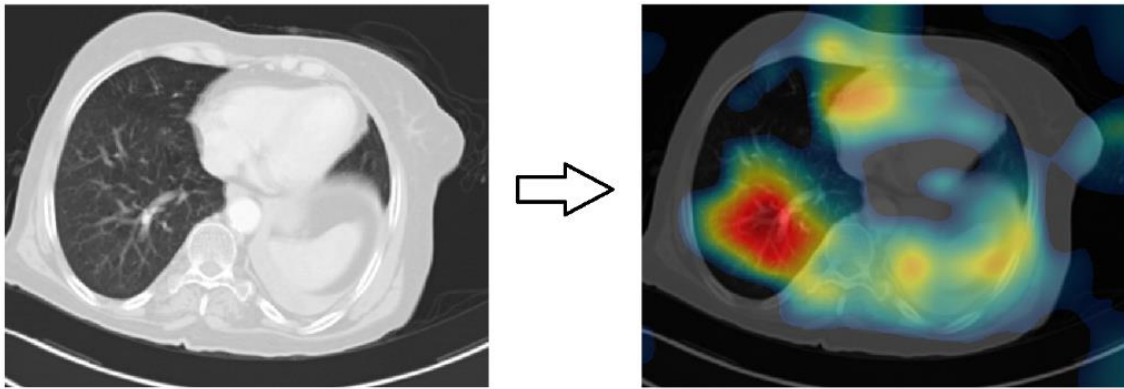
Şekil 2. Önerilen modelin akış diyagramı

2.3. SqueezeNet

Indola ve diğerleri tarafından önerilen bu sinir ağı mimarisi AlexNet mimarisine göre 50 kat daha az parametreye sahip olmasına rağmen AlexNet mimarisinin doğruluk oranına yaklaşmaktadır [10]. 18 katmandan oluşan SqueezeNet mimarisi tek bir evrişim katmanı (conv1), ardından sekiz Fire modülü (fire2–9) ve son olarak bir son evrişim katmanı (conv10) ile başlar [11]. SqueezeNet, giriş kanallarının sayısını azaltmak için sıkıştırma katmanları kullanılır [12]. SqueezeNet evrişim ağı kullanılır ve daha küçük ve daha etkili bir CNN mimarisi oluşturmak için yangın modüllerinin sıkıştırma ve genişletme katmanlarını kullanır [13]. Bu çalışmada akciğer BT görüntüleri SqueezeNet ESA modeli ile sınıflandırılırken aynı anda işlenen veri sayısı değeri olan mini-batch size 32 olarak seçilmiştir. Tüm eğitim verilerinin bir sefer ağı ile eğitime değeri olan epoch ise 16 olarak seçilirken öğrenme oranı ise 1×10^{-4} seçilmiştir.

2.4. Class Activation Map

Evrişimsel sinir ağlarında evrişim katmanı ile özellik haritaları elde edilir ve istenen çıktının elde edilmesi için bu özellikler tam bağlantılı katmanda kullanılır. Çıktı katmanının ağırlıkları özellik haritalarına geri yansıtılarak görüntüye ait önemli bölgeler belirlenmektedir bu işlem sınıf aktivasyon eşleşmesi olarak tanımlanan bir tekniktir [14]. Tam bağlantılı katmanları, küresel ortalama havuzlama ve 1×1 evrişim katmanı ile değiştirir. Bu yapı, derin evrişim katmanlarından özellik haritaları oluşturmak için sınıflandırıcıdaki kategori ağırlıklarını çarparak sınıflandırma ağındaki ayırt edilen bölge görselleştirilmektedir [15]. Kırmızı olan bölgeler ayırt ediciliği en yüksek olan bölge olarak renklendirilmektedir. Veri setinde bulunan görüntüye ait class aktivasyon haritası belirlenmiş olan örnek görüntü Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Class activation map ile Akciğer BT görüntüsüne ait önemli bölgelerinin tespit edilmesi

Evrişimsel sinir ağında, belirli bir sınıf c için, softmax katmanının girişini (S_c) belirtirsek, softmax'ın çıkışı $\exp S_c / \sum \exp S_c$ ile hesaplanabilir. S_c ise Eşitlik 1’deki hesaplanmaktadır:

$$S_c = \sum_k w_k^c \sum_{x,y} f_k(x,y) = \sum_{x,y} \sum_k w_k^c f_k(x,y) \quad (1)$$

Eşitlik 1’de $f_k(x,y)$; uzamsal konumdaki (x, y) son evrişim katmanında k biriminin aktivasyon

değerini temsil ettiğinde w_k , f_k sınıfı için f_k 'nin önemini göstermektedir. Ağı eğitilirken w değerini almak için geri yayılımı kullanırsak, o zaman M_c olarak belirtilen c sınıfının class activation map’i Eşitlik 2 ile hesaplanır:

$$M_c = \sum_k w_k^c f_k(x,y) \quad (2)$$

2.5. Destek Vektör Makinaları

DVM, denetimli bir makine öğrenme yöntemidir. Vapnik [16] tarafından geliştirilen bu makine öğrenme algoritması sınıflandırma ve regresyon problemlerinde kullanılmaktadır. Veriler hiper düzlem üzerinde başarılı bir şekilde sınıflandırılmaktadır. Veri setinin doğrusal olarak ayrılmadığı durumlarda doğrusal olmayan bir çekirdek işlevleri kullanılır [17]. Bu çalışmada akciğer BT görüntülerinden çıkarılan özellikler DVM ile sınıflandırılırken Cubik kernel kullanılmıştır. Kernel boyutu otomatik olarak seçilirken kutu sınırlama değeri 1 olarak seçilmiştir.

3. BULGULAR

Bu çalışmada yapılan deneysel çalışmaların başarı kriterlerini değerlendirmek için karmaşıklık

matrisinden yararlanılmıştır. Karmaşıklık matrisinde doğru pozitif (DP), yanlış pozitif (YP), doğru negatif (DN) ve yanlış negatif (YN) olmak üzere dört değer bulunmaktadır. Matematiksel olarak Eşitlik 3-7'de verilmiştir [18]. Bu çalışmada başarı kriterlerinin bir diğer ölçütü olan alıcı işlem karakteristik eğrisinden de yararlanılmıştır. Bu eğrinin altında kalan alan tanı testlerinde

karşılaştırma amacıyla kullanılmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda veri setinin %70'i eğitim için ayrılmıştır. Test için veri setinin %30'u ayrılmıştır.

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP+DN}{DP+DN+YP+YN} \quad (3)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP+YN} \quad (4)$$

$$\text{Özgüllük} = \frac{DN}{DN+YP} \quad (5)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP+YP} \quad (6)$$

$$\text{F-Skor} = \frac{2DP}{2DP+YP+YN} \quad (7)$$

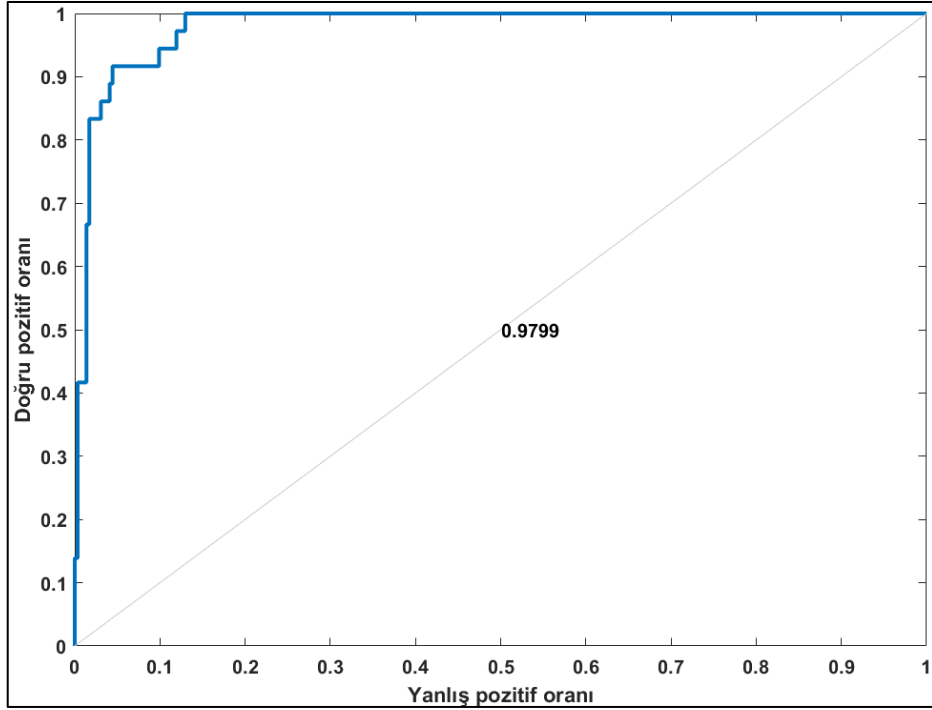
Akciğer BT görüntülerini sınıflandırmak için CAM algoritması SqueezeNet modeli ile eğitilmiştir. Bu yöntemin SqueezeNet ESA modeline göre başarısına bakmak için ilk olarak veri seti SqueezeNet modeli ile sınıflandırılmıştır. Yapılan sınıflandırma sonucunda BT görüntüleri %92,71 doğruluk oranı ile sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonucunda elde edilen başarı kriterleri sonuçları Çizelge 1'de karmaşıklık matrisi ve alıcı işlem karakteristiği (AİK) eğrisi sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir.

Çizelge 1. SqueezeNet modeli ile akciğer BT görüntülerinin sınıflandırma sonuçları

ESA Modeli	Doğruluk	Duyarlılık	Özgüllük	Kesinlik	F-Skor
SqueezeNet	92,71	79,82	96,18	91,02	82,47

İyi Huylu	15	0	21
Kötü Huylu	0	167	1
Normal	2	0	123
	İyi Huylu	Kötü Huylu	Normal

Şekil 4. SqueezeNet modeli ile akciğer BT görüntülerinin sınıflandırma sonucu elde edilen karmaşıklık matrisi



Şekil 5. SqueezeNet modeli ile akciğer BT görüntülerinin sınıflandırma sonucu elde edilen AİK eğrisi

İkinci aşamada CAM algoritması SqueezeNet ESA modeli ile eğitildikten SqueezeNet modeline göre görüntünün ayırt edici bölgeleri renklendirilmiştir ve ardından renklendirilen bölgelere ait özellikler çıkarılmıştır. Son olarak bu özellikler DVM ile

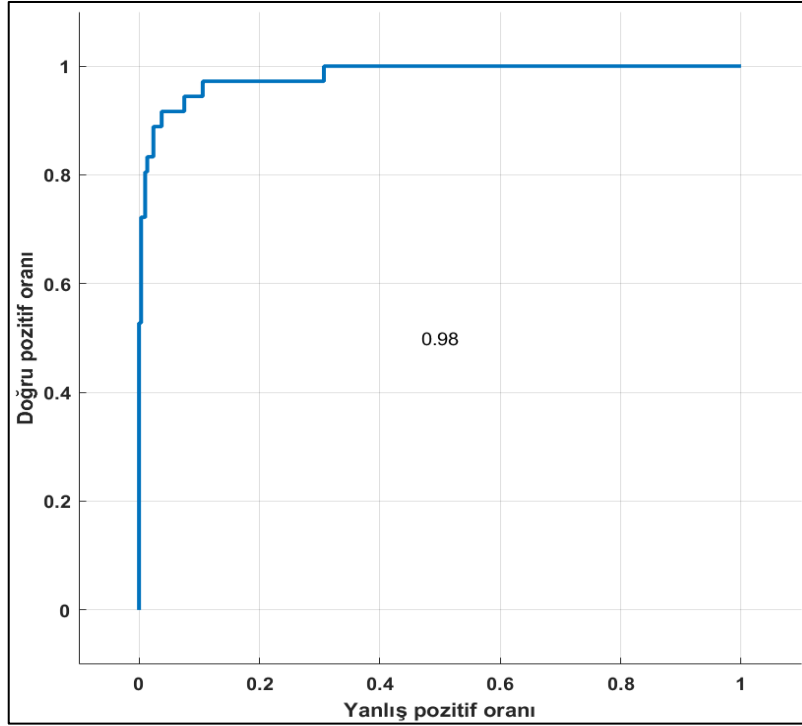
sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonucunda %95,44 doğruluk oranı elde edilmiştir. DVM algoritması ile elde edilen başarı kriterleri Çizelge 2’de karmaşıklık matrisi ve AİK eğrisi ise Şekil 6 ve Şekil 7’de verilmiştir.

Çizelge 2. CAM algoritması özellikleri ile akciğer BT görüntülerinin SVM sınıflandırma sonuçları

Metod	Doğruluk	Duyarlılık	Özgüllük	Kesinlik	F-Skor
DVM	95,44	91,00	97,61	93,85	92,24

İyi Huylu	28	1	7
Kötü Huylu	1	164	3
Normal	2	1	122
	İyi Huylu	Kötü Huylu	Normal

Şekil 6. CAM algoritması özellikleri ile akciğer BT görüntülerinin SVM sınıflandırma sonucu elde edilen karmaşıklık matrisi



Şekil 7. CAM algoritması özellikleri ile akciğer BT görüntülerinin SVM sınıflandırma sonucu elde edilen AİK eğrisi

4. TARTIŞMA

Sigara içmenin başlıca bir faktörü olarak meydana gelen akciğer kanseri, kansere sebebi ölümde ilk sıralarda yer almaktadır. Erken evrede hastalık tespit edilip tedavi süreci başladığı takdirde bu hastalık ile baş etme oranı artmaktadır. Hastalık şüphesi ile kliniğe başvurulduğunda radyologlar tarafından çekilen akciğer BT görüntülerinin yorumlanması önem arz etmektedir. Bu çalışmada akciğer BT görüntüleri ile hastalığın yüksek doğruluk oranı ile tespit edilebilmesi için class activation map SqueezeNet ESA modeli ile eğitilerek BT görüntülerinde ayırt ediciliği yüksek olan bölgelerin tespit edilerek yapılmıştır. Ancak class activation map algoritması ile BT görüntüleri ile önemli bölgeleri renklendirildiği zaman bazı görüntülerde bazı görüntüler incelendiğinde ilgisiz bölgelerin renklendirildiği fark edilmiştir. Bu problemin ortadan kaldırılması için belki farklı ESA modelleri ile class activation map eğitilerek giderilebilir. Bu çalışmada kullanılan veri seti ile

yapılan çalışmaların önerilen model ile performans sonuçlarının karşılaştırılması Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Aynı veri seti ile yapılan çalışmaların karşılaştırılması

Yazar	Yıl	Yöntem	Doğruluk Oranı (%)
Hamdalla ve arkadaşları [19]	2021	Ön işleme, segmentasyon, GLCM, DVM	89,88
G Ashwin ve arkadaşları [20]	2021	Ön işleme, bölge bazlı özellikler, Ensemble sınıflandırıcı	85
Bu çalışma	2022	InceptionResNe tV2, class activation map, DVM	95,44

Hamdalla [19], etkili bir sınıflandırma işlemi gerçekleştirmek için BT görüntülerinin gürültü gidermek için gauss filtresi uygulamışlardır. Ardından açık renkli olan pikseller beyaz renge koyular ise siyah renge dönüştürüldükten sonra otsu segmentasyon ile bölütleme işlemi yapılmıştır. Bölgeye ait öznelikler Gabor filtreleme ve gri seviyeli eş oluşum matrisi ile çıkarılarak DVM ile sınıflandırmıştır. Benzer şekilde G Ashwin [20] ve diğerleri de ön işleme ve segmentasyon işlemi için aynı yöntemi kullanmıştır. Ardından lezyon bölgesine ait geometrik şeklin çevresi, ortalama piksel yoğunluk değeri gibi el-yapımı özellikler çıkarıldıktan sonra en yüksek doğruluk oranı ensemble yöntem ile elde edilmiştir. Çalışmalarda geleneksel modeller yerine ESA modelleri görüntülere ait detaylı özellik öğrenme yeteneklerine sahip olduğundan dolayı görüntüler eğitildikten sonra konvolusyon veya tam bağlı katmana ait öznelikler ile sınıflandırma yapılsaydı daha iyi performans değerine ulaşabilirdi [21].

5. SONUÇ

Bu çalışmada akciğer BT görüntülerinin sınıflandırılması için InceptionResNetV2 modeli ile class activation map algoritmasıyla görüntülerin ayırt edici bölgeler başarılı bir şekilde tespit edilmiştir. Tespit edilen özneliklerin sınıflandırılması için DVM algoritması kullanıldı. Doğrudan InceptionResNetV2 modeli ile görüntüler %92,71 doğruluk oranı ile sınıflandırılırken class activation map ile önemli bölgelere ait özneliklerin DVM ile sınıflandırılması sonucun %95,44 doğruluk oranı elde edilmiştir.

Gelecekte farklı ESA modelleri ile class activation map eğitilerek geniş öznelik elde edildikten sonra sınıflandırma işlemi yapılması planlanmaktadır.

6. KAYNAKLAR

1. Chaudhary, A., Singh, S.S., 2012. Lung Cancer Detection on CT Images by Using Image Processing. International Conference on Computing Sciences (ICCS 2012), 142–146,

- Phagwara, India.
2. “Cancer,” 2020. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer>, Erişim Tarihi: 07.02.2022.
 3. Singh, G.A.P., Gupta, P.K., 2019. Performance Analysis of Various Machine Learning-based Approaches for Detection and Classification of Lung Cancer in Humans. *Neural Computing and Applications*, 31(10), 6863–6877.
 4. Toğaçar, M., Ergen, B., 2019. Biyomedikal Görüntülerde Derin Öğrenme ile Mevcut Yöntemlerin Kıyaslanması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(1), 109–121.
 5. Gao, F., 2018. SD-CNN: A Shallow-Deep CNN for Improved Breast Cancer Diagnosis. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 70, 53–62.
 6. Song, Q., Zhao, L., Luo, X., Dou, X., 2017. Using Deep Learning for Classification of Lung Nodules on Computed Tomography Images. *Journal of Healthcare Engineering*, 1-7.
 7. Khan, M.A., 2020. Lungs Cancer Classification from CT Images: An Integrated Design of Contrast Based Classical Features Fusion and Selection. *Pattern Recognition Letter*, 129, 77–85.
 8. Toğaçar, M., 2021. Disease Type Detection in Lung and Colon Cancer Images Using the Complement Approach of Inefficient Sets. *Computers in Biology and Medicine*, 137, 104827.
 9. “The IQ-OTHNCCD Lung Cancer Dataset,” 2020, [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/antonixx/the-iqothnccd-lung-cancer-dataset>. Erişim Tarihi: 01.02.2022.
 10. Iandola, F.N., Han, S., Moskewicz, M.W., Ashraf, K., Dally, W.J., Keutzer, K., 2016. SqueezeNet: AlexNet-Level Accuracy with 50x Fewer Parameters and < 0.5 MB Model Size. *arXiv Prepr. arXiv1602.07360*.
 11. Sayed, G.I., Soliman, M.M., Hassanien, A. E., 2021. A Novel Melanoma Prediction Model for Imbalanced Data Using Optimized Squeezenet by Bald Eagle Search Optimization. *Computers in Biology and Medicine*, 136, 104712.
 12. Fan, J., Bi, S., Xu, R., Wang, L., Zhang, L., 2022. Hybrid Lightweight Deep-Learning

- Model for Sensor-Fusion Basketball Shooting-Posture Recognition. *Measurement*, 189, 110595.
13. Ucar, F., Korkmaz, D., 2020. COVIDiagnosis-Net: Deep Bayes-SqueezeNet Based Diagnosis of the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) from X-ray Images. *Medical Hypotheses*, 140, 109761.
 14. Zhou, B., Khosla, A., Lapedriza, A., Oliva, A., Torralba, A., 2016. Learning Deep Features for Discriminative Localization. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2016)*, 2921–2929. Las Vegas, USA.
 15. Zhang, R., Meng, F., Li, H., Wu, Q., Ngan, K.N., 2022. Category Boundary Re-Decision By Component Labels to Improve Generation of Class Activation Map. *Neurocomputing*, 469, 105–118.
 16. Cortes, C., Vapnik, V., 1995. Support-Vector Networks. *20(3)*, 273–297.
 17. Sonmez, M.E., Eczacıoglu, N., Gumuş, N.E., Aslan, M.F., Sabanci, K., Aşikkutlu, B., 2022. Convolutional Neural Network-support Vector Machine Based Approach for Classification of Cyanobacteria and Chlorophyta Microalgae Groups. *Algal Research*, 61, 102568.
 18. Toğaçar, M., Ergen, B., Sertkaya, M. E., 2019. Zatiirre Hastalığının Derin Öğrenme Modeli ile Tespiti. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31,1.
 19. Kareem, H.F., AL-Husieny, M.S., Mohsen, F.Y., Khalil, E.A., Hassan, Z.S., 2021. Evaluation of SVM Performance in the Detection of Lung Cancer in Marked CT Scan Dataset. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 21(3), 1731–1738.
 20. Ashwin, S.G., Anurag, P.K., Reddy, N.V.S., Ashwath, R.B., 2022. Prediction of Lung Cancer Using Ensemble Classifiers. *Journal of Physics: Conference Series*. 2161, 1,12007.
 21. Kim, H., Jung, W.K., Park, Y.C., Lee, J.W., Ahn, S.H., 2022. Broken Stitch Detection Method for Sewing Operation Using CNN Feature Map and Image-processing Techniques. *Expert Systems with Applications*, 188, 116014.

Investigation of Flame Retardancy Effect of Licorice Root Extract on Cotton and Cotton-Polyester Blended Fabrics

Aslıhan KORUYUCU*¹ ORCID 0000-0002-8443-5188

Fehmi Çağlar BALABAN² ORCID 0000-0002-5968-4764

¹Namık Kemal University, Çorlu Faculty of Engineering, Department of Textile Engineering, Tekirdağ

²Zorluteks Tekstil, Kırklareli

Geliş tarihi: 06.01.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: KORUYUCU, A., BALABAN, F.Ç., (2022). Investigation of Flame Retardancy Effect of Licorice Root Extract on Cotton and Cotton-Polyester Blended Fabrics. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 351-366.

Abstract

In this study; licorice root, which is a sustainable natural material with a low environmental waste load, is used as an alternative fire retardant (FR) material. Flammable retardancy properties of 100% cotton and 50% cotton-50% polyester blended woven fabrics were researched by using licorice root and commercial organic phosphorus-nitrogen and phosphorus including compounds. Flame retardancy and thermal decay behaviour of the cotton and cotton/polyester blended fabric samples were qualified by the vertical burning test, limiting oxygen index (LOI), thermogravimetric analysis (TGA) and scanning electron microscope (SEM). The findings revealed that licorice root extracts enhanced the thermal behavior of the cotton and cotton/polyester blended fabrics after padding and coating processes. The practices increased the amount of oxygen demand for combustion in the environment and besides they did not change the morphological properties of the fabric samples. As a result, the usage of licorice root extracts considerably improved the fabric's flammability under test.

Keywords: Licorice root, Burning test, LOI, SEM, TGA

Meyan Kökü Ekstraktının Pamuk ve Pamuk-Poliester Karışım Kumaşlarda Güç Tutuşurluğa Etkisinin İncelenmesi

Öz

Bu çalışmada; çevre atık yükü düşük ve sürdürülebilir doğal malzeme olan meyan kökü alternatif FR materyali olarak kullanılmıştır. %100 pamuklu ve %50 CO/%50 PES karışım dokuma kumaşların alev geciktirici özellikleri meyan kökü ve ticari organik fosfor-nitrojen ve fosfor içeren bileşikler kullanılarak iyileştirilmiştir. Pamuk ve pamuk/poliester karışım kumaş numunelerinin termal bozunma davranışı dikey yanma testi, limit oksijen indeksi (LOI) ve termogravimetrik analizi (TGA) ile karakterize edilmiştir. Ham ve uygulanmış kumaşın yüzey morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak

* Corresponding author (Sorumlu yazar): Aslıhan KORUYUCU, adelituna@nku.edu.tr

incelenmiştir. Sonuç olarak; meyan kökünden elde edilen ekstraktlarla yapılan emdirme ve kaplama işlemlerinin pamuk ve pamuk/poliester karışımı kumaşların termal dayanım özelliklerinde iyileşme sağlamıştır. Kumaşların alev alması için ortamda bulunması gereken oksijen miktarında olumlu yönde artış sağladığı, kumaş morfolojisinde olumsuz herhangi bir etkiye sebep olmadığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, meyan kökü ekstraktlarının kullanılması kumaşın alev alabilirliğinin önemli ölçüde artmasına neden olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Meyan kökü, Yanma testi, LOI, SEM, TGA

1. INTRODUCTION

Textile is widely applied to clothing, knitwear and home textiles because of outstanding softness and breathability. However, due to its greatly flammability, it was essential and crucial to impart the flame retardancy to fabrics [1].

There are many factors that influence the flammability of textiles. These factors include composition of the fibers, the presence of certain finishes, the geometry or position of the material; the temperature and the existence of oxygen, the extent of heat and material modification and the existence or absence of flame retardants. Various fibres react differently to a flame exposure [2].

To guarantee human safety, textiles can be treated with different flame (fire) retardants (FR). These are chemicals that reduce the flammability of the material to which they are applied [3]. Fire-retardant materials do not burn; however, these materials show certain physical and chemical modifications after the removal of a flame source [3].

Flame retardants including phosphorus (P), nitrogen (N) and silicone (Si) elements appeal to lots of attention, because of their perfect flame resistance and insignificant influence on the natural properties of materials [5-7]. Licorice includes mineral salts (such as calcium, phosphorus, sodium, potassium, iron, magnesium, selenium, manganese, zinc, copper and silicone) [4]. By adding the suitable fire-retardant elements, phosphorus and silicone, the resulting coating can supply the emphasising material with good flame properties. Phosphorus and silicone elements have been brought out because of their perfect

carbonization and flame retardancy [8]. Phosphorus-including compounds are emphasized to be among the most influence exerting flame retardants, as illustrated in many current studies [9-11]. This kind of FRs is qualified by their great influence grade of flame retardancy. They can alter the chemical reactions of decay; they produce a surface layer of protective char during fire before the unburned structure materials begin to decompose [12-14]. Silicone-including compounds are emphasized to be one of the “environmentally friendly” flame retardant materials. In spite of the fact that some certain studies have proved, they themselves do not have enough flame retardant properties to fulfill practice necessities, when they are used in addition to phosphorus-including flame retardant, there is certain synergistic influence between them [15,16].

Flame retardancy (FR) specification is desirable in various conventional textile applications such as home textiles, apparel as well as technical textile practices in order to protect consumers from unsafe textile materials. Flame-retardant coatings can be applied in many fields, such as building construction, electrical practices, textiles, electronics and transportation [17,18]. Being the most used fibers in these practices, cotton (CO) and polyester (PET or PES) are greatly flammable and they burn easily. The physical and chemical properties of cotton and polyester contrast greatly; cotton is hydrophilic, while polyester is hydrophobic. Reagents repelled by polyester are absorbed by cotton [1,19].

Cotton is one of the perfect natural materials that has been widely used in many fields, particularly in textile industry such as carpets, curtains, and clothing [20,21]. Cotton fabrics have good hydrophilicity, softness, and hygroscopicity. Since

it is greatly flammable, the flame-retardant cotton textiles have accepted significant attention from both industry and academia [22-25].

Conventional flame-retardant cotton textiles are mostly produced by the flame-retardant agents including halogens and phosphorus. However, the burning of the halogen flame-retardant generates a large amount of toxic gas, which leads to secondary pollution. Phosphorus flame-retardant has a inadequate surface treatment on the textile substrates due to the deficiency of suitable anchor groups for the fixation on the fiber surface [26].

Phosphorus and/or halogen compounds are among the fire retardants that confer good protection to polyester. Phosphorus compounds are produced for use with both cotton and polyester fibres [27]. These compounds act mainly in the solid phase and during heating. They generate phosphoric acid, which in turn reacts with the substrate to become a char producing a carbon layer [28,29]. By producing a carbon layer, these compounds prevent supply of oxygen and flammable gases which makes enhancement of flames difficult [30].

2. REVIEW OF LITERATURE

The naturally flammable materials with padding method to polyester fabric a flame retardant feature were reviewed by Ömeroğulları et. al. [30]. It was emphasized that a flammable substance is a naturally flammable substance depending on CaCO_3 made from limestone. There was a 39.5% increase in LOI (Limiting Oxygen Index) values and it was noticed that polyester fabric burned without dripping and melting during the burning test. Comparison was made with phosphonate based flame retardant material, which is frequently used for the production of flame retardant polyester fabric and it was detected to burn five times longer than the fabric treated with this substance [30].

The chitosan phosphate as a new way to generate environmentally friendly flammable cotton textiles were analyzed by El-Tahlawy et. al.[31]. It was underlined that chitosan amino groups became

more reactive than cellulose hydroxyls, citrate salt facilitated the phosphorylation reaction. It was noticed that chitosan concentration from 0% to 2% increased cotton fabric's flame retardancy. Increasing the amount of chitosan limited influence on thermal decay of the fabric has been achieved by increasing the chitosan concentration mostly 2% [31].

The herbal extracts were tried as a new way to generate environmentally friendly flammable cotton fabric; with the use of spinach leaf juice, which is an environmentally friendly natural product. Cellulosic fabrics that have a flame retardant feature were examined by Basak et. al. [32]. Spinach juice (SJ) was made alkaline and bleached, and then practiced to mercerized cotton fabric. LOI values of untreated control fabric and treated fabric were measured. The study proved that the treated fabrics had better flame retardancy properties than the control fabric. It was noticed that the LOI value increased 1.6 times after the SJ practice. It was also noticed that there was not much loss in LOI values after washing fastness [32].

The fulfillment of aqueous casein suspensions on flame retardancy by coating rotational pressures at different pH and concentrations on cotton fabrics were examined by Faheem et. al. [33]. As a result, in both alkaline and acidic environments, flame resistance increased with increasing casein concentrations. In terms of thermooxidative properties, the suspension, which is in an acidic environment, was notified to be in a better condition than the suspension in an alkaline environment. Better fulfillment was acquired from the suspension in acidic environment with the help of ammonia release easier than protonated casein.

Thermally stable and hygienic cotton fabric with the material acquired through the extraction of coconut shell were analyzed by Teli and Pandit [34]. In this study, *Cocos nucifera* linn was practiced to cotton fabrics by padding in acidic, neutral and alkaline environments. Flammability properties were analyzed by LOI measurement and vertical combustion tests. All treated fabrics

proved better flame resistance compared to untreated fabrics, and it was noticed that the practice in alkaline environment increased the LOI value by 72.2% or more.

The zinc borate (ZnB) was effectively used as a flame retardant for polyester and the results were analyzed by Üreyen et. al. [35]. In this study, zinc borate was used as a flame retardant, a smoke suppressant and an antitracking agent in several practices. In this work, the influence of ZnB on the flame retardancy of PET (poly (ethylene terephthalate) woven fabrics was analyzed. ZnB dispersion was mixed with low-produce aldehyde melamine resin based cross-linking agent and it was practiced to PET fabrics by pad-dry-cure method.

The purpose of current study is the production of licorice root extract macromolecules to be used as flame retardancy products that are harmless to the environment and also ecological. Therefore, in this study, naturally flammable macromolecules were practiced to 100% cotton and 50% cotton-50% polyester fabrics by using padding and coating methods.

Unlike the studies reported in the literature, licorice root was practiced to the cotton and cotton/polyester fabrics by using padding and coating methods. The thermal stability of samples was analyzed by TGA analysis with a heating rate of 20°C/min and the temperature range was differentiated from 32°C to 900°C under the atmosphere of air. SEM was employed to study the surface morphology of the padding and coating samples. Being a measure that enables an obvious assessment of flame protection properties is the limiting oxygen index (LOI) was calculated. The results were presented, evaluated and discussed.

3. MATERIALS AND METHODS

In this study, licorice roots to be extracted were supplied by considering the same batch and lot number. In the extraction process, 99% purity isopropyl alcohol was used as the solvent.

100% cotton and 50%-50% cotton/polyester fabrics were used in this study. The cotton and cotton/polyester fabrics had a plain weave, unit weight of 110.3 g/m², and had both weft and warp threads of 30/1 Ne. The structures and finishing process of the fabrics that will be subjected to padding and coating using extraction process. The flame retardant agents; Ruco-Flam NMT (organic phosphorus-nitrogen compounds), EOC FRD 41 BO (phosphorus compounds) are commercial flame retardant chemicals, and they were supplied by Rudolf-Duraner and EOC Group Company for the coating processes.

3.1. Method

Licorice roots with the same batch and lot number were supplied for extraction studies. Foreign products and chemical drugs on licorice roots were removed by pre-washing with distilled water. After pre-washing, the licorice root (10 g) was mixed with 300 mL distilled water. Licorice roots were kept in the oven at 75°C for 24 hours after pre-washing and later dried. The materials were mechanically divided into small pieces by hand mixer after drying. Figure 1 shows the mechanical disintegration of licorice.



Figure 1. Mechanical disintegration of licorice

Three different analytical extraction methods can be used for licorice root extraction which were acid precipitation, alcohol and ammonia extraction [10]. In this study, isopropyl alcohol extraction method was used. Mechanically disintegrated materials were added separately into isopropyl alcohol with a purity of 99% according to the

recipe given in Table 1. Isopropyl alcohol-licorice root solutions were mixed with a mechanical stirrer at 900 rpm for 48 hours without contact with air.

Table 1. Extraction solution recipe

Used materials	Amount	Isopropyl alcohol (solvent) amount
Licorice root	5kg	20 liter

After mixing, the solutions were filtered once with Macherey-Nagel MN-GF-3 filter papers. The filtration process of isopropyl alcohol-licorice root solutions with filter paper was presented in Figure 2.



Figure 2. Filtration of isopropyl alcohol-licorice root solutions with filter paper

After filtration, the solutions were heated up to 85°C to complete the extraction and to remove isopropyl alcohol. Extraction precipitate was obtained at the end of the evaporation progress. The acquired extraction precipitate was presented in Figure 3.



Figure 3. Extraction precipitate

The elemental composition of biomolecules obtained as a result of extraction of licorice were measured in Shimadzu EDX-8000 x-ray fluorescent spectrometer. Elemental analysis was performed by taking 30 g from the extraction sample. Elemental analysis of 1.5 mg Si and 0.6 mg P was acquired in 30 g of licorice root extract. Flame retardants containing phosphorus (P), nitrogen (N) and silicone (Si) elements attract plenty of attention, due to for their excellent flame resistance and slight influence on the natural properties of materials [36-38]. Certain researchers notified that the compound which consisted of P, N and Si elements could supply the polymer with better flame retardant specification [39]. Two flame retardant chemicals were used in pad-dry-cure system (Prowhite, horizontal padder and Ataç EV 250 oven) in order to optimize the amounts and to determine the influences of chemical agents on the functionalities of the textile structures.

100% cotton and 50%-50% cotton-polyester fabrics were padded with acrylate copolymer binders containing finishing bath using a laboratory padding and a coating machine. A wet pick-up ratio of 85% was used. After applying auxiliary chemicals in padding bath with a wet pick-up ratio of 85%. After padding and coating, the all samples were dried at 100 °C for 2 min and cured at 150 °C for 2 min.

The prepared recipes were given in Table 2. According to the recipes in Table 2, the preparation of licorice root solutions for the coating method could be between 1% and 5% [40].

According to the recipes in Table 2, the preparation of licorice root solutions for the padding method could be between 2.5% and 10% [41].

Table 2. The recipes applied to the samples

Component	Quantity (g/kg)
Licorice root extract	12 g
Citric acid monohydrate	0.6 g
Disodium hydrogen phosphate	0.6 g

Acetic acid (pH adjuster)	
Pure water	250 ml
pH	4
Component	Quantity (g/kg)
Ruco-Flam NMT	12g
Citric acid monohydrate	0.6 g
Disodium hydrogen phosphate	0.6g
Acetic acid (pH adjuster)	
Pure water	250 ml
pH	4
Component	Quantity (g/kg)
Licorice root extract	150g
Hard binder	200g
Soft binder(acrylic binder)	100g
Crosslinker	15g
Thickener	20g
Pure water	515g
Component	Quantity (g/kg)
ECO RFD 41 BO	150g
Hard binder	200 g
Soft binder (arcylic binder)	100 g
Crosslinker	15g
Thickener	20g
Pure water	515g

3.2. Determination of Flame Retardancy of Treated Fabrics

Surface morphology of the treated 100% cotton and 50%-50% cotton-polyester were tested by Fei Quanta Feg 250 scanning electron microscope (SEM).

The thermogravimetry evaluates the gradual mass loss of a specimen with regard to time at an amount of heating rate. It also signifies the influence of any flame retardant chemical on the

pyrolysis of the polymer substrate [42]. The TGA of the polymers and licorice root extracts were performed by using Thermal Analyzer (TGA-Perkin Elmer Diamond). Tested samples for padding and coating were in 12 wt % and 150 wt %, respectively. The specimens were placed in platinum crucibles and subjected to a temperature ranging from 32 °C to 900°C in N₂ gas with a heating rate of 20°C/min.

Flammability properties of the untreated and treated specimens were analyzed in vertical flammability. The vertical burning test was accomplished in the burning chamber according to the DIN 53906 standard. For LOI analysis, ASTM D2863 test method was used [43]. For each measurement, padded and coated cotton and cotton/polyester blend fabric samples were cut into strips of 52x140 mm.

4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1. SEM Analysis

The changes in fiber geometry as a result of padding and coating application of films were qualified as magnification of 4000, shown in Figures 4, 5, 6 and 7, respectively. SEM was discussed to analyze the morphology of the untreated and treated fabrics. It was observed that the surface of the original fabric was smooth, as shown in Figures 4, 5, 6, 7(a). After further treatment with licorice root extract, circular substances emerged on the surface of the cotton and cotton/polyester fibers, which may be due to the attachment of the flame retardant; Figures 4, 5, 6, 7 (c). This is particularly noticed with different amounts of licorice root extract, 12 and 150 wt %, in Figures 4, 5, 6, 7 (c), respectively. According to result in all SEM (c) images, surfaces of fabrics had certain impurities that could result from licorice root extracts. The existence of the char residues supported that the cellulose phosphate ester process via the reaction of hydroxyl groups of cellulose with phosphoric acid. The existence inorganic residues remained decay of flame retardant additives on fiber surfaces.

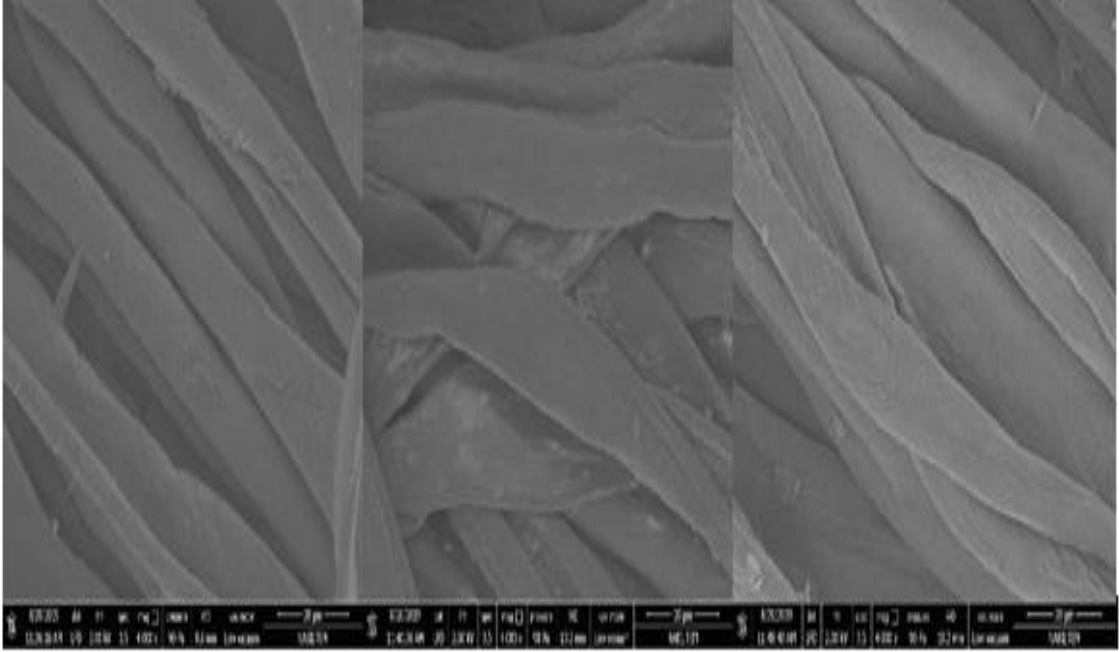


Figure 4. SEM images of unpadded cotton (a), padded with 12 g licorice root (c), padded with commercial flammable chemical (d)

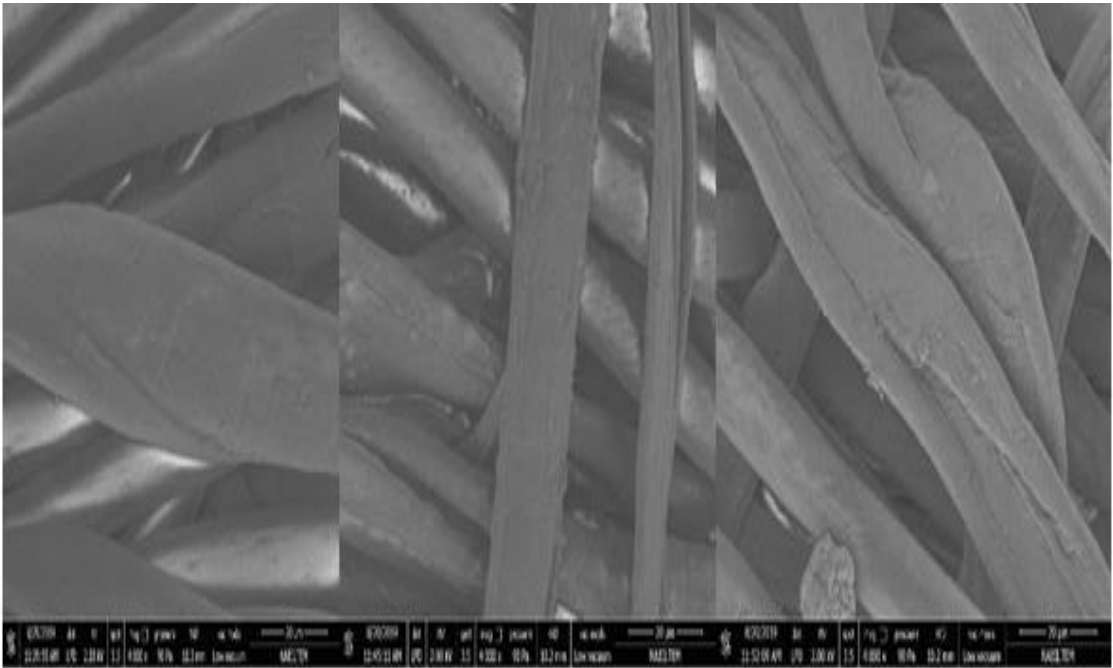


Figure 5. SEM images of unpadded Cotton/Polyester blend (a), padded with 12 g licorice root (c), padded with commercial flammable (d)

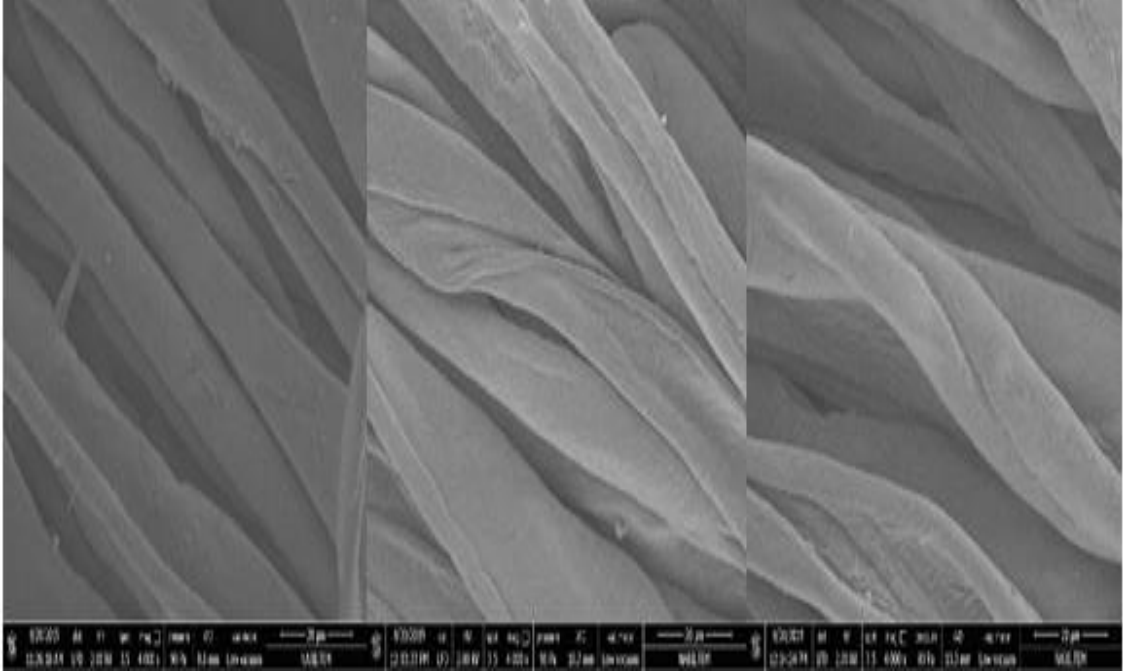


Figure 6. SEM images of uncoated cotton (a), coated with 150 g licorice root (c), coated with commercial flammable chemical (d)

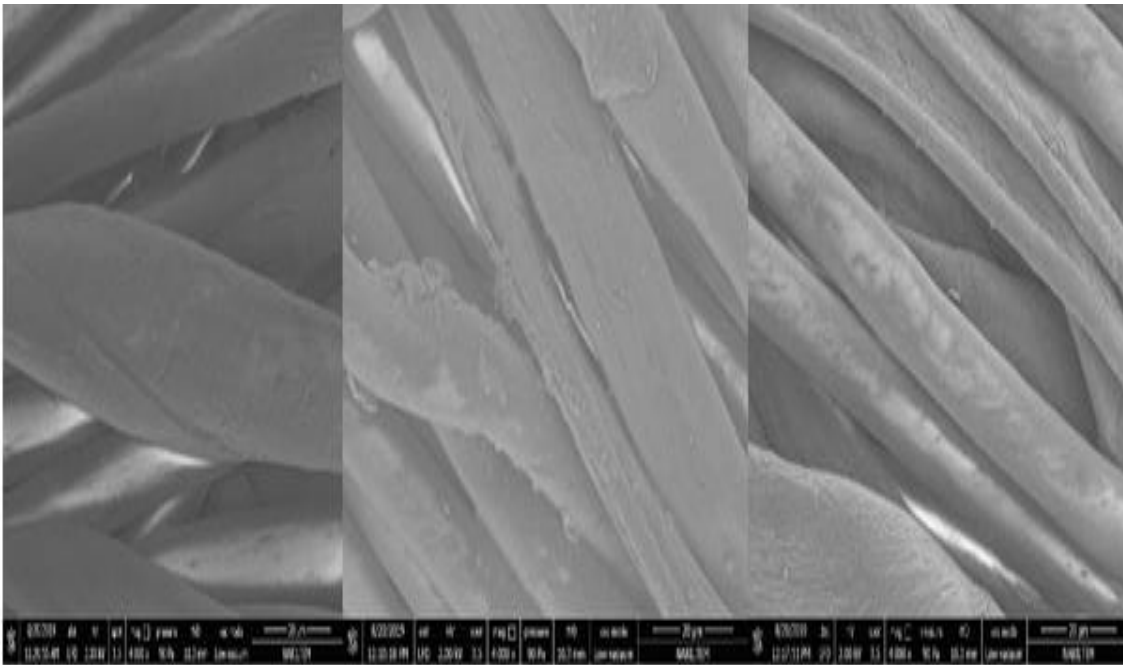


Figure 7. SEM images of uncoated Cotton/Polyester blend (a), coated with 150 g licorice root (c), coated with commercial flammable chemical (d)

Padding and coating processes with licorice root extract did not cause a serious change in the geometry of the 100% cotton and 50% cotton/50% polyester blended fibers. The interaction of licorice root extract with fiber was investigated by SEM. In SEM images; it was observed that the extraction products and commercial flame retardant chemicals were collected on the surface of the fibers.

4.2. Thermogravimetric Analysis (TGA)

Figures 8-11 show the TGA plots performed in N_2 and O_2 atmospheres of the cotton (A) and 50% cotton/50% polyester (B) woven fabrics at a heating rate of $20\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$.

The TGA arches of A and B specimens confirmed two levels of advancement. In the initial level at temperature over $300\text{ }^\circ\text{C}$, the little mass loss occurred mainly due to the elimination of bound and unbound absorbed humidity from the cellulose polymer [42].

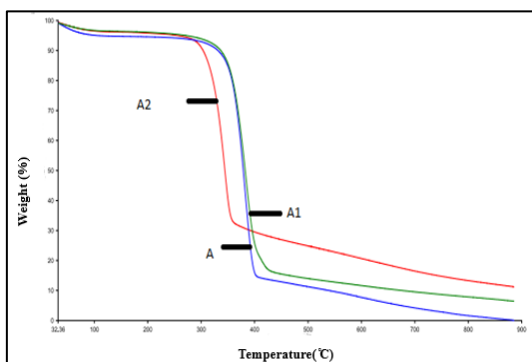


Figure 8. TGA arches of 100% cotton fabric (padding method) a-untreated [A] b-12 g. licorice root extract [A1] c-12 g. commercial flammable chemical [A2]

The TGA arch A, shows the beginning of decay at temperatures between $380\text{ }^\circ\text{C}$ and $880\text{ }^\circ\text{C}$, relying on the atmosphere (N_2 or O_2). The decay of cotton in N_2 is tracked by a second loss of mass that could be attributed to char pyrolysis up to $880\text{ }^\circ\text{C}$ with a 14% of mass loss, outstanding to a final residue at $880\text{ }^\circ\text{C}$ of 0%. An alike current in mass loss, decay was also noticed at the only untreated specimen.

From the TGA arch A, it was noticed that for the untreated sample, there was the single mass loss step at $380\text{ }^\circ\text{C}$ and it completely degrades at $880\text{ }^\circ\text{C}$.

From the TGA arch A2, it was noticed that for the commercial flammable chemical (organic phosphorus-nitrogen compounds) specimen was acquired with decay peak at $385\text{ }^\circ\text{C}$ and with a mass loss of 31.239%. The final residue at $885\text{ }^\circ\text{C}$ was 11.238%.

Moreover, the TGA curve (A2) proved the lower decay temperature and the higher char residues of 18% at $700\text{ }^\circ\text{C}$, due to the mechanism of phosphorous-and triazine-including constituents and the synergistic influence of P and N elements [44].

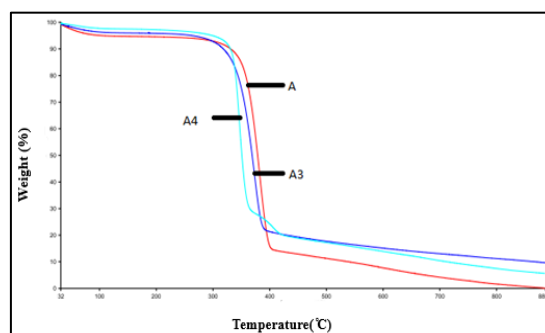


Figure 9. TGA arches of 100% cotton fabric (coating method) a-untreated [A] b-150 g. licorice root extract [A3] c-150 g. commercial flammable chemical [A4]

The TGA curve (Figure 9) (A3) shows the decay process of the licorice root extract treated fabrics. The mass loss step attributed to the decay of cotton until $410\text{ }^\circ\text{C}$ (N_2) with a mass loss of 22%. The final residue at $886\text{ }^\circ\text{C}$ was 9.633%.

Figure 9(A4) shows that the decay process of the commercial flammable chemical treated fabrics. The first mass loss step attributed to the decay of cotton until $380\text{ }^\circ\text{C}$ (in N_2) with a mass loss of 27.873%. The decay of cotton in N_2 is tracked by a second loss of mass to $420\text{ }^\circ\text{C}$ with a 19.412% of mass loss, outstanding to a final residue at continued up to $884\text{ }^\circ\text{C}$. The final residue at $884\text{ }^\circ\text{C}$ was 5.64%.

The practice of a flame retardant depend on licorice root extract just influences the thermal behaviour of the cotton woven fabric by increasing the beginning temperature of decay in N₂. Figure 8(A1) shows that the cotton fabric treated licorice root extract started to lose weight at 383.77 °C. The TGA curve shows that the rate of weight loss arrived its peak at 410 °C. About 14.933% of the mass was lost by this point. The final residue at 885 °C was 6.449%.

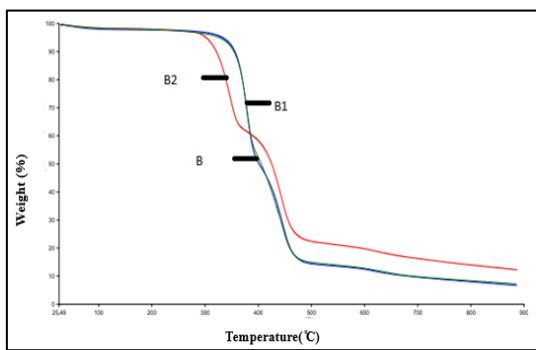


Figure 10. TGA arches of 50% CO/50% PES blended fabric (padding method) a-untreated [B] b-12 g.licorice root extract [B1] c-12 g. commercial flammable chemical[B2]

The TGA(B) (Figure 10) shows the beginning temperature of decay between 405 °C and 500 °C relying on the atmosphere (N₂). The TGA specifies the first mass loss step attributed to the decay of 50% CO/50% PES at 405 °C (48.5%) and 500 °C (14%) and the final residue at 884 °C was 6.562%.

The TGA(B1) analysis revealed that licorice root extract was mostly decomposed in the temperature range of 410°C-500°C with two peaks and a maximum mass loss rate temperature of 410°C.

Figure 10 (B1) shows the decay process of the extract fabrics treated with licorice root. The first mass loss step attributed to the decay of cotton until 410°C (in N₂) with a mass loss of 51.981%. The decay of cotton in N₂ is tracked by second loss of mass to 500°C with a 14.908% of mass loss, leading to a final residue at continued up to 884 °C. The final residue at 884 °C of 7.256%.

From the TGA arch (B2), it was noticed that the commercially flammable chemical specimen had two decays at 380 °C and 443.37 °C. The first mass loss step was attributed to the decay at 380 °C with a 61.29% of mass loss, and the second loss of mass to 443.37 °C with 21.932%. The final residue at 884 °C was 12%.

The decay of cotton/polyester in N₂ is tracked by a second loss of mass to 510 °C with a 18% of mass loss, leading to a final residue at continued up to 884°C. The final residue at 884 °C was 8.737%.

From the TGA arch (B4), it was noticed that the commercial flammable chemical specimen had two decays at 380 °C and 490 °C. The first mass loss step was attributed to the decay at 380 °C with a 61.93% of mass loss, and the second loss of mass to 490°C with a 18%. The final residue at 884 °C was 11.939%.

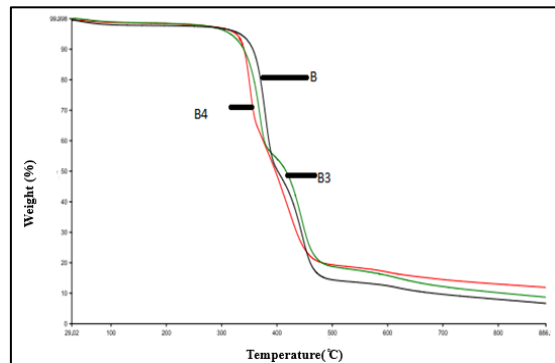


Figure 11. TGA arches of 50% CO/50% PES blended fabric (coating method) a-untreated [B] b-150g.licorice root extract [B3] c- 150g. commercial flammable chemical [B4]

Figure 11 shows the TGA plots(B3) performed in N₂ atmospheres of the 50% CO/50% PES samples. As temperature increases obvious endotherms were observed at 400°C being mostly attributed to cotton/polyester. The first stage of decay is shown by a weight loss at about 400°C (54.457%), probably due to partial decay of the polyester structure. The char amount is related to the grade of flame retardance [31]. 403°C-450°C is the single step decay value of cotton/polyester samples,

which show maximum weight loss interval at decay steps [45].

The decay of cotton/polyester in N_2 is tracked by a second loss of mass to $510^\circ C$ with a 18% of mass loss, leading to a final residue at continued up to $884^\circ C$.

From the TGA arch (B4), it was noticed that the commercial flammable chemical specimen had two decays at $380^\circ C$ and $490^\circ C$. The first mass loss step was attributed to the decay at $380^\circ C$ with a 61.93% of mass loss, and the second loss of mass to $490^\circ C$ with a 18%. The final residue at $884^\circ C$ was 11.939%.

The fabric with the most remaining mass for padding practice in cotton fabrics was acquired at the commercial flammable chemical application. In the coating method, licorice root extract was applied to the fabric. In cotton-polyester blended fabrics, the remaining mass for licorice root was the highest in the padding method, and the commercial flammable chemical proved the best influence in the coating method.

In this study, percent mass losses occurred after the combustion test. In cotton fabric, mass loss decreases after padding with licorice root extraction. This is due to the presence of phosphorus in a small amount flammable retardant. It increases its effectiveness.

4.3. Vertical Burning Test

The vertical burning tests were given in Figures 12, 13 and in Table 3.

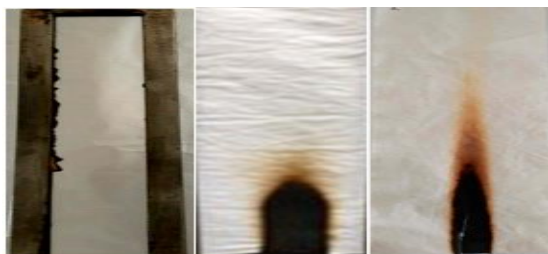


Figure 12. Samples of the untreated, padded and coated fabrics treated with licorice root after the vertical burning test: CO

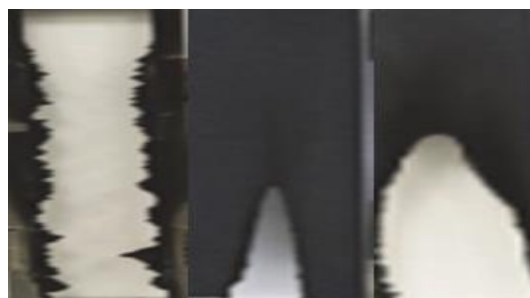


Figure 13. Samples of the untreated, padded and coated fabrics treated with licorice root after the vertical burning test: CO/PES

Table 3. Flame retardant fulfillment of the cotton and CO/PES samples

Fabric Code	Char Length(cm)
CO A	-
CO A1	4
CO A2	5.8
CO A3	7.2
CO A4	12.5
CO/PES B	-
CO/PES B1	4.4
CO/PES B2	4.9
CO/PES B3	6.8
CO/PES B4	10.3

During the tests, the untreated fabric burned up, while the padded and coated cotton and CO/PES samples were burned locally, at which the flame contacted. Compared to sample A3 and B3, sample A1 and B1 had shorter char lengths. As a result, all licorice root concentration gave adequate flame retardant influence. There is no linear relation between the increase in concentration and the flame retardant influence.

The char lengths are shorter for A1 and B1 when compared to A3 and B3, although the licorice amount was lower. This was because the amounts of phosphorus in A3 and B3 were higher. Phosphorus element increases the flame retardant effectiveness. Structure and characterization of char depend on N,P and Si compound.

The flame retardant pyrolysis mechanism of cellulose fiber is differ to change the amount of

flammable gases formed in a way that will decrease and increase that of non-flammable pyrolysis products, but exhibits lower decomposition temperatures. But flame retardant treatment lead to higher char yield compared to untreated cotton fabric [46]. Phosphorous based FR imparts flame retardancy to cellulose fiber by it specular mechanism [47]. Phosphorous compounds decompose to phosphoric acid, which catalyzes the cellulose dehydration reaction, and prevents flame retardant [46]. Phosphorus-based flame retardants have become the main focus as their decomposition products are less toxic and are considered ecological FR [47]. The combination of phosphorus and nitrogen has an excellent synergistic effect and high flame retardant efficiency.

By adding the appropriate fire retardant elements, as phosphorus and silicone (in licorice root), the resulting coating can provide the underlying material with good flame properties. Phosphorus and silicone elements have been developed because of their excellent carbonization and flame retardancy [48]. Phosphorus-containing compounds (in CO/PES blend fabrics) are qualified as among the most effective flame retardants, as indicated in many recent studies [49-51]. This kind of FRs is characterized by a highly efficient degree of flame retardancy. They can change the chemical reactions of decomposition; i.e, they form a surface layer of protective char during fire before the unburned structure materials begin to decompose [52-54].

Silicone-containing compounds are qualified as one of the “environmentally friendly” flame retardant materials. Although some studies proved that they themselves do not have sufficient flame retardant properties to meet application requirements; when they are used in addition to phosphorus-containing flame retardant, there is some synergistic effect between them [55,56].

4.4. LOI Test

The LOI, a measure of the flammability of a specimen, is specified as the minimum amount of

oxygen in the oxygen/nitrogen mixture obliged to support the combustion.

As specified mostly, cotton is pure cellulosic in nature, catches flame rapidly describing an LOI value of 17.7%. The LOI value increased considerably after the application of licorice root and commercial flame retardant chemical to cotton and CO/PES blended fabrics by padding and coating method.

According to the results of the burning tests, the samples’ flame-retardant performances exhibited no considerable differences; therefore, only two samples padded and coated by using 12g/250g and 150g/1000g flammable chemical concentration were subjected to LOI tests, respectively. The LOI values of untreated, padded and coated cotton and CO/PES fabrics were given in Table 4.

Table 4. LOI values of untreated, padded and coated cotton and CO/PES fabrics

Fabric Code	LOI value (%)
A	17.7
A1	18.5
A2	18.7
A3	20.6
A4	21.4
B	17.5
B1	19.3
B2	19.6
B3	20.5
B4	22.5

It can be seen that LOI values of the coated samples were much higher than those of the padded sample.

LOI values of the treated licorice root sample A3(coated) and A1(padded) fabrics were 19.6% and 18.5%, respectively. The best LOI results for cotton fabrics in the coating method were acquired as commercially flammable chemical (A4)>licorice root extract (A3). With the increase of licorice root and commercial flammable concentration in the coating paste, the LOI value did not change very much. As a result, the coating process provide adequate flame-retardant effect to cotton fabrics

even at 150g of natural and commercial flammable concentration.

It can be seen that LOI values of the commercial flammable chemical treated CO/PES samples were much higher than those of licorice root treated samples.

Phosphorous compounds (in CO/PES samples) influence the reactions taking place in the condensed (solid) phase. The flame retardant chemical is converted to phosphoric acid by thermal decay which extracts water from the pyrolysing polymer causing it to char (to produce a carbonaceous protective layer)[57]. This process allows the decomposition of the polymer and reduces the amount and type of fuel precursor of volatiles. The presence of phosphorus in the formulation increase the fire resistance, LOI value and cause char formation.

This is evidently a positive influence in licorice root because a small amount of P-additive (0.6 % mg P) is enough to enhance the flame-retardant.

Also, when LOI results were taken into account, it seems like commercial compound addition is more effective in terms of flammable. Because the commercial compounds have more amounts of phosphorus in their formulations, they enhance the fire resistance and thus increase the LOI value.

5. CONCLUSIONS

In this study, the flame-retardant properties of 100% cotton and 50% cotton/50% polyester fabrics were researched by using ecological (licorice root) and commercial flame retardants by padding and coating methods. The padded and coated samples were subjected to the burning test besides SEM, TGA analyses and LOI tests. The dehydration and the char products formation in the presence of licorice root extracts and commercial flammable chemicals that were applied on cotton and cotton/polyester fabrics have been revealed in the TGA curves. After application, the tests proved that the coating treatment with licorice root on cotton and on cotton/polyester fabrics had partially

considerable and adequate flame retardant effect. This result is related to the amount of P and Si elements in the structure of the licorice root. According to the limit oxygen index analysis, padding and coating processes had a positive influence on flammability. In other words, ignition and burning did not continue after the flame contact. Surface morphology of fiber char can give useful information about FR efficiency of especially licorice root and organic phosphorous-nitrogen based FRs. Thermal properties of untreated and treated samples can be researched to see effect of FR treatment and decomposition temperature and char amount.

Phosphorus (which was applied to CO/PES) is a thermodynamically stable high-polymer and is the most effective flame retardant when included in. It also partially reacts with certain polymers and enhances char formation.

6. ACKNOWLEDGEMENT

The study introduced here is a part of Fehmi Çağlar Balaban's Master Thesis work at Graduate School of Natural and Applied Sciences, Namık Kemal University.

7. REFERENCES

1. Horrocks, A.R., B.K. Kandola, P.J., Davies, 2005. Developments in Flame Retardant Textiles. A Review Polymer Degradation and Stability, 88 (1), 3-12.
2. Golja, B., Šumiga, B., Boh, P., Bojana, Medved, J., Pušić, T., Tavčer, P., 2014. Application of Flame Retardant Microcapsules to Polyester and Cotton Fabrics. Material in Technologije, 48(1), 105-111.
3. Ceylan, Ö., Alongi, J., Landuyti, L.V., Fraches, A., Clerck, K.D., 2013. Combustion Characteristics of Cellulosic Loose Fibres. Fire and Materials, 37(6), 482-490.
4. Wang, Q., Qian, Y., Wang, Q., Yang, Y., Ji, S., Song, W., Ye, M., 2015. Metabolites Identification of Bioactive Licorice Compounds in Rats. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 115, 515-522.

5. Wang, N., Wu, Y., Mi, L., Zhang, J., Li, X., Fang, Q., 2014. The Affect of Silicone Shell on Double-layered Microcapsules in Intumescent Flame-retardant Natural Rubber Composites. *J Therm Ana Calorim*, 118, 349–357.
6. Zhou, T.C., He, X.M., Guo, C., Jian, Y., Dalian, L., Qun, Y., 2015. Synthesis of a Novel Flame Retardant Phosphorus/ nitrogen/ siloxane and its Application on Cotton Fabrics. *Textile Research Journal*, 85, 701–708.
7. Liao, F., Zhou, L., 2014. Synthesis of a Novel Phosphorus Nitrogen-silicon Polymeric Flame Retardant and its Application in Poly (Lactic Acid). *Ind Eng Chem Res*, 53, 10015–10023.
8. Masatoshi, I., Serizawa, S., 1998. Silicone Derivatives as New Flame Retardants for Aromatic Thermoplastics Used in Electronic Devices. *Polymers for Advanced Technologies*, 9, 593-600.
9. Cao, J.P., Zhao, X., Zhao, J., Zha, J.W., Hu G.H., Dang, Z.M., 2013. Improved Thermal Conductivity and Flame Retardancy in Polystyrene/poly (Vinylidene Fluoride) Blends by Controlling Selective Localization and Surface Modification of SiC. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 5, 6915-6924.
10. Liao, F., Zhou, L. Ju, Y., Yang, Y., Wang, X., 2014. Synthesis of A Novel Phosphorus-nitrogen-silicon Polymeric Flame Retardant and its Application in Poly (lactic acid). *Ind. Eng. Chem. Res.*, 53, 10015-10023.
11. Lu, S.Y., Hamerton I., 2002. Recent Developments in the Chemistry of Halogen-free Flame Retardant Polymers. *Progress in Polymer Science*, 27(8), 1661-1712.
12. Liu, Y.L., Hsiue, G.H., Lan, C.W., Chiu, Y.S., 1997. Phosphorus-containing Epoxy for Flame Retardance: IV. Kinetics and Mechanism of Thermal Degradation. *Polymer Degradation and Stability*, 56(3), 291-299.
13. Liu, Y.L., Hsiue, G.H., Lan, C.W., Kuo, J.K., Jeng, R.J., Chiu, Y.S., 1997. Synthesis, Thermal Properties, and Flame Retardancy of Phosphorus Containing Polyimides. *Journal of Applied Polymer Science*, 63, 875-882.
14. Banks, M., Ebdon, J.R., Johnson, M., 1994. The Flame-retardant Effect of Diethyl Vinyl Phosphonate in Copolymers with Styrene Methyl Methacrylate Acrylonitrile and Acrylamide. *Polymer*, 35, 3470-3473.
15. Liu, Y.L., 2001. Flame-retardant Epoxy Resins from Novel Phosphorus-containing Novolac, *Polymer*, 42, 3445-3454.
16. Wu, C.S., Liu, Y.L., Chiu, Y.S., 2002. Epoxy Resins Possessing Flame Retardant Elements from Silicon Incorporated Epoxy Compounds Cured with Phosphorus or Nitrogen Containing Curing Agents. *Polymer*, 43, 4277-4284.
17. Horrocks, A.R., 2011. Flame Retardant Challenges for Textiles and Fibres: New Chemistry Versus. *Polymer Degradation and Stability.*, 96, 377-392.
18. Kandola, B.K., Hull, T.R., 2009. Fire Retardancy of Polymers: New Strategies and Mechanisms. West Midlands: Royal Society of Chemistry, 456.
19. Horrocks, A.R., Price, D., 2008. *Advances in Fire Retardant Materials.*, Elsevier.
20. Hou, A., Gang, S., 2013. Multifunctional Finishing of Cotton Fabrics with 3,3', 4,4'-Benzophenone Tetracarboxylic Dianhydride: Reaction Mechanism. *Carbohydrate Polymers*, 95(2), 768-772.
21. Hou, A., Zhang, C., Wang, Y., 2012. Preparation and UV-protective Properties of Functional Cellulose Fabrics Based on Reactive Azobenzene Schiff Base Derivative. *Carbohydr. Polym.*, 87, 284-288.
22. Pawlowski, K.H., Schartel, B., 2007. Flame Retardancy Mechanisms of Triphenyl Phosphate, Resorcinol Bis (Diphenyl Phosphate) and Bisphenol A Bis (Diphenyl Phosphate) in Polycarbonate/acrylonitrile-butadiene-styrene Blends. *Polymer International*, 56, 1404.
23. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/pdf/1988.pdf> (on September 2008).
24. <http://www.andrianos.com/fire-retardant.pdf> (on October 2009).
25. Balaban, Ç.F., 2019. Bitkisel Atık Ekstraktlarıyla Yapılan Kaplama ve Emdirme İşlemlerinin Güç Tutuşurluk Üzerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Turkey, 60.
26. Chen, M.J., Shao, Z.B., Wang, X.L., Chen, L., Wang, Y.Z., 2012. Halogen-free Flame-

- retardant Flexible Polyurethane Foam with a Novel Nitrogen-phosphorus Flame Retardant. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 51(29), 9769-9779.
27. Horrocks, A.R., 1986. Flame-retardant Finishing of Textiles. *Review of Progress in Coloration and Related Topics*, 16(1), 62-101.
 28. Alongi, J., Han, Z., Bourbigot, S., 2015. Intumescence: Tradition Versus Novelty. *A Comprehensive Review.*, *Prog. Polym. Sci.* 51, 28–73, doi:10.1016/j. prog polymsci.
 29. Liang, S., Neisius, N.M., Gaan, S., 2013. Recent Developments in Flame Retardant Polymeric Coatings. *Progress in Organic Coatings*, 76(11), 1642-1665.
 30. Ömeroğulları, Z., Kut, D., 2011. Investigation of Burning Behavior of Polyester Fabric with Using Natural Structured Flame Retardant Agent. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 21(4), 364-368.
 31. El-Tahlawy, K., 2008. Chitosan Phosphate: A New Way for Production of Ecofriendly Flame Retardant Cotton Textiles. *Journal of the Textile Institute*, 99(3), 185-191.
 32. Basak, S., Samanta, K., Saxena, S., Chattopadhyay, S.K., Narkar, R., Mahangade, R., Hadge, G.B., 2015. Flame Resistant Cellulosic Substrate Using Banana Pseudostem Sap. *Polish Journal of Chemical Technology*, 11(1), 123–133.
 33. Faheem, S., Baheti, V., Tunak, M., Wiener, J., Militky, J., 2017. Comparative Performance of Flame Retardancy, Physiological Comfort and Durability of Cotton Textiles Treated with Alkaline and Acidic Casein Suspension. *Journal of Industrial Textiles*, 48(6), 969-991.
 34. Teli, M.D., Pandit, P., 2018. Coconut Shell Extract Imparting Multifunction Properties to Ligno-cellulosic Material. *Journal of Industrial Textiles*, 47(6), 1261-1290.
 35. Üreyen, M., Kaynak, E., 2019. Effect of Zinc Borate on Flammability of PET Woven Fabric. *Advances in Polymer Technology*, (22), 1-13.
 36. Wang, S., Sui, X., Li, Y., Li, J., Xu, H., Zhong, Y., Zhang, L., Mao, Z., 2016. Fabrication of Superhydrophobic Cotton Textiles with Flame Retardancy. *Cellulose*, 23, 1471-1480.
 37. Chen, M.J., Shao, Z.B., Wang, X.L., Chen, L., Wang, Y.Z., 2012. Halogen-free Flame-retardant Flexible Polyurethane Foam with a Novel Nitrogen-phosphorus Flame Retardant. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 51(29), 9769-9779.
 38. El-Tahlawy, K., 2008. Chitosan Phosphate: A New Way for Production of Ecofriendly Flame Retardant Cotton Textiles. *Journal of the Textile Institute*, 99(3), 185-191.
 39. Zhong, H., Wei, P., Jiang, P., Wang, G., 2007. Thermal Degradation Behaviors and Flame Retardancy of PC/ABS with Novel Silicon-containing Flame Retardant. *Fire Mater*, 31, 411–23
 40. Chen, C.H., Kuo, W.S., Lai, L.S., 2009. Rheological and Physical Characterization of Film-forming Solutions and Edible Films from Tapioca Starch/decolorized Hsian-tsoa Leaf Gum. *Food Hydrocoll.*, 23, 2132–2140.
 41. Soderling, E., Karjalainen, S., Lille, M., Maukonen, J., Saarela, M., Autio, K., 2006. The Effect of Liquorice Extract-containing Starch Gel on the Amount and Microbial Composition of Plaque. *Clin Oral Investig*, 10, 108-13
 42. Li, Q., Jiang, P.K., Su, Z.P., Wei, P., Wang, G.L., Tang, X.Z., 2005. Synergistic Effect of Phosphorus, Nitrogen, and Silicon on Flame-retardant Properties and Char Yield in Polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science*, 96, 854-860.
 43. ASTM D 2863-97, 1999. Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle Using an Oxygen Consumption Calorimeter. ASTM, West Conshohocken, PA.
 44. Tesoro, G.G., Sello, S.B., Willard, J.J., 1969. Nitrogen-phosphorus Synergism in Flame-retardant Cellulose. *Text. Res. J.*, 39, 180–190.
 45. Atakan, R., Bical, A., Celebi, E., Özcan, G., Soydan, N., Saraç, A.S., 2019. Development of a Flame Retardant Chemical for Finishing of Cotton, Polyester and CO/PET Blends. *Journal of Industrial Textiles*, 49(2), 141-161.
 46. Zhu, P., Sui, S., Wang, B., Sun, K., Sun, G., 2004. A Study of Pyrolysis and Pyrolysis Products of Flame Retardant Cotton Fabrics by DSC, TGA and PY-GC-MS. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 71(2), 645-655.

47. Levchik, S.V., Weil, E.D., 2006. A Review of Recent Progress in Phosphorus-based Flame Retardants. *J Fire Sci*, 24, 345-364.
48. Siriviriyanum, A., O`rear, E.A., Yanumet, N., 2008. Self Extinguishing Cotton Fabric with Minimal Phosphorous Deposition. *Cellulose*, 15, 731-737.
49. Masatoshi, I., Serizawa, S., 1998. Silicone Derivatives as New Flame Retardants for Aromatic Thermoplastics Used in Electronic Devices. *Polymers for Advanced Technologies*, 9, 593-600.
50. Cao, J.P., Zhao, X., Zhao, J., Zha, J.W., Hu, G.H., Dang, Z.M., 2013. Improved Thermal Conductivity and Flame Retardancy in Polystyrene/poly (Vinylidene Fluoride) Blends by Controlling Selective Localization and Surface Modification of SiC. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 5, 6915-6924.
51. Liao, F., Zhou, L., Ju, Y., Yang, Y., Wang, X., 2014. Synthesis of a Novel Phosphorus-nitrogen-silicon Polymeric Flame Retardant and its Application in Poly (Lactic Acid). *Ind. Eng. Chem. Res.* 53, 10015-10023.
52. Lu, S.Y., Hamerton, I., 2002. Recent Developments in the Chemistry of Halogen-free Flame Retardant Polymers. *Journal Progress in Polymer Science*, 27, 1661-1712.
53. Liu, Y.L., Hsiue, G.H., Lan, C.W., Chiu, Y.S., 1997. Phosphorus-containing Epoxy for Flame Retardance. 4. Kinetics and Mechanism of Thermal Degradation. *Polymer Degradation and Stability*, 56, 291-299.
54. Liu, Y.L., Hsiue, G.H., Lan, C.W., Kuo, J.K., Jeng, R.J., Chiu, Y.S., 1997. Synthesis, Thermal Properties, and Flame Retardancy of Phosphorus Containing Polyimides. *Journal of Applied Polymer Science*, 63, 875-882.
55. Banks, M., Ebdon, J.R., Johnson, M., 1994. The Flame-retardant Effect of Diethyl Vinyl Phosphonate in Copolymers with Styrene Methyl Methacrylate Acrylonitrile and Acrylamide. *Polymer*, 35(16), 3470-3473.
56. Liu, Y.L., 2001. Flame-retardant Epoxy Resins from Novel Phosphorus-containing Novolac. *Polymer*, 42, 3445-3454.
57. Jarvis, C.W., Barker, R.H., 1978. Flammability of Cotton-polyester Blend Fabrics. In M. Lewin, SM Atlas and EM Pearce (Eds), *Flame-retardant Polymeric Materials*, 133-158. New York: Plenum Press.

Yükselen ve Alçalan Yörüngeye Ait TerraSAR-X Görüntülerinden Üretilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluk Karşılaştırması

Ahmet Tarık TORUN*¹ ORCID 0000-0002-7927-4703

¹Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Ağrı

Geliş tarihi: 07.01.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atf şekli/ How to cite: TORUN, A.T., (2022). Yükselen ve Alçalan Yörüngeye Ait TerraSAR-X Görüntülerinden Üretilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluk Karşılaştırması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 367-375.

Öz

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisi birçok mühendislik disiplini için arazi yükseklik bilgileri içermesinden dolayı oldukça önemlidir. Uzaktan algılamada mikrodalga görüntüler yardımı ile SYM üretiminde, stereoskopik ve interferometrik yöntemler kullanılmaktadır. Mikrodalga görüntülerin bu alanda kullanılmasındaki en büyük etken ise gece-gündüz alım yapabilmeleri ve kar, yağmur gibi hava koşulundan etkilenmemeleridir. Mikrodalga algılayıcı sistemler, yörünge etrafında alçalan veya yükselen yönde hareket ederek algılama yaparlar. Bu çalışmada TerraSAR-X verileri ile Erciyes Dağı'nda seçilen bir pilot bölgede SYM üretimi gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda SAR görüntülerinin uyumluluk verileri kullanılarak iki yörüngeye ait veriler füzyon edilmiştir. Alçalan, yükselen yörünge ve füzyon görüntüler için ayrı ayrı üretilen SYM'ler arazi ölçmelerinden elde edilen yükseklik bilgileri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma işlemlerinde istatistiksel analizler uygulanmıştır. İstatistiksel analizler sonucunda sırasıyla yükselen yörünge, alçalan yörünge ve füzyon korelasyon katsayısı değerleri 0.892, 0.894 ve 0.934 bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, kullanılan füzyon yönteminin sonuçları pozitif yönde iyileştirdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yükselen/alçalan geçiş, InSAR, SYM, TerraSAR-X

Accuracy Comparison of Digital Elevation Models Produced from Ascending and Descending Orbits TerraSAR-X Data

Abstract

Digital Elevation Model (DEM) data have become indispensable for many engineering disciplines because it contains terrain elevation information. Stereoscopic and interferometric methods are used in the production of DEMs with the help of microwave images in remote sensing. The most important factor in the use of microwave images in this area is that they can acquire by day or night or not affected by weather conditions such as snow and rain. Microwave satellite systems can sense by moving on descending or ascending directions around the orbit. In this study, DEM production was carried out in a selected pilot region in Erciyes Mountain with TerraSAR-X data. Also, the data of the two orbits were fused using the coherence data of the SAR images. DEMs produced separately for descending, ascending orbit and fusion images were compared with the elevation information obtained from in-situ measurements. As a result of statistical analysis, the correlation coefficients of ascending orbit,

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ahmet Tarık TORUN, ahmettarik.torun@gmail.com

descending orbit and fusion were found 0.892, 0.894 and 0.934, respectively. When the results obtained were carried out, it was seen that the fusion method improved the results statistically.

Keywords: Ascending/descending pass, InSAR, DEM, TerraSAR-X

1. GİRİŞ

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM-DEM), yeryüzü topoğrafyasının yükseklik bilgilerini ve karakteristik özelliklerini 3 boyutlu sayısal halde sunun bir veri kümesidir [1]. Model, ilk olarak [2]'nin "arazi modeli" kavramından yola çıkarak bu günkü tanımları ile kullanılmaktadır. SYM'ler, günümüzde birçok yerbilimleri disiplini tarafından analitik bir altlık olarak kullanılmaktadır. Uydu sistemlerinin hızla gelişmesi ve kullanıma sunulması SYM verilerinin üretilmesi için önemli kaynaklar oluşturmuştur [3]. Günümüzde, optik ve mikrodalga görüntüler yardımıyla SYM'ler elde edilebilmektedir. Mikrodalga (radar) uydu görüntüleri ile SYM üretimi, stereoskopik ve interferometrik olmak üzere iki farklı şekilde yapılabilmektedir [4]. Stereoskopik yöntemde belirli bir oranda bindirmeli olarak kullanılan radar görüntüleri aracılığıyla arazi yüzeyine ait 3 boyutlu veriler elde edilmektedir. Bu yöntemdeki en önemli adım, iki görüntüdeki eşlenik noktaların bulunarak görüntü eşleştirmesinin yapılmasıdır [5-7].

RADIO Detecting And Ranging teriminin kısaltması olarak bilinen RADAR, yeryüzüne mikrodalga ışınımalar gönderir ve dönen sinyalleri kaydeder [8]. Sistemi optik sistemlerden ayıran en önemli özelliği ise gece-gündüz ve her türlü hava koşulunda algılama kapasitesine sahip olmasıdır. RADAR sistemleri dünya üzerinde Kuzey-Güney veya Güney-Kuzey yörüngeler boyunca görüntü alımı yapabilmektedir. Bir RADAR uydusu Güneyden Kuzeye doğru bir yörünge takip ediyorsa yükselen, tam tersi bir hareket söz konusu ise alçalan yörüngeye sahip olarak adlandırılmaktadır. Sistem, anten açıklıklarına göre Gerçek Açıklıklı Radar-Real Aperture Radar (RAR) ve Yapay Açıklıklı Radar - Synthetic Aperture Radar (SAR) olmak üzere ikiye ayrılmıştır. SAR sistemleri RAR sistemlerinin anten boyundan kaynaklanan kısıtlamaların ortadan kaldırılması için geliştirilmiştir.

Radard interferometrisi tekniği ile geliştirilen Yapay Açıklıklı Radar İnterferometrisi (InSAR), yaklaşık olarak aynı noktadan farklı zaman dilimlerinde elde edilmiş iki SAR görüntüsündeki piksellerin faz farklarının bulunması esasına dayanmaktadır [9-11]. 1970'lerden günümüze farklı alanlarda kullanılan bu yöntem, [12] tarafından ilk olarak ayın topoğrafyasının çıkarılmasında kullanılmıştır. Daha sonraları [13]'ün yeryüzü topoğrafyasının çıkarılması üzerinde çalışmış ve [14]'in uçağa monte edilmiş iki antenli sistem ile çalışmalar yapmıştır. InSAR tekniği günümüzde farklı çalışmalar için sıklıkla kullanılmaktadır [9,15-18].

Uzaktan algılanmış verilerde meydana gelen hataların bazıları elimine edilebilse bile bazıları kaçınılmazdır. Bu verilerden üretilen SYM'ler de, içerisinde farklı nedenlerden kaynaklanan hatalar barındırmaktadır. Özellikle SYM verilerinde veri toplama yöntemine bağlı olarak bu hatalar çeşitlilik göstermektedir. SYM üretimi, yersel ölçmeler ile yapılıyorsa ölçme ekipmanlarının hassasiyetine, optik uydu görüntüleri ile yapılıyorsa, uydunun yersel, zamansal ve spektral çözünürlüğüne, mikrodalga algılayıcılar ile yapılıyorsa uydu geliş açısı, arazi eğimi veya bakışı gibi etmenlere bağlı hatalar barındırmaktadır [19,20]. Bilim insanları bu hataları en aza indirmek veya ortadan kaldırmak için birçok araştırma yapmış ve yapmaya devam etmektedir [1,4,8,15]. Hataları en aza indirmek ve hata oranlarını ortaya çıkarabilmek için en iyi yol, her zaman daha hassas örnek veriler ile yapılan çalışmaları kıyaslamaktır.

Bu çalışmada TerraSAR-X uydusundan elde edilmiş, alçalan ve yükselen yörünge özelliklerine sahip mikrodalga uydu görüntüleri kullanılarak SYM üretim işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Erciyes dağı pilot bölge olarak kullanılmıştır. Çalışma bölgesinde GPS alıcıları yardımı ile arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmalarından elde edilen nokta yükseklik

bilgileri ile radar görüntülerinden elde edilen alçalan ve yükselen yörüngeye ait SYM verileri karşılaştırılmıştır. Bunun yanı sıra SAR verilerinin uyumluluk değerleri ile bir ağırlıklandırma yapılmış, alçalan ve yükselen yörüngeye ait yükseklik değerleri kullanılarak iki verinin birleştirilmesi sağlanmıştır. Sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilip iki veri arasındaki ilişki yorumlanmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı, Kullanılan Veriler ve Arazi Çalışmaları

Çalışmada 3917 m yüksekliği ile Türkiye'nin en yüksek dağları arasında bulunan Erciyes Dağı pilot bölge olarak belirlenmiştir. Ülkemizde kış turizmüne önemli katkılarda bulunan Erciyes Dağı, Kayseri ilinin 25 km güneybatısında yer almaktadır.

Çalışmada TerraSAR-X uydusunun StripMap moduna ait 4 adet görüntü kullanılmıştır. Tekrarlı

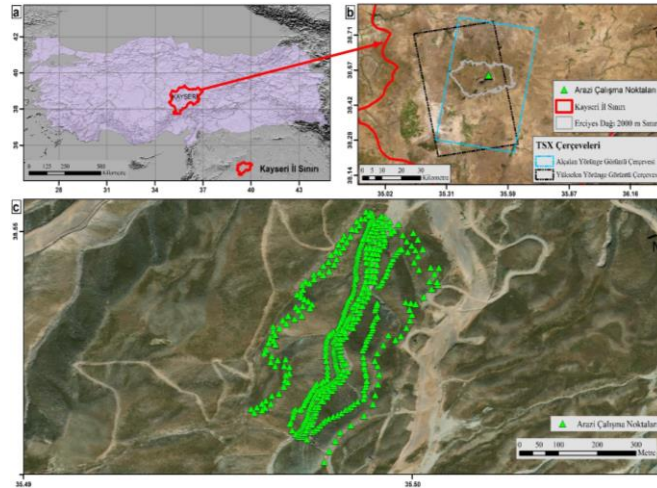
geçiş tekniği ile üretilmiş 2 adet görüntü alçalan, 2 adet görüntü ise yükselen yörüngeye ait ve Yatay/Yatay (HH) polarizasyona sahiptir. Görüntüler 11 günlük zamansal baz uzunluğuna sahip ve yaz aylarında elde edilmişlerdir. Görüntülerin teknik özellikleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Radar görüntülerinden elde edilen SYM'lerin doğruluklarının değerlendirilmesi için arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanında belirlenen bölgede GPS alıcıları ile Gerçek Zamanlı Kinematik (GZK) ölçmeler gerçekleştirilmiş ve 540 adet noktanın yükseklik bilgileri toplanmıştır. Çanak formasyonunda bulunan çalışma bölgesi için şev üst, orta ve alt noktalarından yaklaşık olarak homojen dağılacak şekilde nokta bilgisi toplanmıştır.

Çalışma alanı, uydu görüntü çerçeveleri ve arazi çalışmasından elde edilen noktalar Şekil 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Kullanılan uydu görüntüleri teknik özellikleri

Görüntüleme Modu	Görüntü Alım Tarihi	Zamansal Baz Uzunluğu (Gün)	Dik Baz Uzunluğu (m)	Bağıl Yörünge	Geliş Açısı Aralığı (°)	Yörünge	Polarizasyon
StripMap	06.07.2018	11	43,33	39	36,03-38,54	Yükselen	Yatay/Yatay
StripMap	17.07.2018						
StripMap	12.08.2018	11	89,30	92	36,06-38,51	Alçalan	
StripMap	23.08.2018						



Şekil 1. a) Çalışma alanı genel haritası, b) Erciyes dağı 2000m yükseklik sınırları ve görüntü çerçeveleri, c) Çalışma bölgesinde arazi noktalarının dağılımı

2.2. InSAR Tekniği ile SYM Üretimi

InSAR tekniği ile SYM üretim işlemi temel olarak, bir görüntünün ana (master), diğer görüntünün yardımcı (slave) olarak seçilip bindirmeli bir şekilde işlenmesi esasına dayanmaktadır [18-21]. İki SAR verisi ile SYM oluşturma işlem adımları sırasıyla aşağıdaki gibidir;

- Görüntü kaydı
- İnterferogram oluşturma
- Faz filtreleme
- Faz açılımı
- Faz-yükseklik dönüşümü
- Geometrik düzeltme

InSAR tekniğinde, yalnızca iki SAR görüntüsü ile SYM üretimi mümkün olamamaktadır. Görüntü işleme esnasında harici bir SYM kullanımı arazi topoğrafyasının modellenmesi açısından gerekli bir durumdur. Harici SYM verileri işlem esnasında topoğrafik faz olarak kullanılmaktadır. Bu topoğrafik faz verisi, interferogramdan çıkarıldıktan sonra gerçek yüzeye ulaşılmış olur. İşlem sonunda harici SYM verisi tekrar eklenerek nihai SYM verisi elde edilmiş olur [10].

Çalışmada harici SYM verisi olarak SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) modeli kullanılmıştır. SRTM, C ve X bantları ile çalışan iki farklı radar sistemi üzerine kuruludur. Haricen veya yazılım üzerinden ücretsiz olarak kullanılabilen bu ürün 30 ve 90 m çözünürlük ile dünyanın tüm SYM verisini üretmiştir.

Bu çalışmada Avrupa Uzay Ajansı tarafından kullanıcılara ücretsiz olarak sunulan SNAP yazılımı kullanılmıştır. SYM üretim aşamasında gerekli bütün işlemler yazılım üzerinden gerçekleştirilmiştir. Haritalama işlemlerinde ArcGIS yazılımı ve istatistiksel değerlendirme işlemlerinde ise Matlab yazılımı kullanılmıştır.

2.3. Alçalan ve Yükselen Yörünge Verilerinin Füzyonu

Alçalan ve yükselen yörüngeye sahip görüntüler ile üretilen SYM'ler birbirinden farklı karakteristik özellikler ve doğruluklar sunmaktadır. Özellikle

dağlık arazilerde uydu geliş açısı ve arazi topoğrafyasından kaynaklanan gölge, ters görüntüleme ve kısa görüntüleme gibi hatalar meydana gelebilmektedir. Bu hataların ortadan kaldırılabilmesi için bilim insanları iki yörüngeye ait verilerin birleştirilerek kullanılması yoluna gitmişlerdir [18,22-25].

Bu çalışmada, [25]'in önerdiği ağırlıklandırma ile füzyon yöntemi kullanılmıştır. Yöntem SAR verilerinin uyumluluk haritalarına göre ağırlıklandırılması ve bir dizi matematiksel işlem ile alçalan ve yükselen verilerin füzyonu temeline dayanmaktadır. Yöntemde uyumluluk değerleri Çizelge 2'deki değerler kullanılarak ağırlıklandırılmaktadır.

Çizelge 2. Uyumluluk ve ağırlık değerleri

Uyumluluk Değeri	Ağırlık
1-0,8	1
0,8-0,6	0,8
0,6-0,4	0,6
0,4-0,2	0,4
0,2-0	0,2

Çizelge 2'de verilen uyumluluk değerlerine göre yeni bir ağırlık matrisi üretilmektedir. Bu aşamadan sonra alçalan ve yükselen yörünge değerleri ile ağırlık değerleri Eşitlik 1'deki gibi oranlanarak yeni füzyon değerleri elde edilmiş olur.

$$h_{son} = \frac{\omega_1 \cdot h_1 + \omega_2 \cdot h_2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (1)$$

Burada h1 ve h2 sırasıyla 1. ve 2. SYM'lerden elde edilen yükseklik değerleridir. ω_1 ve ω_2 ise sırasıyla 1. ve 2. SYM'ler için uyumluluk değerlerinden elde edilen ağırlık değerleridir.

2.4. İstatistiksel Analizler

Çalışmada, arazi nokta yükseklikleri ve SYM'lerden elde edilen nokta yüksekliklerinin karşılaştırılması için bir dizi istatistiksel analiz yapılmıştır. Arazi ölçmelerinden elde edilen yükseklikler baz alınarak Korelasyon Katsayısı (KK), Standart Sapma (SS) ve Karesel Ortalama Hata (KOH) hesapları yapılmış ve Eşitlik 2,3

ve 4'te verilmiştir. Ayrıntıları [26-28]'de bulunmaktadır.

$$SS = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

$$KK = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

$$KOH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_2)^2}{n}} \quad (4)$$

Yukarıdaki eşitliklerde n örneklem sayısını, xi i'nci noktanın değerini ve ortalama değerleri temsil etmektedir.

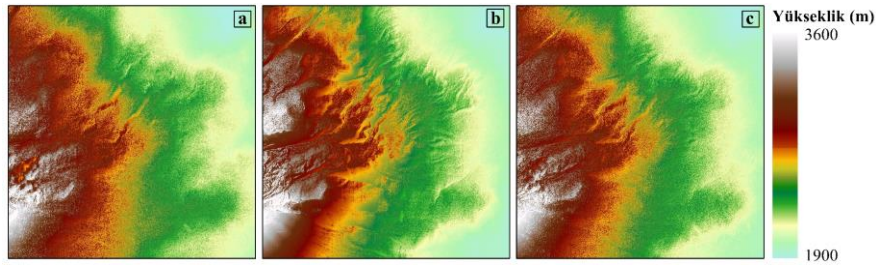
Ayrıca, yükseklik değerleri arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi için Matlab yazılımında eğri uydurma işlemi ve matematiksel model oluşturularak çoklu regresyon analizi yapılmış ve çoklu regresyon katsayıları (R) hesaplanmıştır. Bu değer bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler

arasındaki ilişkinin gücünü ortaya koymaktadır [3,29].

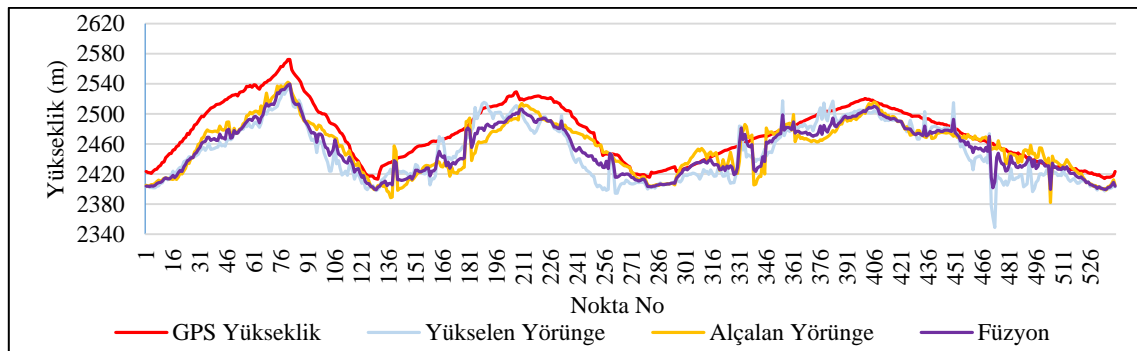
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Daha önceki bölümlerde işaret edilen veriler yardımı ile alçalan ve yükselen yörüngelere ait uydu görüntüleri kullanılarak SYM üretimi yapılmıştır. Şekil 2'de alçalan-yükselen yörünge verileri ve füzyon verisinden oluşturulan SYM'ler gösterilmiştir.

Çalışmada kullanılan SAR görüntüleri ile Erciyes Dağı bölgesinin tamamına ait SYM'ler üretilmiştir. Doğruluk analizi çalışmaları ise arazi ölçmelerinden elde edilen noktaların yükseklik verileri yardımı ile yapılmıştır. Şekil 3'te arazi çalışmaları ile elde edilen 540 noktaya ait yükseklik değerleri grafiği verilmiştir. Grafikte, bu noktaların raster SYM verileri üzerinden toplanan alçalan yörünge, yükselen yörünge ve füzyon verilerden elde edilmiş yükseklik bilgileri verilmiştir.



Şekil 2. a) Yükselen yörüngeye ait SYM, b) Alçalan yörüngeye ait SYM, c) Füzyon SYM

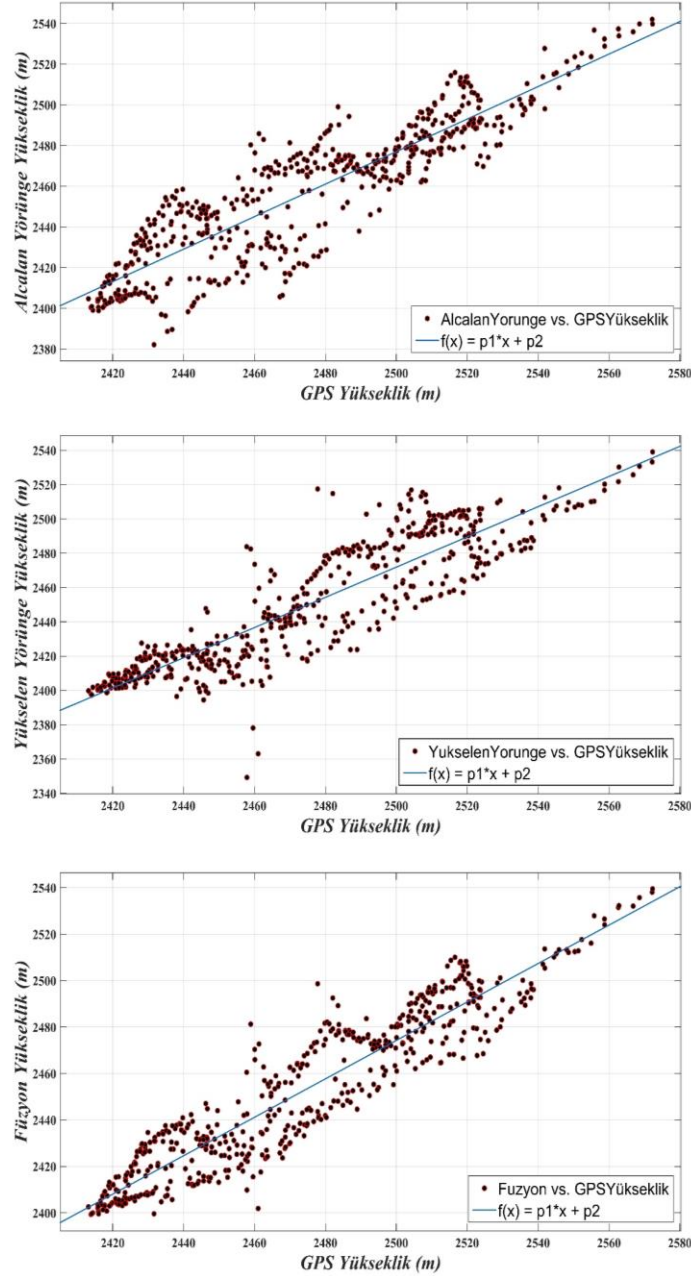


Şekil 3. Nokta yükseklik grafikleri

Yükselen ve Alçalan Yörüngeye Ait TerraSAR-X Görüntülerinden Üretilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluk Karşılaştırması

Arazi çalışmaları ile SYM verileri arasında regresyon analizleri ve eğri uydurma işlemi yapılmıştır. Burada, veriler arasındaki ilişki, polinom fonksiyonu kullanılarak gözlemlenmiştir.

Şekil 4'de GPS yükseklikleri ile her bir SYM verisinden elde edilen yükseklik değerleri arasındaki regresyon analizlerinin grafikleri verilmiştir.



Şekil 4. GPS nokta yükseklikleri, alçalan - yükselen yörünge ve füzyon değerlerinin eğri uydurma ve model fonksiyonu grafikleri

Eşitlik 2,3 ve 4 yardımı ile yükseklik değerlerine ait istatistiksel analizler ve hesaplamalar yapılmıştır. Bununla birlikte model fonksiyonu analizlerinden R2 (Regresyon katsayısı) değerleri elde edilmiştir. Çizelge 3'te hesaplanan değerler verilmiştir.

Çizelge 3. İstatistiksel analiz sonuçları

	SS (m)	KK	KOH (m)	R ²
Yükselen Yörünge SYM	37,48	0,8920	30,63	0,7956
Alçalan Yörünge SYM	33,92	0,8940	24,69	0,7993
Füzyon SYM	33,63	0,9343	25,39	0,8729

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada alçalan ve yükselen yörüngeye ait görüntülerle InSAR tekniği ile SYM üretimi ve bu verilerin füzyon edilmesi sonucunda elde edilen veriler incelenmiştir. Bununla birlikte, arazi çalışmalarından elde edilen GPS yükseklik değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmadaki ana hedef alçalan ve yükselen yörüngeye ait verilerin uyumluluk değerleri ve geliş açılarından kaynaklanan hataların bir füzyon işlemi ile ortadan kaldırılmasıdır. Bunun için uyumluluk değerleri ile bir ağırlık matrisi oluşturularak Eşitlik 1'deki formül üzerinden uygulanmıştır. Füzyon işleminin ilk sonuçları Şekil 2 ve 3'te açıkça görülebilmektedir. Şekil 2 incelendiğinde yükseklik basamaklarına ait renk farklılıklarının ortaya çıktığı görülmüştür. Bunun yanında Şekil 3'teki grafikte InSAR tekniği ile üretilen SYM'lerin GPS nokta yüksekliklerine göre değişimi ortaya konulmuştur. Burada, GPS verileri ve SYM'lerden üretilen yükseklik değerleri arasında elimine edilmesi zor olan farklar bulunmaktadır. Bu farklar, jeoid ondülasyonu ve GPS alıcısının hassasiyetini yanı sıra arazi eğim ve bakışı, raster veri çözünürlüğü ve uydu geliş açısından meydana gelen farklardır. Bu grafikteki dikkat edilmesi gereken husus, bazı noktaların anlamsız denebilecek düzeyde fark ortaya çıkarmış olmasıdır (bkz. 477. nokta). Bunun sebebinin uydu geliş açısı ve arazi yüzeyinden kaynaklanan eğim problemleri olduğu düşünülmektedir.

Şekil 4 ve Çizelge 3 incelendiğinde füzyon değerlerinin alçalan ve yükselen yörüngeye ait SYM değerlerini iyileştirdiği görülebilmektedir. Genel anlamda en hatalı değerleri yükselen yörüngeye ait değerlerde olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu sonuç ise açık bir şekilde füzyon işleminin sonuçları iyileştirdiğini ortaya koymaktadır. Alçalan yörüngeye ait değerleri SS ve KOH değerlerinde birbirlerine yakın olduğu görülse de regresyon ve korelasyon analizlerinde iyileşmenin ortaya çıktığı görülebilmektedir. Çizelge 3'te dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise KOH değerlerinin 25-30 m aralığında olmasıdır. Yükseklik çalışmalarında bu denli yüksek sonuçlara sahip değerler her zaman kullanılamayabilir. Fakat InSAR tekniği ile SYM üretiminde önemli hususlardan biri olan harici SYM verileri bunun asıl sebebidir. Bu çalışmada harici SYM olarak, kullanıcılara ücretsiz sunulduğu ve yazılımlar üzerinde standart olarak kullanıldığı için SRTM verisi kullanılmıştır. Bu sonuç özelinde bakıldığında mekânsal çözünürlüğü daha yüksek harici SYM verileri ile sonuçların daha da iyileştirilebileceği öngörülmektedir.

Özetle, InSAR tekniği ile SYM üretiminde alçalan ve yükselen yörünge değerlerinin, yapılan füzyon işlemi ile iyileştirilebileceği görülmektedir. Fakat burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus arazi eğimi ve uydu geliş açısı değerlerinin sonuçlara her zaman etki edeceğidir. [19] çalışmalarında kullanılan yöntemi şehir alanlarında uygulamışlardır. Bu çalışmada ise dağlık ve eğim olarak dik bir alanda denenmesine rağmen sonuçlarda iyileşme olduğu görülmektedir.

İlerleyen çalışmalarda farklı füzyon metotları ile arazi eğim ve uydu geliş açısı parametreleri de göz önüne alınarak farklı analizler yapılması planlanmaktadır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmada Avrupa Uzay Ajansı (ESA), 39890 (Third Party Missions) nolu projeden sağlanan uydu görüntüleri kullanılmıştır.

6. KAYNAKLAR

1. Sefercik, U.G., 2006. Accuracy Assessment of Digital Elevation Models Derived from Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 115.
2. Miller, C.L., Laflamme, R.A., 1958. The Digital Terrain Model: Theory & Application. MIT Photogrammetry Laboratory. Society's 24th Annual Meeting, Hotel Shoreham, Washington, A.B.D., 433-442.
3. Arıkan, D., Yıldız, F., Makineci, H.B., 2021. Hava Lidarı Verilerine Uygulanan Farklı Enterpolasyon Yöntemlerinin SAM Doğruluğuna Etkisi, Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9(2), 377-394.
4. Gelautz, M., Paillou, P., Chen, C., Zebker, H., 2003. A Comparative Study of Radar Stereo and Interferometry for DEM Generation. Proc. of Fringe 2003 Workshop, 1-5 December 2003, Frascati, Italy.
5. Köse, M.H., 2006. Uydu Radar Görüntülerinden Üç Boyutlu Sayısal Arazi Modelinin Üretilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 92.
6. Fayard, F., Méric, S., Pottier, E., 2007. Matching Stereoscopic SAR Images for Radargrammetric Applications. 2007 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 23-28 July 2007, Barcelona, Spain.
7. Makineci, H.B., Karabörk, H., 2016. Evaluation Digital Elevation Model Generated by Synthetic Aperture Radar Data, International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 1, 57-62.
8. Hanssen, R.F., 2001. Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis, Springer Science & Business Media, 308.
9. Orhan, O., 2018. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Muhtemel Obruk Alanlarının Belirlenmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 182.
10. Torun, A.T., 2021. Radar Görüntülerinden Kar Derinliği ve Hacminin Hesaplanması; Erciyes Dağı Örneği. Doktora Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Aksaray, 98.
11. Calò, F., Notti, D., Galve, J.P., Abdikan, S., Görüm, T., Orhan, O., Makineci, H.B., Pepe, A., Yakar, M., Balık Şanlı, F., 2018. A Multi-Source Data Approach for the Investigation of Land Subsidence in the Konya Basin, Turkey. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-3/W4, 129-135.
12. Zisk, S.H., 1972. A New, Earth-based Radar Technique for the Measurement of Lunar Topography. The Moon, 4, 3-4, 296-306.
13. Graham, L.C., 1974. Synthetic Interferometer Radar for Topographic Mapping. Proceedings of the IEEE, 62, 2, 763-768, Haziran, 1974.
14. Zebker, H.A., Goldstein, R.M., 1986. Topographic Mapping from Interferometric Synthetic Aperture Radar Observations. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 91, B5, 4993-4999.
15. Abdikan, S., 2007. SAR Görüntülerinden Üretilen İnterferometik ve Stereo Sayısal Yükseklik Modellerinin Kalitesinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Uzaktan Algılama ve CBS Programı, İstanbul, 111.
16. Canaslan, F., 2010. InSAR Yöntemiyle Düşey Yönlü Yüzey Deformasyonlarının Belirlenmesi: Konya Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 74.
17. Torun, A.T., Ekercin, S., 2021. Estimating Snow Density, Depth, Volume and Snow Water Equivalent with Insar Data in The Erciyes Mountain/Turkey. Arabian Journal of Geosciences 14, 1456(1-16).
18. Karabörk, H., Makineci, H.B., Orhan, O., Karakus, P., 2021. Accuracy Assessment of DEMs Derived from Multiple SAR Data Using the Insar Technique. Arabian Journal for Science and Engineering, 46(6), 5755-5765.

19. San, B.T., Suzen, M.L., 2005. Digital Elevation Model (DEM) Generation and Accuracy Assessment from ASTER Stereo Data. *International Journal of Remote Sensing*, 26(22), 5013-5027.
20. Wechsler, S.P., 2007. Uncertainties Associated with Digital Elevation Models for Hydrologic Applications: A Review. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(4), 1481-1500.
21. Kyaruzi, J., 2005. Quality Assessment of DEM from Radargrammetry Data. Yüksek Lisans Tezi, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Enschede, Hollanda, 69.
22. Crosetto, M., Pérez Aragües, F., 2000. Radargrammetry and SAR Interferometry for DEM Generation: Validation and Fata Fusion. In *SAR Workshop: CEOS Committee on Earth Observation Satellites*, 450, 367-372.
23. Hoja, D., d'Angelo, P., 2009. Analysis of DEM Combination Methods Using High Resolution Optical Stereo Imagery and Interferometric SAR Data. *ISPRS Hannover Workshop 2009, High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information*, 02-05 Haziran 2009, Hannover, Almanya.
24. Dyatmika, H.S., Arief, R., Sudiana, D., Ali, S., Maulana, R., Budiono, M.E., 2018. Modifikasi Digital Elevation Model (DEM) Citra Resolusi Tinggi Menggunakan Fusi Interferometri SAR dan Stereosar Berbasis Faktor Pembobotan. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 15(2), 83-92.
25. Arief, R., Dyatmika, H.S., Ali, S., 2020. A Fusion of Digital Elevation Model Based on Interferometry SAR Technique from Ascending and Descending Path in Urban Area. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 500(1), IOP Publishing.
26. Güllal, E., Erdoğan, H., Aykut, N.O., Erkaya, H., 2011. The use of SISO ARX Models in the Determination of the Damage to Dams. *International Journal of Damage Mechanics*, 20(7), 979-1001.
27. Zhang, K., Gann, D., Ross, M., Robertson, Q., Sarmiento, J., Santana, S., Rhome J., Fritz, C., 2019. Accuracy Assessment of ASTER, SRTM, ALOS, and TDX DEMs for Hispaniola and Implications for Mapping Vulnerability to Coastal Flooding. *Remote sensing of Environment*, 225, 290-306.
28. Erdoğan, H., 2006. Mühendislik Yapılarındaki Dinamik Davranışların Jeodezik Ölçmelerle Belirlenmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı İstanbul, 181.
29. Gündüz, H.İ., Ekercin, S., 2020. Landsat-8 Uydu Görüntüleri Kullanılarak Hava Kalitesi Haritasının Oluşturulması: Aksaray İli Örneği. *Harita Dergisi*, 2020-163, 50-57.

Mg-2,5Al-1,0Sn-0,3Mn-0,4La-1,33Gd Mg Alaşımının Yüksek Sıcaklık Aşınma Davranışına Haddelme Hızının Etkisinin İncelenmesi

İsmail Hakkı KARA*¹ ORCID 0000-0001-8425-5649

¹Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Karabük

Geliş tarihi: 15.02.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: KARA, İ.H., (2022). Mg-2.5Al-1.0Sn-0.3Mn-0.4La-1.33Gd Mg Alaşımının Yüksek Sıcaklık Aşınma Davranışına Haddelme Hızının Etkisinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 377-382.

Öz

Bu çalışmanın amacı otomotiv ve uzay taşıtlarında kullanım potansiyeli yüksek olan hafif magnezyum (Mg) alaşımların yüksek sıcaklık aşınma davranışına farklı haddelme hızlarının etkisini incelemektir. Sürtünme nedeniyle oluşan veya kullanım çevresine bağlı artan sıcaklığın aşınmaya maruz kalan fren balataları gibi uygulamalarda Mg alaşımın nasıl tepki verdiğini anlamak önem arz etmektedir. Yapısal olarak geliştirilmiş nadir toprak elementi içeren Mg alaşımları buna çözüm olarak düşünülmüştür. Burada yüksek sıcaklığa dayanımı zayıf olan ikincil fazlar yerine yapıda daha kararlı ikincil fazlar oluşturmak esas alınmıştır. Bu amaçla sıcak haddelenmiş Mg-2.5Al-1.0Sn-0.3Mn-0.4La-1.33Gd Mg alaşımına 225°C de aşınma testleri uygulanmıştır. 1.5, 4.7 ve 10 m/dk olmak üzere üç farklı hadde hızıyla elde edilen sac malzemelerin mikroyapısal karakterizasyonu ışık optik mikroskop (LOM) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) vasıtasıyla incelenmiştir. Hadde hızına bağlı ikizlenmeler ve yeniden kristalleşen taneler elde edilmiştir. Sıcak aşınma davranışının mikroyapıya bağlı olarak değiştiği ve oluşan sert ikincil fazların daha yumuşak olan matrisle birleşerek aşınma direncine katkı sağladığı anlaşılmıştır. Artan hadde hızına bağlı aşınma hızında düşüş meydana gelmiştir. 10m/dk ve 1.5m/dk hadde hızlarının aşınma hızları karşılaştırıldığında iki kattan daha fazla fark olduğu görülmüştür. Aşınma mekanizmaları incelenen aşınmış yüzeylerin plastik akma, adhezif ve plastik deformasyon türünde mekanizmalara sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Mg-Al-Sn-La-Gd, Hadde hızı, Aşınma, Mikroyapı

Investigation of the Effect of Rolling Speed on High Temperature Wear Behavior of Mg-2.5Al-1.0Sn-0.3Mn-0.4La-1.33Gd Mg Alloy

Abstract

The aim of this study is to examine the effect of different rolling speeds on the high temperature wear behavior of light magnesium (Mg) alloys, which have high potential for use in automotive and space

* Sorumlu yazar (Corresponding author): İsmail Hakkı KARA, ihakkikara@karabuk.edu.tr

vehicles. It is important to understand how the Mg alloy responds in applications such as brake pads, which are subject to wear due to friction or increased temperature due to the usage environment. Microstructurally enhanced Mg alloys containing rare earth elements have been considered as a solution to this. Here, it is based on creating more stable secondary phases to high temperature conditions in the structure instead of secondary phases with poor resistance to high temperatures. For this purpose, wear tests were applied to hot rolled Mg-2.5Al-1.0Sn-0.3Mn-0.4La-1.33Gd Mg alloy at 225°C. The microstructural characterization of the sheet materials obtained at three different rolling speeds, 1.5, 4.7 and 10 m/min, was investigated by means of light optical microscope (LOM) and scanning electron microscope (SEM). Twinning and recrystallized grains were obtained depending on the rolling speed. It has been understood that the hot wear behavior changes depending on the microstructure and the formed hard secondary phases combine with the softer matrix to contribute to the wear resistance. There was a decrease in the wear rate due to the increasing rolling speed. When the wear rates of 10m/min and 1.5m/min rolling speeds are compared, it has been seen that there is more than two. It was observed that the worn surfaces, whose wear mechanisms were examined, had mechanisms such as plastic flow, adhesive and plastic deformation.

Keywords: Mg-Al-Sn-La-Gd, Rolling speed, Wear, Microstructure

1. GİRİŞ

Magnezyum alaşımlarına olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Bunun en önemli nedeni magnezyum alaşımlarının dŐuk yoğunluklu ve yüksek özgül mukavemetli olmasıdır, fakat magnezyum alaşımlarının kullanımı çok sınırlıdır [1]. Zayıf aşınma performansı, magnezyum ürünlerinin kullanımını azaltmaktadır [2]. Alaşımlama, magnezyum alaşımlarının aşınma direncini artırmak için tercih edilen bir yöntemdir. Son yıllarda magnezyum alaşımlarında alaşım elementi olarak nadir toprak elementleri kullanılmaya başlanmış ve bunun sonucunda hem mekanik özellikler hem de korozyon direnci iyileştirilmiştir [3]. Mg-Al ikili sisteminde $Mg_{17}Al_{12}$ ikincil fazı, dayanım ve korozyona etkisi nedeniyle geniş bir kullanım alanı bulmuŐtur. Buna rağmen $Mg_{17}Al_{12}$ fazı yüksek sıcaklıklarda kararsızdır [4]. Yüksek sıcaklıklara dayanıklı bir faz elde etmek için Mg alaşımlarına kalay (Sn) eklenmiŐ ve olumlu sonuçlar alınmıştır [5]. Mg-Al-Sn alaşımının yüksek sıcaklık dayanımı üzerine çalışma sonuçları Mg_2Sn 'nin ikincil fazının tane sınırlarına eŐlik ettiği ve katı zlti güçlendirme mekanizması yoluyla yüksek sıcaklık çekme mukavemetini arttırdığı aktarılmıştır [5]. Ancak, nadir toprak elementi katkılı Mg-Al-Sn alaşımları üzerine yapılan çalışmalar oldukça azdır. Lantan katkılı magnezyum alaşımlarının korozyon direnci

iyileştirdiği bilinmektedir [6]. Mg-Sn bazlı alaşımda az miktarda La (ağ.ol.%0,3) ilavesi, korozyon direncini ve koruyucu yüzey oksit filmini iyileŐtirmektedir [6]. Gadolinyum ilavesi, magnezyum alaşımlarının mukavemet özelliklerini geliŐtirir. Buna ilaveten Yang M. ve ark. döküm halindeki Mg-3Sn-2Ca Mg alaşımının mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerinde ağırlıkça ağ.ol.%0,42 ila 1,79 aralığında Gd ilavesinin etkisini incelemişlerdir. Ağırlıkça ağ.ol.%0,42 Gd eklenen alaşımın en iyi çekme özelliklerini gösterdiğini, ağırlıkça ağ.ol.%1,79 Gd eklenen alaşımın ise en iyi sürünme özelliklerine sahip olduğunu bulmuşlardır. Ağırlıkça %0,42'den ağırlıkça %1,79'a yükselen Gd nedeniyle CaMgSn ve Mg_2Ca fazlarının hacim fraksiyonu sırasıyla kademeli olarak azaldığı ve arttığı ifade edilmiştir [7]. Buna rağmen, özellikle literatürde La ve Gd modifiye Mg-Al-Sn alaşımlarının yüksek sıcaklık aşınma direnci ile ilgili çalışma çok sınırlıdır. Ayrıca sıcak hadde hızına bağlı değişen Mg alaşımlarının mikroyapı özelliklerinin yüksek sıcaklık aşınma direncine etkisi halen tartıŐılmaktadır.

Bu alıŐmada, Mg-2,5Al-1,0Sn-0,3Mn-0,4La-1,33Gd Mg alaşımının mikro yapısı, uygulanan 1,5, 4,7 ve 10 m/dk'lık sıcak haddeleme hızlarına bağlı olarak ikizlenmeler veya yeniden kristalleşen taneler (DRX'ler) ile oluşturulmuştur. Daha sonra

225 °C'de yüksek aşınma performansı ölçülmüştür. İncelenen numunelerin yüksek aşınma durumu için farklı tepkileri, LOM ve SEM ile belirlenen mikroyapısal özellikleri ortaya konularak açıklanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Mg-2,5Al-1,0Sn-0,3Mn-0,4La-1,33Gd alaşımı, elektrik dirençli bir fırın kullanılarak düşük basınçlı döküm (LPDC) yöntemiyle üretilmiştir. Saf Mg, Al ve Sn ilk olarak fırına yüklenmiştir. 750 °C'de 1 saat eritilen malzemelere Mg-Mn, Mg-La ve Mg-Gd master alaşımları ilave edilmiştir. 350 °C'ye ısıtılmış paslanmaz çelik kalıplara erimiş metal, 1-2 atm uygulanarak enjekte edildi. Üretilen alaşımın kimyasal bileşimi (%2,5Al, %1,0Sn, %0,3Mn, %0,4La, %1,33 Gd ve kalan Mg (%ağ. ol.)) XRF cihazı (Rigaku Primus II-X-Ray Floresans Spektrometresi) ile belirlenmiştir.

2.2. Metot

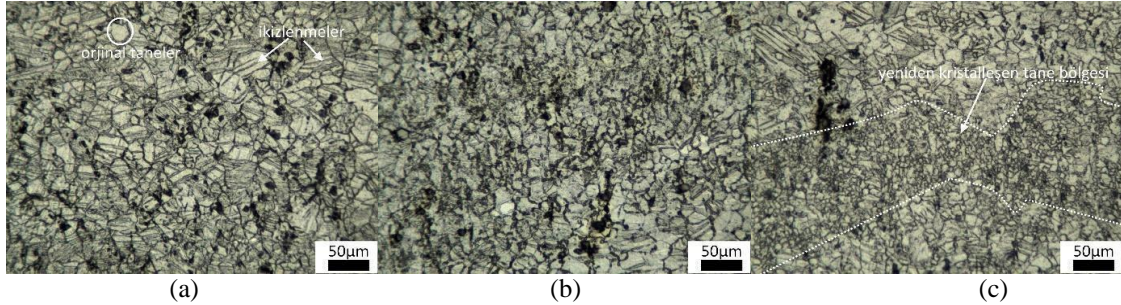
36X36X12 mm'lik levha malzemeler 2 mm et kalınlığında sac malzemelere dönüştürülmüştür. Bu işlem için geleneksel haddeleme yöntemi kullanılmıştır. Sıcak haddeleme öncesi plakalar 350°C derecede 30 dakika tutulmuş ve aynı sıcaklıkta haddeleme işlemi tamamlanmıştır. Toplam 8 pasoda malzemelerin yaklaşık %83'ü deforme olmuştur. Geçişler arasında 350°C derecede 5 dakika beklemiştir. Et kalınlığı 2 mm olan sac malzemeler suda soğutulmuştur. Sıcak haddeleme parametreleri, paso başına %20 deformasyon oranı ve 1,5, 4,7 ve 10 m/dak'lık üç farklı haddeleme hızını içermektedir. Mikroyapısal karakterizasyon öncesi zımparalama (600-2500 kum sayılı), parlatma (1µm elmas süspansiyon) ve dağlama (pikral) işlemleri yapılmış ve metalografik işlemler tamamlanmıştır. Optik mikroskop (LOM- Carl Zeiss ışık optik mikroskobu) ve elektron mikroskobu (Carl Zeiss Ultra Plus taramalı elektron mikroskobu) sırasıyla tanelerin değişimini ve ikincil fazları ortaya çıkarmak için kullanılmıştır. Ortalama tane boyut analizi ve ikizlenme fraksiyonları sırasıyla ASTM

E112 ve ASTM E562-02 standardlarına göre optik mikroskop görüntülerinden ImageJ yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. ASTM G-99 standardına göre 1 kg yük altında kuru ortamda ball-on-disc aşınma testi (UTS-Tribometer aşınma test cihazı) yapılmıştır. 6 mm çapa ayarlı aşınma testinde numuneler toplam 50 m boyunca 225 °C'de aşınma testine tabi tutulmuştur. Aşınma sonrası hacimsel kayıp, bir profilometre (Mitutoyo) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Her numuneden aşınma yoluna dik yönde beş ölçüm yapılmıştır. 2B boyutlu profilometre eğrileri ile toplam iz uzunluğu çarpılarak aşınmış hacim miktarı bulunmuştur [9]. Aşınma testi sonrasında değişen alaşım element miktarı ve aşınma yüküne bağlı olarak aşınma mekanizması EDX (enerji dağılımlı X-ray spektrometresi) desteklenen SEM cihazı vasıtasıyla incelenmiştir. Numunelerin sertlik ölçümü, universal Brinell sertlik cihazı (2,5 mm çapında çelik bilye, 187,5 kg yük-10 saniye bekleme süresi) kullanılarak ASTM E10-08 yöntemine göre yapılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Mikroyapı Özellikleri

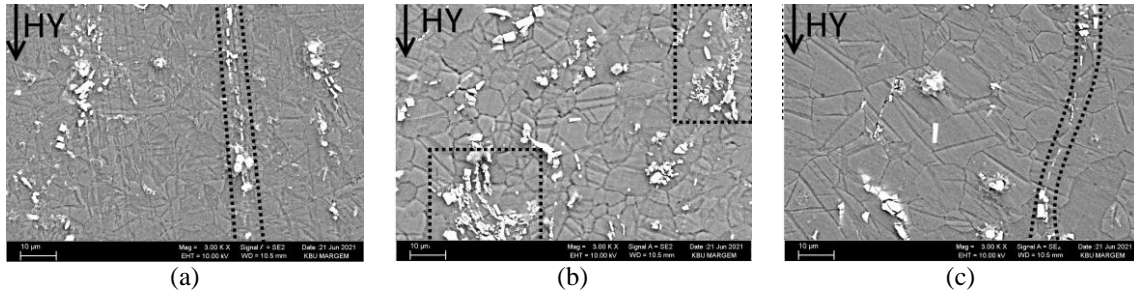
Şekil 1, LOM tarafından elde edilmiş mikroyapı resimlerini içermektedir. Şekil 1'e bakıldığı zaman sıcak haddelemenin sonucu ortaya çıkan eş eksenli tanelerin tüm hadde hızı uygulamaları için ortak özellik olduğu söylenebilir. Buna rağmen hegzagonal sıkı paket yapıya sahip Mg alaşımlarının deformasyon mekanizması ikizlenme veya yeniden kristalleşme şeklinde olmaktadır [2]. Burada düşük hadde hızına bağlı ikizlenme fraksiyonun daha yüksek oranda olduğu, fakat yükselen hadde hızına bağlı yeniden kristalleşen tanelerin arttığı görülmüştür. Şekil 1a'da 1,5 m/dk hadde hızında oluşan ikizlenmelerin orijinal taneleri böldüğü görülmektedir, bunun yanında eş eksenli daha küçük boyutlu tanelerde vardır. Şekil 1b'de 4,7m/dk hadde hızının daha ince taneleri yapıya kazandırdığı, fakat ikizlenmelerin azalan şekilde varlığını koruduğu anlaşılmaktadır. 10m/dk hadde hızında ise çok ince taneli yeniden kristalleşmiş eş eksenli ikizlenme içermeyen tanelerin baskın olduğu görülmektedir (Şekil 1c).



Şekil 1. LOM vasıtasıyla elde edilen (a) 1,5 (b) 4,7 ve (c)10 m/dk hadde hızlarına ait mikroskobik resimler

Şekil 2, SEM vasıtasıyla elde edilmiş mikroyapı resimlerini içermektedir. SEM cihazı ışık mikroskobunda teşhis edilemeyen ikincil faz olarak tanımlanan parlak veya gri renkli partikülleri görmemizi sağlamıştır. Mikroyapıdaki ikincil fazlar şekil, boyut ve dağılım bakımından farklı olabilmektedir. 1,5 m/dk hadde hızının hadde yönünde sıralı şerit halinde yer edinmiş küresel ve kare veya dikdörtgen şekilli ikincil

fazlara sahip olduğu görülmektedir (Şekil 2a). Buna rağmen 4,7 m/dk hadde hızında daha iri birbirinden ayırık ve kümelenmiş halde daha ince ikincil fazlar mikroyapıda yer almıştır (Şekil 2b). 10 m/dk hadde hızında haddelenmiş numuneye ait SEM resmi bir arada bulunan iri ya da hadde yönü (HY) boyunca sıralanmış ince ikincil fazları barındırmaktadır (Şekil 2c).



Şekil 2. (a) 1,5 (b) 4,7 ve (c)10 m/dk hadde hızlarına ait SEM ile elde edilmiş mikroskobik resimler

3.2. Sertlik, İkizlenme Fraksiyonu ve Ortalama Tane Boyutu Özellikleri

Çizelge 1. 1,5, 4,7 ve 10 m/dk hadde hızında haddelenmiş numunelere ait ortalama tane boyutu, ikizlenme fraksiyonu ve sertlik sonuçlarını içermektedir. Artan hadde hızına bağlı ortalama tane boyutunun düştüğü görülmektedir. Burada optik mikroskop görüntülerinden anlaşılacağı üzere yeniden kristalleşen tanelerin artan hadde hızıyla yoğun şekilde artması ortalama tane boyutunda düşüşe neden olmuştur. Aynı şekilde yeniden kristalleşen tane sayısında artış ikizlenme fraksiyonunun azalmasına neden olmuştur. Brinell sertlik sonuçları aynı zamanda artan hadde hızıyla beraber azalan sertlik değerlerini içermektedir.

Yeniden kristalleşen tanelerin dislokasyon içermeyen tane olarak isimlendirilmesi ve süneklikte artışa neden olması sertlikte azalmayı açıklamayabilir [9]. Aynı zamanda ikizlenme fraksiyonunun azalması sonucu azalan tane sınırı sertlikteki düşüşü neden olmuş olabilir [10].

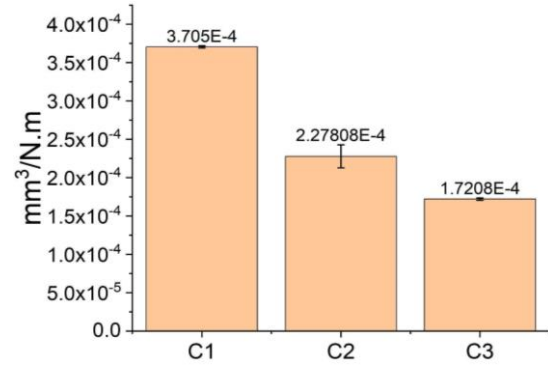
Çizelge 1. Mikroyapı resimlerden elde edilen veriler ve sertlik testi sonucu

Numune İsmi	Ortalama Tane Boyutu (µm)		İkizlenme		Brinell Sertlik (HBW)	
	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma
C1	19±	2,2	0,12	±0,005	65	±0,7
C2	17±	1,5	0,09	±0,005	64	±1,3
C3	17±	1,1	0,09	±0,010	58	±1,0

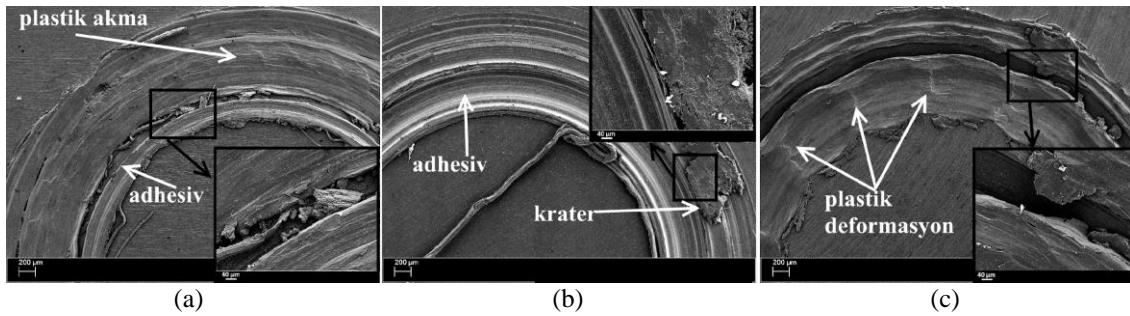
3.3. Sıcak Aşınma Testi Sonuçları

Şekil 3, 250 °C'de aşınma testi uygulanmış numunelerin birim yük ve mesafe başına kaybettikleri hacimsel metal kaybını göstermektedir. Şekil 3'den anlaşılacağı üzere artan hadde hızına bağlı azalan aşınma oranı sahip ($\text{mm}^3/\text{N.m}$) bir grafik elde edilmiştir. Plastik deformasyon sırasında hadde hızı arttıkça deformasyon enerjisi artmaktadır ve yeniden kristalleşme meydana gelmektedir. Yeniden kristalleşen taneler daha yumuşak ve sünekliği geliştirmesiyle bilinmektedir [11]. Buna rağmen homojenleştirme sonrası taneler düşük hadde hızı uygulanmış ve dolayısıyla daha düşük enerji içeren pasolar neticesinde ikizlenme baskın hale gelmiştir. İkiz sınırları orjinal taneleri bölmekte ve mukavemet bakımından Mg alaşımlarını geliştirmektedir [12]. Fakat, bu çalışmada aşınma mekanizması kendini yeniden kristalleşme baskın mikroyapıda daha dirençli olacak şekilde göstermiştir. Burada sert ikincil fazlar yumuşak matris fazı ile karışarak aşınma dirençli bir yüzeye neden olmuştur. Aşınmış yüzey görüntülerine bakıldığı zaman (Şekil 4c), plastik deformasyon baskın aşınma mekanizması 10 m/dk hadde hızında haddelenmiş numunede görülmektedir. Burada birbiri içinde karışmış ikincil faz matris yapısı aşındırıcı bilyeye karşı daha dirençli yüzey sağlamıştır. Buna rağmen daha düşük hızlarda haddelenmiş numunelerin adhezif aşınma türü,

tepeler arasında çukurlar ve aynı anda çizgiler, içerdiği görülmektedir. Aşınma sırasında çukurlardan aşınan metal partiküller birikmiş krater şeklinde yüzeyde görülmektedir (Şekil 4b). Aynı zamanda 1,5 m/dk hadde hızında haddelenmiş numune hem adhezif hem de plastik akma (plastic yielding) içermektedir ve bunun sonucu aşırı adhezif aşınma (severe adhesion) meydana gelmiştir (Şekil 4a). Tane sınırlarının yoğunluğu arttıkça arayüzey enerjisinin artışı olmaktadır ve bu tür yapılar aşırı adhezif aşınmaya daha yatkındır [13]. Gevrek malzemelerde adhezif olmuş yüzeyde kopma yerine kayma bantları oluşmaktadır bu durumda ise malzemeden daha çok yüzey hasarı veya metal ayrılması olmaktadır [14-16].



Şekil 3. Aşınma hızlarının karşılaştırması



Şekil 4. Aşınmış yüzeylerden elde edilen SEM mikroskop resimleri (a) C1, (b) C2 ve (c) C3

4. SONUÇLAR

Mg-2,5Al-1,0Sn-0,3Mn-0,4La-1,33Gd Mg alaşımının yüksek sıcaklık aşınma davranışının hadde hızına bağlı farklı şekilde tepki verdiği görülmüştür.

Düşük hadde hızında ikizlenme baskın daha sert yapı aşınma sırasında daha fazla metal kaybına uğramıştır. Buna rağmen yüksek hadde hızında oluşan yeniden kristalleşen taneler daha yumuşak bir yapı kazandırmak suretiyle ikincil fazların

matriksde daha kolay karışmasına ve yüksek sıcaklıkta aşınma dirençli bir yüzey oluşmasına neden olmuştur. Plastik deformasyon türü aşınma mekanizması yumuşak matriksde metal kaybını azaltmak ve sonuç olarak daha yüksek hadde hızında haddelenen numunede aşınma oranı azalmıştır.

5. KAYNAKLAR

1. uğ, H., Ahlatı, H., 2017. Effect of Zn and Mn Additions on the Wear Resistance of Cast Alloy Mg-5% Al-1% Si. *Met. Sci. Heat Treat*, 59,(3-4), 161-167.
2. Kara, I.H., Incesu, A., 2021. Microstructural, Mechanical, and Tribological Properties of Mg-3Al-1Sn-1Nd-Mn Alloy. *J. Mater. Eng. Perform*, 30(3), 1674-1682.
3. Asl, K., Masoudi, A., Khomamizadeh, F., 2010. The Effect of Different Rare Earth Elements Content on Microstructure, Mechanical and Wear Behavior of Mg-Al-Zn Alloy. *Mater. Sci. Eng. A*, 527(7-8), 2027-2035.
4. Kumar, A., Meenashisundaram, G., Manakari, V., Parande, G., Gupta, M., 2017. Lanthanum Effect on Improving CTE, Damping, Hardness and Tensile Response of Mg-3Al Alloy, *J. Alloys Compd*, 695, 3612-3620.
5. Asl, K.M., Tari, A., Khomamizadeh, F., 2009. The Effect of Different Content of Al, RE and Si Element on the Microstructure, Mechanical and Creep Properties of Mg-Al Alloys. *Mater. Sci. Eng. A*, 523(1-2), 1-6.
6. Wang, C., Zeng, L., Ding, W., Liang, T., 2021. Effects of Minor RE (Y, La) on Microstructure and Corrosion Behavior of TX31 Alloys. *J. Mater. Res. Technol.*,14, 69-80.
7. Yang, M., Zhu, Y., Liang, X., Pan, F., 2011. Effects of Gd Addition on As-cast Microstructure and Mechanical Properties of Mg-3Sn-2Ca Magnesium Alloy. *Mat. Sci. Eng. A*, 528, 1721-1726.
8. ASTM, 1968. Evaluation of Wear Testing, American Society for Testing and Materials, San Francisco.
9. Zhang, Q., Li, Q., Chen, X., 2021. The Effects of Sn Content on the Corrosion Behavior and Mechanical Properties of Mg-5Gd-3Y-xSn-0.5Zr alloys, *Royal Society of Chemistry*, 11, 1332-1342.
10. Yan, C., Xin, Y., Chen, X., Chu, P., Liu, C., Guan, B., Huang, X., Liu, Q., 2021. Evading Strength-corrosion Tradeoff in Mg Alloys Via Dense Ultrafine Twins. *Nat. Commun.*, 12, 4616.
11. Huang, W., Chen, J., Zhang, R., Yang, X., Jiang, L., Xiao, Z., Liu, Y., 2022. Effect of Deformation Modes on Continuous Dynamic Recrystallization of Extruded AZ31 Mg Alloy. *J. Alloys Compd.*, 897, 163086.
12. Jahedi, M., McWilliams, B.A., Moy, P., Knezevic, M., 2017. Deformation Twinning in Rolled WE43-T5 Rare Earth Magnesium Alloy: Influence on Strain Hardening and Texture Evolution, *Acta Materialia*, 131, 221-232.
13. Lim, S., Ashby, M., Brunton, J., 1987. Wear-rate Transitions and Their Relationship to Wear Mechanisms. *Acta Metallurgica*, 35,(6), 1343-1348.
14. Myshkin, N.K., Kim, C.K., Petrokovets, M.I., 1997. Introduction to Tribology, Cheong Moon Gak, Seoul.
15. Aydin, F., Turan, M.E., 2020. The Effect of Boron Nitride on Tribological Behavior of Mg Matrix Composite at Room and Elevated Temperatures. *ASME. J. Tribol.*,142(1): 011601.
16. Demirdal, S., Aydın, F., 2022. The Influence of Low-cost Eggshell on the Wear and Electrochemical Corrosion Behaviour of Novel Pure Mg Matrix Composites. *Mater. Chem. Phys.*, 277, 125520.

Entegre Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR Yöntemleriyle Tesis Yeri Seçimi

Beyza TERME*¹ ORCID 0000-0003-2526-9498

İrem ÇİÇEK¹ ORCID 0000-0002-5928-7849

Alper KİRAZ¹ ORCID 0000-0001-7067-1473

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya

Geliş tarihi: 14.02.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: TERME, B., ÇİÇEK, İ., KİRAZ, A., (2022). Entegre Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR Yöntemleriyle Tesis Yeri Seçimi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 383-398.

Öz

Kar amacı güden her işletmenin varoluş sebebi maksimum faydayla faaliyet göstermektir. Maksimum fayda sağlama yolunda stratejik kararlar önemlidir. Bu kararlar işletmeleri uzun dönemde etkiler ve hata yapılırsa büyük maliyetler oluşabilir. Stratejik kararlardan biri tesis yeri seçimidir. Tesis yeri yatırımı karar vericilerin hedefleri doğrultusunda karlı sonuçlanmalıdır. Çalışmada Ark Pres Emniyet Kemerleri A.Ş. için tesis yeri seçimi problemi ele alınmıştır. İşletmedeki karar vericilerin kriterlerin önem düzeylerinin tek bir kararda olmaması problemi karmaşıklştırmıştır. Çözümde Çok Kriterli Karar Verme tekniklerinden Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) ve Bulanık Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm (Bulanık VIKOR) yöntemleri uygulanmıştır. Bulanık AHP ile karar vericilerin değerlendirmeleri doğrultusunda kriterler ağırlıklandırılmış, Bulanık VIKOR ile bu ağırlıklar kullanılarak alternatifler sıralanmış ve seçim yapılmıştır. Çalışmada ana kriter ağırlıklarından en önemlisi maliyet, alt kriter ağırlıklarından en önemlisi işçilik maliyetleri olarak belirlenmiştir. Uygulama sonucunda işletmenin tesis yeri beş alternatif arasından en uygun olan Kocaeli - Arslanbey Organize Sanayi Bölgesi seçilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tesis yeri seçimi, Çok kriterli karar verme yöntemleri, Bulanık AHP, Bulanık VIKOR

Facility Location Selection with Integrated Fuzzy AHP and Fuzzy VIKOR Methods

Abstract

The reason for the existence of every profit-oriented business is to operate with maximum benefit. Strategic decisions are essential in achieving maximum benefit. These decisions affect companies in the

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Beyza TERME, beyza.terme@ogr.sakarya.edu.tr

long run, and if companies make mistakes, high costs can occur. One of the strategic decisions is the choice of facility location. The facility location investment should result in a profitable outcome in line with the goals of the decision-makers. In this study, the facility location selection problem of Ark Pres Safety Belts A.Ş. Company is discussed. The fact that decision-makers in the business do not make a single decision at the criteria's importance levels has complicated problems. "Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)" and "Fuzzy Multi-Criteria Optimization and Compromise Solution (VIKOR)" methods are applied for the solution. With Fuzzy AHP, the criteria are weighted in line with the evaluations of the decision-makers, and with Fuzzy VIKOR, the alternatives are listed, and selection is made using these weights. In the study, the cost is set as the most critical weight of the main criterion, and labor cost is set as the most important of the sub-criteria weights. As a result of the application, Kocaeli - Arslanbey Organized Industrial Zone is chosen as the most suitable facility location of the enterprise among the five alternatives.

Keywords: Facility location selection, Multi-criteria decision making methods, Fuzzy AHP, Fuzzy VIKOR

1. GİRİŞ

Tesis yeri işletmenin yaşaması ve gelişmesi için zorunlu bir hayat alanıdır. Uygun tesis yeri seçimi günümüzde yeni bir kuruluşun faaliyetlerini başlatabilmesi ve maksimum fayda ile gerçekleştirebilmesi için en temel ve zaruri meselelerdendir. Tesis yeri seçimi ticari açıdan önem arz etmesinin yanı sıra; gelir dağılımı, bölgelerin gelişmişlik farkları, çevresel etmenler ve teşvik tedbirleri, kümelenmeden kaynaklı oluşabilecek dışsallıklar gibi boyutları da kapsamaktadır.

Her sektörde olduğu gibi otomotiv sektöründe de günden güne artan rekabette öne geçen işletmelerin, müşteri talep ve gereksinimlerini anında ve tam olarak karşılaması amacı tesis yeri seçimini önemli bir konu haline getirmektedir.

Ark Pres, 1973'te Statik Emniyet Kemerini üretimi ile sektöre adım atmıştır. Kısa zaman içinde otomotiv sektöründe tercih edilen bir konuma ulaşmıştır. Daima gelişim göstermeyi ve müşterilerinin gelecek dönemdeki ihtiyaçlarını önceden saptayarak karşılamayı prensip olarak gören Ark Pres, bu düşünceyle ARGE uygulamalarına öncelik vererek Türkiye'de ilk otomatik geri sancılı emniyet kemerini imal eden firma olmuştur. Pazarda payını büyütmeyi hedefleyen Ark Pres için stratejik kararların en

önemlilerinden biri tesis yeri seçimidir. Bu karar uzun süreli özellik gösteren stratejik bir yatırım kararı olup işletmenin rekabet gücüne etki etmektedir. Yer seçimi karar vericiler için fazla sayıda kriter bulundurma ve birbirleriyle ilişkili ve ilişkisiz bu kriterler arasında uzlaşma gerektirmesi sebebiyle karmaşık bir karar verme sürecidir. Karar verme durumunda karar vericiler en uygun yerin seçiminde bu kriterleri göz önünde bulundurarak alternatifleri bu kriterler doğrultusunda değerlendirmektedirler. Yani, bu seçim kolay ve tek taraflı tanımlanabilir değildir. Tesis için en uygun yerin seçimi konusunda karar verebilmek amacıyla doğrusal programlama, finansal yöntemler, simülasyon yöntemi vb. metotlar ile hiyerarşiyi dikkate alan çok kriterli karar verme (ÇKKV) tekniklerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), İdeal Çözüme Benzerlik Bakımından Sıralama Performansı Tekniği (TOPSIS), Bulanık TOPSIS, Bulanık AHP vb. yöntemler örnek verilebilir [1]. Bu çalışmada ÇKKV tekniklerini kullanarak ideal sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır.

2. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

2.1. AHP

Thomas L. Saaty 1977 yılında ilk olarak ÇKKV tekniklerinden olan AHP tekniğini önermiştir.

AHP karar alırken karar verici bireyin ya da karar verici grubunun önceliklerine dikkat ederek nitel ve nicel değişkenlerin birlikte değerlendirilmesini sağlayan matematiksel yöntemdir [2]. Bireyleri verecek oldukları kararlarda teknik kullanmaya zorlamak yerine her bireyin kendi karar verme mekanizmasını tanımasına imkân sağlayarak daha iyi karar vermelerini amaç edinmektedir [3]. AHP tekniği ÇKKV problemlerinde tek başına kullanılabilirdiği gibi diğer tekniklerle birlikte de kullanılabilir. Bu kullanımın olduğu problemlerde AHP tekniği sonucu elde edilen ağırlıklar beraberinde kullanıldığı tekniğe girdi sağlamaktadır. AHP tekniğinde sistemi etkilediği düşünülen faktörler hiyerarşik düzende belirtilir. Alternatiflerin değerlendirilmesi amacıyla hiyerarşik düzende her bir seviyenin elemanları ikili karşılaştırılır. Elde edilen veriler doğrultusunda alternatiflerin puanları hesaplanır [4]. AHP tekniği, ikili karşılaştırma esnasında oluşan belirsizlik ve kararsızlık durumlarına karşı yetersiz kalmasıyla eleştirilmektedir [5]. Bu sebeple, Bulanık AHP tekniğinin kullanılmasının karar verme sürecindeki belirsizlikleri ortadan kaldırması sebebiyle daha uygun olacağını göstermektedir.

Bulanık AHP bulanık ilişki kavramının ikili karşılaştırma kavramıyla birleştirilmesi ile oluşmuştur. Geleneksel AHP tekniği yerine kullanımının önerilmesinde dilsel yaklaşım ile karar vericilerin gösterdikleri tutumları hesaba katmasıdır [6]. İnsani düşünme tarzını yansıtmayan ve keskin değerlerin kullanıldığı AHP tekniğinden farklı olarak Bulanık AHP tekniğinde karşılaştırma oranları bir değer aralığında gösterilmektedir [7].

2.2. TOPSIS

Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilen, uygulaması ve anlaşılması kolay bir yöntem olan TOPSIS tekniği ÇKKV problemlerinde sıkça kullanılan tekniklerden biridir. TOPSIS tekniğinin temeli pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözümden en uzak en uygun çözümü belirlemektir. Mesafelerin

çift yönlü olması yalnızca maksimize edilmesi gereken durumları değil minimize edilmesi gereken durumları da göz önüne alarak en uygun çözümün belirlenmesini sağlar [8]. Gerçek hayat problemlerinde değerlendirmede sayısal değerlerin yetersizliği ve insan yargılarının belirsizlik içermesi nedeniyle TOPSIS yöntemi bulanık verilerin kullanılabilirdiği şekilde geliştirilmiştir [9].

Hwang ve Yoon'un geliştirdiği Bulanık TOPSIS yöntemi Chen ve Hwang tarafından geliştirilen modeli referans olarak sözel belirsizlik durumlarında ve grup olarak karar vermenin gerekli olduğu problemlerde kullanılmak üzere ortaya konulmuştur. Karar verici grubu kriterleri ve alternatifleri sözel olarak değerlendirir. Tekniğin temelinde karar verici grubunun alternatifleri değerlendirmeye yönelik kullandıkları kriterlerin ağırlıklarının farklı olması vardır. Değerlendirmelerin üçgen ya da yamuk bulanık sayılara dönüştürülmesiyle alternatiflere ait yakınlık katsayıları hesaplanır. Yakınlık katsayılarına göre alternatiflerin sıralanması işlemi gerçekleştirilir [10].

2.3. VIKOR

Opricovic tarafından öne sürülen ve ÇKKV problemlerinde uygulanan VIKOR yöntemi, alternatiflerin birbirleriyle çelişen kriterler doğrultusunda sıralanmasıyla en uygun olanının seçimine dayanmaktadır [11]. Sıralama yapılırken alternatiflerin en iyi çözüm olan pozitif ideal çözüme göre yakınlıkları dikkate alınır. Diğer ÇKKV tekniklerinde olduğu gibi VIKOR tekniğinde de kriter ağırlıklarının kesin bilindiği varsayımı bulunmaktadır. Gerçek hayat problemlerinde kesin veriye ulaşmanın güç oluşu ve insan kararlarının muğlak oluşu sayısal değerler ile değerlendirme yapmayı zor bir hale getirmektedir. Bireylerin belirsizlik ve kararsızlık durumlarını çözüme katabilmek amacıyla dilsel değerlendirmeler kullanılmaktadır [12]. Bu amaç doğrultusunda bulanık VIKOR tekniğinin kullanımı uygundur.

Bulanık VIKOR, bulanık mantığın VIKOR yöntemiyle bileşimidir. Dilsel değerlendirmeler doğrultusunda en iyi ve uzlaştırıcı çözüme ulaşmada sistematik ve rasyonel süreçler sunan bir tekniktir.

2.4. PROMETHEE

Jean-Pierre Brans tarafından ortaya konulmuş olan teknik, problemin çözümü için belirlenen kriterler doğrultusunda en uygun alternatifi seçmek amacıyla kullanılan ÇKKV tekniklerinden biridir. Çok kriterli problemleri çözerken etkili olması ve kolay bir teknik olması dolayısıyla sıkça kullanılmaktadır. PROMETHEE tekniği basit, açık ve dengelidir. PROMETHEE tekniğinde ÇKKV problemlerinde yer alan alternatifleri belirlenen kriterler doğrultusunda ikili karşılaştırır ve sıralama işlemini gerçekleştirir. Sıralama işlemini yaparken tercih fonksiyonları kullanılır [13]. PROMETHEE tekniğinin belirli derece doğruluğu olan, sayısal verileri kullanması dolayısıyla oluşan eksikliği gidermek amacıyla bulanık sayılarla gösterilen verileri de çözüme katabilmek için bulanık PROMETHEE tekniği kullanılmaktadır.

Bulanık PROMETHEE, 1998 yılında Lé Teno ve Mareschal tarafından ortaya atılmıştır. Bulanık PROMETHEE tekniği bulanık sayılar ile PROMETHEE tekniğinin bileşimidir. Teknikte alternatiflerin performanslarının hesaplanmasında bulanık sayılar kullanılmaktadır. Buna karşılık karar vericilerin tercihleri bulanık değildir.

2.5. DEMATEL

DEMATEL yönteminde kriterlerin öncelikleri, kriterlerin diğer kriterler üzerindeki etkilerinin şiddetini ortaya koyarak hesaplanmaktadır [14]. DEMATEL yöntemi sistemin bileşenlerinin arasındaki yapı ve ilişkileri inceleyen etkili bir yöntemdir. Seçilen kriterleri ilişkilerin türü ile birbirlerine olan etkilerinin önemi yönünden öncelik sıralamasına uygun düzenleyebilmektedir. Kriterler arasından diğerleri üzerindeki etkisi daha yüksek olan ve önceliğinin olduğu varsayılan kriterler sebep kriterleri şeklinde isimlendirilirken etki daha düşük olan ve önceliğinin de düşük

olduğu varsayılan kriterler sonuç kriterleri şeklinde isimlendirilmektedir [15].

Gelişmekte olan olaylar üzerinde karmaşık yapıdaki etki altında kalan ve etki altına alan faktörleri belirlemek amacıyla kullanılan DEMATEL yöntemi, temelde karmaşık yapıda olan neden sonuç ilişkilerini görsel bir hale getirerek anlam ifade eden sonuçlara ulaşmayı hedeflemektedir. Ancak söz konusu ilişkilerde etmenler arasında olan etkileşimin derecesini belirlemek fazlasıyla güçtür. Çünkü etmenler arasında olan etkileşimin nicel şekilde ifadesi fazlasıyla zor olmaktadır. Bu sebeple, DEMATEL yöntemi Lin ve Wu tarafından bulanık yaklaşımla da ele alınmıştır [16].

2.6. SWARA

SWARA, kriter ağırlıklandırma yöntemleri arasında kullanılır ve Türkçede “Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Analizi” şeklinde tanımlanır [17]. Uzman odaklı yöntem şeklinde bilinmesinin sebebi, temelinde kriter ağırlıkları belirlenirken kriterlerin önem oranlarına yönelik uzman fikirlerini tahmin edebilme yeteneğinin olmasıdır. Aynı zamanda yöntem, uzman bilgilerinin elde edilmesi ve bir araya toplanması açısından önem taşır [18]. SWARA yönteminin kriterlere ait ağırlıkların önceden bilindiği durumlarda uygun görülmesinin sebebi doğrudan kriterler ve öncelikleri ile ilgili karar verebilmesidir [19].

Bulanık SWARA, SWARA metodunda karşılaştırmaların yapılması esnasında bulanık ifadelerin kullanıldığı bir yöntemdir. Bulanık SWARA yöntemi, karar verilirken birtakım etkenler olması ve zorlukların yaşanması sebebiyle karmaşık hale gelen değerlendirmenin etkili ve gerçek düzeye yakın biçimde uygulanmasına imkân sunmaktadır. Yöntem, çevresel ve ekonomik duyarlılığa sahip değerlendiricilere kendi önceliklerini seçmelerinde hak tanımaktadır. Zolfani ve Saparuskas SWARA’da diğer yöntemlere nazaran değerlendiricilerin öneminin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Çizelge 1. ÇKKV tekniklerinin tesis yeri seçimi problemlerinde kullanıldığı çalışmalardan özet

Yazar Adı (Yıl)	Çalışmanın Yapıldığı Sektör	Metot				
		Ahp	Topsis	Electre	Vikor	Diğer
Hong ve Xiahua (2011) [20]	Lojistik	•				
Tzeng ve ark. (2002) [21]	Gıda	•				
Aktaş ve Demirel (2021) [22]	Mobilya		○		•	•
Akyüz ve Kılınç (2016) [23]	Sağlık		○			
Soba (2013) [24]	Bankacılık	•		•		
Yavuz ve Deveci, (2014) [25]	AVM		○		○	
Yücel ve Ulutaş (2009) [26]	Lojistik			•		
Akyüz ve Soba (2013) [27]	Tekstil			•		
Balkan (2020) [28]	Enerji			•		
Ar ve ark. (2014) [29]	Otelcilik	○			○	
İnağ ve Arıkan (2020) [30]	Geri Dönüşüm					• ¹
Kaya (2020) [31]	Sivil Savunma					• ²
• : İlgili çalışmada sütunda bulunan tekniğin kullanıldığını gösterir.						
○ : İlgili çalışmada sütunda bulunan tekniğin bulanık versiyonunun kullanıldığını gösterir.						
• ¹ : DEMATEL, ANP, MP • ² : PROMETHEE						

3. YÖNTEM

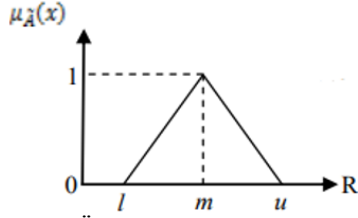
Yapılan literatür araştırması sonucunda Ark Pres Emniyet Kemerleri A. Ş. Tesis yeri seçimi probleminin çözümünde Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR tekniklerinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Tesis yeri seçimi problemlerinde karar vericiler, kesin ya da belirli olmayan bilgileri de göz önünde bulundurmada durmaktadır. Kesin ya da belirli olmayan bilgilerin çözüm aşamasına katmanın yöntemlerinden biri dilsel değerlendirmeleri tercih etmektir. Bulanık AHP-VIKOR yöntemi, bulanık mantık yaklaşımında AHP yöntemi yardımıyla kriter ağırlıklarının hesaplanması ve VIKOR yöntemi yardımıyla alternatiflerin sıralamasının yapılması amacıyla kullanılan uygulamadır. Yöntem, dilsel değerlendirmeler göz önünde bulundurularak kriterlerin ikili karşılaştırmalar ile değerlendirilmesi ve ağırlıklarının hesaplanmasında en iyi ve uzlaştırıcı çözümü bulmada rasyonel ve sistematik süreçler sağlamaktadır. Literatürde tesis yeri seçimi için sıklıkla kullanılan VIKOR yönteminin bu çalışmada da uygun çözüme götüreceği saptanmıştır.

Literatür araştırması sonucunda Bulanık AHP-VIKOR yöntemlerinin bütünleşik kullanımına ilişkin imalat sektöründe yapılmış sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu sebeple çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmüştür.

3.1. Bulanık Küme Teorisi

Bulanık küme teorisi 1965'te Zadeh tarafından bireylerin karar vermelerinde tutumlarındaki muğlaklık ve sübjektiflikleri çözmek için karar verme sürecinde dilsel değişkenleri ifade etmek amacıyla ortaya konulmuştur [32]. Nicel ifadede güçlük yaşanan durumların kolaylıkla ifade edilmesinde dilsel değişkenler bulanık sayılara dönüştürülür ve çözümlenmeye olanak sağlar [33]. Bulanık üyelik fonksiyonlarının üçgensel, yamuk, gauss tipi gibi türleri bulunmakla birlikte bu çalışmada üçgensel bulanık sayıların kullanımını tercih edilmiştir. Üçgensel bulanık sayılar, bulanık sayıların özel bir türü olup, üç adet gerçek sayıyla tanımlanmaktadır. Üçgensel bulanık sayıları ifade ederken (l, m, u) parametreleri kullanılır. Bu parametreler en küçük olası, en olası ve en büyük olası değeri gösterecek şekilde sıralanmıştır [34]. Şekil 1'de gösterilen ve $\tilde{A} = (l, m, u)$ olarak ifade edilen üçgensel bulanık sayının üyelik fonksiyonu (Eşitlik 1) ifadesi şeklinde tanımlanır.



Şekil 1. Üçgensel bulanık sayı

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & x < l \text{ veya } x > u \\ \frac{x-l}{m-l} & l \leq x \leq m \\ \frac{x-u}{m-u} & m \leq x \leq u \end{cases} \quad (1)$$

l parametresi alt, u parametresi üst ve m parametresi ise \tilde{A} bulanık sayısının orta değerini göstermektedir. İki bulanık üçgen sayı (\tilde{A}_1 ve \tilde{A}_2) için temel işlemlerden bazıları eşitliklerde (Eşitlik 2-6) gösterilmektedir [32].

$$\tilde{A}_1 + \tilde{A}_2 = (l_1 + l_2; m_1 + m_2; u_1 + u_2) \quad (2)$$

$$\tilde{A}_1 - \tilde{A}_2 = (l_1 - u_2; m_1 - m_2; u_1 - l_2) \quad (3)$$

$$\tilde{A}_1 \times \tilde{A}_2 = (l_1 \cdot l_2; m_1 \cdot m_2; u_1 \cdot u_2) \quad (4)$$

$$\tilde{A}_1 / \tilde{A}_2 = \left(\frac{l_1}{l_2}; \frac{m_1}{m_2}; \frac{u_1}{u_2} \right) \quad (5)$$

$$\tilde{A}_1^{-1} = \left(\frac{1}{u_1}; \frac{1}{m_1}; \frac{1}{l_1} \right) \quad (6)$$

3.2. Bulanık AHP- Bulanık VIKOR Yöntem Adımları

Bu yöntemde izlenen adımlar aşağıdaki gibidir.

Adım 1: k adet karar vericinin bulunduğu bir grup oluşturulur, çalışmada kullanılacak kriterler ve seçilecek alternatifler belirlenir. n adet alternatif için p adet değerlendirme kriteri ele alınır.

Adım 2: Oluşturulan karar verici grubunun kriterleri ve alternatifleri değerlendirmesi amacıyla dilsel değişkenler ve bulanık sayılar tanımlanır. Bu doğrultuda oluşturulan çizelgeden karar vericilerden her birinin kriterleri ve alternatifleri değerlendirilmesi istenir.

Dilsel değişkenler ve bulanık sayı karşılıkları için kullanılan Çizelge 2 ve Çizelge 3 Kaya ve Kahraman'a ait yenilenebilir enerji planlaması çalışmasından alınmıştır [35].

Çizelge 2. Kriter ağırlıkları için bulanık değerlendirme sayıları

Dilsel değişkenler	Bulanık sayı
Kesinlikle Yüksek (KY)	(2; 5/2; 3)
Çok Yüksek (ÇY)	(3/2; 2; 5/2)
Oldukça Yüksek (OY)	(1; 3/2; 2)
Az Yüksek (AY)	(1; 1; 3/2)
Eşit (E)	(1; 1; 1)
Az Düşük (AD)	(2/3; 1; 1)
Oldukça Düşük (OD)	(1/2; 2/3; 1)
Çok Düşük (ÇD)	(2/5; 1/2; 2/3)
Kesinlikle Düşük (KD)	(1/3; 2/5; 1/2)

Çizelge 3. Alternatifler için bulanık değerlendirme sayıları

Dilsel değişkenler	Bulanık sayı
Çok Kötü (ÇK)	(0; 0; 1)
Kötü (K)	(0; 1; 3)
Orta Kötü (OK)	(1; 3; 5)
Orta (O)	(3; 5; 7)
Orta İyi (OI)	(5; 7; 9)
İyi (İ)	(7; 9; 10)
Çok İyi (Çİ)	(9; 10; 10)

Adım 3: Her bir karar vericinin yapmış olduğu değerlendirmeler birleştirilir ve bu doğrultuda ana kriterlere ve ana kriterlerin her birine ait alt kriterlere ilişkin bütünleştirilmiş bulanık ağırlıkları (Eşitlik 7) eşitliğine göre hesaplanır. \tilde{w}_j^k , j kriterine k'nıncı uzmanın verdiği önem puanını temsil etmektedir.

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{k} [\tilde{w}_j^1 + \tilde{w}_j^2 + \dots + \tilde{w}_j^k] \quad (7)$$

Bulanık AHP'nin ikili karşılaştırma matrisi bu adımı basitleştirmek ve kriter ağırlıklarını hesaplamak için kullanılır. Kriter ağırlıklarının hesaplanmasında Chang tarafından önerilen mertebeye analizi yaklaşımı kullanılır ve buna ilişkin adımlar şu şekildedir [36].

$c_j = \{c_1, c_2, \dots, c_p\}$ kriter seti ne \tilde{M}_j ($j=1, 2, \dots, p$) bulanık üçgen sayıları olarak kabul edilsin.

$\tilde{M}_1 \geq \tilde{M}_2$ 'nin olasılık değeri için bulanık sentetik mertebe değeri, (Eşitlik 8) eşitliğine göre hesaplanır.

$$\tilde{S}_j = V \sum_{j=1}^n \tilde{M}_j x \left[\sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^n \tilde{M}_j \right]^{-1} \quad (8)$$

Kriterlerin karşılaştırma matrisi kare matris olduğundan $n=p$ şeklinde ifade edilecektir. \tilde{M}_2 'nin \tilde{M}_1 'den büyük olma olasılığı (Eşitlik 9) denklemi ile ifade edilir.

$$V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) = \sup_{y \geq x} (\mu_{\tilde{M}_1}(x), \mu_{\tilde{M}_2}(y)) \quad (9)$$

\tilde{M}_2 ve \tilde{M}_1 Konveks bulanık sayılar oldukları için karşılaştırmalarında temel bulanık prensip (Eşitlik 10) geçerlidir.

$$V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) = hgt(\tilde{M}_2 \cap \tilde{M}_1) = \mu_{\tilde{M}_2}(d) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{eğer } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{diğer} \end{cases} \quad (10)$$

Bu eşitlikte yer alan d değeri \tilde{M}_1 ve \tilde{M}_2 bulanık sayılarının en yüksek kesişim noktasını ifade etmektedir. \tilde{M}_1 ve \tilde{M}_2 sayılarının karşılaştırılabilmesi için $V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1)$ ve $V(\tilde{M}_1 \geq \tilde{M}_2)$ değerlerinin ikisinin de hesaplanması gereklidir.

Konveks bir \tilde{M} bulanık sayısının p adet konveks \tilde{M}_j ($j=1, 2, \dots, p$) bulanık sayısından büyük olma olasılığı (Eşitlik 11) ve (Eşitlik 12), ağırlık vektörü (Eşitlik 13) şeklinde tanımlanır. Normalize ağırlık vektörü ise eşitlik (Eşitlik 14) ile ifadesi kullanılarak elde edilir.

$$V(\tilde{M} \geq \tilde{M}_1, \tilde{M}_2, \dots, \tilde{M}_p) = V(\tilde{M} \geq \tilde{M}_1) \text{ ve } (\tilde{M} \geq \tilde{M}_2) \text{ ve } \dots \text{ ve } (\tilde{M} \geq \tilde{M}_p) \quad (11)$$

$$\min_j = V(\tilde{M} \geq \tilde{M}_j) \quad d'(A_j) = \min_j V(S_j \geq S_r) \quad r=1, 2, \dots, p \quad r \neq j \text{ için} \quad (12)$$

$$W' = (d'(C_1), d'(C_2), \dots, d'(C_p))^T \quad (13)$$

$$W = (d(C_1), d(C_2), \dots, d(C_p))^T \quad (14)$$

Adım 4: Karar vericilerin alternatiflere ait belirlemiş oldukları değerlerin elde edilmesinde (Eşitlik 15) eşitliği kullanılır. \tilde{x}_{ij}^k k'nıncı karar vericinin j kriterine bağlı olarak i alternatifine verdiği puanı ifade etmektedir.

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{k} [\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^2 + \dots + \tilde{x}_{ij}^k] \quad (15)$$

Adım 5: Bulanık karar matrisi işlemleri gerçekleştirilir.

$$D = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1p} \\ \tilde{x}_{21} & \dots & \dots & \tilde{x}_{2p} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \tilde{x}_{n2} & \dots & \tilde{x}_{np} \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, n \\ j = 1, 2, \dots, p \end{matrix} \quad (16)$$

$$W = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_p] \quad j = 1, 2, \dots, p \quad (17)$$

Adım 6: Bulanık en iyi değer \tilde{f}_j^* ve bulanık en kötü değer \tilde{f}_j^- belirlenir.

$$\tilde{f}_j^* = \max_i \tilde{x}_{ij} \quad \tilde{f}_j^- = \min_i \tilde{x}_{ij} \quad (18)$$

Adım 7: Alternatiflerin her biri için kriterlerin bulanık en iyi değere uzaklıklarının toplam değeri \tilde{S}_i (19) eşitliği ile bulanık en kötü değere olan maksimum uzaklık değeri olan \tilde{R}_i değeri (20) eşitliği ile hesaplanır.

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^p \tilde{w}_j (\tilde{f}_j^* - \tilde{x}_{ij}) / (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-) \quad (19)$$

$$\tilde{R}_i = \max_j [\tilde{w}_j (\tilde{f}_j^* - \tilde{x}_{ij}) / (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-)] \quad (20)$$

Adım 8: $\tilde{S}^*, \tilde{S}^-, \tilde{R}^*, \tilde{R}^-$ ve \tilde{Q}_i değerleri hesaplanır.

$$\tilde{S}^* = \min_i \tilde{S}_i \quad \tilde{S}^- = \max_i \tilde{S}_i \quad (21)$$

$$\tilde{R}^* = \min_i \tilde{R}_i \quad \tilde{R}^- = \max_i \tilde{R}_i \quad (22)$$

$$\tilde{Q}_i = \frac{v(\tilde{S}_i - \tilde{S}^*)}{\tilde{S}^- - \tilde{S}^*} + \frac{(1-v)(\tilde{R}_i - \tilde{R}^*)}{\tilde{R}^- - \tilde{R}^*} \quad (23)$$

Burada \tilde{S}^* değeri grubun maksimum faydasını, \tilde{R}^* değeri ise karşıt görüştekilerin minimum pişmanlığını göstermektedir. \tilde{Q}_i indeksi, grup faydasının minimum pişmanlık ile değerlendirilmesiyle hesaplanır. v değeri,

maksimum grup faydasını sağlayan stratejinin ağırlığını ifade etmektedir.

Adım 9: \tilde{Q}_i üçgensel bulanık sayı durulaştırılarak Q_i indeksi hesaplanır. Literatürde birçok durulaştırma yöntemi bulunmaktadır. Bu çalışmada GMI (Graded Mean Integrated) yaklaşımı uygulanmıştır [37]. Bu durumda $\tilde{C} = (c_1; c_2; c_3)$ biçimindeki üçgen bulanık sayı için durulaştırma işlemi (Eşitlik 24) eşitliği ile gerçekleştirilir.

$$P(\tilde{C}) = C = \frac{c_1 + 4c_2 + c_3}{6} \quad (24)$$

Adım 10: Alternatifler Q_i değerine göre küçükten büyüğe olacak şekilde sıralanır ve ilgili koşulları sağladığı test edilir. Koşulların her ikisini de sağlayan alternatifler arasından en küçük Q değerine sahip olan alternatif en iyi çözüm olarak seçilir.

Koşul 1- Kabul Edilebilir Avantaj: En iyi ilk iki seçenek arasında göz ardı edilemez bir fark olduğunun ispatlanmasını içermektedir.

$$Q''_A - Q'_A \geq D(Q) \quad (25)$$

Eşitlikte yer alan Q''_A değeri Q sıralaması sonrasında elde edilen listede en iyi ikinci alternatif iken Q'_A en iyi alternatifi göstermektedir. Alternatif sayısı ise j ile gösterilmek üzere (Eşitlik 26) eşitliği kullanılarak hesaplanır.

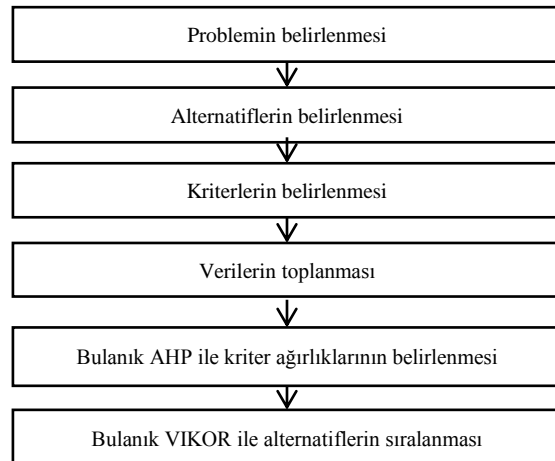
$$D(Q) = 1 / (j - 1) \quad (26)$$

Koşul 2- Kabul Edilebilir İstikrar: S ve R indeks değerlerinin en az bir tanesinde Q'_A alternatifinin en iyi seçenek olması gerekliliğidir. Uzlaştırıcı çözümün istikrarlı olduğunun kanıtı ancak bu şekilde sağlanır. Eğer $Q''_A - Q'_A < D(Q)$ ise ve Koşul 1 sağlanmıyorsa bu durumda benzer uzlaştırıcı çözümler olduğu söylenir. $Q'_A, Q''_A \dots Q''_A$ uzlaştırıcı çözümlerinin benzer olması nedeniyle Q'_A karıştırmalı bir üstünlüğe sahip değildir. Eğer Koşul 2 sağlanmıyorsa, Q'_A karşılaştırmalı bir üstünlüğe sahip olmasına karşın istikrarlı bir karar verilemeyeceğini gösterir. Q'_A ve Q''_A 'nın bu nedenler uzlaştırıcı çözümü de aynı olmaktadır.

4. UYGULAMA

Türkiye'deki sınırlı sayıda emniyet kemeri üreticilerinden olan firma, pazarda hem mevcut konumunu korumak hem de sürdürülebilirliğini sağlamak için rekabetçi şartların yoğun olduğu ortamda etkin ve doğru kararlar alabilmeli, rakiplerine kıyasla yeni ortam ve koşullara kolaylıkla uyum sağlayabilmeli ve sağlamış olduğu bu üstünlüğünü diğer birçok alanda sürdürebilmelidir. Firmanın alacağı doğru ve etkin kararlar, verimli bir şekilde bilgilerin ve verilerin iyi bir zamanlama ile değerlendirilmesine bağlı olup, başarıyı da beraberinde getirecektir. Bu doğrultuda alınan en etkili kararlardan biri tesis yeri seçimidir. Bu tarz karmaşık karar verme problemlerinde ÇKKV teknikleri kullanılır.

Problemin çözümü için yönetim kurulu başkanı, yönetim kurulu başkan yardımcısı, genel müdür, genel müdür yardımcısı ve planlama lojistik müdüründen oluşan beş kişilik bir karar verici grubu oluşturulmuştur. Kriterlerin seçiminde literatürde yapılan çalışmalardan ve karar verici grubundan bilgi alınmıştır. Kriterlerin belirlenmesinde öncelikle literatürde yapılan çalışmalarda tesis yeri seçiminde sektör ayırt etmeksizin göz önünde bulundurulmuş etmenler incelenmiştir. Sonrasında firmanın uygun bölgede kurulabilmesi için gerekli kriterler karar verici grubuyla görüşülerek belirlenmiştir. Şekil 2'de uygulama sürecinin adımları gösterilmektedir.



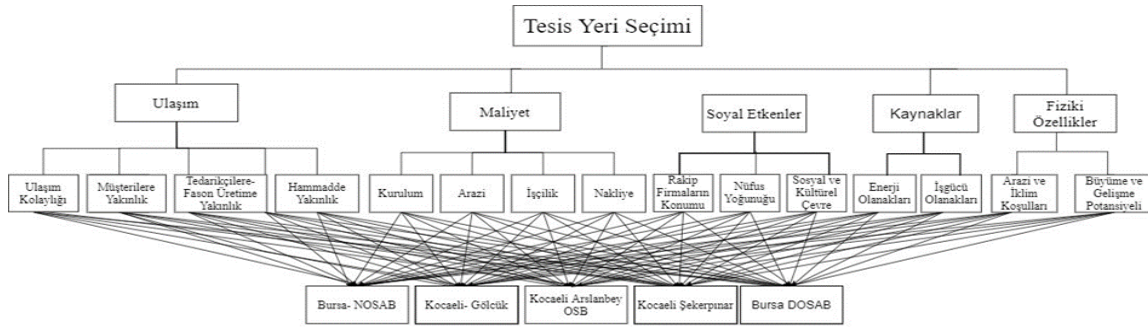
Şekil 2. Uygulama sürecinin aşamaları

4.1. Alternatiflerin Belirlenmesi

Tesis yeri alternatifleri karar verici grubuyla yapılan görüşmeler sonucunda yatırıma uygun özellikleri barındıran Bursa DOSB (A1), Şekerpınar/Gebze/Kocaeli (A2), Arslanbey OSB/Kocaeli (A3), Gölcük/Kocaeli (A4), Bursa NOSAB (A5) olarak seçilmiştir.

4.2. Kriterlerin Belirlenmesi

Kriterlerin belirlenmesinde firmanın tesis yeri seçimi için öncelikli olan kriterler 5 ana başlık altında toplanmıştır.



Şekil 3. Kuruluş yeri seçimi için ana ve alt kriterlerin hiyerarşik yapısı

Cizelge 4. Kriterlerle ilgili literatür çalışması

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Yapılan Çalışmalar	Açıklama
Ulaşım	Hammaddeye yakınlık (HY)	Yang ve Lee (1997) [38], Karabıçak ve ark. (2016) [39]	Sektöre ait firmanın hammadde gereksinimlerinin çevre firmalardan sağlanabilmesi
	Tedarikçilere ve Fason üretime yakınlık (TFÜY)	Yavuz ve Deveci (2014) [25], Emeç ve Akkaya (2018) [40], Hakim ve Kusumastuti (2018) [41]	Sektöre ait firmanın tedarik ve fason üretim ihtiyaçlarının çevre firmalar tarafından karşılanabilmesi
	Müşterilere yakınlık (MY)	Yavuz ve Deveci (2014) [25], Dey ve ark. (2016) [42], Emeç ve Akkaya (2018) [40], Hakim ve Kusumastuti (2018) [41], Singh ve ark. (2018) [43]	Sektöre ait firmanın rekabet üstünlüğü için müşterilerine yakın konumlandırılması
	Ulaşım kolaylığı (UK)	Akyüz ve Kılınç (2016) [44], Ömürbek ve ark. (2013) [45], Organ ve Tekin (2017) [46]	Sektöre ait firmanın ana yollara yakınlığı ve ulaşım hizmetlerinin çeşitliliği
Maliyet	Nakliye maliyetleri (NM)	Önel (2014) [47]	Sektöre ait firmanın tedarik zincirindeki nakliye maliyetleri
	İşgücü maliyetleri (İM)	Boran (2011) [48], Pekkaya ve Bucak (2018) [49]	Sektörün ihtiyacı kapsamında işgücünün bulunabilirliği ve ücret seviyeleri
	Arazi maliyetleri (AM)	Ömürbek ve ark. (2013) [45], Bucak ve Pekkaya (2018) [49]	Sektöre ait firmanın kurulumunun gerçekleşeceği bölgedeki arazi maliyetleri
	Kurulum maliyetleri (KM)	Yeşilkaya (2018) [50]	Sektöre ait firmanın kurulum maliyetleri
Sosyal Etkenler	Sosyal ve kültürel çevre (SKÇ)	Yavuz ve Deveci (2014) [25], Deluka-Tibljias (2011) [51]	Sektöre ait firmanın çevresinin tutumu
	Nüfus yoğunluğu (NY)	Akyüz ve Soba (2013) [27], Akyüz ve Kılınç (2016) [44]	Sektöre ait firmanın bulunduğu bölgedeki Pazar dağılımı etkileyen nüfus yoğunluğu
	Rakip firmaların konumu (RFK)	Organ ve Tekin (2017) [46], Akyüz ve Kılınç (2016) [44]	Sektöre ait firmanın rakipleriyle arasında bulunan mesafenin uygunluğu
Kaynaklar	İşgücü kaynağı (İK)	Önel (2014) [47], Yavuz ve Deveci (2014) [25]	Sektörün ihtiyacı kapsamında nitelikli işgücünün elde edilebilirliği
	Enerji olanakları (EO)	Ar ve ark., (2014) [29], Karabıçak ve ark. (2016) [39], Önel (2014) [47], Kocu (2008) [52]	Sektörün ihtiyaçları doğrultusunda enerji kaynaklarının çeşitliliği ve maliyetleri
Fiziki Özellikler	Arazi ve İklim koşulları (AİK)	Yavuz ve Deveci (2014) [25], Karabıçak ve ark. (2016) [39], Dey ve ark. (2016) [42], Hakim ve Kusumastuti (2018) [41]	Sektöre ait firmanın konumunda arazinin yapısı, yüksekliği, nemlilik derecesi, ısı farklılıkları
	Büyüme ve Gelişme potansiyeli (BGP)	Akyüz ve Kılınç (2016) [44]	Sektöre ait firmanın bulunduğu bölgenin büyümesine paralel olarak tesisin de büyüme ve gelişme göstermesi

4.3. Problemin Çözümü

Karar verici grubunun yapmış oldukları puanlamalar, ana kriterlerin ve her bir ana kriterin alt kriterinin bütünleştirilmiş bulanık ağırlığı hesaplanarak birleştirilmiştir. (7) eşitliği kullanılarak Çizelge 6'da ana kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 7'de ulaşım kriteri için alt kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi, Çizelge 8'de maliyet kriteri için alt kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi, Çizelge 9'da sosyal etkenler için alt kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi, Çizelge 10'da kaynaklar

kriteri için alt kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi, Çizelge 11'de fiziki özellikler kriteri için alt kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi sunulan bulanık ağırlık değerlendirme matrisi elde edilmiştir.

Kriterlerin ikili karşılaştırmaları ve alternatiflerin kriterler bazında puanlanmasında Çizelge 2 ve Çizelge 3'te yer alan dilsel değişkenler kullanılmıştır. Karar verici grubundan bir kişinin ana kriterlerin karşılaştırılması için yapmış olduğu puanlama Çizelge 5'te sunulmuştur.

Çizelge 5. KV1'in ana kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma puanları

Ana Kriterler	Ulaşım	Maliyet	Sosyal Etkenler	Kaynaklar	Fiziki Özellikler
Ulaşım	1	AD	AY	AY	AY
Maliyet		1	ÇY	AY	OY
Sosyal Etkenler			1	KD	OD
Kaynaklar				1	OD
Fiziki Özellikler					1

Çizelge 6. Ana kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi

Ana Kriterler	Ulaşım	Maliyet	Sosyal Etkenler	Kaynaklar	Fiziki Özellikler
Ulaşım	(1; 1; 1)	(0,80; 1; 1,10)	(1,20; 1,50; 2)	(1,20; 1,50; 2)	(1,20; 1,60; 2,10)
Maliyet	(0,91; 1; 1,25)	(1; 1; 1)	(1,50; 2; 2,50)	(1,10; 1,40; 1,90)	(1,40; 1,70; 2,20)
Sosyal Etkenler	(0,50; 0,67; 0,83)	(0,40; 0,50; 0,67)	(1; 1; 1)	(0,39; 0,49; 0,67)	(0,59; 0,73; 0,97)
Kaynaklar	(0,50; 0,67; 0,83)	(0,53; 0,71; 0,91)	(0,30; 0,41; 0,51)	(1; 1; 1)	(0,41; 0,51; 0,70)
Fiziki Özellikler	(0,48; 0,63; 0,83)	(0,45; 0,59; 0,71)	(1,03; 1,36; 1,69)	(1,43; 1,95; 2,46)	(1; 1; 1)

Çizelge 7. Ulaşım kriteri için alt kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi

Ulaşım	HY	TFÜY	MY	UK
HY	(1; 1; 1)	(0,93; 1,1; 1,3)	(1; 1; 1)	(1,08; 1,3; 1,53)
TFÜY	(0,77; 0,91; 1,07)	(1; 1; 1)	(0,87; 1; 1,10)	(1,13; 1,3; 1,6)
MY	(0,91; 1; 1)	(0,91; 1; 1,15)	(1; 1; 1)	(1; 1,2; 1,4)
UK	(0,65; 0,77; 0,93)	(0,63; 0,77; 0,88)	(0,71; 0,83; 1)	(1; 1; 1)

Çizelge 8. Maliyet kriteri için alt kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi

Maliyet	NM	İM	AM	KM
NM	(1; 1; 1)	(0,7; 0,93; 1)	(0,96; 1,30; 1,67)	(0,63; 0,9; 1,07)
İM	(1; 1,07; 1,43)	(1; 1; 1)	(1,40; 1,90; 2,40)	(1,60; 2,1; 2,6)
AM	(0,6; 0,77; 1,04)	(0,42; 0,53; 0,71)	(1; 1; 1)	(0,57; 0,70; 0,80)
KM	(0,94; 1,11; 1,6)	(0,38; 0,48; 0,63)	(1,25; 1,43; 1,74)	(1; 1; 1)

Çizelge 9. Sosyal etkenler kriteri için alt kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi

Sosyal Etkenler	SKÇ	NY	RFK
SKÇ	(1; 1; 1)	(0,93; 1; 1,10)	(0,44; 0,58; 0,70)
NY	(0,91; 1; 1,07)	(1; 1; 1)	(0,67; 0,86; 1,10)
RFK	(1,43; 1,72; 2,27)	(0,91; 1,16; 1,50)	(1; 1; 1)

Çizelge 10. Kaynaklar kriteri için alt kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi

Kaynaklar	İK	EO
İK	(1; 1; 1)	(0,93; 1,20; 1,60)
EO	(0,63; 0,83; 1,07)	(1; 1; 1)

Çizelge 11. Fiziki özellikler kriteri için alt kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi

Fiziki Özellikler	AİK	BGP
AİK	(1; 1; 1)	(0,69; 0,80; 1,07)
BGP	(0,94; 1,25; 1,44)	(1; 1; 1)

Bütünleştirilmiş matrislere Chang'ın mertebeye analizi yaklaşımı uygulanmıştır. 8-14 denklemleri takip edilerek Çizelge 12-17'de yer alan normalize kriter ağırlıkları belirlenmiştir.

Çizelge 12. Ana kriterlerin bulanık AHP sonuçları

Ana kriterler	Si=Mi= (lj; mj; uj)	Wj= d'(cj)T	Wj'= d(cj)T
Ulaşım	(0,159; 0,240; 0,364)	0,9126	0,2858
Maliyet	(0,175; 0,258; 0,393)	1	0,3132
Sosyal etkenler	(0,085; 0,123; 0,184)	0,0627	0,0196
Kaynaklar	(0,116; 0,179; 0,266)	0,5355	0,1677
Fiziki özellikler	(0,130; 0,201; 0,297)	0,6819	0,2136

Çizelge 13. Ulaşım kriteri için alt kriterlerin bulanık AHP sonuçları

Ulaşım	Si=Mi= (lj; mj; uj)	Wj= d'(cj)T	Wj'= d(cj)T
HMY	(0,222; 0,272; 0,338)	1	0,3167
TFÜY	(0,209; 0,260; 0,327)	0,8989	0,2847
MY	(0,211; 0,260; 0,312)	0,8792	0,2784
UK	(0,166; 0,208; 0,261)	0,3794	0,1202

Çizelge 14. Maliyet kriteri için alt kriterlerin bulanık AHP sonuçları

Maliyet	Si=Mi= (lj; mj; uj)	Wj= d'(cj)T	Wj'= d(cj)T
NM	(0,159; 0,240; 0,328)	0,4327	0,2257
İM	(0,242; 0,353; 0,514)	1	0,5217
AM	(0,125; 0,174; 0,246)	0,0238	0,0124
KM	(0,173; 0,233; 0,344)	0,4604	0,2402

Çizelge 15. Sosyal etkenler kriteri için alt kriterlerin bulanık AHP sonuçları

Sosyal etkenler	Si=Mi= (lj; mj; uj)	Wj= d'(cj)T	Wj'= d(cj)T
SKÇ	(0,221; 0,277; 0,338)	0,1628	0,1044
NY	(0,240; 0,307; 0,383)	0,3956	0,2538
RFK	(0,311; 0,417; 0,576)	1	0,6417

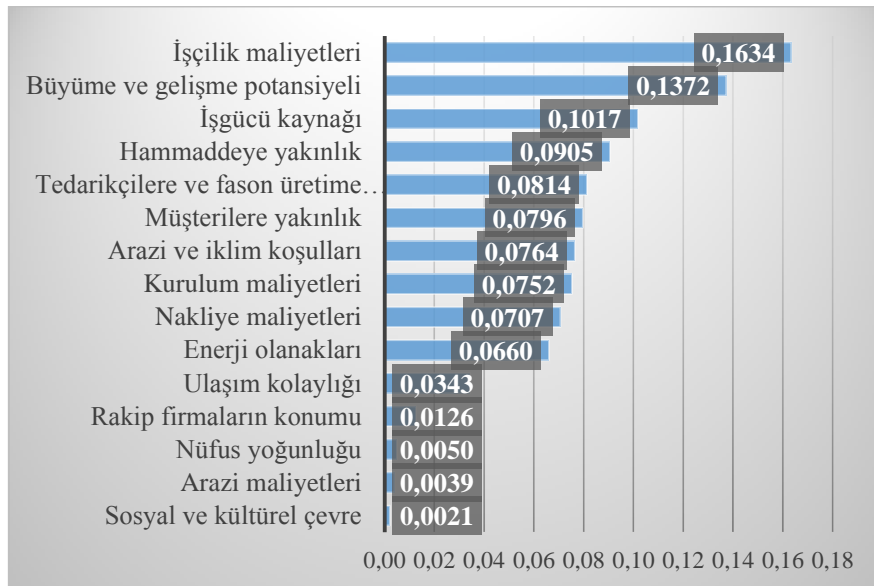
Çizelge 16. Kaynaklar kriteri için alt kriterlerin bulanık AHP sonuçları

Kaynaklar	Si=Mi= (lj; mj; uj)	Wj= d'(cj)T	Wj'= d(cj)T
İK	(0,414; 0,545; 0,731)	1	0,6063
EO	(0,348; 0,455; 0,582)	0,6492	0,3937

Çizelge 17. Fiziki özellikler kriteri için alt kriterlerin bulanık AHP sonuçları

Fiziki özellikler	Si=Mi= (lj; mj; uj)	Wj= d'(cj)T	Wj'= d(cj)T
AİK	(0,376; 0,444; 0,569)	0,5566	0,3576
BGP	(0,430; 0,556; 0,673)	1	0,6424

Ana kriterlerin ve alt kriterlerin bulanık AHP sonuçlarının ardından ana kriterlerin ağırlıkları alt kriterlerinin yerel ağırlıklarıyla çarpılarak her bir alt kritere ait genel ağırlıklar hesaplanmıştır. Hesaplama sonucunda kriter ağırlıklarının sıralanmış hali Şekil 4'teki çizgi grafiğinde gösterilmektedir.



Şekil 4. Kriter ağırlıkları

Karar verici grubunun alternatiflere yönelik kriterler bazında vermiş oldukları puanların (15) eşitliği kullanılarak bütünleştirilmiş hali Çizelge 18-19'da verilmiştir.

Alternatiflerin bulanık karar matrisinde (Eşitlik 18) eşitliği ile hesaplanan bulanık en iyi (f_j^+) ve bulanık en kötü (f_j^-) değerler Çizelge 20 ve Çizelge 21'de sunulmuştur.

Çizelge 18. Alternatiflerin bütünleştirilmiş bulanık karar matrisi

Alternatif	HY	TFÜY	MY	UK	NM	İM	AM	KM
A1	(5; 6,8; 8,2)	(3,4; 5,4; 7,2)	(5,8; 7,6; 9)	(7; 9; 10)	(1,6; 3,4; 5,4)	(6,6; 8,4; 9,6)	(0,4; 1,6; 3,4)	(6,2; 8; 9,2)
A2	(8,2; 9,6; 10)	(7; 8,8; 9,8)	(5; 6,8; 8,2)	(7,4; 9,2; 10)	(5,4; 7,4; 8,8)	(6,2; 7,8; 8,8)	(0,6; 1,6; 3,4)	(5,4; 7,2; 8,6)
A3	(6,6; 8,6; 9,8)	(5,8; 7,6; 8,8)	(5,4; 7,4; 9)	(9; 10; 10)	(7,4; 9,2; 10)	(7,4; 9; 9,8)	(6,2; 8; 9,2)	(6,6; 8,2; 9,2)
A4	(5,4; 7,4; 8,8)	(5,8; 7,8; 9,2)	(5,4; 7,4; 9)	(7,8; 9,4; 10)	(5,4; 7,2; 8,6)	(7,8; 9,4; 10)	(8,6; 9,8; 10)	(7,4; 9; 9,8)
A5	(5; 7; 8,6)	(4,6; 6,6; 8,2)	(7,8; 9,4; 10)	(7; 8,8; 9,8)	(2,8; 4,6; 6,4)	(7; 8,6; 9,4)	(1,4; 2,8; 4,6)	(4,6; 6,4; 7,8)

Çizelge 19. Alternatiflerin bütünleştirilmiş bulanık karar matrisi (Çizelge 18 devamı)

Alternatif	SKÇ	NY	RFK	İK	EO	AİK	BGP
A1	(7,4; 9,2; 10)	(7,8; 9,4; 10)	(3; 5; 7)	(8,2; 9,6; 10)	(7,8; 9,2; 9,8)	(5,4; 7,4; 9)	(5,4; 7,4; 8,8)
A2	(1,6; 3,4; 5,4)	(6,6; 8,2; 9,2)	(7,8; 9,2; 9,8)	(9; 10; 10)	(8,6; 9,8; 10)	(5,4; 7,4; 8,8)	(3,6; 5,4; 7,2)
A3	(5,4; 7,4; 9)	(7,4; 9,2; 10)	(4,6; 6,6; 8,2)	(5,4; 7,4; 9)	(7,8; 9,4; 10)	(7; 8,8; 9,8)	(7; 9; 10)
A4	(5,4; 7,4; 9)	(4,6; 6,6; 8,4)	(4; 5,8; 7,4)	(5; 7; 8,8)	(7,8; 9,4; 10)	(7,4; 9,2; 10)	(2,8; 4,6; 6,4)
A5	(6,2; 8; 9,2)	(7,8; 9,4; 10)	(3,2; 5; 6,8)	(8,2; 9,6; 10)	(9; 10; 10)	(7; 8,8; 9,8)	(4,6; 6,6; 8,2)

Çizelge 20. Bulanık En iyi (f_j^+) ve bulanık en kötü (f_j^-) değerler

	HY	TFÜY	MY	UK	NM	İM	AM	KM
f_j^+	(8,2; 9,6; 10)	(7; 8,8; 9,8)	(7,8; 9,4; 10)	(9; 10; 10)	(7,4; 9,2; 10)	(7,8; 9,4; 10)	(8,6; 9,8; 10)	(7,4; 9; 9,8)
f_j^-	(5; 6,8; 8,2)	(3,4; 5,4; 7,2)	(5; 6,8; 8,2)	(7; 8,8; 9,8)	(1,6; 3,4; 5,4)	(6,2; 7,8; 8,8)	(0,4; 1,6; 3,4)	(4,6; 6,4; 7,8)

Çizelge 21. Bulanık en iyi (f_j^+) ve bulanık en kötü (f_j^-) değerler (Çizelge 20 devamı)

	SKÇ	NY	RFK	İK	EO	AİK	BGP
f_j^+	(7,4; 9,2; 10)	(7,8; 9,4; 10)	(7,8; 9,2; 9,8)	(9; 10; 10)	(9; 10; 10)	(7,4; 9,2; 10)	(7; 9; 10)
f_j^-	(1,6; 3,4; 5,4)	(4,6; 6,6; 8,4)	(3; 5; 6,8)	(5; 7; 8,8)	(7,8; 9,2; 9,8)	(5,4; 7,4; 8,8)	(2,8; 4,6; 6,4)

Her bir alternatif için eşitlikler (Eşitlik 19-20) eşitlikleri kullanılarak hesaplanan S_i ve R_i değerleri Çizelge 22'de gösterilmektedir.

Çizelge 22. S_i ve R_i değerleri

Alternatif	S_i	R_i
A1	(0,7201; 0,6797; 0,5549)	(0,1225; 0,1021; 0,0905)
A2	(0,4977; 0,5531; 0,4981)	(0,1111; 0,1634; 0,1634)
A3	(0,4977; 0,3506; 0,3422)	(0,1111; 0,0881; 0,1865)
A4	(0,5401; 0,5259; 0,3993)	(0,1372; 0,1372; 0,1372)
A5	(0,5221; 0,5058; 0,4646)	(0,0905; 0,0841; 0,0817)

S^+ , S^- , R^+ , R^- değerleri (21) ve (22) eşitlikleri ile hesaplanarak Çizelge 23'te gösterilmiştir.

Çizelge 23. S^+ , S^- , R^+ , R^- değerleri

S^+	(0,4977; 0,3506; 0,3422)
S^-	(0,7201; 0,6797; 0,5549)
R^+	(0,0905; 0,0841; 0,0817)
R^-	(0,1372; 0,1634; 0,1865)

Eşitlikler (Eşitlik 23) ve (Eşitlik 24) kullanılarak $v=0,5$ değeri için hesaplanan bulanık \tilde{Q}_i ve durulaştırılmış Q_i değerleri Çizelge 24'te verilmiştir.

Çizelge 24. Bütünleşik bulanık AHP-VIKOR sonuçları

Alternatif	\tilde{Q}_i	Q_i	Sıralama
A1	(0,8430; 0,6138; 0,5421)	0,6401	4
A2	(0,2201; 0,8077; 0,7564)	0,7012	5
A3	(0,2201; 0,0257; 0,5000)	0,1371	1
A4	(0,5954; 0,6013; 0,3991)	0,5666	3
A5	(0,0547; 0,2358; 0,2876)	0,2142	2

Q_i değerlerine göre alternatifler önem derecelerine göre küçükten büyüğe doğru sıralandığında $A3 < A5 < A4 < A1 < A2$ sıralaması elde edilmektedir. Koşul 1 ve Koşul 2 test edilerek yapılan çözüm kümesinin belirlenmesi sürecinde ise yalnızca koşul 2'nin sağlandığı görülmektedir. Dolayısıyla A3 ve A5 alternatiflerinin ikisi de uzlaştırıcı çözümlerdir. Tek bir alternatifin tercih edilmesi gerekirse Q_i ve S_i değerlerine göre yapılan sıralamada ilk sırada yer alması gerekçesiyle A3 alternatifi tercih edilmelidir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İşletmenin tesis yeri seçimi üretilebilirliğini, sürdürülebilirliğini, tedarik zincirini, rakipleriyle olan durumunu, çalışanlarının sosyal faaliyetlerini, yeni pazar alanları yaratmak için faaliyetlerini yüksek düzeyde etkiler. Tesis yeri seçimi stratejik bir karardır. İşletmenin durumunu uzun dönemlerde etki eder ve hata yapılması durumunda geri dönülmesi güç ve maliyetlidir. Stratejik öneminin yanı sıra yer seçimi problemi karar vericilerin değerlendirmesinde nitel ve nicel kriterleri bir arada bulundurması sebebiyle karmaşık nitelikte olup ÇKKV problemi olarak ele alınabilir. Bunun yanı sıra karar verici grubunun değerlendirmelerini kesin değerlerle ifade etmedeki güçlüğü dilsel değişkenlerle ifade etmesine sebep olur. Bu güçlüğün aşılabilmesi adına ÇKKV yöntemleri bulanık küme teorisine bir arada kullanılmaktadır.

İşletmelerin tesis yerini seçerken göz önünde bulunduğu kriterler amaçlarına göre farklılık göstermektedir. Bu çalışmada Ark Pres Emniyet Kemerleri A. Ş. için tesis yeri yatırımının yapılacağı konum Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR yöntemleri bir arada kullanılarak seçilmiştir. Tesis yeri seçimi için elzem olduğu düşünülen kriterlerin ağırlıkları belirlenirken Bulanık AHP yönteminin sunmuş olduğu ikili karşılaştırma matrislerinden faydalanılmıştır. Yatırımın yapılabileceği alternatifler karar vericilerin belirlenen kriterler doğrultusunda bulanık değerlendirme sayılarına göre görüşleri alındıktan sonra Bulanık VIKOR yöntemi vasıtasıyla sıralanmış ve uzlaşık çözüme gidilmiştir.

Bulanık AHP yöntemi sonucunda ana kriter olan maliyetin alt başlıklarından işçilik maliyeti kriteri karar vermede en önemli paya sahip olmuştur. Bu pay tesis yerinin konumunun işçilik maliyetlerine etkisindeki önemini ortaya çıkarmıştır. Tesisin konumu için 5 adet alternatifin sıralanmaları sonucu Arslanbey OSB (A3) en uygun alternatif olduğu saptanmıştır.

Arslanbey OSB, üretimi için ihtiyaç duyduğu hammaddeyi temin ettiği tedarikçilere yakın konumda olması, müşterilerin isteklerini karşılayabilmek için hem üretim hem konum açısından esnekliğe sahip olabilecek bir bölge olması, bulunduğu ilin sanayi illerinden biri olması sebebiyle iş gücü erişilebilirliği, hem çalışanlarına hem müşteri ve tedarikçilerine sunduğu kolay ulaşım imkânı, sosyal alanlara yakınlığı sebebiyle uygun bir çözüm olduğu düşünülmüştür. 50 yıldır faaliyet gösteren firmanın Kartepe'de yer alıp en yakın alternatifi olan Arslanbey OSB'nin seçilmiş olması, hem çalışma açısından hem de karar vericilerin etkinliği açısından doğru bir karar olduğunu göstermektedir.

İleride yapılacak çalışmalarda tesis yeri seçimi problemi için farklı yöntemler kullanılarak karşılaştırmalı bir analiz yapılabilir. Benzer şekilde kullanılan kriterlerde çeşitliliğe gidilerek kriterlerin sonuca etkisi incelenebilir.

6. KAYNAKLAR

1. Eleren, A., 2006. Kuruluş Yeri Seçiminin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi ile Belirlenmesi: Deri Sektörü Örneği. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 20(2), 405-416.
2. Dağdeviren, M., Akay, D., Kurt, M., 2004. İş Değerlendirme Sürecinde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Uygulaması. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 131-138.
3. Saaty, T.L., 1986. Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process. Management Science, 841-855.
4. Ertuğrul, İ., 2003. İşyeri Düzen Tasarımına Bir Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı. VI. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu. Ankara: Gazi Üniversitesi, 12.

5. Deng, H., 1999. Multicriteria Analysis with Fuzzy Pairwise Comparison. *International Journal of Approximate Reasoning*, 215-231.
6. Kaplan, S., 2007. Hava Savunma Sektörü Tezgaah Yatırım Projelerinin Bulanık AHP ile Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 146.
7. Bender, M.J., Simonovic, S.P., 2000. A Fuzzy Compromise Approach to Water Resource Systems Planning Under Uncertainty. *Fuzzy Sets and Systems*, 35-44.
8. Özdemir, A.İ., Seçme, N.Y., 2009. İki Aşamalı Stratejik Tedarikçi Seçiminin Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 79-112.
9. Jahanshahloo, G.R., Hosseinzadeh, L.F., Izadikhah, M., 2006. Extension of the TOPSIS Method for Decision-making Problems with Fuzzy Data. *Applied Mathematics and Computation*, 1544-1551.
10. Küçük, O., Ecer, F., 2007. Bulanık TOPSIS Kullanılarak Tedarikçilerin Değerlendirilmesi ve Erzurum'da bir Uygulama. *AİBÜ-İİBF Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 45-65.
11. Opricovic, S., Tzeng, G.H., 2004. Compromise Solution by MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 445-455.
12. Moeinzadeh, P., Hajfathaliha, A., 2009. A Combined Fuzzy Decision Making Approach to Supply Chain Risk Assessment. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 519-528.
13. Brans, J.P., Vinckle, P., Mareschal, B., 1986. How to Select and How to Rank Projects: The PROMETHEE Method. *European Journal of Operational Research*, 228-238.
14. Organ, A., 2013. Bulanık Dematel Yöntemiyle Makine Seçimini Etkileyen Kriterlerin Değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 157-172.
15. Aksakal, E., Dağdeviren, M., 2010. ANP ve DEMATEL Yöntemleri ile Personel Seçimi Problemine Bütünleşik bir Yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 905-910.
16. Öztürk, O., 2009. Türkiye Karayollarında Trafik Kazalarının Nedeni ve Bu Kazaların Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 120.
17. Keršuliene, V., Zavadskas, E.K., Turskis, Z., 2010. Selection of Rational Dispute Resolution Method by Applying New Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*, 243-258.
18. Aghdaie, M.H., Zolfani, S.H., Zavadskas, E. K., 2013. Decision Making in Machine Tool Selection: An Integrated Approach with SWARA and COPRAS-G Methods. *Engineering Economics*, 5-17.
19. Aytaç Adalı, E., Tuş Işık, A., 2017. Bir Tedarikçi Seçim Problemi için SWARA ve WASPAS. *International Review of Economics and Management*, 5(4), 56-77.
20. Hong, L., Xiaohua, Z. 2011. Study on Location Selection of Multi-objective Emergency Logistics Center based on AHP. *Procedia Engineering*, 15, 2128-2132.
21. Tzeng, G. H., Teng, M. H., Chen, J. J., Opricovic, S. 2002. Multicriteria Selection for a Restaurant Location in Taipei. *International Journal of Hospitality Management*, 21(2), 171-187.
22. Aktaş, N., Demirel, N. 2021. A Hybrid Framework for Evaluating Corporate Sustainability Using Multi-criteria Decision Making. *Environment, Development and Sustainability*, 23(10), 15591-15618.
23. Akyüz, G., Kılınc, E. 2016. Kuruluş Yeri Seçiminde Bulanık TOPSIS Yönteminin Kullanımı: Sağlık Sektöründe bir Uygulama. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(33), 590-608.
24. Soba, M. (2014). Banka Yeri Seçiminin Analitik Hiyerarşi Süreci ve ELECTRE Metodu ile Belirlenmesi: Uşak İlçeleri Örneği. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11(25), 459-473.
25. Yavuz, S., Deveci, M., 2014. Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR Yöntemleriyle Alışveriş Merkezi Kuruluş Yeri Seçimi ve Bir Uygulama. *Ege Academic Review*, 14(3), 463-479.

26. Yücel, M., Ulutaş, A., 2009. Çok Kriterli Karar Yöntemlerinden Electre Yöntemiyle Malatya'da Bir Kargo Firması İçin Yer Seçimi. Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 9(17), 327-344.
27. Akyüz, Y., Soba, M., 2013. ELECTRE Yöntemiyle Tekstil Sektöründe Optimal Kuruluş Yeri Seçimi: Uşak İli Örneği. Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi, 9(19), 185-198.
28. Balkan, D. 2020. Endüstri 4.0 Sürecinde Electre Yöntemi ile Enerji Tesis Yer Seçiminin Gerçekleştirilmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9(1), 238-253.
29. Ar, İ.M., Birdoğan, Baki, Özdemir R.F., 2014. Kuruluş Yeri Seçiminde Bulanık AHS-VIKOR Yaklaşımının Kullanımı: Otel Sektöründe Bir Uygulama. Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi, (13), 93-114.
30. İnağ, T., Arıkan, M., 2020. Katı Atık Getirme Merkezi Kuruluş Yer Seçimi İçin DEMATEL-ANP ve Matematiksel Programlama Yöntemleriyle Bütünleşik Bir Yaklaşım: Ankara İlinde Bir Uygulama Örneği. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 36(1), 33-46.
31. Öztürk, F., Kaya, G.K., 2020. Afet Sonrası Toplanma Alanlarının PROMETHEE Metodu ile Değerlendirilmesi. Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering, 25(3), 1239-1252.
32. Opricovic, S., 2011. Fuzzy VIKOR with an Application to Water Resources Planning. Expert Systems with Applications, 12983-12990.
33. Chou, T.Y., Hsu, C.L., Chen, M.C., 2008. A Fuzzy Multi-criteria Decision Model for International Tourist Hotels Location Selection. International Journal of Hospitality Management, 293-301.
34. Kahraman, C., Cebeci, U., Ruan, D., 2004. Multi-attribute Comparison of Catering Service Companies using Fuzzy AHP: The Case of Turkey. International Journal of Production Economics, 171-184.
35. Kaya, T., Kahraman, C., 2010. Multicriteria Renewable Energy Planning Using an Integrated Fuzzy VIKOR & AHP Methodology: The Case of Istanbul. Energy, 2517-2527.
36. Chang, D.Y., 1996. Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, 649-655.
37. Yong, D., 2006. Plant Location Selection based on Fuzzy TOPSIS. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 839-844.
38. Yang, J., Lee, H. 1997. An AHP Decision Model for Facility Location Selection. Facilities, 15, 241-254.
39. Karabıçak, Ç., Boyacı, A.İ., Akay, M.K., Özcan, B. 2016. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Karayolu Şantiye Yeri Seçimine İlişkin Bir Uygulama. Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 13(3), 106-121.
40. Emeç, Ş., Akkaya, G., 2018. Stochastic AHP and Fuzzy VIKOR Approach for Warehouse Location Selection Problem. Journal of Enterprise Information Management, 31(6), 950-962.
41. Hakim, R.T., Kusumastuti, R.D., 2018. A Model to Determine Relief Warehouse Location in East Jakarta Using the Analytic Hierarchy Process. International Journal of Technology, 9(7), 1405-1414.
42. Dey, B., Bairagi, B., Sarkar, B., Sanyal, S.K., 2016. Warehouse Location Selection by Fuzzy Multi-criteria Decision Making Methodologies Based on Subjective and Objective Criteria. International Journal of Management Science and Engineering Management, 11(4), 262-278.
43. Singh, R.K., Chaudhary, N., Saxena, N., 2018. Selection of Warehouse Location for a Global Supply Chain: A Case Study. IIMB Management Review, 30(4), 343-356.
44. Akyüz, G., Kılınç, E., 2016. Kuruluş Yeri Seçiminde Bulanık TOPSIS Yönteminin Kullanımı: Sağlık Sektöründe Bir Uygulama. Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, 4(33), 590-608.
45. Ömürbek, N., Üstündağ, S., Helvacıoğlu, Ö.C., 2013. Kuruluş Yeri Seçiminde Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Kullanımı: Isparta Bölgesinde Bir Uygulama. Yönetim Bilimleri Dergisi, 11(21), 101-116.

46. Organ, A., Tekin, B., 2017. Şehir Hastanesi Kuruluş Yeri Seçimi için Gri İlişkisel Analiz Yaklaşımı: Denizli İli Örneği. Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 4(3), 256-278.
47. Önel, F., 2014. Kuruluş Yeri Seçiminin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, Sayısal Yöntemler Bilim Dalı, 113.
48. Boran, F.E., 2011. An Integrated Intuitionistic Fuzzy Multi Criteria Decision Making Method for Facility Location Selection. Mathematical and Computational Applications, 16(2), 487-496.
49. Pekkaya, M., Bucak, U., 2018. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Bölgesel Liman Kuruluş Yeri Seçimi: Batı Karadeniz’de Bir Uygulama. Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi, 253-268.
50. Yeşilkaya, M., 2018. Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Kağıt Fabrikası Kuruluş Yeri Seçimi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(4), 31-44.
51. Deluka-Tibljaš, A., Karleuša, B., Benac, Č. 2011. AHP Methodology Application in Garage-parking Facility Location Selection. Promet-traffic & Transportation, 23(4), 303-313.
52. Kobu, B., 2008. Üretim Yönetimi, Beta Basım Yayım Dağıtım AŞ., 639.

Influence of Nano-Silica on the Mechanical Properties of Jute/Glass Fiber Reinforced Epoxy Hybrid Composites

Ahmet ERKLİĞ*¹ ORCID 0000-0003-3906-3415

Ömer Yavuz BOZKURT¹ ORCID 0000-0003-0685-8748

Wassan Falah AL-TEKRETI² ORCID 0000-0003-3436-4884

¹ Mechanical Engineering Department, University of Gaziantep, Gaziantep,

² Inspection Department, NRC Company, Baghdad, Iraq

Geliş tarihi: 23.02.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: ERKLİĞ, A., BOZKURT, Ö.Y., AL-TEKRETI, W.F., (2022). Influence of Nano-Silica on the Mechanical Properties of Jute/Glass Fiber Reinforced Epoxy Hybrid Composites. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 399-410.

Abstract

Natural composites have gained importance recently due to increasing environmental factors and relatively low cost. Although their biodegradability, low density, and high processability, the use of natural fibers in composite materials as the only reinforcement phase faces with some challenges due to their disadvantages such as high moisture absorption and low mechanical properties. To overcome these issues, the natural fibers are generally utilized in composite materials by synthesizing with synthetic fibers. In this context, jute/epoxy composites have been hybridized with glass fiber layers and nano-silica particles to improve low mechanical properties, and the contributions of hybridization on mechanical properties are investigated through performing tensile, bending, and impact tests. Nano-silica particles in the ratio of 1%, 2%, and 3% by weight have been used in composite production. Three different hybrid configurations (G₁J₆G₁, J₃G₂J₃, J₂G₁J₂G₁J₂) are tested as well as pure jute/epoxy and pure glass/epoxy composites. According to the experimental results, nano-silica additive has a significant effect on both non-hybrid and hybrid fiber reinforced composites. By using the glass fiber layer on the outer surface, the highest tensile strength, flexural strength, and impact behavior have been achieved in the G₁J₆G₁ hybrid configuration.

Keywords: Jute/glass fiber, Nano-silica, Hybrid composite

*Corresponding author (Sorumlu yazar) : Ahmet ERKLİĞ, erklig@gantep.edu.tr

Nano-Silikanın Jüt/Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Hibrit Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi

Öz

Doğal kompozitler, artan çevresel faktörler ve nispeten düşük maliyet nedeniyle son zamanlarda önem kazanmıştır. Biyolojik bozunurlukları, düşük yoğunlukları ve yüksek işlenebilirliklerine rağmen, kompozit malzemelerde tek takviye aşaması olarak doğal liflerin kullanılması, yüksek nem emilimi ve düşük mekanik özellikler gibi dezavantajları nedeniyle bazı zorluklarla karşı karşıyadır. Bu nedenle doğal kompozitler genellikle sentetik liflerle sentezlenir. Bu çalışmada jüt/epoksi kompozitler, cam elyaf tabakaları ve nano-silika parçacıkları ile hibritlenmiş çekme, eğilme ve darbe davranışları incelenmiştir. Kompozit üretiminde ağırlıkça %1, %2 ve %3 oranlarında nano silika partikülleri kullanılmıştır. Üç farklı hibrit konfigürasyonun ($G_1J_6G_1$, $J_3G_2J_3$, $J_2G_1J_2G_1J_2$) yanı sıra saf jüt/epoksi ve saf cam/epoksi kompozitlerin testleri gerçekleştirildi. Deneysel sonuçlar nano-silika katkısı hem saf hem de hibrit kompozitler üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Dış yüzeyde cam elyaf tabakası kullanılarak oluşturulan $G1J6G1$ hibrit konfigürasyonu en iyi gerilme mukavemeti, eğilme mukavemeti ve darbe tokluğunu vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Jüt/cam elyaf, Nano-silika, Hibrit kompozit

1. INTRODUCTION

Natural fiber reinforced polymer composites are hybrids with both natural fiber and polymer properties. Because of their inactive and heat-resistant properties, phenol or melamine-formaldehyde resins reinforced with wood or cotton fiber were developed at the beginning of the 20th century and used in insulating electrical applications. One of the recent developments in the automotive industry is the natural fiber plastic composites in which natural fibers are beneficially used due to their specific weight and increase of ecological regulations. Natural fiber reinforced composites, such as jute fiber are used on a daily basis in a variety of industries such as buildings, electronic devices, sport equipment's, interior parts of vehicles and elevators. A growing number of studies aiming to replace synthetic fibers with natural ones across a range of engineering applications is found in the literature [1-8]. Natural fibers such as hemp, sisal, jute, cotton, flax, and broom are commonly used to strengthen polymers such as polyolefins, polystyrene, and epoxy resins [9,10].

In comparison to other materials, it has a comparatively a low elongation at break and high tensile modulus, jute fiber has become one of the

popular natural fiber for the reinforcement of thermoset resins [11]. Compared to synthetic fibers such as carbon, glass and aramid, jute fibers can also be provided benefits in terms of cost and process in the production of composites. However, their relatively low mechanical properties and high-water absorption characteristics limit the use of natural fibers as the only reinforcement phase in the composite materials. Hybridization of natural fibers with synthetic ones is a commonly used technique to overcome these drawbacks in composites. It is possible to take advantage of natural fibers in structural applications through the hybridization of natural fibers with synthetic fibers [12-16]. For example, the hybridization of carbon fiber or glass fiber with natural fibers reduces the drawbacks of composites that are reinforced with only a natural fiber by providing improvements on strength and stiffness as well as resistance to water absorption.

Ashworth et al. [13] investigated the mechanical and damping properties of carbon, jute and hybrid carbon/jute fiber-reinforced composites. It was showed that hybridization with carbon fiber provided considerable improvements on tensile strength, modulus, and damping properties of the jute fiber reinforced composites. Ali et al. [14] investigated the bending and impact behavior of

carbon/jute epoxy hybrid composites according to different jute ratios. The increase in the amount of jute in the hybrid structure caused a decrease in the flexural strength and an increase in the damage surface after the impact. Braga and Magalhaes [15] hybridized jute fiber with glass fiber to improve the mechanical properties of jute/epoxy composite. Two different hybrid configurations were created: glass/jute epoxy and glass/jute/glass. The addition of the glass layer into the jute/epoxy composite increased the impact energy, tensile and bending strengths of the composite. Rosa et al. [16] assessed the post-impact deterioration characteristics of jute/glass hybrid fiber-reinforced composite laminates. According to the results, the sudden breakage of jute fibers in glass/jute hybrid configuration under impact limits their use on the surface. However, more controllable damage was observed when jute fiber was used in the hybrid configuration in the center. The bending and indentation properties of different pultruded jute fiber and kenaf fiber/polyester composites and their hybrid composites with E-glass fiber were compared by Akil et al. [17,18] and the damage modes were monitored using acoustic emission. Results showed that the addition of glass reinforcement to the pultruded hybrid composite appeared to be highly effective in jute fiber reinforced laminates, but not comparable results in kenaf fiber laminates. Ramesh et al. [19] investigated the mechanical properties of glass fiber epoxy hybrid composites reinforced with jute and sisal fibers. According to the results, sisal fiber reinforcement increased the tensile strength of the hybrid composite compared to the jute fiber reinforcement, but the jute reinforcement increased the flexural strength of the hybrid composite. The effect of glass hybridization and the layering sequence effect on the tensile, bending and interlaminar shear properties of jute-glass fiber hybrid composites were investigated by Ahmed and Vijayarangan [20]. According to the results, hybridization of jute fiber composites with glass fiber significantly increased the mechanical properties and adding an outermost layer of glass fiber layer to the jute fiber composite showed the best mechanical properties. Rafiquazzaman et al. [21] investigated the tensile, flexural, and Charpy impact properties of chopped glass fiber and

woven jute fabric reinforced epoxy matrix composite material. Hybrid composite production was carried out by hand lay-up method and two different proportions of the chopped glass fiber layer were considered. Accordingly, it was stated that if the optimum amount of jute fabric reinforcement was settled into the cropped glass fiber, the cost could be reduced without loss of strength.

The mechanical properties of composites are influenced by the interfacial bond between the reinforcing fiber and the resin. To eliminate the disadvantages of natural composites such as jute fibers, hybrid structures are formed with synthetic fibers such as glass fiber. However, due to the differences between the mechanical properties of the fibers, separation between the layers and a decrease in the mechanical properties can be seen. Therefore, nano-sized particles can be added to the resin to increase the mechanical properties of composite materials. In this way, both the mechanical properties of the matrix are improved and the bond between the layers is strengthened. Nanoparticles such as nano-silica and nano-clay are widely used in polymer matrix composites due to their low cost [22]. Afrouzian et al. [23] sought the effects of nano-silica particles on flexural, tensile, and quasi-static penetration properties of glass/epoxy composites. They reported that nano-silica particles were affecting the tensile, flexural, and energy absorption capacity of the glass/epoxy composites. Kallagunta and Tate [24] modified epoxy resin with 10 wt.% nano-silica to investigate the low-velocity impact behaviour of glass/epoxy composites under different impact energies. They reported that compared to unmodified composites, the nanoparticle modification resulted with high peak forces, also with rising impact forces, the density of failure mechanisms from matrix failure to fiber failure increases. Uddin and Sun [25] reported that adding 15% by weight of silica nanoparticles into epoxy resin (Nanopox F 400) increased the elastic modulus of unidirectional e-glass fiber-reinforced composites in the compression test. Also, this ratio of nano-silica additive slightly increased the tensile strength in the direction of the fiber.

Jute fiber and glass fiber are the well-known fiber types in the literature due to their widespread uses in various hybrid composite materials and the reinforcement of these hybrid composite with different nanoparticle additives have been widely investigated in the literature. However, the studies related with jute/glass hybrid fiber composites reinforced with nano-silica has not been encountered in the literature. The main aim of this study is to examine the effects of nano-silica particles on jute fiber, glass fiber, and hybrid glass/jute epoxy composites. The epoxy matrix was modified with 1%, 2%, and 3% by weight of nano-silica particles. Furthermore, three different hybrid structures were investigated: jute/glass/jute ($J_3G_2J_3$), glass/jute/glass ($G_1J_6G_1$), jute/glass/jute/glass/jute ($J_2G_1J_2G_1J_2$). Tensile, three-point bending and Charpy impact tests were performed.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials

Nano-silica was supplied from Grafen Chemical Industries, Turkey with 99.5% high purity, 15 nm average particle size, 300 m²/g specific surface area, and 0.05 g/cm³ bulk density. The plain weave jute fabric having 311 g/m² areal density was supplied by the local market in Gaziantep, Turkey. Plain weave E-glass fabric with 200 g/m² areal density, Epikote MGS LR160 epoxy resin and Epikote MGS LH160 hardener were bought from DOST Kimya, Turkey. Jute fabrics were treated by NaOH solutions with concentrations of 1% at 25°C for 2 hours. The fabrics were further cleaned with water including acetic acid to eliminate the sodium hydroxide. Lastly, the fibers were cleaned again with fresh water and dried at 60°C for 24 hr. until completely dry.


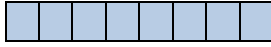



2.2. Production of Composite Laminates

Eight-layer non-hybrid and their 1 wt.%, 2 wt.%, and 3 wt.% of nano-silica particle filled jute/epoxy (J_8), glass/epoxy (G_8) composites were prepared as the reference samples Hybrid fiber reinforced composites in three different stacking configurations ($G_1J_6G_1$, $J_3G_2J_3$, $J_2G_1J_2G_1J_2$)

containing 2 wt.% of nano-silica particles were also prepared as eight-layered.

Fabrics were cut in 300 mm × 250 mm dimensions. The mixing ratio of epoxy (EPIKOTE MGS LR160) and hardener (EPIKOTE MGS LH160) was used as 100:25±2 by weight following the instructions found on the boxes of epoxy and hardener. Epoxy resin and nano-silica particles were firstly mixed with a mechanical stirrer at 650 rpm constant speed for 20 minutes. After that, a hardener was added to the mixture and mixed with the same speed for 5 minutes to get a homogeneous mixture. Composite samples were laminated using a hand layup method and cured in a hot press under 0.4 MPa pressure at 80°C for 1 hour. Then composite laminates left for cooling under pressure. Table 1 shows the stacking configurations and thicknesses of the relevant composites. The test coupons were removed from the laminates using a CNC router according to the dimensions mentioned in ASTM standards. ASTM D790-10 [26], ISO 179/92 [27] and ASTM D638-10 [28] were used for flexural, impact and tensile tests, respectively.

Table 1. Composite configurations and thicknesses

Laminate Codes	Configuration	Thickness
J_8		6.2 mm
G_8		1.6 mm
$G_1J_6G_1$		5.2 mm
$J_3G_2J_3$		6.4 mm
$J_2G_1J_2G_1J_2$		6.4 mm

2.3. Determination of Mechanical Properties

The tensile and flexural strength characteristics of the composite samples were measured at room temperature using the AG-X series Shimadzu universal testing machine with a 300kN capacity (Kyoto, Japan). Tensile test specimens were prepared in a dog bone shape with a gauge length of 50 mm and flexural test specimens were in 200 mm × 12.7 mm with a span to thickness ratio

of 32:1. The thickness of tensile, flexural, and impact specimens was changed depending on the type and number of layers (glass or jute) that were used to fabricate the laminates and variation of nano-silica content. The crosshead speed was 3 mm/min for a test of flexural and 2 mm/min for a test of tensile. Köger 3/70 Charpy impact test machine was used for the low-velocity impact tests in which specimens having 55 mm × 10 mm dimensions were employed. Five samples were tested for each composite configuration, and averages of them were presented.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Tensile Test Results

The stress-strain curves for the tensile tests of non-hybrid (glass/epoxy and jute/epoxy) composites reinforced with varying weight ratios of nano-silica particles are presented in Figure 1. It is seen that the addition of nano-silica particles obviously affects the tensile strength and strain up to the failure of both glass/epoxy and jute/epoxy composites. An increase in tensile strength values is achieved with the incorporation of nano-silica particles to pure non-hybrid jute/epoxy composites. In contrast, except the incorporation of 1 wt.% nano-silica, decreases in tensile strength values is obtained with the inclusion of nano-silica to glass/epoxy composites. The inclusion of nano-silica particles has led to a reduction in tensile failure strain of glass/epoxy composites. Except the 2 wt.% nano-silica, the addition of nano-silica particles to jute/epoxy composites has also exhibited a similar decrement trend in tensile failure strain of jute/epoxy composites. Fig. 2 shows the average tensile strength values of non-hybrid (glass/epoxy and jute/epoxy) composites with different amounts of nano-silica particles. Compared to their pure mates, the highest enhancement in tensile strength is obtained as 76.6% for jute/epoxy composites and 16.3% for glass/epoxy composites with the incorporation of 2 wt.% and 1 wt.% nano-silica particles, respectively. The improvement in tensile strength with the inclusion of nano-silica particles were ascribed to good interfacial bonding between the epoxy and nano-silica particles [29, 30]. This

interfacial bonding provides an extra load carrying capability with the transfer of load from lower strength epoxy to the much higher strength nano-silica particles. Cohesion between nano-silica particles could lead to agglomeration resulting in stress concentrations between epoxy and nano-silica particles. This is thought to be reason of the decrements in tensile strength of both glass/epoxy and jute/epoxy composites with the inclusion of nano-silica particles at higher amounts [31].

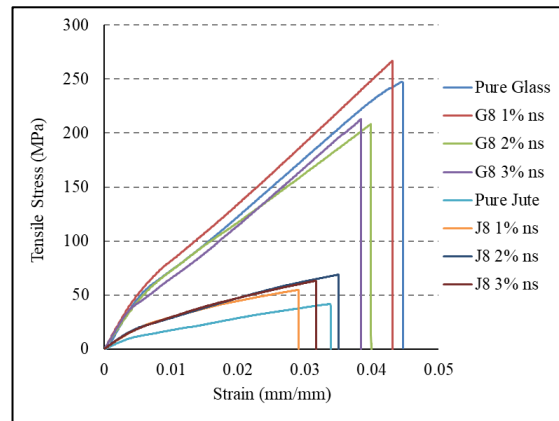


Figure 1. Tensile stress-strain curves of the jute/glass fiber epoxy composite.

3.2. Tensile Test Results of the Jute/Glass Hybrid Configurations

The jute/epoxy composites are exhibited very low tensile properties compared to glass/epoxy ones and the highest improvement has been achieved with the inclusion of 2 wt.% nano-silica particles. This jute/epoxy configuration is selected for the further improvement of mechanical properties through hybridization with glass fiber. In this context, symmetrical configurations have been prepared with the replacement of 2 jute fabric layers from the different places of stacking sequence by the glass fabrics. Tensile strength variations of the jute/glass epoxy hybrid configurations with 2 wt.% nano-silica content is shown in Figure 3. The tensile strength results showed that the best configuration is $G_1J_6G_1$ with a value of 92.00 MPa compared to that of jute/epoxy laminate 2 wt.% nano-silica (J_8 2% ns). The

significant increase in the tensile strength of the $G_1J_6G_1$ hybrid composite is ascribed to stiffer and stronger structure of glass fiber compared to jute fiber [6]. Hybrid structures in which glass fabrics are substituted in inner layers ($J_3G_2J_3$, $J_2G_1J_2G_1J_2$) exhibited a tensile strength of 74.02MPa and 76.85MPa, slightly increasing compared to the tensile strength of 2% nano-silica filled jute/epoxy laminate by weight.

All samples shown in Figure 4 have mostly displayed crack and fiber pull-out as the failure mechanism. When the applied tensile load increases, the specimens are separated into two parts where the break starts with matrix cracking, then fiber breakage and separation of jute/glass layers start from the interface surface.

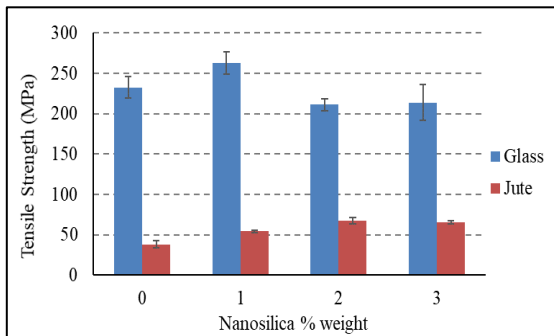


Figure 2. Variation of tensile strength according to nano-silica content

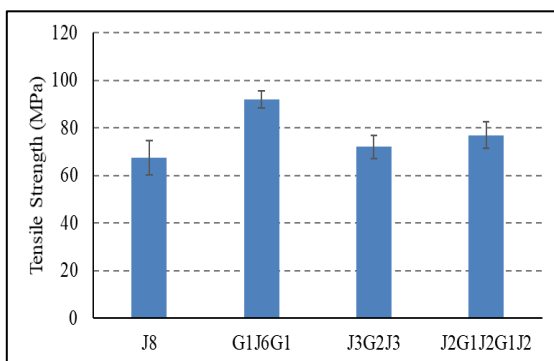


Figure 3. Variation of tensile strength of the jute/glass hybrid configurations with 2wt.%.

3.3. Flexural Result of Jute/epoxy and Glass/epoxy Composite Plates

The force-displacement curves for the flexural tests of non-hybrid (glass/epoxy and jute/epoxy) composites reinforced with varying weight ratios of nano-silica particles are presented in Figure 5. It is seen that the addition of nano-silica particles negatively affects the deflections of both glass/epoxy and jute/epoxy composites. Flexural strength and flexural modulus values were calculated according to ASTM D-790-10 standard. Figure 5 shows the flexural strength and modulus of jute/epoxy and glass/epoxy composites with respect to nano-silica loadings. The increase in nano-silica ratio has a significant effect on jute/epoxy composites. However, the addition of nano-silica particles has a negative effect on the glass/epoxy composites. The flexural strength of pure glass/epoxy is exhibited a decrease from 238.01 MPa to 202.08 MPa at 1 wt.% nano-silica content. It is thought that agglomeration of nano-silica particles, which may cause the weak interaction between nano-silica and epoxy matrix, the formation of stress condensation zones and thus the initiation of cracks, leads to a reduction in the flexural strength of the composite [24]. The highest flexural strength is 110.38 MPa with jute/epoxy at 2 wt.% particle content. There is an increasing trend in flexural strength of jute/epoxy composites up to 2 wt.% nano-silica loading, and the maximum improvement has been obtained as 96.42% compared to neat jute/epoxy composites. A decline in flexural strength is viewed with the further nano-silica substitution. This showed that the chemical compatibility and adhesion strength between the nano-silica particles and the jute/epoxy are optimal in this content. The inclusion of nano-silica particles has also provided a similar trend for the flexural modulus and the maximum flexural modulus for jute/epoxy composites is obtained with 2 wt.% nano-silica amount which presents an increase of 53.3%. On the other hand, the flexural strength and modulus of glass/epoxy composites show a different trend that decreasing with the inclusion of 1 and 2 wt.% nano-silica. The improvement in flexural modulus and flexural strength is only seen for the 3 wt.% nano-silica additive.

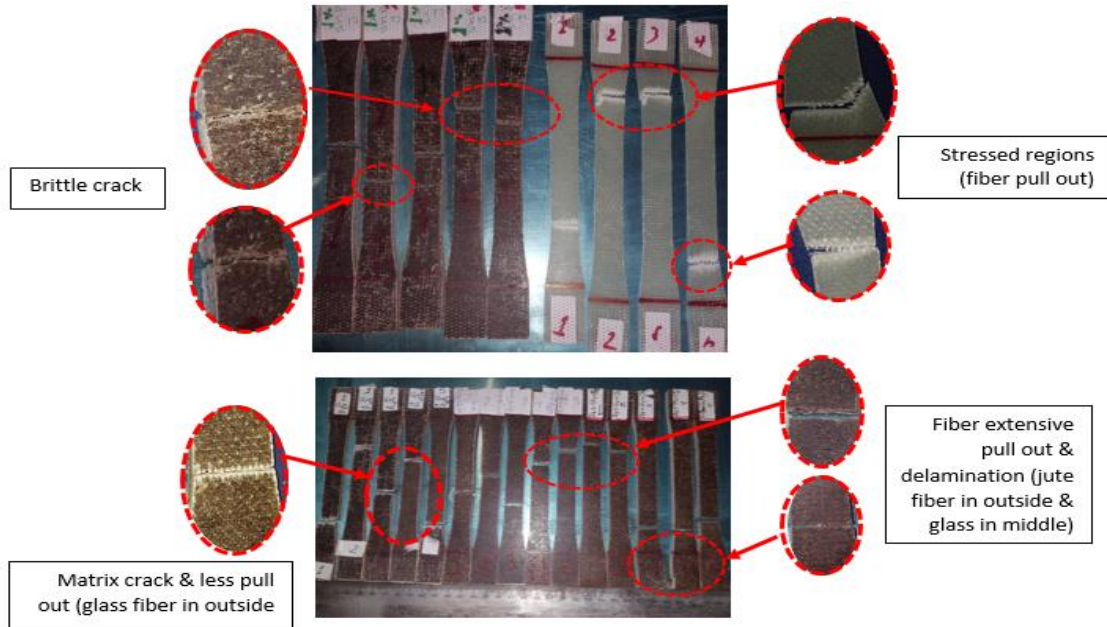


Figure 4. Failure of specimens after tensile test

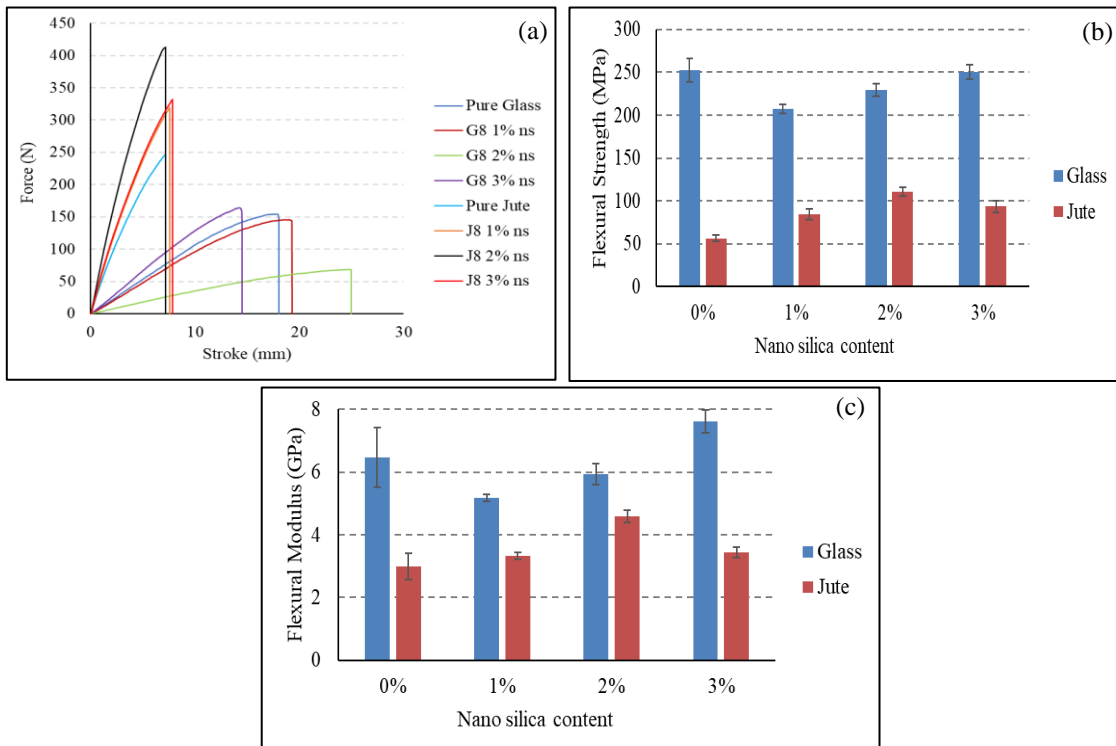


Figure 5. (a) Load-displacement (b) Flexural strength (c) Flexural modulus of glass/epoxy and jute/epoxy with various nano-silica addition

3.4. Flexural Test Results of the Jute/Glass Hybrid Configurations

A flexural test result of jute/epoxy composite is lower than glass/epoxy composite. Glass layers have been used to improve the strength of jute/epoxy composites. Symmetric configurations have been prepared by replacing 2 jute fabric layers from the different places of stacking sequence with glass fabrics. $G_1J_6G_1$, $J_3G_2J_3$, and $J_2G_1J_2G_1J_2$ hybrid configurations having 2 wt.% nano-silica content are taken into consideration.

Flexural strength and modulus variation of the jute/glass hybrid configurations specimens with 2 wt.% nano-silica content is shown in Figure 6. A

substantial improvement in the strength of the material has been achieved by adding glass layers to the jute/epoxy composite. The $G_1J_6G_1$ hybrid configuration has provided the maximum improvement with 176.67 MPa and 8.56 GPa flexural strength and modulus, respectively. In this configuration, the glass layers are outermost and jute is in the middle. The increase in flexural strength of the $G_1J_6G_1$ hybrid composite can be attributed to the stiffer structure of glass fiber which becomes more effective at outer layers [6]. The use of glass fabrics at inner layers ($J_3G_2J_3$, $J_2G_1J_2G_1J_2$ configurations) has provided lower flexural properties than the jute/epoxy composites (J_8 2 wt.% nano-silica).

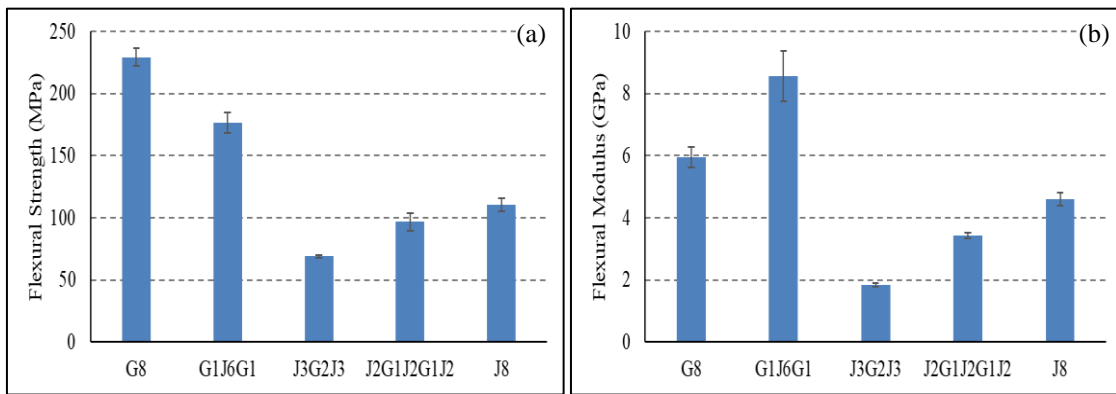


Figure 6. (a) Flexural strength and (b) Flexural modulus variation of the jute/glass hybrid configurations specimens with 2 wt.% nano-silica content

Fracture surfaces of the jute/epoxy and glass/epoxy composites after the three-point bending test are seen in Figure 7. A brittle crack due to jute fiber properties is observed in samples that only jute fibers are used as the fiber reinforcement. Fiber shrinkage has not observed in samples consisting only of glass fiber layers, due to the strength and rigidity of glass fibers [2]. No delamination has been observed between the jute fiber and glass fiber layers in hybrid configurations, and the fracture mode is with little or no fiber stripping. This may be because glass fibers have greater extensibility than jute fibers [20]. However, failure mode indicates breakage and less pulling of the fibers.

3.5. Impact Result

The Charpy impact test has been performed to measure the absorbed impact energy for jute/glass/epoxy composites. The impact toughness values for the impacted specimens are presented in Figure 8. The impact toughness of jute/epoxy and glass/epoxy composites has gradually increased by the addition of nano-silica particles and the highest impact toughness is obtained at 2 wt.% nano-silica content. Further addition of nano-silica has led to reduction in impact toughness of the composite test samples.

Impact toughness variation of the jute/glass hybrid configurations specimens with 2 wt.% nano-silica content is shown in Figure 9. The best laminate is J₃G₂J₃ with impact toughness 43 kJ/m² when

compared to that of jute/epoxy laminate J8 2 wt.% ns that glass layer location in middle and jute in the outer layer.

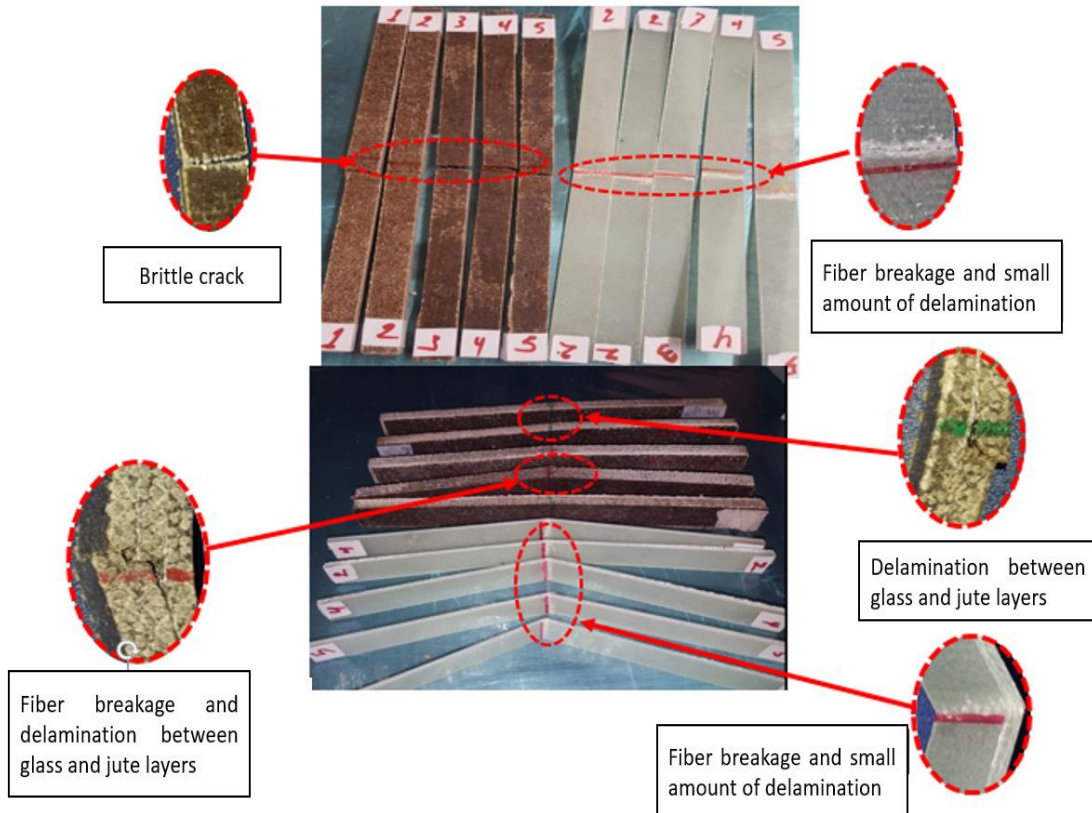


Figure 7. Flexural specimens after the three-point bending test

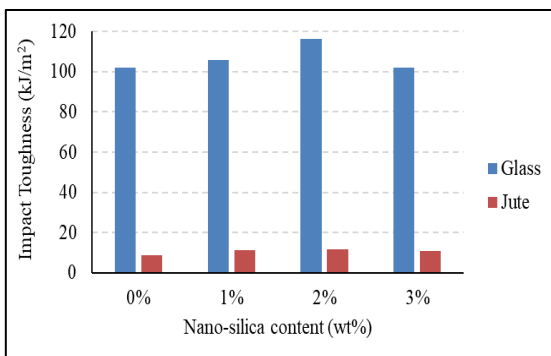


Figure 8. Variation of impact toughness of composites

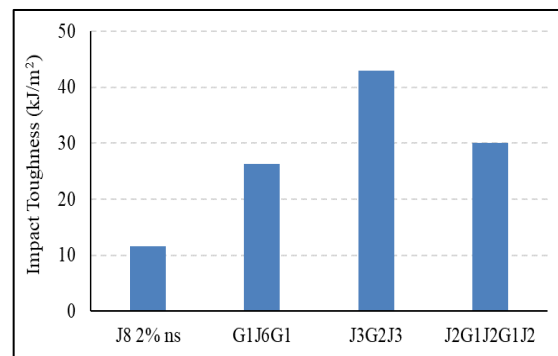


Figure 9. Variation of Impact Toughness of the Jute/Glass Hybrid Configurations with 2wt.% nano-silica

4. CONCLUSION

In the present work, mechanical properties of glass/epoxy, jute/epoxy, and glass/jute/epoxy hybrid composite laminates were investigated with different weight ratios of nano-silica particles. The main conclusions from this study can be explained as:

- When hybrid configurations were inspected, the highest tensile strength was obtained from the G₁J₆G₁ hybrid configuration where glass layers are in out and jute layers in middle with a value of 92.01 MPa. 37.31% increase was obtained when compared with jute/epoxy having 2 wt.% nano-silica content.
- The maximum improvement in flexural strength was obtained as 96.42% for jute/epoxy composite at 2 wt.% by weight particle content.
- When hybrid configurations were inspected, the highest flexural strength was obtained from the G₁J₆G₁ configuration where glass layers are in outer and jute layers are at middle with a 37% increase was obtained when it's compared with jute/epoxy having 2 wt.% nano-silica content.
- When hybrid configurations were inspected, the highest impact energy was obtained from the J₃G₂J₃ hybrid composite configuration where glass layers are in the middle and jute layers are in the outer. A 270% increase was obtained when compared with jute/epoxy having 2 wt.% nano-silica content.
- Placing glass fiber as a layer on the outer surface will be sufficient to increase the mechanical properties of jute/epoxy composites.

5. REFERENCES

1. Bledzki, A.K., Gassan, J., 1999. Composites Reinforced with Cellulose Based Fiber. *Prog. Polym. Sci.*, 24, 221-274.
2. Gowda, T.M., Naidu, A.C.B., Chhaya, R., 1999. Some Mechanical Properties of Untreated Jute Fabric-Reinforced Polyester Composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 30(3), 277-284.
3. Mohanty, A.K., Misra, M., Drzal, L.T., 2002. Sustainable Bio-composites from Renewable Resources: Opportunities and Challenges in The Green Materials World. *J. Polym. Environ.*, 10, 19-26.
4. Dwivedi, U.K., Chand, N., 2009. Influence of Fibre Orientation on Friction and Sliding Wear Behaviour of Jute Fibre Reinforced Polyester Composite. *Applied Composite Materials*, 16(2), 93-100.
5. Gon, D., Das, K., Paul, P., Maity, S., 2012. Jute Composites as Wood Substitute. *International Journal of Textile Science*, 1(6), 84-93
6. Mohanty, A.K., Misra, M., Hinrichsen, G., 2000. Biofibers, Biodegradable Polymers and Biocomposites: An Overview. *Macromolecular Materials and Engineering*, 276(1), 1-24
7. Joseph, S., Sreekalab, M.S., Oommen, Z., Koshyc, P., Thomas, S., 2002. A Comparison of The Mechanical Properties of Phenol Formaldehyde Composites Reinforced with Banana Fibres and Glass Fibres. *Compos. Sci. Technol.*, 62, 1857-1868.
8. Valadez-Gonzales, A., Cetvantes-Uc, J.M., Olayo, R., Herrera Franco, P.J., 1999. Effect of Fibre Surface Treatment on the Fibre-matrix Bond Strength of Natural Fibre Reinforced Composites. *Composites, Part B*, 30(3), 309-320.
9. Baiardo, M., Zini, E., Scandola, M., 2004. Flax Fibre-Polyester Composites. *J. Compos.: Part A*, 35, 703-710.
10. George, J., Sreekala, M.S., Thomas, S., 2002. A Review on Interface Modification and Characterization of Natural Fibre Reinforced Plastic Composites. *Polymer Engineering Science*, 41(9), 1471-1485.
11. Singh, H., Inder Preet Singh, J., Singh, S., Dhawan, V., Kumar Tiwari, S., 2018. A Brief Review of Jute Fibre and its Composites. *Materials Today: Proceedings*, 5(14), 28427-28437.
12. Mochane, M.J., Mokhena, T.C., Mokhothu, T.H., Mtibe, A., Sadiku, E.R., Ray, S.S.,

- Daramola, O.O., 2019. Recent Progress on Natural Fiber Hybrid Composites for Advanced Applications: A Review. *Express Polymer Letters*, 13(2), 159–198.
13. Ashworth, S., Rongong, J., Wilson, P., Meredith, J., 2016. Mechanical and Damping Properties of Resin Transfer Moulded Jute-carbon Hybrid Composites. *Composites Part B: Engineering*, 105, 60–66.
 14. Ali, A., Nasir, M.A., Khalid, M.Y., Nauman, S., Shaker, K., Khushnood, S., Altaf, K., Zeeshan, M., Hussain, A., 2019. Experimental and Numerical Characterization of Mechanical Properties of Carbon/jute Fabric Reinforced Epoxy Hybrid Composites. *J Mech Sci Technol*, 33, 4217–4226.
 15. Braga, R.A., Magalhaes, P.A.A., 2015. Analysis of the Mechanical and Thermal Properties of Jute and Glass Fiber as Reinforcement Epoxy Hybrid Composites. *Materials Science and Engineering: C*, 56, 269-273.
 16. Rosa, I.M., Santulli, C., Sarasini, F., Valente, M., 2009. Post-impact Damage Characterization of Hybrid Configurations of Jute/glass Polyester Laminates Using Acoustic Emission and IR Thermography. *Composites Science and Technology*, 69(7), 1142-1150.
 17. Akil, H.M., Santulli, C., Sarasini, F., Tirillò, J., Valente, T., 2014. Environmental Effects on the Mechanical Behaviour of Pultruded Jute/glass Fibre-reinforced Polyester Hybrid Composites. *Composites Science and Technology*, 94, 62-70.
 18. Akil, H.M., De Rosa, I.M., Santulli, C., Sarasini, F., 2010. Flexural Behaviour of Pultruded Jute/glass and Kenaf/glass Hybrid Composites Monitored Using Acoustic Emission. *Materials Science and Engineering A*, 527(12), 2942–2950.
 19. Ramesh, M., Palanikumar, K., Reddy, K.H., 2013. Comparative Evaluation on Properties of Hybrid Glass Fiber-sisal/jute Reinforced Epoxy Composites. *Procedia Engineering*, 51, 745-750.
 20. Ahmed, K.S., Vijayarangan, S., 2008. Tensile, Flexural and Interlaminar Shear Properties of Woven Jute and Jute-glass Fabric Reinforced Polyester Composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 207(1-3), 330–335.
 21. Rafiquzzaman, M., Islam, M., Rahman, H., Talukdar, S., Hasan, N., 2016. Mechanical Property Evaluation of Glass-jute Fiber Reinforced Polymer Composites, *Polymers for Advanced Technologies*, 27(10), 1308–1316.
 22. Saba, N., Tahir, P., Jawaid, M., 2014. A Review on Potentiality of Nano Filler/natural Fiber Filled Polymer Hybrid Composites, *Polymers*, 6(8), 2247–2273.
 23. Afrouzian, A., Movahhedi Aleni, H., Liaghat, G., Ahmadi, H., 2017. Effect of Nano-particles on the Tensile, Flexural, and Perforation Properties of The Glass/epoxy Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 36(12), 900–916.
 24. Kallagunta, H., Tate, J.S., 2019. Low-velocity Impact Behavior of Glass Fiber Epoxy Composites Modified with Nanoceramic Particles. *Journal of Composite Materials*, 54(16), 2217-2228.
 25. Uddin, M.F., Sun, C.T., 2008. Strength of Unidirectional Glass/epoxy Composite with Silica Nanoparticle-enhanced Matrix. *Composites Science and Technology*, 68(7-8), 1637–1643.
 26. ASTM D790-10, 2010, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. ASTM International, West Conshohocken, PA
 27. ISO, EN: 179-1. 2000, Plastics-determination of Charpy Impact Properties-part 1: Non-instrumented Impact Test. European Committee for Standardization. CEN, Bruxelles, Belgium.
 28. ASTM D638-10, 2010, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM International, West Conshohocken, PA
 29. Yixin, X., Lei, L., Sixun, Z., 2016. Photophysical and Dielectric Properties of Nanostructured Epoxy Thermosets Containing Poly (N-Vinylcarbazole) Nanophases, *Polymer* 98, 344-52.
 30. Jingang, L., Houluo, C., Lei, L., Sixun, Z., 2015. Nanostructured Thermosets Containing II-Conjugated Polymer Nanophases:

- Morphology, Dielectric and Thermal Conductive Properties. *Polymer*, 69, 193-203.
- 31.** Kwon, D.J., Shin, P.S., Kim, J.H., Baek, Y.M., Park, H.S., DeVries, K.L., Park, J.M., 2017. Interfacial Properties and Thermal Aging of Glass Fiber/epoxy Composites Reinforced with Sic And SiO₂ Nanoparticles. *Composites Part B*, 130, 46-53

Zemin Taşıma Gücü Haritalarının Oluşturulması: Altınşehir (Adıyaman) Örneği

Mehmet SÖYLEMEZ*¹ ORCID 0000-0001-8684-9117

¹Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adıyaman

Geliş tarihi: 19.02.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: SÖYLEMEZ, M., (2022). Zemin Taşıma Gücü Haritalarının Oluşturulması: Altınşehir (Adıyaman) Örneği. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 411-417.

Öz

Şehirlerin hızlı nüfus artışına uydu kentler, fabrikalar, üniversite kampüsleri ve alışveriş merkezleri gibi önemli mühendislik yapılarının hizmete girmesi önemli sebeplerdendir. Adıyaman ilinin gelişim sürekliliğine de 2006 yılında kurulan Adıyaman Üniversitesi önemli bir sebep olmuştur. Gelen yeni nüfusun konut ihtiyacı üniversite kampüsü civarı tarım arazilerinde, yapılaşmaya izin verilerek karşılanmıştır. Çalışma alanındaki en küçük ve en yüksek taşıma gücü değerleri sırasıyla 14,5 t / m² ve 18,9 t / m² dir. Taşıma gücü haritası NetCad programıyla sahanın 1/20000 ölçekli topoğrafik haritasına, derinliği 1,5-4 metre arasında değişen zemin taşıma gücü değerleri işlenerek çizilmiştir. Çizilen bu harita yardımıyla parsel bazında zemin araştırması yapılmayan bölgelerin de zemin taşıma gücü değerleri hesaplanabilir.

Anahtar Kelimeler: NetCad, Zemin taşıma gücü haritası, Altınşehir

The Creation of Soil Bearing Capacity Maps: Altınşehir (Adıyaman) Example Title

Abstract

One of the important reasons for the rapid population growth of cities is that important engineering structures such as factories, university campuses, satellite cities and shopping centers are put into service. Adıyaman University, which was established in 2006, has been an important reason for the development continuity of Adıyaman city. The housing needs of the new incoming population were met by allowing construction in the agricultural lands around the university campus. The smallest and highest bearing capacity values in the study area are 14.5 t / m² and 18.9 t / m², respectively. The bearing capacity map was drawn with the NetCad program on the 1/20000 scale topographic map of the site, by processing soil bearing capacity values varying between 1.5 and 4 meters in depth. With the help of this map, the soil bearing capacity values of the regions where soil surveys are not made on the basis of parcels can be calculated.

Keywords: NetCad, Soil bearing capacity map, Altınşehir

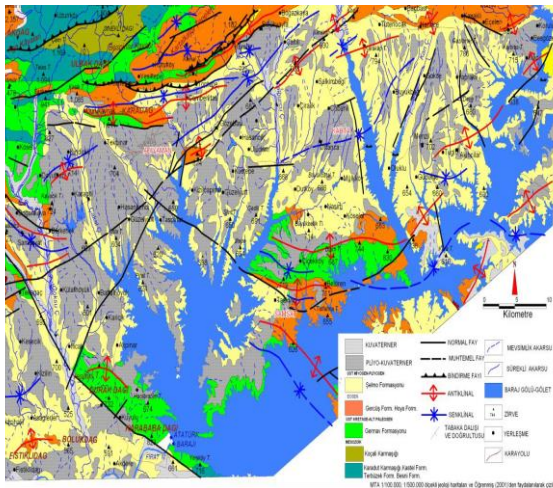
*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mehmet SÖYLEMEZ, msoylemez@adiyaman.edu.tr

1. GİRİŞ

İnceleme alanı, Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Orta Fırat bölümünde yer alır ve kabaca Fırat nehri ile Güneydoğu Torosları dağ silsilesi arasında Orta Fırat Bölümünün kuzey kesimini oluşturur. Adıyaman, bu bölümde yer alan Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki orta büyüklükte bir şehirdir. Bütün şehirlerimizde olduğu gibi köyden kente göçün etkisiyle nüfusu artmış, özellikle 2006 yılında Adıyaman Üniversitesi'nin kurulması ile daha da hızlanan bu artışa cevap verme amacıyla yeni yerleşim alanları imara açılmıştır. İmara açılan bu alanların yapılaşmadan önce genel ve parsel bazında zemin etüt raporlarının hazırlanması ve bu raporlar ışığında yapıların projelendirilmesi zorunlu olmuştur.

1.1. Bölgenin Zemin Türü

Neojen döneminde birikmiş tortullardan oluşan Adıyaman havzası senklinal bir havza görünümündedir. Kâhta, Ziyaret ve Göksu dereleri Fırat Nehri'nin önemli kollarından olup bu havzaya tortulları biriktirmişlerdir [1]. Taşıma gücü haritası çizilecek olan Adıyaman'ın Altınşehir yerleşim alanı, Güneydoğu Toroslar kuşağının kuzey kenarında yer alır. Bölgede özellikle sedimanter birimler geniş yayılım göstermekle birlikte, aşınmış ve parçalanmış magmatik ve metamorfik kayalar da bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Adıyaman ili jeolojisi haritası [1]

Çökeltme havzasındaki bu birimlerin en yaşlısı Mesozoyik döneme ait olup, kısmen havza tabanında geniş olarak da dağlık alandaki bindirme kuşağında mostra vermektedir. Bölgedeki Eosen yaşlı kıvrımlı antiklinal kireçtaşları aşınan Pliyo-Kuvaterner depolarında veya faylı sahalarda bulunmaktadır. Pliyo-Kuvaterner dolguları taban arazisini tamamen doldurmuştur, alüvyonlar ise vadi tabanı ve seki sistemlerinde çökelmişlerdir [1].

İnceleme alanında en geniş yayılıma sahip jeolojik birim Kuvaterner dolgularıdır. Çoğunlukla kırıntılı tortullardan oluşan bu dolgular konglomeralar, kumtaşları ve siltli zeminlerden oluşur. Bu birimlerde çimentolanma olmamakla birlikte yüksek bir sıkılık derecesine sahiptirler. Kalınlıkları onlarca metre olabilmektedir. Adıyaman Üniversitesi Külliyesi'nin de yer aldığı ve asıl çalışma alanı olan Altınşehir yerleşim alanını da gri renkli silt, kumtaşı ile yer yer çakıltaşı olan güncel tortul zeminler kaplamaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Adıyaman üniversitesi girişinde yüksek sıkılıktaki siltli zemin katmanı

1.2. Zeminlerin Taşıma Gücü

Temel, yapının ağırlığını zemine aktaran yapının bir parçasıdır. Zemin üzerine inşa edilen tüm

yapıların sabit ve hareketli yükleri temellerle zemine aktırılır. Bir temel, uygun yapı ile onu destekleyen zemin arasında bir bağlantı kurar. Temel zeminin taşıma kapasitesi mühendislik yapıları için ana tasarım ölçüsüdür. İnşaat mühendisliğinde iki zemin taşıma gücü kavramı vardır. Bunlardan sınır taşıma gücü, temel altındaki zeminin göçme oluşturmaması gereken maksimum temas basıncıdır. Emin taşıma gücü ise, sınır taşıma gücünün bir güvenlik sayısına bölünmesi ile elde edilen ve mühendislik yapılarının tasarım hesaplarında kullanılan değerdir.

Herhangi bir mühendislik tasarımının inşasının projelendirilmesinde zeminin taşıma gücü çok önemli bir faktördür. Taşıma gücünün mühendislik yapısının projelendirilmesinde uygun kullanılması, yapının dinamik ve statik yükler altında zeminin yenilmeye, göçmeye uğramadan güvenle inşasını sağlar [2]. Bir mühendislik yapısı temelini kendi ağırlığı ve kullanımı sürecindeki sabit ve hareketli yüklerle karşı dayanımı zeminin taşıma gücüne bağlıdır [3].

Herhangi bir yapının inşa edilme sürecinde kapsamlı bir zemin araştırması için, konusunda uzman bir ekibe, yorucu, masraflı ve zaman alıcı bir çalışmaya ihtiyaç duyulur. Şehirlerdeki yerleşim alanlarının hızla genişlemesi bu zorlukları daha da arttırmıştır. Kısaca jeoteknik araştırma denilen bu zorlukların üstesinden gelmek, zemin araştırma sonuçlarının daha önceden kestirilebilmesine bağlıdır.

Zeminlerin taşıma gücü, arazide standart penetrasyon (SPT), konik penetrasyon (CPT), presiometre deneyleriyle veya laboratuvarında örselenmemiş numunelerin ilgili deney sonuçlarından elde edilen mühendislik ve fiziksel özelliklerin taşıma gücü bağıntılarında kullanılıp hesaplanmasıyla elde edilir [4,5].

Zeminlerin taşıma gücü, zeminlerin kohezyonuna, sürtünme açlarına, doygunluk derecelerine, kuru ve doygun birim ağırlıklarına, yeraltı su seviyesi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır [6]. Bu faktörlerle çeşitli bağıntılar kullanılıp taşıma gücü katsayıları

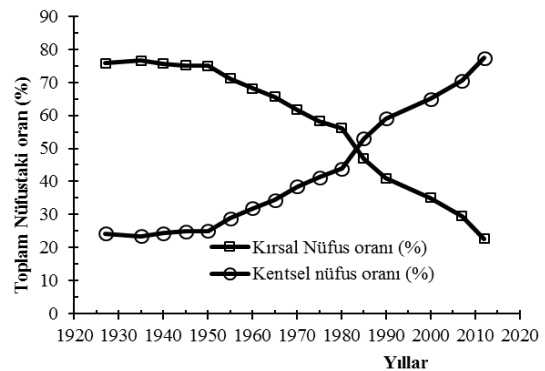
elde edilir [6,7]. Zeminlerin bu tür özelliklerinin farklılığı taşıma gücünü oldukça etkiler [7,8].

Zemin taşıma gücü ile mühendislik yapısının depremlerden zarar görmemesi için uygun temel tipi ve türü, temel derinliği seçimi, tahmin edilebilir [7]. Bir bölgedeki zeminin bazı lokasyonlarında hesaplanan taşıma gücü değerleri yardımıyla çizilen haritalardan, henüz taşıma gücü değerleri ölçülmemiş alanlara ait bu değerler tahmin edilebilir [9].

Zeminlerin taşıma gücü hesaplamalarında hangi yöntemlerin kullanılacağını önceden tahmin etme ve araştırmalar sonucu hesaplanan değerlerin doğruluğunun test edilmesi önemli bir mühendislik gereksinimidir. Bu makale, çalışılan bölge için bu mühendislik gereksinimini karşılamamın hızlı bir yöntemini önermektedir.

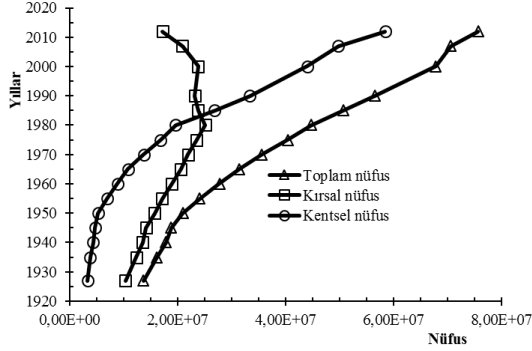
2. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Türkiye’de 1950 yılında 20947188 olan toplam nüfusun % 25’i kırsal alanlarda % 75’i ise il ve ilçe merkezlerinde yaşamaktaydı [10]. Bu tarihten itibaren çeşitli nedenlerden dolayı kırsal nüfus sürekli azalmaya, buna karşın kent nüfusu ise artma eğilimine girmiştir (Şekil 3 ve Şekil 4). Şehirleşme nüfusundaki bu artış 1980 yılına kadar yaklaşık sabit oranda artarken bu tarihten sonraki artış oranı yükselmiş ve 2012 yılında % 77’yi aşmıştır. Günümüzde nüfus dağılımındaki şehirleşme oranı artış hızı azalmış olsa da halen devam etmektedir [11].



Şekil 3. Yıllara göre kırsal ve kentsel nüfusun toplam nüfusa oranları

Zemin Taşıma Gücü Haritalarının Oluşturulması: Altınşehir (Adıyaman) Örneği



Şekil 4. Türkiye'nin yıllara göre kırsal, kentsel ve toplam nüfusu

Adıyaman merkez ilçe de bu artış hızından payını almıştır. Merkez ilçe nüfusu 2000 yılındaki genel

nüfus sayımına göre 178538 iken, şehir merkezine göçün artışı ve özellikle 2006 yılında Adıyaman üniversitesinin kurulması sonrasında bu rakam bu gün 254695 yükselmiştir [12]. Bu hızlı nüfus artışı yeni yerleşim alanlarının açılmasına ve bu alanlarda hızlı bir yapılaşmaya sebep olmuştur.

Bu nüfus artışının büyük bir kısmı üniversite külliyesinin de bulunduğu Altınşehir mahallesinde olmuştur. Henüz Adıyaman Üniversitesi'nin kurulmadığı 2003 yıllarında Altınşehir mahallesindeki geniş tarım arazileri, üniversitenin kurulmasıyla birlikte yapılaşmaya açılmış ve hızla bugünkü duruma ulaşmıştır (Şekil 5 ve Şekil 6).



Şekil 5. 2003 yılına ait Altınşehir mahallesi uydu görüntüsü [13]



Şekil 6. 2022 yılına ait Altınşehir mahallesi uydu görüntüsü [13]

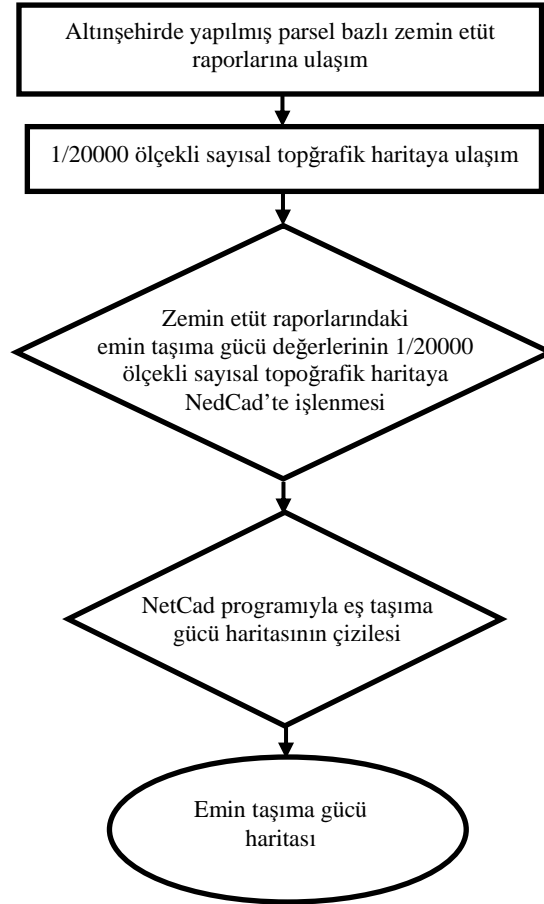
3. NetCad PROGRAMI

Netcad farklı sektör ve kullanıcılardan gelebilecek çok farklı talepleri karşılamak üzere, birçok mühendislik disiplini için harita, hesaplama, raporlama, sunma, analiz gibi talepleri karşılama ve uygulamaya yönelik tasarlanmış bir programdır. Program ile yol, kanal ve baraj projeleri, imar uygulamaları, kamulaştırma işlemleri, aplikasyon gibi harita ve çizimler yapılabilmektedir. Bu

program sayesinde sayısallaştırılan topoğrafik haritalar üzerine taşıma gücü değerleri işlenerek istenilen veri sıklığında yeni haritalar oluşturulabilir.

Çalışmanın iş akışı; NetCad programıyla sahanın sayısallaştırılmış topoğrafik haritasına zemin taşıma gücü değerlerinin istenilen aralıkta çizilmesiyle gerçekleştirilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Taşıma gücü haritasının oluşturulmasında çalışma programı

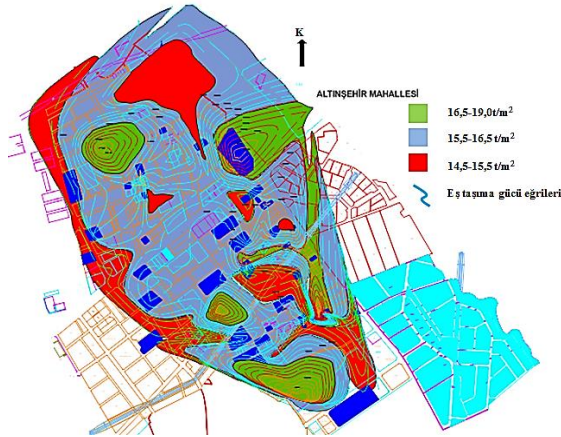


Altınşehir mahallesinde farklı parsellere ait sondaja dayalı yapılan 713 adet zemin etüt raporu incelenmiş ve bu parsellere ait zemin türleri değerlendirmeye alınarak yapılan deneyler sonucu bulunan zemin emin taşıma gücü değerleri kullanılmıştır. Bu taşıma gücü değerleri 1/20000

ölçekli sayısallaştırılmış parsel haritasında (Şekil 7), ilgili parsellere işlenerek 0,1 t/m² aralıklarla eş taşıma gücü eğrileri çizilmiş ve 1 t/m² aralığında farklı renklerle gösterilmiştir (Şekil 8). Bu çalışma kendi sahasında NetCad ile yapılan ilk taşıma gücü haritası olacaktır.



Şekil 7. Altınşehir mahallesinin 1/20000 ölçekli parsel haritası



Şekil 8. Altınşehir mahallesinin 1/20000 ölçekli emin taşıma gücü haritası

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Altınşehir mahallesinde farklı parsellere ait sondaja dayalı yapılan 713 adet zemin etüt raporu incelenmiş ve bu parsellere ait zemin türleri değerlendirmeye alınarak yapılan deneyler sonucu bulunan zemin emin taşıma gücü değerleri 1/20000 ölçekli topoğrafik haritada ilgili parsellere işlenmiştir. Parsellere işlenmiş bu taşıma gücü değerleri NetCad programıyla 0,1 t/m² aralıklarla eş taşıma gücü eğrileri oluşturulmuştur. Haritaya işlenmiş bu eğrilerin en düşük değerleri 14,5 t/m², en yükseği de 18,9 t/m² olarak çizilmiştir.

Bu çalışmanın, henüz zemin etüt raporları hazırlanmamış parsellerin, taşıma gücü değerleri haritada okunabileceğinden, ileride hazırlanacak zemin etüt raporlarına temel teşkil edeceği ve zemin araştırma yöntemlerinin seçiminde yol gösterici olacağı umulmaktadır.

5. KAYNAKLAR

1. Karadoğan, S., Tonbul, S., 2013. Adıyaman Havzasının Jeomorfolojik Özellikleri. Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, 1 (1), 182-217.
2. Yang, S., Leshchinsky, B., Cui, K., Zhang, F., Gao, Y., 2019. Unified Approach toward Evaluating Bearing Capacity of Shallow Foundations Near Slopes. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 145(12), 04019110, doi:10.1061/(asce)gt.1943-5606.0002178.
3. Budhu, M., Al-Karni, A., 1993. Seismic Bearing Capacity of Soils. Géotechnique, 43(1), 181-187, doi:10.1680/geot.1993.43.1.181.
4. Uzuner, B.A., 2005. Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği. Derya Kitabevi, Trabzon, 485.
5. Michalowski, R., 1997. An Estimate of the Influence of Soil Weight on Bearing Capacity Using Limit Analysis. Soils and Foundations, 37(4), 57-64.
6. Bolton, M.D., Lau, C.K., 1993. Vertical Bearing Capacity Factors for Circular and Strip Footings on Mohr-coulomb Soil. Canadian Geotechnical Journal, 30(6), 1024-1033. doi:10.1139/t93-099.
7. Griffiths, D.V., Fenton, G.A., 2001. Bearing Capacity of Spatially Random Soil: The Undrained Clay Prandtl Problem Revisited. Géotechnique, 51(4), 351-359. doi:10.1680/geot.2001.51.4.351.
8. Popescu, R., Deodatis, G., Nobahar, A., 2005. Effects of Random Heterogeneity of Soil Properties on Bearing Capacity. Probabilistic Engineering Mechanics, 20(4), 324-341, doi: doi:10.1016/j.probenmech.2005.06.003.
9. Al-Maliki L.A.J., Al-Mamoori S.K., El-Tawil K., Hussain H.M., Al-Ansari N., Al Ali M.J., 2018. Distribution of Bearing Capacity for An-

- najaf and Kufa Cities Using GIS. Engineering 10, 262–269.
10. TÜİK, 2005. 2000 Genel Nüfus Sayımı Göç İstatistikleri, Türkiye İstatistik Kurumu Matbaası, Yayın No: 2976, Ankara.
 11. Türkiye Nüfusu, www.tuik.gov.tr, Erişim tarihi: Ocak 12, 2022.
 12. Adıyaman Valiliği “Adıyaman İl Nüfusu”, <http://www.adiyaman.gov.tr/nufus-bilgileri>, Erişim tarihi: Ocak 12, 2022.
 13. Google Earth, <https://www.google.com.tr/intl/tr/earth/download/gep/agree.html>, Erişim tarihi: Ocak 12, 2022.

Profillit ve Zeolit Katkılı Yapı Malzemelerinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması

Nil YAPICI*¹ ORCID 0000-0001-9761-9122

Hakan GÜNEYLİ² ORCID 0000-0002-8707-762X

Ebubekir MEHMETOĞLU² ORCID 0000-0003-3376-2960

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 08.02.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: YAPICI, N., GÜNEYLİ, H., MEHMETOĞLU, E., (2022). Profillit ve Zeolit Katkılı Yapı Malzemelerinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 419-427.

Öz

Bu araştırmada bazalt agregalı yapı malzemesine zeolit ve profillit katkıları eklenerek performans etkileri karşılaştırılmıştır. Malzeme olarak, Adana/Osmaniye bazaltları, Malatya/Pütürge profillitleri ve Manisa Gördes zeolitleri kullanılmıştır. Beton deneylerinde Su-çimento oranı sabit tutularak, ana bazalt agregası oranı %80, 75, 70, 65 ile profillit ve zeolit oranları % 0, 5, 10 ve 15 olarak ayarlanmıştır. Katkısız beton (sadece %80 bazalt) ve 6 farklı reçete ile (bazalt+profillit ve bazalt+zeolit) beton üretilmiştir. 28 günlük kür bekleme sonucunda beton numuneleri üzerinde basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ısı iletkenlik ve kuru yığın yoğunluk deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu sonuçlara göre; %5'lik profillit ve zeolit basınç ve eğilme dayanımlarının en yüksek seviyelerde olduğu saptanmıştır. %75 bazalt ve %5 zeolit oranında basınç dayanımı 27,65 MPa, eğilme dayanımı 5,45 MPa, ısı iletkenlik değeri 1,21 W/m.K ve kuru yığın yoğunluk 2052 kg/m³ olarak saptanmıştır. %75 bazalt ve %5 profillit oranında basınç dayanımı 21,65 MPa, eğilme dayanımı 5,95 MPa, ısı iletkenlik 1,21 W/m.K ve kuru yığın yoğunluk 2029 kg/m³ değerinde ölçülmüş ve malzemenin hafif beton üretiminde kullanılabileceği belirlenmiştir. Dayanıklı hafif beton eldesi için her iki malzeme (zeolit ve profillit)'nin aynı beton reçetesinde kullanılması önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Profillit, Bazalt, Doğal zeolit, Yapı malzemeleri

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Nil YAPICI, nyapici@cu.edu.tr

Comparison of the Physical and Mechanical Properties of Construction Materials Added Profillite and Zeolite

Abstract

In this study, the performance effects were compared by adding zeolite and profillite additives to the basalt aggregate building material. Adana/Osmaniye basalts, Malatya/Pütürge profilelites and Manisa Gördes zeolites were used as materials. In the concrete tests, the cement-water ratio was kept constant and the main basalt aggregate ratio was adjusted as 80, 75, 70, 65%, and the profiled and zeolite ratios were set as 0.5, 10, 15%. Concrete without additives (only 80% basalt) and 6 different recipes (basalt+profillite and basalt+zeolite) were made. After 28 day of curing, compressive strength, flexural strength, thermal conductivity and dry bulk density tests were performed on the concrete samples. According to the results of this experiment; compressive and flexural strengths of 5% profillite and zeolite were found to be at the highest levels. Compressive strength is 27.65 MPa, flexural strength is 5.45 MPa, thermal conductivity is 1.21 W/m.K, and dry bulk density value is 2052 kg/m³ at 75% basalt and 5% zeolite ratio. Compressive strength is 21.65 MPa, flexural strength is 5.95 MPa, thermal conductivity value is 1.21 W/mK and dry bulk density value is 2029 kg/m³ at 75% basalt and 5% profillite ratio of the light weight concrete. In order to obtain durable lightweight concrete, it would be appropriate to use both materials (zeolite and profillite) in the same concrete design.

Key Words: Pyrophyllite, Basalt, Natural zeolite, Construction materials

1. GİRİŞ

Çimento ve betona çeşitli mineral katkıların ilavesi eskiden beri uygulanmaktadır. Mineral katkıların çimento ve betonda kullanımı ile kolay işlenebilme, dayanıklılıkta ve özellikle ileri yaş dayanımda artış-hidratasyon ısısında azalış gibi teknik avantajlara ilaveten enerjiden tasarrufunda ve doğal kaynakların ve çevrenin korunması sağlanmakta ve ürün maliyeti azalmaktadır [1].

Bu çalışmada doğal katkılar (zeolit, profillit) ile yapılan yapı malzemeleri standardize edilmiş, test sonuçları ele alınmış, uygun katkılar ve tane boyutu kullanılması durumunda hem çimento kullanımından tasarruf hem de yapı malzemelerinde performans artırışı hedeflenmiştir. Agregata olarak bazalt kullanımının dayanımı artırdığı, çimento kullanımını azalttığı ve böylece ekonomik, teknik ve ekolojik faydalar sağladığı bilinmektedir. Kayacın dayanımı, içerisindeki mineral kompozisyonuna ve minerallerin dokusal ilişkisine doğrudan bağlıdır. O yüzden kullanılacak agreganın kimyasal ve mineralojik bileşiminin detaylandırılması çok önemlidir.

Kullanılan katkı materyallerinden zeolit ise, yüksek oranda SiO₂ ve Al₂O₃ içeriğine sahip bir mineraldir. Zeolitin doğal mineral katkı olarak kullanımının sebebi; yüksek iyon değişim kapasitesi, moleküler elek olma özelliği, yüksek silis bileşimine sahip olması, düşük yoğunluğu ve kristal yapısı bozulmadan dehidratasyona uygunluğudur. Bu özellikler zeoliti diğer mineral katkılardan üstün kılmaktadır.

Zeolitin moleküler elek yapıda olması zeolitin öğütülmesini kolaylaştırmakta, özgül yüzeyinin normal portland çimentosunun özgül yüzeyinden yüksek olması beton içinde boşlukların azalmasını sağlamaktadır. Zeolitin çimento'dan düşük yoğunluğa sahip olması, betonun birim ağırlığını da düşürmekte ve normal betona göre birim ağırlığı daha düşük betonlar elde edilmektedir [2]. Zeolitin betonun dayanımına katkısı diğer puzolonlar uçucu kül ve silis dumanı gibi; Ca(OH)₂ ile girdiği puzolanik reaksiyon sonucudur. Asıl ilgilenilen nokta bu maddenin puzolanik aktivitesidir [3].

Ender bulunan bir mineral olan profillit ise (Al₂SiO₄(OH)₂) teorik formülüne sahip hidrate olmuş bir Aluminyum Silikattır: Birçok fiziksel özellikleri açısından talka çok benzemekle birlikte

ondan dana sert olup yüksek sıcaklıklarda akışkan bir durum almaz. Bu nedenle yüksek kaliteli seramik ve refrakter ürünleri üretiminde önemli bir yer tutmaktadır [4].

Bu çalışma ile, profillit ve zeolitin bazalt agregası ile beton performansı araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Materyal

Deney numunelerinin üretilmesinde kullanılan bileşenlerin kimyasal içerikleri, fiziksel özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

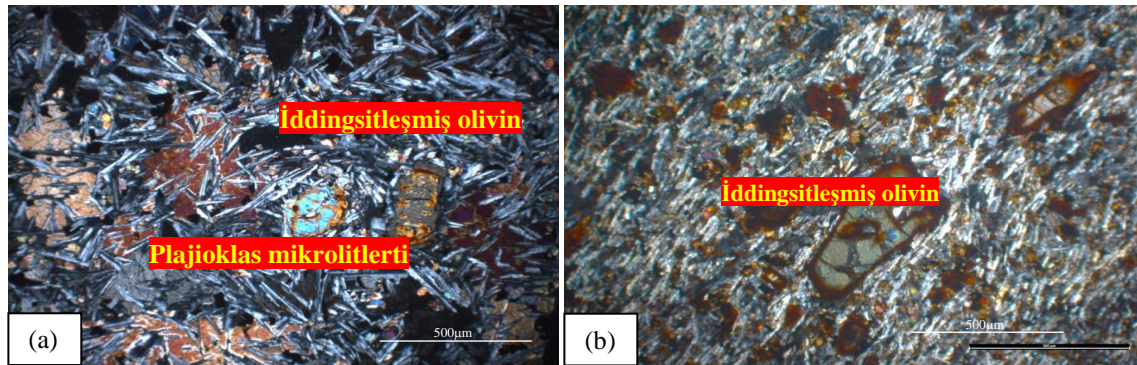
Araştırmada bağlayıcı olan PÇ 42,5 tip çimento, agrega olarak, Kuvaterner yaşlı Osmaniye ili sınırları içerisinde bulunana Deli Halil tepe ana

volkan bacasına ait bazalt kayaları kullanılmıştır. Bazalt kayacı olivinli bazalt sınıfında bulunmaktadır (Şekil 1). Profillit, Malatya bölgesi hammadde ocağından, Zeolit, Manisa/Gördes hammadde ocağından temin edilmiştir. Deneyde kullanılan su Adana şebeke suyudur. Hazırlanan beton karışımları ve deneyleri; TS EN 1015-11, TS EN 1015-10, TS EN 1745, TS EN 1015-18’e uygun olarak yapılmıştır [5-8].

Deneyde kullanılan zeolit, bazalt ve profillit XRF sonuçları Ç.Ü. Maden Mühendisliği Laboratuvarında Panalytical marka X-Ray Fluorescence (XRF) cihazı ile belirlenmiş sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir. Çimento kimyasal içeriği Adana Çimento A.Ş.’den alınmıştır. Adana su şebekesine bağlı içme suyu şebekesinden alınan su karışım suyu olarak kullanılmıştır.

Çizelge 1. Kullanılan bileşenlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Fiziksel özellikler	Bileşen	Profillit	Zeolit	Çimento (PÇ42,5N)	Bazalt Agregası
	Özgül ağırlık, g/cm ³		2,68	2,23	3,14
Özgül yüzey (Blaine), (cm ² /g)		-	3900	3269	9501
Kimyasal Özellikler	SiO ₂	79,20	67,98	19,43	45,57
	Al ₂ O ₃	14,52	11,05	5,31	15,60
	Fe ₂ O ₃	0,18	1,50	3,79	12,57
	CaO	0,28	3,18	64,39	9,23
	K ₂ O	0,91	3,20	0,90	1,04
	SO ₃	<0,5	0,27	2,47	0,12
	Na ₂ O	0,25	0,32	0,09	3,01
	MgO	0,11	0,47	2,25	7,10
	A.K.	2,85	8,10	1,07	0,28



Şekil 1. Bazaltların ince kesit görünüşleri, olivinli bazalt (a,b)

2.1.1. Tane Boyu Dağılım Özellikleri

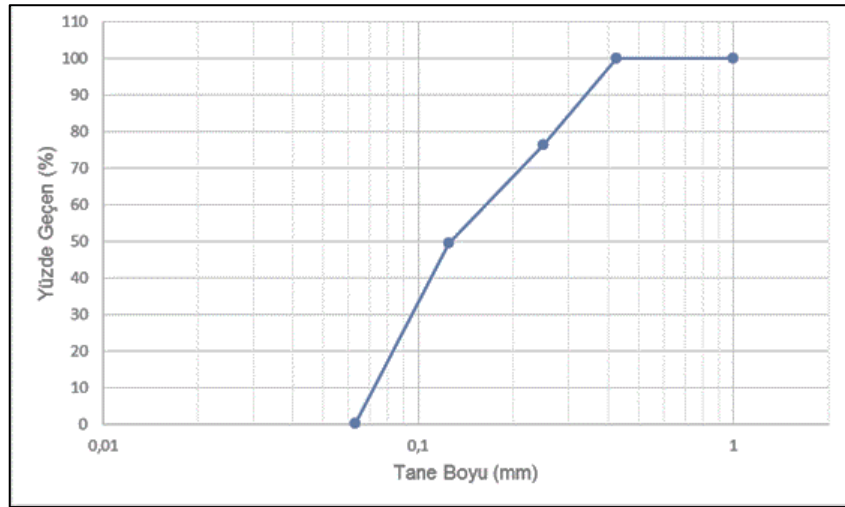
TS EN933 standartına göre agregaların tane büyüklüğü dağılımları tayin edilmiş ve grafiklendirilmiştir (Çizelge 2, Şekil 2) [9].

Profillit, 425 mikron altı ince malzeme olarak hammaddeye yardımcı olarak çimento gibi

bağlayıcı rolü göstermesi için kullanılmıştır. Profillitin tane boyu dağılım eğrisi Şekil 2' de verilmiştir. Çalışmada kullanılan Zeolitin tane boyu dağılımı ve çizilen tane boyu dağılım eğrisi Çizelge 3 ve Şekil 3' de verilmiştir. Zeolitin puzolanik aktivite indeksi 28 gün için %74 olarak bulunmuştur.

Çizelge 2. Profillit malzemesi tane büyüklüğü dağılım çizelgesi

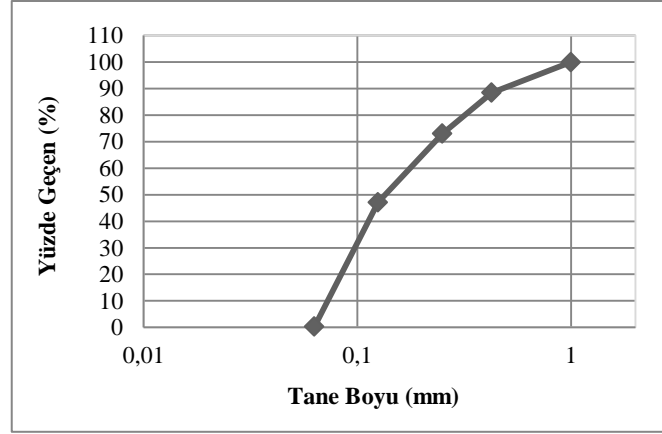
Elek Boyutu (mm)	Küm. Kalan (gr)	% Kalan	% Geçen
1	0	0	100
0,425	0,80	0,02	99,98
0,25	955,40	23,78	76,22
0,125	1076,77	50,56	49,44
0,063	1983,23	99,89	0,11
İnce malzeme içeriği %	0,11		



Şekil 2. Profillit malzemesinin tane boyu dağılım eğrisi

Çizelge 3. Zeolit malzemesi tane büyüklüğü dağılım çizelgesi

Elek Boyutu (mm)	Küm. Kalan (gr)	% Kalan	% Geçen
1	0	0	100
0,425	468,8	11,52	88,48
0,250	798,4	15,46	73,02
0,125	584,8	14,32	47,18
0,063	2136	58,40	0,30
İnce malzeme içeriği %	0,3		

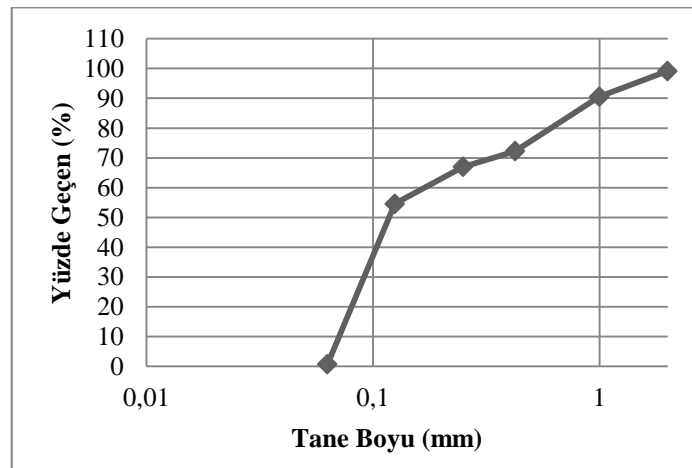


Şekil 3. Zeolit malzemesinin tane boyu dağılım eğrisi

Bu değer zeolitın puzolan olarak kullanılabilir olduğunu göstermektedir. TS 25 standardına göre puzolanların özgül yüzey alanları en az 3000 cm²/gr olmalıdır. Agrega olarak kullanılan bazaltın tane boyu dağılımı ve çizilen tane boyu dağılımı eğrisi ise Çizelge 4 ve Şekil 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Bazalt agregası tane büyüklüğü dağılım çizelgesi

Elek Boyutu (mm)	Küm. Kalan (gr)	% Kalan	% Geçen
4	0	0	100
2	17	0,85	99,15
1	171,6	8,58	90,57
0,425	367,2	18,36	72,21
0,25	104,4	5,22	66,99
0,125	248,4	12,42	54,57
0,063	1077,4	53,87	0,70
İnce malzeme içeriği %	0,7		



Şekil 4. Bazalt agregasının tane boyu dağılım eğrisi

Her bir harç için standart su/çimento oranı kullanılmıştır. Hazırlanan harçlar TSE standartlarına uygun bir mikser ile karıştırılarak yine TSE standartlarına uygun 4x4x20 cm hacimli metal kalıplara iki tabaka halinde doldurulmuş ve uygun şartlarda muhafaza edilmiştir. 28 günlük kür süresini tamamlayan deney numuneleri üzerinde Basınç Dayanımı, Eğilme Dayanımı, Kuru Yığın Yoğunluğu ve Isıl İletkenlik Değer testleri yapılmıştır.

3. BULGULAR

Çalışmada profillit ve zeolit katkı malzemeleri esas alınarak reçeteler oluşturulmuş agrega oranları ve

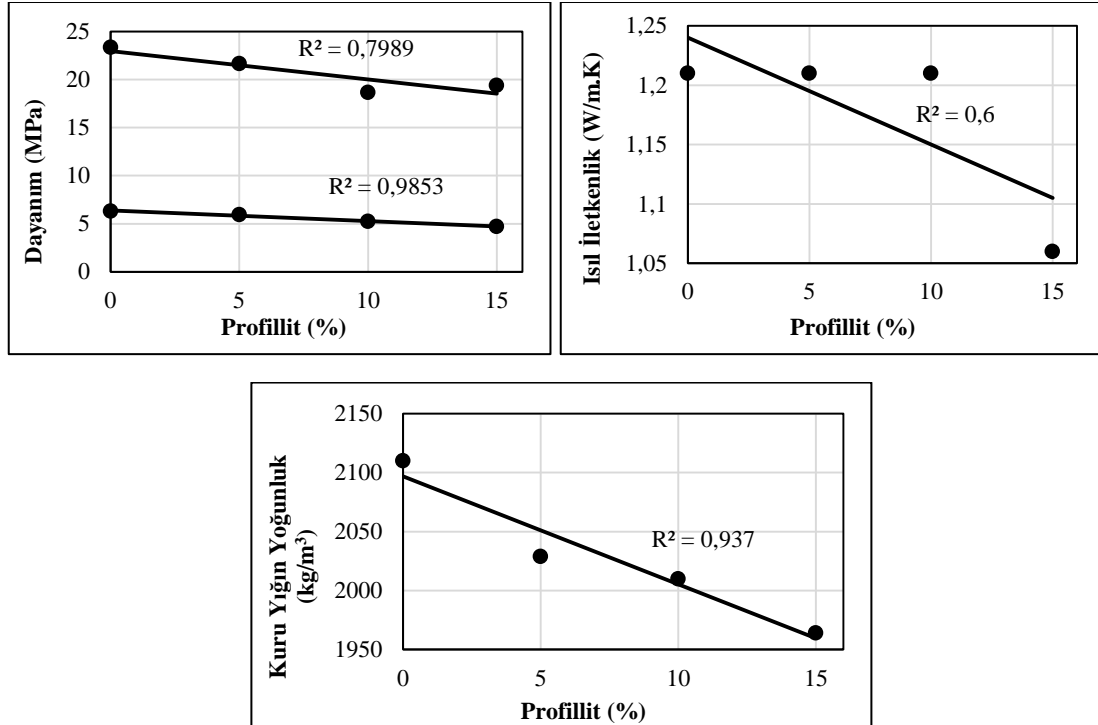
tane boyutları farklı yüzdelerle denenmiştir. Şahit örnek ise katkısız, sadece bazalt agregası (%80) ve Çimento 42,5 (%20)'dan elde edilmiştir (Çizelge 5). Tüm işlemlerde su miktarı %18 olarak kullanılmıştır.

Profillit ve bazalt yüzdelerine göre hazırlanmış beton numunelerine ait deney sonuç tablosu Çizelge 5'de, grafik tabloları ise Şekil 5'de verilmiştir.

Çizelge 5 ve Şekil 5'de verilen 28 günlük basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde; profillit katkı numunelerde %5'e kadar profillit katkısının basınç dayanımını arttırdığı belirlenmiştir.

Çizelge 5. Profillit ve bazalt yüzdelerine göre deney sonuç tablosu (28 günlük)

Profillit -425 μm (%)	Bazalt - 4 mm (%)	Basınç Dayanımı MPa	Eğilme Dayanımı MPa	Isıl İletkenlik Değeri W/m.K	Kuru Yığ. Yoğunluk kg/m^3
0	80	23,35	6,30	1,21	2110
5	75	21,65	5,95	1,21	2029
10	70	18,65	5,25	1,21	2010
15	65	19,40	4,70	1,06	1964



Şekil 5. Profillit-bazalt deney sonuç grafikleri

Eğilme dayanımı profillit %'sine göre en yüksek değer %5 profillit %75 bazalt katkısı ile görülmüştür. Isıl iletkenlik değerlerinde herhangi bir yüksek oran değişikliği gözlenmemiştir.

Zeolit ve bazalt agregası karışımı ile hazırlanmış 3 adet farklı beton numuneleri üzerinde yapılan deney sonuçları Çizelge 6'da grafik tabloları ise Şekil 6'da verilmiştir.

Çizelge 6 ve Şekil 6'de verilen 28 günlük basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde; zeolit katkılı numunelerde %5'e kadar zeolit katkısının basınç dayanımını arttırdığı daha yüksek miktarda zeolit katkısının ise dayanımı şahit numuneye göre düşürdüğü görülmektedir.

Eğilme dayanımı ise zeolit %'sine göre en yüksek değer %5 zeolit %75 bazalt katkısı ile görülmüştür.

Isıl iletkenlik değerlerinde zeolit katkısı artıka iletkenlik değeri düşmüştür.

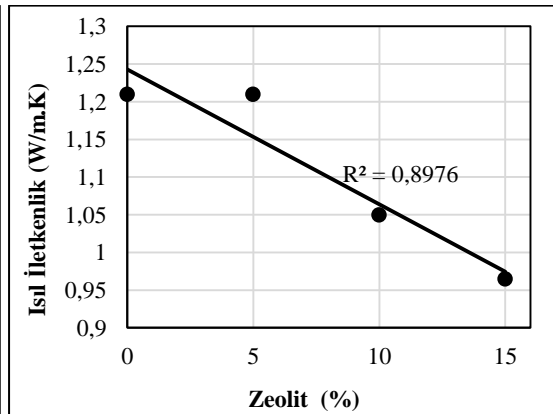
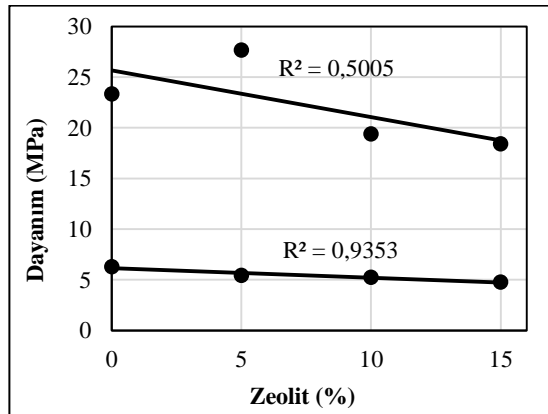
Bu sonuçlara göre; %5' lik profillit ve zeolitin ayrı reçetelerde basınç ve eğilme ve ısıl iletkenlik özelliklerinin en yüksek seviyelerde olduğu görülmüştür.

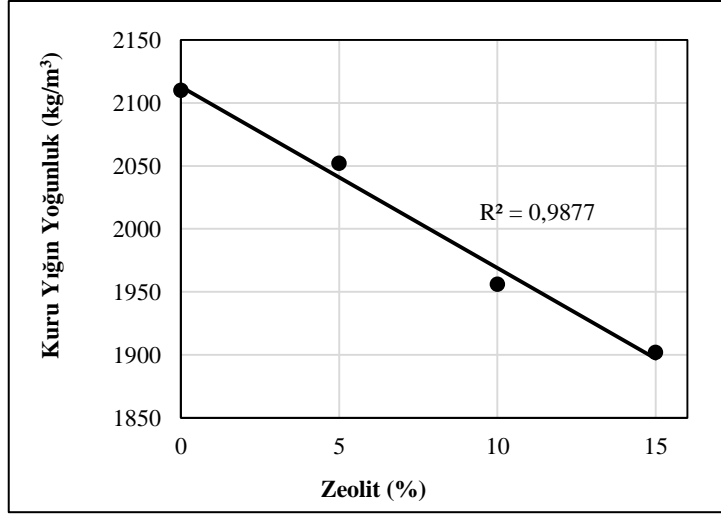
4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında bazalt agregası kullanılarak farklı yüzdelerle zeolit ve profillit katkılı beton yapımı gerçekleştirilmiştir. Su/Çimento oranı sabit tutularak ana bazalt agregası oranı %80, 75, 70, 65 ile profillit ve zeolit oranları % 0, 5, 10, 15 olarak ayarlanmıştır. Katkısız beton (sadece %80 bazalt) ve 6 farklı reçete ile (bazalt+profillit ve bazalt+zeolit) beton yapılmıştır. Her bir reçete 3'er kez tekrarlanmıştır.

Çizelge 6. Zeolit ve bazalt yüzdelerine göre deney sonuç tablosu (28 günlük)

Zeolit (%)	Bazalt (%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Isıl İletkenlik W/m.K	Kuru Yığ. Yoğunluk kg/m ³
0	80	23,35	6,30	1,21	2110
5	75	27,65	5,45	1,21	2052
10	70	19,40	5,25	1,05	1956
15	65	18,40	4,78	0,965	1902





Şekil 6. Zeolit-bazalt deney sonuç grafikleri

28 günlük kür sonucunda beton numuneleri üzerinde basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ısıl iletkenlik ve kuru yığın yoğunluk deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Bu sonuçlara göre; %5'lik profillit ve zeolitin basınç ve eğilme dayanımlarının en yüksek seviyelerde olduğu görülmüştür.

%75 bazalt ve %5 zeolit oranında basınç dayanımı 27,65 MPa, eğilme dayanımı 5,45 MPa, ısıl iletkenlik değeri 1,21 W/m.K ve kuru yığın yoğunluk 2052 kg/m³ olarak saptanmıştır.

%75 bazalt ve %5 profillit oranında basınç dayanımı 21,65 MPa, eğilme dayanımı 5,95 MPa, ısıl iletkenlik 1,21 W/m.K ve kuru yığın yoğunluk 2029 kg/m³ değerinde ölçülmüş ve malzemenin hafif beton üretiminde kullanılabileceği belirlenmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu makale, Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Proje No: FBA-2019-11350'lu Bilimsel Araştırma Projesinden türetilmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Yeğinoğlu, A., 2007. Katkılı Beton Mu, Katkılı Çimento mu? İMO İzmir Şubesi Bülteni-Kasım 2007, İzmir, 137, 37-40.
2. Bektaş, F., Uzal, B., Turanlı, L., 2003. Öğütülmüş Doğal Zeolitin Doğal Alkali-Silika Reaksiyonu ve Sülfat Etkisi ile Genleşmesinin İncelenmesi. 5. Ulusal Beton Kongresi, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Subesi, 1-3 Ekim 2003, İstanbul, 403-409.
3. Öz, A., 2006. Yüksek Fırın Cürufu ve Doğal Zeolit Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Termo-Mekanik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 93.
4. Dündar, B., Çınar, E., Özkaya, H., 2019. Profillit Katkılı Lifli Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, ISSN:2147-3455, 8(2), 17-27.
5. TS EN 1015-11, 2020. Kagit Harcı-Deney Yöntemleri-Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Eğilmede Çekme ve Basınç Dayanımının Tayini, Ankara.

6. TS EN 1015-10, 2001. Kâgir Harcı-Deney Metotları-Bölüm 10: Sertleşmiş Harcın Boşluklu Kuru Birim Hacim Kütlesinin Tayini, Ankara.
7. TS EN 1745, 2020. Kâgir ve Kâgir Mamuller-Isıl Özelliklerinin Tayini Yöntemleri, Ankara.
8. TS EN 1015-18, 2014. Kâgir Harcı-Deney Yöntemleri-Bölüm 18: Sertleşmiş Harcın Kapiler Etkiden Kaynaklanan Su Emme Katsayısının Tayini, Ankara.
9. TS EN 933-1, 2012. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini-Eleme Yöntemi, Ankara.

Deniz Suyu ve Hava Debi Oranının Toprak Isı Değiştiricili Bir Damıtma Sistemi Performansına Etkisinin İncelenmesi

Ertaç HÜRDOĞAN*¹ ORCID 0000-0003-1054-9964
Abdulkadir GÜNEŞ¹ ORCID 0000-0002-9005-5106
Osman KARA¹ ORCID 0000-0003-1501-677X

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği
Bölümü, Osmaniye

Geliş tarihi: 16.03.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atf şekli/ How to cite: HÜRDOĞAN, E., GÜNEŞ, A., KARA, O., (2022). Deniz Suyu ve Hava Debi Oranının Toprak Isı Değiştiricili Bir Damıtma Sistemi Performansına Etkisinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 429-438.

Öz

Bu çalışmada, nemlendirme-nem alma (NNA) teknolojisi çalışma prensibine dayalı güneş enerji destekli ve toprak ısı değiştiricili bir damıtma sistemi ele alınarak sistemin Termodinamiğin II. Yasasına göre analizleri (Ekserji analizi) yapılmıştır. Sistemde, deniz suyu önce güneş kolektörleri kullanılarak ısıtılmakta ve daha sonra nemlendiricide, dış ortamdan alınan havanın nemlendirilmesinde kullanılmaktadır. Nemi ve sıcaklığı yükselmiş olan hava, nem alıcıya gönderilerek, toprak ısı değiştiricisiyle soğutulan suyla yoğunlaştırularak damıtılmış (temiz) su elde edilmektedir. Çalışmada, sistemin farklı deniz suyu ve hava debi oranında (MR) çalışma durumu farklı konfigürasyonlar için değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan, sistemde en fazla tersinmezliğin güneş kolektörlerinde meydana geldiği, sistemin ekserji veriminin farklı konfigürasyonlara göre %5 ile %22 arasında değiştiği ve MR'nin artması ile sistemin ekserji veriminin tüm konfigürasyonlar için azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Damıtma, Toprak ısı değiştiricisi, Güneş enerjisi, Ekserji

Investigating the Effect of Sea Water and Air Flow Rate Ratio on the Performance of a Desalination System with Ground Heat Exchanger

Abstract

In this study, solar energy and ground heat exchanger assisted desalination (distillation) system working with the principle of humidification-dehumidification (HDH) was considered and analyzes were made according to the II. Law of Thermodynamics (Exergy analysis). In the system, sea water is first heated using solar collectors and then used in the humidifier to humidify the air taken from the outside. The air with increased humidity and temperature is send to the dehumidifier, and then moisture inside the air condense with water cooled by a ground heat exchanger to obtain distilled (clean) water. In the study, the performance of the system was evaluated for different configurations and operating at different seawater and air flow rate ratios (MR). It has been seen from the results that the most irreversibility in the system occurs in the solar collectors, the exergy efficiency of the system varies between 5% and 22% according

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ertaç HÜRDOĞAN, ehurdogan@osmaniye.edu.tr

to different configurations and exergy efficiency of the system decreased for all configurations with increasing MR.

Keywords: Desalination, Ground heat exchanger, Solar energy, Exergy

1. GİRİŞ

Günümüzde su talebi karşılanabilecek değerlerin üzerine çıkmaktadır. Bunun temel sebepleri ise; şehirleşmenin bir sonucu olarak hızlı nüfus artışına bağlı olarak orantısız su kullanımı, evsel atıklar, büyük oranlarda su tüketen sanayileşme, bilinçsiz su tüketimi ve temiz suyun kirlenmesidir. Devletlerin artan su talepleri ve nihayetinde azalan temiz su kaynakları dünyanın çoğu yerinde su kıtlığını beraberinde getireceği düşünülmektedir [1]. Önümüzdeki yıllarda doğal su döngüsünün insanlığın ihtiyaçlarını karşılayamayacağı düşünülmektedir. Deniz suyunun temiz suya dönüştürüldüğü damıtma sistemlerinin kullanımının yaygınlaşması, bu sorunun giderilebilmesi için önemli bir etki yaratabilecektir. Deniz suyu damıtma teknolojileri proses ve enerji kullanımları açısından sınıflandırılmaktadırlar. Proses açısından sınıflandırmada membran ve destilasyon yöntemleri, enerji kullanımına göre ise mekanik enerji (elektrik enerjisi) destekli ve termal enerji destekli teknolojiler bulunmaktadır. Bu damıtma sistemlerinden en çok kullanılanları ters osmoz (RO), elektrodializ (ED), membran damıtma, çok kademeli flaş (MSF), çok etkili damıtma (MED), nemlendirme-nem almadır (NNA/ HDH). NNA yöntemi daha çok küçük ölçekli damıtma gereken yerlerde ön plana çıkmaktadır. Bu yöntem basitlik, düşük kurulum ve işletme maliyeti, düşük sıcaklıktaki enerjiden faydalanabilme ve küçük ölçeklerde yüksek verim gibi avantajları nedeniyle son yıllarda araştırmalara konu olmuş ve kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır [2-3].

Giwa ve arkadaşları [4], literatürdeki NNA sistemlerinde, yapılan tasarımları ve sistemlerin termodinamik verimliliğini incelemişlerdir. Yazarlar yaptıkları çalışmada, NNA teknolojisinin küçük ölçekli bireysel uygulamalarda çevreci olması açısından nispeten düşük maliyetli ve güvenilir bir damıtma sistemi olduğunu, ayrıca NNA tesislerinin kapasitelerinin büyütülmesinden

ziyade, enerji verimliliğinin daha yüksek seviyelere çıkartabilecek teknolojiler ile kullanılmasının daha avantajlı olacağı ifade etmişlerdir. He ve arkadaşları [5], nemli havayı ısıtmak için düşük sıcaklığa sahip atık ısı kullanan bir NNA sisteminin termodinamik ve termoeconomik analizini yapmışlardır. Analizlerde maksimum temiz su üretimi 289,32 kg/saat ve maksimum GOR değeri 3,06 olarak bulunmuştur. Çalışmada atık ısı ile ısıtma yapılan NNA sisteminin toplam ilk yatırım maliyeti 112550 \$ olarak hesaplanmıştır. El-Said ve arkadaşları [6], nemlendirme ve nem alma teknolojisinin kullanıldığı güneş enerjili bir damıtma sistemi tasarlamışlar ve farklı hava debilerinde sistemin performansını ve günlük su üretimini Mısır'ın Süveyş iklim koşullarında deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışma sonucunda yazarlar, maksimum su üretiminin günde 6,12 kg olduğunu ayrıca enerji ve ekserji verimlilikleri ile kazanç çıktı oranının sırasıyla %26,73 ve %1,57 ve 1,24 olduğunu belirlemişlerdir. Shalaby ve arkadaşları [7], aşırı tuzlu suyun tuzdan arıtılabilmesi için hibrit bir güneş enerjili nemlendirme-nem alma sistemine sahip bir damıtma sistemini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada yazarlar, sistemde güneş kolektörlerinde güneş reflektörünün kullanılmasının günlük elektrik enerjisi tüketiminde %16,5 oranında tasarruf sağlayabileceğini tespit edilmişlerdir. NNA damıtma sistemlerinde güneş enerjisi ile birlikte farklı teknolojilerin de kullanılabilirliği. Morad ve arkadaşları [8], güneş enerjisi destekli nemlendirme nem almalı bir damıtma sisteminin performansını, sistemde vakumlu pompa kullanılıp kullanılmama durumları için ele almışlardır. Yapılan çalışma sonunda, sistemin veriminin vakumlu pompanın kullanılması durumunda arttığı, ayrıca sistemde akış hızının artması ile üretilen su miktarının arttığı, üretilen suyun maliyetin ise azaldığı görülmüştür. Kargar ve arkadaşları [9], güneş enerjisi destekli nemlendirme nem almalı bir damıtma sisteminde tuzlu suyu ısıtmak için yüksek ısı transfer katsayısına sahip

PHP (pulsating heat pipe) kullanmışlardır. Çalışma sonunda güneş kolektörü ile birlikte PHP borunun kullanımının sistem verimini arttırdığı tespit edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında güneş enerjisi destekli nemlendirme-nem almalı bir damıtma sistemi ele alınarak bu tür sistemler için önemli bir parametre olan deniz suyu-hava debi oranının (MR) sistem performansı üzerine etkisi incelenmiştir. Termodinamiğin II. yasasına göre yapılan analizler (Ekserji analizi) ile ayrıca sistemin farklı konfigürasyonlarda çalışma durumu da değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Sistem Tanımı

Çalışmada ele alınan damıtma sisteminin genel görünüşü Şekil 1’de verilmiştir. Sistem; deniz suyu depolama tankı, güneş kolektörü, ısı değiştiricileri, su kulesi (nemlendirici), yoğunlaştırıcı (nem alıcı) ve temiz su depolama tankından oluşmaktadır. 1 noktasında deniz suyu depolama tankından çıkan deniz suyu, ısı değiştiricisi I’de güneş kolektöründen gelen sıcak su (3 noktası) ile ısıtılmakta ve su kulesine (2 noktası) nemlendirme işlemi için gönderilmektedir. Isı değiştiricisi I’de sıcaklığı arttırılan deniz suyu su kulesinde fan vasıtasıyla dış ortamdan alınan havanın (6 noktası) içine püskürtülerek havanın nemlendirilmesi sağlanmaktadır. Su kulesinden çıkan deniz suyu (5 noktası) ardından ısı geri kazanımı ve deniz suyu tuzluluk oranının düzenlenmesinde kullanılmak amacıyla deniz suyu depolama tankına gönderilmektedir. Su kulesinden gönderilen deniz suyunun deniz suyu depolama tankındaki kullanımı otomatik kontrol sistemleri ile gerçekleştirilmektedir. Su kulesinden çıkan nemli hava (7 noktası) ısı değiştiricisi II’ye (nem alıcı) gönderilmektedir. Hava içerisindeki nem burada toprak ısı değiştiricisi kullanılarak (10→11) yoğunlaştırılmakta (7→8) ve elde edilen temiz su temiz su depolama tankında (9 noktası) depolanmaktadır. Nem alıcı çıkışında sistemde kullanılmış olan hava (8 noktası), özelliklerine

(nem ve sıcaklık) bağlı olarak sistemde tekrar kullanılabilir. Sistemde kullanılan hava ile sisteme girecek olan havanın karışım oranlarını ise otomatik kontrol sistemleri vasıtasıyla ayarlanmaktadır [1,10].

Çalışmada sistemin üç farklı konfigürasyonda (A, B, C) çalışma durumu değerlendirilmiştir. A konfigürasyonu; hava ve deniz suyunun kullanım sonunda atmosfere verildiği açık sistem, B konfigürasyonu; hava kapalı (sistemde tekrar değerlendiriliyor) deniz suyu açık sistem. C konfigürasyonu ise hava açık sistem, deniz suyu kapalı sistemdir.

2.2. Analizler

Ele alınan sistemin ekserji analizlerini gerçekleştirebilmek için bir model oluşturulmuş ve Engineering Equation Solver (EES) kullanılarak hesaplamaların yapılabilirdiği bir program yazılmıştır. Yapılan enerji analizleri sonucunda belirlenen, sistemdeki tüm noktalara ait özellikler, [10] numaralı kaynaktan alınmıştır. Damıtma sisteminin ekserji analizleri kütle, enerji ve ekserji denge bağıntıları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aşağıda, öncelikle genel bağıntılar, daha sonra sistemin performansının değerlendirilmesine yönelik bağıntılar verilmiştir.

Sürekli-akışlı açık sistemler için, kütle, enerji ve ekserji denge bağıntıları şöyle sıralanabilir:

Birim zaman bazında kütle (kütleli debi) dengesi:

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_ç \quad (1)$$

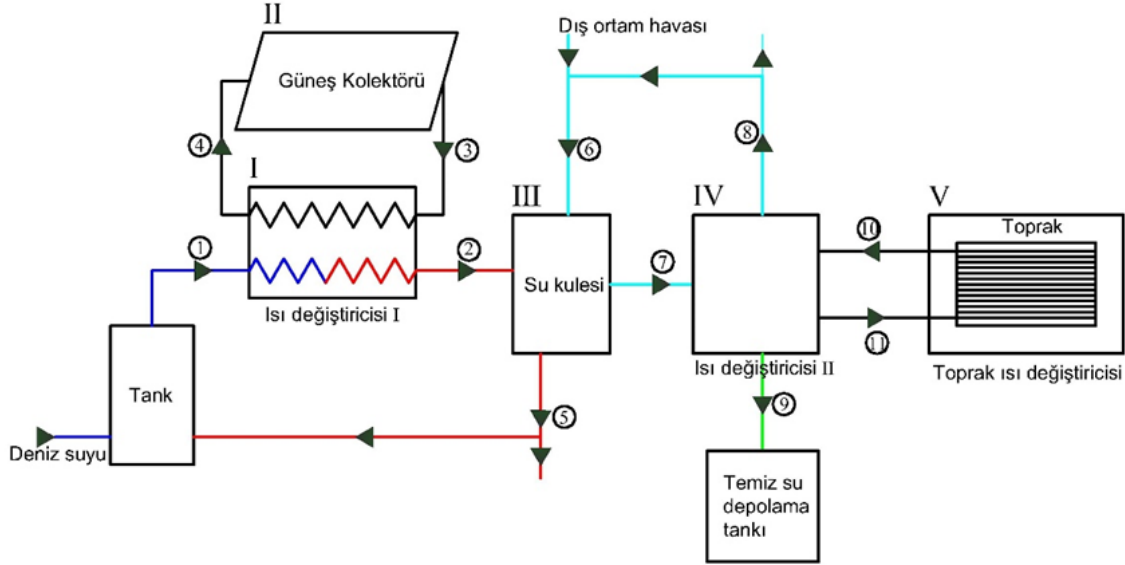
Eşitlik 1’de sürekli akışlı açık sistemlerde ve kontrol hacmi içerisindeki toplam kütleli zamanla değişmediğini kütleli korunumu ilkesi ile ifade edilmektedir. Eşitlikte (\dot{m}_g); sisteme giren kütleli debiyi (kg/s), ($\dot{m}_ç$); sistemden çıkan kütleli debiyi (kg/s) ifade etmektedir.

Birim zamanda enerji dengesi (enerji akımı dengesi):

$$\dot{E}_g - \dot{E}_ç = dE_{sistem}/dt \quad (2)$$

Eşitlik 2, birim zamanda sistemin enerji değişimini göstermektedir. \dot{E}_g sisteme birim zamanda giren

enerji miktarını (kW), $\dot{E}_ç$ sistemden birim zamanda çıkan enerji miktarını (kW), dE_{sistem}/dt birim zamandaki enerji değişimini ifade etmektedir.



Şekil 1. Ele alınan damıtma sisteminin genel görünüşü [1]

Birim zamanda ekserji dengesi (ekserji akımı dengesi):

$$\dot{E}X_g - \dot{E}X_ç - \dot{E}X_{yıkım} = dEX_{sistem}/dt \quad (3)$$

veya

$$\dot{E}X_{ısı} - \dot{E}X_{ış} + \dot{E}X_{kütle, g} - \dot{E}X_{kütle, ç} = \dot{E}X_{yıkım} \quad (4)$$

Eşitlik 3 ve 4, birim zamandaki ekserji dengesini ifade eden iki farklı eşitliktir. Eşitliklerde $\dot{E}X_g$; sisteme birim zamanda giren ekserjiyi (kW), $\dot{E}X_ç$ sistemden birim zamanda çıkan ekserjiyi (kW), $\dot{E}X_{yıkım}$; sistemde birim zamanda yok olan ekserjiyi (kW), dEX_{sistem}/dt ; ise sistemin birim zaman içerisindeki ekserji değişimini (kW) ifade etmektedir.

Ekserji akımını aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$\dot{E}X = \dot{m}\psi \quad (5)$$

Eşitlikte $\dot{E}X$; ekserji akımını (kW), \dot{m} ; kütleli debiyi (kg/s), ψ ; akış ekserjisi veya özgül ekserjidir (kJ/kg).

Özgül ekserji su ve soğutucu akışkan için:

$$\psi_{su, sa} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (6)$$

olarak ifade edilmektedir. Özgül ekserji için verilen eşitlikte h; entalpiyi (kJ/kg), T; sıcaklığı (°C), s; entropiyi (kJ/kg K), alt indis "o" ise ölü hali ifade etmektedir.

Özgül ekserji hava için ise;

$$\psi_h = (C_{p,h} + \omega C_{p, sb}) T_0 \left[\left(\frac{T}{T_0} \right) - 1 - \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) \right] + (1 + 1,6078\omega) R_h T_0 \ln \left(\frac{P}{P_0} \right) + R_h T_0 \left\{ \frac{(1 + 1,6078\omega) \ln \left[\frac{(1 + 1,6078\omega)}{(1 + 1,6078\omega)} \right]}{(1 + 1,6078\omega)} + 1,6078\omega \ln \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) \right\} \quad (7)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Eşitlikte $C_{p,h}$ ve $C_{p, sh}$; sırasıyla hava ve su buharının sabit basınçtaki

özgül ısısını (kJ/kg K), ω ; özgül nem oranını (kg/kg_{hava}), R_h ; gaz sabitini (kJ/kg K) ifade etmektedir.

Özgül nem oranı, hava içerisinde bulunan su buharının havanın kütle debisine oranı olarak aşağıdaki şekilde verilebilir.

$$\omega = \dot{m}_{sb} / \dot{m}_h \quad (8)$$

Eşitlikte ω ;özgül nem oranını, \dot{m}_{sb} ; su buharının kütleli debisi (kg/s), \dot{m}_h ; havanın debisini (kg/s) ifade etmektedir.

Ekserji verimi (ε_{II}), kazancın (ürünün) ekserjisinin ($\dot{E}X_{ürün}$), yakıtın ekserjisine ($\dot{E}X_{yakıt}$) oranı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\varepsilon_{II} = \frac{\dot{E}X_{ürün}}{\dot{E}X_{yakıt}} \quad (9)$$

Van Gool's ekserjetik iyileştirme potansiyel akımı (İP):

$$İP = (1 - \varepsilon_{II})(\dot{E}X_g - \dot{E}X_c) \quad (10)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Rölatif tersinmezlik (RT) sistemdeki bir elemanın ekserji yıkımının sistemin toplam ekserji yıkımına oranı olarak aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$RT = \frac{\dot{E}X_{yıkım,i}}{\dot{E}X_{yıkım,toplam}} \quad (11)$$

Damıtma sistemlerinde performans değerlendirilmesi için ele alınan ve bu çalışmada da etkisi incelenen debiler oranı (MR), sistemdeki deniz suyu kütleli debisinin (\dot{m}_{sw}), havanın kütleli debisine (\dot{m}_a) oranını olarak aşağıda verilmiştir [1].

$$MR = \frac{\dot{m}_{sw}}{\dot{m}_a} \quad (12)$$

Kütle, enerji ve ekserji denge denklemleri Şekil 1'de görülen sistemin her ekipmanına uygulanmış ve aşağıda verilmiştir. Eşitliklerde alt

indis olarak verilen numaralar, Şekil 1'deki numaraları ifade etmektedir.

Isı Değiştiricisi I (I)

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 ; \dot{m}_3 = \dot{m}_4 \quad (13.a)$$

$$\dot{E}_1 + \dot{E}_3 = \dot{E}_2 + \dot{E}_4 \quad (13.b)$$

$$\dot{E}X_{yıkım,I} = \dot{E}X_1 + \dot{E}X_3 - \dot{E}X_2 - \dot{E}X_4 \quad (13.c)$$

$$\varepsilon_{II,I} = \dot{E}X_2 - \dot{E}X_1 / \dot{E}X_3 - \dot{E}X_4 \quad (13.d)$$

$$İP_I = (1 - \varepsilon_{II,I}) \cdot \dot{E}X_{yıkım,I} \quad (13.e)$$

Güneş Kolektörü (II)

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 \quad (14.a)$$

$$\dot{E}_3 = \dot{E}_4 + \dot{Q}_{scol} \quad (14.b)$$

$$\dot{E}X_{yıkım,II} = \dot{E}X_{scol} + \dot{E}X_3 - \dot{E}X_4 \quad (14.c)$$

$$\dot{E}X_{scol} = A.I. \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T_{SR}} \right)^4 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_0}{T_{SR}} \right) \right] \quad (14.d)$$

$$\varepsilon_{II,II} = (\dot{E}X_3 - \dot{E}X_4) / \dot{E}X_{scol} \quad (14.e)$$

$$İP_{II} = (1 - \varepsilon_{II,II}) \cdot \dot{E}X_{yıkım,II} \quad (14.f)$$

Eşitlik 14.d'de A; kolektör alanını (m²), I; ışınım şiddetini (W/m²), T₀; ölü hal sıcaklığını (K), T_{SR}; güneşin yüzey sıcaklığını (K) ifade etmektedir.

Su Kulesi (III)

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_7 ; \dot{m}_2 = \dot{m}_5 \quad (15.a)$$

$$\dot{E}_2 + \dot{E}_6 = \dot{E}_5 + \dot{E}_7 \quad (15.b)$$

$$\dot{E}X_{yıkım,III} = \dot{E}X_2 + \dot{E}X_6 - \dot{E}X_5 + \dot{E}X_7 \quad (15.c)$$

$$\varepsilon_{II,III} = (\dot{E}X_7 - \dot{E}X_6) / (\dot{E}X_2 - \dot{E}X_5) \quad (15.d)$$

$$İP_{III} = (1 - \varepsilon_{II,III}) \cdot \dot{E}X_{yıkım,III} \quad (15.e)$$

Isı Değiştiricisi II (IV)

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_8 + \dot{m}_9; \dot{m}_{10} = \dot{m}_{11} \quad (16.a)$$

$$\dot{E}_7 + \dot{E}_{10} = \dot{E}_8 + \dot{E}_9 + \dot{E}_{11} \quad (16.b)$$

$$\dot{E}X_{yukum,IV} = \dot{E}X_7 + \dot{E}X_{10} - \dot{E}X_8 - \dot{E}X_9 - \dot{E}X_{11} \quad (16.c)$$

$$\mathcal{E}_{II,IV} = (\dot{E}X_8 + \dot{E}X_9 + \dot{E}X_{11}) / (\dot{E}X_7 + \dot{E}X_{10}) \quad (16.d)$$

$$I\dot{P}_{IV} = (1 - \mathcal{E}_{II,IV}) \cdot \dot{E}X_{yukum,IV} \quad (16.e)$$

Toprak Isı Değiştiricisi (V)

$$\dot{m}_{10} = \dot{m}_{11} \quad (17.a)$$

$$\dot{E}_{11} = \dot{Q}_t + \dot{E}_{10} \quad (17.b)$$

$$\dot{E}X_{yukum,V} = \dot{E}X_{11} - \dot{E}X_{10} + (\dot{Q}_t \cdot (1 - T_0/T_k)) \quad (17.c)$$

$$\mathcal{E}_{II,V} = \dot{E}X_{10} / \dot{E}X_{11} + (\dot{Q}_t \cdot (1 - T_0/T_k)) \quad (17.d)$$

$$I\dot{P}_V = (1 - \mathcal{E}_{II,V}) \cdot \dot{E}X_{yukum,V} \quad (17.e)$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada, sistemde kullanılan deniz suyu kütle debisinin, hava kütle debisine oranı olan MR'nin değişiminin her bir konfigürasyon için sistem performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Hesaplamalar MR değerinin 1-3 olduğu aralık için yapılmış ayrıca sistem girişindeki havanın kuru (T_a) ve yaş termometre sıcaklıkları (T_w) sırasıyla 30 °C ve 20 °C, toprak (T_s) ve deniz suyu sıcaklığı (T_{sw}) 20 °C, kolektör alanı 30 m² ve güneş ışınımı (\dot{q}_s) 500 W/m² olarak alınmıştır [1]. Çizelge 1'de sistemin A konfigürasyonunda çalışması durumu için sistemdeki noktaların termodinamik özellikleri verilmiştir. 1 noktasında 20°C deki deniz suyu ısı değiştiricisi I'de güneş kolektörlerinden (3 noktası) gelen 49,05°C'deki sıcak su yardımı ile 43,24 °C'ye kadar ısıtılıp ardından su kulesine (2 noktası) nemlendirme işlemi için transfer edilmektedir. Su kulesinde, 6 noktasında dış ortamdan fan vasıtasıyla alınan hava fanadaki sürtünmelerden dolayı bir miktar ısınmaktadır. Isıtılmış olan deniz suyu havanın içine püskürtülerek havanın 37,56 °C ve 35,08 g/kg mutlak nem değerlerine ulaştırılması sağlanır.

7 noktasında su kulesinden çıkan nemli hava yoğuşma işlemi için ısı değiştiricisi II'ye transfer edilir. Isı değiştiricisi II'de hava bünyesindeki nemli yoğuşturmak için toprak ısı değiştiricisinde soğutulan su (10 noktası) kullanılmaktadır. Nemli hava yoğuşma işlemi sonucunda, ısı değiştiricisi II'den 22,83 °C ve 20,00 g/kg nem değerlerinde çıkmaktadır (8 noktası). Yoğuşma işlemi sonucunda elde edilen temiz su depolama tankında depolanmaktadır (9 noktası). Çizelge 1'den ayrıca A konfigürasyonu için sistemde en yüksek ve en düşük ekserji akımı değerlerinin sırasıyla kolektör çıkışında 3,473 kW ve elde edilen temiz su için 0,003 kW olduğu görülmektedir. B ve C konfigürasyonları için de benzer sonuçlara ulaşılmıştır (Çizelge 2 ve 3).

Çizelge 4-6'da MR değerinin 1 olması durumunda sistemin farklı konfigürasyonlarda çalışması durumunda elde edilen sonuçlar verilmiştir. Çizelgeler incelendiğinde, sistemdeki elemanlar içerisinde en fazla tersinmezliğin ($\dot{E}X_{yukum}$) dolayısıyla en yüksek iyileştirme potansiyeli ve en düşük ekserji veriminin her üç konfigürasyon için de güneş kolektörlerinde olduğu görülmektedir. Bunun sebebi; sistemin en yüksek enerji girişi ve ekserji girişi değerlerinin, gelen güneş ışınımından kaynaklanmasıdır. Bu enerjinin büyük bir kısmının kayba ve tersinmezliklerden dolayı yıkıma uğradığı görülmektedir. Bu durum, düzlemsel güneş kolektörlerinin en büyük dezavantajı olarak değerlendirilmektedir. Sistemin enerji verimi ortalama bir değer olarak değerlendirilse de ekserji veriminin, düşük olduğu görülmektedir. Ekserji analizinde çevre koşulları göz önüne alındığından, ekserji ile ilişkili sürdürülebilirlik ve termoeolojik analiz sonuçları da düşük çıkmaktadır. Kayıpların azaltılması verim artışına sebebiyet vereceğinden, sistemin yalıtımının iyileştirilmesi gerekmektedir ve tersinmezliklerin azaltılması için de düzlemsel kolektör tasarımının geliştirilmesi önerilebilir [11].

Sistemde güneş kolektöründen sonra en fazla tersinmezlik, A ve B konfigürasyonları için ısı değiştiricisi I'de, C konfigürasyonu için ise su kulesindedir. Çizelgelerden ayrıca her üç konfigürasyon için de ekserji verimi en yüksek sistem elemanının ısı değiştiricisi I olduğu görülmektedir. Tüm sisteme ait sonuçlar

değerlendirildiğinde, konfigürasyonlara göre olduğu ayrıca ekserji verimi açısından en iyi değişmekle birlikte sistemde oluşan toplam konfigürasyonun (%21,01) suyun kapalı havanın tersinmezlik ve sistemin iyileştirme potansiyelinin açık çevrim olduğu C konfigürasyonu olduğu sırasıyla 15-16 kW ve 12,9-13,3 kW aralığında görülmektedir.

Çizelge 1. A konfigürasyonu için sistemin termodinamik özellikleri (MR=1)

No	Açıklama	Akışkan	Basınç (kPa)	Sıcaklık (°C)	Nem (kg/kg)	Entalpi (kJ/kg)	Entropi (kJ/kh.K)	Kütleli debi (kg/s)	EX (kJ)
0	-	Su	101,325	15,00	-	63,01	0,224	0,10	-
0'	-	Hava	101,325	15,00	0,0158	-	-	0,10	-
1	Isı değ. I giriş	Deniz suyu	101,325	20,00	-	83,93	0,296	0,10	0,018
2	Isı değ. I çıkış	Deniz suyu	101,325	43,24	-	181,11	0,615	0,10	0,544
3	G.Kolek. çıkış	Isıtma suyu	101,325	49,05	-	205,40	0,691	0,45	3,473
4	G.Kolek. giriş	Isıtma suyu	101,325	44,05	-	184,50	0,626	0,45	2,555
5	Su kulesi çıkış	Atık deniz su	101,325	28,49	-	119,40	0,416	0,10	0,128
6	Su kulesi giriş	Hava	101,325	30,76	0,01054	-	-	0,10	0,056
7	Isı değ. II giriş	Hava	101,325	37,56	0,03508	-	-	0,10	0,202
8	Isı değ. II çıkış	Hava	101,325	22,83	0,02000	-	-	0,10	0,018
9	Isı değ. II çıkış	Temiz su	101,325	30,19	-	126,60	0,439	0,0017	0,003
10	T.I.D çıkış	Soğutma suyu	101,325	20,00	-	83,93	0,296	0,10	0,018
11	T.I.D giriş	Soğutma suyu	101,325	23,00	-	96,48	0,339	0,10	0,046

Çizelge 2. B konfigürasyonu için sistemin termodinamik özellikleri (MR=1)

No	Açıklama	Akışkan	Basınç (kPa)	Sıcaklık (°C)	Nem (kg/kg)	Entalpi (kJ/kg)	Entropi (kJ/kh.K)	Kütleli debi (kg/s)	EX (kJ)
0	-	Su	101,325	15,00	-	63,01	0,224	0,10	-
0'	-	Hava	101,325	15,00	0,0158	-	-	0,10	-
1	Isı değ. I giriş	Deniz suyu	101,325	20,00	-	83,93	0,2962	0,10	0,018
2	Isı değ. I çıkış	Deniz suyu	101,325	42,80	-	180,1	0,6121	0,10	0,535
3	G.Kolek. çıkış	Isıtma suyu	101,325	48,50	-	203,1	0,6842	0,44	3,298
4	G.Kolek. giriş	Isıtma suyu	101,325	43,50	-	182,2	0,6187	0,44	2,412
5	Su kulesi çıkış	Atık deniz su	101,325	30,07	-	126,1	0,4375	0,10	0,159
6	Su kulesi giriş	Hava	101,325	23,73	0,01777	-	-	0,10	0,015
7	Isı değ. II giriş	Hava	101,325	35,01	0,03716	-	-	0,10	0,205
8	Isı değ. II çıkış	Hava	101,325	22,92	0,01782	-	-	0,10	0,013
9	Isı değ. II çıkış	Temiz su	101,325	28,97	-	121,5	0,4223	0,0019	0,003
10	T.I.D çıkış	Soğutma suyu	101,325	20,00	-	83,93	0,2962	0,10	0,018
11	T.I.D giriş	Soğutma suyu	101,325	23,00	-	96,48	0,3388	0,10	0,046

Çizelge 3. C konfigürasyonu için sistemin termodinamik özellikleri (MR=1)

No	Açıklama	Akışkan	Basınç (kPa)	Sıcaklık (°C)	Nem (kg/kg)	Entalpi (kJ/kg)	Entropi (kJ/kh.K)	Kütleli debi (kg/s)	EX (kJ)
0	-	Su	101,325	15,00	-	63,01	0,2242	0,10	-
0'	-	Hava	101,325	15,00	-	-	-	0,10	-
1	Isı değ. I giriş	Deniz suyu	101,325	29,70	-	-	0,4324	0,10	0,152
2	Isı değ. I çıkış	Deniz suyu	101,325	50,20	-	210,2	0,7063	0,10	0,832
3	G.Kolek. çıkış	Isıtma suyu	101,325	55,34	-	231,7	0,7722	0,39	4,260
4	G.Kolek. giriş	Isıtma suyu	101,325	50,34	-	210,8	0,7081	0,39	3,304
5	Su kulesi çıkış	Atık deniz su	101,325	29,68	-	124,4	0,4321	0,10	0,151
6	Su kulesi giriş	Hava	101,325	30,76	0,01054	-	-	0,10	0,056
7	Isı değ. II giriş	Hava	101,325	39,80	0,04403	-	-	0,10	0,326
8	Isı değ. II çıkış	Hava	101,325	23,73	0,01884	-	-	0,10	0,017
9	Isı değ. II çıkış	Temiz su	101,325	31,77	-	133,2	0,4608	0,0025	0,005
10	T.I.D çıkış	Soğutma suyu	101,325	20,00	-	83,93	0,2962	0,10	0,018
11	T.I.D giriş	Soğutma suyu	101,325	23,00	-	96,48	0,3388	0,10	0,046

Çizelge 4. A konfigürasyonu için sistem ve sistemdeki tüm ekipmanlar için elde edilen sonuçlar (MR=1)

No	Açıklama	EX _{yıkım} (kW)	EX _{ürün} (kW)	EX _{yakıt} (kW)	ε _{II} (%)	İP (kW)	RT (%)
I	Isı değiştiricisi I	0,392	0,526	0,918	57,26	0,168	2,48
II	Güneş kolektörü	14,960	2,555	17,513	14,59	12,780	94,54
III	Su kulesi	0,269	0,146	0,416	35,19	0,175	1,70
IV	Isı değiştiricisi II	0,154	0,003	0,227	30,03	0,108	0,97
V	Toprak ısı değiştiricisi	0,049	0,018	0,067	26,77	0,036	0,31
I-V	Tüm sistem	15,824	3,248	19,140	16,97	13,266	100,00

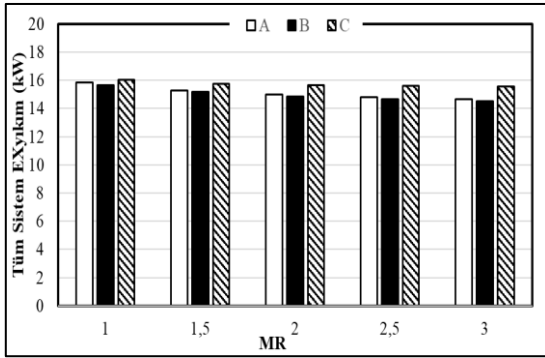
Çizelge 5. B konfigürasyonu için sistem ve sistemdeki tüm ekipmanlar için elde edilen sonuçlar (MR=1)

No	Açıklama	EX _{yıkım} (kW)	EX _{ürün} (kW)	EX _{yakıt} (kW)	ε _{II} (%)	İP (kW)	RT (%)
I	Isı değiştiricisi I	0,369	0,517	0,886	58,37	0,15	2,36
II	Güneş kolektörü	14,920	2,412	17,338	13,91	12,85	95,33
III	Su kulesi	0,185	0,190	0,375	50,66	0,09	1,18
IV	Isı değiştiricisi II	0,162	0,003	0,220	27,33	0,12	1,04
V	Toprak ısı değiştiricisi	0,015	0,018	0,067	26,77	0,04	0,10
I-V	Tüm sistem	15,651	3,139	18,886	16,62	13,25	100,00

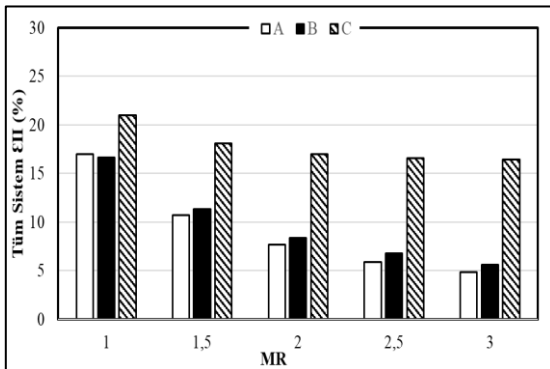
Çizelge 6. C konfigürasyonu için sistem ve sistemdeki tüm ekipmanlar için elde edilen sonuçlar (MR=1)

No	Açıklama	EX _{yıkım} (kW)	EX _{ürün} (kW)	EX _{yakıt} (kW)	ε _{II} (%)	İP (kW)	RT (%)
I	Isı değiştiricisi I	0,276	0,680	0,956	71,16	0,08	1,72
II	Güneş kolektörü	15,000	3,304	18,300	18,05	12,29	93,68
III	Su kulesi	0,410	0,271	0,681	39,77	0,25	2,56
IV	Isı değiştiricisi II	0,277	0,003	0,349	19,64	0,22	1,73
V	Toprak ısı değiştiricisi	0,049	0,018	0,067	26,77	0,04	0,31
I-V	Tüm sistem	16,011	4,276	20,353	21,01	12,87	100,00

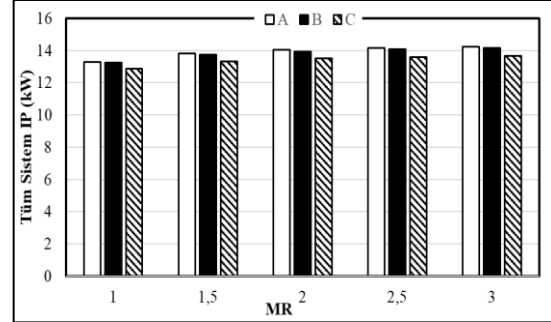
Şekiller 2-4'te farklı konfigürasyonlar için sırasıyla ekserji yıkımı, ekserji verimi ve iyileştirme potansiyelinin MR ile değişimi verilmiştir. Şekillerden MR'nin değişiminin sistemin ekserji yıkımı ve iyileştirme potansiyeli üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir. MR'nin artması ile sistemin ekserji verimi tüm konfigürasyonlar için azalmaktadır. Sistemde en yüksek ekserji verimi, MR'nin 1 olduğu durumda C konfigürasyonu için elde edilmiştir. MR'nin artması sistemde dolayan havanın debisinin deniz suyuna göre az olması, bu durum da havanın taşıyabileceği nem miktarının sınırlanması anlamına gelmektedir. Havanın daha az nemlenmesi daha az temiz su eldesi dolayısıyla düşük performans (ekserji verimi) elde edilmesini sağlamaktadır.



Şekil 2. A-B-C konfigürasyonları için sistemin ekserji yıkımının debiler oranı ile değişimi



Şekil 3. A-B-C konfigürasyonları için sistemin ekserji veriminin debiler oranı ile değişimi



Şekil 4. A-B-C konfigürasyonları için sistemin iyileştirme potansiyelinin debiler oranı ile değişimi

4. SONUÇ

Bu çalışmada, toprak ısı değiştiricisinin kullanıldığı güneş enerji destekli bir damıtma sisteminde deniz suyu ve hava debi oranının (MR) sistem performansına etkisi incelenmiştir. Sistemin farklı konfigürasyonlarda çalışma durumunun da ele alındığı ekserji analizlerinde, performans göstergesi olarak ekserji yıkımı (tersinmezlik), ekserji verimi ve iyileştirme potansiyeli ele alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda, sistemde en fazla tersinmezliğin ve iyileştirme potansiyelinin güneş kolektörlerinde olduğu görülmüştür. Tümü sisteme ait sonuçlar değerlendirildiğinde, konfigürasyonlara göre değişmekle birlikte sistemde oluşan toplam tersinmezlik ve sistemin iyileştirme potansiyeli sırasıyla 15-16 kW ve 12,9-13,3 kW aralığındadır. Sistemin ekserji verimi açısından en iyi konfigürasyonun suyun kapalı havanın açık çevrim olduğu C konfigürasyonu olduğu (ekserji verimi, %21,01) ayrıca MR'nin artması ile sistemin ekserji veriminin tüm konfigürasyonlar için azaldığı görülmüştür.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (OKÜBAP) tarafından OKÜBAP-2020-PT3-017 projesi kapsamında desteklenmiştir. OKÜBAP'a desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Güneş, A., 2022. Güneş Enerji Destekli Nemlendirme-Nem Almalı Bir Damıtma Sisteminin Ekserji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Osmaniye, 97.
2. Narayan, G.P., Sharqawy, M.H., Summers, E.K., Lienhard, J.H., Zubair, S.M., Antar M.A., 2010. The Potential of Solar-Driven Humidification-Dehumidification Desalination for Small Scale Decentralized Water Production, *Renewable Sustainable Energy Reviews.*, 14(4), 1187-1201.
3. Kara, O., Hürdoğan, E., 2019. Thermodynamic Analysis of a Novel Desalination System Assisted with Ground Source Heat Exchanger, *Energy Conversion and Management*, 200 (112104), 1-11.
4. Giwa, A., Akther, N., Al Housani, A., Haris, S., Hasan, S.W., 2016. Recent Advances in Humidification Dehumidification (HDH) Desalination Processes: Improved Designs and Productivity, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 929-944.
5. He, W., Yang, H., Wen, T., Han, D., 2019. Thermodynamic and Economic Investigation of a Humidification Dehumidification Desalination System Driven by Low Grade Waste Heat, *Energy Conversion and Management*, 183, 848-858.
6. El-Said, E.M., Dahab, M.A., Omara, M.A., Abdelaziz, G. B., 2022. Humidification-Dehumidification Solar Desalination System Using Porous Activated Carbon Tubes as a Humidifier. *Renewable Energy*, 187, 657-670.
7. Shalaby, S.M., Kabeel, A.E., Moharram, B.M., Fleafl, A.H., 2021. Experimental Study of Hybrid Solar Humidification Dehumidification System for Extremely Saline Water Desalination. *Energy Conversion and Management*, 235, 114021.
8. Morad, M.M., Hend El-Maghawry, A.M., Kamal Wasfy, I., 2017. A Developed Solar-Powered Desalination System for Enhancing Fresh Water Productivity. *Solar Energy*, 146, 20-29.
9. Kargar Sharif Abad, H., Ghiasi, M., Jahangiri Mamouri, S., Shafii, M.B., 2013. A Novel Integrated Solar Desalination System with a Pulsating Heat Pipe, *Desalination*, 311, 206-210.
10. Kara, O., 2019. Güneş Enerjisi Destekli Toprak Kaynaklı Isı Değiştiricili bir Damıtma Sisteminin Analizi. Doktora Tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Osmaniye, 148.
11. Çalışkan, H., 2020. Güneş Kolektörlerinin Enerji, Ekserji, Termoeolojik, Sürdürülebilirlik, Termoeekonomik ve Eksergoekonomik Analizleri. *Mühendis ve Makina*, 61(700), 228-240.

Ni-B Alaşım Kaplamaların Kristal Yapı ve Sertlik Özelliklerine Akım Yoğunluğunun Etkisi

Ersin ÜNAL¹ ORCID 0000-0002-3183-9592

Abdulkadir YAŞAR^{*2} ORCID 0000-0002-1548-2386

İsmail Hakkı KARAHAN³ ORCID 0000-0002-8297-3521

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

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

³Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Hatay

Geliş tarihi: 22.03.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/How to cite: ÜNAL, E., YAŞAR, A., KARAHAN, İ.H., (2022). Ni-B Alaşım Kaplamaların Kristal Yapı ve Sertlik Özelliklerine Akım Yoğunluğunun Etkisi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 439-447.

Öz

Ni-B alaşım kaplamalar yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci ve iyi korozyon direnci gibi üstün özellikleri sayesinde birçok endüstri dalında başarılı bir şekilde uygulanabilmektedir. Bu çalışmada, Ni-B alaşım kaplamalar geleneksel elektrokimyasal kaplama metoduyla paslanmaz çelik altlık üzerine farklı akım yoğunluğu değerlerinde depolanmıştır. Elektrokimyasal depolama işleminde Watts tipi geleneksel nikel banyosu kullanılmıştır. Nikel ana yapısına alaşım malzemesi olarak ilave edilen bor elementi kaynağı olması amacıyla elektrolite trimetilamin boran kompleksi (TMAB) ilave edilmiştir. Üretilen numunelerin kristal yapı, mikrosertlik ve morfoloji özellikleri incelenmiştir. Akım yoğunluğu azalması Ni-B kristal yapısının tane büyüklüğünde azalmaya neden olmuş ve yapının amorf yapıya doğru kaymasına neden olmuştur. Ayrıca, akım yoğunluğu azalması neticesinde Ni-B kaplamanın mikrosertlik değerinde de artış olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında Ni-B alaşım kaplamaların farklı akım yoğunluğu değerlerinde depolanması neticesinde yüzey morfolojisinin de etkilendiği ve numunelerin farklı görünüme sahip olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrodopolama, Akım yoğunluğu, Mikrosertlik, Kristal yapı, Ni-B alaşım kaplama

The Effect of Current Density on the Crystal Structure and Hardness Properties of Electrochemically Deposited Ni-B Alloy Coatings

Abstract

Ni-B alloy coatings can be successfully applied in many industries thanks to their superior properties such as high hardness, high wear resistance and good corrosion resistance. In this study, Ni-B alloy coatings were deposited on a stainless steel substrate at different current density values by conventional electrochemical coating method. A traditional Watts type nickel bath was used in the electrochemical deposition process. Trimethylamine borane complex (TMAB) was added to the electrolyte in order to be

*Sorumlu (Corresponding author) yazar: Abdulkadir YAŞAR, ayasar@cu.edu.tr

a source of boron element added to the nickel main structure as an alloying material. The crystal structure, microhardness and morphology properties of the produced samples were investigated. The decrease in current density caused a decrease in the grain size of the Ni-B crystal structure and caused the structure to shift towards amorphous. In addition, it was determined that the microhardness value of the Ni-B coating increased as a result of the decrease in current density. In addition, as a result of the Ni-B alloy coatings being deposited at different current density values, it was understood that the surface morphology was also affected and the samples had different appearances.

Keywords: Electrodeposition, Current density, Microhardness, Crystal structure, Ni-B alloy coating

1. GİRİŞ

Çeşitli malzemelerden imal edilen parçaların kaplanması önemli bir endüstriyel prosestir ve fonksiyonel ince filmlerle kaplanmış çok sayıda endüstriyel ürün işlenebilmektedir. Ni-B alaşımlı film, fonksiyonel kaplamalardan biridir ve üstün özellikleri nedeniyle havacılık, otomotiv, kimya ve elektrik gibi birçok endüstrilerde uygulamaları bulunmaktadır [1].

Ni-B alaşımları mükemmel lehimleme, aşınma direnci, korozyon direnci ve yüksek sıcaklık direnci gibi özellikleri sebebiyle büyük ilgi görmektedir. Bu tür süper performanslı alaşım kaplamaları elde etmek için son birkaç on yılda akımsız kaplama tekniği kullanıla gelmiştir. Akımsız kaplama esas olarak, çeşitli malzemelerin yüzeylerinde biriktirmek amacıyla metal iyonlarını, güçlü bir indirgeyici ajan kullanılan ve metal iyonları içeren bir çözeltide metal olarak indirgemek ve yoğun bir kaplama oluşturmak amacıyla, yükseltgeme ve indirgeme ilkesine dayanır. Elektrokaplama ise, elektroliz prensibine dayanır ve elektrik alan kuvvetinin etkisi altında, metal iyonları katottan elektronları alır ve neticede altlık (katot) yüzey üzerine metal olarak depolanır. Bununla birlikte, akımsız kaplama ile hazırlanan kaplama malzemesinde, kaplamanın üst kısımlarındaki kristal hücreler daha büyüktür ve yoğun değildir. Elektro kaplama, akımsız kaplamaya göre daha yüksek üretim verimliliğine sahiptir ve hazırlanan kaplama malzemesinin sertliği ve aşınma direnci, akımsız olarak depolanan kaplama malzemesininkinden daha iyidir. Metal alaşımlı kaplamanın verimli ve ekonomik olması ve metal yüzey modifikasyonunun gerçekleştirilebilmesi için

elektrodepozisyon yönteminin kullanılması özellikle önem arz etmektedir [2].

Bekish ve arkadaşları [3] bor kaynağı olarak sodyum dekahidro-closo-dekaborat içeren bir nikel elektrokaplama banyosunda farklı bor içeriklerine sahip Ni-B alaşım kaplamalar üretmişler ve elde edilen bor içeriklerinin kaplamanın korozyon ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yazarlara göre %4 B içeriğine sahip Ni-B kaplama en iyi korozyon direncini göstermiştir. Bunun yanında yazarlar bor içeriğinin artmasıyla mikrosertlik ve aşınma dayanımının artış gösterdiğini raporlamışlardır. Lopez ve arkadaşları [4] dimetilamin boran (DMAB) içeren sülfamat banyosunda elektrokaplama yoluyla Ni-B alaşım kaplamaları çelik altlık üzerine biriktirmişlerdir. Yazarlar banyodaki bor kaynağı konsantrasyonunun Ni-B kaplamaların özellikleri üzerine etkilerini araştırdıklarını raporlamışlardır. Yazarlar artan sertliğin bor içeriğinden çok azalan kristal tane boyutuna bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Yazarlar ayrıca üretilen kaplamalara ısı işlem uygulanması ile birlikte sertlikte artış meydana geldiğini, ayrıca korozyon dayanımında ise kaplamadaki çatlaklardan dolayı düşük performans sergilendiğini ifade etmişlerdir. Matsui ve arkadaşları [5], aralıklı trimetilamin boran kompleksi (TMAB) ilavesi ile Ni-B alaşımı kaplamaları elektrokimyasal olarak depolamışlar ve bu yöntemin daha homojen bor içerikli kaplamalar üretmekte faydalı olduğunu raporlamışlardır. Yazarlar ayrıca bu yöntemle ürettikleri Ni-B alaşım kaplamalarda gerginlik ve çatlak sorunlarının düzeldiğini ve geleneksel olarak üretilen Ni-B alaşımlara göre daha sünek malzemeler elde ettiklerini ifade etmişlerdir. Fang ve arkadaşları [6], farklı DMAB konsantrasyonlarında Ni-B alaşım kaplamaları

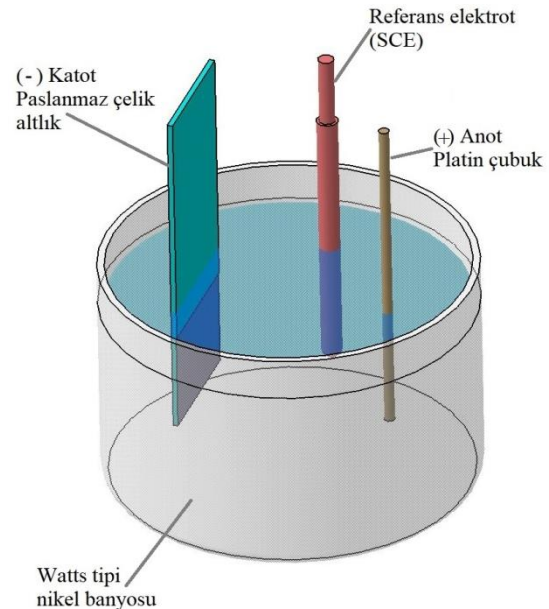
yine elektrokimyasal depolama tekniği ile üretmişler ve elde ettikleri numunelerin kristal yapı ve mekanik özelliklerini irdelemişlerdir. Kristal yapı incelemeleri sonucunda Ni-B alaşım kaplamaların kristal ve amorf fazlardan oluştuğunu, amorf yapı oranının ise artan bor içeriği ile artış gösterdiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca Ni-B alaşımların kalıntı basma gerilimlere sahip olduğunu ve bu durumun kristallik ve tane boyutu ile ilgili olduğunu raporlamışlardır.

Elektrikli veya elektriksiz kaplama metodunda nikeli bor ile alaşımla yapabilmek için bor kaynağı olarak kullanılabilir birçok seçenek mevcut olmasına karşın, literatürde genelde TMAB tercih edildiği görülmektedir. Elektrokimyasal depolamada bor kaynağı olarak kullanılabilen DMAB'ın, TMAB'a göre daha yüksek sıcaklıklarda (> 75 °C) çözündüğü ve TMAB'lı kaplama banyosunun diğerine göre daha stabil olduğu Sheu ve arkadaşları [7] tarafından Ni-B ile ilgili çalışmalarında ortaya konmuştur. Bu bilgiler ışığında TMAB'ın elektrokimyasal banyolar için uygun bir bor kaynağı olduğu öne sürülebilir. Elektrodepolama parametreleri elde edilecek filmin yapısal ve mekanik özellikleri üzerine belirleyicidir. Elektrolit pH değeri, ortam sıcaklığı, karıştırma hızı, uygulanan potansiyel, elektrolite ilave edilen kimyasallar ve akım yoğunluğu elde edilecek ürünün nasıl olacağına karar verir. Akım yoğunluğu, parçacık/metal ara yüzünün büyüme hızını ve dolayısıyla aralarındaki fiziksel bağın gücünü etkileyen, elektro-çökeltmiş malzemeler için önemli bir parametredir. Akım yoğunluğu ne kadar büyük olursa, belirli bir parçacığın ortak bir yere yerleştirilme olasılığı o kadar yüksek olur ve parçacıklar katot yüzeyinde o kadar hızlı tutulur. Bu çalışmada Ni-B alaşımı elektrokaplama metodu ile paslanmaz çelik altlık üzerine farklı akım yoğunlukları ile biriktirilmiş ve bor kaynağı olarak TMAB kullanılmıştır. Elde edilen Ni-B alaşım kaplamaların kristal yapı, mikrosertlik ve morfolojik özellikleri üzerine akım yoğunluğunun etkileri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Ni-B alaşım kaplamalar geleneksel Watts tipi nikel banyosunda elektrokimyasal olarak depolanmıştır.

Elektrolitte nikel kaynağı olarak 240 g/l $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Nikel (II) sülfat heksahidrat) ve 45 g/l $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Nikel (II) klorür heksahidrat) kullanılmıştır. Kompleks yapıcı ajan olarak 30 g/l H_3BO_3 (Borik asit) kullanılmıştır. Nikel ana yapısının bor ile alaşımlanması amacıyla banyoya 3 g/l TMAB ilave edilmiştir. Ni-B alaşım kaplamalar 50 mA/cm^2 ve 15 mA/cm^2 olmak üzere iki farklı akım yoğunluğunda depolanmıştır. Banyo sıcaklığı 43 ± 1 °C civarlarında sabit tutulmuştur. Elektrolitin pH değeri 4 olarak ayarlanmıştır. Depolama süresi ise 60 dk ile sınırlandırılmıştır. 3 elektrotlu sistemin kullanıldığı depolama süreçlerinde altlık olarak (katot) 304 kalite paslanmaz çelik kullanılmıştır. Anot olarak ise platin tel çubuk kullanılmıştır. Ayrıca referans elektrot olarak ise doygun kalomel elektrot (SCE) kullanılmıştır. Şekil 1'de üç elektrotlu depolama sisteminin şematik gösterimi sunulmuştur. Katot, anot ve referans elektrot banyo içine dikey olarak yerleştirilmiş ve aralarında yaklaşık olarak üçer cm aralık bırakılmıştır. Bütün elektrokimyasal depolama süreçlerinde CH instruments marka ve 608E model cihazdan yararlanılmıştır. Altlık kaplama alanı 4 cm^2 olarak belirlenmiş ve akım yoğunluğu bu alana uygun olarak ayarlanmıştır.



Şekil 1. Üç elektrotlu depolama sisteminin şematik gösterimi

Kaplama işleminden önce altlık malzemesi kabadan inceye doğru bir dizi zımparalama işlemine tabi tutulmuş olup sonrasında %10 HCl (hidroklorik asit) ile karıştırılmış saf su içinde 1-2 dk süreyle dağlanmış ve sonrasında saf su ile durularak oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Ni-B kaplamalar depolandıktan sonra saf su ile durularak oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır.

Numunelerin XRD desenleri, üretilen Ni-B kaplamaların kristal yapılarının karakterize edilebilmesi için elde edilmiştir. $2\theta=0-100^\circ$ aralığında, 40 kV ve 30 mA değerlerinde $\text{CuK}\alpha$ radyasyonu üreten PANalytical marka, Empyrean model XRD cihazı, X ışını kırınım desenlerini elde etmek amacıyla kullanılmıştır ($\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$).

Ni-B kaplamaların ortalama kristal tane büyüklüğü (D), dislokasyon yoğunluğu (δ) ve mikrogerilim (ϵ) değerleri elde edilirken aşağıda verilen formüller kullanılmıştır [8-14].

$$D = \frac{0,94 \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

(1) numaralı Debye-Scherrer denkleminde λ : X-ışını dalga boyu, β : XRD pikinin yarı maksimumdaki genişliğinin radyan cinsinden değeri (FWHM), θ : ise XRD pikinin Bragg yansıma açısıdır [14].

$$\epsilon = \frac{\beta}{4 \tan \theta} \quad (2)$$

(2) numaralı denklem mikrogerilim hesaplanmasında kullanılmıştır [8].

$$\delta = \frac{1}{D^2} \quad (3)$$

(3) numaralı denklem dislokasyon yoğunluğu hesaplanmasında kullanılmıştır. Burada D: ortalama kristal tane büyüklüğünü temsil etmektedir [8,11-13].

Numune üzerine 500 g yük 10 s boyunca uygulanarak mikro sertlik değerleri ölçülmüştür. Mikro sertlik değeri ölçümleri her numunenin en az 10 farklı bölgesinden ölçümler alınarak ve bu

ölçümlerin ortalaması olarak kabul edilerek gerçekleştirilmiştir. Anormal derecede sapma gösteren sertlik değerleri numunenin ortalama mikro sertlik hesabına katılmamıştır. Future-TECH FM-700e marka ve model cihaz mikro sertlik ölçümleri için kullanılmıştır. Ayrıca, numunelerin yüzey morfolojileri optik mikroskop resimleri üzerinden incenmiş ve görüntüler Olympus BX51 marka ve model cihaz ile edilmiştir.

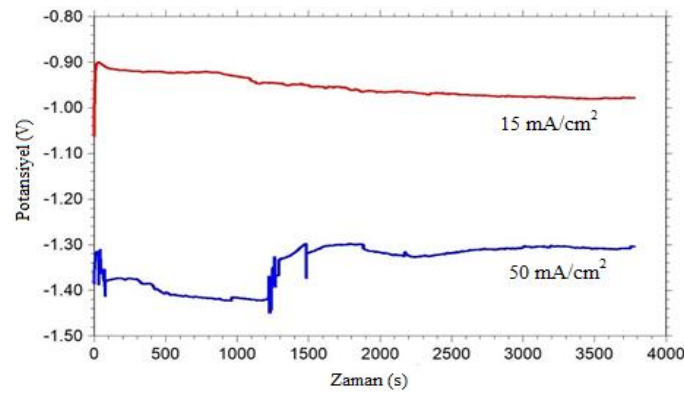
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Ni-B alaşım kaplamaların depolama esnasında kaydedilen kronopotansiyometri grafikleri Şekil 2'de verilmiştir. Kronopotansiyometri grafikleri sabit akım uygulanması ile birlikte potansiyelin zamanla değişimini veren eğrilerdir. Bu grafikler sayesinde depolama zamanı ile potansiyel değişimleri gözlenebilmekte ve eğrilerin durumuna göre banyolar hakkında yorumlar yapılabilmektedir. Şekil 2 incelendiğinde 15 mA/cm^2 akım yoğunluğunda depolanan numunede depolama potansiyelinin $-0,9 \text{ V}$ civarlarında başladığı ve nispeten yatay bir seyir izlediği görülmektedir. Depolama zamanı sonuna doğru ise potansiyelin $-1,0 \text{ V}$ civarlarına yaklaştığı anlaşılmaktadır. 50 mA/cm^2 akım yoğunluğunda depolanan numuneye ait kronopotansiyometri eğrisini incelediğimizde, akım yoğunluğu artışıyla birlikte depolanma potansiyel değerlerinde de artış olduğu görülmektedir. Depolamanın $-1,4 \text{ V}$ potansiyel civarlarında başladığı ve salınımlı bir seyir izlediği anlaşılmaktadır. Depolama sonuna doğru ise potansiyelin $-1,3 \text{ V}$ civarlarına doğru azaldığı görülmektedir. Kronopotansiyometri eğrilerinden görüleceği üzere, 15 mA/cm^2 akım yoğunluğuna sahip banyonun yatay seyirinden dolayı daha stabil olduğu, aksine 50 mA/cm^2 akım yoğunluğuna sahip banyonun ise salınımlı yapısından dolayı daha dengesiz olduğu ifade edilebilir.

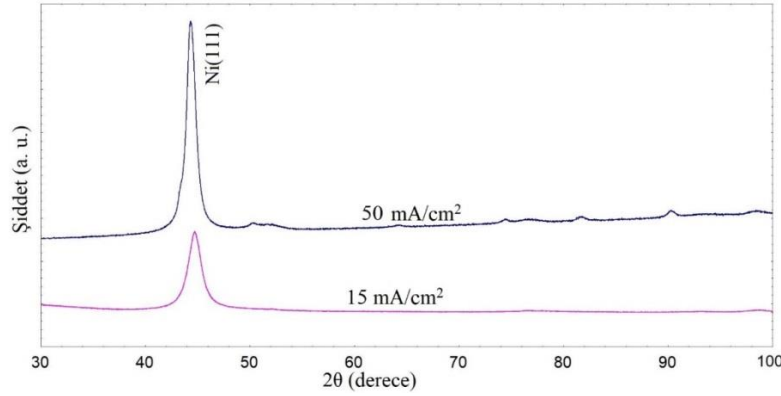
Ni-B alaşımına depolama akım yoğunluğunun etkisini belirlemek amacıyla 50 ve 15 mA/cm^2 değerlerinde kaplamalar üretilmiş ve her iki numunenin XRD desenleri Şekil 3'de verilmiştir. Ayrıca, bu desenlerden elde edilen ortalama kristal tane boyutu, mikrogerilim ve dislokasyon

yoğunluğu değerleri Çizelge 1’de sunulmuştur. Şekil 3’de görüldüğü üzere 44° civarlarında görülen (111) nikel piki haricinde nikelde özgü diğer piklerin desene yansımadağı anlaşılmaktadır. Akım yoğunluğu değerinin 50 ’den 15 mA/cm^2 ’ye azalmasıyla birlikte ana yapı nikelde ait (111) pikinin şiddetinin de ciddi oranda azaldığı görülmektedir. Ayrıca Çizelge 1’de verilen değerler incelendiğinde, ortalama kristal tane boyutunda 8.7 ’den 6 değerine düştüğü

görülmektedir. Daha önceki çalışmalara göre metal matrisli kompozit kaplamalarda yüksek akım yoğunluğu kristalleşmeyi teşvik etmektedir [15-17]. Ortalama kristal tane boyutunun azalmasının yanı sıra, mikrojorilim ve dislokasyon yoğunluğu değerlerinin de artış gösterdiği anlaşılmaktadır. Özellikle dislokasyon yoğunluğu değeri yaklaşık iki kat artış göstermiştir. Akım yoğunluğunun azalmasıyla birlikte kristal tane yapısının amorf bir yapıya doğru değişim gösterdiği ifade edilebilir.



Şekil 2. Ni-B alaşım kaplamaların depolama esnasında kaydedilen kronopotansiyometri grafikleri



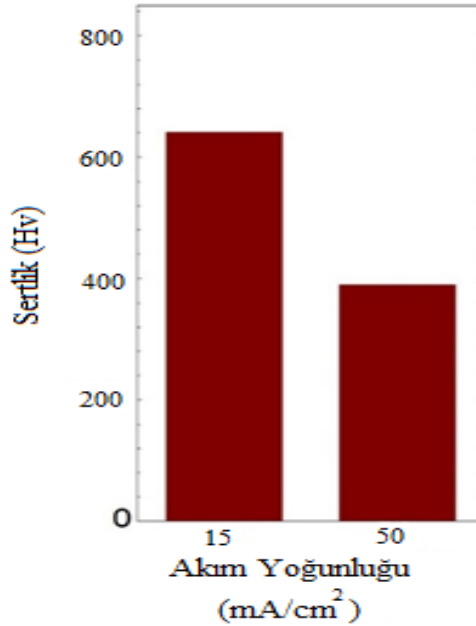
Şekil 3. Ni-B alaşımı kristal yapısına akım yoğunluğunun etkisi (TMAB banyo konsantrasyonu 3 g/l).

Çizelge 1. Farklı akım yoğunluğu değerlerinde depolanan Ni-B alaşım kaplamaların XRD desenlerinden elde edilen parametreler

Akım yoğunluğu	2θ (derece)	FWHM- β (radyan)	Ortalama kristal tane büyüklüğü-D (nm)	Mikrojorilim- ϵ	Dislokasyon yoğunluğu- δ (nm^{-2})
15 mA/cm^2	44,7	0,02619	6	$15,9 \times 10^{-3}$	$27,7 \times 10^{-3}$
50 mA/cm^2	44,3	0,01785	8,7	$10,9 \times 10^{-3}$	$13,2 \times 10^{-3}$

Ni-B alaşım kaplamaların mikrosertlikleri üzerinde akım yoğunluğunun etkisini incelemek için iki farklı akım yoğunluğu değerinde numune üretilmiş ve elde edilen numunelerden alınan mikrosertlik sonuçları Şekil 4’de verilmiştir. Üretilen numunelerin TMAB banyo konsantrasyonu 3 g/l’dir. 50 mA/cm² akım yoğunluğunda üretilen Ni-B kaplamada sertlik değeri 390 Hv olarak ölçülürken, 15 mA/cm² akım yoğunluğunda üretilen Ni-B kaplamada ise mikrosertlik değeri 640 Hv olarak ölçülmüştür. Ni-B alaşım kaplamalarda da akım yoğunluğu değeri

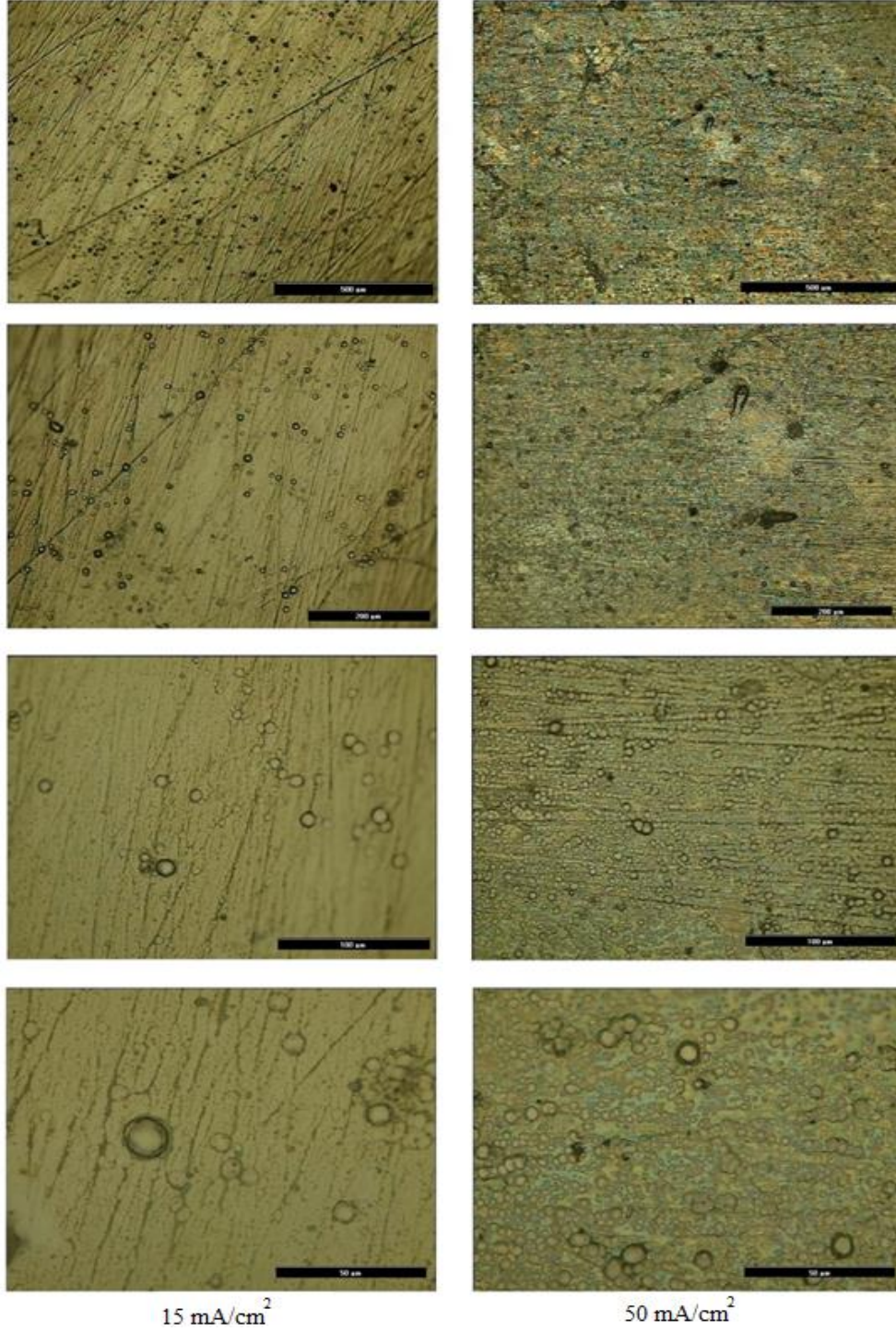
artırıldığında mikrosertlikte azalma meydana geldiği görülmektedir. Yüksek akım yoğunluğu değerlerinde mikrosertlikte meydana gelen bu azalma, nikel metali iyonlarının daha hızlı bir şekilde depolanması neticesinde, elektrolit içindeki bor atomlarının nikelle birlikte eş depolanma miktarlarında meydana gelebilecek azalma dolayısıyla gerçekleşmiş olabilir. Akım yoğunluğu değeri arttıkça metal iyonları daha hızlı hareket etmekte, daha kısa sürede daha fazla metal depolanması gerçekleşmektedir.



Şekil 4. Ni-B alaşım kaplamaların mikrosertliği üzerinde akım yoğunluğunun etkisi (TMAB banyo kons. 3 g/l)

Şekil 5’te farklı akım yoğunluğu değerlerinde depolanmış Ni-B alaşım kaplamaların optik mikroskop resimleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Optik resimler yukardan aşağıya sırasıyla 100x, 200x, 500x ve 1000x büyütme oranlarında elde edilmiştir. Sol sütunda 15 mA/cm² değerinde depolanan Ni-B alaşım kaplama, sağ sütunda ise 50 mA/cm² değerinde depolanan Ni-B alaşım kaplama resimleri verilmiştir. Farklı büyütme oranlarında verilen optik resimlerden de görüldüğü üzere akım yoğunluğunun yüzey morfolojisini etkilediği

anlaşılmaktadır. 15 mA/cm² akım yoğunluğu değerinde depolanan kaplamanın yüzey morfolojisi 50 mA/cm² akım yoğunluğunda depolanan kaplamaya göre daha düzgün bir görünüme sahiptir. 50 mA/cm² akım yoğunluğu değerine sahip numunede dairesel tepecikler daha sık ve yoğun görünürken, 15 mA/cm² akım yoğunluğu değerine sahip numunede dairesel tepeciklerin daha seyrek olduğu ve kaplama yüzeyinde yer yer düz alanların olduğu göze çarpmaktadır. Aksine, 50 mA/cm² akım yoğunluklu numunede dairesel tepecikler tüm yüzeyi kaplamaktadır.



Şekil 5. Farklı akım yoğunluklarında depolanan Ni-B alaşım kaplamaların optik mikroskop resimleri (Yukarıdan aşağıya 100x, 200x, 500x ve 1000x büyütme oranlarında)

4. SONUÇLAR

Bor kaynağı olarak TMAB kullanılan Ni ana yapılı elektrokimyasal Ni-B alaşım kaplamalar paslanmaz çelik altlık üzerine başarılı bir şekilde depolanmıştır. 50 ve 15 mA/cm² olmak üzere iki farklı akım yoğunluğunda depolama yapılmış ve banyoya TMAB banyo konsantrasyonu 3 g/l olarak ilave edilmiştir. Üretilen Ni-B kaplamaların kristal yapı özellikleri XRD grafikleri üzerinden incelenmiş ve aynı zamanda kaplamaların mikro sertlik değerleri ölçülmüştür. Bunun yanında kaplamaların yüzey morfolojileri de optik mikroskop resimleri üzerinden analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre akım yoğunluğu azaltıldığında Ni-B kristal yapısının tane büyüklüğünün azaldığı ve yapının daha amorf biçimli olmaya meyil gösterdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca akım yoğunluk değeri 50 mA/cm² değerinden 15 mA/cm² değerine azaltılmasıyla sertlik değerinin 390 Hv'den 640 Hv değerine yükseldiği görülmüştür. Elde edilen optik mikroskop resimlerinde alınan görüntülere göre akım yoğunluğunun Ni-B alaşım kaplamaların yüzey morfolojisini etkilediği ve akım yoğunluğu artışının yüzeyi çeşitli dairesel tepelikler şeklinde daha kaba bir biçime dönüştürdüğü ifade edilebilir.

5. KAYNAKLAR

1. Ogihara, H., Udagawa, K., Saji, T., 2011. Effect of Boron Content and Crystalline Structure on Hardness in Electrodeposited Ni-B Alloy Films. *Surface&Coatings Technology*, 206, 2933-2940.
2. Zhang, Y., Zhang, S., He, Y., Li, H., He, T., Fan, T., Zhang, H., 2021. Mechanical Properties and Corrosion Resistance of Pulse Electrodeposited Ni-B/B₄C Composite Coatings. *Surface and Coatings Technology*, 421, 127458.
3. Bekish, Y.N., Poznyak, S.K., Tsybulskaya, L.S., Gaevskaya, T.V., 2009. Electrodeposited Ni-B Alloy Coatings; Structure, Corrosion Resistance and Mechanical Properties. *Electrochimica Acta*, 55, 2223-2231.
4. López, J.R., Méndez, P.F., Pérez-Bueno, J.J., Trejo, G., Stremdoerfer, G., Meas, Y., 2016. The Effect of Boron Content, Crystal Structure, Crystal Size on the Hardness and the Corrosion Resistance of Electrodeposited Ni-B Coatings. *International Journal of Electrochemical Science*, 11, 4231-4244.
5. Matsui, I., Omura, N., Yamamoto, T., Takigawa, Y., 2018. Electrodeposition with Intermittent Addition of Trimethylamine Borane to Produce Ductile Bulk Nanocrystalline Ni-B Alloys. *Surface & Coatings Technology*, 337, 411-417.
6. Fang, X., Jin, G., Cui, X.F., Liu, J.N., 2016. Evolution Characteristics of Residual Stress in Metastable Ni-B Alloy Coatings Identified by Nanoindentation. *Surface & Coatings Technology*, 305, 208-214.
7. Sheu, H.H., Tzeng, Y.C., Syu, J.H., 2019. Study of the Strengthening Mechanism of Electrodeposited Ni-B Thin Films with Ultra-low Boron Content. *Materials Letters*, 238, 275-277.
8. Boukhoubza, I., Khenfouch, M., Achehboune, M., Mothudi, B.M., Zorkani, I., Jorio, A., 2019. X-ray Diffraction Investigations of Nanostructured ZnO Coated with Reduced Graphene Oxide. *Journal of Physics*, 1292, 012011.
9. Bindu, P., Thomas, S., 2014. Estimation of Lattice Strain in ZnO Nanoparticles: X-Ray Peak Profile Analysis. *Journal of Theoretical and Applied Physics*, 8, 123-134.
10. Saleem, M., Fang, L., Ruan, H.B., Wu, F., Huang, Q.L., Xu, C.L., Kong, C.Y., 2012. Effect of Zinc Acetate Concentration on the Structural and Optical Properties of ZnO Thin Films Deposited by Sol-Gel Method. *International Journal of Physical Sciences*, 7(23), 2971-2979.
11. Bilgin, V., Köse, S., Atay, F., Akyüz, I., 2005. The Effect of Substrate Temperature on the Structural and Some Physical Properties of Ultrasonically Sprayed CdS Films. *Materials Chemistry and Physics*, 94, 103-108.
12. Khan, Z.R., Zulfequar, M., Khan, M.S., 2010. Optical and Structural Properties of Thermally Evaporated Cadmium Sulphide Thin Films on Silicon (100) Wafers. *Materials Science and Engineering B*, 174, 145-149.

13. Williamson, G.B., Smallman R.C., 1956. Dislocation Densities in Some Annealed and Cold-Worked Metals From Measurements on the X-ray Debye-Scherrer Spectrum. Philosophical Magazine A, 8(1), 34-46.
14. Patterson, A.L., 1939. The Scherrer Formula for X-ray Particle Size Determination. Physical Review, 56, 978-982.
15. Usta, M., Karahan, İ.H., 2022. Effect of Current Density on Structural and Radiation Shielding Characteristics of NiCoB/hBN Composites. Radiation Physics and Chemistry, 194, 110027.
16. Krishnaveni, K., Narayanan, T.S.N.S., Seshadri, S.K., 2008, Electrodeposited Ni-B-Si₃N₄ Composite Coating: Preparation and Evaluation of Its Characteristic Properties. Journal of Alloys and Compounds, 466, 412-420.
17. Zhang, D., Cui, X., Jin, G., Cai, Z., Dong, M., 2018. Thermal Stability of Ni-B/La₂O₃ Coatings by Electro-Brush Plating Technique. Surface & Coatings Technology, 349, 1042-1047.

An Investigation on Dimensional Accuracy of 3D Printed PLA, PET-G and ABS Samples with Different Layer Heights

Çağın BOLAT*¹ ORCID 0000-0002-4356-4696

Berkay ERGENE² ORCID 0000-0001-6145-1970

¹*Istanbul Technical University, Faculty of Mechanical Engineering, Beyoğlu, İstanbul*

²*Pamukkale University, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, Denizli*

Geliş tarihi: 18.03.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: BOLAT, Ç., ERGENE, B., (2022). An Investigation on Dimensional Accuracy of 3D Printed PLA, PET-G and ABS Samples with Different Layer Heights. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 449-458.

Abstract

In this study, the effect of filament type and layer height on the dimensional accuracy of the 3D printed tensile test samples from PLA, PET-G, and ABS was investigated in depth. Based on the fused filament fabrication (FFF) technology, tensile test samples were produced with various layer heights (0.2 mm, 0.3 mm, and 0.4 mm) while the other printing parameters were kept constant, except for nozzle and building platform temperature. Length, width, and height values of the produced test samples were measured, and obtained results were compared with design dimensions to observe the dimensional accuracy of each sample. Also, surface roughness measurements were performed on the samples to examine their final surface quality. From dimensional measurements, it was seen that the most accurate results were recorded for PET-G (in length and height) and PLA (in width) samples. Furthermore, the best surface quality was attained in PLA samples compared to other filaments.

Keywords: Dimensional accuracy, Fused filament fabrication, PLA, PET-G, ABS

Üç Boyutlu Baskı ile Farklı Katman Yüksekliklerinde Üretilmiş PLA, PET-G ve ABS Parçaların Boyutsal Doğruluğu Üzerine Bir Araştırma

Öz

Bu çalışmada, PLA, PET-G ve ABS'den 3D baskılı çekme testi numunelerinin boyutsal doğruluğuna filament tipi ve katman yüksekliğinin etkisi derinlemesine araştırılmıştır. Eriyik filament üretimi teknolojisine dayalı olarak, çeşitli katman yüksekliklerinde (0,2 mm, 0,3 mm ve 0,4 mm) çekme test numuneleri üretilirken, meme ve bina platform sıcaklığı dışındaki diğer parametreler sabit tutulmuştur. Üretilen test numunelerinin uzunluk, genişlik ve yükseklik değerleri ölçülerek, elde edilen sonuçlar tasarım boyutları ile karşılaştırılarak her bir numunenin boyutsal doğruluğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, nihai yüzey kalitelerini incelemek için numuneler üzerinde yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır.

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Çağın BOLAT, caginbolat@itu.edu.tr

Boyutsal ölçümlerden en doğru sonuçların PET-G (uzunlukta ve yükseklikte) ve PLA (genişlikte) numuneleri için kaydedildiği görüldü. Ayrıca PLA numunelerinde diğer filamentlere kıyasla en iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Boyutsal doğruluk, Eriyik filament üretimi, PLA, PET-G, ABS

1. INTRODUCTION

In today's industrial world, although traditional manufacturing methods like machining, casting, welding, powder metallurgy, and plastic forming are more widespread for metallic [1,2], polymeric [3,4], composite [5-7], and ceramic [8] parts, this custom has begun to change in recent years. Three-dimensional (3D) printing technology is one of the modern production technologies that facilitates the manufacturing of complex-shaped objects [9,10]. Also, 3D printing technology has a number of advantages in comparison with other traditional production methods since it provides the production with shorter time and less material usage. Especially in the last decade, the general tendency on 3D printers for production of polymer materials has grown dramatically due to their low melting temperature, easy accessibility and low cost. It is a common idea that the fused filament fabrication (FFF) technique is the most widespread strategy to create a 3D printed product or prototype. At this point, when the manufacturing steps of a part printed with FFF is focused on, it can be noticed that there are three main steps; designing, slicing and main manufacturing. The FFF-based 3D printer produces the final-shaped part with deposition of layers from filament material by managing the heated nozzle on the compatible path with g-code [11]. Although not limited to only some thermoplastic materials, acrylonitrile butadiene styrene (ABS), polylactic acid (PLA) and polyethylene terephthalate glycol (PET-G) filaments are frequently used in 3D printers working with FFF principles.

It is known that dimensional accuracy and surface roughness have great importance for some engineering applications such as polymer heat exchanger, gear mechanism, implant or scaffolds which can be fabricated with FFF. From the literature efforts, it can be seen that FFF method is

widely used for the production of investment casting molds [12,13]. Besides, it was reported that FFF offered 50% cost reduction and time saving when it was compared with traditional metal mold fabrication process [14]. According to Wohler report [15], tooling manufactured with FFF include thermoplastic fixtures, jigs, guides, press fixtures which are often required in small quantities on an assembly line. Especially topology- optimized parts in aerospace and automotive sectors are mostly preferred to be FFF method because of its advantages over traditional manufacturing methods such as time consuming and ease of production of complex parts.

When the literature efforts are examined, it is seen that the effect of FFF parameters on the mechanical behaviors were investigated with details [16,17]. However, only limited number of studies that focus on the influences of the FFF parameters on dimensional accuracy have been performed up to now by the researchers. In their study, Hanon et al. [18] focused on the influence of the print orientation, raster direction angle, filament color and layer height on dimensional accuracy of the dog-bone tensile test specimens. As a result of the study, they have expressed that FFF printers could create polymer parts with more than 98% of dimensional accuracy. In addition, layer height was found as one of the most decisive factors affecting the dimensional accuracy. On the other hand, it was emphasized by the same research team that the exact divisibility of the part height by the layer height also significantly affects the dimensional accuracy. Aside from this work, the effect of printing parameters on dimensional accuracy of FFF parts was also examined by Sood et al. [19]. In another study [20], dimensional accuracy analyses of the FFF parts were carried out with the help of grey relational grade analysis. According to obtained results, it was revealed that the best dimensional accuracy was obtained 3D printed part with layer height of 200 µm, raster

direction of 0° angle and build orientation of 0° and 90°. Mohamed et al. [21] considered the effect of FFF parameters on the surface roughness and dimensional accuracy of the 3D printed parts. Maurya et al. [22] conducted a study in which the authors tried to comprehend the effect of layer height, raster angle and orientation on dimensional accuracy of 3D printed PLA parts printed by FFF technology. As a result of their study, the investigation group asserted that the best process parameter condition was found as the lowest layer thickness (0.1 mm), raster angle and orientation of 0°. Additionally, it was noted that the dimensions of the 3D printed parts were smaller than the CAD model because of the shrinkage during cooling of the material after the deposition of layer. Nidagundi et al. [23], Anusree et al. [24], and Wang et al. [25] reported that the smallest layer height was determined as the optimal layer height level for the best dimensional accuracy levels of 3D printed ABS parts according to Taguchi's experimental designs. Unlike, the optimal level of layer thickness was decided to be medium level (0.178 mm) in other studies [19,26]. Similar to efforts were conducted on FFF applied ABS parts, some performances [27,28] were also carried out about influences of FFF parameters on PLA parts as well. These efforts showed that any direct relation between the layer height and dimensional accuracy was not observed when the findings of these studies were compared. Lastly, Zharylkassyn et al. [29] claimed that the layer thickness levels between 0.1 mm and 0.2 mm is more likely to be optimal for the dimensional accuracy of FFF parts that uses ABS or PLA materials when the studies in literature reviewed in depth.

In this study, the effect of layer height on the dimensional accuracy of 3D printed tensile test samples prepared with three different materials (PLA, PET-G, and ABS) was investigated. To manufacture the polymer samples, FFF methodology was used. Using different polymer filaments, the effect of the base material on the dimensional accuracy was tested and evaluated. In addition, to analyze the product quality detailed roughness measurements were conducted on the sample surfaces.

2. MATERIALS AND METHOD

In this investigation, three different thermoplastic filaments were used. In this context, PLA, PET-G, and ABS filaments were selected due to their widespread usage in industrial and academic applications.

All filaments were supplied from Microzey Company (Istanbul, Turkey). According to the supplier information, Table 1 given below shows the principal features of these filament materials.

Table 1. Properties of polymer filaments

Property	PLA	PET-G	ABS
Colour	Black	Yellow	Grey
Diameter	1.75	1.75	1.75
Density (kg/m ³)	1240	1290	1040
Bed temperature	60-80	60-80	80- 120
Printing temperature (°C)	190-210	210-250	220-250
Elasticity modulus (MPa)	1500	2100	1250
Tensile strength (MPa)	50	46	48
Elongation at break (%)	7	8	5

PLA and PET-G samples were 3D printed by using Ender 3 Pro V2 model 3D printer (print size of 220x220x250 mm, maximum heated bed temperature of 110 ° C, and maximum print speed of 180 mm/s). During the manufacturing, black and yellow colors were adopted for PLA and PET-G respectively.

Aside from PLA and PET-G samples, ABS samples were 3D printed with a Zaxe X2 model printer which offers a printing volume of 200mmx200mmx200mm. Also, its maximum building platform temperature and nozzle temperature can reach up to 110 ° C and 280 ° C respectively. In addition, usually, 0.4 mm nozzle diameter and filament with 1.75 mm is preferred mostly in this kind of printer. Besides, during the production of ABS samples, grey color was chosen. In Table 2, all manufacturing parameters can be glanced at in detail.

Table 2. FFF parameters selected for 3D printing

Parameter	PLA	PET-G	ABS
Layer height (mm)	0.2;0.3;0.4	0.2;0.3;0.4	0.2;0.3;0.4
Infill rate (%)	100	100	100
Infill type	Line	Line	Line
Build direction	Flat	Flat	Flat
Support structure	None	None	None
Adhesion type	None	None	None
Number of contours	3	3	3
Fan speed (%)	100	100	100
Raster angle (°)	45/-45	45/-45	45/-45
Printing speed (mm/s)	40	40	40
Nozzle temperature (°C)	210	240	230
Building platform temperature (°C)	60	70	80

For analyzing the dimensional accuracy of all of the filament types, the shape of well-defined tensile specimens was decided. According to the related standard of ASTM D638-14 Type IV, the determined printing design with height (thickness) of 3.4 mm can be seen in Figure 1. For this purpose, an assistant software and a slicing program (Ultimaker Cura 4.4.1) were utilized and they also can be seen with the used real-time printing machine in Figure 2 and Figure 3.

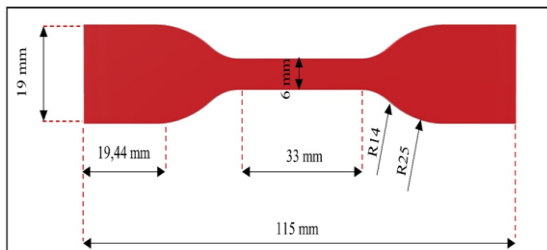


Figure 1. Design dimensions for tensile samples

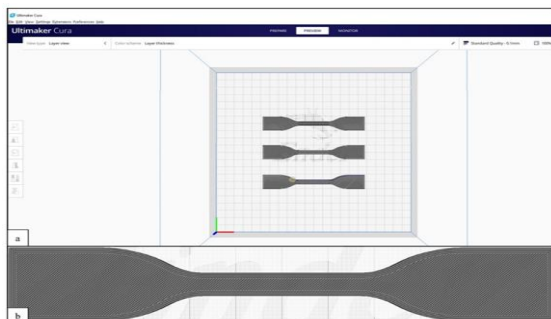


Figure 2. Slicing software for real-time building

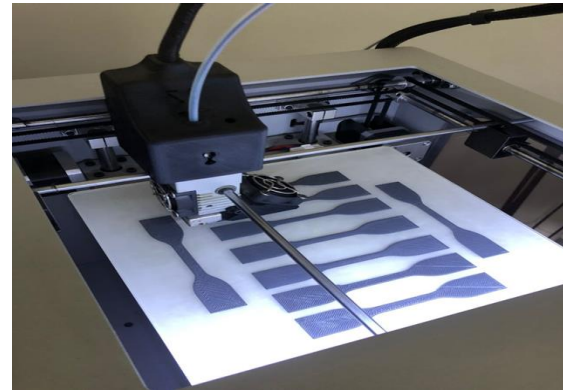


Figure 3. 3D printing machine and some of the produced tensile samples

3. RESULTS

3.1. Dimensional Accuracy Analyze Strategy

Figure 4 illustrates the measuring points of the 3D printed tensile specimens. Three different dimensions were taken as main control criteria: sample length (L_1 , L_2 and L_3), gage width (W_1 , W_2 and W_3), and height (H_1 , H_2 and H_3). In addition, all measurement values obtained with digital caliper (Orion, 0.01 mm accuracy) were compared to the initial values of CAD design in order to ascertain the accuracy correctly. Table 3 indicates all measurement results for each product group. On the other side, standard deviation calculations were exhibited in related result graphs by error bars to show the precision (repeatability).

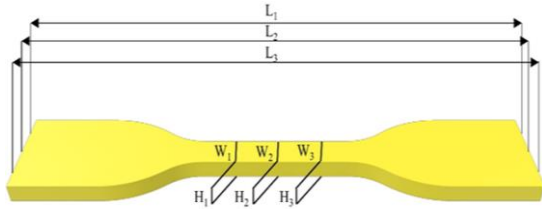


Figure 4. Measurement points on the samples

3.2. Accuracy in Length

A comparison graph can be found in Figure 5 for different polymers. It is noticed from Figure 5 that

accuracy values are above 99% for all product types. If the filaments are checked up with each other, it is evident that accuracy values calculated for PET-G samples are higher than that of the others. Looking at Table 3 and Figure 5, it can be underlined that the highest average accuracy value of 99.99% belongs to the sample printed with PET-G although the lowest average accuracy value of 99.21% is detected for the sample prepared with ABS. This observation can be attributed to the high thermal expansion coefficient of ABS compared to other filament materials.

Table 3. The raw results obtained from dimensional measurements of tensile test samples

Material	Sample No	Layer height (mm)	Length measuring (mm)			Width measuring (mm)			Height measuring (mm)			Specimen weight (g)
			L ₁	L ₂	L ₃	W ₁	W ₂	W ₃	H ₁	H ₂	H ₃	
PLA	1	0.2	114.52	114.56	114.58	6.18	6.20	6.20	3.33	3.31	3.32	5.8501
	2	0.2	114.60	114.62	114.61	6.25	6.26	6.29	3.28	3.28	3.31	5.8476
	3	0.2	114.57	114.58	114.55	6.17	6.19	6.21	3.33	3.30	3.33	5.8492
	4	0.3	114.86	114.84	114.88	6.22	6.20	6.22	3.21	3.19	3.20	5.4191
	5	0.3	114.73	114.75	114.88	6.16	6.13	6.12	3.20	3.14	3.22	5.4095
	6	0.3	114.60	114.68	114.77	6.20	6.17	6.15	3.13	3.14	3.20	5.3919
	7	0.4	114.71	114.82	114.69	6.28	6.27	6.31	3.44	3.43	3.42	5.7749
	8	0.4	114.62	114.63	114.68	6.28	6.29	6.28	3.35	3.33	3.35	5.6961
	9	0.4	114.68	114.66	114.67	6.38	6.39	6.36	3.36	3.35	3.36	5.6964
PET-G	1	0.2	114.95	114.93	114.91	6.23	6.16	6.23	3.34	3.36	3.35	5.8617
	2	0.2	114.62	114.69	114.68	6.16	6.19	6.17	3.34	3.33	3.32	5.8289
	3	0.2	115.12	115.10	115.12	6.44	6.44	6.43	3.31	3.31	3.31	5.7993
	4	0.3	114.99	115.01	115.01	6.44	6.45	6.45	3.14	3.14	3.18	5.7555
	5	0.3	115.03	115.02	115.01	6.34	6.33	6.32	3.13	3.14	3.13	5.4854
	6	0.3	114.92	114.92	114.91	6.26	6.26	6.27	3.16	3.15	3.16	5.5189
	7	0.4	115.01	114.99	115.02	6.43	6.44	6.41	3.33	3.29	3.32	5.7560
	8	0.4	115.01	114.99	114.99	6.43	6.42	6.44	3.33	3.32	3.31	5.7222
	9	0.4	114.89	114.92	114.91	6.33	6.30	6.32	3.35	3.36	3.33	5.7942
ABS	1	0.2	114.57	114.57	114.56	6.54	6.56	6.53	3.51	3.52	3.50	5.3539
	2	0.2	114.10	114.12	114.18	6.21	6.26	6.21	3.62	3.66	3.65	5.3787
	3	0.2	114.48	114.50	114.47	6.21	6.25	6.23	3.59	3.59	3.58	5.3376
	4	0.3	114.56	114.58	114.56	6.33	6.31	6.29	3.72	3.71	3.72	5.3731
	5	0.3	114.14	114.16	114.13	6.28	6.29	6.30	3.68	3.69	3.67	5.3901
	6	0.3	114.47	114.48	114.50	6.31	6.30	6.30	3.61	3.65	3.66	5.3991
	7	0.4	114.59	114.57	114.58	6.55	6.54	6.53	3.55	3.57	3.60	5.0693
	8	0.4	114.49	114.48	114.49	6.32	6.32	6.31	3.56	3.61	3.59	5.0805
	9	0.4	114.09	114.08	114.11	6.33	6.29	6.31	3.68	3.65	3.62	5.0699

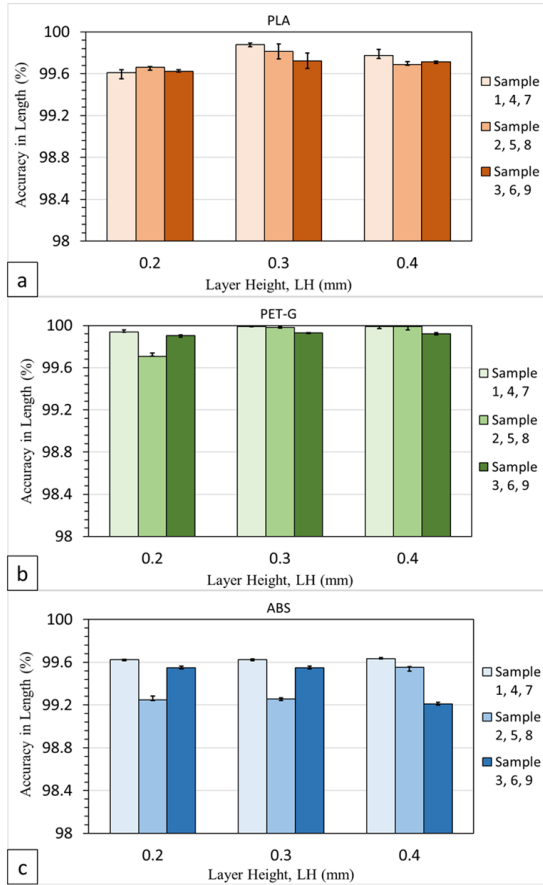


Figure 5. Accuracy values in length; PLA(a), PET- G(b) and ABS(c)

3.3. Accuracy in Width

Graphical highlights of the accuracy values in width for additively manufactured tensile samples can be followed in Figure 6. It can be brought forward by glancing at Figure 6 that accuracy results exceed almost 91% for all samples. When the comparative analyses are conducted depending on the filament type, there is no inconvenience to state that accuracy results appointed for PLA samples are more than that of the others. It can be asserted that this outcome can be clarified with the solidification process time of the polymers. For instance, in their study, Alsoufi et al. [30] expressed that ABS parts exhibited higher dimensional errors when compared with PLA parts due to the solidification process that allows more

contraction. From the knowledge provided by Table 3 and Figure 6, it is inferred that the maximum average accuracy value of 97.72% is seen for the sample built with PLA whereas the minimum average accuracy value of 90.94% is recorded for the sample printed with ABS. Additionally, as long as the layer height values increase, accuracy results exhibit generally a downward trend for all types of filament materials.

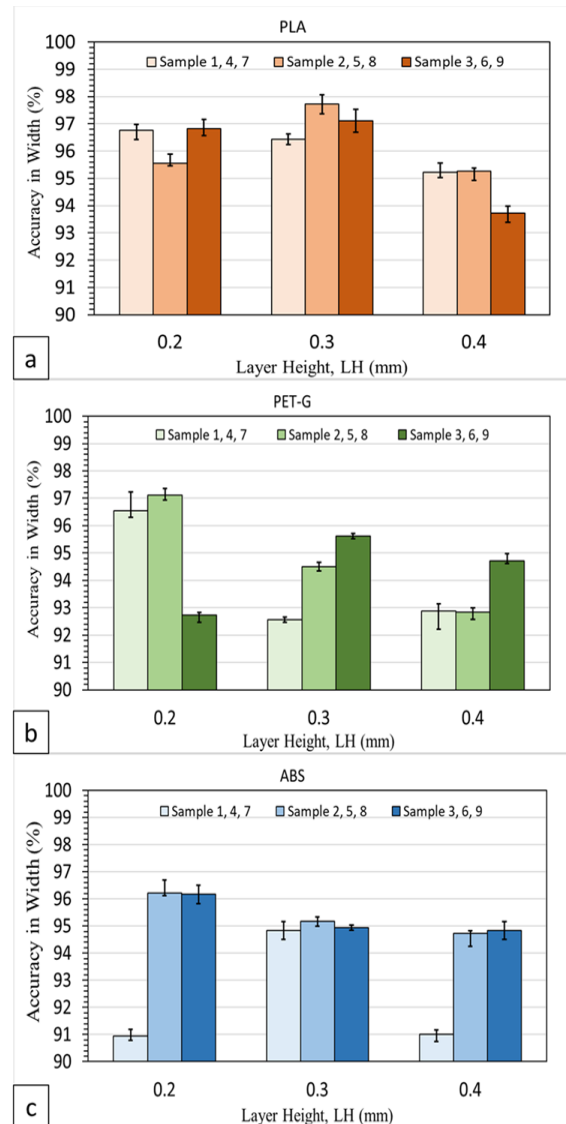


Figure 6. Accuracy values in width; PLA(a), PET- G(b) and ABS(c)

3.3. Accuracy in Height

Figure 7 demonstrates the elaborative accuracy analyses of 3D printed polymer samples. It can be understood from Figure 7 that accuracy values are above 90% for all sample types. Besides, it will be right to claim that PLA and PET-G samples display more superior outcomes than ABS samples. From Table 3 and Figure 7, it can be propounded that the highest average accuracy value of 99.11% belongs to the sample printed

with PET-G. As opposed to this, the lowest average accuracy value of 90.68% is ascertained for the sample manufactured with ABS filament. As for the effect of the printing layer height, it is obvious that there is not any apparent ascending/descending relationship between accuracy and layer height. This situation can be explained by the combined impact of division availability of the design height by printing layer height and different thermal expansion/conductivity properties of the filaments.

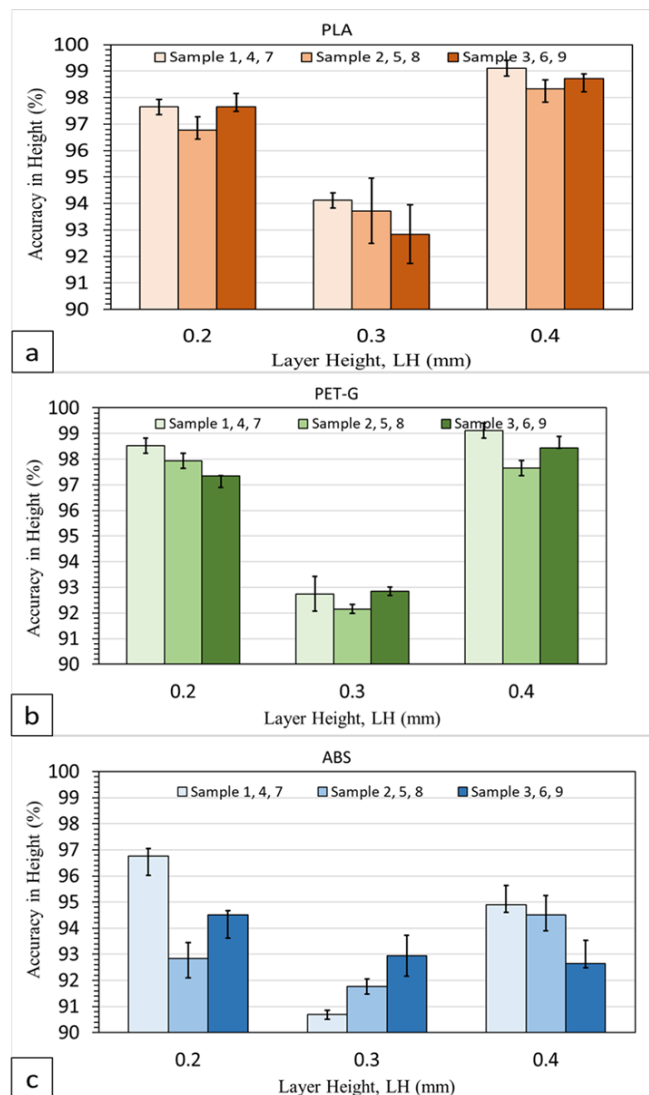


Figure 7. Accuracy values in height; PLA(a), PET- G(b) and ABS(c)

3.4. Surface Roughness Measurements

Together with the dimensional analyses, the surface roughness features of the manufactured PLA, PET-G, and ABS samples are also significant and these roughness values were measured owing to the fact that they influence the final product quality on a large scale. It is right to tell that the filament material plays a critical role in the surface roughness of the produced samples. Therefore, to reveal the differences between surface roughness values of the 3D printed samples with different filament materials, measurements were carried out perpendicular to the raster angle with a Hommel Tester T500 model profilometer as given illustration in Figure 8.

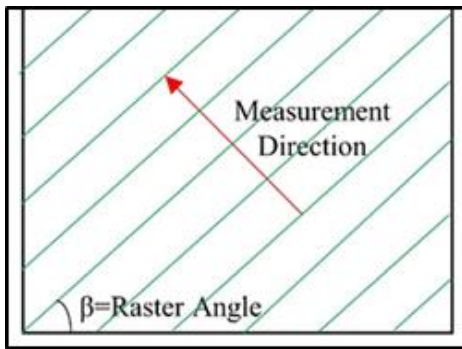


Figure 8. Schematic view of the measurement direction for surface roughness

In Figure 9, all measured surface roughness results can be examined depending upon the filament material type and printing layer height parameters. According to measured data collected as R_a criteria, the best surface quality (with $2.65 \mu\text{m}$) belongs to samples manufactured with PLA in spite of the fact that the worst quality (with $17.3 \mu\text{m}$) is attained for the ABS samples. Furthermore, it can be expressed looking at Figure 9 that there is an affirmative interaction between the surface roughness and printing layer height. Similar observations were also reported by Haque et al. [31]. This positive relationship between surface roughness and layer height can be explained with the difference of the top and bottom points on the path during surface roughness measurement; higher layer heights lead to a higher difference between top and bottom points on the path.

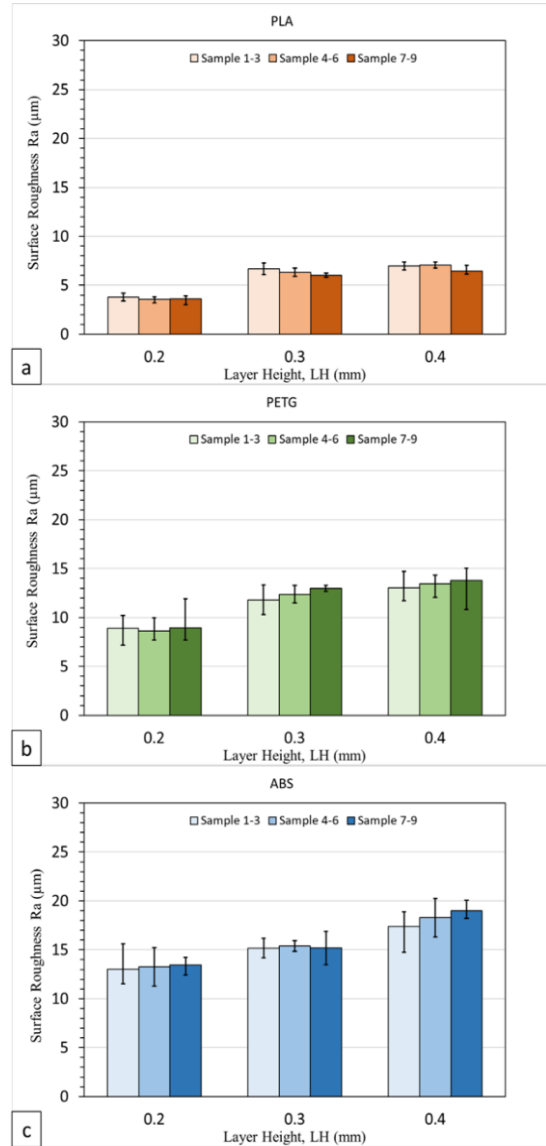


Figure 9. Surface roughness results of additively manufactured samples; PLA(a), PET-G(b) and ABS(c)

4. CONCLUSIONS

As a consequence of this work scrutinizing the dimensional accuracy success of the FFF methodology on different polymer parts by changing layer height factor, the following result remarks can be listed;

- For rapid prototyping and rapid testing, FFF is a promising methodology and different thermoplastic polymers can be comfortably produced with this technique.
- For longitudinal examination, the accuracy values reach almost 99.9% for PET-G samples because of their low thermal expansion coefficient. The accuracy results keep substantially stable with increasing printing layer height.
- Average mass values are 5.65 g (0.19 standard deviation), 5.72 g (0.13 standard deviation) and 5.27 g (0.15 standard deviation) for PLA, PET-G and ABS parts.
- From the point of width accuracy, the highest calculated average accuracy level exceeds 97.7% for the sample prepared with PLA. Also, if the printing layer height increases, the accuracy values, in particular with PET-G and ABS samples, gain a downward tendency.
- From the data collected in height analyses, it is seen that there is not a direct reciprocal correlation between printing layer height and accuracy levels of polymer parts.
- As the printing layer height elevates from 0.2 mm to 0.4 mm, measured surface roughness values also go up regardless of the polymer filament type. Besides, the best surface quality belongs to the sample produced with PLA owing to its better bonding capacity.

5. KAYNAKLAR

1. Demir, H., Gündüz, S., 2009. The Effects of Aging on Machinability of 6061 Aluminum Alloy. *Materials and Design*, 30(5), 1480-1483.
2. Ghosh, S., Kain, V., 2010. Microstructural Changes in AISI 304L Stainless Steel Due to Surface Machining: Effect on Its Susceptibility to Chloride Stress Corrosion Cracking. *Journal of Nuclear Materials*, 403(1-3), 62-67.
3. Yang, J., Yang, W., Chen, W., Tao, X., 2020. An Elegant Coupling: Freeze-casting and Versatile Polymer Composites. *Progress in Polymer Science*, 109, 101289.
4. Attia, U.M., Marson, S., Alcock, J.R., 2009. Micro-injection Moulding of Polymer Microfluidic Devices. *Microfluids and Nanofluids*, 7.
5. Bolat, Ç., Akgün, İ.C., Gökseml, A., 2020. On the Way to Real Applications: Aluminum Matrix Syntactic Foams. *European Mechanical Science*, 4(3), 131-141.
6. Ergene, B., Bolat, Ç., 2019. A Review on the Recent Investigation Trends in Abrasive Waterjet Cutting and Turning of Hybrid Composites. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 37(3), 989-1016.
7. Yalçın, B., Ergene, B., 2018. Analyzing the Effect of Crack in Different Hybrid Composite Materials on Mechanical Behaviors. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 24(4), 616-625.
8. Novák, P., 2020. Advanced Powder Metallurgy Technologies. *Materials*, 13, 1742.
9. Ergene, B., 2022. Simulation of the Production of Inconel 718 and Ti6Al4V Biomedical Parts with Different Relative Densities by Selective Laser Melting (SLM) Method. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 37(1), 469-484.
10. Ergene, B., Şekeroğlu, İ., Bolat, Ç., Yalçın, B., 2021. An Experimental Investigation on Mechanical Performances of 3D Printed Lightweight ABS Pipes with Different Cellular Wall Thickness. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 15(4), 8169-8177.
11. Kamer, M.S., Doğan, O., Temiz, Ş., Yaykaşlı, H., 2021. Investigation of the Mechanical Properties of Flexural Test Samples Produced Using Different Printing Parameters with a 3D Printer. *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering*, 36(3), 835-846.
12. Kumar, P., Ahuja, I.P.S., Singh, R., 2012. Application of Fusion Deposition Modelling for Rapid Investment Casting- A Review. *International Journal of Materials Engineering Innovation*, 3(1), 204-227.
13. Ingole, D.S., Kuthe, A.M., Thakare, S.B., Talankar, A.S., 2009. Rapid Prototyping- A Technology Transfer Approach for Development of Rapid Tooling. *Rapid Prototyping Journal*, 15(1), 280-290.
14. Venkataraman, N., Rangarajan, S., Matthewson, M.J., Harper, B., Safari, A., Danforth, S.C., Wu, G., Langrana, N., Gucerı,

- S., Yardimci, A., 2000. Feedstock Material Property- Process Relationships Infused Deposition of Ceramics (FDC). *Rapid Prototyping Journal*, 6(1), 244-252.
15. Wohlers, T.T., 2011, Wohlers Report: Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry Annual Worldwide Progress Report, Wohlers Associates, Inc., Fort Collins, CO.
16. Karabeyoğlu, S.S., Ekşi, O., Yaman, P., Küçükıldırım, B.O., 2021. Effects of Infill Pattern and Density on Wear Performance of FDM-printed Acrylonitrile-butadiene-styrene Parts. *Journal of Polymer Engineering*, 41(10), 854-862.
17. Ehrmann, G., Ehrmann, A., 2021. Investigation of the Shape-Memory Properties of 3D Printed PLA Structures with Different Infills. *Polymers*, 13, 164.
18. Hanon, M.M., Zsidai, L., Ma, Q., 2021. Accuracy Investigation of 3D Printed PLA with Various Process Parameters and Different Colors. *Materials Today: Proceedings*, 42(5), 3089-3096.
19. Sood, A.K., Ohdar, R.K., Mahapatra, S.S., 2009. Improving Dimensional Accuracy of Fused Deposition Modelling Processed Part Using Grey Taguchi Method. *Materials and Design*, 30(10), 4243-4252.
20. Hyndhavi, D., Babu, G.R., Murthy, S.B., 2018. Investigation of Dimensional Accuracy and Material Performance in Fused Deposition Modeling. *Materials Today: Proceedings*, 5(11), 23508-23517.
21. Mohamed, O.A., Masood, S.H., Bhowmik, J.L., 2015. Optimization of Fused Deposition Modeling Process Parameters: A Review of Current Research and Future Prospects. *Advances in Manufacturing*, 3, 42-53.
22. Maurya, N.K., Rastogi, V., Singh, P., 2020. Investigation of Dimensional Accuracy and International Tolerance Grades of 3D Printed Polycarbonate Parts. *Materials Today: Proceedings*, 25(4), 537-543.
23. Nidagundi, V., Keshavamurthy, R., Prakash, C., 2015. Studies on Parametric Optimization for Fused Deposition Modelling Process. *Materials Today: Proceedings*, 2(4-5), 1691-1699.
24. Anusree, T., Anjan, R., Sivadasan, M., John, T., 2016. Process Parameter Optimization of Fused Deposition Modeling for Helical Surfaces Using Grey Relational Analysis. *Materials Science Forum*, 879, 861-866.
25. Wang, C.C., Lin, T.W., Hu, S.S., 2007. Optimizing the Rapid Prototyping Process by Integrating the Taguchi Method with the Gray Relational Analysis. *Rapid Prototyping Journal*, 13(5), 304-315.
26. Sood, A.K., Ohdar, R.K., Mahapatra, S.S., 2010. Grey Taguchi Method for Improving Dimensional Accuracy of FDM Process. *AIMS International Conference on Value-Based Management*, Haridwar, 608-613.
27. Alafaghani, A.A., Qattawi, A., Alrawi, B., Guzman, A., 2017. Experimental Optimization of Fused Deposition Modelling Processing Parameters: A Design-for-manufacturing Approach. *Procedia Manufacturing*, 10, 791-803.
28. Gonabadi, H., Yadav, A., Bull, S.J., 2020. The Effect of Processing Parameters on the Mechanical Characteristics of PLA Produced by a 3D FFF Printer. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 111, 695-709.
29. Zharylkassyn, B., Perveen, A., Talamona, D., 2021. Effect of Process Parameters and Materials on the Dimensional Accuracy of FDM Parts. *Materials Today: Proceedings*, 44(1), 1307-1311.
30. Alsoufi, M.S., Elsayed, A.E., 2018. Surface Roughness Quality and Dimensional Accuracy-A Comprehensive Analysis of 100% Infill Printed Parts Fabricated by a Personal/Desktop Cost-effective FDM 3D Printer. *Materials Sciences and Applications*, 9(1), 11-40.
31. Haque, M.E., Banerjee, D., Mishra, S.B., Nanda, B.K., 2019. A Numerical Approach to Measure the Surface Roughness of FDM Build Part. *Materials Today: Proceedings*, 18(7), 5523-5529.

3 Boyutlu Yazıcı ile Üretilen Farklı Hücre Çaplarındaki Bal Peteği Sandviç Yapıların Eğme Dayanımlarının İncelenmesi

Serdar KAVELOĞLU*¹ ORCID 0000-0003-0157-7314

Şemsettin TEMİZ² ORCID 0000-0002-6737-3720

Oğuz DOĞAN³ ORCID 0000-0003-4203-8237

Muhammed Safa KAMER³ ORCID 0000-0003-3852-1031

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu,
Kahramanmaraş

²İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya

³Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

Geliş tarihi: 15.02.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: KAVELOĞLU, S., TEMİZ, Ş., DOĞAN, O., KAMER, M.S., (2022). 3 Boyutlu Yazıcı ile Üretilen Farklı Hücre Çaplarındaki Bal Peteği Sandviç Yapıların Eğme Dayanımlarının İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 459-470.

Öz

Bal peteği yapılar günümüzde birçok konstrüksiyon içerisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu nedenle bal peteği yapılarından üretilmiş ürünlerin mekanik özelliklerinin araştırılması güncel bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada bal peteği çekirdek yapısına sahip, ABS ve PLA malzemeleri kullanılarak üç boyutlu yazıcı ile üretilen sandviç yapıların eğme dayanımları deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde sandviç yapı içerisindeki, bal peteği çekirdek yapısının hücre çapı değişiminin, eğme mukavemeti üzerine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla üç farklı hücre çapı için deneyler gerçekleştirilmiştir. Her bir deneyin üç kez tekrar edilmesi ile toplamda on sekiz adet üç nokta eğme testi uygulanmıştır. Ayrıca deneylerin güvenilirliğinin artırılması amacıyla özel olarak konumlandırma ekipmanı tasarlanmış ve üretilmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda kuvvet – sehim eğrileri elde edilmiştir. PLA malzemedен üretilen numunelerin ABS numunelere göre daha mukavim olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca her iki malzeme için de 9 mm hücre çapına sahip numunelerin en yüksek dayanıma sahip olduğu, 12 mm hücre çapına sahip numunelerin ise en düşük dayanıma sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli imalat yöntemi, 3B Yazıcı, Eğme testi, Bal peteği yapılar, Farklı hücre çapı, ABS, PLA

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Serdar KAVELOĞLU, skaveloglu@ksu.edu.tr

Investigation of Bending Strength of Honeycomb Sandwich Structures with Different Cell Diameters Produced by 3D Printer

Abstract

Honeycomb structures are frequently used in many constructions today. For this reason, the investigation of the mechanical properties of products produced from honeycomb structures is a current issue. In this study, the bending strengths of sandwich structures with honeycomb core produced with a three-dimensional printer using ABS and PLA materials were experimentally investigated. In the experiments, the effect of the cell diameter change of the honeycomb core on the bending strength was investigated experimentally in the sandwich structures. For this purpose, experiments were carried out for three different cell diameters. A total of eighteen three-point bending tests were applied, with each experiment repeated three times. In addition, positioning equipment has been specially designed and produced to increase the reliability of the experiments. As a result of the experiments carried out, force-elongation curves were obtained. It has been determined that the samples produced from PLA material are more durable than ABS samples. In addition, it was determined that the samples with a cell diameter of 9 mm had the highest strength, while the samples with a cell diameter of 12 mm had the lowest strength for both materials.

Keywords: Additive manufacturing method, 3D printer, Flexural test, Honeycomb structures, Different cell diameters, ABS, PLA

1. GİRİŞ

Bal peteği çekirdekli sandviç plakalar hava, kara ve deniz araçlarında üreticiler için ağırlıktan tasarruf etmesi, dolayısıyla düşük yakıt tüketimi, yüklere maruz kaldıklarında üstün mekanik davranışları, yangın durumunda duman ve zehirli gaz seviyesinin izin verilen seviyenin altında olması, iç gürültü seviyesini azaltması bakımından vazgeçilmez bir yapıdır. Ayrıca bal peteği çekirdekli sandviç yapılar inşa sektöründe kapılarda, kaymaz hafif zemin panellerinde, ambalaj sektöründe hassas cihaz ve iyi korunması gereken elektronik cihazların taşınmasında kullanımı artan bir şekilde kullanılmaktadır.

Bal peteği sandviç kompozit yapılar, hafiflik, darbe dayanımı ile basma dayanımının yüksek olması, üretilen malzemeye bağlı olarak kimyasallara ve suya karşı dayanıklı olması sebebiyle vidalama, delme, ekleme, tamirat gibi birçok kullanım avantajına sahiptir. Bu avantajlarından faydalanılmak üzere otomotiv, hafif ticari araç, yatçılık, hızlı tren, rüzgâr enerjisi, güneş panelleri, beyaz eşya, prefabrik ev, inşaat,

ambalaj, çanta ve bavul sektörlerinde bal peteği sandviç panelleri kullanılmaktadır [1].

Farklı malzemelerden üretilmiş sandviç yapıların mekanik özellikleri literatürde birçok araştırmaya konu olmaktadır. He ve arkadaşları [2] deneysel, sayısal ve teorik yöntemleri birleştirerek, farklı yapısal konfigürasyonlara sahip bal peteği çekirdekli sandviç panellerin eğme mukavemeti üzerindeki darbe kaynaklı hasarın etkilerini araştırmışlardır. Petek çekirdeği, hücre duvarı kalınlığının artırılması veya yan uzunluğunun azaltılması, petek yapılarının darbe dayanımı performansı üzerinde önemli etkilere sahipken, çekirdek yüksekliğinin artırılması pik yük üzerinde çok az etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Najafî ve arkadaşları [3] dört farklı çekirdek geometrisine sahip sandviç yapılarının eğme dayanımlarını deneysel ve nümerik olarak araştırmıştır. Yük-sehim davranışı, enerji emilimi, numunelerin rijitliği ve yük taşıma kapasitesi değerlendirilmiştir. Çekirdek topolojisinin hücresel tasarımı, hata modu ve sandviç kirişlerin enerji absorpsiyonu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Aslan ve arkadaşları [4] karbon, cam elyaf, alüminyum, polietilen

terafitalat (PET) sert köpük, alüminyum bal peteği ve polietilen (PP) bal peteği çekirdek malzemelerinden oluşan, sandviç panel kompozitlerin mekanik özelliklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre çekirdek malzemelerin, yüzey malzemelerine göre mekanik özelliklere daha fazla etki ettiği belirlenmiştir. Bazı çalışmalarda ise biyomimetik entegre petek plakalarda işleme deliklerinin bası [5] ve eğme mukavemeti [6] üzerine olan etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Tunca ve arkadaşları [7] dışı karbon fiber içi PLA malzemesinden tasarlanan sandviç kompozit plakaların ANSYS ortamında sonlu elemanlar analizini gerçekleştirerek önerilen yeni malzemenin havacılık yapılarında kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Son yıllarda eklemeli imalat yöntemi endüstride giderek daha yaygın kullanım alanları bulmaya başlamış ve birçok araştırmacının da ilgi odağı olmuştur. Eklemeli imalat yönteminde hazırlanan CAD geometrileri, üç boyutlu yazıcılarda katmanlar halinde üretilmektedir. Bu da üretimde karmaşık yapıların kolay bir şekilde üretilmesini sağlamaktadır. Ancak üretim adetleri eklemeli imalatta oldukça düşük sayılarda olmaktadır. Yine de literatür incelendiğinde eklemeli üretimde kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerinin tespit edilmesi üzerine birçok çalışmanın olduğu görülmektedir. Öztürk [8] 3 boyutlu yazıcı ile üretilen dört farklı kompozit sandviç yapının statik ve dinamik yük altında davranışlarını incelemiştir. Sandviç yapılar Bal peteği, Girintili, Yıldız ve Üçgen olarak tasarlanmıştır. Basma, üç nokta eğme ve çarpışma testleri yapılan modellerden Girintili sandviç yapı en iyi mekanik özellikler gösterdiği tespit edilmiştir. Kamer ve arkadaşları [9,10] çok farklı üretim parametreleri altında 3D yazıcıda üretilen çekme test numunelerinin mekanik özelliklerini deneysel olarak incelemiştir. Yapılan testlerde filament renginin çekme numunelerinin mekanik özelliklerine kayda değer etkisinin olmadığı, kullanılan dolgu desenleri arasında Concentric dolgu deseninin en iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Yine bir başka çalışmada ise eğme test numunelerinin mekanik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan üç nokta eğme testlerinde PLA

malzemenin eğme dayanımının ABS malzemenin üstün olduğu, dolgu deseninin eğme dayanımını önemli oranda değiştirdiği tespit edilmiştir [11]. Bal peteği sandviç yapıların üretiminde son yıllarda eklemeli imalat yöntemi de kullanılmaya yaygın olarak başlanmıştır. Buna paralel olarak üç boyutlu yazıcılar kullanılarak üretilen bal peteği sandviç yapıların mekanik özellikleri üzerine literatürde birçok yeni çalışmanın olduğu görülmüştür. Pirouzfaz ve arkadaşları [12] eklemeli imalat ile üretilen petek çekirdekli ve E-cam/epoksi yüzeyli sandviç yapıların eğme özelliklerine geometrik parametrelerin etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Bal peteği yapılar için 1-1,5-2 mm olmak üzere üç hücre duvar kalınlığı ile bal peteğini yatay ve dikey olarak ele almışlardır. Deneyler sonucunda 1,5 mm et kalınlığına sahip yatay bal peteği çekirdekten oluşan yapının maksimum normalize edilmiş enerji absorpsiyonuna sahip olduğunu göstermişler. Ayrıca gerçekleştirilen deneyler sonlu elemanlar yöntemi ile tekrarlanarak deneylerin doğruluğu kontrol edilmiştir. Cheng ve arkadaşları [13] 3D printer ile yazdırılmış hafif petek kompozitlerin hata ve geri kazanım mekanizmalarını deneysel olarak araştırılmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışma sayesinde, 3D baskılı kompozit yapıların gelişmiş mekanik performansını ve ısı uyarısı altında yeniden aynı şekle gelme yetenekleri gösterilmiştir. Ghanbari-Ghazijahani ve arkadaşları [14] üç nokta eğme testi altında 3D baskılı kompozit kirişlerin tasarımını, imalatını ve yapısal testlerini incelemişlerdir. Farklı malzeme bileşimlerine ve baskı yoğunluklarına sahip kirişler tasarlanmış, basılmış ve test edilmiştir. Tüm numunelerde dolgu yoğunluğunun eğme kapasitesini etkilediği tespit edilmiştir. Kirişlerin üst ve alt kısımlarında PLA+ bulunan numunelerin yük taşıma kapasitesi, ahşap flanşlı eşdeğer kirişlere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Zeng ve arkadaşları [15] eklemeli imalat yöntemiyle PLA filamentle sürekli karbon fiberi birlikte kullanarak bal peteği sandviç yapıların basma yükü altında davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan testlerden sürekli karbon fiber takviyeli bal peteği kompozitlerin hafif akıllı sistemler ve enerji emici cihazlarda kullanılabileceğini göstermişlerdir. Dou ve arkadaşları [16] sürekli karbon fiber takviyeli PLA

bal peteği yapılar ile sadece PLA filamentten üretilen bal peteği yapıların darbe dayanımlarını incelemiştir. Deneysel sonuçlara göre sürekli karbon fiber takviyeli bal peteği yapıların darbe kuvveti ve absorbe edilen enerji miktarı, sadece PLA'lı yapılara göre yaklaşık 3-4 katı olduğunu tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada eklemeli imalat yöntemi ile üretilen farklı hücre çaplarında ve farklı malzemelerden üretilmiş bal peteği çekirdek yapısına sahip eğme numunelerinin üç nokta eğme testleri gerçekleştirilmiştir. Literatürdeki birçok çalışmadan farklı olarak, üretilen sandviç numunelerin çekirdek ve yüzey kısımları yapıştırıcı kullanılmadan tek seferde aynı malzemeden üç boyutlu yazıcıda üretilmiştir. Deneylerde hem malzeme etkisi hem de çekirdek hücre çapının eğme dayanımı üzerine etkisi araştırılmıştır. Her bir deney üç kez tekrar edilmekle birlikte toplamda on sekiz adet üç nokta

eğme testi gerçekleştirilmiştir. Testlerde konumlandırma hatasının en aza indirilmesi için özel olarak bu testlere özgün kullanılacak konumlandırma aparatı tasarlanmış, üretilmiş ve deneylerde kullanılmıştır. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda kuvvet – sehim eğrileri elde edilerek yorumlanmıştır.

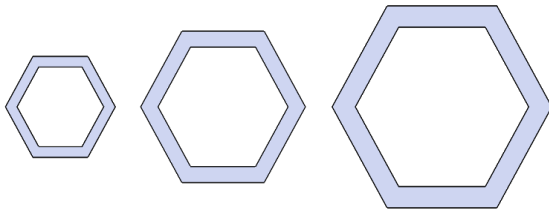
2. MATERYAL VE METOT

2.1. Eklemeli İmalat Yöntemi ile Bal Peteği Yapılarının Üretimi

Bu çalışmada üç boyutlu yazıcı ile farklı malzemelerden üretilen farklı hücre çaplarına sahip bal peteği yapılarının eğme dayanımları deneysel olarak incelenmiştir. Üretilen test numuneleri farklı çaplarda ancak kıyaslama yapılabilmesi için yaklaşık olarak birbirine eşit yüzey alanına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır.

Çizelge 1. Üretilen test numunelerinin hücre çapı ve duvar kalınlığı değerleri

Hücre çapı D (mm)	Hücre duvar kalınlığı t (mm)	Hücre yüzey alanı (mm ²)
6	0,8	3331,33
9	1,2	3410,18
12	1,6	3221,11

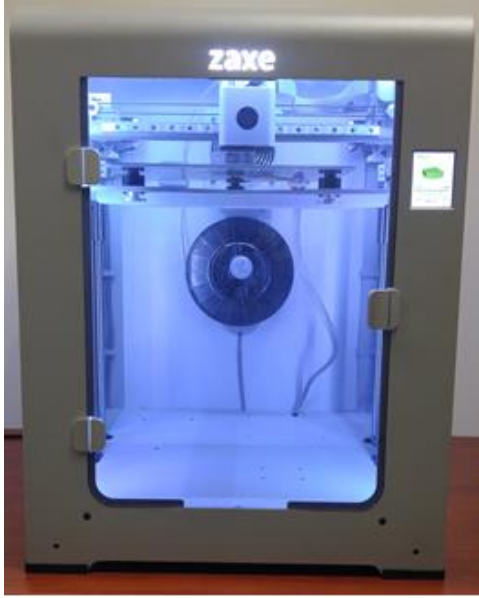


Şekil 1. Farklı hücre çapı ve duvar kalınlıkları için tek bir bal peteği yapısının değişimi

Bu çalışmada kullanılan deney numunelerindeki her bir hücrenin çapı duvar kalınlığı ve buna bağlı olarak elde edilen yüzey alanları Çizelge'1 de gösterilmektedir. Çizelge 1 incelendiğinde 6–9 ve 12 mm hücre çapları için ölçüleri 75 x 200 mm eni ve boyundaki eğme numunelerinin hücre yüzey alanları oldukça birbirine yakın elde edilmiştir. Bu nedenle gerçekleştirilen deneylerde farklı yüzey alanı etkisi en aza indirilmesi hedeflenmiştir.

Şekil 1'de eğme test numunelerinin içyapısını oluşturan bal peteği yapılarının birim altıgenlerin boyutsal değişimleri görülmektedir. 6 mm hücre çapına sahip altıgen yapının duvar kalınlığı da çapına oranla küçük iken 12 mm hücre çapına sahip yapının duvar kalınlığının arttığı görülmektedir. Bu nedenle 6 mm hücre çapına sahip deney numunelerinde çok sayıda hücre bulunurken, hücre çapı büyüdükçe eğme test numunesi içerisindeki hücre sayısı da azalmaktadır.

Eğme numuneleri 1,75 mm çaplı filamentlerden üretilmiştir. Bu çalışmada filament türü olarak üç boyutlu yazıcılarda en çok kullanılan PLA ve ABS malzemeleri tercih edilmiştir. PLA numunelerde mavi renkli Filament Dünyası marka, ABS numunelerde ise siyah renkli Esun marka filamentler kullanılmıştır.



Şekil 2. Test numunelerinin üretiminde kullanılan Zaxe Z1 Plus üç boyutlu yazıcısı

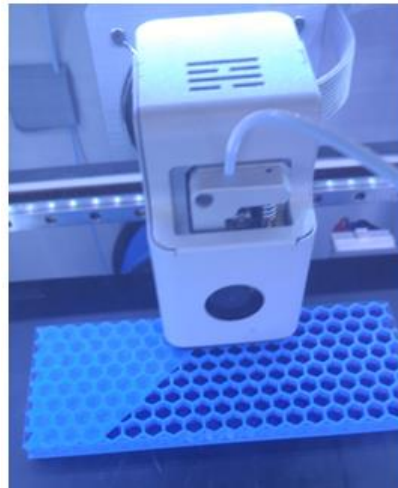
Eğme test numuneleri Zaxe Z1 Plus üç boyutlu yazıcısı kullanılarak üretilmiştir. Yazıcının baskı hacmi X, Y ve Z eksenlerinde sırasıyla 300 mm/300 mm/300 mm olup, 0,4 mm'lik bir nozul kullanılarak, üretim parametreleri, kullanılan malzeme ve parça boyutuna bağlı olarak 50 µm–400 µm arasında hassasiyete sahiptir. Bu çalışmada kullanılan üç boyutlu yazıcının görünümü Şekil 2'de görülmektedir.

Tasarlanan deney numuneleri STL dosya formatına çevrilerek, üç boyutlu yazıcı üretim parametrelerinin belirlenmesi ve G kodlarının oluşturulması için X Desktop CAM yazılımına aktarılmıştır. X Desktop CAM yazılımında belirlenen üretim parametreleri Çizelge 2'de gösterilmektedir. Buna göre her bir test numunesi lines dolgu deseninde ve %100 dolgu yoğunluğu ile üretilmiştir. Ayrıca, numunelerin aynı özelliklerde üretilebilmesi için her bir hücre çapına ait üç farklı G kodu kullanılmıştır. Her bir test numunesi üç boyutlu yazıcı tablasının merkezine konumlandırılmış ve üretilen G kodu her bir numunede ayrı ayrı çalıştırılarak numunelerin mümkün olduğunca eşit şartlarda üretilmesi hedeflenmiştir.

Çizelge 2. X Desktop CAM yazılımında seçilen parametreler

Parametre	Değeri
Yazıcı	Zaxe Z1 Plus
Malzeme	PLA–ABS
Filament Çapı	1,75 mm
Katman Kalınlığı	0,2 mm
Duvar Kalınlığı	0,8/1,2/1,6 mm
Üst/Alt Kalınlığı	0
Dolgu Yoğunluğu	%100
Dolgu Deseni	Lines
Yazdırma Hızı	60 mm/s
Boşta Gezme Hızı	120 mm/s

Eğme test numunelerinin boy, genişlik ve yükseklik uzunlukları ASTM C393-16 standardına uygun olarak üretilmiştir. Numuneler 6-9-12 mm hücre çapında sırasıyla 0,6-0,8-1,2 mm duvar kalınlıklarında, 10 mm hücre yüksekliğinde, 1'er mm alt ve üst plaka kalınlığında olmak üzere üç boyutlu yazıcıda üretilmiştir. Numunelerin dış ölçüleri 75 mm x 200 mm olarak belirlenmiştir. Şekil 3'te eğme numunesinin belirlenen üretim parametreleri altında üç boyutlu yazıcı ile üretimi görülmektedir. Ayrıca, üç boyutlu yazıcı ile üretim aşamasındaki birçok üretim parametresi X Desktop CAM yazılımındaki varsayılan ayarlar kullanılarak üretilmiştir.



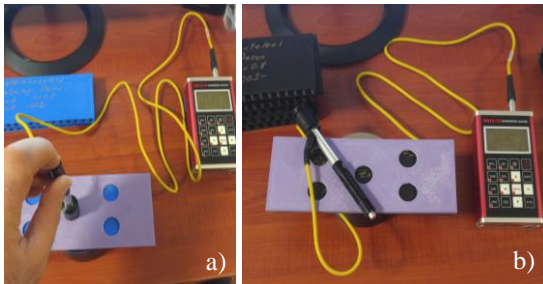
Şekil 3. Eğme numunesinin belirlenen parametreler altında üç boyutlu yazıcı ile üretilmesi

Üretilen eğme test numuneleri birbiri ile aynı özelliklerde olup olmadığının kontrolü ve porozite (boşluk yüzdesi) değerlerinin hesaplanabilmesi için KERN PLS 6200-2A (kapasite: 6.200 g, hassasiyet: 0,01 g) hassas teraziyile kütle ölçümleri yapılmıştır. Üç farklı hücre çapındaki bal peteği eğme numunelerinin hacimleri Solidworks tasarım programından elde edilmiştir. Bu hacim değerlerinden teorik kütleleri hesaplanarak Eşitlik 1'e göre porozite yüzdeleri bulunmuştur.

$$P(\%) = \frac{TK - \ddot{O}K}{TK} \times 100 \quad (1)$$

Burada P porozite yüzdesi, TK teorik kütle ve $\ddot{O}K$ ölçülen kütle olarak tanımlanmaktadır.

Ayrıca PLA ve ABS numunelere eğme deneyi uygulanmadan önce taşınabilir kalem tipi MH210 yüzey sertlik cihazı ile ölçümler yapılmıştır. Ölçüm yapılmadan önce üç boyutlu yazıcıda Şekil 4'de gösterilen eflatun renkli aparat üretilmiştir. Bu aparat, her numunenin mümkün olduğunca aynı noktalarından ölçüm yapılmasını sağlamıştır. Ölçümler, numunelerin alt yüzeyi (üretim esnasında tablaya temas eden yüzey) ile üst yüzeyindeki beş noktanın ölçüm değerlerinin ortalaması alınarak, Çizelge 3'de Shore cinsinden sertlik değerleri çizelgesi düzenlenmiştir. Sandviç yapıdaki hücrelerin bal peteği şeklinde boşluklu olması, sertlik değerleri arasında farklılıklara sebep olmuştur. PLA numunelerinin yüzey sertlikleri, ABS numunelerinin yüzey sertliklerinden daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Eğme numunelerinin yüzey sertliklerinin ölçümlerinin gösterimi a) PLA numunelerin ölçümü b) ABS numunelerin ölçümü

Çizelge 3. PLA ve ABS numunelerin Shore cinsinden yüzey sertlik değerleri

N.No	PLA		ABS	
	Üst yüzey	Alt yüzey	Üst yüzey	Alt yüzey
d6-t08_1	78,1	71,2	63,1	67,0
d6-t08_2	83,3	75,1	62,6	66,0
d6-t08_3	79,9	65,9	63,9	68,2
d9-t12_1	83,2	63,1	76,0	57,7
d9-t12_2	68,7	70,2	62,5	51,5
d9-t12_3	73,2	70,8	60,6	66,7
d12-t16_1	77,0	62,8	53,8	63,3
d12-t16_2	81,4	55,0	60,6	60,5
d12-t16_3	79,7	59,9	52,7	61,2
Ortalama	78,3	66,0	61,8	62,5

2.2. Bal Peteği Yapılarının Üç Nokta Eğme Deneyleri

3 nokta eğme testleri Şekil 5'te gösterilen 100 kN kapasiteli Zwick/Roell marka Z100 tip çekme cihazının basma tarafı ve üç nokta eğme test aparatıyla gerçekleştirilmiştir. Üretilen eğme numunelerinin 3 nokta eğme testlerinde ASTM C393-16 standardı [17] kullanılmıştır. Yapılan testlerde, test hızı 6 mm/dk olarak uygulanmıştır. Testlerin süresi 2 ila 3 dakika arasında gerçekleşmiştir.



Şekil 5. Zwick/Roell marka Z100 tip çekme cihazı

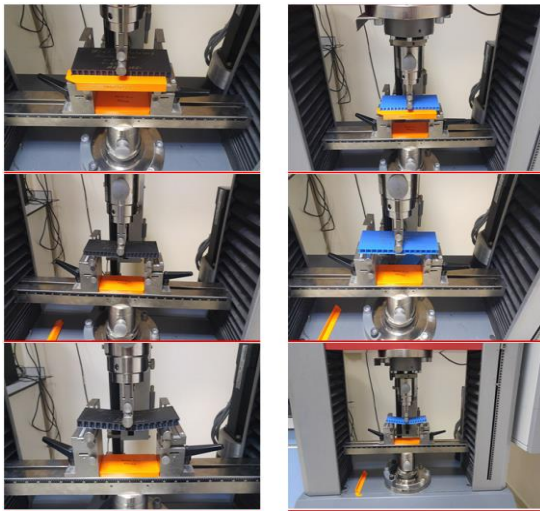
Üç nokta eğme testlerinde karşılaşılan en büyük problemlerden bir tanesi numunelerin eğme aparatı üzerine konumlandırılmasıdır. Yapılan testlerden

daha doğru ve güvenilir sonuçların alınabilmesi için numunenin eğme aparatı üzerinde her defasında aynı yerde konumlandırılması gerekmektedir.



Şekil 6. Eğme testleri için üretilen özel aparat

Bu problemin ortadan kaldırılabilmesi için Şekil 6’te gösterilen iki farklı parçadan oluşan master ekipmanları tasarlanmış ve üç boyutlu yazıcı ile üretilerek testlerde kullanılmıştır. Üretilen bu konum sabitleyici ekipmanlar sayesinde, üretilen tüm eğme numunelerine aynı nokta üzerinden kuvvet uygulanması suretiyle oluşabilecek konumlandırma hataları sıfırlanmıştır. Şekil 7’de ABS ve PLA malzemelerinden üretilmiş eğme numunelerinin, üç nokta eğme testinin yapılış sırasına göre farklı anlardaki durumları ve tasarlanan sabitleme ekipmanının kullanım aşamaları görülmektedir.



Şekil 7. ABS ve PLA numunelerin üç nokta eğme testi sırasında farklı anlardaki durumları

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Üç boyutlu yazıcıda aynı parametrelerde PLA ve ABS filamentler kullanılarak farklı hücre çaplarında üretilen numunelere eğme testi yapılmış ve maksimum eğme kuvvetleri karşılaştırılmıştır.

Bir malzemenin porozite yüzdesi malzemenin mekanik özelliklerini belirlemede etkilidir [18]. Bu yüzden her bir hücre çapındaki numunelerin ölçülen kütle, teorik kütle ve hesaplanan porozite yüzdeleri Çizelge 4 ve 5’de gösterilmiştir. Bu çizelgelerde yoğunluğu $1,31 \text{ g/cm}^3$ olan PLA numunelerinin, yoğunluğu $1,10 \text{ g/cm}^3$ olan ABS numunelerinden daha büyük kütleyle sahip olduğu görülmüştür. Üç farklı hücre çapındaki numunelerin kendi aralarında kütlelerinin birbirine yakın olduğu, hücre çapına göre kütlelerinin büyükten küçüğe doğru d9-d6-d12 şeklinde sıralandığı tespit edilmiştir.

ABS numunelerin porozite yüzdelерinin PLA numunelerin porozite yüzdelерinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun sebebi numuneler arasında fark olmaması için ABS ve PLA numuneler aynı yazdırma hızında yazdırılmıştır. Oysaki ABS numunelerinin katlar arasında daha az boşluklu olması için yazdırma hızının daha düşük olması gerekirdi [19]. Bu yüzden ABS numunelerin PLA numunelere göre daha yüksek porozite oranları çıkmıştır.

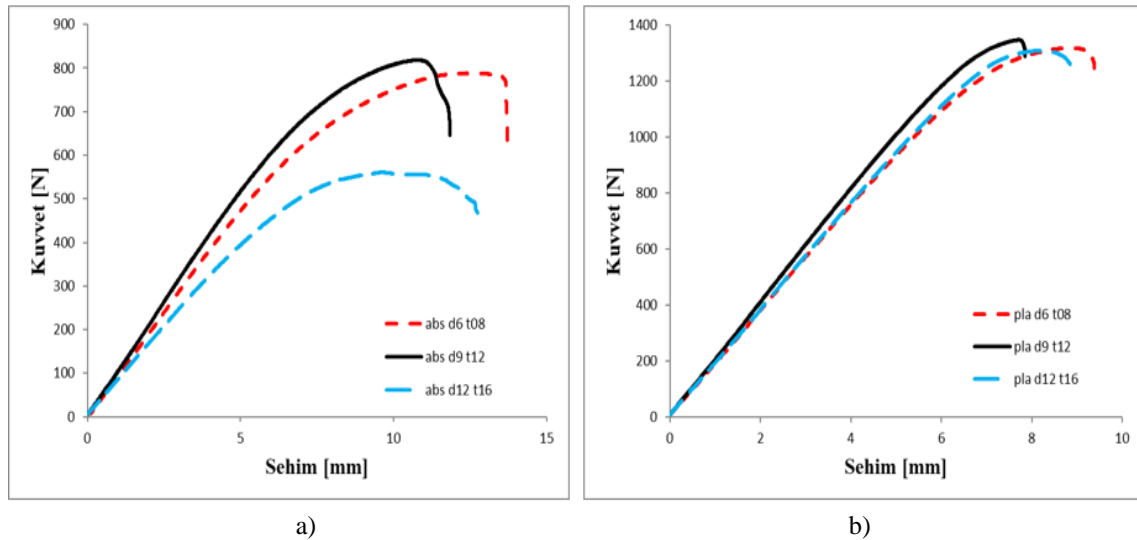
Çizelge 4. PLA numunelerin ölçülen ve hesaplanan kütle değerleri

	NK (g)	NH (g)	NY (g)	NTK (g)	P (%)
d6-t08_1	74,05	63,31	1,17	82,94	10,7
d6-t08_2	74,53	63,31	1,17	82,94	10,1
d6-t08_3	74,81	63,31	1,18	82,94	9,8
d9-t12_1	81,05	64,10	1,26	83,97	3,5
d9-t12_2	80,14	64,10	1,25	83,97	4,6
d9-t12_3	79,76	64,10	1,24	83,97	5,0
d12-t16_1	73,93	62,21	1,18	81,50	9,3
d12-t16_2	73,43	62,21	1,18	81,50	9,9
d12-t16_3	73,85	62,21	1,18	81,50	9,4

N.NO: Numune numarası, NK: Numune kütlesi, NH: Numune hacmi, NY: Numune yoğunluğu, NTK: Numune teorik kütlesi, P(%): Numunenin porozitesi

Çizelge 5. ABS numunelerin ölçülen ve hesaplanan kütle değerleri

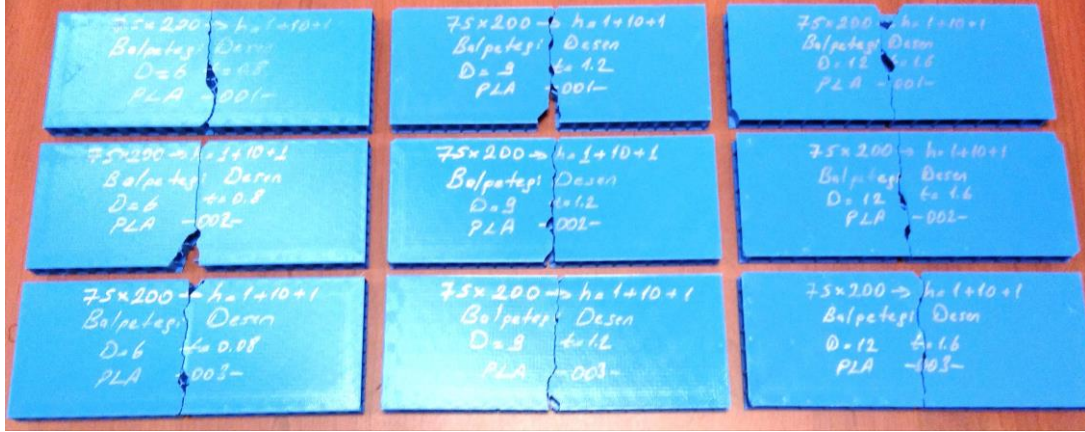
N.No	NK (g)	NH (g)	NY (g)	NTK (g)	P (%)
d6-t08_1	59,80	63,31	0,94	69,64	14,1
d6-t08_2	59,88	63,31	0,94	69,64	14,0
d6-t08_3	59,93	63,31	0,94	69,64	13,9
d9-t12_1	64,66	64,10	1,00	70,51	8,3
d9-t12_2	64,82	64,10	1,01	70,51	8,1
d9-t12_3	62,47	64,10	0,97	70,51	11,4
d12-t16_1	57,23	62,21	0,92	68,43	16,4
d12-t16_2	57,03	62,21	0,91	68,43	16,7
d12-t16_3	57,19	62,21	0,91	68,43	16,4



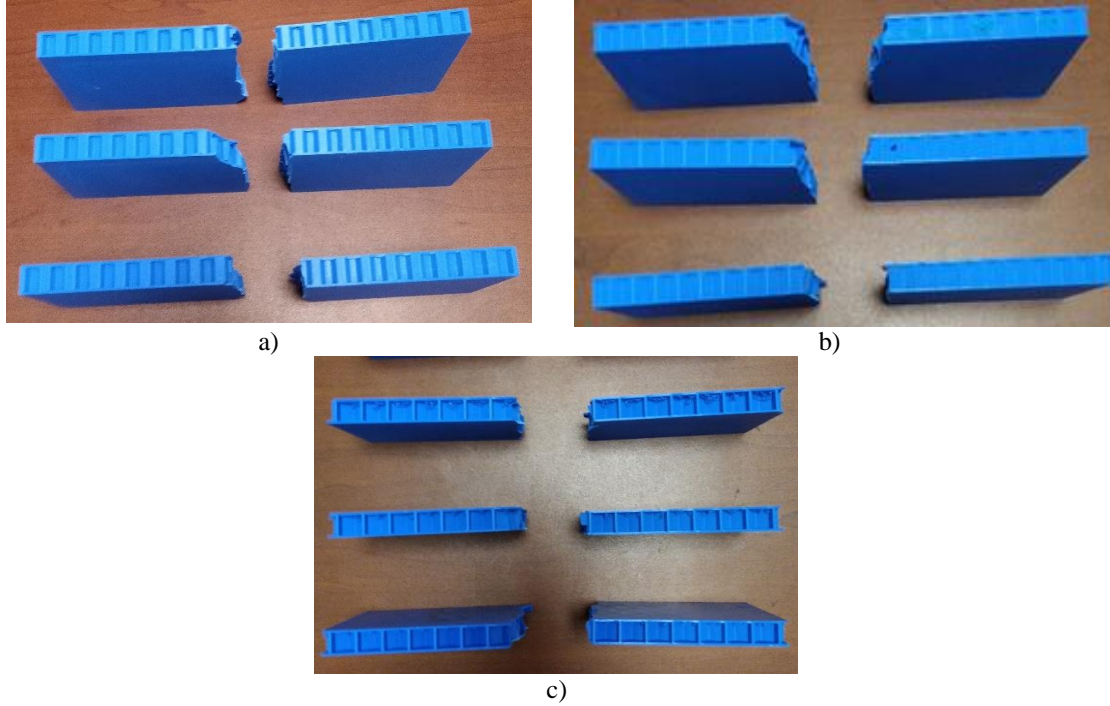
Şekil 8. a) ABS ve b) PLA numunelerin eğme testi sonrası kuvvet – sehim grafiği

PLA ve ABS malzemelerden üretilen numunelerin üç nokta eğme testleri sonucunda elde edilen ortalama kuvvet-sehim grafikleri Şekil 8 a) ve 8 b)'de gösterilmektedir. Her iki malzemeden üretilen numunelerde hücre çapı 9 mm olduğu durumda en yüksek dayanımın olduğu görülmektedir. En düşük kuvvet değerlerinin ise 12 mm hücre çapına sahip numunelerde olduğu görülmektedir. Ayrıca hücre çapı değişiminin ABS malzemesinden üretilen numunelerde PLA malzemesinden üretilen numunelere göre çok daha etkili olduğu görülmektedir. Ayrıca ABS

malzemelerin PLA malzemelerine göre yaklaşık %50 daha fazla esnediği ve daha sünek davrandığı görülmektedir. Bununla birlikte PLA malzemesinden üretilen eğme numunelerinin ABS'den üretilen numunelere göre yaklaşık olarak %50 daha fazla yük taşıdığı tespit edilmiştir. Şekil 9 ve 10'da PLA numunelere ait eğme testi sonrası görüntülerde görüldüğü üzere eğme testi yapılan üç farklı hücre çapındaki PLA numuneler gevrek davranış göstermiştir. Numunelerin tamamı kırılarak iki parçaya ayrılmıştır.



Şekil 9. PLA numunelerin eğme testi sonrası üst görünüşleri



Şekil 10. PLA numunelerin eğme testi sonrası ön görünüşleri a) 6x0.8 mm b) 9x1.2 mm c) 12x1.6 mm

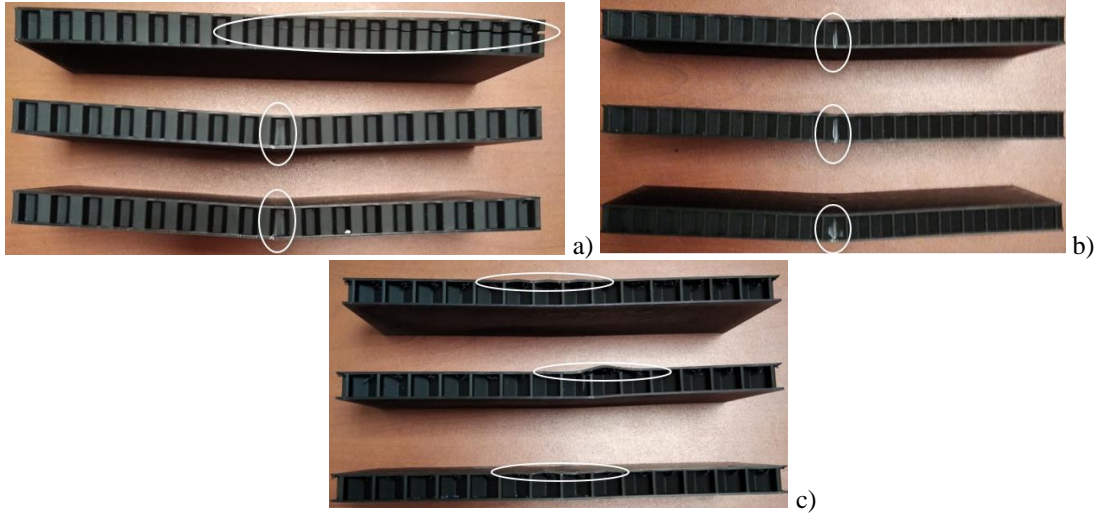
Şekil 11, 12 ve 13'de ABS numunelere ait farklı görünüşlerdeki eğme testi sonrası görüntüler gösterilmektedir. ABS numunelerde PLA numunelerdeki gibi kırılma gerçekleşmediği görülmekte olup, Şekil 11'de işaretli bölgelerde numunelerin hücre çapı büyüdükçe üst yüzey ile çekirdek arasında delaminasyonlar gerçekleşmiştir. Şekil 12'a'da 1 numaralı numune eğme yüküne

maruz kaldığında çekirdekte delaminasyon oluşmuştur. Şekil 12 ve 13'de numunelere üstten uygulanan kuvvetin hizasında alt yüzey ve çekirdekte çatlaklar oluşmuştur. Çekme gerilmesine maruz kalan alt yüzeydeki bölgede numunelerin hücre çapı büyüdükçe birim alandaki hücre sayısı azaldığından dolayı hasarın azaldığı tespit edilmiştir.

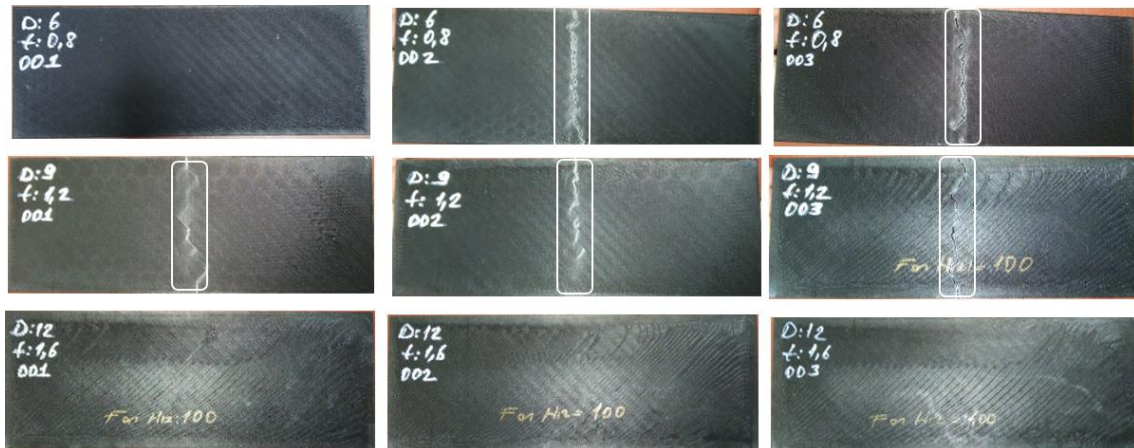
3 Boyutlu Yazıcı ile Üretilen Farklı Hücre Çaplarındaki Bal Peteği Sandviç Yapıların Eğme Dayanımlarının İncelenmesi



Şekil 11. ABS numunelerin eğme testi sonrası üst görüşleri



Şekil 12. ABS numunelerin eğme testi sonrası numune sırasına göre ön görüşleri a) 6x0.8 mm b) 9x1.2mm c) 12x1.6mm



Şekil 13. ABS numunelerin eğme testi sonrası alt görüşleri a) 6x0.8mm b) 9x1.2mm c) 12x1.6mm

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, eklemeli imalat yöntemi ile ABS ve PLA malzemelerinde üretilen çekirdek kısımları farklı bal peteği hücre boyutlarına sahip sandviç eğme deney numunelerinin, üç nokta eğme testleri deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde aynı yüzey alanına ve farklı geometrik özelliklere sahip bal peteği yapılarının eğme dayanımı üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Her iki filamentten farklı hücre çaplarında üretilen numunelerin kuvvet–sehim grafiklerinde elastik bölgelerin birbirine yakın olduğu belirlenmiştir.
- Hücre çapı 9 mm olan numunelerde, en yüksek eğme mukavemet değeri görülmüştür. Hücre çaplarının farklı porozite yüzdelere sahip olması kütle farkına sebep olmuş, numunelerin kütle değerlerinin mukavemet değerlerinde etkili olduğu görülmüştür.
- PLA filament numunelerinden elde edilen eğme mukavemet değeri ABS filament numunelerinden elde edilen eğme mukavemet değerinden yaklaşık %50 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- ABS numunelerde PLA numunelere göre daha fazla sehim gerçekleşmiştir. Dolayısıyla ABS malzemedeki üretilen numunelerin daha sünek yapıda olduğunu göstermektedir.
- PLA numunelerin ABS numunelerine göre yüzey sertlik değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Deney esnasında PLA malzemedeki üretilen üç farklı hücre çapındaki numunelerin hepsinin orta bölgeden kırıldığı, ABS numunelerinde ise kırılmanın olmadığı görülmüştür. Bu durumun literatüre uygun olarak, yüzey sertliği yüksek malzemelerin eğme yüküne karşı daha rijit ve kırılma davranışı ile açıklanabilir [20].

- Numuneler geleneksel üretimin dışında çekirdek ve yüzey yapıştırıcı kullanmadan eklemeli imalat yöntemiyle birlikte üretilmiştir. Eğme yüküne maruz kalan bu numunelerde, yüzey ve çekirdeğin birbirinden ayrılmadığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın ardından, farklı hücre çapına sahip sandviç yapıların basma, darbe dayanımları da incelenecektir. Ayrıca, gerçekleştirilen deneylerin nümerik olarak bir sonlu elemanlar programı yardımıyla doğrulanması da hedeflenmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma; İnönü Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FDK-2020-2349 nolu proje ile desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. HexaPan Honeycomb Uygulamalar. <https://www.hexapan.com/tr/uygulamalar> (Erişim Tarihi:10.03.2021).
2. He, W., Lu, S., Wang, S., Sun, G., Hu, Z., 2019. Residual Flexural Properties of CFRP Sandwich Structures with Aluminum Honeycomb Cores after Low-Velocity Impact. *International Journal of Mechanical Sciences*, 161–162, 105026.
3. Najafi, M., Ahmadi, H., Liaghat G.H., 2022. Investigation on the Flexural Properties of Sandwich Beams with Auxetic Core. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 44–61.
4. Aslan, M., Güler, O., Alver, Ü., 2018. The Investigation of the Mechanical Properties of Sandwich Panel Composites with Different Surface and Core Materials. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 24(6), 1062–1068.
5. Chen, J., He, C., Gu, C., Liu, J., Mi, C., Gui, S., 2014. Compressive and Flexural Properties of Biomimetic Integrated Honeycomb Plates. *Materials and Design*, 64, 214–220.
6. Zhou, M., Xie, J., Chen, J., Liu, C., Tuo, W., 2015. The Influence of Processing Holes on the

- Flexural Properties of Biomimetic Integrated Honeycomb Plates. *Materials and Design*, 86, 404–410.
7. Tunca, E., Kafalı, H., 2021. Compression and Three-Point Bending Analyzes of Aerospace Sandwich Composites Produced with Polymeric Core Materials using ANSYS. *European Journal of Science and Technology*, 31(1), 553 – 561.
 8. Öztürk B., 2020. 3 Boyutlu Yazıcı ile Üretilen Sandviç Yapıların Statik ve Dinamik Yük Altında Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, 62.
 9. Kamer, M.S., Temiz, Ş., Yaykaşlı, H., Kaya, A., 2021. Investigation of the Mechanical Properties of Tensile Test Samples Produced in Different Colors and Different Infill Patterns with A 3D Printer. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26(3), 829-848.
 10. Kamer, M.S., Temiz, Ş., 2021. Investigation of the Mechanical Properties of Tensile Test Samples Produced With A 3d Printer Using Different Bed and Nozzle Temperatures with ABS and PLA Filaments. *KSU J Eng Sci*, 24(4), 341–358.
 11. Kamer, M.S., Dogan, O., Temiz, Ş., Yaykaşlı, H., 2021. Investigation of the Mechanical Properties of Flexural Test Samples Produced Using Different Printing Parameters with a 3D Printer. *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering*, 36(3), 835–846.
 12. Pirouzfard, S., Zeinedini, A., 2021. Effect of Geometrical Parameters on the Flexural Properties of Sandwich Structures with 3D-Printed Honeycomb Core and E-Glass/Epoxy Face-Sheets. *Structures*, 33, 2724–2738.
 13. Cheng, Y., Li, J., Qian, X., Rudykh, S., 2021. 3D Printed Recoverable Honeycomb Composites Reinforced by Continuous Carbon Fibers. *Composite Structures*, 268, 113974.
 14. Ghanbari-Ghazijahani, T., Kasebahadi, M., Hassanli, R., Classen, M., 2022. 3D Printed Honeycomb Cellular Beams Made of Composite Materials (Plastic and Timber). *Construction and Building Materials*, 315, 125541.
 15. Zeng, C., Liu, L., Bian, W., Leng, J., Liu, Y., 2021. Compression Behavior and Energy Absorption of 3D Printed Continuous Fiber Reinforced Composite Honeycomb Structures with Shape Memory Effects. *Additive Manufacturing*, 38, 101842.
 16. Dou, H., Ye, W., Zhang, D., Cheng, Y., Huang, K., Yang, F., Rudykh S., 2021. Research on Drop-weight Impact of Continuous Carbon Fiber Reinforced 3D Printed Honeycomb Structure, *Materials Today Communications*, 29, 102869.
 17. ASTM-C393/C393M-16, Standard Test Method for Core Shear Properties of Sandwich Constructions by Beam Flexure, 2016.
 18. Uşun, A., Gümrük, R. 2021. The Mechanical Performance of the 3D Printed Composites Produced with Continuous Carbon Fiber Reinforced Filaments Obtained via Melt Impregnation, *Additive Manufacturing*, 46, 102112.
 19. ABS ve PLA Filament Karşılaştırması. <https://www.boyutkat.com/3d-yazici-filament/filament-karsilastir/abs-vs-pla-filament-karsilastirmasi/> (Erişim Tarihi: 15.11.2021).
 20. Arola, A.M., Kaijalainen, A., Kesti, V., Troive, L., Larkiola, J., Porter, D., 2021. The Effect of Mechanical Behavior on Bendability of Ultrahigh-Strength Steel. *Materials Today Communications*, 26, 101943.

Fotovoltaik Bir Panelin Matlab@Simulink ile Modellenmesi ve Dış Ortam Koşullarındaki Davranışının İncelenmesi

İlyas ALADAĞ¹ ORCID 0000-0003-1897-4332
Bülent YANIKTEPE^{*2} ORCID 0000-0001-8958-4687

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadiri Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Osmaniye

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

Geliş tarihi: 22.02.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: ALADAĞ, İ., YANIKTEPE, B., (2022). Fotovoltaik Bir Panelin Matlab@Simulink ile Modellenmesi ve Dış Ortam Koşullarındaki Davranışının İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 471-481.

Öz

Temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi sera gazı emisyonu oluşturmaması, sınırsız kaynak potansiyeli ve kaynak erişilebilirliği gibi olumlu etkileri nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir. Bu nedenle ülkemizde güneş enerjisi santrallerinden elektrik üretimi oldukça yaygındır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi, fotovoltaik (FV) hücrelerin güneş ışınımını elektrik enerjisine dönüştürmesi ile gerçekleşmektedir. Bu çalışmada Matlab@Simulink yazılımında modellenen monokristal (c-Si) yapıdaki bir FV panelin laboratuvar ve dış ortam koşullarındaki davranışları karşılaştırılmıştır. Daha sonra Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi çatısına kurulan sistem ile dış ortam koşullarında bulunan FV panelin performans sonuçları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre model ve deneysel sistemin birbirleriyle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, FV modelleme, Matlab@Simulink, Dış ortam koşulları

Modeling of Photovoltaic Panel with Matlab@Simulink and Investigation of Behaviour in Outdoor Conditions

Abstract

Solar energy, which is one of the clean and renewable energy sources, is frequently preferred due to its positive effects such as not generating greenhouse gas emissions, unlimited resource potential and resource accessibility. Therefore, electricity generation from solar power plants is quite common in our country. The generation of electricity from solar energy occurs by converting solar radiation into electrical energy from photovoltaic (PV) cells. In this study, the behavior of a monocrystalline (c-Si) PV panel modeled in the Matlab@Simulink software under laboratory and outdoor conditions was compared. Then, the performance results of the system installed on the roof of Osmaniye Korkut Ata University

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Bülent YANIKTEPE, byaniktepe@osmaniye.edu.tr

Engineering Faculty and the PV panel in outdoor conditions were examined. According to the results, it was observed that the model and the experimental system were compatible with each other.

Keywords: Solar energy, PV modelling, Matlab@Simulink, Outdoor conditions

1. GİRİŞ

Enerji, ülkelerin ekonomik kalkınma planlarında önemli bir yere sahiptir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerdeki nüfus artışı, gelişen tarım ve sanayi sektörleri gibi etkenlerden dolayı enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır. Uzun yıllardan beri temel enerji kaynağı olarak fosil yakıtlar kabul görmektedir. Ancak fosil yakıtların kaynak potansiyellerinin azalması, çevreye sera gazı emisyonu yayması ve tükenbilir yapılarından dolayı alternatif enerji kaynaklarına yönelim artmaktadır [1,2]. Bu nedenle ülkemizde de temiz ve ucuz enerji arayışı devam etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları çevre dostu olması, sürdürülebilir ve tükenmez yapısından dolayı ülkelerin enerji politikalarında sıklıkla tercih edilmektedir. Ancak yüksek kurulum maliyeti, malzeme ve bakım işlemleri gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi ülkemizdeki mevcut potansiyeli nedeniyle son yıllarda tercih edilmektedir. Bu potansiyel FV sistemler kullanılarak elektrik üretimine katkı sağlamaktadır. FV sistemler güç santralleri olarak kullanılmalarının yanı sıra uydu sistemleri, elektrikli araçlar gibi alanlarda da sıklıkla kullanılmaktadır. FV güç santrallerinin kurulumundan önce planlanan bölge ve alanlar için ön fizibilite çalışması yapılarak kurulacak sistem hakkında karakteristik özellikler araştırılmaktadır. FV sistemlerin enerji çıktılarını belirlemede iki önemli parametre bulunmaktadır. Bunlar güneş ışınımı ve hücre sıcaklığıdır. FV hücrelerin performansları veri sayfalarında standart test koşulları (STC, güneş ışınımı 1000 W/m^2 , sıcaklık $25 \text{ }^\circ\text{C}$) için verilmektedir. Ancak FV panellerin gerçek ortam koşullarındaki performansları hakkında bilgi sahibi olunması son derece önemlidir. Bu amaçla FV sistemlerin model sonuçlarının yanı sıra gerçek ortam koşullarında gösterdiği performans sonuçları da dikkatle incelenmektedir.

Son yıllarda hem ülkemizde hem de diğer birçok ülkede güneş enerjisine olan ilgi ve çalışmalar artmaktadır. Literatürde ise FV sistemlerin modellenmesi ve dış ortam koşullarındaki karakteristiklerinin incelenmesi üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Kichou ve arkadaşları üç farklı FV panel teknolojilerinin dış ortam koşullarındaki davranışlarını inceleyerek performanslarını karşılaştırmışlardır. Çalışmanın gerçekleştirildiği bölge nemli bir karasal iklim yapısına sahiptir. Elde edilen sonuçlar ise mevsimsel olarak değerlendirilmiştir. Kış aylarında c-Si ve çoklu-kristal (mc-Si) yapıya sahip FV paneller daha iyi performans gösterirken yaz aylarında ise ince film (CdTe) FV hücre yapısına sahip paneller daha iyi performans sergilemiştir [3]. Elibol ve arkadaşları Düzce, Türkiye iklim koşullarında c-Si, mc-Si ve amorf silikon (a-Si) yapıdaki panellerin verimliliklerini bir yıllık süre boyunca analiz etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar neticesinde panellerin performans oranları sırasıyla %73, %81 ve %91 olarak bulunmuştur ve bu sonuçların literatürdeki çalışmalarla uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca yaptıkları istatistiksel analiz ile $1 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık artışında a-Si ve mc-Si panellerindeki verimliliğin arttığı m-Si panellerdeki verimliliğin ise azaldığı gözlemlenmiştir [4]. Polo ve arkadaşları FV dizilerin performanslarının analizinde önemli bir giriş parametresi olan ışınım ölçümü üzerine detaylı bir araştırma yapmışlardır. Çalışmada termopil piranometreler ve kalibre edilmiş kristal silikon ışınım ölçer güneş pilleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda küçük güçlü çatı üstü sistemlerde kullanılan kalibre edilmiş kristal silikon ışınım ölçerlerin daha yüksek doğrulukta sonuçlar verdiği belirtilmiştir [5]. Cañete ve arkadaşları Güney İspanya'nın meteorolojik koşulları için dört farklı FV panel teknolojisinin enerji performanslarını incelemişlerdir. FV paneller üç adet ince film ve bir adet polikristal yapıdadır. Çalışmada panellerin akım-gerilim (I-V) eğrileri elde edilerek performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Sonuç olarak incelenen bölge için ince

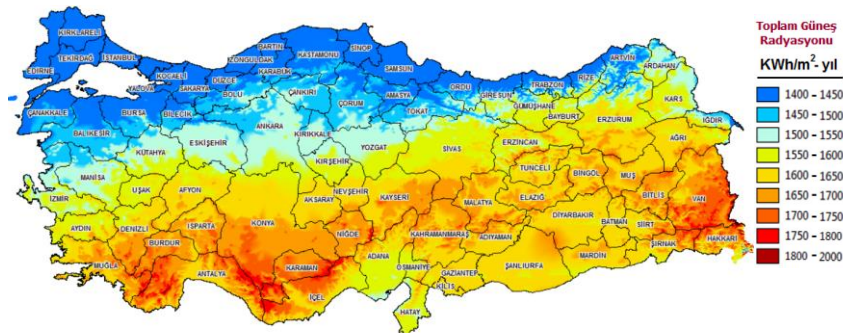
film panel performanslarının daha iyi olduğu gözlemlenmiştir [6]. Üstün ve arkadaşları Fukushima, Japonya iklim koşullarında bulunan FV sistemlerin performansını iki yıllık bir gözleme dayalı olarak değerlendirmişlerdir. Farklı türlerdeki teknolojilerin detaylı karşılaştırması yapılmıştır ve tipik bir güneş enerjisi santrali (GES) için enerji maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde tipik bir GES'in 20 yıllık ömrü göz önüne alındığında, FV teknolojisi seçiminin maliyetleri %55'e kadar azaltabileceği gösterilmiştir [7]. Aboagye ve arkadaşları Gana'nın farklı konumlarında kurulu olan c-Si, mc-Si ve a-Si yapıdaki üç farklı FV panel türünün dış ortam koşullarındaki davranışını inceleyerek panellerin yıllar içerisindeki bozulma indeksini elde etmişlerdir. Çalışma sonucunda üretici veri sayfasında yaklaşık 25 yıl kullanım ömrü biçilen FV panellerin daha kısa kullanım ömürlerine sahip olduğu sonucuna varmışlardır [8]. Gaglia ve arkadaşları FV panellerin veri sayfalarında verilmiş olan verimlilik değerleri ile dış ortam koşullarında gösterdiği verimlilik değerlerini karşılaştırmak üzere Atina, Yunanistan iklim koşulları için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma farklı iklim koşulları göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir ve dış ortam koşulları sonuçlarının laboratuvar STC koşullarına göre verimlilik açısından %18 daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır [9].

Bu çalışmada c-Si yapıdaki bir FV panelin STC ve dış ortam koşullarındaki davranışlarını karşılaştırmak amaçlanmıştır. İlk olarak FV panelin matematiksel modeli oluşturulmuştur ve

Matlab@Simulink programında panel modellenmiştir. Sonrasında dış ortam etkilerini gözlemlemek amacıyla Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binası çatısına deneysel sistem kurulumu gerçekleştirilmiştir. Deneysel sistemde bulunan sıcaklık ve güneş ışınımı sensörlerinden elde edilen veriler model çalışmasında giriş değişkenleri olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde model ve deneysel verilerin uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca yağmur, bulutluluk ve sıcaklık gibi dış ortam koşullarının FV panelin enerji üretiminde doğrudan etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

2. TÜRKİYE VE OSMANİYE'NİN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

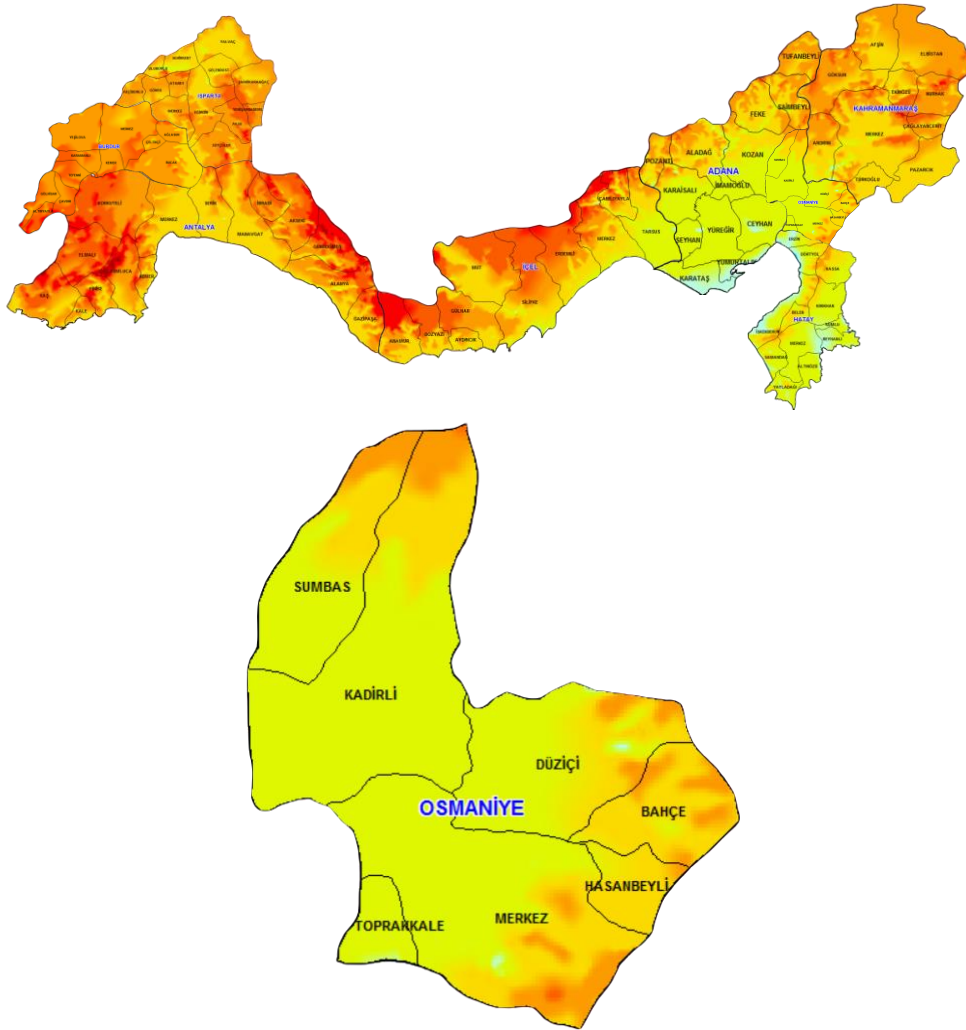
Türkiye'de 2010 yılında, uluslararası platformda kanıtlanmış bir model olan "ESRI Güneş Radyasyon Modeli" kullanılarak farklı noktalar ve bölgeler hakkında güneş kaynak bilgileri temeline dayanan bir Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) oluşturulmuştur. Bu harita ortalama olarak ± 10 hata payına sahiptir ve elde edilen bilgiler Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nün 1985-2006 yılları arasındaki 22 yıllık saatlik güneş ölçüm verileri ile doğrulanarak kalibre edilmiştir. GEPA'ya göre yıllık toplam güneşlenme süresi 2741,07 saat, ortalama günlük toplam güneşlenme süresi 7,5 saat, ortalama yıllık toplam ışınım şiddeti $1527,46 \text{ kWh/m}^2$, ortalama günlük toplam ışınım şiddeti ise $4,18 \text{ kWh/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 1'de Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası verilmiştir [10].



Şekil 1. Türkiye'nin GEPA görünümü [10]

Şekil 1'deki GEPA görünümü incelenecek olursa ülkemizin Kuzey bölgelerinden Güney bölgelerine doğru gidildikçe güneş enerjisi potansiyelinin arttığı görülmektedir. Karadeniz bölgesi, Marmara Bölgesi ve Ege Bölgesinin kuzey kesimleri yağmurlu gün sayısı ve coğrafi konumlarından dolayı en az seviyede güneşlenme ve güneş ışınımı şiddetine sahip olan bölgelerdir. Akdeniz, İç Anadolu, Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve

Ege Bölgesinin güney kesimleri ise yüksek seviyede güneşlenmeye ve güneş ışınımı şiddetine sahiptir. Bu güneş ışınımı atlası göz önünde bulundurularak güneş enerjisinden elektrik üretimine dair yatırıma elverişli bölgeler hakkında ön fikir edinilebilir. Şekil 2'de Akdeniz Bölgesine ve Osmaniye iline ait GEPA görünümü bulunmaktadır.



Şekil 2. Akdeniz bölgesi ve Osmaniye'nin GEPA görünümü [10]

Şekil 2 incelendiğinde Akdeniz bölgesi ve Osmaniye'nin önemli bir güneş ışınım şiddeti potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Şehrin

özellikle Kuzey, Doğu ve Güney kısımlarında ışınım şiddeti artmaktadır. GEPA'ya göre şehrin, yıllık olarak ortalama toplam ışınım şiddeti 4,26

kWh/m²-gün, güneşlenme süresi ise 8,1 saattir. Bu değerler göz önüne alındığında Osmaniye hem ortalama ışınım şiddeti hem de güneşlenme süresi bakımından Türkiye ortalamasının üzerinde değerlere sahiptir. Ayrıca Osmaniye topoğrafik olarak GES kurulumu için yatırıma oldukça uygun bir yapıya sahiptir. Yatırıma uygun alanlara sahip olması nedeniyle Osmaniye'nin farklı alanlarında birçok GES bulunmaktadır. Ayrıca Osmaniye ili güneş enerjisinin yanı sıra diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanarak Türkiye'nin kurulu gücüne katkı sağlamaktadır. Çizelge 1'de Osmaniye'nin kaynak türlerine göre kurulu güçleri ve bu güçlerin yüzdelik oranları verilmiştir.

Çizelge 1. Osmaniye ilinin kurulu güç dağılımı [11]

	Kurulu Güç (MW)	Yüzde (%)
Hidroelektrik	815,48	70,00
Rüzgâr	265,3	22,77
Güneş	81,1	6,96
Biyogaz	3,12	0,27
Toplam	1165	100

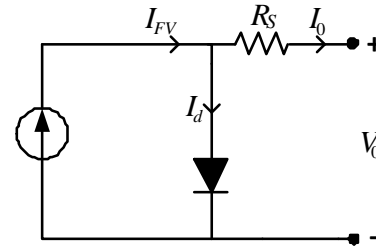
Çizelge 1'de görüldüğü üzere Osmaniye'nin üretim potansiyeli bakımından en yüksek kaynağı 815,48 MW güce sahip olan hidroelektrik enerji santralleridir ve şehrin %70'lik enerji üretim oranını kapsamaktadır. Ardından 265,3 MW kurulu güce sahip olan rüzgar enerji santralleri gelmektedir ve %22,77'lik enerji üretim payına sahiptir. Güneş enerjisi santrallerinde ise 81,1 MW'lık bir kurulu güç mevcuttur ve şehrin %6,96'lık enerji üretim payını karşılamaktadır. Son olarak şehirde 3,12 MW'lık kurulu güce sahip olan bir adet biyogaz enerji üretim santrali bulunmaktadır. Bu santral şehrin hem atıklarının değerlendirmekte hem de enerji üretimine katkı sağlamaktadır. Ürettiği güç değeri ise şehrin %0,27'lik oranını kapsamaktadır [11].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. FV Panelin Modellenmesi

Bellini ve arkadaşları giriş değişkenleri güneş ışınımı ve hücre sıcaklığı olan çıkış değişkenleri ise akım, gerilim ve güç olan tek diyot devre

modeli temelli bir FV sistem modellemesi gerçekleştirmişlerdir [12]. Bu modelde FV panel akımı, gerilimin bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada, [12]'de oluşturulan devre modeli referans alınmıştır. Tek diyot devre modelinin elektriksel eşdeğer devre yapısı Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Basite indirgenmiş tek diyot temelli FV hücrenin elektriksel eşdeğer devre modeli

Şekil 3'te verilen eşdeğer devre modelinin çıkış akımı (I_0) değeri aşağıdaki matematiksel ifade ile bulunabilir (Eşitlik 1).

$$I_0 = I_{sc} \left[1 - K_a \left(e^{\left(\frac{V_0}{K_b V_{oc}} \right)} - 1 \right) \right] \quad (1)$$

Burada,

$$K_a = \left(1 - \frac{I_{mpp}}{I_{sc}} \right) e^{\left(\frac{-V_{mpp}}{K_b V_{oc}} \right)} \quad (2)$$

$$K_b = \frac{\left(\left(\frac{V_{mpp}}{V_{oc}} \right) - 1 \right)}{\ln \left(1 - \left(\frac{I_{mpp}}{I_{sc}} \right) \right)} \quad (3)$$

Eşitlik 2 ve 3'te verilmiş olan K_a ve K_b katsayıları FV panelin veri sayfası değerlerine göre belirlenebilmektedir ve bu katsayılar panel teknolojilerinin türlerine göre farklılık göstermektedir. Bu veri sayfalarından elde edilen parametrelerin ışınım ve/veya sıcaklıkla olan ilişkileri aşağıdaki gibidir [12].

$$I_{sc}(G, T_c) = I_{scs} \frac{G}{G_s} [1 + \alpha(T_c - T_s)] \quad (4)$$

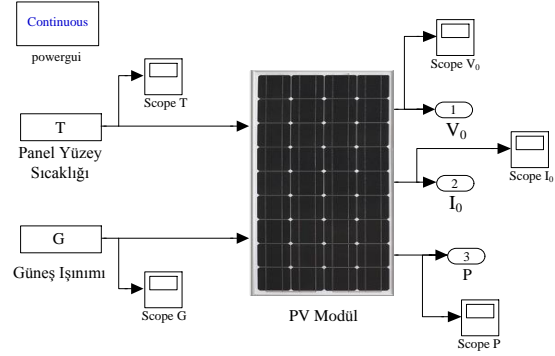
$$I_{mpp}(G, T_c) = I_{mpp} \cdot \frac{G}{G_s} [1 + \alpha(T_c - T_s)] \quad (5)$$

$$V_{oc}(T_c) = V_{oc} + \beta(T_c - T_s) \quad (6)$$

$$V_{mpp}(T_c) = V_{mpp} + \beta(T_c - T_s) \quad (7)$$

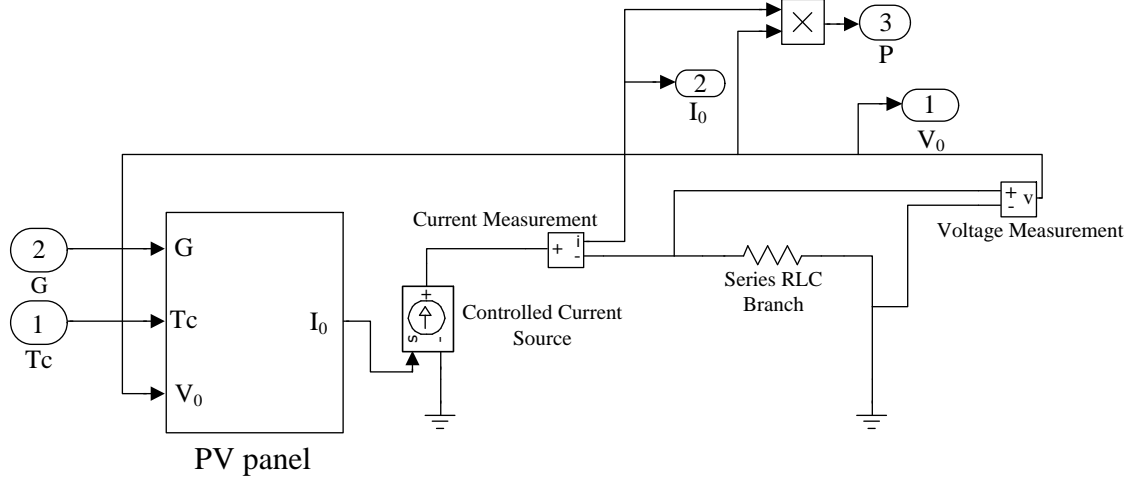
STC için tanımlı olan I_{sc} , I_{mpp} , V_{oc} ve V_{mpp} parametreleri panelin üretici veri sayfalarında bulunmaktadır. Bu parametreler sırasıyla panelin kısa devre akımı, maksimum akımı, açık devre gerilimi ve maksimum gerilim değerleridir. Işınım şiddeti ve hücre sıcaklığı ise sırasıyla G ve T_c değerleridir. Laboratuvar ortamı için referans alınan ışınım şiddeti ve hücre sıcaklığı değerleri sırasıyla $G_{STC}=1000 \text{ W/m}^2$ ve $T_{STC}=25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Ayrıca FV panelin akım ve geriliminin değişimlerini etkileyen kısa devre akımı sıcaklık katsayısı (α) ve açık devre geriliminin sıcaklık katsayısı (β) da panellerin veri sayfalarında

bulunmaktadır. Oluşturulan FV modelin Matlab@Simulink blok yapısı Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. FV panel modelinin Matlab@Simulink bloğu

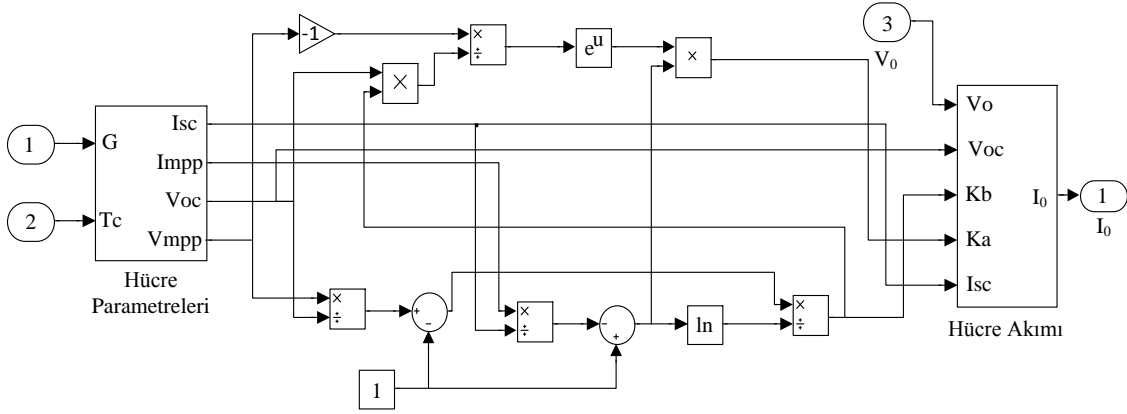
Burada FV modelin giriş ve çıkış parametreleri görülmektedir. Giriş ve çıkış parametrelerinin anlık değişimleri osiloskoplar ile doğrudan gözlemlenebilmektedir. Oluşturulan FV modülün alt blok şeması ise Şekil 5'teki gibidir.



Şekil 5. FV modülün alt model bloğu

Bu alt blokta panelin çıkış akımı ve gerilim değerlerini izleyebilmek amacıyla bir elektriksel direnç yükü bağlanmıştır ve bu yük direnci

üzerinden modelin akım, gerilim ve güç değerleri ölçülmüştür. Son olarak FV panel bloğunun bir alt blok şeması Şekil 6'da verilmiştir.



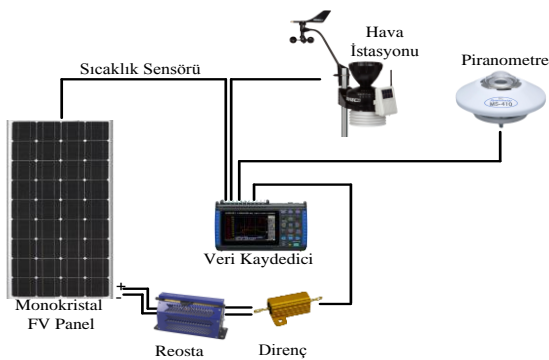
Şekil 6. FV panelin alt model bloğu

Bu blok şemasında (4-7) arasındaki eşitlikler kullanılarak hücre parametreleri bloğu elde edilmiştir. Bu blokta FV panelin veri sayfası değerlerinden faydalanılmaktadır, daha sonra ise (1-3) arasındaki eşitlikler kullanılarak FV hücre çıkış akımı elde edilmektedir.

3.2. Deneysel Sistem Kurulumu

Deneysel sistem, 37.00° Kuzey enlemi 36.2° Doğu boylamındaki Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi (OKÜ) Karacaoğlan Yerleşkesi Mühendislik Fakültesi binasının çatı katına kurulmuştur. FV panelin dış ortam koşullarındaki ışınım, dış ortam sıcaklığı, panel sıcaklığı gibi atmosferik giriş değişkenleri ve akım, gerilim, güç gibi elektriksel çıkış parametrelerini ölçmek amacıyla Şekil 7'deki şematik sistem tasarlanmıştır.

Deneysel sistemde kullanılan ekipmanlar sırasıyla, 90 W'lık maksimum güce sahip bir c-Si FV panel, panelin yüzey sıcaklığını ölçmek için PT100 ($\pm 0,3^{\circ}\text{C}$) sıcaklık sensörü, güneş ışınımını ölçmek için MS-410 piranometre ($10\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ hassasiyete sahip), ortam sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), rüzgâr hızı (m/s) ve bağıl nem (%) gibi iklimsel parametreleri ölçmek için Davis Vantage Pro hava istasyonu ve elektriksel yükler olan reosta ve dirençten oluşmaktadır. Elde edilen tüm veriler 10 dakikalık aralıklarla Hioki LR8432 (10 kanallı) veri kaydedici tarafından kaydedilmiştir. Veriler Türkiye standart saati ile 07:00-19:00 arasındaki saatlik ortalama değerler kullanılarak kaydedilmiştir. Ayrıca FV panelin Matlab@Simulink modelinde ve deneysel sistemde kullanılan c-Si FV panelin veri sayfası değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 7. Deneysel sistemin şematik gösterimi

Çizelge 2. FV panelin katalog değerleri (GH90M36)

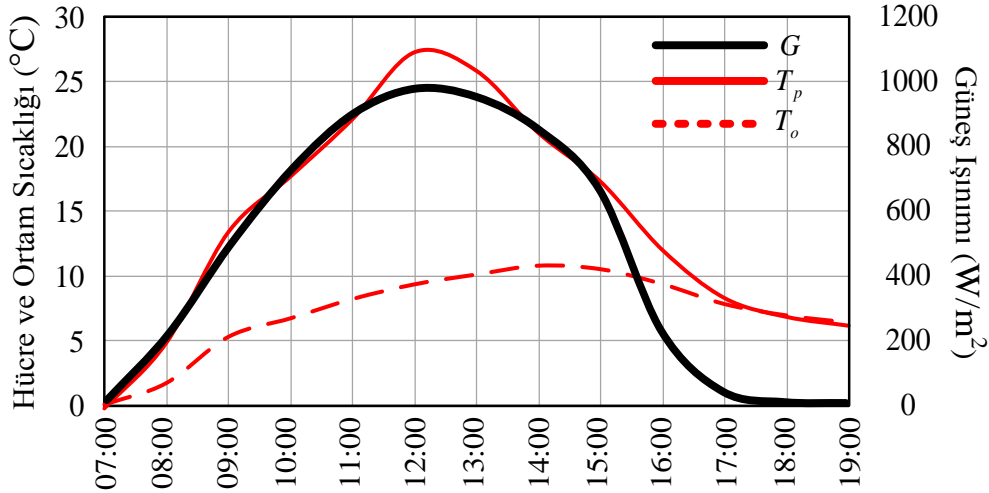
Elektriksel Parametreler (1000W/m ² , 25 °C)	
Maksimum Güç- P _{mpp} (W)	90
Maksimum Gerilim- V _{mpp} (V)	18
Maksimum Akım- I _{mpp} (A)	5,1
Kısa Devre Akımı- I _{sc} (A)	5,45
Açık Devre Gerilimi (V)	20,9
Kısa Devre Akımı Sıcaklık Katsayısı (1/K)	0,0006
Açık Devre Gerilimi Sıcaklık Katsayısı (1/K)	-0,0037

Çizelge 2’de verilen değerler tüm FV panel üreticilerinin veri sayfalarında mevcuttur. Ancak kısa devre akımı sıcaklık katsayısı ve açık devre gerilim sıcaklık katsayısının birimleri üreticilere göre değişiklik gösterebilmektedir. Bazı üreticilerin veri sayfalarında bu değerler santigrat derece ($^{\circ}\text{C}$) bazılarında ise Kelvin (K) olarak verilmektedir. Bu farklılığa panelin modeli oluşturulurken dikkat edilmelidir. Deneysel sistemin kurulduğu yer, [13]’deki çalışmanın gerçekleştirildiği bölgeye yakındır ve bu çalışmada FV panel için optimum eğim açısı olarak 35° güney yönü olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle deneysel sistem kurulumu sırasında FV panel belirtilen çalışmadaki değerler göz önüne alınarak konumlandırılmıştır. FV panelin gerilim değeri reosta üzerinden doğrudan veri kaydedicisine bağlanarak ölçülmüştür. Akım değeri ise reostaya

göre oldukça düşük bir direnç değerine sahip olan yük üzerinden alınmıştır.

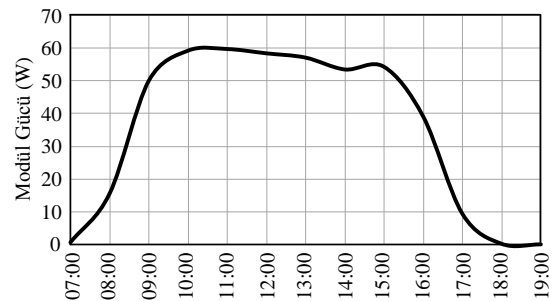
4. BULGULAR

Deneysel düzenden alınan ölçüm sonuçları 15.02.2017 ile 05.03.2017 tarihleri aralığındadır. Bu tarih aralıklarında güneş ışınımı, panel ve ortam sıcaklığı gibi iklimsel parametrelerin yanı sıra panelin çıkış akımı, gerilimi ve gücü gibi elektriksel parametrelerinin davranışları da detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışma süresi boyunca saatlik olarak elde edilen ortalama ortam sıcaklığı (T_o), güneş ışınımı şiddeti (G) ve panelin yüzey sıcaklıklarının değişimi (T_p) Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Güneş ışınımı, panel ve ortam sıcaklığının bir günlük değişimi

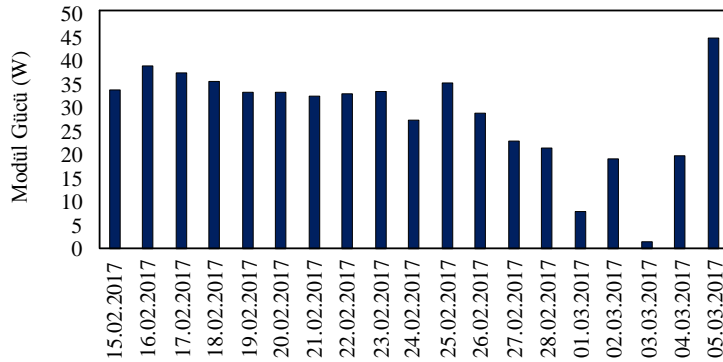
Şekil 8 incelenecek olursa ortam sıcaklığı gün içerisinde en yüksek 10°C civarına çıkmakta iken hücre sıcaklığı güneş ışınımının dolaylı etkisiyle 27°C 'ye kadar ulaşmaktadır. Işınım miktarı ise güneşin en tepede olduğu saat olan 12:00-13:00 arasında en yüksek değeri aldığı $973 \text{ W}/\text{m}^2$ 'ye ulaşmaktadır. Ayrıca ışınım eğrisinin güneşin doğuş ve batış zamanlarına göre benzerlik gösterdiği gözlemlenmektedir. Şekil 9’da FV panelin bir günlük ürettiği gücün saatlik ortalama değerlere göre değişimi bulunmaktadır.



Şekil 9. FV panelin gücünün saatlik ortalama olarak değişimi

Şekil 9’da verilmiş olan bir günlük güç üretiminin değişimi incelenecek olursa güneş ışınımına paralel olarak FV panel 10:00-11:00 saatleri arasında maksimum güç üretimini gerçekleştirmiştir ve yaklaşık olarak 60W değerine ulaşmıştır. Bu güç üretimi neredeyse saat 15:00’a kadar devam etmiştir. 15:00’dan sonra ise güneş ışınımı değerinin düşmesi ile birlikte panelin

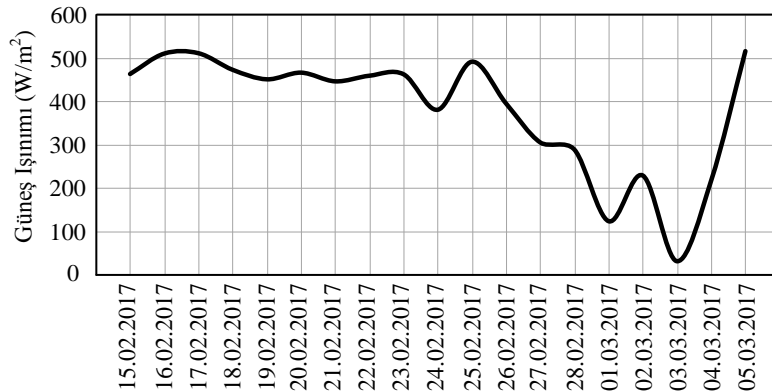
ürettiği gücünde azaldığı gözlemlenmektedir. Ayrıca FV panelin gün içerisinde yaklaşık olarak 50-60 W aralığında bir güç üretimine sahip olduğu görülmektedir. Bu ölçümün gerçekleştiği gün hava açık ve bulutsuzdur. Şekil 10’da FV panelin tüm ölçüm periyodu boyunca günlük olarak ürettiği ortalama güç değerleri verilmiştir.



Şekil 10. FV panelin ölçüm periyodu boyunca ürettiği ortalama güç değerleri

Şekil 10 incelenecek olursa FV panelin günlük ortalama güç üretim değerleri ortalama olarak yaklaşık 30-40 W aralığında değişmektedir. Ayrıca Mart ayının ilk günlerinde panelin ürettiği güç miktarı oldukça azalmıştır. Bunun sebebi havanın

bulutlu olmasıdır ve bu koşullarda güneş ışınımının enerji üretimi için yetersiz kaldığı görülmektedir. Şekil 11’de belirtilen ölçüm aralığı için ışınım miktarının günlük ortalama değerlerinin değişimi görülmektedir.

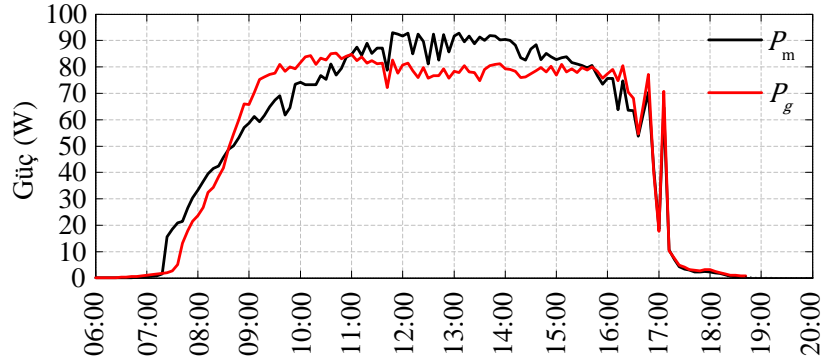


Şekil 11. Ölçüm periyodu boyunca elde edilen ışınım şiddetinin değişimi

Şekil 10 ve Şekil 11 karşılaştırıldığında güneş ışınımı şiddetindeki değişimin panelin enerji kazancı üzerinde doğrudan etkili olduğu görülmektedir. Havanın güneşli ve açık olduğu günlerde ışınım şiddeti 500 W/m² civarlarında iken

havanın kapalı ve yağışlı olduğu günlerde ışınım şiddeti 0-100 W/m² aralığındadır. Bu durumlarda panelin ürettiği model ve gerçek güç değerleri de Şekil 10’da açık bir şekilde görülmektedir. Dış ortam koşullarında gerçekleştirilen ölçüm

sonuçları ile modelin simülasyon ortamında elde edilen sonuçlarının karşılaştırması bir günlük zaman aralığı için saatlik olarak Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. FV modelin ve deneysel sistemin güç üretimi karşılaştırması

Şekil 12 incelenecek olursa model sonucunda elde edilen eğri (P_m) ile dış ortam koşullarında elde edilen eğrinin (P_g) uyumlu olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum modelin doğruluğunu kanıtlamaktadır. Ayrıca modelin giriş parametreleri olan güneş ışınımı ve hücre sıcaklığı değerleri gerçek ortam koşullarındaki sensörlerden elde edilmiştir. Bu durumda model ve deneysel düzenek sonuçları arasında meydana gelen farkın nedeni deneysel sistemde gerçekleşen kayıplar olarak gösterilebilir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada Osmaniye ili iklim koşullarında bulunan c-Si yapıdaki bir FV panelin elektriksel performansını incelemek amacıyla panel öncelikli olarak Matlab@Simulink ortamında modellenmiştir. Daha sonra dış ortam etkilerini gözlemlenmek amacıyla deneysel devre düzeniği kurularak FV panelin karakteristik davranışları gözlemlenmiştir. FV panel yüzeyine düşen güneş ışınımı, hücre sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve FV panelin ürettiği akım, gerilim ve güç değerleri 19 gün boyunca ölçülmüştür. Model sonuçları ile dış ortam performans sonuçları karşılaştırılmıştır. Model ve deneysel sistemden elde edilen güç değerlerinin uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Ancak deneysel sistemden elde edilen güç değerlerinin model sonuçlarına göre nispeten daha az bir seviyede olduğu sonucuna varılmıştır.

Meydana gelen bu farklılığın sebebi deneysel sistemde meydana gelen kayıplar ve kurulumda dikkate alınan bazı kabullerden kaynaklı olabilir. Ayrıca FV panelin yerleştirildiği eğim açısı deneysel sistemin kurulu olduğu bölge için doğrudan belirlenerek bu farklılık en az seviyeye getirilebilir.

6. TEŞEKKÜR

Bu Çalışma O.K.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir. Proje No: OKÜBAP-2016-PT3-009

Ayrıca bu çalışmanın bir bölümü, 24-26 Kasım 2021 tarihlerinde çevrimiçi olarak gerçekleştirilen International Conference on Engineering, Natural and Applied Sciences (ICENAS’21) konferansında özet bildiri olarak sunulmuştur.

7. KAYNAKLAR

1. Yaniktepe, B., Kara, O., Ozalp, C., 2017. The Global Solar Radiation Estimation and Analysis of Solar Energy: Case Study for Osmaniye. Turkey, International Journal of Green Energy, 14, 765–773.
2. Akpolat, A.N., Dursun, E., Kuzucuoğlu, A.E., Yang, Y., Blaabjerg, F., Baba, A.F., 2019. Performance Analysis of a Grid-Connected Rooftop Solar Photovoltaic System.

- Electronics, 8(8), 905.
3. Kichou, S., Wolf, P., Silvestre, S., Chouder, A., 2018. Analysis of the Behaviour of Cadmium Telluride and Crystalline Silicon Photovoltaic Modules Deployed Outdoor under Humid Continental Climate Conditions. *Solar Energy*, 171, 681–691.
 4. Elibol, E., Özmen, Ö.T., Tutkun, N., Köysal, O., 2017. Outdoor Performance Analysis of Different PV Panel Types. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 651–66.
 5. Polo, J., Fernandez-Neira, W.G., Alonso-García, M.C., 2017. On the Use of Reference Modules as Irradiance Sensor for Monitoring and Modelling Rooftop PV Systems. *Renewable Energy*, 106, 186–191.
 6. Cañete, C., Carretero, J., Sidrach-de-Cardona, M., 2014. Energy Performance of Different Photovoltaic Module Technologies under Outdoor Conditions. *Energy*, 65, 295–302.
 7. Ustun, T.S., Nakamura, Y., Hashimoto, J., Otani, K., 2019. Performance Analysis of PV Panels based on Different Technologies After Two Years of Outdoor Exposure in Fukushima. *Japan, Renewable Energy*, 136, 159–178.
 8. Aboagye, B., Gyamfi, S., Ofosu, E.A., Djordevic, S., 2021. Degradation Analysis of Installed Solar Photovoltaic (PV) Modules under Outdoor Conditions in Ghana. *Energy Reports*, 7, 6921-6931.
 9. Gaglia, A. G., Lykoudis, S., Argiriou, A. A., Balaras, C. A., Dialynas, E., 2017. Energy Efficiency of PV Panels under Real Outdoor Conditions—an Experimental Assessment in Athens. Greece, *Renewable Energy*, 101, 236-243.
 10. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>, Son erişim tarihi 17.01.2022
 11. <https://www.enerjiatlas.com/gunes-enerjisi-haritasi/osmaniye>, Son erişim tarihi 17.01.2022
 12. Bellini, A., Bifaretti, S., Iacovone, V., Cornaro, C., 2009. Simplified Model of a Photovoltaic Module. *Applied Electronics International Conference*, 47–52.
 13. Celik, A.N., Acikgoz, N., 2007. Modelling and Experimental Verification of the Operating Current of Mono-crystalline Photovoltaic Modules using Four- and Five-parameter Models. *Applied Energy*, 84, 1–15.

Numerical Study on the Ballistic Performance of Twaron®/Epoxy Laminated Composite Plates Manufactured by Vacuum Assisted Resin Infusion Moulding Against 9 mm Bullet Threat

Tayfur Kerem DEMİRCİOĞLU*¹ ORCID 0000-0002-0518-0739
Fatih BALIKOĞLU¹ ORCID 0000-0003-3836-5569

¹Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Balıkesir University, Balıkesir

Geliş tarihi: 15.03.2022 Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: DEMİRCİOĞLU, T.K., BALIKOĞLU, F., (2022). Numerical Study on the Ballistic Performance of Twaron®/Epoxy Laminated Composite Plates Manufactured by Vacuum Assisted Resin Infusion Moulding Against 9 mm Bullet Threat. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 483-497.

Abstract

This article presents the experiments on the ballistic effect of plates formed by stacked Twaron® fabrics between 10 and 16 layer numbers impregnated with epoxy resin by vacuum infusion method and the results of Autodyn-2D® simulations using an axisymmetric model. The ballistic impact resistance of the panels produced was determined according to the NIJ-STD-0108.01 standard. All panels were tested against 9 mm FMJ bullets at an average velocity of 390 m/s with the MP5 gun for armour application. The interaction of the plates with the bullet, the post-shot damage photographs, residual velocities of the bullet were compared with Autodyn-2D® simulations. Parametric study was performed in the analysis to determine the optimum bullet velocity, layer thickness and tensile failure strain. It was observed that the data obtained from the simulations were consistent with the experiments.

Keywords: Twaron®/epoxy composite, Ballistic test, VARIM

Vakum Destekli Reçine İnfüzyon Kalıplama ile Üretilmiş Twaron®/Epoksi Lamine Kompozit Plakaların 9 mm Mermi Tehdidine Karşı Balistik Performansı Üzerine Sayısal Çalışma

Öz

Bu makale, vakum infüzyon yöntemiyle epoksi reçine emdirilen 10 ile 16 katman sayıları arasındaki istiflenmiş Twaron® kumaşların oluşturduğu plakaların balistik etkisi üzerine yapılan deneyleri ve eksenel simetrik modellenen Autodyn-2D® simülasyonlarından elde edilen sonuçları sunmaktadır. Üretilen panellerin balistik darbe dayanımı NIJ-STD-0108.01 standardına göre belirlenmiştir. Tüm paneller, zırh uygulaması için MP5 silahı ile ortalama 390 m/s hızına sahip 9 mm FMJ mermilere karşı test edilmiştir. Plakaların mermi ile etkileşimi, atış sonrası hasar fotoğrafları, kurşunun artık hızları, Autodyn-2D® simülasyonları ile karşılaştırılmıştır. Optimum mermi hızı, tabaka kalınlığı ve çekme hasarı

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Tayfur Kerem DEMİRCİOĞLU, tkerem@balikesir.edu.tr

gerinim değerini belirlemek için analizde parametrik çalışma yapılmıştır. Simülasyondan elde edilen verilerin deneylerle tutarlı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Twaron®/epoksi kompozit, Balistik test, VARIM

1. INTRODUCTION

Composite structures are subjected to a variety of loading conditions throughout their service lives. A critical requirement for the effective use of composites as protective structures is their resistance to foreign object impact events. For this, high strength, stiffness, and toughness properties may be required for fibre reinforced composite materials to withstand such impact loads [1]. Impact events can occur at low (1-10 m/s), moderate (10-50 m/s), ballistic (50-1000 m/s), and hyper (2-5 km/s) speeds [2]. The reason for this classification is that with a change in impact velocity, there is a considerable difference in the amount of energy transfer, energy loss, and damage progression mechanisms between the target and the projectile. Light armour applications are critical to ensuring the protection of personnel and equipment against high-speed bullet penetration. As a result, it's crucial to analyse the penetration and perforation processes of a projectile/object into composite materials at ballistic speeds. The main energy absorption mechanisms during ballistic impact are as follows; the formation of the moving cone on the back of the target, the projectile cutting the target, the tensile damage of the primary yarns and elastic deformation of the secondary yarns, the matrix cracking and delamination failures, the friction between the projectile and the target during penetration. The mechanical characteristics of the fibres and matrix, the stacking sequence, the physical properties of the bullet/object and laminates, bullet mass, shape, and velocity, and layer thickness all influence the ballistic performance of laminated composites [3].

There are three approaches to dealing with problems involving the release of large amounts of energy in a very short time in ballistic impacts: most of the work is experimental and therefore can be very costly, as the problems are non-linear and

require knowledge of material behaviour at high loading rates. Analytical approaches are possible if the geometries are relatively simple and the loading, boundary, and initial conditions can be defined. The explicit methods are much more general in scope and eliminate all geometry-related difficulties and use very small-time steps for results [4]. The material models employed for these methods, on the other hand, need the use of a large number of material properties and model variables [5].

In the literature, there are many numerical studies focused on the ballistic performance of textile composite materials [6-17]. For a constant thickness hybrid composite armour containing glass (GF), carbon (CF) and Kevlar® (KF) fibres, an axisymmetric model was designed in ANSYS/Autodyn-2D® and it was observed that the stacking order of the layers and the STAGNAG-2920 fragment simulating bullet geometry had a significant effect on the ballistic performance. Authors reported that the KF layer on the rear, the GF layer on the outside, and the CF layer on the front provided superior ballistic impact protection [6]. In another study, the ballistic impact behaviour of Kevlar®/Polypropylene (PP) panels was investigated through hydrocode simulations conducted with Ansys Autodyn-2D® software. The numerical model was validated by evaluating the ballistic impact performance of Kevlar/PP composites when impacted by STANAG-2920 fragment simulating projectiles [7]. In addition, simulations were carried out for 9 mm parabellum bullets modelled by the Smooth Particle Hydrodynamics method (SPH) and 20 layers of Kevlar plates coded with Lagrange grid in Autodyn® program. Gauge points were determined for the velocity of the projectile and compared with the average velocity of the projectile. Erosion (cell removal) criteria were applied due to the interruption of the simulation with very large

deformations of the grid. The authors also investigated the effect of erosion strain on the mass of the removed cells and the residual velocity of the projectile [8]. The deformation of bullets after ballistic testing was also numerically studied. Mushroom deformation as a result of the 9 mm Parabellum bullet hitting Armox 500 armour steel, as well as the length of the bullet and the depth of the hole produced by the deformed bullet were also investigated in Ansys-Autodyn-3D[®] simulations. In the 2D-axial symmetry numerical simulations, the friction coefficients between the shell and the core of the bullet were considered [9]. Numerical analysis and experimental results of the ballistic impact performances of military helmets were also examined [10,11]. The results obtained from the Autodyn-3D[®] simulations showed that the helmet made of Kevlar[®] material could stop a 9 mm full jacketed bullet with a ballistic velocity of 358 m/s. The findings of the helmet models were found to be consistent with the results of the experiments. The effects of bullet velocity, diameter, and mass on the ballistic impact behaviour of the targets were also investigated using numerical simulation in Autodyn[®] program. With the increase of the impact velocity up to the ballistic limit velocity, the contact time first increased and then decreased, so the damage mechanisms before and after the ballistic limit changed [12]. Moreover, the effect of bullet nose geometry on penetration time and residual velocity were investigated using Autodyn[®] software. It was reported that the ballistic limit velocity increased faster for the conical ended cylindrical bullet for different thickness/edge length values of the test panel compared to the blunt-ended counterpart [13]. In the analysis of the ballistic behaviour of composite armour designs consisting of three different materials, fibre-cement, Kevlar fabric and steel, against the 9 mm FMJ bullet, Autodyn-3D[®] simulation results were found to be compatible with the experimental results [14]. In order to simulate the Twaron[®] CT709 ballistic fabric against the threat of 9 mm FMJ Parabellum projectile, importing the CAD model drawing of the fabric to Autodyn[®] software was applied in the literature. For ballistic panels made of 16 layers of Twaron[®] CT709 fabric,

decrease of projectiles velocity and projectiles shortening values were obtained [15]. The ballistic performance of Twaron[®] CT709 plain woven fabrics was also investigated in the ABAQUS[®]/Explicit program using a three-dimensional fabric model. The authors conducted a parametric study to analyse the effects of various parameters such as impact velocity, inter-fibre friction and fabric layer count on the impact behaviour of fabrics. This parametric study provided the optimal number of fabric layers and optimized inter-yarn friction level to be determined to accomplish maximum energy absorption at the given impact velocities [16]. Using the LS-Dyna[®] software, a finite element analysis of the interaction process of the Para-aramid Twaron[®] multilayer body armour and the human body with the 9 mm Parabellum bullet with a velocity of 366±10 m/s was conducted, taking into consideration the real geometries of the objects. The authors applied numerical modelling to study how to optimize the energy absorbed by the human body by varying the number of layers and material of the body armour. Furthermore, the energy absorbed by the human body was estimated using simulation responses during a non-perforated impact tests [17].

To the authors' knowledge, no research studies have been conducted in the fields of ballistics on the results of two-dimensional axisymmetric numerical modelling of Twaron[®] CT709/epoxy plates in Autodyn[®] software, which is expected to fill the gap in the literature. In addition, Twaron[®] CT709/epoxy plates were also manufactured for experimental tests using a vacuum assisted resin infusion moulding method, with the results expected to provide valuable data for the marine industry. In this proposed study, to meet the Level 2-2A protection level according to NIJ-STD-0108.01 standards, a 9 mm round nose full metal jacket bullet (FMJ RN) with an 8g (123gr) brass-plated lead core (muzzle velocity 390 m/s, shot from 5 meters) was used in the experimental study. The ballistic behaviour of Twaron[®]-CT709[®] (1.45g/cm³) aramid fabric/epoxy plates produced by vacuum assisted resin infusion moulding and the deformation of the bullet were numerically

investigated with Autodyn-2D® software and verified with experimental results.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Test Samples and Production

Aramid fabrics were cut to 325×325 mm dimensions for ballistic tests. The number of layers was determined as 10, 12, 14, 16. Plain woven Twaron® CT709® (1.45g/cm³) brand para-aramid fibres with 200 g/m² unit area weight, infusion type

epoxy resin was used as matrix [18, 19]. After the liquid resin-hardener mixture was vacuumed into the flat mould under -700 mm Hg pressure, the laminate was cured in a vacuum bag for 24 hours. Stacked aramid layers were produced by the VARIM (vacuum assisted resin infusion moulding) method (Figure 1). The matrix material was Hexion L160 epoxy resin, which can be cured at room temperature and has a specific hardener (Hexion H160). According to the manufacturer, the ratio of resin to hardener by weight was applied as 4:1 [20].

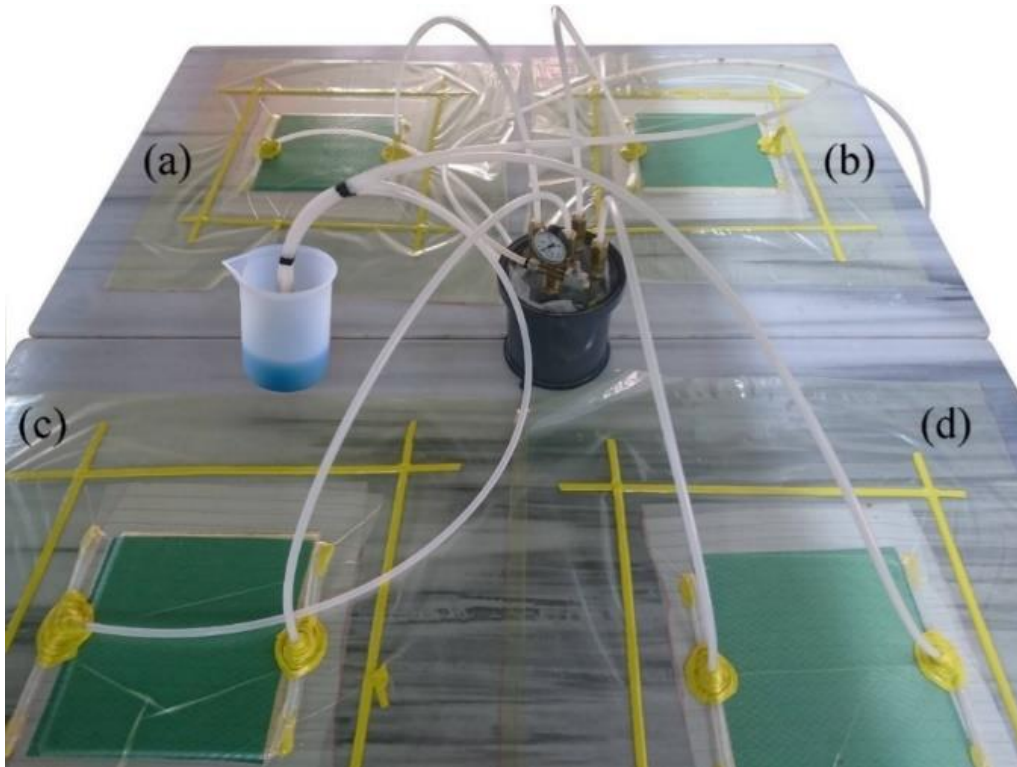


Figure 1. Production of aramid plates by VARIM method. (a) 10-layer, (b) 12-layer, (c) 14-layer, (d) 16-layer ballistic plates

2.2. Ballistic Tests

Ballistic tests were carried out in the polygon field of ZSR Patlayıcı Inc. The tests were conducted with an MP5 gun and a 9 mm, 8 gr (123g) FMJ RN (Full Metal Jacket Round Nose) bullet. The experiments were performed in compliance with the NIJ-STD-0108.01 requirements at the

protection level 2-2A [21]. Chronographs were attached to tripods and placed at a distance of 2.5 meters in front and behind the plates to measure the barrel and exit velocities. The distance between the barrel and the sample was determined as 5 meters (Figure 2). The samples were fixed by placing the plate holder on the test setup frame and tightening the eight bolts on it with a constant

torque of 40 Nm. The angle between the flight line of the bullet and the front face of the sample was set as perpendicular as possible. After the MP5 was fixed and its horizontality checked a maximum of

five shots were fired at each plate (Figure 3). The mean/difference/standard deviation values were calculated by measuring the initial-barrel and residual-exit velocities of the bullets.

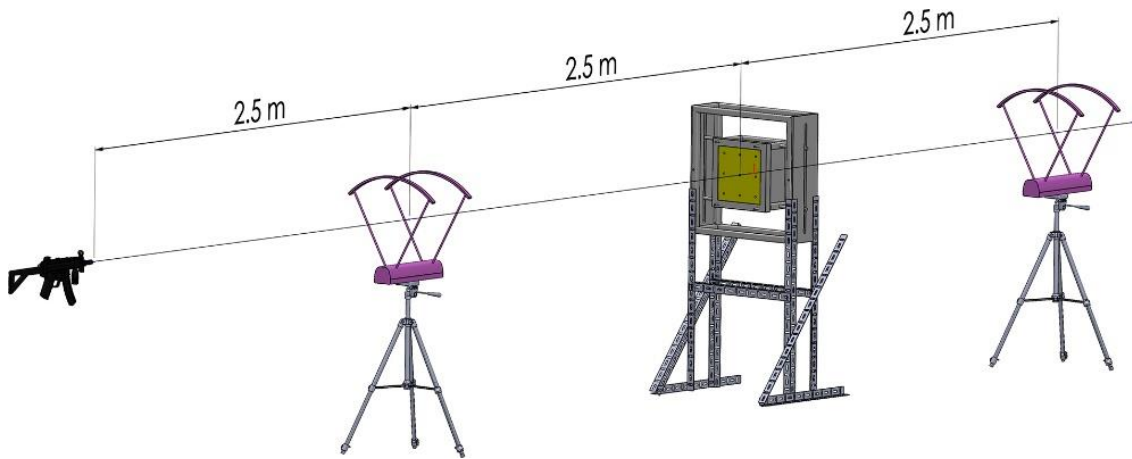


Figure 2. Ballistic test set-up in accordance with NIJ-STD-0108.01 standard



Figure 3. Testing with MP5 gun 9 mm FMJ bullet at the shooting range

2.3. Finite Element Model

ANSYS AUTODYN® is a commercial software that implements a non-linear orthotropic continuum material model in fibre composites under ballistic impact. The orthotropic model of aramid fibre-reinforced composites under impact was difficult due to the complexity of material properties and the different failure modes as fibrillation, intra- and inter-laminar, bulk, delamination failure. A non-linear equation of state (EOS), orthotropic coupling of the material volumetric/deviatoric responses, orthotropic

hardening, orthotropic energy-based softening, combined stress failure criteria were all used in orthotropic material model [22].

Autodyn-2D is a module of a ANSYS for nonlinear analysis of high velocity impact, high/low distortion and projectile/target interaction problems. The 9 mm bullet and Twaron®/epoxy plate was modelled in Autodyn-2D program as two-dimensional in (X,Y) coordinate system and axisymmetric for simplification and fast solution times of analysis.

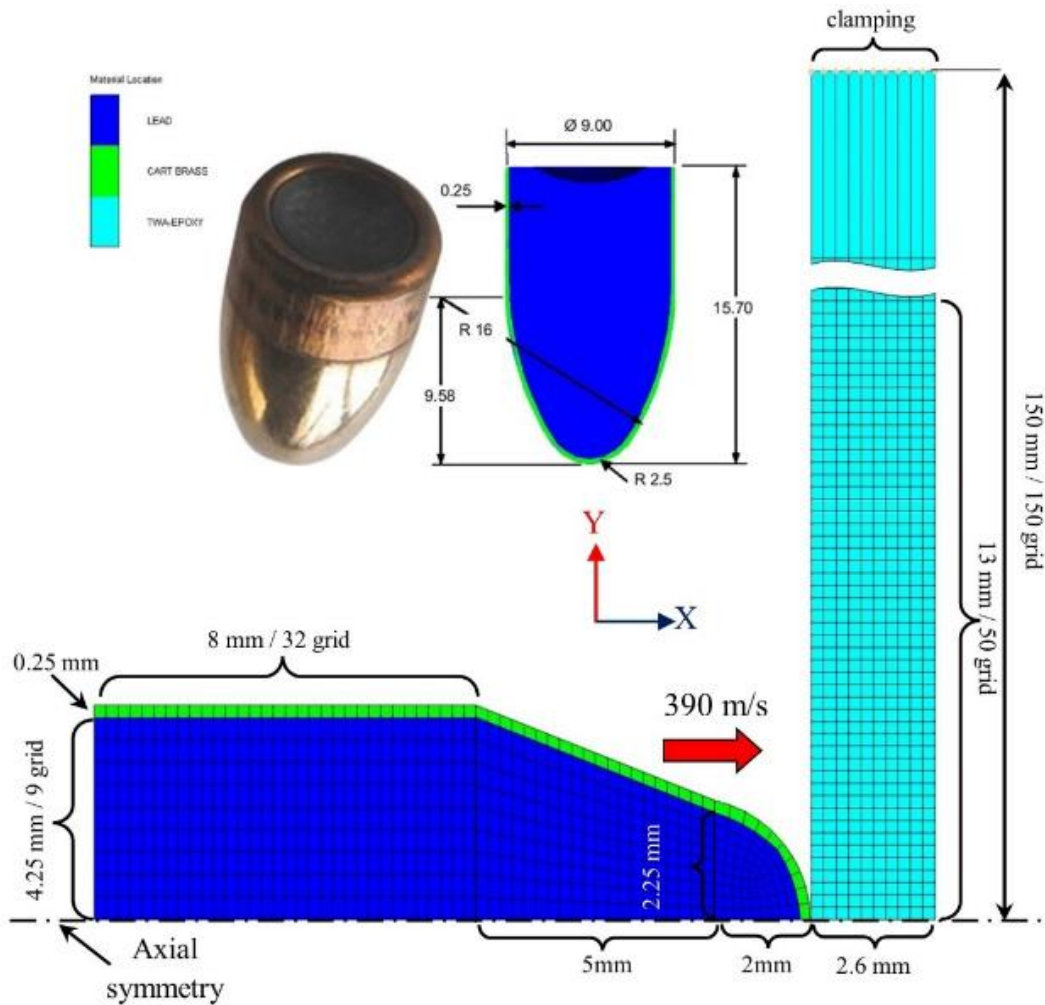


Figure 4. Axial symmetric model of 9 mm bullet and 10 layer (2.6 mm) Twaron®/epoxy plate

A new model was created in accordance with the dimensions of the Ø 9 mm FMJ bullet (total length of 15 mm, brass material thickness of 0.25 mm, lead material radius of 4.25 mm) by adding predefined box, quad, ogive geometric shapes in Autodyn-2D program. Composed of an inner core (lead 7.2818 g) and a cartridge/outer shell (brass 0.74473 g), the total mass of the bullet was set at approximately 8 g. Twaron®/epoxy plate and bullet geometry were divided into quadrilateral elements by using the structured mesh type. In the lead core, the smallest quadrilateral element mesh size was set at 0.2 mm, and for the Twaron®/epoxy ballistic plate, it was adjusted between approximately 0.24 and 0.26 mm. The number of elements and nodes for bullet and plate were given in Table 1. A more precise structure close to the smallest element size of the bullet was obtained by keeping the mesh element size constant between 0.24-0.26 mm in the X (along thickness) and Y (along length) direction (50 grid/cell) in the bullet impact zone of the plate where the deformation was higher. The length of the plate is modelled as 150 mm axisymmetric and divided into a total of 150 elements with 50 cells fixed and the rest increasing dimensions (Figure 4). The effect of the

mesh element number on the convergence of analysis results was also examined and seen that minimum mesh size (between 0.10-0.13 mm) no longer changed the residual velocity results.

Analyses were made for three different velocities (380, 390 and 400 m/s) in accordance with the standard deviation values of the initial velocity of the bullet measured from ballistic tests (Table 3). The average thickness/number of layers ratio of the plates measured in the experimental study was between 0.26-0.28 mm (Figure 5a) and the thickness of the woven Twaron® CT 709 in the handbooks and literature was 0.30 mm [8, 23, 24]. As a result, one layer thickness was modelled for three different values (0.26/0.28/0.30 mm) in the analysis. The reason for the thickness change was due to production under vacuum. Tensile failure strain (TFS) values of 0.033, 0.0345, 0.04, and 0.046 were found in the literature for CT 709 Twaron® [15-17, 19, 24, 25]. Based on these values, in addition to the 0.060 used for tensile failure strain 22 and 33 directions for Kevlar/epoxy data in Autodyn, the effect of 0.045 on the analysis results was studied.

Table 1. The number of elements and nodes for the bullet and plate

Plate Twaron®/epoxy	(0.26 mm/layer)		(0.28 mm/layer)		(0.3 mm/layer)	
	No. of Elements	No. of Nodes	No. of Elements	No. of Nodes	No. of Elements	No. of Nodes
10	1500	1661	1650	1812	1800	1963
12	1800	1963	2100	2265	2250	2416
14	2100	2265	2400	2567	2550	3000
16	2400	2567	2700	2869	2718	3171
Bullet						
Lead	533	678	533	678	533	678
Cartridge Brass	62	132	62	132	62	132

The velocity of the bullet modelled to impact the plate face perpendicularly from the centre point was given in the X direction. The common nodes of lead and brass materials were joined. A fix boundary condition of zero velocity in the X and Y directions (clamping) was imposed to the nodes with farthest distance from the symmetry axis of Twaron®/epoxy material model. The Twaron®

plate geometry is modelled on a macro scale as a (whole) non-layered structure.

The contact, sliding and separation between the bullet and the Twaron®/epoxy plate were defined using the gap interaction logic. Each surface segment was surrounded by a contact detection zone in the gap interaction logic. The gap size was

the radius of this detection zone. The node was repelled by a force proportional to the depth of its penetration when entering the detection zone of a surface segment [10]. A gap size of 0.013230 mm between the bullet and the plate was defined by the gap interaction logic.

Steinberg Guinan and Johnson-Cook strength models was used for lead and brass material, respectively and both the bullet and the target were represented by Lagrange solver. Orthotropic equation of state (EOS) was used in Twaron®/epoxy plate, shock state equation was chosen in lead and brass materials. Lead and Cartridge Brass material properties were available in the material library of Autodyn program [26]. Material properties for Twaron®/epoxy was found in the literature [10-13]. “1” indicates the material thickness direction (X), “2” indicates the fibre direction (Y), and “3” indicates the perpendicular direction to the fibre in Autodyn-2D orthotropic composite modelling.

In this simulation, material constants for Kevlar 129 were used to estimate the ballistic impact of a Twaron®/epoxy plates (Table 2). It was assumed that the difference in material properties was not

adversely affect the simulation. [10-13]. Two companies have generally pursued the aramid fibre products as Teijin’s Twaron® and Technora® and DuPont's Kevlar®. The mechanical and physical properties of Twaron® and Kevlar® aramid fibres are not considerably different for analysis, according to the literature and handbooks [27].

Excessive cell disruption and tangling occurs due to calculations using the Lagrangian solution technique in ballistic impact simulation. Cells eroded only when severely distorted and compressive strength of cell was not effect the calculation. Inertia was preserved in the analysis by equally distributing the mass of the removed cells to the other nodes. The erosion logic based on an instantaneous geometric strain was assigned to the Twaron®/epoxy plates to prevent the calculation from terminating prematurely [10]. Erosion strain for orthotropic material models was typically between 1-2% of the instantaneous geometric strain [6, 13, 28]. The geometric strain was considered as 1.2 % for Twaron®/epoxy material and 2 % for lead and brass material in this study with removed cells mass taken into account [10-13, 29].

Table 2. Material properties of Kevlar129 used in the analysis [10-13].

Material properties		Strength/Elastic	
Reference density (g/cm ³)	1.65	Shear modulus (kPa)	1.85701e6
Orthotropic Engineering constants		Failure\Material stress/Strain	
Young modulus 11(kPa)	1.948e6	Tensile failure stress 11 (kPa)	1.2e6
Young modulus 22(kPa)	1.8e7	Tensile failure stress 22 (kPa)	1.85e6
Young modulus 33(kPa)	1.8e7	Tensile failure stress 33 (kPa)	1.85e6
Poisson ratio 12	0.077551	Maximum shear stress 12 (kPa)	5.43e5
Poisson ratio 23	0.062540	Maximum shear stress 23 (kPa)	7.7e04
Poisson ratio 31	0.312031	Maximum shear stress 31 (kPa)	5.43e5
Shear modulus 12(kPa)	2.23e5	Tensile failure strain 11 (kPa)	0.02
Shear modulus 23(kPa)	1.85701e6	Tensile failure strain 22 (kPa)	0.060
Shear modulus 31(kPa)	2.23e05	Tensile failure strain 33 (kPa)	0.060
Volumetric response	Polynomial	Maximum shear strain 12	1e20
Bulk modulus-A1-T1	5.29e6	Maximum shear strain 23	1e20
Parameter A2	4e7	Maximum shear strain 31	1e20
Reference temperature (K)	300	Erosion/Geometric strain	Instantaneous
Specific heat (J/kg K)	1.42e3	Erosion strain	1.2

3. RESULTS

3.1. Ballistic Test Results

Change of the thicknesses and the bullet initial/residual velocities with the number of layers were compared in Figure 5 (a) and (b), respectively. As expected, the thickness values of the plates increased with the number of layers. The ratio of average thickness to number of layers was between 0.26-0.28 mm. The impact velocity (initial velocity) of the bullet was measured between 380

m/s and 400 m/s with the first chronograph. During the ballistic tests, the initial velocity of the bullet differed slightly due to the change in the amount of gunpowder contained in the cartridge, so the standard deviation values of the bullet velocity were also given in Table 3. Average bullet initial/residual velocities, absorbed energy, specific energy absorption values as ballistic test results, areal density and the measured weights of the produced plates according to the number of layers were summarized (Table 3).

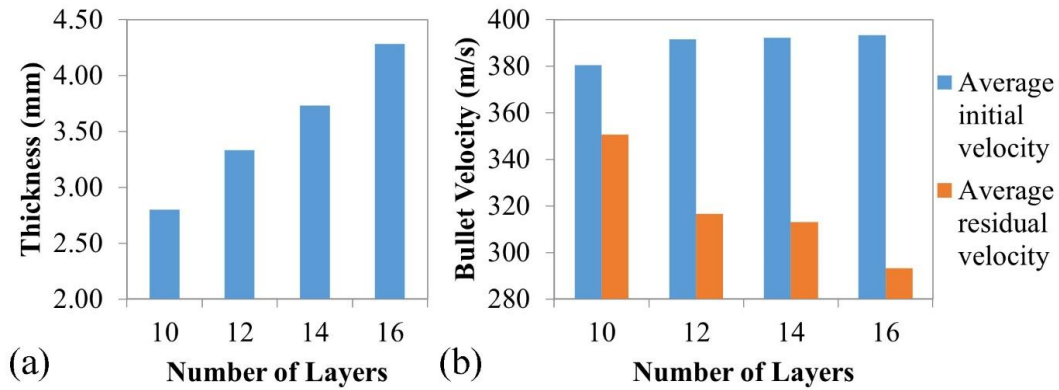


Figure 5. (a) Thickness of plates, (b) Average initial and residual bullet velocities

As a result of laminate containing more fibres, energy loss at impact increases with plate thickness. All the kinetic energy of the bullet was absorbed and stopped by the target at a ballistic limit velocity of 390 m/s for 18 layers through stretching the yarns, generating compressive waves along the thickness direction, deformation of the target, matrix cracking, fibre failure and delamination [6]. The absorbed energy increased with the increasing number of layers and reached 100% for the 18-layer sample by stopping the bullet. Therefore, the tests were determined for plates with 10-12-14-16 layers of aramid fabric and the residual velocities were compared with the data obtained using the finite element method. As seen from the deformation zones perforated by the bullet, the amount of fibre breakage on the back faces of the plates was found to increase with the increasing number of layers (Figure 6).

Depending on the initial velocity of the bullet before impact (V_i) and residual velocity after perforating the target (V_r), the initial, residual and absorbed energy values were calculated with the following analytical formulas.

$$\text{Initial (Impact) Energy (J), } E_i = 1/2mV_i^2 \quad (1)$$

$$\text{Residual energy of bullet after impact (J), } E_r = 1/2mV_r^2 \quad (2)$$

$$\text{Absorbed energy (J), } E_a = 1/2mV_i^2 - 1/2mV_r^2 \quad (3)$$

$$\text{Absorbed energy (\%), } E_a (\%) = (E_a / E_i) \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Specific energy absorption (J/(gr/cm}^2\text{)), } E_s = E_a / (\text{Areal density}) \quad (5)$$

Table 3. Ballistic test results of Twaron®/epoxy plates

Number of Layers	Plate Weight (g)	Average V_i (m/s)/SD		Average V_r (m/s)/SD		E_a (J)	E_a (%)	Areal Density (g/cm^2)	E_s ($\text{J}/(\text{g}/\text{cm}^2)$)
10	394.25	381	5.38	351	4.97	86.97	14.99	0.373	233.00
12	427.78	392	8.52	317	9.9	211.89	34.52	0.405	523.18
14	517.76	392	4.04	313	6.36	223.48	36.29	0.490	455.91
16	587.71	393	9.43	293	4.62	274.59	44.37	0.556	493.50
18	655.05	388	0.58	-	-	602.95	100.00	0.620	972.25

*SD: Standard deviation

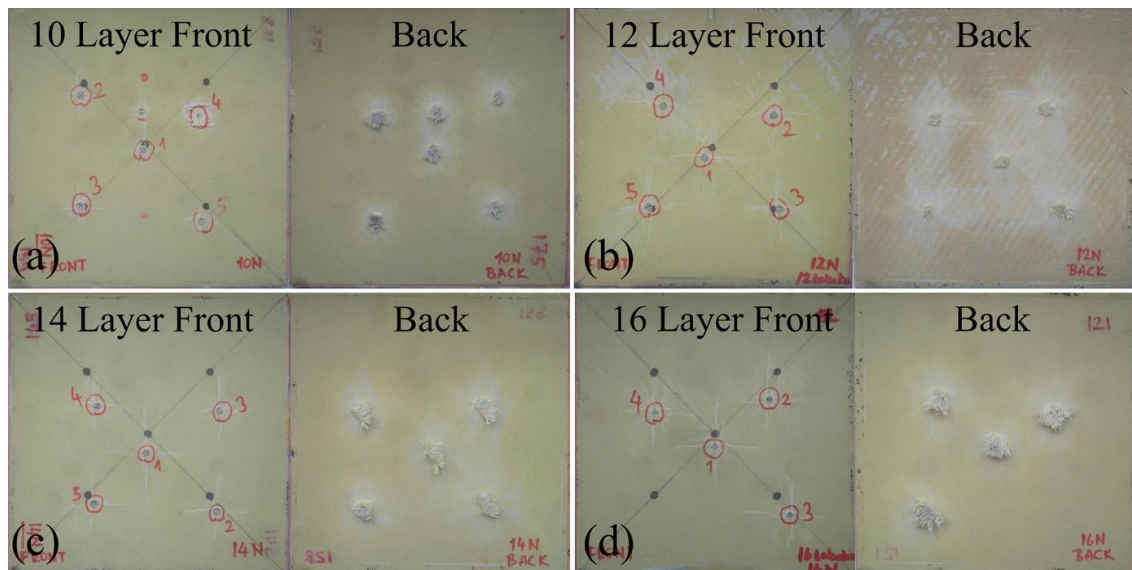


Figure 6. Back-face images of 10, 12, 14, 16 layer (a), (b), (c), (d) Twaron®/epoxy plates

3.2. Finite Element Model Results and Validation with Ballistic Tests

For each variable in the analysis, detailed time history results were obtained. Parameters such as bullet residual velocity, damage behaviour and bullet deformation over time were investigated. Compression of the target take place just below the bullet tip during ballistic impact, and the material begins to flow along the thickness direction as the bullet progresses. Bulge formation occur on the back face of the plate as a result of bullet compression following the target failure and finally the bullet and plug exit from the back face of the plate.

The Autodyn model can detect directional damage such as delamination with orthotropic failure criteria. Ballistic impact damage also depends on the shape of the 9 mm bullet. Near the impacted face shear plugging occurred, followed by a tensile fibre fracture region and delamination near the exit, both leads to bulk failure. Twaron®/epoxy fails, lost its load bearing capacity and the material properties change depending on the type of damage. Initiation of tensile damage for Twaron®/epoxy can be based on any combination of material stress and/or strain in orthotropic principal material directions. Friction, gravitational effects, angular velocity of the bullet are not taken into account in the simulations.

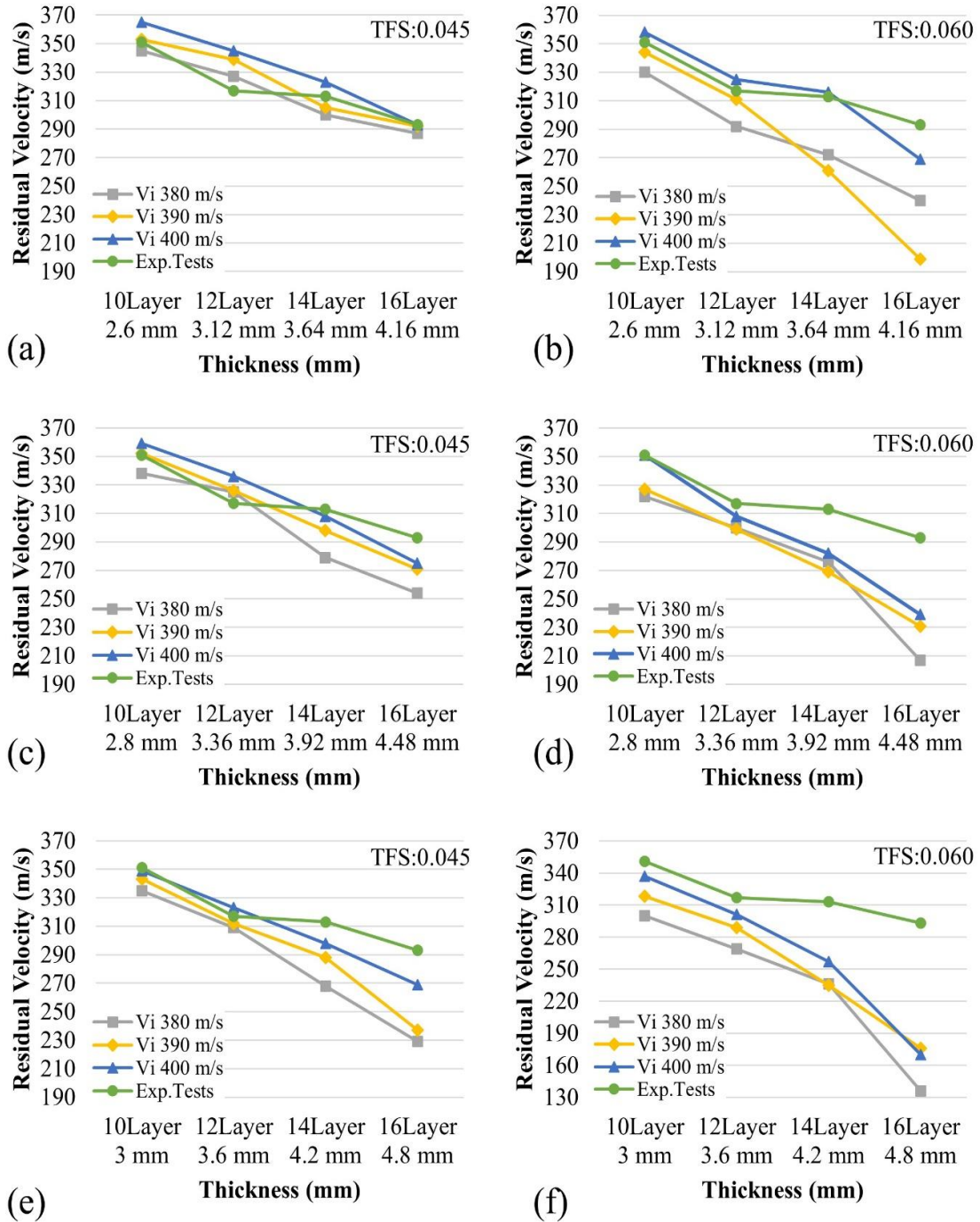


Figure 7. Residual velocities of (a) 0.26 mm/layer TFS:0.045, (b) 0.26 mm/layer TFS:0.060, (c) 0.28 mm/layer TFS:0.045, (d) 0.28 mm/layer TFS:0.060, (e) 0.30 mm/layer TFS:0.045, (f) 0.26 mm/layer TFS:0.060 at 0.06 ms

The residual velocities with the least errors closest to the experimental tests were obtained in the analysis with a layer thickness of 0.26 mm, a bullet initial velocity of 390 m/s, and TFS:0.045 (Figure 7 (a)). For 12 layers, the error in residual velocity was higher than the other layers. The measured residual velocity values for the 12- and 14-layer plates were found to be close in the experimental tests. The second closest residual velocity values to the experimental tests were 0.26 mm/layer, initial velocity: 400m/s, TFS:0.060 (Figure7(b)). The error in the residual velocity for 16 layer was higher than the other plates for this analysis. The residual velocity after perforation of the 16 layers was lower due to higher TFS:0.060 value causes the plate harder to perforate. The other closest residual velocity values for the parameters in Figure 7 (c) 0.28 mm/layer, initial velocity 390m/s, TFS:0.045 and in Figure 7 (e)

0.3mm/layer, initial velocity 400m/s TFS:0.045 were calculated in the analysis with higher error. It was observed that the error for residual velocity increase as the number of layers increases. The residual velocity error of the other analysis was higher when compared to experimental tests (Figure 7 (d) and (f)). It was found that the residual velocity increased with the increase in the impact velocity and there was a linear relationship between them.

After impact, the kinetic energy of the bullet was transferred and increases the energy of the plate and some of the kinetic energy was used for deformation of the bullet. During ballistic impact, the energy of the bullet was absorbed by the plate with different mechanisms, resulting in bullet retardation.

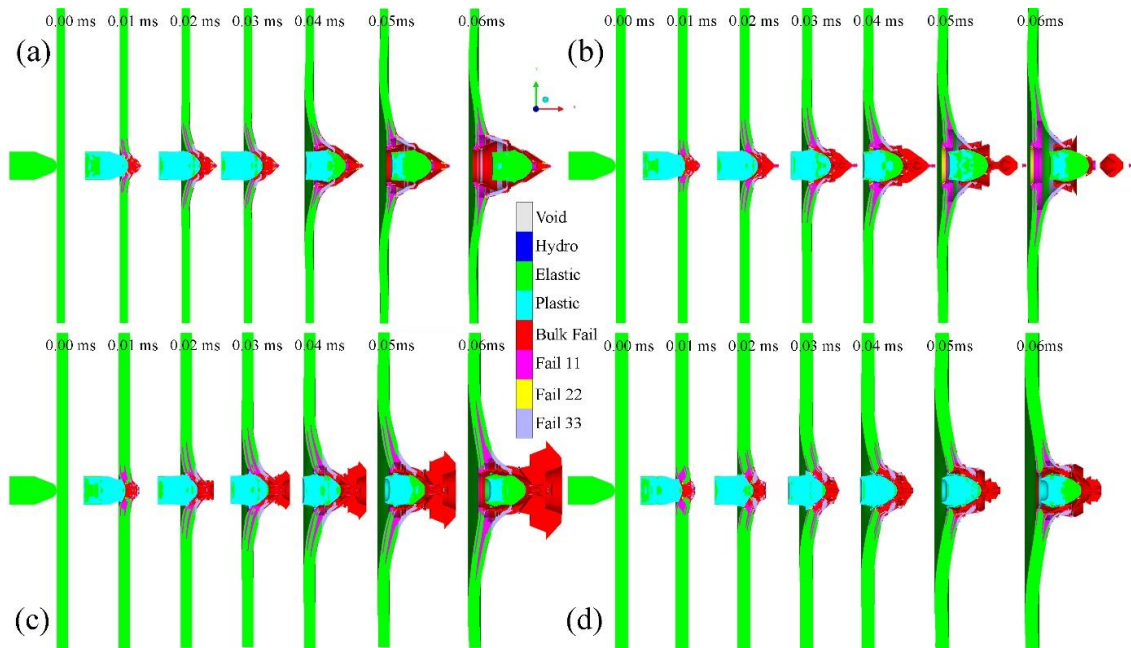


Figure 8. Perforation mechanisms, deformation, failure modes and failure directions of (a) 10 layer (2.6 mm), (b) 12 layer (3.12 mm), (c) 14 layer (3.64 mm), (d) 16 layer (4.16 mm) ($V_i=390\text{m/s}$, TFS:0.045) Twaron®/epoxy plates between 0.00 ms to 0.06 ms

In the analyses performed, the closest residual velocity results to the experimental study were obtained in Figure 8 (0.26mm/layer, $V_i=390\text{m/s}$, TFS:0.045) between 0.00-0.06 ms time range.

Perforation mechanisms, deformation, failure modes and failure directions of 10, 12, 14, 16 layer plates were shown in Figure 8 (a), (b), (c), (d) respectively. The perforation mechanisms observed

in the plates were due to delamination, fibre degradation and bulk failure. Delamination failure increased from 10 to 14 layers but decreased in 16 layers due to higher deflection of the plate by absorbing more kinetic energy of bullet.

As the number of layers increased, the contact duration of the bullet increased, causing retardation. As opposite, the decrease in the number of layers reduced the time required for the bullet to pass the thickness of the plate. The contact duration was determined by the travel of the bullet between 0.00 to 0.06 ms. When the bullet travels forward, the plate was damaged by different mechanisms and plug formation occurred in the plate as the major energy absorbing mechanism.

In Figure 9 (a), the energy percentages of the plate, bullet and work done were given. The plate and work done energy increased as the number of layers increased, while the bullet energy decreased with its speed. Work done represents the sum of the work done by constraints, work done by loads, work done by body forces, energy removed from

system by element erosion, work done by contact penalty forces. Current energy values were equal to the sum of internal, kinetic and hourglass energy of plate and bullet at 0.06 ms. During the penetration of the aramid layers, the bullet lost 13%, 16.7%, 25.84% and 28.49% of its energy at 0.06 ms for 10, 12, 14, and 16 layers, respectively. Most of this energy transferred to the plate and the rest was spent for work done.

The maximum diameter, length dimensions of the deformed bullet and front face hole diameter of plates were given in Figure 9 (b) (0.26 mm/layer, $V_i = 390\text{m/s}$, TFS:0.045). During the impact, the length of the bullet was shortened, cross-section was deformed into an ellipse and diameter increased compared to original (9 mm diameter, 15 mm length) dimensions. The bullet length increased slightly from 10 to 16 layers and the diameter decreased slightly from 10 to 14 layers, reached maximum value at 16 layers. This situation was defined as an increasing deflection of the plate in 16 layers with a rising bullet contact time and deformation.

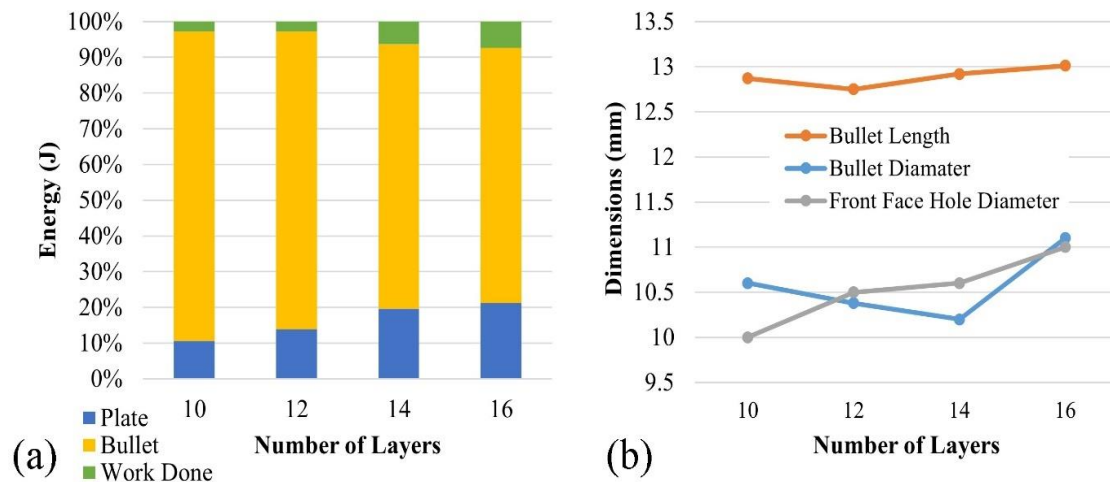


Figure 9. (a) Energy percent of plate, bullet and work done, (b) Deformed bullet dimensions and front face hole diameter of plates at 0.06 ms (0.26mm/layer, $V_i = 390\text{m/s}$, TFS:0.045)

4. CONCLUSION

The ballistic impact of a 9 mm FMJ RN bullet with different initial velocities on Twaron®/epoxy composite plates with various layer numbers and

thickness was investigated experimentally and numerically. The 9 mm bullet and Twaron®/epoxy plate was modelled axisymmetric in Autodyn-2D program for simplification and fast solution times of analysis.

- Based on the experimental and analysis results, Twaron®/epoxy plates with a layer number of 10-12-14-16 were completely perforated.
- 18 layers of Twaron®/epoxy armour was determined as the ballistic limit against the threat of 9 mm FMJ bullets with an average ballistic velocity of 390 m/s. Plates with 18 or more layers were absorbed all the energy of the bullet.
- It was stated that with the increase in the number of layers, the residual velocity values decreased as the perforation resistance of the plates increased, and it was far from the experimental data when the literature value of 0.06 for tensile failure strain 22 and 33 was used. Closer residual velocity results were obtained with the experimental tests by reducing the TFS value to 0.045.
- It was observed that with the increase in bullet impact velocity, the residual velocity also increases and there was a linear relationship between them.
- It was found that the optimum layer thickness was 0.26 mm for the best residual velocity values.
- The closest residual velocity analysis results to the experimental tests were obtained in the 0.26 mm/layer, $V_i = 390$ m/s, TFS: 0.045 at between 0.00-0.06 ms from three (0.26/0.28/0.30 mm) layer thicknesses and three (380/390/400 m/s) velocities.
- The work done energy for 16 layers was the highest compared to 10, 12, and 14 layers in (0.26 mm/layer, 390 m/s, TFS: 0.045) analysis. With the highest deflection of the plate and the increase in the contact time of the bullet in the plate, bullet reached the highest diameter, deformed in the form of an ellipse, and caused more local damage to the plate.
- As the number of layers increased, the plate and work done energy increased, while the bullet

energy decreased with its speed. The bullet lost minimum 13% and maximum 28.49% of its energy with full perforation at 0.06 ms (0.26 mm/layer, 390 m/s, TFS:0.045).

5. REFERENCES

1. Abrate, S., 2011. Impact Engineering of Composite Structures, 526, 403.
2. Vaidya, U.K., 2011. Impact Response of Laminated and Sandwich Composites. 526, CISM International Centre for Mechanical Sciences, 97-191.
3. Naik, N., Shirao, P., 2004. Composite Structures Under Ballistic Impact. Composite Structures, 66, 1-4, 579-590.
4. Zukas, J., 2004. Introduction to Hydrocodes. 49, Oxford, UK, 311.
5. Şenel, F., Balya, B., Parnas, L., 2004. İleri Kompozit Zırh Malzemelerin Balistik Analizi. Savunma Teknolojileri Kongresi, Ankara.
6. Bandaru, A. K., Vetiyatil, L., Ahmad, S., 2015. The Effect of Hybridization on The Ballistic Impact Behavior of Hybrid Composite Armors. Composites Part B: Engineering, 76, 300-319.
7. Bandaru, A. K., Ahmad, S., 2017. Ballistic Impact Behaviour of Thermoplastic Kevlar Composites: Parametric Studies. Procedia Engineering, 173, 355-362.
8. Wiśniewski, A., Pacek, D., 2010. Numerical Simulations of Penetration of 9 mm Parabellum Bullet into Kevlar Layers—Erosion Selection in AUTODYN Programme. Problemy Techniki Uzbrojenia, 39, 7-14.
9. Wiśniewski, A., Pacek, D., 2011. Numerical Simulations of Penetration of 9 mm Parabellum Bullet into Kevlar Layers: Erosion Selection in Autodyn Program. Problemy Mechatroniki: Uzbrojenie, Lotnictwo, Inżynieria Bezpieczeństwa, 2, 11-20.
10. Tham, C., Tan, V., Lee, H. P., 2008. Ballistic Impact of a KEVLAR® Helmet: Experiment and Simulations. International Journal of Impact Engineering, 35(5), 304-318.
11. Rajput, M.S., Bhuraya, M.K., Gupta, A., 2017. Finite Element Simulation of Impact on PASGT Army Helmet. Procedia Engineering, 173, 251-258.

12. Kumar, S., Gupta, D.S., Singh, I., Sharma, A., 2010. Behavior of Kevlar/epoxy Composite Plates Under Ballistic Impact. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(13), 2048-2064.
13. Ansari, M.M., Chakrabarti, A., 2015. Effect of Bullet Shape and H/A Ratio on Ballistic Impact Behaviour of FRP Composite Plate: A Numerical Study. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 04(13), 2321-7308.
14. Soydan, A.M., Tunaboşlu, B., Elsabagh, A.G., Sari, A.K., Akdeniz, R., 2018. Simulation and Experimental Tests of Ballistic Impact on Composite Laminate Armor, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018, 1-12.
15. Wiśniewski, A., Gmitrzuk, M., 2014. Validation of Numerical Model of the Twaron® CT709 Ballistic Fabric. *Problemy Mechatroniki: Uzbrojenie, Lotnictwo, Inżynieria Bezpieczeństwa*, 5, 19-31.
16. Gogineni, S., Gao, X.L., David, N., Zheng, J.Q., 2012. Ballistic Impact of Twaron CT709® Plain Weave Fabrics. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 19(6), 441-452.
17. Dominiak, J., Stempień, Z., 2012. Finite-Element-Based Modeling of Ballistic Impact on a Human Torso Protected by Textile Body Armor. *Innovative Materials Technologies in Made-Up Textile Articles, Protective Clothing Footwear*, 2463, doi: <https://doi.org/10.13140/2.1.2463.1687>.
18. TEIJ Handbook Ballistics, 2019, (https://www.teijinaramid.com/wp-content/uploads/2019/11/TEIJ_Handbook_Ballistics_2019_DEF.pdf), Accessed on: 15.03.2022.
19. Köçük Taş, M., 2019. Tabakalı Kompozit Malzemelerin Balistik Zırh Özelliklerinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 72.
20. Datasheet for EPIKOTE™ Resin MGS™ LR160 Hexion Inc., (<https://www.hexion.com/CustomServices/PDF/Downloader.aspx?type=tds&pid=83b88d44-5814-6fe3-ae8a-ff0300fcd525>), Accessed on: 15.03.2022.
21. Ballistic Resistant Protective Materials, 1985. US Department of Justice. National Institute of Justice Standard, N., NIJ-STD-0108.01.
22. Ramezani, A., Rothe, H., 2017. A New Approach to Modelling Fiber-Reinforced Plastics for Hydrocode Analysis. *SIMUL 2017: The Ninth International Conference on Advances in System Simulation*, Athens, Greece.
23. Sohn, S.W., Kim, H.J., Kim, Y.T., 2003. A Study on the High Velocity Impact Resistance of Hybrid Composite Materials. *Proceedings of the KSME Conference*, 273-278.
24. Özbek, Ö., 2021. Axial and Lateral Buckling Analysis of Kevlar/epoxy Fiber-reinforced Composite Laminates Incorporating Silica Nanoparticles. *Polymer Composites*, 42, 3, 1109-1122.
25. Gogineni, S., 2011. Finite Element Analysis of Ballistic Penetration of Plain Weave Twaron CT709® Fabrics: A Parametric Study. Master of Science, Texas A & M University, 146.
26. Cook W. H., 1983. A Constitutive Model and Data for Metals Subjected to Large Strains, High Strain Rates and High Temperatures. *Proceedings of the 7th International Symposium on Ballistics*. The Hague, Netherlands: International Ballistics Committee, 21, 541-547.
27. Beckwith, S.W., 2009. Composites Reinforcement Fibers: II-The Aramid and Polyethylene Families. *SAMPE Journal*, 45(6), 42-43.
28. AUTODYN, 1998. Theory Manual, Revision 4.0, Century Dynamics Inc.,
29. Lim, Y.Y., Miskon, A., Zaidi, A.M.A., Megat Ahmad, M.M.H., Abu Bakar, M., 2022. Numerical Simulation Study on Relationship between the Fracture Mechanisms and Residual Membrane Stresses of Metallic Material. *Journal of Functional Biomaterials*, 13(1), 20.

Biyogazla Birlikte Oluşan Diğer Ürünlerin Araştırılması

Oğuz Yunus SARIBIYIK*¹ ORCID 0000-0001-9735-8735

¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Genetik ve
Biyomühendislik Bölümü, Gümüşhane

Geliş tarihi: 07.03.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: SARIBIYIK, O.Y., (2022). Biyogazla Birlikte Oluşan Diğer Ürünlerin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 499-508.

Öz

Gelişmekte olan ülkelerin enerji tüketimindeki yükselme atmosfere karbondioksit salınımını artırarak küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Küresel ısınmaya bağlı olarak ortaya çıkan doğal afetler insanların yaşamlarını olumsuz yönde etkilediklerinden dolayı atmosfere karbondioksit salınımının kontrol altına alınıp sürdürülebilir hale getirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple fosil kökenli yakıtlara alternatif kaynaklarının araştırılması zorunlu hale gelmektedir. Rüzgâr enerjisi, biyodizel vb. gibi alternatif biyoyakıtlar içerisindeki alternatif enerji üretim yöntemlerinden birisi de biyogaz üretimidir. Biyogaz üretiminde uygun organik atıklar kullanılarak %35-45 CO₂, %55-65 CH₄ oranlarda biyogaz karışımı üretilirken eser miktarda CO, H₂S, NH₃ gibi diğer ürünlerde ortaya çıkmaktadır.

Yapılan bu çalışmada biyogaz üretiminde kullanılan sıvı fazda bulunan toplam karbon miktarı, fenolik içerik miktarları, Azot(N), Fosfor(P₂O₅), Potasyum(K₂O), pH, Hüyük asit, Fülvik asit ve iletkenlik gibi değerlerin değişimi biyogaz üretimi öncesi ve sonrasında test edilerek belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre N, P, K miktarlarında herhangi bir değişim ortaya çıkmazken pH değerinde yükselme, fenolik içerik, toplam karbon içeriği, iletkenlik, Hüyük ve Fülvik asit içeriklerinde biyogaz üretim süreci sonrasında artış meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyoyakıt, Biyogaz, Atık bertarafı, Biyoenerji

The Investigation of the Other Component During Biogas Production

Abstract

The rise of the energy consumption of developing countries increases the carbon dioxide emission through to the atmosphere that causes global warming. The releasing of the carbon dioxide into the atmosphere is needed to be under control and sustainable because of the natural disaster appearing

*Corresponding author (Sorumlu yazar): Oğuz Yunus SARIBIYIK, oysaribiyik@gumushane.edu.tr

depending on the global warming that affects human life negatively. Therefore, the investigation of alternative resources is an under obligation instead of fossil-based fuels. The biogas production is one of the methods in alternative fuel manufacturing such as biodiesel, wind power and etc. The mixture of gases %35-45 CO₂, %55-65 CH₄ are produced with trace amount of other gases CO, H₂S, NH₃ by using suitable organic wastes after digestion.

In this study, the amount of phenolic compound, nitrogen (N), phosphorus (P₂O₅), potassium (K₂O), pH, Humic and Fulvic acid, conductivity properties were investigated in liquid phase before and after digestion. According to obtained results, there are any differences for the amount of N, P, K, while the value of the pH increases after digestion and the amount of the total carbon, Humic and Fulvic acid, the phenolic compounds and conductivity increases after digestion.

Keywords: Biofuel, Biogas, Waste treatment, Bioenergy

1. GİRİŞ

Atmosferdeki karbondioksit (CO₂) miktarı 1850 yıllarında endüstrileşmenin başlamasıyla 185 ppm'den 270 ppm değerine yükselmiş ve 2021 yılı Kasım ayı ortalamasına göre 417 ppm olarak ölçülmüştür [1-4]. Karbondioksit miktarındaki bu artış güneş ışınlarının tekrar uzaya yansımını engelleyerek atmosferin sıcaklığının yükselmesine neden olmaktadır [5]. Bu sıcaklık artışı, küresel ısınma olarak tanımlanmaktadır ve dünyada kuraklıklara aşırı yağışlara bağlı sellerin oluşumuna sebep olmaktadır. Bu sebepten dolayı sıcaklık artışının öncelikli olarak 2 °C'nin altında kalması ve ilerleyen süreçlerde sıcaklık artışının kontrol edilebilir olması planlanmıştır. Bu sebeple karbondioksit salınımının kademeli olarak 2030 yılına kadar düşürülmesi kararı alınmış ve 2016 yılında yaklaşık 175 ülkenin katılımıyla Amerika'nın Newyork şehrinde Paris anlaşması (4618 nolu Resmi Gazetede) olarak imzalanmıştır [6]. Alınan kararlarda özellikle fosil kaynaklı yakıtlar yerine, rüzgâr enerjisi [7], jeotermal [8], güneş enerjisi[9], hidroelektrik enerjisi [10] ve biyokütle gibi alternatif kaynakların kullanımının artırılması belirtilmiştir [11-17]. Biyokütle kaynaklı yakıtların dünya enerji ihtiyacının yaklaşık %14 oranında katkı sağlayabileceği belirtilmektedir [18]. Birinci nesil olarak bilinen biyoyakıtlar genelde yenilebilir hammaddelerden mayalanma ile elde edilen biyoetanol, biyobütanol gibi yakıtların yanı sıra biyodizel üretimi ile de gerçekleştirilmektedir [18-20]. İkinci nesil

biyoyakıtlar ise artan dünya nüfusuna bağlı gıda ihtiyacı sebebiyle yenilenemeyen yağlar ve lignoselüloz gibi hammadde kaynakları biyoyakıt üretiminde kullanılmaktadır [20]. Üçüncü nesil biyoyakıt kaynakları ise ilk iki nesilde olan ihtiyaçlardan dolayı hammadde kaynağı olarak sadece atık organik maddeler kullanılarak üretilmektedir. Bu atık organik maddeler uygun şartlarda biyoreaktörlerde gerçekleştirilen süreçlerde, biyodizel üretimi, biyohidrojen, biyoetanol ve biyogaz gibi farklı ürünlere dönüştürülmektedir [11,18,20-22]. Alternatif biyoyakıtlar içerisinde en önemli alternatif yakıt kaynaklarından birisi de yüksek kalorili 5200 kcal/Nm³ enerji değerlerine sahip biyogazdır [23,24]. Biyogaz içerdiği (CH₄) metanın molekül formülündeki karbon başına yapısında bulunan hidrojen miktarının yüksek oluşu sebebiyle yanması sonucu oluşturduğu karbondioksit miktarı diğer karbon kökenli yakıtlara göre daha düşüktür. Bunun dışında uygun oksijen içeriğindeki yanma işlemi yaklaşık % 100 olarak gerçekleşmektedir.

Biyogaz üretimi büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanlardan elde edilen biyokütle kaynaklarından üretilebildiği gibi evsel ve sanayi atıklarından, tarımsal faaliyetlerden sonra oluşan zirai atıklardan da üretilebilmektedir [11,12]. Önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre farklı atık maddelerinin kullanımı biyogaz oluşumunu artırmaktadır [12]. Ayrıca, farklı reaktör tiplerinin biyogaz oluşum miktarını etkilediği görülmüştür. Biyogaz oluşum sürecinde uygulanan farklı

sıcaklıkların, karıştırmanın, C/N miktarındaki değişimlerin, basıncın, proses şartları gibi farklı durumların biyogaz üretim verimi üzerine etkileri detaylı şekilde araştırılmaya devam etmektedir [18].

Yapılan bu araştırmalar biyogaz üretim miktarını ve kalitesini artırmaya yönelik olsa da biyosürecin geçmemiş biyokütlenin hava, su ve toprak kirliliği üzerine etkilerinin yeterince irdelenmediği görülmüştür. Bu nedenle biyosürecin sonrası oluşan biyokütle ve içeriğinin ne olduğu ve hangi amaçlar için kullanılabileceği gibi konulara katkı sağlanabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, yapılan incelemeler genellikle elementel düzeyde olup biyosürecin sonrası oluşan moleküller ve moleküllerin özellikleri belirtilmemektedir [25]. Bu sebeple, yapılan bu araştırmada biyogaz oluşum sürecinden sonra özellikle sıvı fazda meydana gelen değişimler pH, toplam organik madde içeriği, toplam fenolik madde miktarı, Hümik ve Fülvik asit içerikleri gibi ligant karakterli metallere kompleks oluşturarak minerallerin aşınımı sağlayıp toprakta organik besin içeriğini farklılaştırabilecek maddelerin varlığı araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Biyogaz üretiminde daha önceki çalışmalara benzer olarak daha da geliştirilen biyoreaktör kullanılmıştır [11,12]. Biyogaz üretim sürecinde daha önce kullanılan biyoreaktör 70 litrelik gaz sızdırmaz şekilde ve (316) paslanmaz çelik kullanılarak imal edilen reaktörde ısıtma işlemi kontak termometre kontrollü olarak su ceketli ısıtıcı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Karıştırma işlemi mekanik karıştırıcı olarak 5 dk/devirde gerçekleştirilmiştir. Önceki çalışmalara uygun olarak reaktör sıcaklığı 38 °C'ye ayarlanmıştır. Biyoproses sonrası oluşan gaz miktarını belirlemek için Mastech MS6310 Gaz Dedektörü kullanılmıştır. Proses sonrası oluşan gazların analizleri ise G5000 portatif gaz analizörü yardımıyla yapılmıştır. Oluşan biyogazlardan örnek gaz almak için (Flexfoilplus) numune çantası kullanılmıştır. Ayrıca oluşan gazlar

Agilent (6820) gaz kromatografisi kolon (molesieve 5A 30 m x 0,53 mm x 50 µm) kullanılarak belirlenmiştir.

Biyogaz üretiminde biyokütle kaynağı çok önem arz etmektedir. Bu sebeple yapılan bütün deneysel çalışmalarda aynı beslenme diyetine sahip aynı büyükbaş hayvandan elde edilen biyokütle kullanılmıştır. Ayrıca, biyokütle kaynağı herhangi bulaşa izin verilmeden en kısırsız ortamdan alınarak kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmada önceki çalışmalara benzer olarak % 60 kaba yem % 40 yoğunlaştırılmış yem karışımıyla beslenen 6 yaşındaki dişi doğurganlık döneminde olmayan (Simental) hayvandan temin edilmiştir.

Fermentasyon işlemlerinde 13 kg saf su, 13 kg yukarıda belirtilen hayvandan alınan biyokütle kullanılmıştır. Biyoreaktöre yükleme yapıldıktan sonra 225 dk/dvr 5 dk'lık ön karıştırma işleminden sonra analizler için 100 mL'lik numune alınmıştır. Alınan numune adi süzgeç kâğıdından süzildikten sonra ilgili analizler yapılmıştır. Aynı analizler 15 günlük fermentasyon süresi tamamlandıktan sonra 100 mL'lik örnek alınarak filtre işleminden sonra yapılmıştır. Yapılan analizlerde organik madde tayini TS 8336, organik karbon tayini standart metod 5310 kullanılarak, Hümik-Fülvik asit miktarı için TS 5869, N-P-K analizleri için TS 2832, iletkenlik tayini için TS 9748 yöntemi kullanılmış ve Toplam Fenolik Madde (TFM) içeriği Colin Ciocalteu [26-28] yöntemi yardımıyla belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma bulgularının tartışılmasına geçilmeden öncelikle büyükbaş hayvanlardan elde edilen biyokütleden biyogaz üretiminin neden önemli olduğunun anlaşılması gerekmektedir [15,29]. Bu sebeple, biyokütlenin biyogaz üretimi yapılmadan tarım arazilerine uygulamalarındaki problemlerin belirlenmesi gerekmektedir [30]. Biyokütle biyogaz üretimi yapılmadan tarım arazilerinde verimi artırmak için kullanılmakta ve ürünlerde artış gösterdiği belirtilmektedir [30,31]. Ancak bu noktada toprak, hava ve tarım arazilerindeki

sularda meydana gelen sürecin belirlenmesi gerekmektedir. Biyokütle biyogaz süreci olmadan toprağa uygulandığı zaman biyobozunma süreci toprakta meydana gelmektedir [23]. Bu süreçte, selüloz, lignin, lipit, protein vb. büyük moleküllerden daha küçük uçucu moleküller oluşmaktadır [32]. Bu süreçle birlikte biyobozunma sırasında meydana gelen metan gibi uçucu moleküller doğrudan atmosfere karışmaktadır [33]. Biyobozunma süreçlerindeki bu olay aslında küresel ısınma ile yakından alakalıdır. Atmosfer gazları içerisinde bulunan metanın küresel ısınmaya katkısının 84 kat daha yüksek olduğu ve sanayileşme dönemine kıyasla 2.5 kat daha yüksek olduğu belirtilmektedir [4]. Ayrıca, sanayileşmenin başladığı 1750 yılından günümüze atmosferdeki metan miktarı % 150 artış göstererek 1803 (parts per billion) ppb seviyesine ulaşmıştır [4,30,31]. Zirai faaliyetlerin toplam sera gazı salınımına katkısı %23 olarak tahmin edilirken bu miktar içerisinde metan salınımı % 44 olarak tahmin edilmektedir [30]. Ormanların tarım arazilerine dönüştürülerek zirai faaliyete açılması zirai kökenli metan salınımını daha da artırmaktadır. Ayrıca, bu alanlarda besi çiftliklerinin kurulması metan salınımını artırarak hava kirliliğinin ve küresel ısınmanın etkilerini artırmaktadır [4,32,34]. Bunlara ilaveten biyokütlenin direkt uygulanması sulardaki biyolojik oksijen miktarı ihtiyacının artmasına, balıkların ve suda yaşayan diğer canlıların olumsuz etkilenmesine, alglerin düzensiz ve aşırı çoğalmasına sebep olabilmektedir [31]. Bunların yanı sıra özellikle büyükbaş hayvan çiftlikleri ve köylerde oluşan biyokütlelerin muhafazası, görüntü kirliliğine, süreç içerisinde biyobozunmaların gerçekleşmesine bağlı kötü koku oluşumu, salgın hastalıkların yayılması, özellikle bahar dönemi yağışları ile birlikte meydana gelen problemlerle biyokütlelerin yaya ve taşıt yollarına dağılması gibi problemlere sebep olmaktadır. Bunlara ek olarak, Bosch-Haber sentetik gübre üretiminde yüksek kararlılığa sahip N₂ bağının kırılarak (amonyak) NH₃ üretildiği ve yüksek enerji gerektiren reaksiyondan elde edilen gübrelerin kullanımlarının azaltılması gerekmektedir [35,36].

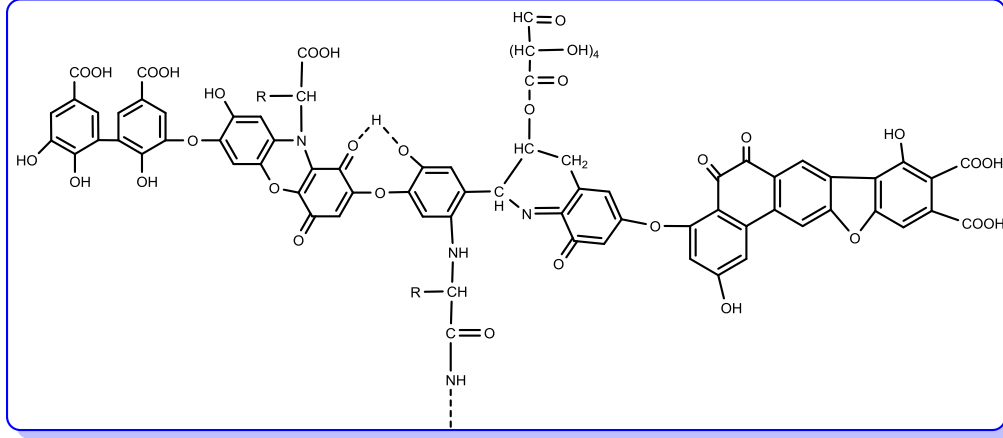
Çizelge 1. Biyogaz üretimi sonucu elde edilen diğer ürünler

İçerikler	Biyosüreç önce	Biyosüreç sonra
% N	-	-
% K ₂ O	-	-
% P ₂ O ₅	-	-
% pH	7,1	7,4
İletkenlik (mS)	4,36	10,21
Fenolik (mg/100g)	4,57	7,83
% Organik karbon	0,65	1,42
% Organik madde	0,86	3,01
% Hümkü fülvik	0,81	1,71

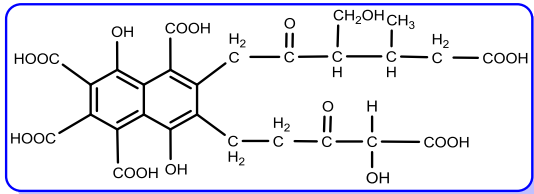
Yukarıda açıklanan bu sebeplerden dolayı biyo kütle ve uygun organik atıklar, zirai faaliyetlerde ortaya çıkan atıklar gibi atıkların biyogaz üretiminde kullanılması yenilenebilir enerji katkısını artırıp sera gazı etkisini azaltarak su, toprak ve havanın daha temiz kalmasına katkı sağlamaktadır [21,37]. Biyogaz üretiminde elde edilen biyogaz dışında oluşan diğer maddelerin ne olduğu ve hangi alanda kullanılabileceği çok önemlidir [36]. Bu sebeple özellikle biyogaz sürecinden geçirilmiş bir biyokütle ile biyogaz üretim sürecinden geçirilmemiş biyokütlenin farkları çok önem arz etmektedir [37]. N, K₂O, P₂O₅ gibi bitki beslenmesinde önem arz eden inorganik bileşiklerde biyogaz üretimi öncesi ve sonrasında herhangi bir değişim gözlemlenmemiştir Çizelge 1.

Yapılan çalışmada elde edilen verilere göre pH çok küçük (0,3) bir artış göstererek önceki çalışmalarla oldukça uyumlu sonuçlar elde edilmiştir [34]. Biyosüreç sonrası oluşan organik madde ve organik karbon miktarındaki değişim pH değişimi ile yakından alakalıdır [38]. Biyosüreçte ilk basamak olan hidroliz süreci sonucunda büyük organik maddelerin daha küçük moleküllere dönüşmesi suda çözünebilir moleküllerin oluşmasını sağlamaktadır [32,39].

Biyosürecin son kısmında ise asidogenik bakteriler hidrolizden sonra oluşan molekülleri organik asitlere dönüştürmektedir [39]. Bu verilere göre organik madde miktarının ve pH'nın değişimi oluşan farklı organik asitlerin oluştuğunu göstermektedir [32,38].



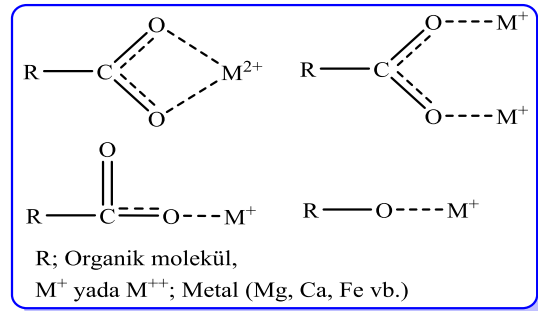
Şekil 1. Hümik asit temsili gösterimi [40]



Şekil 2. Fülvik asit temsili gösterimi [41]

Sentetik gübre üretiminde etilen di amin tetraasetik asit (EDTA) vb gibi şelatlaştırıcı moleküller kullanılarak Zn, Fe gibi elementlerin salınımlarını yavaşlatarak bitkinin gübre kullanımından uzun süre sonra dahi beslenebilmesini sağlamaktadır [42]. Bu amaç için tartarik asit, sitrik asit, maleik asit gibi çok dişli ligand karakterli organik asitlerin kullanımının etkileri araştırılmaktadır [42]. Daha önceki çalışmalarımızdan elde edilen sonuçlara göre yapısında karboksilik $-(COOH)$ ve $-(OH)$ gibi fonksiyonel grupları içeren organik moleküller metallerle kompleks yapılar oluşturabilmektedir [43,44]. Özellikle, moleküler yapısında suda çözünebilmeyi sağlayan fonksiyonel grupları içeren ve elektrik iletkenliğe katkı sunan Hümik-Fülvik asit gibi fenolik ve karboksilik yük taşıyıcı molekül ve iyonların oluşması diğer elde edilen verilerle çok güzel şekilde örtüşmektedir Çizelge 1, Şekil 1 [44]. Bu sebeple, iletkenlik biyosüreç öncesi ve sonrasında en fazla değişim gösteren faktör olarak görülmektedir. Bunun dışında biyosüreç sırasında oluşan asetik, Hümik, Fülvik

asit gibi küçük organik asidin ağır metaller ile kompleks yapılar oluşturabildiği ve sulu çözeltilerde tampon görevi yaptığı belirtilmektedir [32,38]. Ayrıca organik asitlerin varlığının i) pH'yı düşürüp minerallerin çözünürlük sabitinin değişmesine ve bu şartlarda aşınarak bitki beslenmesinde kullanılabilir forma geçmesine, ii) minerallerdeki yüzey metalleri ile kompleks oluşturulmasına, iii) Al^{3+} gibi sulu çözeltilerdeki iyonik metallerle kompleks oluşturarak sulu çözeltilerdeki konsantrasyonunun değişmesine ve kimyasal aktivitelerinin düşmesine sebep olmaktadır [45].



Şekil 3. Karboksilik asit ve fenolik metal kompleks [43]

Yapılan çalışmada biyosüreç sonrası oluşan ürün incelendiğinde meydana gelen değişim organik madde ve organik karbon içeriğinin özellikle Hümik ve Fülvik asit açısından arttığı görülmektedir Çizelge 1. Hümik Şekil 1

(Stevenson 1982) ve Fülvik asit Şekil 2 (Buffle 1977) moleküllerinin kimyasal formülleri farklı kaynaklarda farklı şekillerde gösterilmektedir [40,41]. Hümik ve Fülvik asit toprakta bulunan faydalı mineralleri bitkilerin kullanılabilmesi için uygulanan ligant karakterli kompleks oluşturu moleküllerdir Şekil 3 [43,44,46]. Ayrıca bu moleküller, yapılarında hidroksil, karboksilik asit gibi farklı fonksiyonel gruplara sahip iyon değişim kapasitesi yüksek olan şelat (metallere bağlanarak kompleks oluşturma kapasitesine sahip moleküller) karakterli moleküllerdir Şekil 1 ve Şekil 2 [47,48]. Polielektrolitik özelliklerinden dolayı biyosürecin sonrası elde edilen sıvı numunede elektrik iletkenliği yaklaşık olarak 2.5 kat artış göstermiştir [44,46]. Ayrıca elektrolitik özelliğinden dolayı bulunduğu şartlara göre elektron kabul eden veya sunabilen molekül olarak davranabilmektedir [44].

Biyosürecindeki biyokütle kaynağı, büyükbaş hayvana uygulanan beslenme diyeti, biyosürecde kullanılan reaktör ve bakteri grubu gibi etmenler sürecde oluşan organik maddelerin farklılaşmasına sebep olmaktadır [11,12]. Bu sebepten dolayı oluşan maddeler moleküler düzeyde ayrı ayrı incelenmemiştir.

Hümik ve Fülvik asit toprakta bulunan minerallerin aşınımını kolaylaştırarak bitkilerin kullanabileceği forma dönüştürmesi bitkilerin beslenme ve gelişimi açısından önemli rol oynayabileceğini göstermektedir [44,45,47,49-51]. Salatalık bitkisine Hümik ve Fülvik asit uygulamaları sonucu hem salatalık bitki gelişimini hem de elde edilen ürün veriminin arttığını göstermiştir [52]. Bir diğer çalışmada Hümik asit uygulanan bitkilerde kök ve filiz gelişimiyle birlikte yaprak büyüklüğü ve klorofil içeriğinin arttığı tespit edilmiştir [53,54]. Yapılan bir diğer çalışmada tuz stresine maruz bırakılan bitkilerde Hümik asit kullanımının hem bitki gelişimini hem de ürün miktarını artırdığı gözlemlenmiştir [51,53]. Çeri domateslerine yapılan Hümik asit uygulamaları sonucu verimin, likopen miktarının ve askorbik asit miktarının arttığı gözlemlenmiştir [55]. Hümik asit kullanılarak bitkilerin kuraklık stresindeki gelişimleri incelendiğinde topraktaki besin değerlerinin ve su içeriğinin arttığı gözlemlenmiştir [56]. Fesleğen ile yapılan bir diğer çalışmada ise

Hümik asit kullanımı sonucu bitkide uçucu yağ asitlerinin, antioksidan, antimikrobiyal aktivitenin ve klorofil içeriğinin arttığı bulunmuştur [57]. Okaliptüs ağacına uygulanan Hümik asit bitki metabolizmasını ve toprağın özelliğini değiştirerek bitkinin gelişimini artırdığı ve topraktaki besin miktarını artırdığı ortaya konulmuştur [58]. Yer fıstığına uygulanan Hümik asit ürün veriminin ve klorofil miktarının arttığı gözlemlenmiştir [59]. Bunların dışında bitkilere fosfat, magnezyum, kalsiyum ve azot alımını artırarak bitki gelişimine katkı sağlamaktadır [48].

Elde edilen sonuçlara göre biyogaz üretimi öncesi ve sonrasındaki Hümik ve Fülvik asit içeriğinin değişimi incelendiğinde yaklaşık olarak %1 oranında bir artış olduğu görülmektedir. Önceki çalışmalarda elde edilen sonuçlara bakıldığında bu artışın bitki gelişiminde çok önemli rol oynayabileceği kuraklık ve tuz stresine karşı etkin rol oynayabileceği görülmektedir.

4. SONUÇ

Yapılan çalışma ile büyükbaş hayvandan elde edilen biyokütle hammadde kaynağı kullanılarak pilot biyoreaktörle alternatif yakıt olan 0,5 m³/ton biyogaz üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Atıklardan alternatif yakıt üretimi artan enerji ihtiyaçlarının sebep olduğu hava kirliliğinin azaltılabileceği görülmektedir. Ayrıca biyogaz gibi hammadde kaynağı bol ve ucuz olan farklı amaçlar için kullanılacak alternatif enerjilerin üretiminin ülke ekonomisine katkı sağlayabileceği anlaşılmaktadır.

Özellikle köylerde ve besi çiftliklerinde oluşan biyokütle kullanılarak bu kaynaklara bağlı kötü görüntü, koku, bulaş oluşumu gibi faktörlerin azaltılıp bu atık kaynaklardan biyogaz üretimi yapılarak çevresel problemlerin azaltılabileceği görülmektedir. Bu sebepten dolayı, köylerde planlı şekilde yapılacak biyogaz üniteleri ile elde edilecek biyogaz ulaşım, tarım, elektrik üretimi gibi amaçlar için kullanılarak köylerde yaşayan insanların daha konforlu yaşam alanlarına ulaşmaları sağlanabilir. Bunların dışında, biyosürecin geçmiş biyokütlenin Hümik ve Fülvik asit gibi zengin ligant karakterli şelatlaştırıcı moleküllerin içeriği tarım arazilerinde

kullanılmaktadır. Ligant karakterli bu moleküller minerallere koordine olarak oluşturdukları kompleks yapılar ile hem minerallerin aşınımlarını hızlandırır hem de oluşturdukları metal kompleksleri ile minerallerin bitki beslenmesinde daha etkin kullanımına yardımcı olmaktadır. Böylece hem sentetik gübre ihtiyacı azaltılarak toprakların sentetik gübrelerden gelen ağır metallerle kirlenmesi engellenmiş olur hem de ekonomik anlamda sentetik gübrelerle verilen yüksek maliyet azaltılarak değerli çiftçilerimize ekonomik anlamda da katkı sağlamış olacaktır.

5. KAYNAKLAR

1. Environmental Protection Agency (EPA), 2021. Understanding Global Warming Potentials <https://www.epa.gov/> Erişim Tarihi 02.03.2022.
2. National Aeronautics and Space Administration (NASA) 2021. <http://www.climate.nasa.gov/> Erişim Tarihi 02.03.2022
3. Lindsey, R., 2021. Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide. In: Dlugokencky E (ed), <https://www.climate.gov/> Erişim Tarihi 03.02.2022
4. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, T.K.M., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., Zhou, B., 2021. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
5. Bonneuil, C., Choquet, P. L., Franta, B., 2021. Early Warnings and Emerging Accountability: Total's Responses To Global Warming, 1971–2021. *Global Environmental Change* 71, 102386.
6. Paris Antlaşması, Resmi Gazete 2021 <https://www.resmigazete.gov.tr/> Erişim Tarihi 03.02.2022.
7. Zhoua, B., Or, S.W., Chan, K.W., Duan, H., Wu, Q., Wang, H., Meng, Y., 2021. Short-Term Prediction of Wind Power and its Ramp Events Based on Semisupervised Generative Adversarial Network. *Electrical Power and Energy Systems*, 125:106411.
8. Ren, S., Dou, B., Ning, F., 2021. Geothermal Energy Exploitation from Depleted High-temperature Gas Reservoirs By Recycling CO₂: The Superiority and Existing Problems. *Geoscience Frontiers*, 12:6, 101078.
9. Zhang, Q.L.Y., Mieghem, A.V., Chen, Y.C., Yu, N., Yang, Y., Yin, H., 2020. Design and Experiment of a Sun-powered Smart Building Envelope with Automatic Control. *Energy & Buildings* 223, 110173.
10. Qaiser, I., 2022. A Comparison of Renewable and Sustainable Energy Sector of the South Asian Countries: An Application of SWOT Methodology. *Renewable Energy*, 181, 417-425.
11. Sarıbiyık, O.Y., Kılınc, R., 2021. The Investigation of the Alternative Fuel Biogas Potential for Model Town. *European Journal of Science and Technology*, 25, 192-197.
12. Uçar, I.R., Özer, Z., Sarıbiyık, O.Y., 2021. The Investigation of the Waste Effect on Biogas Production. *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering*, 36, 581-589.
13. Association, S.G., 2021. Basic Data on Biogas. Swedish Gas Technology Centre: Basic Data on Biogas. <https://www.enerdigas.se/> Erişim Tarihi 03.02.2022.
14. Boreka, K., Romaniuk, W., 2020. Biogas Installation for Harvesting Energy and Utilization of Natural Fertilisers. *Sciencio Agricultural Engineering*, 24:1-14.
15. Diamantis, V., Eftaxias, A., Stamatelatou, K., Noutsopoulos, C., Vlachokostas, C., Aivasidis, A., 2021. Bioenergy in the Era of Circular Economy: Anaerobic Digestion Technological Solutions to Produce Biogas from Lipid-rich Wastes. *Renewable Energy*, 168, 438-447.
16. Winqvist, E., Rikkonen, P., Pyysiainen, J., Varho, V., 2019. Is Biogas an Energy or a Sustainability Product?-Business Opportunities in the Finnish Biogas Branch. *Journal of Cleaner Production*, 233, 1344-1354.
17. Bernard, S.S., Srinivasan, T., Suresh, G., Paul, A.I., Fowzan, K.M., Kishore, V.A., 2020. Production of Biogas from Anaerobic Digestion of Vegetable Waste and Cow Dung. *Materials Today: Proceedings*, 33.

18. Sindhu, R., Binod, P., Pandey, A., Ankaram, S., Duan, Y., Awasthi, M.K., 2019. Chapter 5-Biofuel Production from Biomass: Toward Sustainable Development. Current Developments in Biotechnology and Bioengineering, Elsevier, 79-92.
19. Özcanlı, M., Serin, H., Sarıbyık, O.Y., Aydın, K., Serin, S., 2012. Performance and Emission Studies of Castor Bean (*Ricinus Communis*) Oil Biodiesel and its Blends with Diesel Fuel. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 34, 1808-1814.
20. Sarıbyık, O.Y., Özcanlı, M., Serin, H., Serin, S., Aydın, K., 2010. Biodiesel Production from *Ricinus Communis* Oil and its Blends with Soybean Biodiesel. Strojniški Vestnik-Journal of Mechanical Engineering, 56, 811-816.
21. Quiroz, M., Varnero, M.T., Cuevas, J.G., Sierra, H., 2021. Cactus Pear (*Opuntia Ficus-Indica*) in Areas with Limited Rainfall for the Production of Biogas and Biofertilizer. Journal of Cleaner Production, 289, 125839.
22. Nergiz, U., Sert, B., Cemalettin, A., Sarıbyık, O.Y., 2021. The Effect of the Light and Feeding on Growth of Algae in Bioreactor. European Journal of Science and Technology, 23, 475-480.
23. Azadbakht, M., Ardebili, S.M.S., Rahmani, M., 2021. Potential for the Production of Biofuels from Agricultural Waste, Livestock, and Slaughterhouse Waste in Golestan Province, Iran. Biomass Conversion and Biorefinery.
24. Bassey, A., James, E., Bassey, A., Em, A., 2013. Four Potentials of Biogas Yield from Cow Dung-CD. European Journal of Experimental Biology 3.
25. Ma, Y., Yin, Y., Liu, Y., 2017. New Insights Into Co-digestion of Activated Sludge and Food Waste: Biogas Versus Biofertilizer. Bioresource Technology, 241, 448-453.
26. Uyar, B.B., Karadağ, M.G., Sanlier, N., Günyel, S., 2013. Toplumumuzda Sıklıkla Kullanılan Bazı Bitkilerin Toplam Fenolik Madde Miktarlarının Saptanması. Gıda, 38, 23-29.
27. Patthamakanokporn, O., Puwastien, P., Nitithamying, A., Sirichakwal, P.P., 2008. Changes of Antioxidant Activity and Total Phenolic Compounds During Storage of Selected Fruits. Journal of Food Composition and Analysis, 21, 241-248.
28. Martins, G.R., Monteiro, A.F., Amaral, F.R.L., da Silva, A.S.A., 2021. A Validated Folin-ciocalteu Method for Total Phenolics Quantification of Condensed Tannin-rich Açai (*Euterpe Oleracea* Mart.) Seeds Extract. Journal of Food Science and Technology, 58, 4693-4702.
29. Abdallah, M., Shanableh, A., Adghim, M., Ghenai, C., Saad, S., 2018. Biogas Production from Different Types of Cow Manure. Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET).
30. Thompson, L.R., Rowntree, J.E., 2020. Invited Review: Methane Sources, Quantification, and Mitigation in Grazing Beef Systems. Applied Animal Science, 36, 556-573.
31. Font Palma, C., 2019. Methods for the Treatment of Cattle Manure A Review. C 5:27.
32. Getabalew, M., Alemneh, T., Akebergn, D., 2019. Methane Production in Ruminant Animals: Implication for Their Impact on Climate Change. Concepts of Dairy & Veterinary Sciences, 2, 204-210.
33. Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Zollitsch, W., Mayer, K., Gruber, L., 2007. Biogas Production From Maize and Dairy Cattle Manure-Influence of Biomass Composition on the Methane Yield. Agriculture, Ecosystems and Environment, 118.
34. Rani, P., Bansal, M., Pathak, V.V., 2022. Experimental and Kinetic Studies for Improvement of Biogas Production from KOH Pretreated Wheat Straw. Current Research in Green and Sustainable Chemistry, 5, 100283.
35. Wang, Y., Meyer, T.J., 2019. A Route to Renewable Energy Triggered by the Haber-bosch Process. Chem, 5, 496-497.
36. Chojnacka, K., Moustakas, K., Witek-Krowiak, A., 2020. Bio-Based Fertilizers: A Practical Approach Towards Circular Economy. Bioresource Technology, 295, 122223.
37. Jurgutis, L., Šlepėtienė, A., Amalevičiūtė-Volungė, K., Volungevičius, J., Šlepėtys, J., 2021. The Effect of Digestate Fertilisation On Grass Biogas Yield And Soil Properties In Field-Biomass-Biogas-Field Renewable Energy

- Production Approach In Lithuania. Biomass and Bioenergy 153:106211.
38. Xu, J., Mohamed, E., Li, Q., Lu, T., Yu, H., Jiang, W., 2021. Effect of Humic Acid Addition on Buffering Capacity and Nutrient Storage Capacity of Soilless Substrates. *Frontiers in Plant Science* 12.
 39. Govarathanan, M., Manikandan, S., Subbaiya, R., Krishnan, R.Y., Srinivasan, S., Karmegam, N., Kim, W., 2022. Emerging Trends and Nanotechnology Advances for Sustainable Biogas Production from Lignocellulosic Waste Biomass: A Critical Review. *Fuel* 312:122928.
 40. Stevenson, F.J., 1994. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. John Wiley & Sons.
 41. Buffle, J., 1977. Les Substances Humiques et Leurs Interactions Avec Les Ions Mineraux. *Conference Proceedings De La Commission d'Hydrologie Appliquée de A.G.H.T.M. l'Université d'Orsay*:3-10.
 42. Lazo, De., Dyer, L.G., Alorro, R.D., 2017. Silicate, Phosphate and Carbonate Mineral Dissolution Behaviour in the Presence of Organic Acids: A Review. *Minerals Engineering*, 100, 115-123.
 43. Demetgül, C., Delikanlı, A., Sarıbyık, O.Y., Karakaplan, M., Serin, S., 2012. Schiff Base Polymers Obtained by Oxidative Polycondensation and Their Co(II), Mn(II) and Ru(III) Complexes: Synthesis, Characterization and Catalytic Activity in Epoxidation of Styrene. *Designed Monomers and Polymers*, 15, 75-91.
 44. Melo, B.A.G., Motta, F.L., Santana, M.H.A., 2016. Humic Acids: Structural Properties and Multiple Functionalities for Novel Technological Developments. *Materials Science and Engineering: C* 62, 967-974.
 45. Drever, J.I., Stillings, L.L., 1997. The Role of Organic Acids in Mineral Weathering. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 120, 167-181.
 46. Mirza, M.A., Agarwal, S.P., Rahman, M.A., Rauf, A., Ahmad, N., Alam, A., Iqbal, Z., 2011. Role of Humic Acid on Oral Drug Delivery of an Antiepileptic Drug. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 37, 310-319.
 47. Elisabetta, L.N.S., 2006. The Role of Humic Substances in the Fate of Anthropogenic Organic Pollutants in Soil with Emphasis on Endocrine Disruptor Compounds. *Soil and Water Pollution Monitoring, Protection and Remediation*, 69-92.
 48. Rostami, M., Shokouhian, A., Mohebodini, M., 2022. Effect of Humic Acid, Nitrogen Concentrations and Application Method on the Morphological, Yield and Biochemical Characteristics of Strawberry 'Paros'. *International Journal of Fruit Science*, 22, 203-214.
 49. Braziene, Z., Paltanavicius, V., Avizienytė, D., 2021. The Influence of Fulvic Acid on Spring Cereals and Sugar Beets Seed Germination and Plant Productivity. *Environ Res*, 195, 110824.
 50. Akcin, A., 2021. The Effects of Fulvic Acid on Physiological and Anatomical Characteristics of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Flamura 85 Exposed to Chromium Stress. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 30, 590-609.
 51. Liu, X., Yang, J., Tao, J., Yao, R., 2022. Integrated Application of Inorganic Fertilizer with Fulvic Acid for Improving Soil Nutrient Supply and Nutrient Use Efficiency of Winter Wheat in a Salt-Affected Soil. *Applied Soil Ecology*, 170, 104255.
 52. Xu, J., Mohamed, E., Li, Q., Lu, T., Yu, H., Jiang, W., 2021. Effect of Humic Acid Addition on Buffering Capacity and Nutrient Storage Capacity of Soilless Substrates. *Frontiers in Plant Science*, 12, 644229-644229.
 53. Hamy, A.R.A., Enas, Z., Hassan, A., El-Zehery, H.R.A., Salem, A.A., 2021. New Strains of Plant Growth-promoting Rhizobacteria in Combinations with Humic Acid to Enhance Squash Growth Under Saline Stress. *Egyptian Journal of Science*, 61, 129-146.
 54. Amer, A., Ghoneim, M., Shoala, T., Mohamed, H.I., 2021. Comparative Studies of Eco-friendly Compounds Like Humic Acid, Salicylic, and Glycyrrhizic Acids and Their Nanocomposites on French Basil (*Ocimum Basilicum* L. Cv. Grand Verde). *Environ Sci Pollut Res Int*, 28, 47196-47212.

55. Deng, A.N., Luo, J.H., Su, C.L., Wu, X.F., Zhao, M., 2021. Reduced Inorganic Fertiliser in Combination with an Alkaline Humic Acid Fertiliser Amendment on Acid Growth Media Properties and Cherry Tomato Growth. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 49, 225-242.
56. Chen, Q., Qu, Z., Ma, G., Wang, W., Dai, J., Zhang, M., Wei, Z., Liu, Z., 2022. Humic Acid Modulates Growth, Photosynthesis, Hormone and Osmolytes System of Maize Under Drought Conditions. *Agricultural Water Management*, 263, 107447.
57. Khalili, S., Khandan-Mirkohi, A., 2021. Humic Acid Improves Morpho-physiological and Biochemical Traits of *Phyla Nodiflora*. *Acta Physiologiae Plantarum*, 43, 1-11.
58. Morais, E.G., Silva, C.A., Maluf, H.J.G.M., 2021. Soaking of Seedlings Roots in Humic Acid as an Effective Practice to Improve Eucalyptus Nutrition and Growth. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52, 1399-1415.
59. Li, Y., Fang, F., Wei, J., Cui, R., Li, G., Zheng, F., Tan, D., 2021. Physiological Effects of Humic Acid in Peanut Growing in Continuous Cropping Soil. *Agronomy Journal*, 113, 550-559.

Investigation of the Effect of Solid Wire and Flux Combinations Used in Submerged Arc Welding of the LPG Cylinders on Mechanical Properties

Uğur NUHOĞLU*¹ ORCID 0000-0003-2807-4848

Tolga MERT² ORCID 0000-0003-2407-3426

Mustafa TÜMER³ ORCID 0000-0002-1931-4750

¹Yıldız Technical University, Graduate School of Science and Engineering, Istanbul

²Yıldız Technical University, Mechanical Engineering Department, Istanbul

³Kocaeli University, Welding Technology Program, Kocaeli

Geliş tarihi: 09.03.2022

Kabul tarihi: 16.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: NUHOĞLU, U., MERT, T., TÜMER, M., (2022). Investigation of the Effect of Solid Wire and Flux Combinations Used in Submerged Arc Welding of the LPG Cylinders on Mechanical Properties. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 509-517.

Abstract

Liquefied petroleum gas (LPG) cylinder is a type of pressure vessel that used to store and transport liquefied gases. In this study, S460MC steel with a thickness of 1.50 mm and submerged arc welding method were used in the manufacturing of LPG cylinders. Selection of the welding consumables (wire, flux) and optimization of the welding parameters (current, voltage, travel speed) are the primary focus of the study. Selected welding parameters have been verified as a result of visual and radiographic (X-ray) tests and macroscopic examinations. In order to analyze the effects of welding consumables on mechanical properties, test specimens were prepared, then tensile and hardness tests were performed and it was observed that molybdenum element increased the mechanical strength. In order to fulfill the requirements of the LPG cylinder production standard, bursting & volumetric expansion tests and pressure fatigue tests were performed and the requirements were met.

Keywords: LPG cylinder, Submerged arc welding, HSLA steel, Molybdenum, Mechanical strength

LPG Tüplerinin Tozaltı Ark Kaynağında Kullanılan Kaynak Teli ve Kaynak Tozu Kombinasyonlarının Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi

Öz

Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) tüpü, sıvılaştırılmış gazları depolamak ve taşımak için kullanılan bir tür basınçlı kaptır. Bu çalışmada, LPG tüpü imalatında kalınlığı 1.50 mm olan S460MC çeliği ve tozaltı ark kaynağı yöntemi kullanılmıştır. Kaynak sarf malzemelerinin (tel, toz) seçimi ve kaynak parametrelerinin

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Uğur NUHOĞLU, ugurnuhoglu1461@gmail.com

(akım, gerilim, ilerleme hızı) optimizasyonu çalışmanın öncelikli odak noktalarıdır. Görsel ve radyografik (X-ışını) testler ve makroskopik incelemeler sonucunda seçilen kaynak parametreleri doğrulanmıştır. Kaynak sarf malzemelerinin mekanik özellikler üzerine etkilerini incelemek amacıyla deney numuneleri hazırlanmış sonrasında çekme ve sertlik ölçme testleri yapılmıştır ve molibden elementinin mekanik dayanımı arttırdığı gözlemlenmiştir. LPG tüp üretim standardı gereksinimlerini doğrulamak amacıyla da patlatma & hacimsel genleşme deneyleri ve basınçla yorulma deneyleri uygulanmıştır ve gereksinimler sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: LPG tüpü, Tozaltı ark kaynağı, Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelik, Molibden, Mekanik dayanım

1. INTRODUCTION

LPG cylinder is a product that is open to gains and improvements in terms of material consumption, logistics costs and transport ergonomics. The primary step to achieve these improvements is to reduce the weight of LPG cylinders. In this direction, it is necessary to reduce the thickness of the steel used as a raw material. In order to provide the required mechanical strength after the thinning of the wall thickness, materials with higher mechanical strength values than conventional LPG cylinder steels should be used.

Pressure vessels are equipment that are closed to the atmosphere used in the production, transportation or storage of industrial gases, fuel gases and steam [1]. LPG cylinder is a type of pressure vessel that requires high tensile and compression strength to store pressurized gases. The steel of the pressure vessel should not be affected or weakened by the planned content (LPG) and not cause a dangerous effect. The steel must be resistant to brittle fracture and stress corrosion cracking. The steel cylinders are manufactured either in two piece or three-piece construction. In two-piece construction, cylinders are fabricated by welding two domed ends together. The strength characteristics of the welds in the finished cylinder should meet all the requirements, which are specified in the TS EN 14140 for the design and calculation of the cylinder [2, 3]. S460MC is a high strength low alloy (HSLA) ferritic-pearlitic structural steel with minimum yield strength of 460 MPa. Welding techniques with minimal heat input are recommended to maintain the fine structure

providing high strength properties [4]. Submerged arc welding is an arc welding method in which the heat required for welding is generated by the arc formed between the melting electrode and the workpiece. Due to its high productivity, submerged arc welding (SAW) is preferred rather than many welding processes. SAW process offers significant advantages such as high reliability, stable arc, no spatters, no fumes or radiation, deep penetration and excellent surface finish of welds. In submerged arc welding, welding metal is formed by the chemical and physical reaction among filler metal, base metal, and welding flux. While the arc, the weld metal and the base metal are protected by the flux and slag (molten flux). Welding flux also reacts with the weld pool and deoxidizes the weld metal. Welding fluxes used when welding alloy steels may contain alloying elements that balance the chemical composition of the weld metal. Welding flux and welding wire should be chosen precisely to obtain a good compatibility between base and weld metals. The alloying elements in flux can be used to enhance the mechanical properties and crack resistance of the weld bead [5-7]. Welding parameters such as current, voltage and travel speed are the principal parameters of submerged arc welding (SAW). Increasing the welding current to improve deposition rate, leads to an increase in heat input [8, 9]. In addition, this leads to deeper penetration and higher melting rate of welding wire. Lack of penetration or incomplete fusion may occur if the current is too low. Essentially, the arc voltage determines the shape and appearance of the weld bead section. While current and travel (welding) speed are constant, increase in voltage results in a flatter and wider weld bead [10].

Steel is an iron (Fe) - carbon (C) alloy. In addition to carbon, steels are also alloyed with different elements such as Mn, Si, Cr, Ni, Mo, V, W, Al, etc. In terms of weldability, carbon and low alloy steels can be divided into different classes such as carbon steels, high-strength low alloy steel or heat-treatable low alloy steels. HSLA steels are designed to provide better mechanical properties than conventional carbon steels. They are generally classified according to mechanical properties rather than chemical compositions. The weldability of most HSLA steels is similar to that of mild steel. The carbon equivalents (CE) are kept low for good weldability [11].

S460MC steel is a weldable and cold formable material with high mechanical strength. Therefore, it was used as a raw material in the manufacturing of LPG cylinder. The scope of this study is as follows; optimization of submerged arc welding parameters, selection of welding consumables, destructive & non-destructive tests and the

evaluation of the effect of welding consumables on mechanical properties.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Base and Filler Metal

This part can be handled in two parts; the steel material used in the manufacturing of the LPG cylinder and the consumables (welding wire and welding flux) used in circumferential submerged arc welding. S460MC was used as a base material for the manufacturing of the LPG cylinder due to its high strength and its chemical composition for weldability. The mechanical and chemical properties of the S460MC steel are shown in Table 1 and Table 2. Due to their completely adjusted chemical composition and precisely controlled thermo-mechanical processes, their strength and ductility are maintained.

Table 1. Mechanical properties of S460MC [12]

Standard	Quality	Re, (N/mm ²)	Rm, (N/mm ²)
EN 10149-2	S460MC	460 (min.)	520-720

Table 2. Chemical composition of S460MC [12]

Standard	%C max.	%Mn	%P max.	%S max.
	0.12	1.00-1.60	0.025	0.015
EN 10149-2	%S max.	%Si max.	%Al	%Nb max.
	0.015	0.3	0.015-0.060	0.09

In order to obtain good results in welded joints, base metal and filler metal chemical compositions must be compatible [13]. Two different wire-flux combinations were selected to analyze the effect of welding consumables on the circumferential weld

of LPG cylinders. By taking into consideration the thickness of the base metal to be welded (1.50 mm), welding wires were selected with 1.60 mm diameter for experiments. The wire-flux combinations used are given in Table 3.

Table 3. Wire-flux combination

Standard	Code	Wire	Flux
EN ISO 14171-A	S1	S 42 A AR S1	S A AR 1
	S2Mo	S 46 3 AB S2Mo	S A AB 1

S1 is a solid, submerged arc welding wire suitable for welding general structural steels with tensile strengths up to 510 N/mm², used in pressure vessel, pipe, shipbuilding and steel constructions [14]. S A AR 1 is a rutile type, agglomerated submerged arc

welding flux, which is designed for welding of at high speeds with excellent bead appearance [15]. S2Mo is a Mo-alloyed and solid, submerged arc welding wire suitable for welding general structural steels, low alloyed steels with medium

and high tensile strengths, used in pressure vessel, boiler, tanks, pipe and heavy steel constructions [16]. S A AB 1 is an alumina-basic type, agglomerated submerged arc welding flux [17].

The chemical compositions and mechanical properties of welding wires given by supplier are shown in Table 4.

Table 4. Typical mechanical properties and chemical content of S 42 A AR S1 and S 46 3 AB S2Mo welding wires [15,17]

Wires	Elements (%wt.)				
	C	Si	Mn	Mo	
S 42 A AR S1	0.07	0.03	0.55	-	
S 46 3 AB S2Mo	0.05	0.30	1.35	0.35	
Mechanical properties	Re (N/mm ²)	Rm (N/mm ²)	Elongation (%)	Charpy V-notch properties (J)	
S 42 A AR S1	460	530	28	20°C → 60	0°C → 30
S 46 3 AB S2Mo	510	570	26	20°C → 100	-40°C → 50

2.2. Welding and Experimental procedure

Lincoln Electric AC/DC 1000® SD welding machine and MAXsa® 10 control unit were used for the circumferential submerged arc welding of the LPG cylinder. In the mechanism where the welding process is carried out, the welding torch can be adjusted to the desired position, then the LPG cylinder is rotated in the horizontal position and welded. The welding set-up is shown in Figure 1. 200 mm trial weld beads were prepared with nine different combinations of current, voltage and travel speed. The parameter combinations of these trial runs are shown in Table 5.

Visual and radiographic inspections and macroscopic examinations were carried out for the prepared weld specimens. During the visual inspection, incomplete fusion was observed in the

weld beads of the W-1 and W-2 coded runs.

No visual defects were observed for other weld beads. The incomplete fusion is shown in Figure 2. After the visual inspection, radiographic tests (X-ray) were performed for each welded specimen according to TS EN ISO 17636.

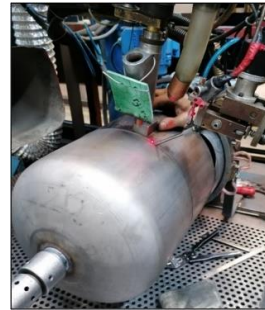


Figure 1. Welding set-up

Table 5. Parameter combinations

Run	Current (A)	Voltage (V)	Travel speed (cm/min.)	Weld length (mm)	Heat Input (kJ/mm)
W-1	240	26	90	200	0.42
W-2	245	26.5	100	200	0.39
W-3	250	27	110	200	0.37
W-4	255	27.5	90	200	0.47
W-5	260	28	100	200	0.44
W-6	265	28.5	110	200	0.41
W-7	270	29	90	200	0.52
W-8	275	29.5	100	200	0.49
W-9	280	30	110	200	0.46

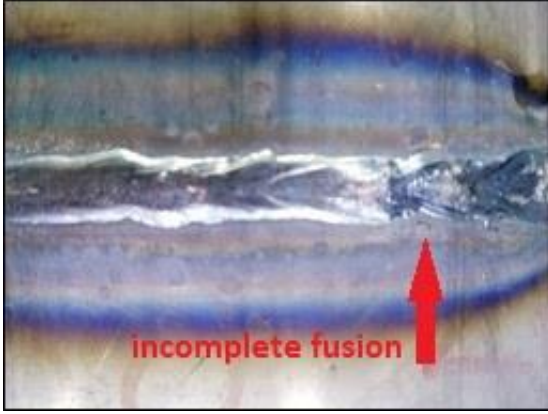


Figure 2. Incomplete fusion

Macroscopic examination was performed in accordance with TS EN ISO 17639. Welded specimens were sanded with 30, 180 and 600 grit sand papers. Then, etching was carried out in accordance with ISO/TR 16060. 5 ml of nitric acid (HNO₃) and 95 ml of ethanol (C₂H₅OH) solution was used as an etchant.

Except the lack of penetration in the specimen welded with W-5 run, no weld defects were observed in the macro image of any specimen. It was evaluated that this defect was not caused by the selection of the welding parameter but caused by the axial misalignment in the weld groove.

The complete penetration in the macro images of other specimens welded with parameters similar to W-5 also supports this inference. However, in the continuation of the study, the welding parameters of W-5 were verified by additional tests. The parameters of W-5 run were chosen as the welding parameters to be used with the S1 and S2Mo coded runs.

Bursting & volumetric expansion and pressure fatigue tests were performed for these specimens in accordance with TS EN 14140 (Figure 3). Since these tests should be performed for the whole body of LPG cylinder, three specimens were welded with same parameters. In order to analyze the effect of consumable selection on mechanical properties, tensile tests per EN ISO 4136 and

hardness test per TS EN ISO 9015-2 were carried out [18-19].



Figure 3. a) Bursting & volumetric expansion test set-up, b) Pressure fatigue test set-up

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1. Visual Test, Radiographic Test, Macroscopic Test

As in the parameter optimization trial phase, visual and radiographic inspections and macroscopic examination tests were also performed initially. Each specimen has passed these three tests successfully. Thus, the welding parameters of W-5 trial run were verified at this stage. The macro image and radiographic inspection of welded cylinders with S1 and S2Mo consumables (wire&flux) using W-5 parameters are shown in Figure 4.

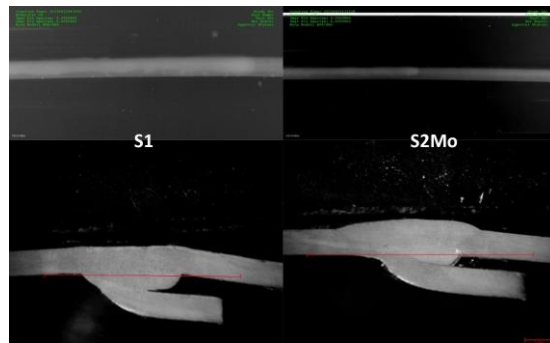


Figure 4. The macro image and radiographic inspection

3.2. Bursting & Volumetric Expansion Test

Bursting & volumetric expansion tests were performed according to TS EN 14140. Accordingly, the cylinder was pressurized until it burst. The difference between initial volume (V_i) and final volume (V_f) of the LPG cylinder was proportioned to the initial volume, thus the volumetric expansion ratio was calculated. Tested cylinders are shown in Figure 5 and the test results are shown in Table 6. As a result of bursting & volumetric expansion tests, the bursting pressure measured for each specimen was above 67.5 bar, which meant that burst pressure requirement was met in accordance with TS EN 14140. Volumetric expansion values were calculated under 17% for each specimen. However, according to TS EN 14140, it is possible to manufacture the cylinders free from the volumetric expansion criteria by equipping them with a pressure relief device (valve with safety valve, etc.).

3.3. Pressure Fatigue Test

Pressure fatigue tests were performed according to TS EN 14140. The cylinders were filled and discharged with water and tested with repetitive hydraulic pressures, where upper pressure is 30 bars and lower pressure is 3 bars. The cycle

frequency is 9 cycles/min. Test results are shown in Table 7. As a result of the pressure fatigue tests, all specimens met the criteria by resisting to a minimum of 12.000 cycles in accordance with TS EN 14140. After reaching 12.000 cycles these tests were terminated. The reason why S1 specimen shows higher cycle than S2Mo specimen is that S1 specimen's test was performed overnight and it had far exceeded 12.000 cycles already before the test was stopped.



Figure 5. Cylinders subjected to bursting & volumetric expansion test

Table 6. Bursting & volumetric expansion test results

Specimen code	V_i (Lt)	V_f (Lt)	$(V_f - V_i) / (V_i)$ (%)	Bursting pressure (bar)
S1	26	26.76	2.9	99.62
S2Mo	26.35	27.17	3.1	86.91

Table 7. Pressure fatigue test results

Specimen code	Cycle		Pressure (bar)	
	Number	Frequency (cycles/min.)	Lower	Upper
S1	16620	9	3	30
S2Mo	12200	9	3	30

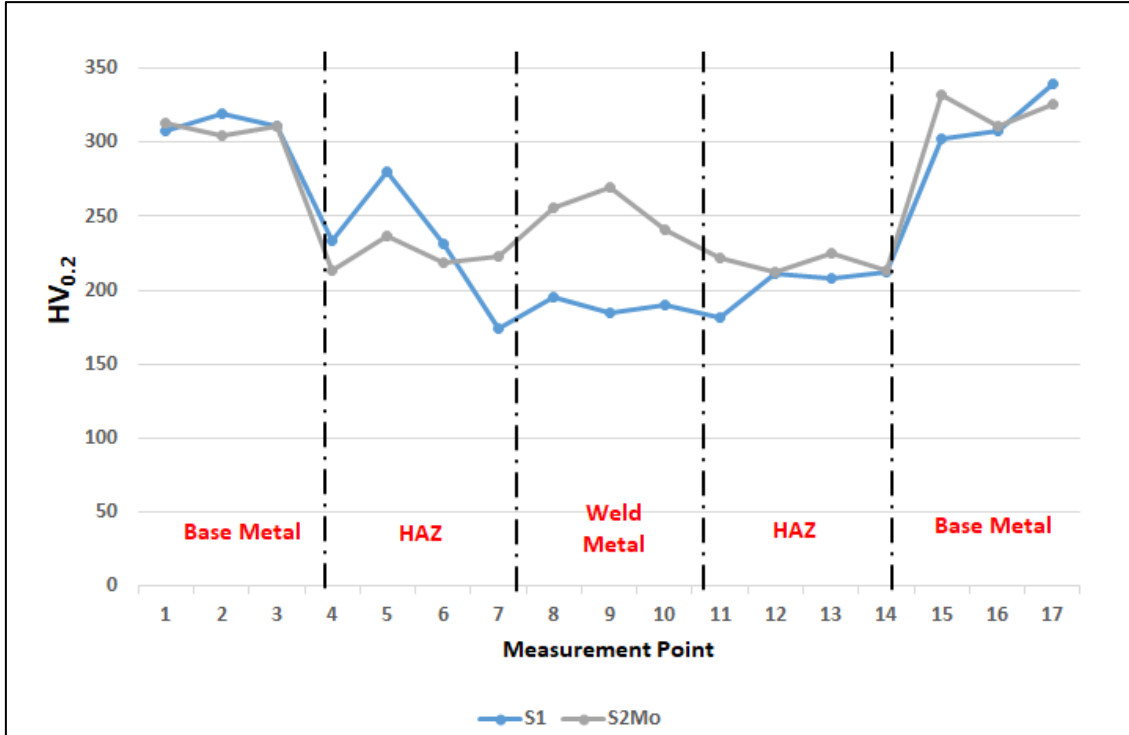


Figure 6. Hardness results

3.4. Hardness Test

Hardness values for two wire-flux combinations are given in Figure 6. Base metal's hardness value is 313 ± 12 HV_{0.2}. Significant drops in hardness in HAZs of S1 and S2Mo specimens compared with the base metal take attention. HAZ hardness values for S1 and S2Mo specimens were measured as 229 ± 24 HV_{0.2} and 220 ± 9 HV_{0.2}, respectively. Weld metal hardness obtained with S2Mo wire was 31% higher than the one obtained with S1 wire. Weld metal hardness measurements for S1 specimen show close results with its HAZ. Although there is a tendency for hardness decrease in weld metal and HAZs, cylinders welded with two wire-flux combinations fulfill the necessities of standards in bursting & volumetric expansion tests as well as pressure fatigue tests. The increase of Mo content creates grain-refined weld metal microstructure with impressively improved toughness. Significant amounts of Mo (*0.1 wt%) provides excellent properties in weld metals of alloy steels. In addition, the effect of Mo on the microstructure

and thus the hardening takes place in conventional steels [20, 21]. In a previous study, besides the effect of Mo, hardness values decreased with increasing heat input. Also, high heat input negatively affected the toughness values [22]. The most important reason why the hardness values of the S2Mo weld metals are partially lower than the base metal is the high heat input provided by the selected welding method. Despite the decreasing of hardness in weld metal and HAZ, the damages occurred in the base metals in the bursting & volumetric expansion and pressure fatigue tests.

3.5. Tensile Test

Transverse tensile tests were performed in accordance with TS EN ISO 4136. As a result of the tensile tests, it was observed that base metals fractured. All of the tensile strength (R_m) values were higher than the minimum tensile strength value of S460MC steel, which is between $520-720$ N/mm² according to EN 10149-2. The average tensile strength value of S2Mo

combination was 744.5 N/mm², and the average of S1 combination was 684.5 N/mm². S2Mo welding wire contains 0.35% Mo. The main purpose of adding molybdenum into the weld metal is to improve the weld strength [5, 23]. In this direction, the strength improving effect of molybdenum was confirmed by tensile and hardness tests.

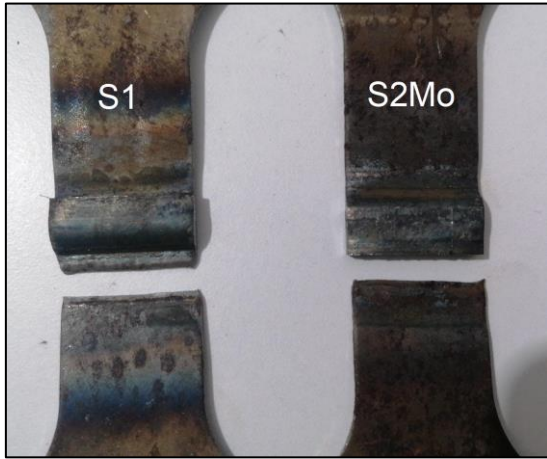


Figure 7. Tensile test specimens. S1 specimen (left), S2Mo specimen (right)

4. CONCLUSIONS

This study examined the effect of different filler metal and flux combinations on mechanical properties of submerged arc welded S460MC steel. According to the results above, the following conclusions can be drawn:

- Both filler metal combinations have successfully completed the bursting & volumetric expansion and pressure fatigue tests in line with the requirements of the relevant standards.
- Due to the Mo content of S 46 3 AB S2Mo wire, hardness and tensile strength values were higher than the LPG cylinder welded with S 42 A AR S1 wire. Since Molybdenum is a strong carbide forming element, carbide segregation at grain boundaries increases hardness. In addition, enhancement in tensile strength is due to solid solution strengthening

mechanism [23]. The softening in the HAZ regions is almost similar due to the same heat inputs for either combination.

- If the working conditions are evaluated for strength, S1 denoted filler wire and flux combination (S 42 A AR S1 wire and S A AR 1 flux) can also be used safely.

5. ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by Yildiz Technical University Scientific Research Projects Coordination Unit (YTU BAPK) Project (Project No:FBA-2021-4500) and EVAS LPG Cylinders Company.

6. REFERENCES

1. Caligulu, U., Türkmen, M., Tufanoğlu, E., Kejanli, H., 2017. P460-St52 Malzemelerin Tozaltı Kaynağında Amper Değerinin Etkisi. 2. Savunma Sanayi Sempozyumu, 6-7 Nisan 2017, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.
2. Tom, A, Pius, G.M., Joseph, G., Jose, J., Joseph, M.J., 2014. Design and Analysis of Lpg Cylinder. International Journal of Engineering & Applied Sciences (IJEAS), 6(2), 17-31.
3. TS EN 14140, 2015. LPG Donanım ve Aksesuarları-Taşınabilir, Tekrar Doldurulabilir, Kaynaklı Çelik Tüpler-Alternatif Tasarım ve İmalat, Ankara.
4. Sebestova, H., Hornik, P., Mrna, L., Dolezal, P., 2018. Microstructure and Mechanical Properties of Hybrid LasTIG Welds of HSLA Steel. 10th CIRP Conference on Photonic Technologies (LANE 2018), Brno, 743-747.
5. Akay, A.A., Kaya, Y., Kahraman, N., 2013. Farklı Özellikteki Malzemelerin Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesi ve Birleştirmelerin Tahribatlı ve Tahribatsız Muayenesi. SAÜ. Fen Bil. Der., 17(1), 85-96.
6. Saudi, A., Fella, M., Sedik, A., Lerari, D., Khamouli, F., Atoui, L., Bachari, K., 2020. Assessment and Statistical Correlation of Mechanical Properties of Double-sided Single Pass Submerged Arc Welded Line Pipe Steel. Engineering Science and Technology, an International Journal, 23(2), 452-461.

7. Kahraman, N., Gülenç, B., Durgutlu, A., 2005. Investigation of the Effect of Electrode Extension Distance on Microstructural and Mechanical Properties of Low Carbon Steel Welded with Submerged Arc Welding. *G.U. Journal of Science*, 18(3), 473-480.
8. Peasura, P., 2017. Investigation of the Effects of Submerged Arc Welding Process Parameters on the Mechanical Properties of Pressure Vessel Steel ASTM A283 Grade A. *Hindawi Journal of Engineering*, 2017, 1-8.
9. Ma, Z., Zhuang, M., Li, M., 2020. Effect of Main Arc Voltage on Arc Behavior and Droplet Transfer in Tri-arc Twin Wire Welding. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 4876-4883.
10. Weisman, C., Kearns, W.H., 1978. *Welding Handbook: Welding Processes, Arc and Gas Welding and Cutting, Brazing and Soldering*. American Welding Society, Miami, 592.
11. Weisman, C., Kearns, W.H., 1982. *Welding Handbook: Metals and Their Weldability*. American Welding Society, Miami, 582.
12. Oyak Maden Metalürji Grubu, Yassı Ürün Kataloğu, <https://www.erdemir.com.tr/>. Erişim Tarihi: 10.12.2021, 2020, İstanbul.
13. Weisman, C., Kearns, W.H., 1976. *Welding Handbook: Fundamentals of Welding*, American Welding Society, Miami, 376.
14. Magmaweld, SW 701 Datasheet, <https://www.magmaweld.com.tr/>, Erişim Tarihi: 05.01.2022, 2021.
15. Magmaweld, SF 212 Datasheet, <https://www.magmaweld.com.tr/>, Erişim Tarihi: 05.01.2022, 2021.
16. Magmaweld, "SW 702Mo Datasheet," <https://www.magmaweld.com.tr/>, Erişim Tarihi: 05.01.2022, 2021.
17. Magmaweld, "SW 304 Datasheet," <https://www.magmaweld.com.tr/>, Erişim Tarihi: 05.01.2022, 2021.
18. TS EN ISO 4136, 2013. *Metalik Malzemelerin Kaynakları Üzerinde Tahribatlı Deneyler-Enine Çekme Deneyi*, Ankara.
19. TS EN ISO 9015-2, 2016. *Metalik Malzeme Kaynaklarında Tahribatlı Deneyler-Sertlik Deneyi-Kısım 2: Kaynaklı Birleştirmelerde Mikro Sertlik Deneyi*, Ankara.
20. Bhole, S.D., Nemade, J.B., Collins, L., Liu, C., 2006. Effect of Nickel and Molybdenum Additions on Weld Metal Toughness in a Submerged Arc Welded HSLA Line-pipe Steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 173(1), 92-100.
21. Roy, T.K., Bhattacharya, B., Ghosh, C., Ajmani, S.K., 2018. *Advanced High Strength Steel*, Springer.
22. Viano, D.M., Ahmed, N.U., Schumann, G.O., 2000. Influence of Heat Input and Travel Speed on Microstructure and Mechanical Properties of Double Tandem Submerged Arc High Strength Low Alloy Steel Weldments. *Science and Technology of Welding and Joining*, 5(1), 26-34.
23. Menghani, J., Dwivedi, K., 2016. Effect of Molybdenum Addition on Microstructure and Mechanical Properties of Plain Carbon Steel Weld. *Metallurgical and Materials Engineering*, 22(4), 269-284.

A Novel Production Method of Polymer Bolts and the Effects of the Printing Orientation on Tensile and Shear Strength of the 3D Printed Bolts

Oğuz DOĞAN*¹ ORCID 0000-0003-4203-8237
Muhammed Safa KAMER¹ ORCID 0000-0003-3852-1031

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

Geliş tarihi: 05.04.2022 Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: DOĞAN, O., KAMER, M.S., (2022). A Novel Production Method of Polymer Bolts and the Effects of the Printing Orientation on Tensile and Shear Strength of the 3D Printed Bolts. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 519-529.

Abstract

Lightweight structures are one of the most studied topics today. Many metal machine elements can be produced from lightweight polymer materials with 3D printer technology. In this study a novel manufacturing method is proposed for the polymer bolts and the effects of the printing directions on the tensile and shear strength are investigated experimentally. Firstly the bolt shafts are produced FDM method by using 3D printer for different print orientations and the final diameters of the bolt shafts are determined by the turning process. A special apparatus is designed and manufacture for threader tool. The screw pitches are opened by using this special apparatus with threader tool. After the manufacturing process, the performance of the produced tensile and shear test samples are defined by using tensile and shear tests. A special tensile test apparatus is also developed in this study. It is seen that the printing orientation has great effects on the tensile and shear durability of the bolts. It has been determined that the strength of the bolts produced with a production angle of 0° is the highest, and the strength of the bolts produced with 45° is the lowest.

Anahtar Kelimeler: Additive manufacturing, Fused deposition modelling (FDM), 3D printing, Tensile and shear strength, Polymer bolts

Polimer Cıvatalar için Yeni Bir Üretim Yöntemi ve Farklı Baskı Yönlerinin Polimer Cıvataların Çekme ve Kesme Dayanımı Üzerine Etkisi

Öz

Hafif yapılar günümüzde en çok çalışılan konulardan birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Metalden üretilen birçok makine elemanı 3D yazıcı teknolojisi ile hafif polimer malzemelerden üretilmektedir.

*Corresponding Author (Sorumlu yazar): Oğuz DOĞAN, oguzdogan@ksu.edu.tr

Bu çalışmada, polimer cıvatalar için yeni bir üretim yöntemi önerilmiş ve baskı yönünün çekme ve kesme mukavemeti üzerine olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Öncelikle cıvata şaftları farklı baskı yönleri için eriyik yığın modelleme (EYM) yöntemiyle üretilmiştir, ardından şaftların son çapları tornalama işlemi ile belirlenmiştir. Diş açmada kullanılacak olan pafta için özel bir aparat tasarlanmış üretilmiştir. Cıvata dişleri bu özel aparat kullanılarak pafta ile açılmıştır. İmalat sürecinden sonra, üretilen çekme ve kesme test numunelerinin performansları çekme ve kesme testleri ile belirlenmiştir. Çekme ve kesme testleri için ayrıca özel aparat tasarımları da gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çekme ve kesme testleri sonucunda baskı yönünün cıvataların çekme ve kesme dayanımları üzerinde oldukça etkili olduğu görülmektedir. 0° üretim açısı ile üretilen cıvataların dayanımının en yüksek, 45° ile üretilen cıvataların dayanımının ise en düşük olduğu belirlenmiştir.

Keywords: Eklemeli imalat, Eriyik yığın modelleme (EYM), 3D yazdırma, Çekme ve kesme dayanımı, Polimer cıvatalar

1. INTRODUCTION

Screws and bolts are one of the most important joining elements in the industry. They make important contributions to the increase of the construction mass. Today, the creation of lightweight structures is at the top of engineering studies. In order to lighten the structures, it is possible to use polymer bolts instead of metal bolts with in the 3D printer technology. The 3D production technique is a method based on the production of the part to be produced as a single piece, in layers. In this production technique, the raw material is heated and fluidized and passed through a nozzle, allowing the part to be produced in layers. Ngo et al. [1] lists the advantages of additive manufacturing as freedom of design, customization, waste minimization, and the ability to produce complex structures in comprehensive review studies, Popescu et al. [2] comprehensively summarized the effects of FDM production parameters on the mechanical properties of polymer test specimens. It is emphasized that the most decisive mechanical properties for materials produced by additive manufacturing are tensile, compression, bending and impact strengths.

The effects of different production parameters such as extrusion temperature, table temperature, nozzle diameter, and infill density, pattern and build orientation, on the tensile strength are examined the most in the literature. Geng et al. [3] investigate effects of printing parameters on the mechanical properties of polyphenylene sulfide (PPS). The tensile and bending strengths of PPS

samples can be improved by increasing the melt extrusion parameters. Nevertheless, the impact strength is restricted by excess melt extrusion. Rodriguez et al. [4] conduct bending and fatigue test to define the influence of six different production parameters on the mechanical properties of the polylactic acid (PLA). As a result of the study, the layer orientation is founded as the most influential parameter on the mechanical properties of the 3D printer PLA test specimens. Moreover the fatigue behaviors of the 3D printed samples are discussed in the study. Lee et al. [5] investigated the effects of processing parameters on the mechanical properties of fused deposition modelling (FDM)-printed carbon fiber-filled polylactide (CFR-PLA) composites by employing an orthogonal array model. The tensile and impact strengths of the composites are evaluated. Bed temperature is defined the most influential parameter. On the other hand, the bed temperature and the print orientation are the key parameters for the impact strength.

There are few studies in the literature, about the 3D printed bolts and screws. Generally the 3D printed bolts are used in the biomedical fields and aerospace applications due to the lightweight advantages. Nguyen et al. [6] developed a 3D printed screw-and-nut based droplet generator. The two components of the droplet generator are fabricated by a 3D printer and assembled simply by a bolt-and-nut combination. Thanks to the novel production method, the proposed 3D printed droplet generator is defined as rapid, simple and

cost – effective to be fabricated without need of lithographic processes. Dhandapani et al. [7] used 3D printed screws for the biomedical applications. They produce biodegradable porous orthopaedic screw. The porous screws showed significantly increased vascularization in a rat subcutaneous implantation as compared to control screws. Feng et al. [8] produced bolts by using 3D printing technology and characterized these bolts based on digital image correlation and infrared thermography. According to the test results, the die steel bolts are more durable than the 3D printed prototype bolts also the 3D printed bolts have a high bearing capacity. Some researchers are designed and ISO standard bolts and nuts via 3D printer by using PLA and ABS materials. They investigated the shear strength of the 3D printers both numerically [9] and experimentally [10]. It is seen that PLA is more durable than the ABS according to the shear strength.

Printing orientation is one of the most significant production parameter which is effected the mechanical properties of 3D printed products. There are a number of studies in the literature about the effects of printing orientation on the mechanical properties of the test samples. Tensile, compressive and bending strength are the one of the most important properties for 3D printed samples. Yesil et al. [11] investigated the effects of printing parameters on the bending strength of the 3D printed PLA beams. Three point bending tests are conducted. The filling orientation, 0° - 90° , provides better distribution of stress throughout the length of beam and hence, obtaining higher stress and modulus parameters. Keles et al. [12] investigated the effects of build orientation on the mechanical reliability of the 3D printed ABS material. Three different build orientations XY, C+45 and XZ are used in the study. It is found that the XZ orientation has the highest strength. However the C+45 orientation has the lowest strength. Markiz et al. [13] produced ten different tensile test specimens (1–5 at 0° and 6–10 at 90°). The tensile tests are conducted according to the ASTM D638 standard. It is found that the build orientation has great effect on the tensile strength

of the ABS. 0° printing direction specimens are approximately %44.7 stronger than the 90° printing direction specimens. Another study is conducted by Valean et al. [14] and the effects of manufacturing parameters on tensile properties of FDM printed specimens is investigated experimentally. The three different spatial orientation 0° - 45° - 90° is investigated. It is found that the spatial orientation has fewer effects on the young modulus however, has higher influence on the tensile strength. The creep behaviors of PLA and PLA composite material are searched by Tezel et al. [15]. The effects of printing parameters such as printing orientation and layer thickness are investigated experimentally via creep test apparatus. The creep resistance increase with the increase in the layer thickness for PLA however, decreases for PLA composite. Moreover first rate creep characteristic is seen for the 90° printing orientation. The effects of build orientation and infill density are experimentally investigated by Gonabadi et al. [16] with digital image correlation. As a result of the study the build orientation and infill density has significant effect on the mechanical properties.

In this study, a novel manufacturing technique for polymer bolts is presented and the effects of the printing direction on the tensile and the shear strength of the bolts are investigated experimentally. The polymer bolts with different printing orientation are produced via additive manufacturing and turning process. A special threader tool arm is designed and produced to open screws properly. The produced tensile and shear test specimens are experimentally test by using tensile test machine. As a result of the study, the proposed manufacturing method can be used to obtain lightweight constructions in special productions. The printing direction has great effects on the tensile and shear strength of the polymer bolts.

2. MATERIAL AND METHOD

The polymer bolts are produced by combining additive manufacturing, turning and threading

processes. Ultimaker brand PLA (Polylactic Acid) filaments which has 2.85 mm diameter are used as a material of the bolts. PLA can be economically produced from the environmental-friendly renewable sources and it has good mechanical properties. Thus, the PLA is the most common used polymer filament in 3D printing applications. The tensile and shear specimens are produced with Ultimaker 2+ Extended 3D printer. The printing area is 230x230x305 mm and the resolution is 12.5 μm –12.5 μm - 5 μm for the x – y – z axis respectively. The test specimens are designed in Solidworks software with 16.1 mm diameter and 200 mm length. The designed data are converted stl file format and send to the Ultimaker Cura software for the definition of the 3D manufacturing parameters. The G – codes are also created in Ultimaker Cura software. The manufacturing parameters of the test specimens defined in Ultimaker Cure are given in Table 1. Printing orientation is changed as 0° – 45° – 90°. The created G – codes and the manufactured test samples is seen in Figure 1. The test samples are

produced with the same G – codes and one by one in the middle of the printing table in order to produce the test samples as similar as possible. Each specimen is produced three times for the repeatable experiments.

After 3D printing process, the diameter of the bolt shafts is decreased from the 16.1 mm to 16 mm by using turning operation for removing the high surface roughness caused by the 3D printing process. The turning process is seen in Figure 2.

Table 1. Test samples manufacturing parameters

Parameter	Value
Material	Ultimaker PLA
Extrusion temperature	210 °C
Table temperature	60 °C
Nozzle diameter	0.4 mm
Layer thickness	0.2 mm
Infill density	100 %
Printing speed	60 mm/s
Infill pattern	Zig – Zag

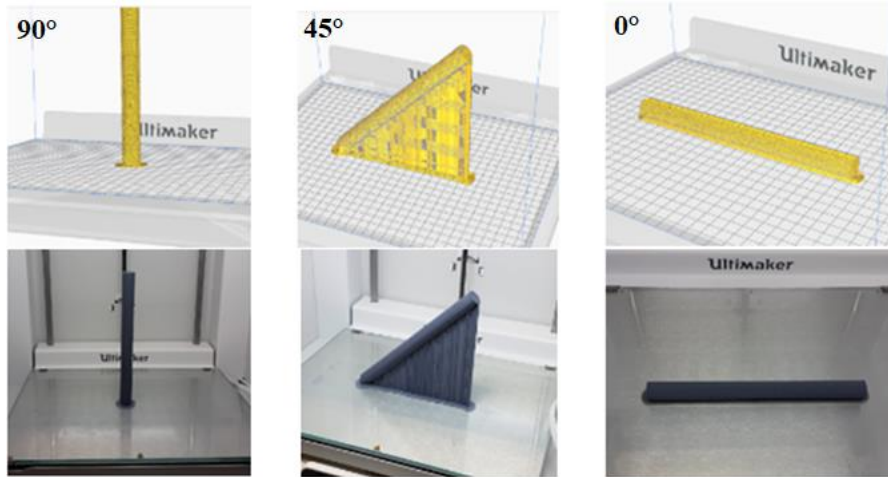


Figure 1. G code view and produced bolt shafts

The screws on the shaft are opened using a threader tool. At first a conventional threader tool is used for the threading operation. However, it was not possible to thread a 200 mm long shaft using a conventional threader tool and tool arm. It was determined that the teeth opened were

different from each other. In addition, eccentricity has occurred between the opened teeth. For this reason, a new structure is needed to tolerate the errors that occur in the traditional threader and threader arm.

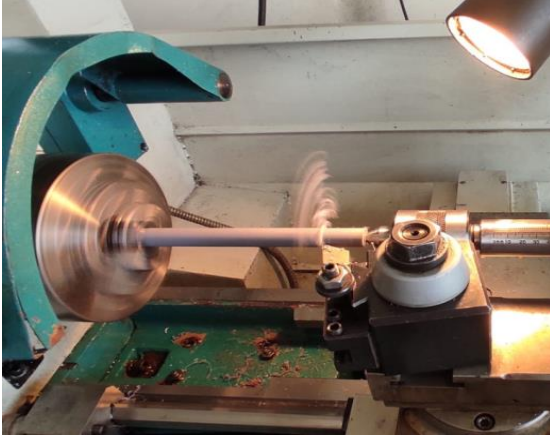


Figure 2. Turning process for 3D printed bolt shafts

and arm are designed in Solidworks software and produced by using rapid prototyping via 3D printers.

Thanks to the new guide, the possible eccentricity is prevented by bearing the bolt shaft 30mm before reaching the cutter and 30mm after exiting the cutter. The developed unique thread guide system allows the polymer chips that result during use to fall completely through the guide. This design prevents damage to the produced polymer threads and the tool. The Solidworks design of the manufactured unique threading tool, its assembled and unassembled components and the usage status during production of the threads are shown in Figure 3.

In order to get rid of this problem, a new threader arm design has been made. New threader guide



Figure 3. Design and produced novel threading tool

At the beginning of the study, the main goal was to create the teeth directly on the 3D printer. However, since a proper bolt and nut connection could not be obtained with the 3D printer, the methodology described above was developed. A suitable tooth profile could not be obtained because the tooth profiles produced with a 3D printer deflect towards the direction of gravity. For

this reason, the production method proposed in this study for bolts that cannot be produced using a 3D printer reveals the innovative aspect of the study. In addition, the special apparatus designed for threads that cannot be opened with a traditional threading tool reveals another innovative aspect of this study.



Figure 4. Produced test apparatus and test samples

After the threading process the bolt is divided into two pieces as shown in Figure 4 by using turning machine cutter tool. The length of tensile test samples are 150 mm and the shear test specimens are 50 mm. Moreover two different test apparatus are design and manufactured which is suitable for the tensile test machine. Newly designed and produced tensile and shear test apparatus is seen in Figure 4. The tensile test length is determined as 100 mm by mounting 25 mm on the front and back of the bolt pulling the apparatus.

The mass of the produced tensile and shear test specimens are measured to determine the stability of the production method. Mass measurements are made with a KERN PLS 6200-2A (capacity: 6,200 g, accuracy: 0.01 g) precision balance. The mass measurement results of the tensile and shear test specimens are given in Table 2. It is seen that the mass values are very close to each other when the mass values of the samples are examined. For this reason, it is seen that the bolts produced with the proposed production method do not have different properties from each other.

Experimental tests are operated according to ASTM – D638 – 14 [17] which describe the standard test method for tensile properties of plastics. Since no standard is found on the shear strength of polymer bolts in the literature search, the same standard method is also used for shear tests.

Table 2. Test specimen masses

Production Orientation and Sample Number	Tensile Test Specimen Mass (g)	Shear Test Specimen Mass (g)
0° - 1	30.78	10.51
0° - 2	30.50	10.34
0° - 3	30.65	10.34
45° - 1	29.21	9.97
45° - 2	29.34	10.08
45° - 3	29.57	10.21
90° - 1	30.38	10.17
90° - 2	30,50	10,24
90° - 3	30.29	10.15

Tensile and shear tests are carried out using designed tensile and shear apparatus, with 100 kN capacity Zwick/Roell Z100 tensile test device at 1mm/min speed. The experimental tests are conducted at room temperature. Tensile tests are continued until the specimen fracture. In shear experiments, the tensile test device is set to stop automatically when the measured force value falls below 20% of the maximum force. In shear tests, it is necessary to wait for a very long time for the sample to break. In addition, since polymer samples are used in the experiments, the samples generally elongate in case of shear test, but rupture is not observed.

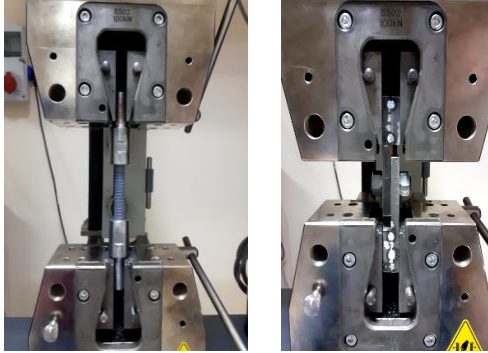


Figure 5. General view of tensile shear tests

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The effects of printing orientation on the tensile and shear strength of the bolts are investigated

experimentally in this study. The tensile test results depending on the printing orientation are given in Figure 6. The tensile test results depending on the printing orientation are given in Figure 6. When the test results are examined, it is seen that the repeated test results are very close to each other. Thus, it has been determined that the experiments carried out are consistent and accurate. The maximum tensile strength is determined for the samples with 0° printing orientation. The tensile strength is approximately same for 0°-45° printing orientation. Specimens with 0°-45° printing orientation behaves as ductile material. However, the samples with 90° printing orientation behaves like brittle material.

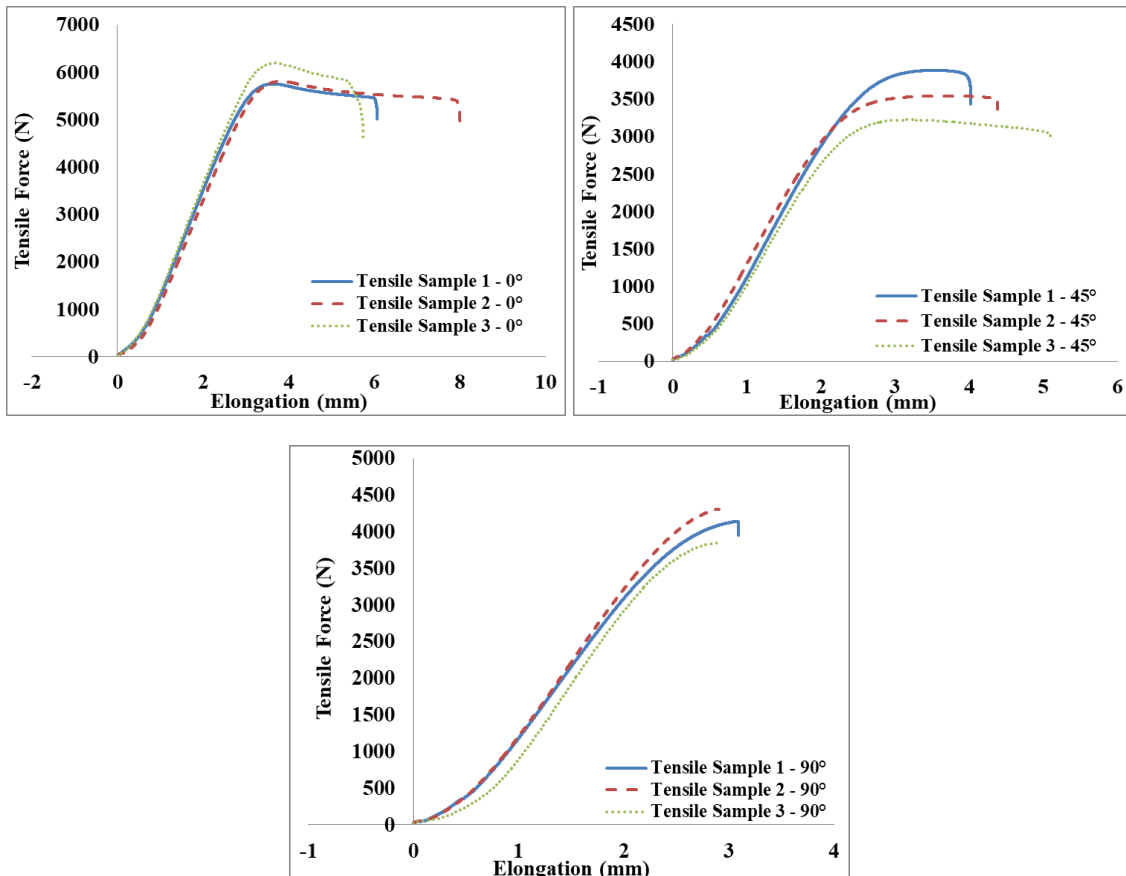


Figure 6. Tensile test results

The shear test results depending on the printing orientation are given in Figure 7. Similar to tensile tests, maximum shear durability is seen for the samples with 0° printing orientation, approximately 5000 N. The shear durability for the 45°-90° printing orientation is nearly same around 4500 N. When the shear curves are investigated it can be said that, there is long a linear region for the

0°-45° printing orientation samples. However, the linear region is very limited for the samples with 90° printing orientation. As the layers start to break one by one, the plastic zone is seen directly and this situation causes the material to be damaged quickly before it is sufficiently elongated.

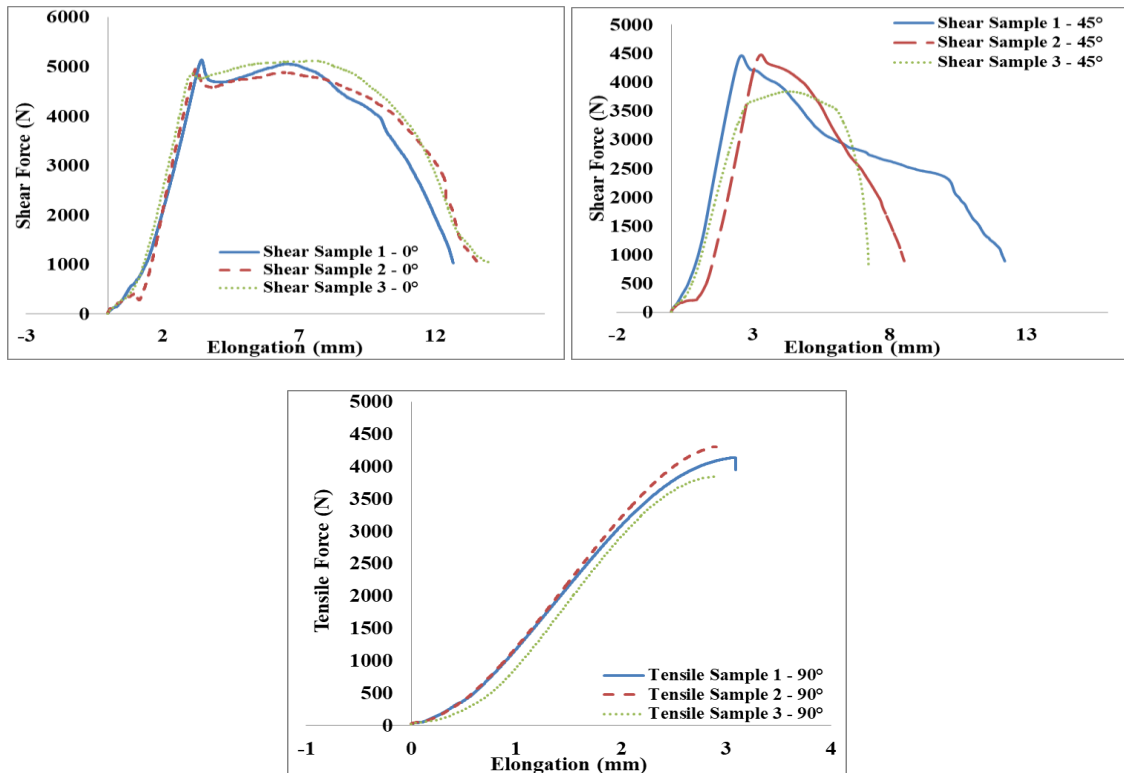


Figure 7. Shear test results

Rod tensile test samples without threads are also produced by using 3D printers in this study to define the intensity factor of the threads. The rod specimens are produced with the same length and same G-codes with the produced bolts. The tensile and shear tests are also conducted with the same properties and the tensile and shear durability of the rods according to the printing orientation is gained. The tensile force–elongation and shear force–elongation curves of the rod specimens is given in Figure 8.

The maximum tensile durability is seen for the

printing orientation of 0° at 8000 N and the minimum tensile durability is seen for the 90° printing orientation. According to the average durability of the produced bolts the variation of intensity factors are given in table 3. The maximum intensity factor is seen for 45° printing orientation and the minimum is seen for 90°. Therefore, although the tensile strength of the rod with a 45° printing orientation is greater than the tensile strength of the rod with a 90° printing orientation, lower tensile strength is observed in the bolt experiments.

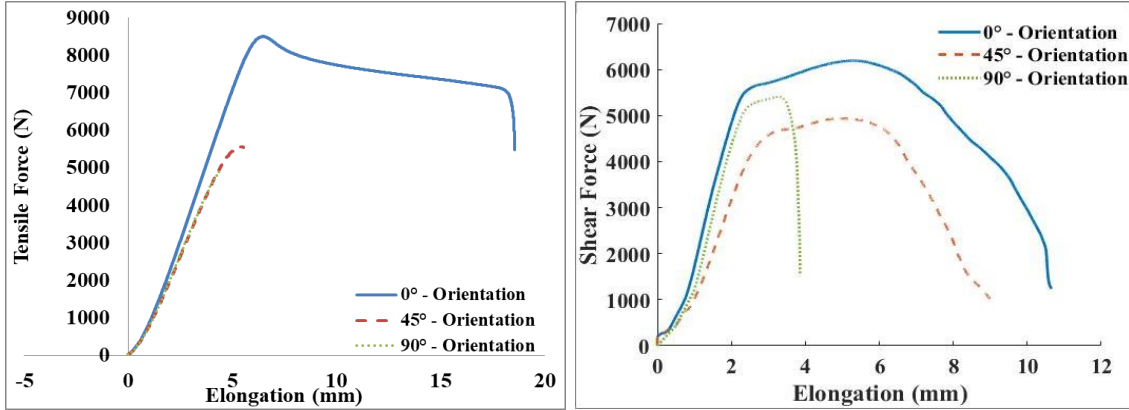


Figure 8. Tensile and shear test results for rod samples

Table 3. The variation of intensity factors for the tensile strengths

Printing Orientation	Intensity Factor
0°	1.41
45°	1.52
90°	1.14

The rod samples are also subjected to shear tests. The maximum shear durability is also seen for the printing orientation of 0° at approximately 6100 N and the minimum durability for the shear strength is defined for 45° printing orientation at 4900 N. The stress intensity factors of the shear tests for different printing orientations are given in table 4. Compared to the tensile tests, it was determined that lower stress intensity factors occurred during shear test. In addition, while the lowest strength was observed in the 90° orientation in the tensile tests, it was determined that the lowest strength was for the 45° orientation in the shear tests.

Table 4. The variation of intensity factors for shear strength

Printing Orientation	Intensity Factor
0°	1.20
45°	1.04
90°	1.11

The fracture types and surface is seen for different printing orientation is seen in Figure 9 for the tensile test specimens. The specimens with 0° printing orientation is elongated in the tensile direction. Depending on the elongation, the fibers

started to break in the tensile direction and the bolt is damaged. The fracture surface makes 45° with the normal axis for the 45° printing orientation. The fibers are exposed to both tensile and shear stress thus the lowest strength is achieved in this case. There are no fibers in the tensile direction for specimens with 90° printing orientation. Thus, the fiber layers are directly broken. For this reason the test samples behaves like brittle material with 90° printing orientation.

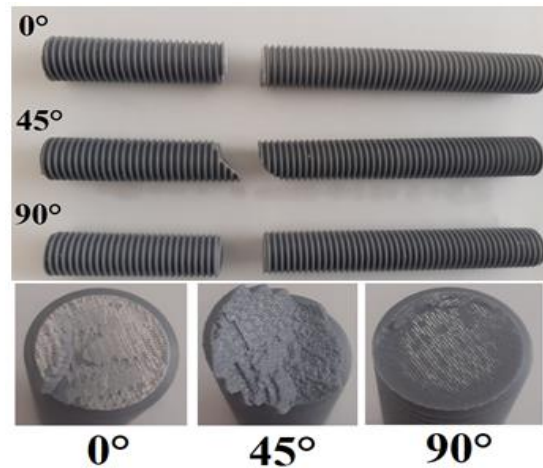


Figure 9. Tensile test samples fracture surfaces

The fracture types and surface is seen for different printing orientation is seen in Figure 9 for the tensile test specimens. The specimens with 0° printing orientation is elongated in the tensile direction. Depending on the elongation, the fibers

started to break in the tensile direction and the bolt is damaged. The fracture surface makes 45° with the normal axis for the 45° printing orientation. The fibers are exposed to both tensile and shear stress thus the lowest strength is achieved in this case. There are no fibers in the tensile direction for specimens with 90° printing orientation. Thus, the fiber layers are directly broken. For this reason the test samples behaves like brittle material with 90° printing orientation.

The fracture types and surface is seen for different printing orientation is seen in Figure 10 for the shear test specimens. The fracture surfaces for the 0° and 45° printing orientation behave similar. The printed fibers are elongates however for the 90° printing orientation layers are broken one by one. Thus the fibers cannot elongate for 90° printing orientation.

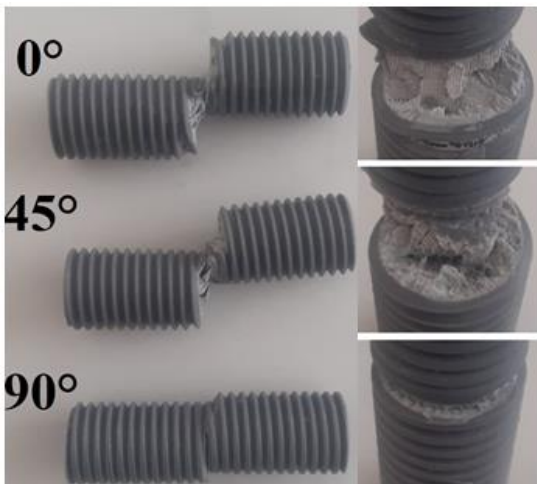


Figure 10. Shear test samples fracture surfaces

4. CONCLUSIONS

In this study a novel manufacturing method for the polymer bolts is presented and the effects of the printing orientation on the tensile and shear strength on the polymer bolts are investigated experimentally. The bolt shafts are produced with the 3D printers with different printing orientation. Then the diameter of the bolts is adjusted by using turning process. A novel threading tool is designed

and manufacture for the threading operation. The threading process is done with novel produced threading tool. Thanks to this novel tool, the threads are opened perfectly on the polymer bolts. The produced bolts are subjected to tensile and shear test. Based on results of the experiments, the following conclusions can be drawn,

- Maximum tensile and shear durability is seen for the 0° printing orientation.
- The tensile and shear durability is approximately same for the 45° - 90° printing orientation.
- The intensity factor is the lowest for the 90° printing orientation. It can be said that, the threads nearly not affected the durability of the bolts for 90° printing orientation. The layers break before the bolt threads carry the load.
- The test samples behave like ductile material for the 0° and 45° printing orientation, on the other hand, the test specimens behave as brittle material for 90° printing orientation. Therefore; the fibers elongate for 0° and 45° printing orientation. However, layers are broken for the 90° printing orientation.
- The best printing orientation is defined as 0° for the production of the bolts.

The production method proposed from this study is suitable for small number of production, low loading conditions and bolt applications where lightness is at the forefront for polymer bolts.

5. REFERENCES

1. Ngo, T.D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K.T.Q., Hui, D., 2018. Additive Manufacturing (3D printing): A Review of Materials, Methods. Applications and Challenges, Composites Part B, 143, 172–196.
2. Popescu, D., Zapciu, A., Amza, C., Baci, F., Marinescu, R., 2018. Process Parameters Influence Over the Mechanical Properties of Polymer Specimens: A review. Polymer Testing, 69, 157 – 166.

3. Geng, P., Zhao, J., Gao, Z., Wu, W., Ye, W., Li, G., Qu, H., 2021. Effects of Printing Parameters on the Mechanical Properties of High-performance Polyphenylene Sulfide Three-dimensional Printing. *3D Printing and Additive Manufacturing*, 8(1), 33–41.
4. Travieso-Rodriguez, J.A., Jerez-Mesa, R., Lluma, J., Traver-Ramos, O., Gomes-Gras G., Rovira, J.J.R., 2019. Mechanical Properties of 3D-Printing Polylactic Acid Parts Subjected to Bending Stress and Fatigue Testing. *Materials*, 12, 1–20.
5. Lee, D., Wu, G.Y., 2020. Parameters Affecting the Mechanical Properties of Three-dimensional (3D) Printed Carbon Fiber-reinforced Polylactide Composites. *Polymers*, 12, 1–11.
6. Nguyen, H.V., Nguyen, H.Q., Nguyen, V.D., Seo, T.S., 2019. A 3D Printed Screw-and-Nut Based Droplet Generator with Facile and Precise Droplet Size Controllability. *Sensors and Actuators B: Chemical*, .296, 12676.
7. Dhandapani, R., Krishnan, P.D., Zemmifer, A., Kannan, V., Manigandan, A., Arul, M.R., Jaiswal, D., Subramanian, A., Kumbar, S.G., Sethuraman, S., 2020. Additive Manufacturing of Biodegradable Porous Orthopaedic Screw. *Bioactive Materials*, 5, 458–467.
8. Feng, X., Xue, F., 2020. Characterization of 3D Printed Bolts Based on Digital Image Correlation and Infrared Thermography. *Materials and Design*, 191, 108641.
9. Harshitha V., Rao, S.S., 2019. Design and Analysis of ISO Standard Bolt and Nut in FDM 3D Printer Using PLA and ABS Materials. *Materials Today: Proceedings*, 19, 583–588.
10. Kumar, C.L., Prasad, V., Vanaja, T., 2017. Experimental Validation of 3-D Printed Bolts. *International Journal of Modern Engineering Research*, 7, 3, 1–12.
11. Yesil, O., Mazanoglu, K., 2018. Effects of Filling Ratio, Orientation and Print Temperature on Bending Properties of 3D Printed PLA Beams. *Usak University Journal of Engineering Sciences*, 1(2), 66–75.
12. Keles, O., Blevins, C.W., Bowman, K.J., 2017. Effect of Build Orientation on the Mechanical Reliability of 3D Printed ABS. *Rapid Prototyping Journal*, 23(2), 320–328.
13. Markiz, N., Horvath, E., Ficzer, P., 2020. Influence of Printing Direction on 3D Printed ABS Specimens. *Production Engineering Archives*, 26(3), 127 – 130.
14. Valean, C., Marşavina, L., Marghitas, M., Linul, E., Razavi, J., Berto, F., 2020. Effect of Manufacturing Parameters on Tensile Properties of FDM Printed Specimens. *Procedia Structural Integrity*, 26, 313–320.
15. Tezel, T., Kovan, V., Topal, E.S., 2019. Effects of the Printing Parameters on Short-term Creep Behaviours of Three-dimensional Printed Polymers. *Journal of Applied Polymer Science*, 47564, 1–6.
16. Gonabadi, H., Yadav, A., Bull, S.J., 2020. The Effect of Processing Parameters on the Mechanical Characteristics of PLA Produced by A 3D FFF Printer. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 111, 695–709.
17. ASTM D638-14, 2014. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA.

Yüzey Pürüzlülüğünün Tahmininde Farklı Yöntemlerin İncelenmesi

Mehmet Fatih DEMİRDÖĞEN ORCID 0000-0002-0545-3733

Süleyman KILIÇ*² ORCID 0000-0002-1681-9403

Fahrettin ÖZTÜRK^{3,4} ORCID 0000-0001-9517-7957

¹Uygurlar Makina, Organize Sanayi Bölgesi, 40100, Kırşehir

²Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 40100, Kırşehir

³Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara

⁴Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., Ankara,

Geliş tarihi: 11.05.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atf şekli/ How to cite: DEMİRDÖĞEN, M.F., KILIÇ, S., ÖZTÜRK, F., (2022). Yüzey Pürüzlülüğünün Tahmininde Farklı Yöntemlerin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 531-541.

Öz

Kalıplılık sektöründe talaşlı imalat en yaygın kullanılan yöntemlerden birisi olup maliyeti önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle istenilen yüzey pürüzlülüğü/kalitesini düşük maliyetle minimum işleme zamanında elde etmek temel amaçtır. Yüzey kalitesi: kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği, titreşim, soğutma sıvısı, kullanılan kesici uç özellikleri/geometrisi gibi birçok parametreye bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada, sıcak iş takım çeliğinin farklı parametrelerde tornalanması sonucu yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Aynı zamanda, elde edilen deneysel verilerden regresyon, yapay sinir ağları ve bulanık mantık tahmin modelleri oluşturulmuştur. Bu sayede farklı parametrelerdeki yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Deneysel sonuçlarla model sonuçları karşılaştırıldığında, yaklaşık %5 hata ile en yakın tahmin Sugeno bulanık mantık modeli ile elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapay sinir ağları, Sugeno, Anfis, Regresyon, Yüzey pürüzlülüğü

Investigation of Different Methods for Estimating Surface Roughness

Abstract

Machining is one of the most widely used manufacturing processes in the mold industry and which affects the manufacturing cost significantly. Particularly, the desired surface roughness/quality at a low cost at minimum machining time is the ultimate target. Surface quality depends on many parameters such as cutting speed, feed, depth of cut, vibration, coolant, insert properties/geometry used. In this study, surface roughnesses after turning of hot work tool steel at different parameters are investigated. At the

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Süleyman KILIÇ, suleymankilic@gmail.com

same time, regression, artificial neural network, and fuzzy logic prediction models are developed from the experimental data. Therefore, surface roughness values at the different parameters are determined. The closest estimate with approximately 5% error is obtained by the Sugeno fuzzy logic model when it compared to experimental results.

Keywords: Artificial neural networks, Sugeno, Anfis, Regression, Surface roughness

1. GİRİŞ

İmalatta, yüzey pürüzlülüğü/kalitesi oldukça önemli bir parametredir. Kullanılan imalat yöntemine göre yüzey kalitesi farklılık göstermektedir. Parçanın kullanım yerine göre yüzey pürüzlülük değeri belirlenmekte ve yüzeye uygun imalat yöntemi seçilmektedir. Örneğin frezeleme işlemiyle 0,4 ile 25 μm (N5-N11, R_a) yüzey pürüzlülük değerleri elde edilebilirken, taşlama yöntemiyle 0,012 ile 6,3 μm (N1-N9, R_a) yüzey pürüzlülük değerleri elde edilebilmektedir [1]. Yüzey pürüzlülüğü; uç yarıçapı, kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği gibi birçok parametreye göre değişmekte ve bu parametrelerin etkileri incelenmektedir [2-4].

Regresyon, değişken sayısına bakılmaksızın, değişkenlerin arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılan bir analiz yöntemidir. Regresyon yöntemi, diğer bilim dallarında olduğu gibi yüzey pürüzlülüğü tahmininde de kullanılmaktadır. Gökçe [5], 1050-H14 alüminyum alaşımının matkapla delme işleminde yüzey pürüzlülüğü gibi parametreleri deneysel olarak incelemiş ve regresyon modellerini oluşturmuştur. Regresyon analizi sonucunda yüzey pürüzlülüğü üzerinde etken parametreleri belirlemiştir. Gürbüz ve arkadaşları [6], kriyojenik ısıtma işlemi uygulanmış kesici takımlar ile AISI1050 çeliğinin tornalaması işleminde yüzey pürüzlülüğünü ve kesme kuvvetinin analizini yapmışlardır. Deneysel verilerde regresyon modelleri oluşturmuşlar ve yaklaşık %99 oranında doğru sonuçlar elde etmişlerdir. Çelik ve arkadaşları [7], AISI 2507 süper dubleks paslanmaz çeliğinde tornalama işleminde yüzey kalitesini incelemişlerdir. İncelemiş oldukları parametrelerden yüzey pürüzlülüğüne en etkin parametrenin ilerleme olduğunu tespit etmişlerdir. Regresyon modelinde ise lineer ve kuadratik yöntemler karşılaştırılmıştır.

Kuadratik regresyon modeli ile daha yüksek doğrulukta sonuçlar elde edilmiştir.

Yapay sinir ağları (YSA) imalat sanayinde yüzey pürüzlülüğü, kuvvet, geri esneme vb. alanlarda kullanılmaktadır. Kılıç [8], 7075 alüminyum alaşımında geri esnemenin tahmininde regresyon ve YSA modelleri ile geri esnemeyi tahmin etmeye çalışmıştır. YSA modellerinin regresyon modellerinden daha başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir. Erdemir ve Özkan [9], tırnaklı birleştirmede sıkma/çözme kuvvetlerinin hesaplamasında YSA modeli oluşturmuşlardır. Malzeme cinsi ve tırnaklı bağlantının uç açısı verilerek bağlantı elemanlarında sıkma/çözme kuvvetini hesaplayan bir program geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri programın, %99 oranında doğru tahmin yaptığı belirtilmiştir. Çakıroğlu ve Uzun [10], frezeleme işleminde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetini yapay sinir ağları yöntemiyle modellemiştir. Oluşturdıkları YSA yöntemiyle, bileşke kuvvet ve yüzey pürüzlülüğünü başarılı bir şekilde elde etmişlerdir. Akkuş [11], AISI 1040 çeliğinde yüzey pürüzlülüğü tahmininde farklı modeller (regresyon, Taguchi, YSA, bulanık mantık) kullanmıştır. Girdi parametreleri olarak; kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği parametrelerini kullanmıştır. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametrenin ilerleme olduğu belirtilmiştir. En yakın tahmin, bulanık mantık modeli ile elde edilmiştir.

Bulanık mantık yöntemleri, klasik yöntemlerden farklı olarak ihtimalden bahsetmekte ve klasik mantık yöntemlerinin doğru sonuç vermediği birçok alanda yüksek doğrulukta sonuçlar vermektedir. Örneğin eğitim sektöründe öğrencilerin verdiği cevaplara göre yeteneklerin belirlenmesi [12], seralardaki iklimlendirme çalışmalarında [13], fan kontrol sistemlerinde [14], hibrit yenilebilir enerji sistemlerinde enerji yönetiminde [15], robot ellerinin hassas kavrama

yapabilmesinde [16], hisse senedi yatırım getirisi tahmininde [17], talaşlı imalat yönteminde yüzey pürüzlülüğü tahmininde [18], günlük buharlaşma miktarının tahmininde [19], basınç dayanımı tahmininde [20], EDM yönteminde parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne ve elektrot aşınmasına etkisinde [21], hidrodinamik darbe yüklemesinin malzemelere etkisinin tahmin edilmesi [22] gibi çalışmalarda yüksek doğrulukta sonuçlar verdiği görülmektedir. Sugeno modelinde modelin tahmin kabiliyetinin artırılması içinde çalışmalar devam etmektedir [23]. Dilipak ve arkadaşları [24], yüzey frezeleme işleminde yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesinde yapay zeka yöntemlerini ve regresyon analizini incelemiştir. Çalışmalarında 1.2738 kalıp çeliği kullanılmıştır. Parametre olarak kesme hızı ve ilerleme kullanılmıştır. Sugeno (Anfis) modeli %100 doğruluk verirken, regresyon modeli ile %71 doğruluk elde etmişlerdir. Velmurugan ve arkadaşları [25], anfis yöntemi kullanarak EDM parametrelerinin yüzey pürüzlülüğündeki etkilerini araştırmışlardır. Anfis modelinin yüzey pürüzlülüğündeki hata oranının %1,67 olduğu söylenmiştir. Kumar ve arkadaşları [26], anfis ve genetik algoritma yöntemlerini kullanarak termal delme işlemindeki parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemiştir. Deneysel ve tahminlerin arasında yüksek derecede yakınlık olduğu görülmüştür.

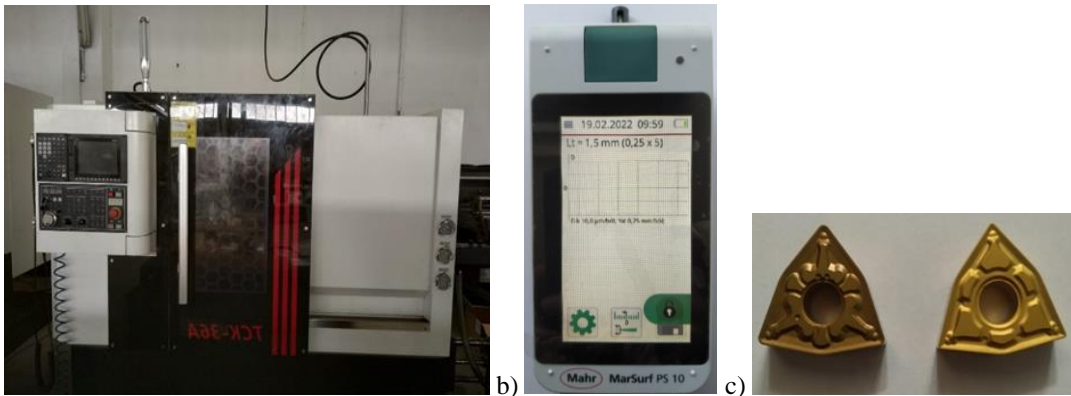
Bu çalışma kapsamında kesici uç yarıçapı, kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği parametrelerinin

yüzey pürüzlülüğüne etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen deneysel verilerle regresyon, yapay sinir ağları ve Sugeno bulanık mantık modelleri kullanılarak yüzey pürüzlülüğü değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışmada DIN 1.2344 (AISI H13- ISO X40CrMoV5) sıcak iş takım çeliği kullanılmıştır. Bu çelik, ekstrüzyon takımları, enjeksiyon kalıpları, dövme takımlarının imalatında kullanılan ve talaşlı imalat ile son haline getirilen bir malzemedir. Talaşlı imalat işlemlerinden dolayı yüzey pürüzlülüğü önem arz etmektedir. Yüzey pürüzlülüğü: imalat yöntemlerinden dolayı yüzeyde meydana gelen düzensizliklere denilmekte ve R_a , R_z , R_{mak} sembolleriyle ifade edilmektedir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerine (aritmetik ortalama) R_a , örnekleme bölgesindeki en yüksek beş tepe ve çukurun farkının ortalaması R_z , en yüksek tepe ile en düşük çukurun arasındaki mesafe ise R_{mak} olarak adlandırılmaktadır.

Bu çalışmada CNC tezgâhında farklı kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme miktarlarında farklı uç yarıçapına (4 ve 8 mm) sahip kesici takımlar kullanılarak yüzey işlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde Mahr MarSurf PS10 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışmada kullanılan a) CNC tezgâhı, b) yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı, c) farklı uç yarıçapına sahip kesici uçlar

Yüzey pürüzlülüğü ile kesici uç yarıçapı ve ilerleme arasında (1) numaralı denklemde verilen ilişki bulunmaktadır. Her ne kadar bu ilişkiye göre ilerleme ve kesici uç yarıçapına göre yüzey pürüzlülüğü belirlenebilse de diğer etken parametrelerden (tezgâhın durumu, iş parçasının bağlanması, titreşim vb.) dolayı sapmalar oluşmaktadır.

$$R_a = \frac{f^2}{8r} \quad (1)$$

Eşitlik 1’de r : kesici uç yarıçapı (mm), f : ilerleme (mm/dev) ifade etmektedir.

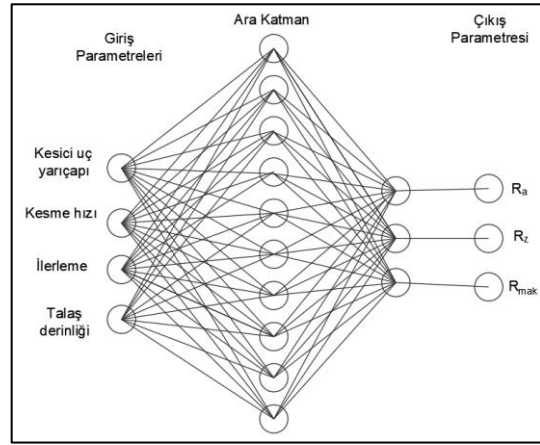
Deneyssel olarak elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Bu verilerden regresyon analizi, yapay sinir ağları ve Sugeno bulanık mantık yöntemi kullanılarak yüzey pürüzlülüğü tahminleri yapılmış ve karşılaştırılmıştır.

Regresyon analizi, doğrusal olabileceği gibi doğrusal olmayan şekilde de yapılabilir. Bu çalışmada, doğrusal regresyon yöntemi kullanılarak 4 parametreye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) tahmin denklemleri elde edilmiştir. Benzer şekilde doğrusal olmayan bir yüzey pürüzlülüğü tahmin denklemi elde edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Regresyon analizinde sadece R_a yüzey pürüzlülüğü değeri tahmin edilmeye çalışılmıştır.

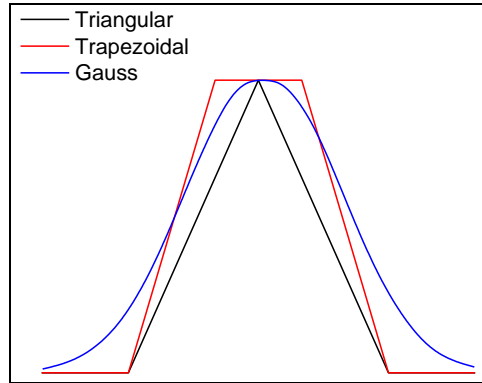
YSA modelinde ise R_a , R_z ve R_{mak} değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bunun için farklı eğitim/test veri oranları, farklı nöron sayıları ve katmanların tahmin üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Oluşturulan YSA modeli 4 girişli (kesici uç yarıçapı, kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği) ve 3 çıkışlı (R_a , R_z ve R_{mak})’dır. Şekil 2’de şematik tek katmanlı YSA modeli verilmiştir.

Klasik mantık sistemi “var ve yok” ile ilgilenirken, bulanık mantık sistemi “olabilir” ihtimalini de hesaba katmaktadır. Her bir veri, derecelerle ifade edilmekte ve bulanıklaştırılmaktadır. Bu derecelendirme işleminde çeşitli fonksiyonlar

kullanılmakta ve bunların ilişkisi belirlenmektedir. Bulanıklaştırma işleminde, eğer ve ise şartları ile kurallar oluşturulmaktadır. Bulanıklaştırma için farklı üyelik fonksiyonları bulunmaktadır. Bunlardan bazıları Şekil 3’de gösterilmiştir. Bunlar deneme yanılma yöntemiyle belirlenmektedir. Bulanık mantıkta en yaygın kullanılan modeller Sugeno ve Mamdani modelleridir. Sugeno modeli çalışma yapısı ve oluşturulan Sugeno (anfis) yapısı Şekil 4’te gösterilmiştir. Sistem giriş, bulanıklaştırma, durulaştırma, çıktı gibi katmanlardan oluşmaktadır [27,28].



Şekil 2. Yüzey pürüzlülüğü tahmininde tek katmanlı YSA modeli



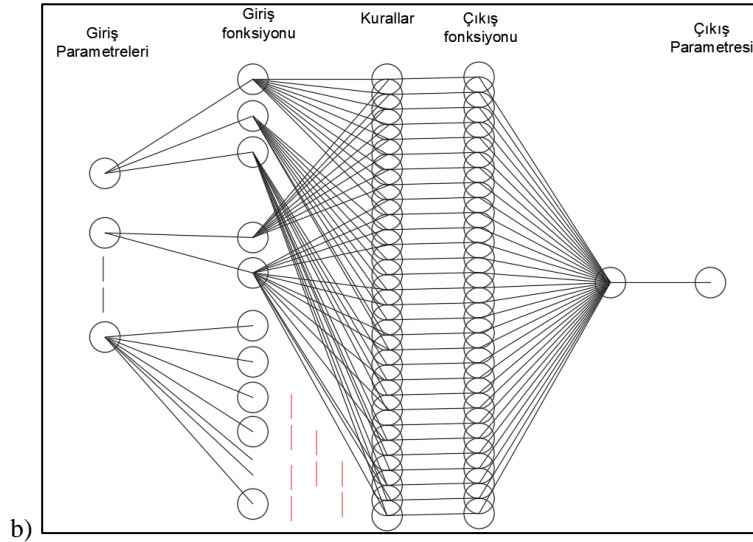
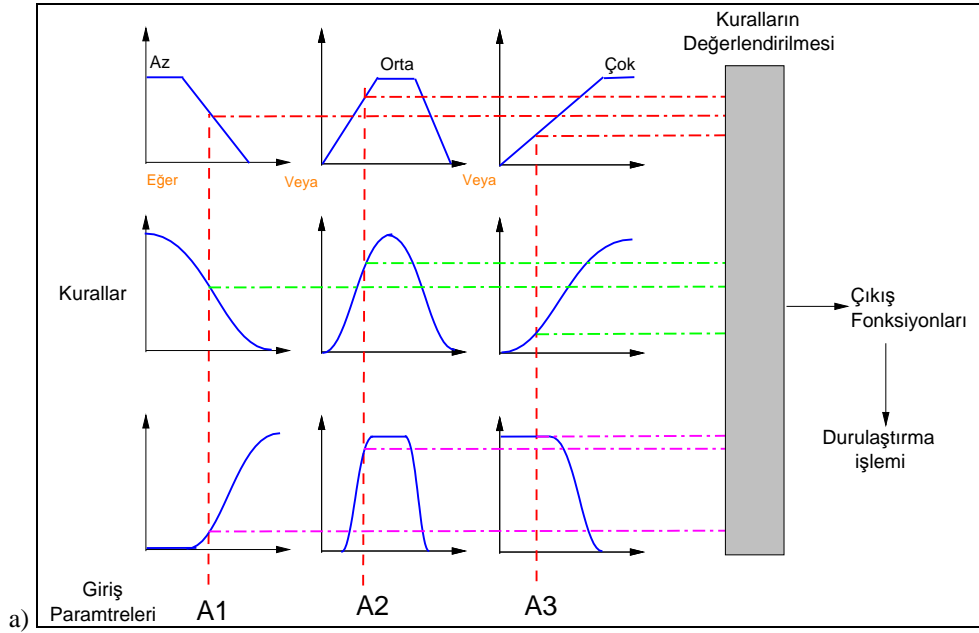
Şekil 3. Bulanık mantık üyelik fonksiyonları

Sugeno modelinde oluşturan her bir kural, her giriş parametresi için oluşturulur ve çıkış değerleri bir fonksiyon şeklinde verilir. Durulaştırma işleminde

tüm verilerin ağırlıklı ortalaması yerine birkaç veri noktalarının ağırlıklı ortalaması kullanması sebebiyle hesaplama açısından daha verimli olduğu söylenmektedir [29]. Çıkış fonksiyonunun ve durulaştırma işleminin genelleştirilmiş formu 2 ve 3 numaralı denklemlerde verildiği şekildedir. Eşitlik 2 ve 3'te a, b, c katsayılar, x ve y ise giriş değerlerini ifade etmektedir.

$$f_i = a_i x + b_i y + c_i \quad (2)$$

$$f = \sum \frac{w_i y_i}{w_i} \quad (3)$$



Şekil 4. a) Sugeno bulanık mantık çalışma yapısı, b) Oluşturulan Sugeno bulanık mantık modeli

Çizelge 1. Deney parametreleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri

Kesici uç yarıçapı	Kesme hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	R_a (μm)	R_z	R_{mak}
4	150	0,2	0,3	0,678	3,857	4,104
4	150	0,2	0,6	0,727	4,121	4,284
4	150	0,2	0,9	0,752	3,976	4,29
4	150	0,25	0,3	0,901	4,88	5,071
4	150	0,25	0,6	0,935	4,846	5,197
4	150	0,25	0,9	0,967	5,166	5,501
4	150	0,3	0,3	1,12	5,43	5,959
4	150	0,3	0,6	1,144	5,399	5,906
4	150	0,3	0,9	1,165	5,768	6,215
4	200	0,2	0,3	0,942	4,025	4,455
4	200	0,2	0,6	1,004	4,396	4,632
4	200	0,2	0,9	1,034	4,446	4,682
4	200	0,25	0,3	1,133	5,268	5,626
4	200	0,25	0,6	1,152	5,396	5,496
4	200	0,25	0,9	1,164	5,61	5,802
4	200	0,3	0,3	1,135	5,584	6,498
4	200	0,3	0,6	1,201	5,88	6,194
4	200	0,3	0,9	1,179	5,948	6,733
8	150	0,2	0,3	1,021	4,285	4,476
8	150	0,2	0,6	0,796	3,648	3,94
8	150	0,2	0,9	0,848	3,921	4,265
8	150	0,25	0,3	1,055	4,632	4,721
8	150	0,25	0,6	1,138	5,326	7,306
8	150	0,25	0,9	1,012	4,817	5,477
8	150	0,3	0,3	1,153	6,083	6,616
8	150	0,3	0,6	1,113	5,32	5,812
8	150	0,3	0,9	1,231	5,813	6,639
8	200	0,2	0,3	0,992	4,281	4,561
8	200	0,2	0,6	0,997	4,157	4,365
8	200	0,2	0,9	1,07	4,495	4,694
8	200	0,25	0,3	1,171	4,836	5,232
8	200	0,25	0,6	1,151	4,754	5,322
8	200	0,25	0,9	1,164	5,273	5,642
8	200	0,3	0,3	1,166	5,18	5,647
8	200	0,3	0,6	1,257	5,389	6,222
8	200	0,3	0,9	1,271	5,881	6,958

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kesici uç yarıçapı, kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği parametreleri yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerdir. Bu parametrelerin arasındaki ilişkinin matematiksel olarak modellenmesi işlemine regresyon analizi denilmektedir. Matematiksel modelin elde edilmesiyle, elimizde olmayan deney parametrelerinde oluşabilecek yüzey pürüzlülüğü

hakkında bilgi sahibi olmaktadır. Regresyon analizinde üç farklı veri seti kullanılarak matematiksel denklemler elde edilmiştir. İlk modelde 30 eğitim verisi 6 test verisi, ikinci modelde ise 26 eğitim verisi 10 test verisi, üçüncü modelde ise 20 eğitim verisi 16 test verisi rastgele seçilmiştir (4 numaralı eşitlik). Dördüncü modelde ise tüm veriler kullanılarak üstel bir matematiksel denklem elde edilmiştir (5 numaralı eşitlik). Elde edilen matematiksel modellerin denklem

katsayıları Çizelge 2’de verilmiştir. Eşitlik 4 ve 5’te U_r : kesici uç yarıçapı, V_c : kesme hızı, F : ilerleme, D : talaş derinliğini ifade etmektedir.

$$R_{1,2,3} = \alpha + U_r * \alpha_1 + V_c * \alpha_2 + F * \alpha_3 + D * \alpha_4 \quad (4)$$

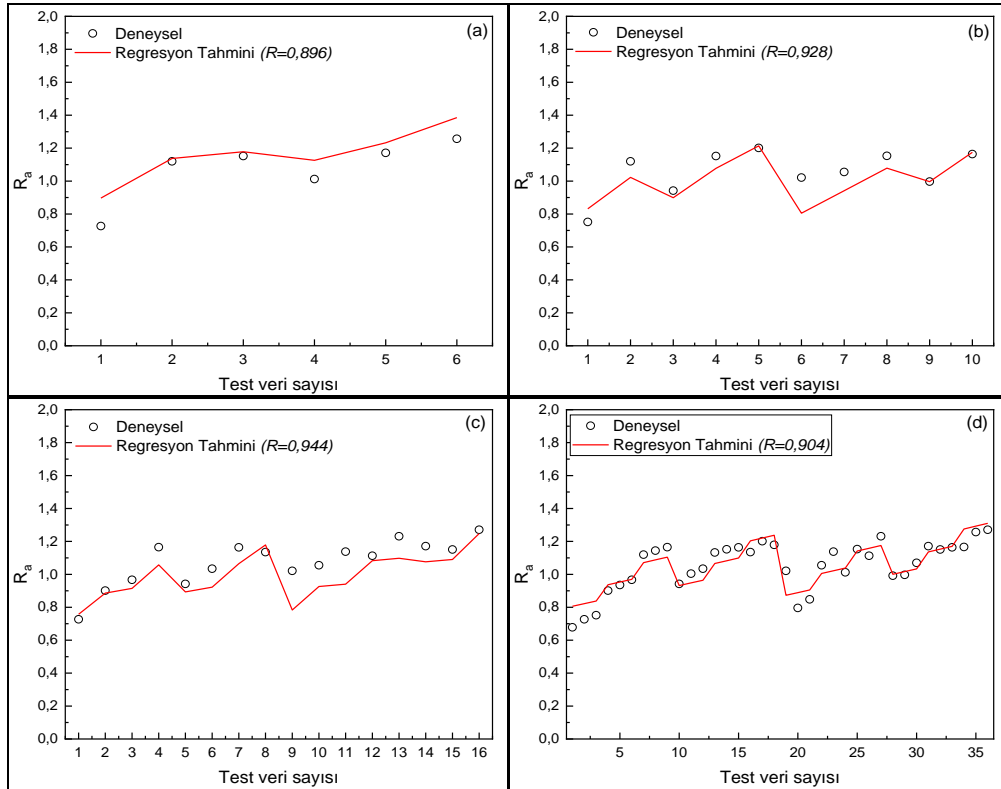
$$R_4 = \alpha + \exp(\beta + U_r * \alpha_1 + V_c * \alpha_2 + F * \alpha_3 + D * \alpha_4) \quad (5)$$

Çizelge 2. Model katsayıları

Model No	Parametre katsayıları						R
	α	α_1	α_2	α_3	α_4	β	
1	-0,198	0,019	0,003	2,625	0,073	-	0,896
2	-0,345	0,014	0,003	2,733	0,138	-	0,928
3	-0,332	0,010	0,003	2,854	0,048	-	0,944
4	-4,30510	0,003250	0,000486	0,505864	0,010312	1,441229	0,904

ANOVA analiz sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametre ilerleme miktarıdır. Literatürdeki çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [5,7,11,24]. Şekil 5’de 4 ve 5 numaralı denklem tahminlerinin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması verilmiştir. Eğitim veri sayısının artmasıyla, korelasyon katsayısı (R) düşmektedir ki bu da bilinen bir

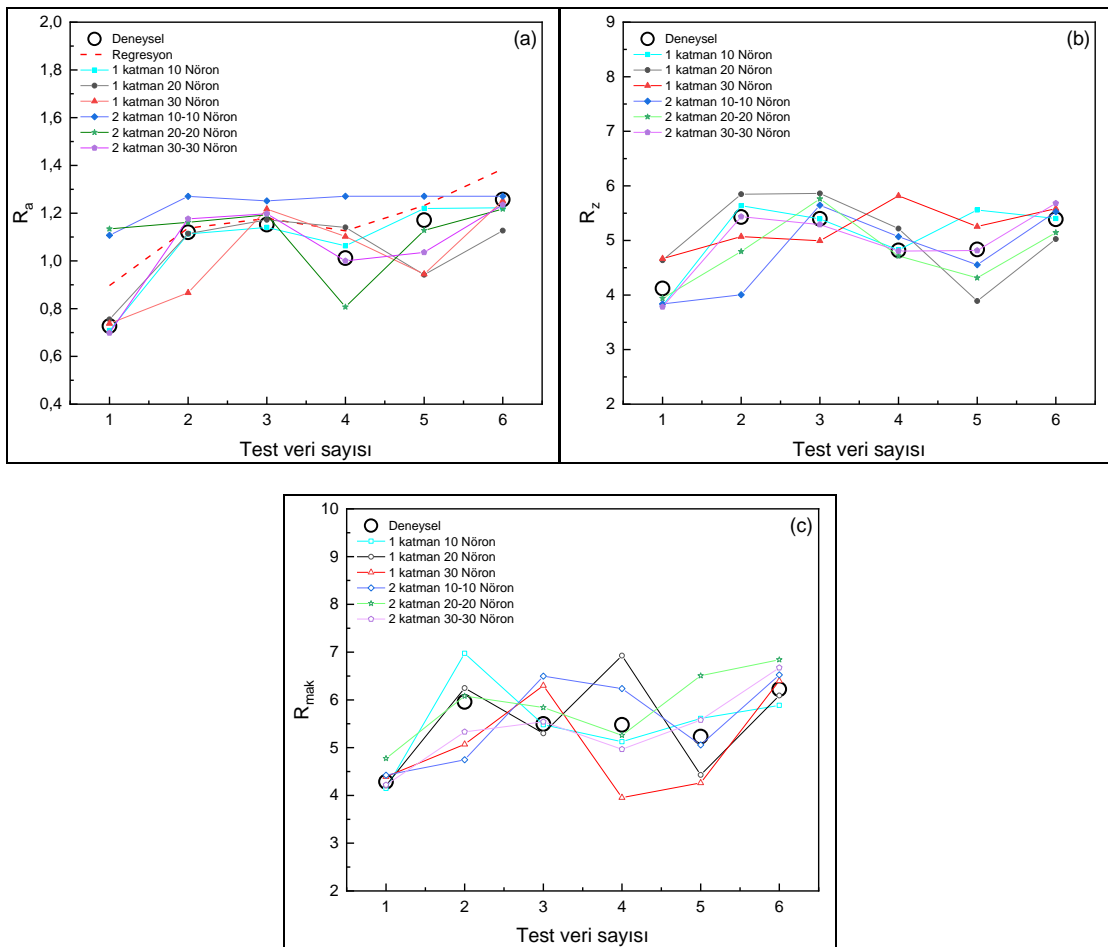
gerçektir. Çünkü, sonuç olarak yapılan işlem bir eğri uydurma işlemidir. Eğitim veri sayısı arttıkça eğri uydurma işlemi zorlaşmaktadır. Korelasyon katsayısının 1’e yakın olması veriler arasındaki uyumun yüksek olduğunu ifade etmektedir. Üstel matematiksel modelinde deneysel verilere yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 5. Regresyon modelinde test veri sayısına bağlı olarak tahminler, a) 30 eğitim, b) 26 eğitim, c) 20 eğitim, d) doğrusal olmayan (üstel) regresyon

YSA da nöron sayısına göre tahmin sonuçları değişmekte ve deneme yanılma yoluyla en uygun nöron sayısı elde edilmektedir [8]. Öğrenme algoritması olarak Levenberg-Marquardt, Bayesian Regularization ve scaled conjugate gradient (SCG) algoritmaları kullanılmaktadır. Bu çalışmada, yapay sinir ağlarının eğitiminde hız ve kararlılık sağladığı için Levenberg-Marquardt algoritması tercih edilmiştir [30]. Hata oranı $1e-08$, deneme sayısı 1000 olarak belirlenmiştir. Şekil 6'da farklı

nöron ve katman sayısının tahmin üzerindeki etkisi verilmiştir. R_a üzerinde tek katmanda nöron sayısının artması tahmin doğruluğunu düşürmekteyken, iki katmanda nöron sayısının artması tahmin doğruluğunu artırmaktadır. Bu yüzden deneme yanılma yöntemiyle katman ve nöron sayılarının en uygun değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

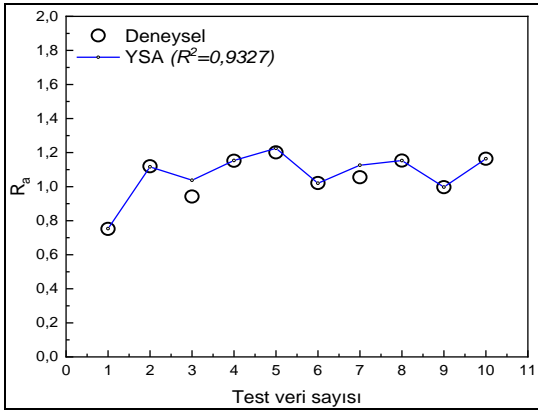


Şekil 6. Farklı nöron ve katman sayısının tahmin üzerindeki etkisi, a) R_a , b) R_z , c) R_{mak}

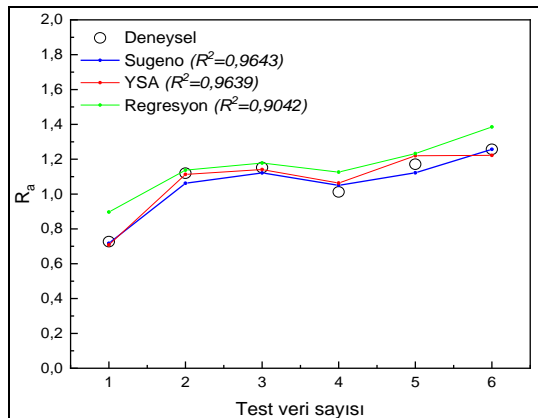
Şekil 7'de 26 eğitim, 10 test verisiyle YSA model tahminleri verilmiştir. Sonuçların bazı değerler hariç oldukça iyi olduğu görülmektedir ($R^2=0,9327$). Bu çalışmada 20 nöron en yakın sonucu vermiştir.

Aynı zamanda bu çalışmada bulanık mantık modellerinden Sugeno modeli kullanılmıştır. Modelde 30 eğitim, 6 test verisi rastgele seçilerek test edilmiştir. Verilerin bulanıklaştırılması işleminde farklı yöntemler kullanılabilenekte olup

belirli bir yöntem yoktur. Buradaki işlem tamamen tecrübeye dayalı bir süreçtir. Bu çalışmada en uygun sonuçlar gauss2mf üyelik fonksiyonu kullanılarak elde edilmiştir. Diğer üyelik fonksiyonlarında hata oranları çok yüksek çıkmıştır. Üyelik fonksiyonlarıyla ilgili detaylı bilgi [26] numaralı referansından ulaşılabilir. Kesici uç yarıçapı, kesme hızı ve talaş derinliğinde 3, ilerleme de 2 fonksiyonlu yapı kullanarak 54 kurallı bir mantık yapısı oluşturulmuştur. Bazı fonksiyonlarda öğrenme çok iyi gerçekleşirken, test sonuçları tahmininde hata oranı çok yüksek çıkmıştır. Bu yüzden her bir fonksiyon tipinin ve sayısının denemesi gerekmektedir. Şekil 8.'de Sugeno bulanık mantık model sonuçları verilmiştir. Sugeno ve YSA modeli birbirine yakın sonuç vermiştir.

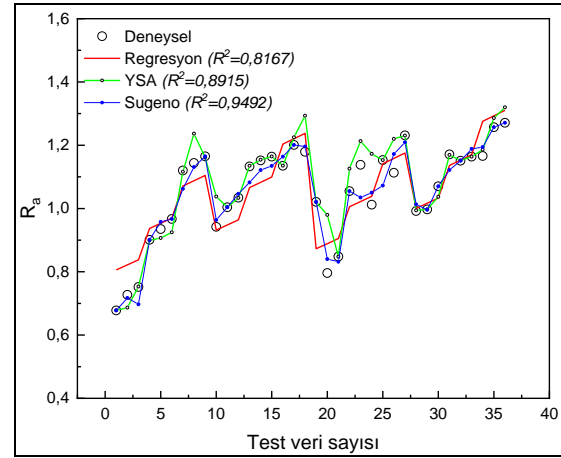


Şekil 7. 26 Eğitim verisi ile YSA modelinin tahmin sonuçları (R_a)



Şekil 8. Sugeno bulanık mantık model sonucu

Şekil 9'da 36 adet deneysel veri ile model sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir. Deneysel verilere en yakın tahmini Sugeno modelinin yaptığı görülmüştür ($R^2=0,9492$). YSA modelinde nöron ve katman sayısı önem arz ederken, Sugeno modelinde üyelik fonksiyonları ve kural sayısının oldukça önemli olduğu görülmüştür. Her iki modeldeki bu durum deneme yanılma yöntemi ile bulunması oldukça zahmetli bir işlemdir.



Şekil 9. Modellerin karşılaştırılması

4. SONUÇ

Yüzey pürüzlülüğü/kalitesi imalat endüstrisi için önemli maliyet faktörlerindedir ve en uygun parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, CNC torna tezgâhında DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliğinden farklı parametrelerde talaş kaldırarak yüzey pürüzlülüğü deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen deneysel veriler ile farklı modeller oluşturulmuş ve parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ilerleme miktarı yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametre olduğu tespit edilmiştir. Regresyon modeli basit şekilde yüzey pürüzlülüğü hakkında bilgiler vermektedir. YSA modelinde, katman ve nöron sayısının tahmin üzerinde etkisi büyük olup deneme yanılma yöntemiyle belirlenmesi bir dezavantaj oluşturmaktadır. Sugeno bulanık mantık yöntemi, modeller içerisinde en yakın yüzey pürüzlülüğü değerini tahmin etmiştir. Sugeno modelinde de üyelik fonksiyonu ve kural

sayısının tahmin üzerinde oldukça etkili olduğu görülmüştür. Sonuç olarak Sugeno bulanık mantık yöntemiyle yüzey pürüzlülüğü değerleri yaklaşık %5'lik bir hata oranı belirlenmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: MMF.A4.22.008 (This work was supported by Ahi Evran University Scientific Research Projects Coordination Unit. Project Number: MMF.A4.22.008)

6. KAYNAKLAR

1. MEB, 2003. Metal Mesleğinde Tablolar, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 304.
2. Bodur, M.S., 2022. AISI 304 Paslanmaz Çelik Talaşlı Şekil Verme İşlemlerinde Yüzey Pürüzlülüğü ve Güç Tüketimini Azaltmaya Yönelik İstatiksel Yaklaşım. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11(2), 379-86.
3. Pul, M., Özerkan, H.B., 2022. Al 6061 Alaşımının İşlenmesinde Kesme Derinliği ve Kesici Takım Geometrisinin Yüzey Pürüzlülüğüne ve Takım Aşınma Davranışına Etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 37(4), 2013-2024.
4. Mamedov, A., 2021. Taguchi Yöntemleri Kullanılarak Frezeleme İşleminde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Araştırılması. Mühendis ve Makina, 62(703), 321-331.
5. Gökçe, H., 2021. Al 1050-H14 Alaşımının Delinmesi Sürecinde Yüzey Pürüzlülüğü, Çapak Oluşumu, Takım Aşınması, Çaptan ve Silindiriklikten Sapmanın Modellenmesi ve Tahmini. İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları, 2(1), 23-40.
6. Gürbüz, H., Baday, Ş., Ersöz, E., 2021. Kriyojenik İşlem Uygulanmış Kesici Takımlarla AISI 1050 Çeliğinin İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetlerinin Regresyon Analizi. 5th International Mardin Artuklu Scientific Researches Conference, 15-16 Ocak 2021, Mardin, Turkey.
7. Çelik, E., Şirin, Ş., Kıvak, T., 2021. AISI 2507 Süper Dupleks Paslanmaz Çeliğinin Hibrit Soğutma/Yağlama Yöntemleri Altında Tornalanmasında Yüzey Kalitesinin İncelenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9(2), 929-942.
8. Kılıç, S., 2019. Yapay Sinir Ağları ve Regresyon Yöntemleri ile Geri Esneme Tahmini. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6(2), 433-446.
9. Erdemir F., Özkan, M.T., 2018. Tırnaklı Birleştirmelerde Sıkma/Çözme Kuvvetinin Malzeme Türü ve Sürtünme Katsayısına Göre Yapay Sinir Ağları Metodu ile Modellenmesi. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4(3), 207-215.
10. Çakıroğlu, R., Uzun, G., 2021. Yüksek İlerleme ile Frezeleme İşlemi Esnasında Oluşan Kesme Kuvvetinin ve İş Parçası Yüzey Pürüzlülüğünün Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(1), 58-66.
11. Akkuş, H., 2021. AISI 1040 Çeliğinin İşlenebilirliği Sırasında Oluşan Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerinin Farklı Tahmin Modelleri ile Araştırılması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24(2), 84-92.
12. Ridwan, W., Wiranto, I., Dako, R.D.R., 2021. Computerized Adaptive Test Based on Sugeno Fuzzy Inference System. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1098(3), 032077.
13. Haj Hamad, I., Chouchaine, A., Bouzaouache, H., 2021. A Takagi-Sugeno Fuzzy Model for Greenhouse Climate. Engineering, Technology & Applied Science Research, 11(4), 7424-7429.
14. Robson, W., Ernawati, I., Nugrahaeni, C., 2021. Design of Multisensor Automatic Fan Control System Using Sugeno Fuzzy Method. Journal of Robotics and Control, 2(4), 5.
15. Zangeneh, M., Aghajari, E., Forouzanfar, M., 2022. Design and Implementation of an Intelligent Multi-input Multi-output Sugeno Fuzzy Logic Controller for Managing Energy Resources in a Hybrid Renewable Energy Power System Based on Arduino Boards. Soft Computing, 26(3), 1459-1473.

16. İşlek, C., 2021. Robot Elin Hassas Kavrama Görevi için Bulanık Mantık ile Kavrama Kuvvetinin Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Hatay, 133.
17. Molla, B., Çağlı, G., Uyaroğlu, Y., 2021. BİST 100 Getiri Zaman Serisinin Kaotik Analizi ve Anfis ile Kısa Dönemli Öngörülebilirliği. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 36(2), 577-592.
18. Avcı, M., 2021. Döküm Yöntemi ile Üretilen AISI304 Paslanmaz Çeliğin Frezelenmesinde İşleme Parametrelerinin Araştırılması. Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük, 91.
19. Özdülkar, K., Üneş, F., Demirci, M., Kaya, Y.Z., 2019. Günlük Buharlaştırma Miktarının Bulanık Mantık Yöntemleri Kullanılarak Bölgesel Olarak Modellenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2(1), 23-29.
20. Yıldırım, E., Avcı, E., Yılmaz, B., 2021. Serbest Basınç Dayanımının Tahmininde Sugeno Bulanık Mantık Yaklaşımı. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 26(1), 97-108.
21. Salcedo, A.T., Arbizu, I.P., Pérez, C.J.L., 2017. Analytical Modelling of Energy Density and Optimization of the Edm Machining Parameters of Inconel 600. Metals, 7(5), 166.
22. Jamali, A., Babaei, H., Nariman-Zadeh, N., Ashraf Talesh, S., Mirzababaie Mostofi, T., 2020. Multi-Objective Optimum Design of Anfis for Modelling and Prediction of Deformation of Thin Plates Subjected to Hydrodynamic Impact Loading, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part L: Journal of Materials: Design and Applications, 234(3), 368-378.
23. Sun, J., Dai, Y., Zhao, K., Jia, Z., 2021. Second Order Takagi-sugeno Fuzzy Model with Domain Adaptation for Nonlinear Regression. Information Sciences, 570(1), 34-51.
24. Dilipak, H., Asal, Ö., Yalçınkaya, A., Ünal, Ş., 2021. Minimum Miktarda Yağlama Tekniği ile Frezeleme İşleminde Yüzey Pürüzlülüğünün Anfis ile Modellenmesi. International Journal of Innovative Engineering Applications, 5(2), 162-170.
25. Velmurugan, N., Muniappan, A., Harikrishna, K.L., Sakthivel, T.G., 2021. Surface Roughness Modelling in Wire Edm Machining Aluminium of Al6061 Composite by Anfis. Materials Today: Proceedings, In Press.
26. Kumar, R., Hynes, N.R.J., 2020. Prediction and Optimization of Surface Roughness in Thermal Drilling Using Integrated Anfis and Ga Approach. Engineering Science and Technology, an International Journal, 23(1), 30-41.
27. Mathur, N., Glesk, I., Buis, A., 2016. Comparison of Adaptive Neuro-fuzzy Inference System (Anfis) and Gaussian Processes for Machine Learning (Gpml) Algorithms for the Prediction of Skin Temperature in Lower Limb Prostheses. Medical Engineering & Physics, 38(10), 1083-1089.
28. Sharma, D., Bhowmick, A., Goyal, A., 2022. Enhancing EDM Performance Characteristics of Inconel 625 Superalloy Using Response Surface Methodology and Anfis Integrated Approach. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 37(1), 155-173.
29. MathWorks, 2022. Mamdani and Sugeno Fuzzy Inference Systems, <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/types-of-fuzzy-inference-systems.html>, Erişim Tarihi: 18.05.2022.
30. Çavuşlu, M.A., Becerikli, Y., Karakuzu, C., 2012. Levenberg-marquardt Algoritması ile YSA Eğitiminin Donanımsal Gerçeklenmesi, Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi, 5(1), 1-7.

Bazı Bitki Kaynaklarının Farklı Çözgenlerde Hazırlanan Ekstrelerinin Antimikrobiyal Aktivitesinin Araştırılması

Burcu SANCAR BEŞEN*¹ ORCID 0000-0001-5120-268X

Leyla EREN KARAHAN² ORCID 0000-0003-0242-0167

Pınar PARLAKYİĞİT¹ ORCID 0000-0001-9235-6239

Cumhur KIRILMIŞ³ ORCID 0000-0002-9190-4800

Sakine ERDOĞAN³ ORCID 0000-0002-6136-4591

¹Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adıyaman

²Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Adıyaman

³Adıyaman Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Adıyaman

Geliş tarihi: 14.01.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: BEŞEN, B.S., KARAHAN, L.E., PARLAKYİĞİT, P., KIRILMIŞ, C., ERDOĞAN, S., (2022). Bazı Bitki Kaynaklarının Farklı Çözgenlerde Hazırlanan Ekstrelerinin Antimikrobiyal Aktivitesinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 543-553.

Öz

Bu çalışmada, aloe vera (*Aloe barbadensis*), aynısefa (*Calendula officinalis*), baldırıkara (*Adiantum capillus-veneris* Linn.) ve kudret narı (*Momordica charantia*) bitkileri gibi bazı bitki kaynaklarının farklı çözgenler kullanılarak hazırlanan ekstrelerinin antimikrobiyal aktivitesinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, bitkilerin n-hegzan, etanol, metanol ve distile su içerisinde maserasyon yöntemi ile ekstreleri hazırlanmış ve hazırlanan ekstrelerinin, *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* bakterilerine karşı antibakteriyel; *Aspergillus niger* mantarına karşı antifungal aktivitesi incelenmiştir. Çalışma sonuçları, ekstraksiyonda kullanılan bitki kaynağının ve çözgen türünün ekstrelerin antimikrobiyal aktivitesi üzerinde oldukça önemli olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Antimikrobiyal aktivite, Bitki ekstresi, Aloe vera, Aynı sefa, Baldırıkara, Kudret narı

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Burcu SANCAR BEŞEN, bbesen@adiyaman.edu.tr

Investigation of Antimicrobial Activities of Extracts of Some Plant Sources Prepared in Different Solvents

Abstract

In the present study, it was aimed to research the antimicrobial activities of prepared extracts of some plant sources such as aloe vera (*Aloe barbadensis*), marigold (*Calendula officinalis*), maidenhair fern (*Adiantum capillus-veneris* Linn.) and bitter melon (*Momordica charantia*) by using different solvents. For this purpose, the extracts of the plants in the solvents as n-hegzan, ethanol, methanol and distilled water were prepared via maceration process. Either antibacterial activities against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* or antifungal activities against *Aspergillus niger* of the prepared extracts were investigated. The results demonstrated that the plant sources and solvent types used in the extraction are crucial on the antimicrobial activities of the extracts.

Key Words: Antimicrobial activity, Plant extract, Aloe vera, Marigold, Maidenhair fern, Bitter melon

1. GİRİŞ

Bitki kaynaklarının büyük çoğunluğu sağlık açısından oldukça önemli olan fenolik ve flavonoidler gibi çeşitli fitokimyasallar içermeleri nedeniyle [1], farklı iyileştirici özelliklere sahiptir ve bu sebeple, çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanımına yönelik uygulamalar, binlerce yıl öncesine dayanmaktadır [2]. Son yıllarda, ekolojik ve sürdürülebilir ürünlere olan ilginin artması sebebiyle, bitkilere ve bitkilerden hazırlanmış ürünlere olan talep yükselmiştir. Bu sebeple, söz konusu bitkisel ürünlerin sayısı artmış ve bitkisel kaynaklar özellikle bilimsel ve ticari olarak birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır [1-3].

Bitkilerin ikincil metabolizmasında sentezlenen; proteinler, karbonhidratlar, vitaminler, mineraller, fenolikler, flavonoidler ve alkaloidler gibi kimyasalları içeren fitokimyasallar, bitkilere spesifik tat, koku, renk gibi birçok özellik sağlamaktadır [4,5]. Söz konusu fitokimyasallar, bitki türlerine ve bitkinin çeşitli kısımlarına göre farklılık göstermektedir [4] ve yapılan araştırmalar, birçok bitki kaynağının; tanenler, alkaloidler, fenolik bileşikler flavonoidler gibi antimikrobiyal aktivite sağlayan bileşenler bakımından zengin olduğunu göstermiştir [5]. Farklı bitkisel kaynaklarda bu bileşenlerin varlığının ve miktarlarının değişiklik göstermesi nedeniyle

mevcut çalışmada, antimikrobiyal, iltihap önleme, yara iyileştirme, kanser önleme, sedef, egzama gibi cilt problemlerine iyi gelme gibi özelliklerden bir veya birkaçına sahip olduğu bilimsel olarak kanıtlanmış, aloe vera [6,7], aynı sefa [8,9] baldırıkara [10-12] ve kudret narı [13-16] bitkileri ile çalışılmıştır.

Aloe vera, Asphodelaceae (Liliaceae) ailesine ait, ağaçsı, uzun ömürlü, etli, bezelye yeşili rengine bir bitkidir. Genel olarak Afrika, Avrupa ve Amerika'nın kuru bölgelerinde yetişmektedir. Türkçe adı "sarısabır veya ödağacı" olup, özellikle yurdumuzun Güneybatı Anadolu bölgesinde yetişmektedir. Aloe vera potansiyel olarak 77 aktif bileşik içerir, bunlar arasında aminoasitler, vitamin, enzim, mineral, şeker, lignin, saponin ve salisilik asit bulunmaktadır. Bu bileşikler sayesinde Aloe vera, epitel hücrelerin çoğalmasını hızlandırmakta, bağışıklık sistemini düzenlemekte, antibakteriyel, antifungal, antiviral ve antioksidan özellikler göstermektedir [6,7,17].

Her türlü toprak çeşidinde yetişebilen bitki türlerinden birisi olan aynısefa bitkisi, papatyagiller (Asteraceae) ailesinden, bir yıllık otsu bitkidir ve ülkemizde pek çok bölgede yetişmektedir. Tıbbi bir bitki olarak bilinmekte; yara ve yanıklarda, böcek ısırıklarında, ağrılarda, nemelemede idrar söktürücü olarak

kullanılmaktadır. Yapısında bulunan uçucu yağlar, steroidler, tanninler terpenoidler, flavanoidler, fenolik asitler, polisakkaritler, kaumarinler ve karotenoidler [8] sayesinde antiseptik, antibakteriyel, antikanserijen etki göstermektedir [9,18,19].

Adiantaceae familyasına ait bir eğrelti otu olan baldırıkara, geleneksel tıpta birçok hastalığın iyileştirilmesinde kullanılan bir bitkidir. Avrupa, Asya, Kuzey Amerika, Avustralya'da ve Türkiye'de yaygın bir şekilde yetişmektedir [20]. Bu bitki, soğuk algınlığı, ateş, öksürük ve bronşiyal bozuklukların tedavisinde, deri hastalıkları, dalak, karaciğer ve diğer organ tümörleri için, sarılık ve hepatit tedavisi ve diğer birçok hastalıkların tedavisinde kullanılmaktadır [21]. Yapısında bulunan flavonoidler, hidroksisinnamik asitler, sülfat esterleri, triterpenoidler, steroller sayesinde, antimikrobiyel, antioksidan, antidiyabetik özellikler göstermektedir [10-12].

Cucurbitaceae familyasına ait tırmanıcı bir bitki olan kudret narı, Asya'ya özgü olup, Amazon, Doğu Afrika, Karayipler ve Güney Amerika'da yayılış göstermektedir. Kolit, ülser, gastrit gibi mide bağırsak sistemine bağlı tüm hastalıkların tedavisinde, sedef ve egzamada, yara ve iltihap gidermede, yanık ve yara tedavisinde, hücre yenileyici olarak, bağırsak tembelliğini gidermede kullanılmaktadır. Bitki yapısında bulunan saponinler, polisakkaritler, proteinler, triterpenler, alkaloidler, flavonoidler, kinin, aminoasitler, yağ asitleri ve eser elementler gibi yüzlerce kimyasal bileşik sayesinde, antibakteriyel, antifungal, anti-inflamatuvar, antiviral, antiparazitik, antiseptik, antikanserojen gibi özellikler göstermektedir [13,22,23].

Yapılan araştırmalar, söz konusu bitki kaynaklarının yapılarında bulunan bileşenlerinin her birini, farklı çözgen sistemlerinde açığa çıkardığını göstermiştir [14-16,24-28]. Bu sebeple bu çalışmada n-hegzan, etanol, metanol ve su olmak üzere dört farklı çözgen kullanılarak bitki ekstraktları hazırlanmıştır. Hazırlanan bitki

ekstrelerinin antibakteriyel ve antifungal aktiviteleri araştırılarak, bitkiden ve çözgen türlerinden kaynaklanan farklar ortaya konulmuştur.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Çalışmada doğal bitki kaynakları olarak; aloe vera bitkisi (*Aloe barbadensis*), aynı sefa bitkisi (*Calendula officinalis* L.), baldırıkara bitkisi (*Adiantum capillus-veneris* L.) ve kudret narı meyvesi (*Momordica charantia* L.) kullanılmıştır. Baldırıkara bitkisi, Birecik baraj gölü kenarlarından toplanmış, aynı sefa bitkisi kuru olarak (Aktarmarka), kudret narı meyvesi toz olarak (İpeknaturel) ve aloe vera bitkisi yaş olarak (Akdeniz aloe vera) temin edilmiştir. Bitki ekstraktlarını hazırlamak için n-hegzan (Teksol), metanol (Teksol), etanol (Teksol) ve distile su kullanılmıştır.

Bitkileri öğütmek için hububat öğütücü (Lavion) ve hazırlanan ekstraktları çözelti haline getirmek için ultrasonik banyo (ISOLAB) kullanılmıştır.

Antibakteriyel ve antifungal aktivite testlerinin yapılması için *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213), *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Aspergillus niger* (ATCC 6275) mikroorganizmaları, nutrient agar (NA, Merck), potato dextrose agar (PDA, Merck), NaCl (Merck), ampisilin, vancomisin, ketakonazol, steril disk, steril petri kabı, biyogüvenlik kabini (Bilser, Class II), otoklav (ALP) ve inkübatör (JSR) kullanılmıştır.

2.2. Metot

Bitki ekstraktlarının hazırlanması için, ilk olarak, taze olarak toplanan bitki kaynakları yıkanmış, kurutulmuş ve hububat öğütücüde toz haline gelene kadar öğütülmüştür. Kuru olarak alınan bitki kaynakları ise direkt toz haline getirilmiştir.

Öğütülen bitkiler, 1/20 oranında bitki/çözgen karışımı olacak şekilde n-hegzan,, etanol, metanol ve su içerisinde, karanlıkta 24 saat masere edilmiştir. Süre sonunda çözgenler, Whatman No:1 filtre kağıdı ile filtre edilerek, çeker ocak içerisinde oda sıcaklığında uçması sağlanmıştır. Maserasyon işlemi tüm bitkiler ve çözgenler için üç kez tekrarlanmış ve elde edilen ekstreler kullanılacağı zamana kadar buzdolabında +4 °C sıcaklıkta muhafaza edilmiştir.

Çalışmada toplam 16 farklı bitki ekstresi hazırlanmıştır. Hazırlanan ekstrele ait deney planı Çizelge 1’de görülmektedir.

Çizelge 1. Bitki ekstrelerinin hazırlanmasında kullanılan deney planı

Deney no	Bitki	Çözgen
1	Baldırıkara	Hegzan
2		Etanol
3		Metanol
4		Su
5	Aynisefa	Hegzan
6		Etanol
7		Metanol
8		Su
9	Kudret narı	Hegzan
10		Etanol
11		Metanol
12		Su
13	Aloe vera	Hegzan
14		Etanol
15		Metanol
16		Su

Hazırlanan bitki ekstrelerini çözelti haline getirmek için, ekstrelerden kendi çözgenleri ile 20 mg/mL konsantrasyonunda çözeltiler hazırlanmıştır. Çözelti hazırlanırken ekstreler

çözgen içerisinde tamamen çözünene kadar ultrasonik banyoda bekletilmiştir. Hazırlanan çözeltiler, antibakteriyel ve antifungal aktivite testleri yapılmak üzere, steril disklere aktarılmış ve diskler kurutularak çözgenin uzaklaşması sağlanmıştır. Kontrol amacıyla (negatif kontrol), ekstreyi çözmede kullanılan çözgenler de disklere aktarılmış ve kuruması sağlanmıştır.

2.3. Araştırma Yöntemleri

2.3.1. Antibakteriyel Aktivite Testi

Çalışmada hazırlanan bitki ekstrelerine, disk difüzyon yöntemine göre antibakteriyel aktivite testi yapılmıştır. Antibakteriyel etkinlik değerlendirilmesinde, gram pozitif bakteri suşu olarak *Staphylococcus aureus* ve gram-negatif bakteri suşu olarak *Escherichia coli* seçilmiştir. Test ve kontrol örnekleri, 3 atm basınç altında 121 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile sterilize edildikten sonra, taze bakteri kültüründen öze ile alınan mikroorganizmalar tuzlu su (%0,85) içerisine aktararak, 0.5 Mc Farland ($\sim 1.5 \times 10^8$ Kob/mL) yoğunluğunda bakteri çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan bakteri çözeltisinden steril pamuklu çubuk yardımıyla, nutrient agar besiyerine sürülmüş ve 10 dakika beklendikten sonra üzerine bitki ekstreleri aktarılmış diskler besiyerine yerleştirilmiştir. Ardından petri 37 °C’de 24 saat inkübe edilmiş ve süre sonunda inhibisyon çapı ölçülmüştür [29,30]. Pozitif kontrol amacıyla, *E.coli* bakterisi için ampisilin, *S. aureus* bakterisi için vancomisin antibiyotikleri aktarılan diskler de petri kaplarına yerleştirilmiştir. Çalışma 3 tekrar şeklinde yapılmış ve sonuçların ortalaması alınmıştır.

2.3.2. Antifungal Aktivite Testi

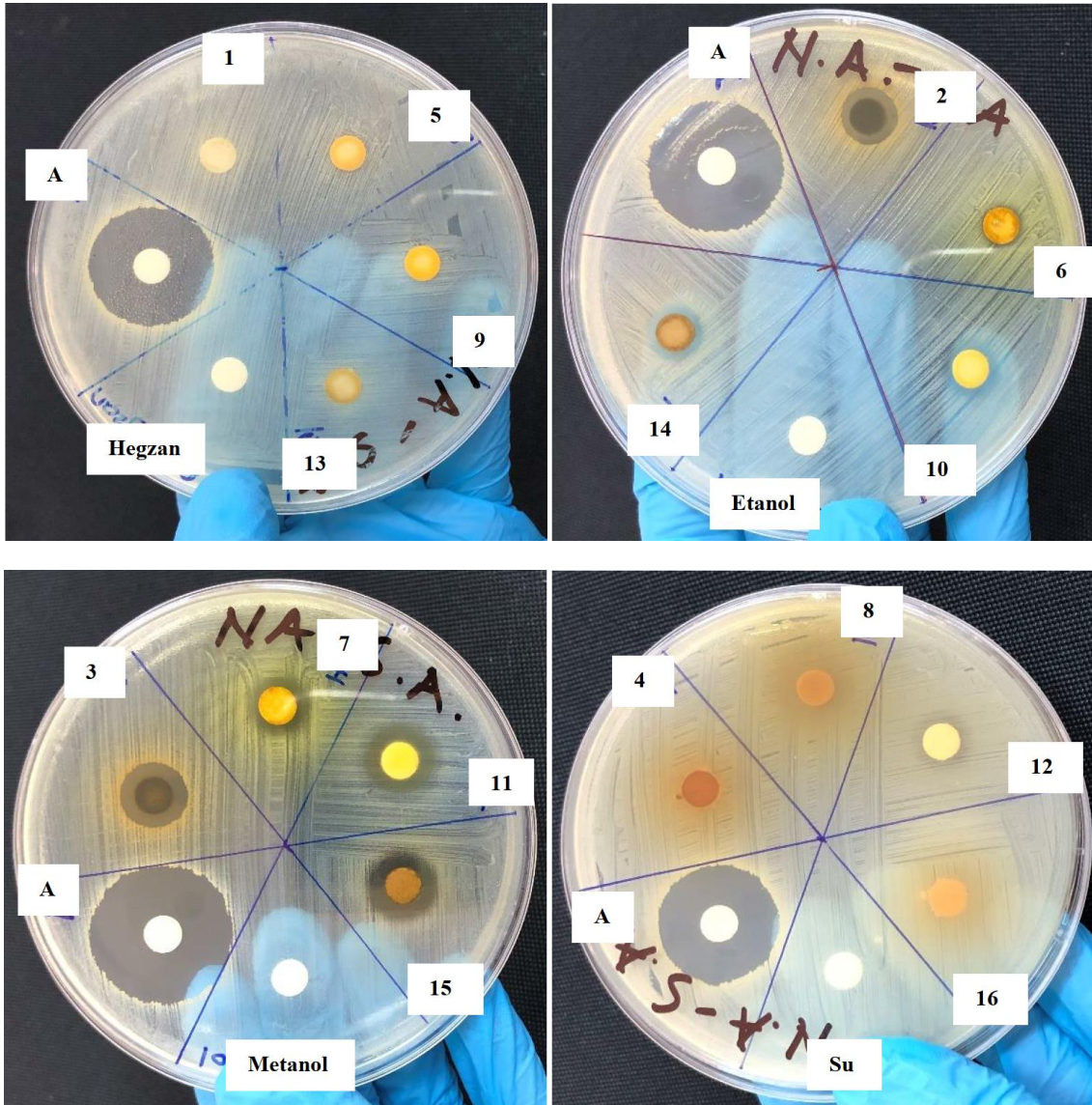
Çalışmada hazırlanan bitki ekstrelerinin antifungal aktivitesi, *Aspergillus niger* mantarı kullanılarak disk difüzyon yöntemi ile araştırılmıştır. Bu yöntemde besiyeri olarak PDA kullanılarak, iki katlı besiyeri hazırlanmıştır. Besiyeri katılaştıktan sonra, küfler için önceden 10^2 kob/mL’ye ayarlanan seyreltik mantar çözeltisinden 0,1 mL

alınarak drigalski spatülü ile yayılmıştır. Besiyeri yüzeyinde emilmesi beklendikten sonra petriyelerin üzerine diskler yerleştirilmiştir. Örnekler 25 °C'de 5 gün inkübe edilip kuyucukların etrafında oluşan zonlar gözlemlenerek antifungal etki belirlenmiştir [31]. Pozitif kontrol amacıyla, ketakonazol antifungal ilacı da steril disklere aktarılmıştır. Çalışma 3 tekrar şeklinde gerçekleştirilmiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Bitki Ekstrelerinin Antibakteriyel Aktivite Sonuçları

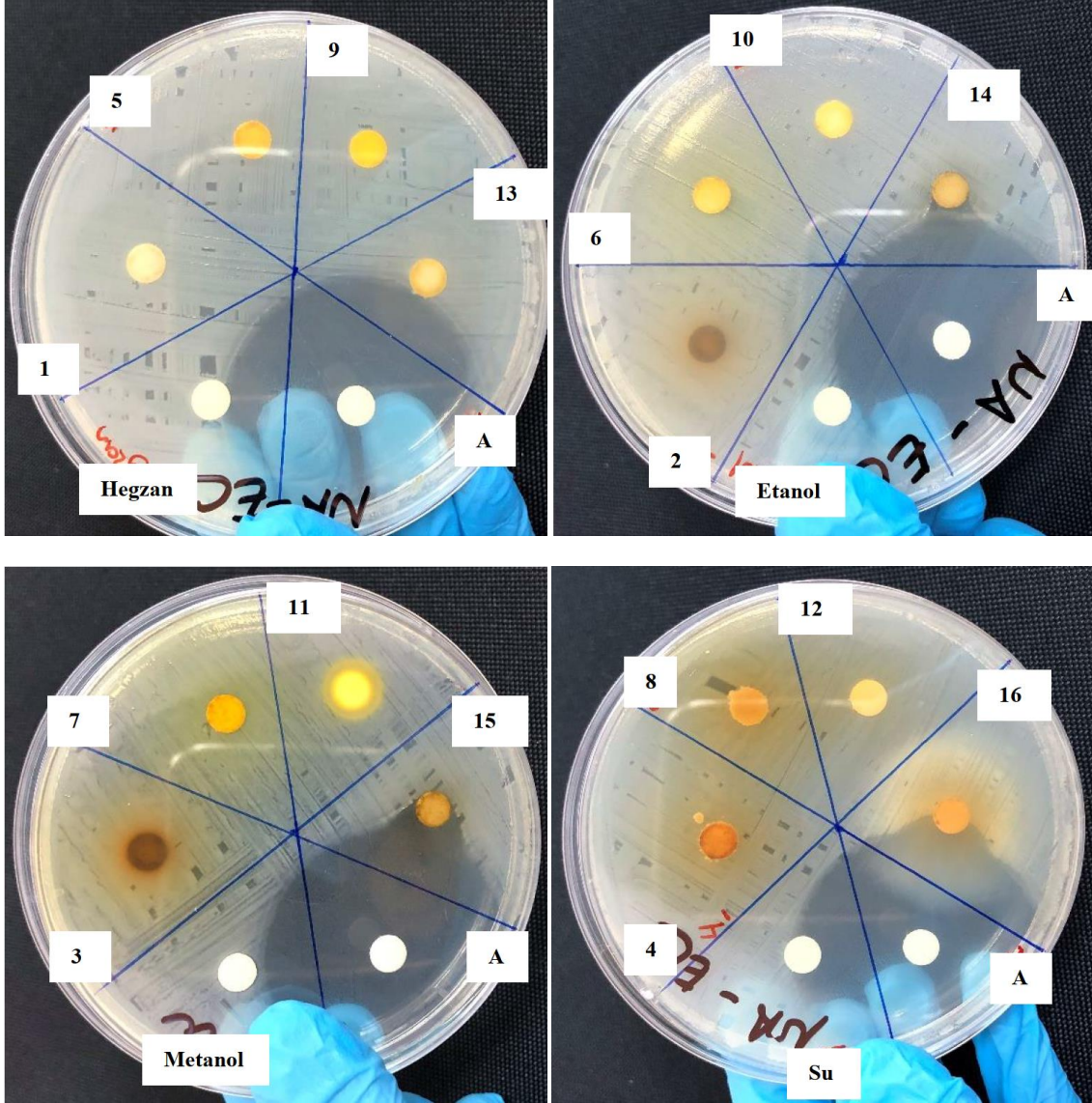
Hazırlanan bitki ekstraktlarının *S. aureus* bakterisine karşı antibakteriyel aktivite sonuçları Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Bitki ekstraktlarının *S. aureus* bakterisine karşı antibakteriyel aktivitesi

Hazırlanan bitki ekstralarının *E. coli* bakterisine karşı antibakteriyel aktivite sonuçları

Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Bitki ekstralarının *E.coli* bakterisine karşı antibakteriyel aktivitesi

Hazırlanan bitki ekstralarının ölçülen inhibisyon çapları Çizelge 2’de verilmiştir.

Test edilen bir numunenin antibakteriyel özelliğe sahip olabilmesi için, altında, üstünde ve çevresinde bakteri olmaması gerekmektedir.

Ayrıca, test edilen numunenin bakterilere karşı oluşturduğu koruma bölgesinin çapı arttıkça antibakteriyel etkinliğin arttığı anlaşılmaktadır [32]. Şekil 1, Şekil 2 ve Çizelge 2 incelendiğinde, farklı bitki kaynaklarının farklı çözümler içerisinde hazırlanan ekstralarının, değişen

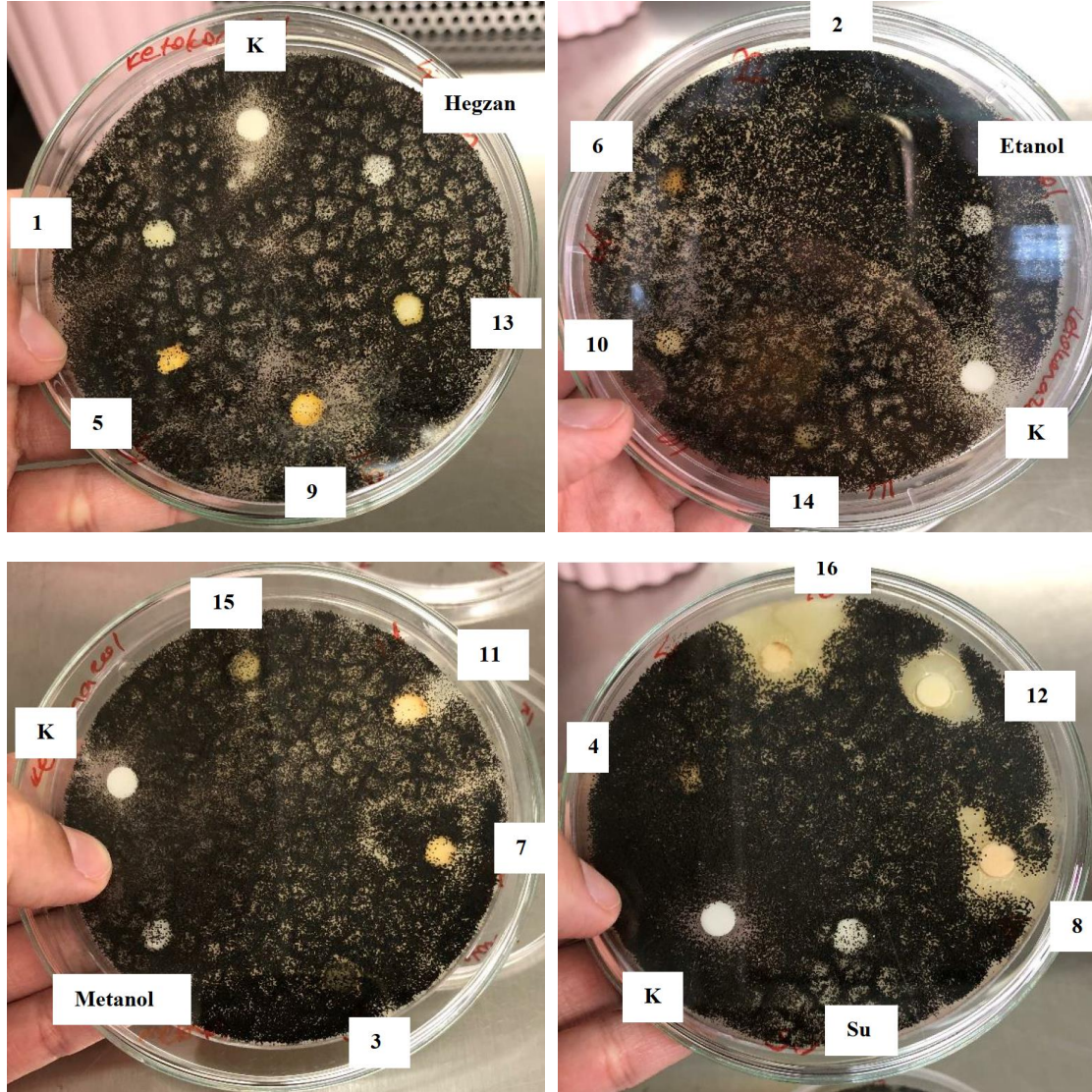
miktarlarda antibakteriyel aktiviteye sahip olduğu net bir şekilde görülmektedir. Bunun yanında, hazırlanan ekstrelerin gram pozitif bir bakteri olan *S. aureus* bakterisine karşı daha yüksek aktiviteye sahip olduğunu söylemek mümkündür. Baldırıkara ve aloe vera bitkilerinin etanol ve metanol ekstreleri *S. aureus* bakterisine karşı antibakteriyel aktivite gösterirken, sadece aloe vera bitkisinin metanol ekstresinin *E. coli* bakterisine karşı aktivitesi olduğu gözlemlenmiştir. Aynı sefa ve

kudret narı bitkilerinin etanol, metanol ve su ile hazırlanan ekstreleri, *S. aureus* bakterisine karşı inhibisyon etkisi göstermiş; *E. coli* bakterisine karşı sadece kudret narı bitkisinin metanol ekstresi etki göstermiştir. Genel olarak, bitki kaynaklarının hegzan ekstrelerinin test edilen iki bakteri suşuna karşı herhangi bir engelleyici aktivitesinin bulunmadığını ve metanol ekstrelerinin en yüksek aktiviteye sahip olduğunu söylemek mümkündür.

Çizelge 2. Bitki ekstrelerinin *S. aureus* ve *E.coli* bakterilerine karşı oluşturduğu inhibisyon çapı (mm)

Deney No	İnhibisyon çapı (mm)	
	<i>S. aureus</i>	<i>E.coli</i>
1	-	-
2	9,01	-
3	10,48	-
4	-	-
5	-	-
6	7,09	-
7	8,43	-
8	7,35	-
9	-	-
10	7,97	-
11	11,01	7,47
12	9,01	-
13	-	-
14	8,26	-
15	9,75	6,55
16	-	-
Hegzan	-	-
Etanol	-	-
Metanol	-	-
Su	-	-
Antibiyotik	20,37	38,99
Ekilen bakteri sayısı (kob/mL)	2,53*10 ⁸	1,15*10 ⁸

Hazırlanan bitki ekstralarının antifungal aktivite sonuçları Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Bitki ekstralarının antifungal aktivitesi

Antibakteriyel aktiviteye benzer şekilde, test edilen bir numunenin antifungal özelliğe sahip olabilmesi için, altında, üstünde ve çevresinde mantar üremesi olmaması gerekmektedir. Ayrıca, test edilen numunenin mantarlara karşı oluşturduğu koruma bölgesinin çapı arttıkça antifungal etkinliğin arttığı anlaşılmaktadır [32]. Şekil 3 incelendiğinde, bitki kaynaklarının, farklı çözücülerde hazırlanan

ekstrelerinin değişen seviyelerde antifungal aktiviteye sahip olduğu görülmektedir. Genel olarak, bitki kaynaklarının etanol ekstralarının antifungal aktivite göstermediği; aynı sefa, alo vera ve kudret narının su ekstralarının yüksek aktiviteye sahip olduğunu söylemek mümkündür. Bunun yanında, aynısefa ve kudret narı bitkilerinin metanol ekstralarının bir miktar antifungal etkiye

sahip olduğu görülmektedir. Söz konusu etkinin diske aktarılan ekstre konsantrasyonunun artırılması ile daha belirgin hale gelebileceği düşünülmektedir.

Antibakteriyel ve antifungal aktivite sonuçları birlikte düşünüldüğünde, kudret narı meyvesinin metanol ekstresinin en yüksek antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğunu söylemek mümkün olmaktadır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, aloe vera, aynısefa, baldırkara ve kudret narı olmak üzere dört farklı bitki kaynağının, n-hegzan, etanol, metanol ve içerisinde ekstreleri hazırlanmış ve hazırlanan ekstrelerin antimikrobiyal aktivitesi araştırılmıştır. Çalışma sonuçları, her bir bitki kaynağının farklı bir çözgen içerisinde hazırlanan ekstresinin farklı antimikrobiyal aktivite sergilediğini göstermiştir. Genel olarak, bitki kaynaklarının metanol ekstreleri daha yüksek antibakteriyel aktivite gösterirken; su ekstreleri daha belirgin antifungal aktivite göstermiştir. Bunun yanında, en yüksek antimikrobiyal aktiviteye kudret narı meyvesinin metanol ekstresinin sahip olduğunu söylemek mümkündür.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 120M802 nolu projeden alınan destek ile tamamlanmış olup yazarlar TÜBİTAK'a teşekkürü bir borç bilmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Acet, T., Özcan, K., 2018. Aslanpençesi (*Alchemilla ellenbergiana*) Ekstrelerinin Antioksidan ve Antimikrobiyal Özelliklerinin Belirlenmesi. GÜFBED/GUSTIJ, 8(1), 113-121
2. İnce, İ., Çığırıl, N., Gümüştaş, B., Kozguş Güldü, Ö., Karaman, D., Medine, E.İ., Güler, G., Karasulu, E., 2019. Geleneksel Olarak Yara Tedavisinde Kullanılan Kudret Narı (*Momordica charantia* L.) Zeytinyağı Maseratı Kullanılarak Krem Formunun Geliştirilmesi ve İn Vitro Yara İyi Edici Etkisinin Araştırılması. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(1), 38-48.
3. Çelik, E., Çelik, G.Y., 2007. Bitki Uçucu Yağların Antimikrobiyal Özellikleri. Orta On-Line Mikrobiyoloji Dergisi, 5(2), 1-6.
4. Ayhancı, T., 2019. Bazı Endemik Bitkilerin Antimikrobiyal ve Antioksidan Aktivitelerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyokimya Anabilim Dalı, İzmir, 109
5. Manandhar, S., Luitel, S., Dahal, R.K., 2019. In Vitro Antimicrobial Activity of Some Medicinal Plants Against Human Pathogenic Bacteria. Journal of Tropical Medicine, <https://doi.org/10.1155/2019/1895340>
6. Boudreau, M.D., Beland, F.A., 2006. An Evaluation of the Biological and Toxicological Properties of Aloe Barbadosensis (Miller). Aloe Vera Journal of Environmental Science and Health Part C, 24, 103-154.
7. Surjushe, A., Vasani, R., Saple, D.G., 2008. Aloe Vera: A Short Review. Indian J Dermatol, 53(4), 163-166.
8. Okuma, C.H., Andrade, T.A.M., Caetano, G.F., Finci, L.I., Maciel, N.R., Topan, J.F., Cefali, L.C., Polizello, A.C.M., Carlo, T., Rogerio, A.P., Spadaro, A.C.C., Isaac, V.L.B., Frade, M.A.C., Rocha-Filho, P.A., 2015. Development of Lamellar Gel Phase Emulsion Containing Marigold Oil (*Calendula officinalis*) as a Potential Modern Wound Dressing. European Journal of Pharmaceutical Sciences, 71, 62-72.
9. Vinod, M., Singh, M., Pradhan, M., Iyer, S.K., Tripathi, D.K., 2012. Phytochemical Constituents and Pharmacological Activities of *Betula Alba* Linn.- A Review. International Journal of PharmTech Research, 4(2), 643-647.
10. Abbasi, A.M., Khan, M.A., Ahmad, M., Zafar, M., Jahan, S., Sultana, S., 2010. Ethnopharmacological Application of Medicinal Plants to Cure Skin Diseases and in

- Folk Cosmetics Among the Tribal Communities of North-west Frontier Province, Pakistan. *J. Ethnopharmacol.*, 128, 322–335.
11. Al-Qura'n, S., 2009. Ethnopharmacological Survey of Wild Medicinal Plants in Showbak. *Jordan, J. Ethnopharmacol.* 123, 45–50.
 12. Dehdari, S., Hajimehdipoor, H., 2018. Medicinal Properties of *Adiantum Capillus-Veneris* Linn. In *Traditional Medicine and Modern Phytotherapy: A Review Article*, Iranian Journal of Public Health, 47(2), 188–197.
 13. Dandawate, P.R., Subramaniam, D., Padhye, S.B., Anant, S., 2016. Bitter Melon: A Panacea for Inflammation and Cancer. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 14(2), 81–100.
 14. Chipps, E.S., Jayini, R., Ando, S., Protzman, A.D., Muhi, M.Z., Mottaleb, M.A., Malkawi, A., Islam, M.R., 2012. Cytotoxicity Analysis of Active Components in Bitter Melon (*Momordica charantia*) Seed Extracts Using Human Embryonic Kidney and Colon Tumor Cells. *Natural Product Communications*, 7(9), 1203–1208.
 15. El-Shafei, A., Shaarawy, S., Motawe, F.H., Refaei, R., 2018. Herbal Extract as an Ecofriendly Antimicrobial Finishing of Cotton Fabric. *Egyptian Journal of Chemistry*, 61(2), 317–327.
 16. Selvam, R.M., Athinarayanan, G., Nanthini, A.U.R., Singh, A.J.A.R., Kalirajan, K., Selvakumar, P.M., 2015. Extraction of Natural Dyes from *Curcuma longa*, *Trigonella Foenum Graecum* and *Nerium Oleander*, Plants and Their Application in Antimicrobial Fabric. *Industrial Crops and Products*, 70, 84–90.
 17. Çete, S., Arslan, F., Yaşar, A. 2005. Investigation of Antimicrobial Effects Against Some Microorganisms of *Aloe Vera* and *Nerium Oleander* Also Examination of the Effects on the Xanthine Oxidase Activity in Liver Tissue Treated with Cyclosporin. *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 18(3), 375–380.
 18. Kozłowska, J., Stachowiak, N., Prus, W., 2019. Stability Studies of Collagen-based Microspheres with *Calendula Officinalis* Flower Extract, 163, 214–219.
 19. Parente, L.M.L., Lino Júnior, R.D.S., Tresvenzol, L.M.F., Vinaud, M.C., Paula, J.R. De, Paulo, N.M., 2012. Wound Healing and Anti-Inflammatory Effect in Animal Models of *Calendula Officinalis* L. growing in Brazil, Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2012, 1-7.
 20. Lindsay, S., Suksathan, P., Middleton, D.J. 2010. A New Species of *Adiantum* (Pteridaceae) from Northern Thailand. *Thai Forest Bull. (Botany)*, 38, 67-69.
 21. Singh, M., Singh, N., Khare, P.B., Rawat, A.K.S., 2008. Antimicrobial Activity of Some Important *Adiantum* Species Used Traditionally in Indigenous Systems of Medicine. *J. Ethnopharmacol.*, 115, 327–329.
 22. Baldemir, A., Ekinci, K., İlgün, S., Dalda, A., Yetişir, H., 2018. *Momordica Charantia* L. (Kudret narı) Meyvelerinin Toplam Fenolik Madde İçerikleri ve Antioksidan Kapasitelerinin Değerlendirilmesi. *Derim*, 35(1), 45-50.
 23. Cheng, H.L., Yang, M.H., Anggriani, R., Chang, C.I., 2017. Comparison of Anti-inflammatory Activities of Structurally Similar Triterpenoids Isolated from Bitter Melon, *Natural Product Communications*, 12(12), 1847–1850.
 24. Bissa, S., Bohra, A., 2011. Antibacterial Potential of *Pot Marigold*. *Journal of Microbiology and Antimicrobials*, 3(3), 51-54.
 25. Chakraborty, G.S., 2008. Antimicrobial Activity of the Leaf Extracts of *Calendula Officinalis* (Linn). *Journal of Herbal Medicine and Toxicology*, 2(2), 65-66.
 26. Costa, J.G.M., Nascimento, E.M.M., Campos, A.R., Rodrigues, F.F.G., 2011. Antibacterial Activity of *Momordica Charantia* (Cucurbitaceae) Extracts and Fractions. *Journal of Basic and Clinical Pharmacy*. 2(1), 45-51.
 27. Ranjan, V., Vats, M., Gupta, N., Sardana, S., 2014. Antidiabetic Potential of Whole Plant of *Adiantum Capillus Veneris* Linn. in

- Streptozotocin Induced Diabetic Rats. International Journal of Pharmaceutical and Clinical Research, 6(4), 341-347.
- 28.** Hosseinkhani, A., Falahatzadeh, M., Raofi, E., Zarshenas, M.M., 2017. An Evidence-Based Review on Wound Healing Herbal Remedies from Reports of Traditional Persian Medicine. Journal of Evidence-based Complementary & Alternative Medicine, 22(2), 334-343.
- 29.** Beşen, B.S., 2019. Production of Disposable Antibacterial Textiles Via Application of Tea Tree Oil Encapsulated into Different Wall Materials. Fibers and Polymers, 20(12), 2587-2593.
- 30.** Beşen, B.S., 2020. Tea Tree Oil/Ethyl Cellulose Microcapsule Loaded Antimicrobial Textiles. AATCC Journal of Research, 7(2), 1-6.
- 31.** Kavas, C., 2002. Gıda Sanayinde Starter Kùltür Olarak Kullanılan Bazı Laktik Asit Bakterilerinin Antifungal Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 64.
- 32.** Beşen, B.S., 2016. Ozonlanmıő Bitkisel Yağ İçeren Mikrokapsùllerin retilmesi ve Tekstil Yùzeylerine Aktarılması. Doktora Tezi. Kahramanmaraş Sùtu İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 183.

Electrochemical Synthesis of CdSe and CdSe/ZnO Films: Morphological, Structural and Electronic Properties

Gökmen SİĞİRCİK*¹ ORCID 0000-0002-5457-8372

Tunç TÜKEN¹ ORCID 0000-0002-0559-2848

¹Çukurova University, Faculty of Science and Letters, Chemistry Department, Adana

Geliş tarihi: 21.03.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: SİĞİRCİK, G., TÜKEN, T., (2022). Electrochemical Synthesis of CdSe and CdSe/ZnO Films: Morphological, Structural and Electronic Properties. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 555-568.

Abstract

CdSe films were electrochemically prepared on ITO electrode in aqueous solution applying a constant potential. Structural, morphological and optical features of CdSe thin films were examined with FE-SEM, XRD and UV-visible spectrophotometry techniques. XRD results revealed CdSe films were deposited, in the form of cubic crystals from aqueous solution of Cd²⁺ and Se⁴⁺, in presence of Na₂SO₄ supporting electrolyte. Band gap values of CdSe films were found between 1.88 and 2.0 eV. Wide band gap ZnO was electrochemically deposited on narrow band gap CdSe to improve its optoelectronic properties. Band gap value of CdSe/ZnO nanorods was determined as 2.7 eV. Mott-Schottky equation was utilized to calculate flat band potential (E_{FB}), as well as charge carrier density (N_D) of materials. N_D values were found as 1.623×10²⁰ and 9.186×10²⁰ cm⁻³ for CdSe and CdSe/ZnO, respectively. ZnO offers higher stability and lower band gap is promising material to be utilized in solar cell applications.

Keywords: CdSe/ZnO, Semiconductor materials, Electrochemical deposition

CdSe ve CdSe/ZnO Filmlerin Elektrokimyasal Sentezi: Morfolojik, Yapısal ve Elektronik Özellikler

Öz

CdSe filmler ITO elektrot üzerinde sabit potansiyel uygulayarak sulu çözeltide elektrokimyasal yolla hazırlanmıştır. CdSe ince filmlerin yapısal, morfolojik ve optik özellikleri FE-SEM, XRD ve UV-görünür spektrofotometri teknikleri çalışılmıştır. XRD sonuçları, CdSe filmlerin Na₂SO₄ destek elektroliti varlığında Cd²⁺ ve Se⁴⁺ içeren sulu çözeltiden kübik kristal formda biriktirildiği görülmüştür. CdSe filmlerin bant aralığı değerleri 1,88 ve 2,0 eV aralığında bulunmuştur. Geniş bant aralığına sahip ZnO dar bant aralığına sahip CdSe üzerine optoelektronik özelliklerini geliştirmek için elektrokimyasal yolla biriktirilmiştir. CdSe/ZnO nanoçubukların bant aralığı değeri 2,7 eV olarak belirlenmiştir. Mott-Schottky eşitliği malzemelerin düz bant potansiyelini (E_{FB}) ve yük taşıyıcı yoğunluğunu (N_D) hesaplamak için

*Corresponding author (Sorumlu yazar): Gökmen SİĞİRCİK, gsigircik@cu.edu.tr

kullanılmıştır. N_D değerleri, CdSe ve CdSe/ZnO için 1.623×10^{20} ve $9.186 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ olarak bulunmuştur. Daha yüksek kararlılık ve düşük bant aralığı sağlayan ZnO, güneş pili uygulamalarında kullanılmak için umut verici bir malzemedir.

Anahtar Kelimeler: CdSe/ZnO, Yarıiletken malzemeler, Elektrokimyasal biriktirme

1. INTRODUCTION

The ability to meet increasing energy request and environmental concerns gradually increase the interest in alternative energy production techniques [1,2]. Hydrogen has much higher energy conversion efficiency as a fuel than other commonly utilized energy sources. Furthermore, its environmentally friendly and sustainable feature has also increased the interest in hydrogen-based fuel cells. There are various methods for hydrogen production using solar energy. Among them, photo electrochemical splitting of water into oxygen and hydrogen molecules is considered to be the most promising and inexpensive method [3,4]. While photo electrochemical cells provide a low-cost, easy-to-apply, environmentally friendly solution, there is still a need for further improvement in efficiency/cost ratio. In photo electrochemical cells, n or p-type semiconductor materials that comprise significant physical and optical properties are used as photo electrode. Thus, good absorption ability, chemical stability and low cost in the solar spectrum are the anticipated properties of the semiconductor materials [5]. Therefore, there is a great effort to develop semiconductor materials used in environmentally friendly fuel production applications by splitting of water using solar energy. The improvements that can be made increase the photo catalytic efficiency of the semiconductor electrode materials [6]. Opto-electronic property of semiconductors, which is directly dependent on its morphological and crystallographic properties, is extremely important for the device applications. Besides, it is well known that the synthesis parameters and method have a direct influence on morphological and opto-electronic features of semiconductor materials [7]. Semiconductors have wide band gap; such as ZnO, TiO_2 and SnO_2 or narrow band gap semiconductors like CdSe, CdTe, and CuO are the most utilized materials for this purpose [8].

II-VI group semiconductor materials have been utilized for a long time owing to their various application areas; for instance electronic, light emitting/detecting devices and photovoltaic solar cells [9]. Among them, CdSe is a significant material for electronic devices and photo electrochemical solar cells. Energy band gap for CdSe, an n-type semiconductor, is around 1.74 eV [10]. CdSe is used in thin film transistors, photo electrochemical solar cells, photo conductors and γ -ray detectors because of its high photo sensitivity in visible area. CdSe are also preferred due to their properties such as high efficiency radiation recombination and absorption coefficient, direct band transition and quantum size effect. The size dependent property of CdSe nanostructures has a significant effect on band gap energy. This situation greatly affects physical properties of the material that are important for potential applications [11,12]. CdSe has two different crystal structures, including cubic and hexagonal [12,13]. Moreover, the photo response of a narrow band gap semiconductor lengthens more into range of visible wavelength than a wide band gap semiconductor. However, due to rapid recombination rate of photo generated electron/hole (e/h^+) pairs, a narrow band gap semiconductor offers lower photo catalytic efficiency [14]. There is requirement to enhance optical and electronic behavior of a narrow band gap semiconductor for different applications. Therefore, many efforts have been applied to improve their opto-electronic properties. One of them is combination of a narrow band gap semiconductor and a wide band gap semiconductor [15]. This provides more effective charge separation and higher transport rate of e/h^+ pairs [16].

Among II-VI oxide semiconductor compounds, ZnO is the most used material with hexagonal wurtzite structure, as well as wide band gap value

(3.37 eV) [17]. ZnO nanostructures have attracted much interest by researchers due to its remarkable electrical, optical and mechanical characteristics [18]. For this reason, it has been frequently pronounced as strong candidate for various purposes like light emitting diodes, dye-sensitized solar cells, gas sensor and photo-catalysts [19-22]. Moreover, the feasibility of ZnO is strictly affected by its morphological and crystallographic properties for these applications [23]. 1D metal oxide semiconductors (like nanofiber, nanotube and nanorod) have been extensively used. Rod-like ZnO nanostructures offer straight pathway for transportation of photo generated electrons that recombination rate decreases through the bulk material [24].

In present study, CdSe films were deposited on ITO electrode via electrochemical technique at different deposition time, in aqueous solution. First of all, the optimal electro synthesis parameters were determined by using CV technique. Rod-like ZnO was deposited electrochemically on CdSe to enhance its opto-electronic properties. N_D values were found as 1.623×10^{20} and $9.186 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ for CdSe and CdSe/ZnO, respectively with help of Mott-Schottky equation.

2. MATERIALS AND METHOD

2.1. Materials

Indium tin oxide (ITO) electrode ($8-12 \Omega \text{ cm}^{-2}$) was used. Moreover, cadmium sulphate 8/3 hydrate ($\text{CdSO}_4 \cdot 8/3\text{H}_2\text{O}$), selenium dioxide (SeO_2), potassium chloride (KCl), zinc nitrate tetra hydrate ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), sodium sulphate (Na_2SO_4), sodium hydroxide (NaOH), ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), sulphuric acid (H_2SO_4) materials were utilized without purification.

2.2. Electrochemical Deposition of CdSe Thin Films

Electrochemical deposition of CdSe nanomaterials was done in three-electrode system at $80 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ in water bath. ITO electrodes were utilized as working electrode for electrochemical deposition of CdSe. Reference electrode and counter

electrode were Ag/AgCl (3 M KCl) and platinum sheet, respectively. Firstly, ITO electrodes were ultrasonically cleared by using sodium hydroxide solution, ethanol and distilled water for 5 minutes, respectively. Cycling voltammetry (CV) technique was carried out at 10 mV s^{-1} scan rate for ITO electrode in different deposition solutions. The deposition solution was consisted of 0.01 M CdSO_4 + 0.001 M SeO_2 + 0.1 M Na_2SO_4 . pH value of solutions was arranged to 2.5 by diluted H_2SO_4 solution. The deposition of CdSe nanostructures was done at -0.70 V constant potential employing diverse deposition times between 3 and 20 minutes. After electrochemical deposition process, CdSe nanomaterials were cleaned by distilled water and finally dried at room temperature.

2.3. Electrochemical Deposition of ZnO Nanorods on CdSe

Electrochemical synthesis of ZnO nanomaterials was applied in three-electrode system. Temperature of deposition solutions was held at $70 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ by using water bath. For electrochemical deposition of ZnO nanostructures, ITO/CdSe electrode where CdSe thin film was deposited at 3 minutes deposition time was the working electrode. In addition, Ag/AgCl (3 M KCl) was used as reference electrode and platinum sheet was the counter electrode. Deposition solution was comprised 0.01 M $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ and 0.1 M KCl. Electrosynthesis of ZnO was employed at current value of -0.30 mA cm^{-2} for 30 minutes deposition time. After electrochemical deposition process, CdSe/ZnO nanomaterials were cleaned with distilled water and finally dried under room temperature.

2.4. Characterization of CdSe and CdSe/ZnO Nanorods

The surface morphology of CdSe materials was examined via field emission scanning electron microscopy (FE-SEM, Zeiss, Supra 55). Elemental composition of CdSe nanomaterials was determined with FE-SEM equipped by energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX). Besides, X-ray diffraction (XRD, Rigaku, SmartLab) was used to study crystallographic features of CdSe

nanostructures. The optical behavior of semiconductor nanomaterials was investigated via UV-visible Spectrophotometer (Perkin Elmer, Lambda 25).

2.5. Electrochemical Measurements

Mott-Schottky measurement was utilized by electrochemical impedance spectroscopy method. For this technique, 5 mV amplitude was the applied at 1000 Hz frequency in 0.1 M Na₂SO₄ solution.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. The CV Results of ITO

The CV technique was realized to determine the appropriate electrochemical parameters for synthesis of CdSe on ITO electrode surface. The CV measurement was obtained from 0.0 to -1.0 V in 0.1 M Na₂SO₄ (pH= 2.5) at 10 mV s⁻¹ scan rate, given in Figure 1a. While significant change was not observed in the current over a wide potential range, a slight increase in current started from around -0.6 V. This situation is associated with the reduction reactions of hydrogen ions and In₂O₃/SnO₂ species. However, the ITO electrode appears to be electrochemically stable in wide potential range in this solution.

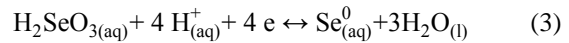
The CV obtained in 0.01 M CdSO₄ and 0.1 M Na₂SO₄ (pH= 2.5) was given in Figure 1b. There was not any noticeable current change indicating to Faradaic process, in a wide potential range. Once electrode potential arrived at -0.70 V, during scan, reduction of Cd²⁺ ions gave raise cathodic current increase. Moreover, the oxidation of freshly reduced metallic Cd was observed as anodic current increase, during the backward scan, again starting at -0.70 V. The relevant equations for reversible equilibrium of Cd²⁺/Cd are given as below [25]:



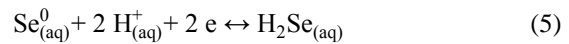
$$E = -0,403 + 0,0295 \log (\text{Cd}^{2+}) \quad (2)$$

From equation 2, theoretically, the reversible electrode potential value is calculated as -0.68 V, for Cd²⁺/Cd equilibrium. It is apparent that there is quite small overvoltage for the onset of this electrochemical reaction.

The CV studies were also realized in presence of 0.001 M SeO₂ with 0.1 M Na₂SO₄ (pH= 2.5), in Figure 1c, at which Na₂SO₄ was again the supporting electrolyte. The reduction of Se⁴⁺ could start at around -0.40 V, however further reduction steps could also take place beyond -0.70 V. The observed first cathodic peak is related to reduction of Se⁴⁺ to Se⁰, between the potentials -0.40 V and -0.70 V. The further reduction process is explained with equation 5. During the backward scan, the anodic peak appeared at around -0.30 V, which corresponds to oxidation of species on the surface. These species are the product of reduction reactions occurred at the previous forward scan [26].



$$E = 0,741 - 0,059 \text{ pH} + 0,0148 \log (\text{H}_2\text{SeO}_3) \quad (4)$$



$$E = -0,399 - 0,059 \text{ pH} - 0,0295 \log (\text{H}_2\text{Se}) \quad (6)$$

In Figure 2a, the CV result of the ITO electrode obtained in 0.01 M CdSO₄, 0.001 M SeO₂ and 0.1 M Na₂SO₄ (pH= 2.5) solution was presented. In this case, the reduction of Se⁴⁺ started at around -0.40 V, and then the reduction of the cadmium ions started and changed the pattern, as well as the current values. Moreover, at backward scan, the anodic peak indicated much higher anodic current (charge) with respect to solely Se⁴⁺ including electrolyte solution. This was an evidence for the onset of reduction reactions for Se⁴⁺ and Cd²⁺ consecutively, on ITO surface. For the rest of backward scan, anodic oxidation of Se²⁻ species to Se⁰ was observed at around -0.20 V and an extra oxidation peak at around +0.80 V. The later anodic peak is attributed to oxidation of Se⁰ type to Se⁴⁺ ion [27]. In solution containing both Cd²⁺ and Se⁴⁺, it was apparent that reduction/oxidation products

alter the ITO surface, thus the electrode/solution interface. This was due to experimental conditions, at which a whole scan is employed in a wide potential range and various types of species (CdSe, metallic Cd, Se^0 , Se^{2-} , etc.). The adsorbed species on the surface may create some kind of poisoning effect and/or extra overvoltage, rescheduling the electrochemical reactions.

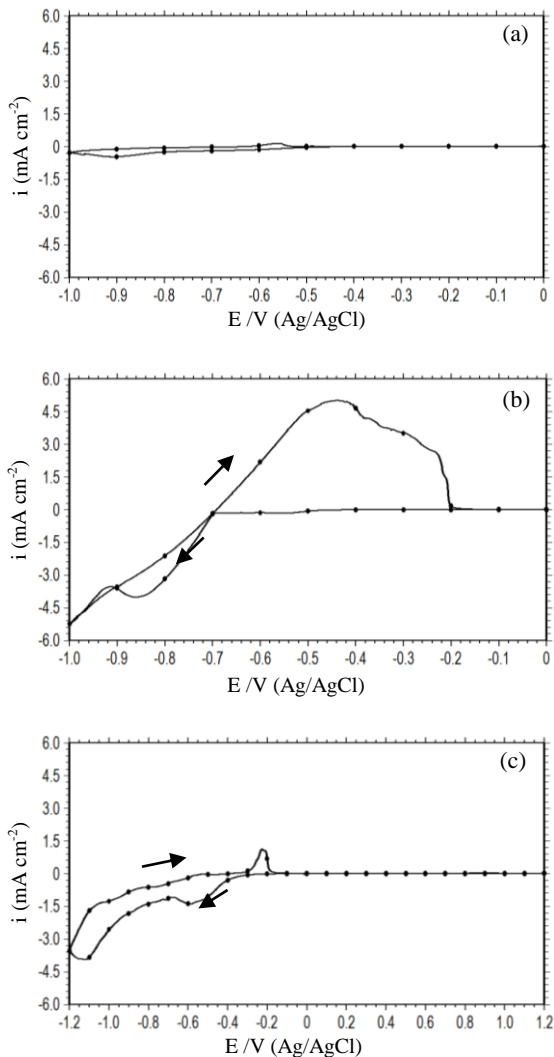


Figure 1. CV result of ITO obtained in 0.1 M Na_2SO_4 solution (a), 0.1 M Na_2SO_4 + 0.01 M CdSO_4 solution (b) and 0.1 M Na_2SO_4 + 0.001 M SeO_2 solution (c) with 10 mV/s scan rate

3.2. Electrochemical Deposition of CdSe on ITO

From evaluation of voltammetry results, it was determined that -0.70 V was chosen as the most appropriate potential value for deposition of CdSe compound on ITO surface, since this value is the limit for avoiding bulk deposition of metallic Cd and suitable for production of sufficient Se^{2-} at the interface, offering precise control for deposition of freshly produced Se^{2-} and Cd^{2+} on the surface. Figure 2b shows the chronoamperogram recorded during CdSe deposition in 0.01 M CdSO_4 , 0.001 M SeO_2 and 0.1 M Na_2SO_4 (pH=2.5) solution, under -0.70 V. Within the first 40 seconds, the nucleation of CdSe nanoparticles happened on the surface of electrode, thus current density values changed remarkably. Afterwards, almost a constant current value was observed, which indicated to consistent deposition process took place on the surface, homogeneously.

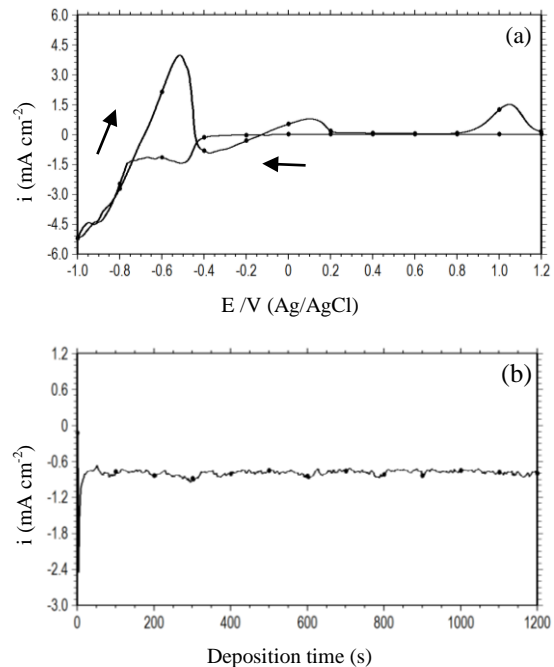


Figure 2. CV result of ITO obtained in 0.01 M CdSO_4 + 0.001 M SeO_2 + 0.1 M Na_2SO_4 solution with 10 mV/s scan rate (a) and the chronoamperometry plot during the deposition of CdSe nanostructures at -0.70 V (b)

3.3. Surface Morphology of CdSe Thin Films

FE-SEM images of CdSe nanomaterials obtained at increased deposition times on ITO electrode surface were given in Figure 3. The well-defined and homogenous CdSe nanoparticles with compact form were obtained as clearly seen from FE-SEM images. On the other hand, surface morphology of CdSe films prepared at 3, 5 and 10 minutes were almost similar appearance. Moreover, the number and size of CdSe nanoparticles increased with increasing deposition time. When FE-SEM images of CdSe nanostructures obtained at 15 and 20 minutes deposition period were examined, it was seen that the general morphology did not change significantly, but the particle size increased gradually. Particularly, the particle sizes of CdSe nanoparticles synthesized at 20 minutes deposition period were quite large and distinct. Furthermore, the EDX analysis results of the CdSe nanoparticles prepared in different deposition period were summarized in Table 1. CdSe thin films were electrochemically synthesized almost in the ratio of 1:1 (by atomic %), apart from film deposited at 20 minutes in Table 1. This situation is attributed to higher amount of the selenium ions existing at ITO/solution interface, rather than cadmium ions which should be transported from bulk solution.

Table 1. The elemental ratio of Cd and Se in CdSe nanostructures at different deposition times

Deposition time (minute)	Cd:Se (atomic ratio %)
3	51.22:48.78
5	52.87:47.13
10	50.60:49.40
15	52.86:47.14
20	40.39:59.61

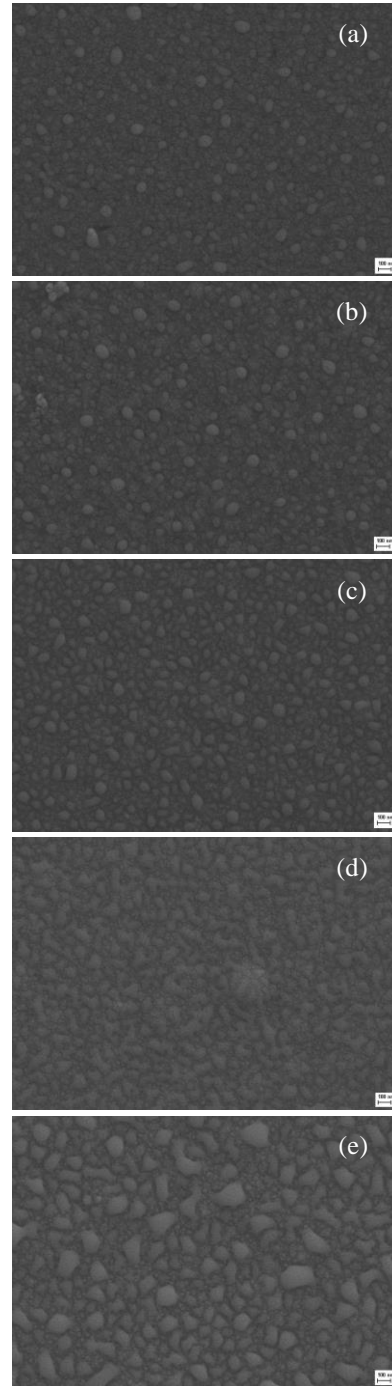


Figure 3. FESEM images of CdSe nanostructures obtained at different deposition times; 3 (a), 5 (b), 10 (c), 15 (d) and 20 minutes (e)

3.4. Structural Analysis of CdSe Thin Films

XRD analysis was employed to examine the crystallographic properties of electrochemically prepared CdSe films. XRD patterns were given in Figure 4. This result showed that CdSe was obtained in cubic crystal structure. Furthermore, major characteristic peaks were observed at $\sim 25^\circ$ and $\sim 42^\circ$ values, for (111) and (220) planes of CdSe, respectively. The achieved results were consistent with literature (PDF card no: 19-0191) [28]. Intensities of observed two peaks were very close to each other for samples prepared with 3 and 5 minutes deposition periods. On the other hand, intensity of the (111) plane peak increased significantly with increasing deposition time. This situation showed that CdSe nanoparticles prepared at 15 and 20 minutes deposition times developed along the dominant (111) plane. As a result, XRD results depicted that CdSe nanomaterials were deposited in the form of cubic crystals.

The crystallite size (D) values of the obtained nanomaterials were calculated as described by Scherrer (Equation 7) [29]. λ and k are the X-ray wavelength (1.54 \AA) and a constant (0.9), respectively. θ and β are Bragg diffraction angle and full width at half maximum of material.

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (7)$$

The values of lattice constant ($a=b=c$), as well as unit cell volume (V) were calculated with the equations 8 and 9 [30]. (hkl) is the Miller indices of lattice constant and d is interplanar spacing of atomic planes.

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad (8)$$

$$V = a^3 \quad (9)$$

From evaluation of data summarized in Table 2, it was proved that electrochemically deposited CdSe films have the expected crystal properties from regular CdSe cubic crystals. It was also noticed that the lattice constant values decreased with increasing deposition time and approached the standard value. The determined lattice parameters are consistent with the standard values. The crystallite size values of CdSe nanostructures were calculated in a range of around 4.5 and 6.5 nm. These findings were evidence for deposition of CdSe nanomaterials on ITO surface, by means of -0.70 V (vs. Ag/AgCl) constant potential value, from aqueous solution of Cd^{2+} and Se^{4+} , in presence of Na_2SO_4 supporting electrolyte.

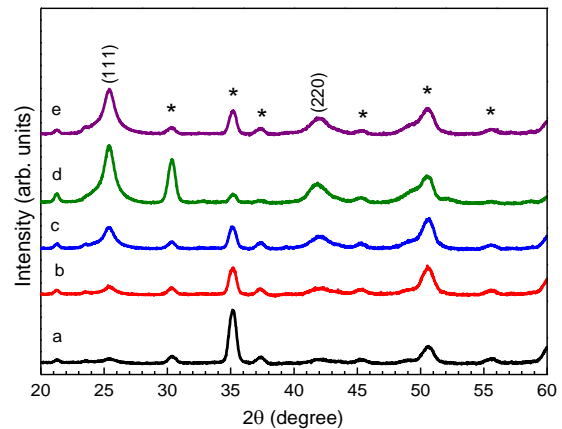


Figure 4. XRD patterns of CdSe nanostructures obtained at different deposition times; 3 (a), 5 (b), 10 (c), 15 (d) and 20 minutes (e) (*: ITO peaks)

Table 2. Structural parameters of CdSe nanostructures obtained from XRD results

Deposition time (minute)	2θ ($^\circ$)		Lattice parameters (\AA) $a=b=c$	V (\AA^3)	Average D values (nm)
	(111)	(220)			
3	25.31	41.77	6.0899	225.86	5.4296
5	25.33	42.21	6.0864	225.47	4.5186
10	25.34	41.93	6.0862	225.44	6.1886
15	25.31	41.67	6.0913	226.01	4.6746
20	25.43	41.99	6.0718	223.85	6.5275

3.5. Optical Properties of CdSe Thin Films

The band gap energy (E_g) value is the critical parameter for semiconductor materials, in aspect of light harvesting efficiency. For this purpose, the E_g values were calculated with help of Tauc equation, plotting $(\alpha h\nu)^2$ versus $h\nu$ [31].

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^n \quad (10)$$

In this equation, n and A are direct band transition ($n=1/2$) and constant, while plot is extrapolated. The value of $n=1/2$ was used since CdSe are direct band gap type semiconductor [32], and the results were given in Figure 5 for electrochemically prepared CdSe films on ITO surface. It was noted that as the deposition time increases, the band gap value decreased gradually. The band gap value of CdSe nanoparticles obtained at 3 and 20 minutes

deposition periods decreased from 2.0 to 1.88 eV, respectively.

Band gap energy values of electrochemically prepared CdSe nanomaterials were found to be slightly higher, with respect to previously reported values for bulk CdSe (1.74 eV) [33]. This situation was attributed to quantum size effect phenomena [34], since we have proved that electrochemically produced CdSe nanoparticles have a diameter less than 10 nm (Table 2). Moreover, as obviously seen band gap energy values of CdSe thin films synthesized at 3 and 5 minutes deposition times were not significantly different and this difference decreased considerably with increasing deposition time. Generally, decrease in particle size results in increasing band gap energy of the material, which is known as “blue shift”. Thus, absorption at lower wavelengths in the absorption spectrum is observed [11].

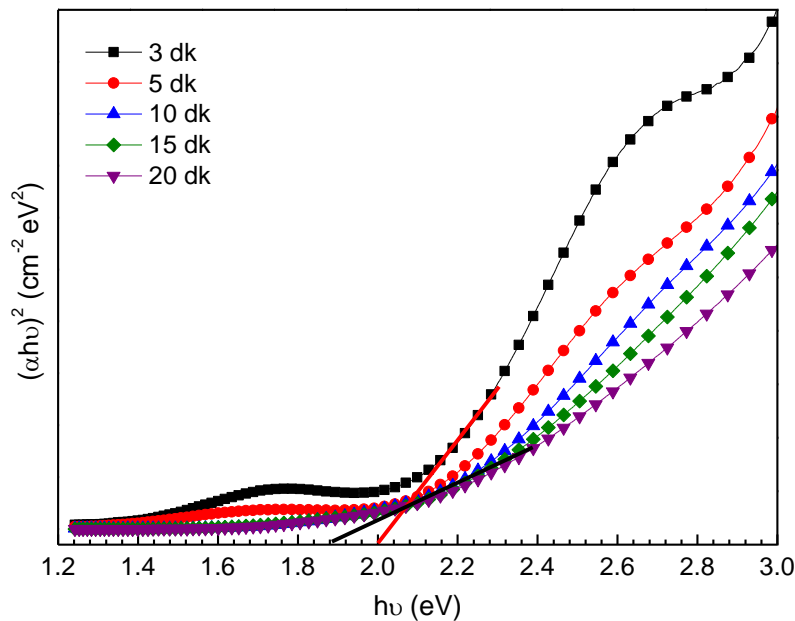


Figure 5. Tauc plots of CdSe nanostructures obtained at different deposition times

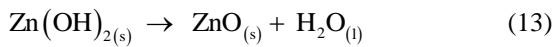
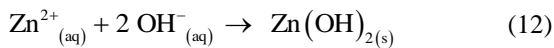
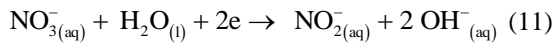
3.6. Electrochemical Deposition of ZnO Nanorods on CdSe

CdSe coated ITO samples were prepared with employing -0.70 V (vs. Ag/AgCl) constant

potential value for 3 min deposition time, as described above. Then, the nanorod structured ZnO thin film was deposited galvanostatically, on ITO/CdSe surface. The chronopotentiogram obtained during ZnO synthesis was given in Figure

6a, where the solution composition was 0.01 M $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ and 0.1 M KCl, as well as current value was -0.3 mA cm^{-2} . During the synthesis, the potential value remains constant at about -1.1 V (vs. Ag/AgCl) that demonstrates deposition of ZnO particles, consistently.

Mechanism of ZnO deposition is summarized with the reactions given in equations 11-13, in aqueous $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ solution [7]. In the first stage, reduction of NO_3^- anions yields OH^- anions at interface of electrode/solution. Afterward, the produced OH^- anions get together with Zn^{2+} cations at once, thus the production of $\text{Zn}(\text{OH})_2$ takes place on the surface, that is hydroxylation process. Finally, $\text{Zn}(\text{OH})_2$ gives the ZnO under the temperature, namely dehydration process.



3.7. Surface Morphology of CdSe/ZnO Nanorods

FE-SEM images were represented for ZnO nanostructures deposited on ITO/CdSe surface, in Figure 6b. It was proven that the deposited ZnO layer was comprised of rod-shaped particles, with various diameters. The formation of a dense structure on the surface is related to applied current value for 30 min deposition time. The polar crystal structure of ZnO consists of terminated positively Zn^{2+} (0001), as well as terminated negatively O^{2-} (000 $\bar{1}$) polar planes. Thus, there is a net dipole moment throughout c-axis. Growth of ZnO oriented (0001) polar plane will be faster due to higher surface energy of (0001) polar surface than the other non-polar surfaces. Moreover, coulombic interaction between negatively charged ions and positive (0001) polar plane gives preferential growth for ZnO alongside c-axis [35,36]. Besides, the growth position of every nanostructure will affect the alignment of newly growing others in the neighborhood.

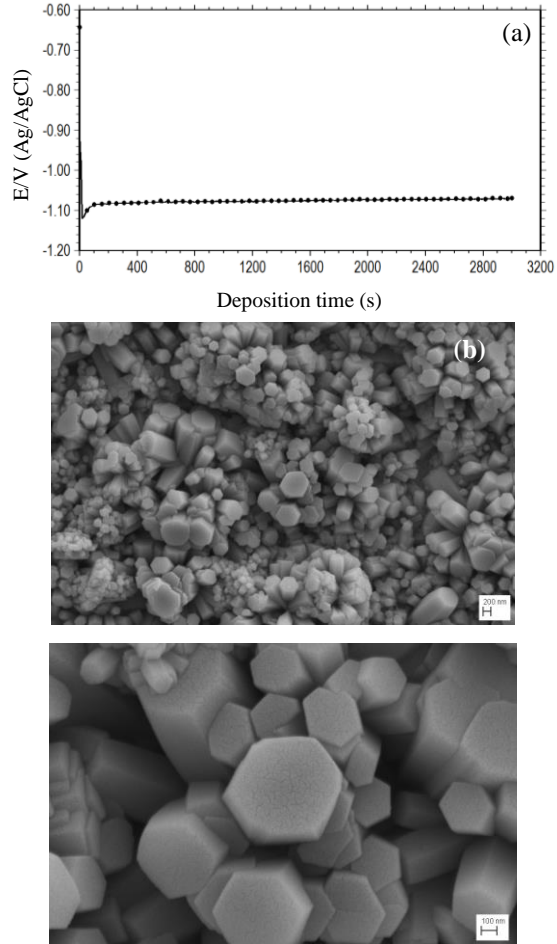


Figure 6. The chronopotentiogram plot during the deposition of ZnO nanostructures on ITO/CdSe (a) and FE-SEM images of CdSe/ZnO nanorods at different magnitudes (b)

3.8. Structural Property of CdSe/ZnO Nanorods

XRD pattern of CdSe/ZnO material was given in Figure 7a. XRD outcomes revealed ZnO nanorods are hexagonal wurtzite structure. The characteristic diffraction peaks detected at $2\theta = 31.96^\circ, 34.39^\circ, 36.45^\circ, 47.48^\circ$ and 56.75° were connected to (100), (002), (101), (102) and (110) crystal surface of hexagonal wurtzite ZnO, respectively. This result is consistent with literature (PDF card no: 36-1451) [37].

Furthermore, diffraction peaks were obtained related to (111) and (220) crystalline surface of CdSe in CdSe/ZnO material. Furthermore, due to the thicker ZnO nanorods on the surface of ITO/CdSe, the peaks of ZnO hexagonal wurtzite crystal structure were more dominant. Besides, the density of peak related to (002) plane of ZnO nanostructures was stronger than the others, indicating that favored growing of ZnO nanorods were alongside the c-axis.

(c and a=b) of hexagonal rod-like ZnO were determined as 5.2376 Å and 3.2301 Å, respectively. The obtained values are consistent with standard values (c= 5.2066 Å and a= 3.2498 Å). The values of V and average D were also calculated as 47.32 Å³ and 20.7254 nm, respectively for ZnO in CdSe/ZnO heterostructure.

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2} \quad (14)$$

The volume of unit cell and lattice constant (a and c) were determined for ZnO by the following equations [38], where d is interplanar spacing of atomic planes. Also, (hkl) is the Miller indices of lattice constant. Moreover, lattice parameters

$$V = 0.866a^2c \quad (15)$$

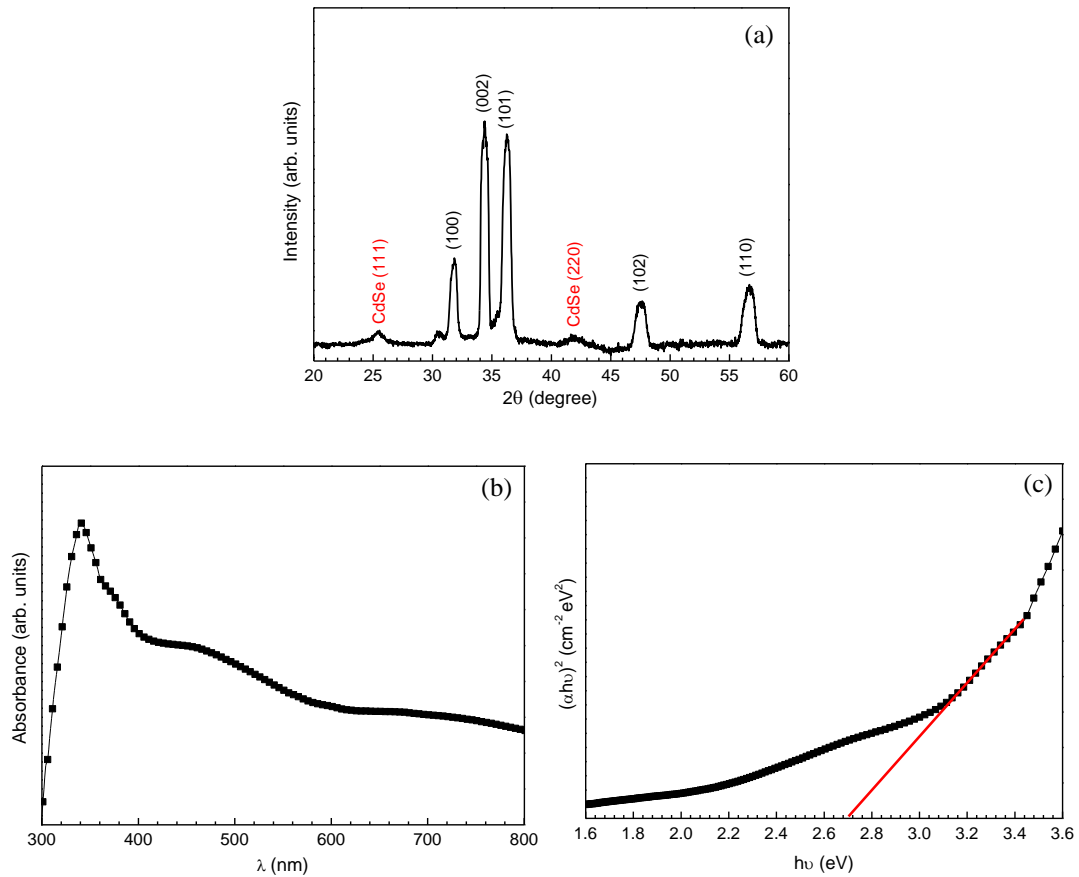


Figure 7. XRD pattern of CdSe/ZnO nanorods (a) and absorbance (b) and Tauc plots of CdSe/ZnO nanorods (c)

3.9. Optical Property of CdSe/ZnO Nanorods

The optical behavior of CdSe/ZnO bilayer film was examined with help UV-visible studies. Absorbance spectrum of heterostructure material was given in Figure 7b. Furthermore, Tauc equation was utilized for determination of the band gap energy value, which was 2.7 eV (Figure 7c). The presence of ZnO particles on the top increased the band gap value with respect to single CdSe layer (2.0 eV). Absorption ability of narrow band gap semiconductors increases towards visible region compared to wide band gap semiconductors. Nevertheless, semiconductors with narrow band gap display lower photo catalytic efficiency because of rapid recombination rate of photo generated e/h^+ pairs [14]. In that context, prepared CdSe/ZnO material is said to have effective absorption capability in visible area of solar spectra. In the literature, similar results were given for various heterostructures [14,16]. The band gap value of the electrochemically prepared ZnO/CdS material was determined as 2.25 eV, which was 3.25 eV for solely ZnO [39]. As a conclusion, this kind of bilayer structures offer high catalytic efficiency with decreased band gap value and high stability.

3.10. The Electronic Parameters of CdSe and CdSe/ZnO Nanorods

Mott-Schottky analysis offers significant information regarding the electronic features of semiconductor material. For n type semiconductor, Mott-Schottky equation is given as below [40], where ϵ and ϵ_0 are relative permittivity of ZnO and CdSe ($\epsilon=10$ and 10.2). C is interfacial capacitance ($F\text{ cm}^{-2}$) while vacuum permittivity is 8.854×10^{-12} $F\text{ m}^{-1}$, respectively. E_{FB} and N_D are the values of flat band potential and charge carrier density, respectively. Furthermore, e is elementary electric charge (1.602×10^{-19} C) and E is applied potential (V).

$$\frac{1}{C^2} = \frac{2}{e\epsilon\epsilon_0 N_D} \left[(E - E_{FB}) - \frac{kT}{e} \right] \quad (16)$$

Mott-Schottky graphs for CdSe and CdSe/ZnO materials were given in Figure 8. N_D values were calculated from slope of linear section As Mott-Schottky plots exhibit positive slope for CdSe and CdSe/ZnO, they are both n type semiconductors as given in Figure 8. E_{FB} values were determined with extrapolating in straight line to intersect x-axis. The depletion layer becomes positively charged while potential of semiconductor/solution interface shifts to positive potentials. Therefore, hole density increases at the surface, this provides inductive influence on solution side that produces charge deposition at interfacial area. Consequently, corresponding capacitance value and the slope of Mott-Schottky plot are due to change, as a function of potential.

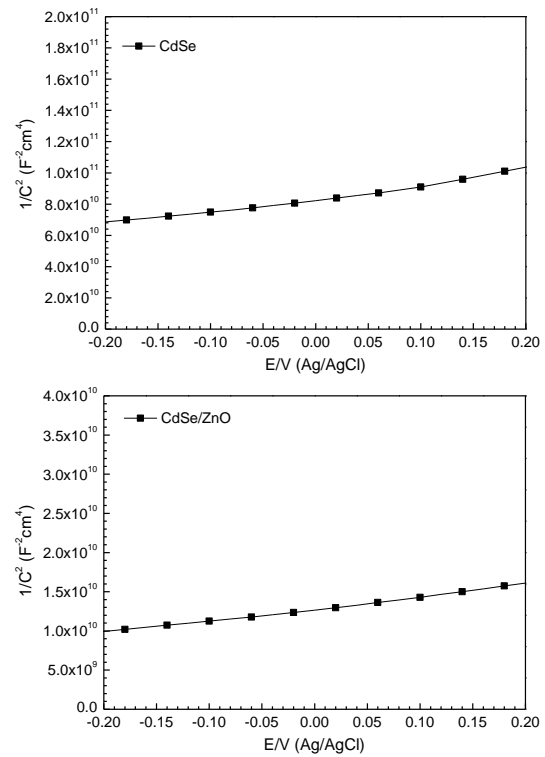


Figure 8. Mott-Schottky plots for CdSe and CdSe/ZnO materials

N_D values were found to be 1.623×10^{20} and 9.186×10^{20} cm^{-3} for CdSe and CdSe/ZnO, respectively. Also, E_{FB} values were found to be -0.981 V and -0.834 V for CdSe and CdSe/ZnO,

respectively. E_{FB} values of CdSe/ZnO electrode shifted to more positive values, with respect to CdSe. This situation is related to E_{FB} value of ZnO which is much more positive than CdSe [41]. Besides, more negative values of E_{FB} for n type semiconductor is related to effective charge transfer process, namely lower recombination rate for electron/hole pairs [42]. Therefore, mobility of charge carriers at interface of semiconductor/solution was improved. N_D value of bilayered CdSe/ZnO nanostructure is almost ten times higher than CdSe. As a result, increasing the charge carrier density has a significant effect on higher photo catalytic performance of the material.

4. CONCLUSIONS

From cyclic voltammetry studies, it was shown that CdSe thin films could be deposited, under -0.70 V (vs. Ag/AgCl) constant potential condition from aqueous solution of Cd^{2+} and Se^{4+} , in presence of Na_2SO_4 supporting electrolyte. The deposition time was important for the morphology, optical and electronic properties. FE-SEM results depicted that similar size (less than 10 nm) and shape CdSe particles are formed homogenously on the surface, and the particle size increases with increasing deposition time. EDX results revealed that the deposited films have almost the atomic ratio of 1:1 (Cd:Se), except 20 minutes deposition result. This was related to higher amount of selenium ions existing at the ITO electrode/solution interface, rather than cadmium ions which should be transported from bulk solution. XRD patterns represented that CdSe nanostructures were crystallized in cubic crystal structure. It was seen that from E_g values determined from Tauc plot were close to each other. The E_g values were in the range of 1.88 and 2.0 eV for CdSe thin films. Furthermore, ZnO nanorods were electrodeposited successfully on CdSe nanoparticles. The band gap value of CdSe/ZnO nanorods was calculated as 2.7 eV. Flat band potentials of the CdSe and CdSe/ZnO materials were found as -0.981 V and -0.834 V, respectively. Besides, N_D values were determined as 1.623×10^{20} and $9.186 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ for CdSe and CdSe/ZnO, respectively. As a result, all findings demonstrated that homogenous well-defined and

crystallized CdSe and CdSe/ZnO nanostructures were synthesized via electrochemical deposition method. ZnO top layer offers higher stability and low band gap (with respect to ZnO) is promising for such heterostructure material to be used in solar cell applications.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the Çukurova University Scientific Research Project Coordination Unit (Project Number: FEF2013D28). The authors are greatly thankful to The Scientific and Technical Research Council of Turkey (TUBITAK).

6. REFERENCES

1. Pulipaka, S., Boni, N., Ummethala, G., Meduri, P., 2020. CuO/CuBi₂O₄ Heterojunction Photocathode: High Stability and Current Densities for Solar Water Splitting. *J. Catal.*, 387, 17-27
2. Yadav, A.A., Barote, M.A., Masumdar, E.U., 2010. Photoelectrochemical Properties of Spray Deposited n-CdSe Thin Films. *Sol. Energy*, 84, 763-770.
3. Choudhary, S., Upadhyay, S., Kumar, P., Singh, N., Satsangi, V.R., Shrivastav, R., Dass, S., 2012. Nanostructured Bilayered Thin Films in Photoelectrochemical Water Splitting-A Review. *Int. J. Hydrogen Energy*, 37, 18713-18730.
4. Mu, J., Teng, F., Miao, H., Wang, Y., Hu, X., 2020. In-situ Oxidation Fabrication of 0D/2D SnO₂/SnS₂ Novel Step-scheme Heterojunctions with Enhanced Photoelectrochemical Activity for Water Splitting. *Appl. Surf. Sci.*, 501, 143974.
5. Qiu, Y., Pan, Z., Chen, H., Ye, D., Guo, L., Fan, Z., Yang, S., 2019. Current Progress in Developing Metal Oxide Nanoarrays-based Photoanodes for Photoelectrochemical Water Splitting. *Sci. Bull.*, 64, 1348-1380.
6. Ma, H.P., Yang, J.H., Tao, J.J., Yuan, K.P., Cheng, P.H., Huang, W., Wang, J.C., Guo, Q.X., Lu, H.L., Zhang, D.W., 2019. Low-temperature Epitaxial Growth of High-quality

- GaON Films on ZnO Nanowires for Superior Photoelectrochemical Water Splitting. *Nano Energy*, 66, 104089.
7. Sun, S., Jiaon, S., Zhang, K., Wang, D., Gao, S., Li, H., Wang, J., Yu, Q., Guo, F., Zhao, L., 2012. Nucleation Effect and Growth Mechanism of ZnO Nanostructures by Electrodeposition from Aqueous Zinc Nitrate Baths. *J. Cryst. Growth*, 359, 15-19.
 8. Lianos, P., 2011. Production of Electricity and Hydrogen by Photocatalytic Degradation of Organic Wastes in a Photoelectrochemical Cell The Concept of the Photofuelcell: A Review of a Re-emerging Research Field. *J. Hazard. Mater.*, 185, 575-590.
 9. Jie, J., Zhang, W., Bello, I., Lee, C.S., Lee, S.T., 2010. One-dimensional II-VI Nanostructures: Synthesis, Properties and Optoelectronic Applications. *Nano Today*, 5, 313-336.
 10. Gudade, Y.G., Deshpande, N.G., Sagade, A.A., Sharma, R.P., Pawar, S.M., Bhosale, C.H., 2007. Photoelectrochemical (PEC) Studies on CdSe Thin Films Electrodeposited from Non-aqueous Bath on Different Substrates. *Bull. Mater. Sci.*, 30, 321-327.
 11. Gholami Hatam, E., Ghobadi, N., 2016. Effect of Deposition Temperature on Structural, Optical Properties and Configuration of CdSe Nanocrystalline Thin Films Deposited by Chemical Bath Deposition. *Mater. Sci. Semicond. Process.*, 43, 177-181.
 12. Mariappan, R., Ponnuswamy, V., Mohan, S.M., Suresh, P., Suresh, R., 2012. The Effect of Potential on Electrodeposited CdSe Thin Films. *Mater. Sci. Semicond. Process.*, 15, 174-180.
 13. Thanikaikarasan, S., Sundaram, K., Mahalingam, T., Velumani, S., Rhee, J.K., 2010. Electrodeposition and Characterization of Fe Doped CdSe Thin Films from Aqueous Solution. *Mater. Sci. Eng., B*, 174, 242-248.
 14. Wei, S., Chen, Y., Ma, Y., Shao, Z., 2010. Fabrication of CuO/ZnO Composite Films with Cathodic Co-electrodeposition and Their Photocatalytic Performance. *J. Mol. Catal. A: Chem.*, 331, 112-116.
 15. Dhara, A., Show, B., Baral, A., Chabri, S., Sinha, A., Bandyopadhyay, N.R., Mukherjee, N., 2016. Core-shell CuO-ZnO p-n Heterojunction with High Specific Surface Area for Enhanced Photoelectrochemical (PEC) Energy Conversion. *Sol. Energy*, 136, 327-332.
 16. Wei, S., Shao, Z., Lu, X., Liu, Y., Cao, L., He, Y., 2009. Photocatalytic Degradation of Methyl orange over ITO/CdS/ZnO Interface Composite Films. *J. Environ. Sci.*, 21, 991-996.
 17. Lupan, O., Pauporte, T., Chow, L., Viana, B., Pelle, F., Ono, L.K., Roldan, Cuenya, B., Heinrich, H., 2010. Effects of Annealing on Properties of ZnO Thin Films Prepared by Electrochemical Deposition in Chloride Medium. *Appl. Surf. Sci.*, 256, 1895-1907.
 18. Sığircık, G., 2017. Ni Katkılı ZnO, CdSe ve CdSe/ZnO Fotoaktif Malzeme Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Adana, 129.
 19. Lai, E., Kim, W., Yang, P., 2008. Vertical Nanowire Array-based Light Emitting Diodes. *Nano Res.*, 1, 123-128.
 20. Fang, J., Fan, H., Tian, H., Dong, G., 2015. Morphology Control of ZnO Nanostructures for High Efficient Dye-sensitized Solar Cells. *Mater. Charact.*, 108, 51-57.
 21. Bai, S., Sun, C., Guo, T., Luo, R., Lin, Y., Chen, A., Sun, L., Zhang, J., 2013. Low Temperature Electrochemical Deposition of Nanoporous ZnO Thin Films as Novel NO₂ Sensors. *Electrochim. Acta*, 90, 530-534.
 22. Liu, Z., Bai, H., Xu, S., Delai, Sun, D., 2011. Hierarchical CuO/ZnO "Corn-like" Architecture for Photocatalytic Hydrogen Generation. *Int. J. Hydrogen Energy*, 36, 13473-13480.
 23. Lin, Y., Yang, J., Zhou, X., 2011. Controlled Synthesis of Oriented ZnO Nanorod Arrays by Seed-layer-free Electrochemical Deposition. *Appl. Surf. Sci.*, 258, 1491-1494.
 24. Nikam, P.R., Baviskar, P.K., Sali, J.V., Gurav, K.V., Kim, J.H., Sankapal, B.R., 2015. SILAR Coated Bi₂S₃ Nanoparticles on Vertically Aligned ZnO Nanorods: Synthesis and Characterizations. *Ceram. Int.*, 41, 10394-10399.

25. Pourbaix, M., 1974. Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solution. Second Edition. NACE Pub., Houston.
26. Kois, J., Bereznev, S., Volobujeva, O., Gurevits, J., Mellikov, E., 2011. Electrocrystallization of CdSe from Aqueous Electrolytes: Structural Arrangement from Thin Films to Self-assembled Nanowires. *J. Cryst. Growth*, 320, 9-12.
27. Bienkowski, K., Strawski, M., Maranowski, B., Szklarczyk, M., 2010. Studies of Stoichiometry of Electrochemically Grown CdSe Deposits. *Electrochim. Acta*, 55, 8908-8915.
28. Powder Diffraction File 00-019-0191, International Center for Diffraction Data.
29. Klug, H.P., Alexander, L.E., 1974. X-ray Diffraction Procedures for Polycrystalline and Amorphous Materials. 2nd Edition, Wiley, New York.
30. Dhanam, M., Prabhu, R.R., Manoj, P.K., 2008. Investigations on Chemical Bath Deposited Cadmium Selenide Thin Films. *Mater. Chem. Phys.*, 107, 289-296.
31. Aragonès, A.C., Palacios-Adrós, A., Caballero-Briones F., Sanz F., 2013. Study and Improvement of Aluminium Doped ZnO Thin Films: Limits and Advantages. *Electrochim. Acta*, 109, 117-124.
32. Shyju, T.S., Anandhi, S., Indirajith, R., Gopalakrishnan, R., 2011. Solvothermal Synthesis, Deposition and Characterization of Cadmium Selenide (CdSe) Thin Films by Thermal Evaporation Technique. *J. Cryst. Growth*, 337, 38-45.
33. Pawar, S.A., Patil, D.S., Suryawanshi, M.P., Ghorpade, U.V., Lokhande, A.C., Park, J.Y., Chalapathy R.B.V., Shin J.C., Patil P.S., Kim J.H., 2016. Effect of Different Annealing Environments on the Solar Cell Performance of CdSe Pebbles. *Acta Mater.*, 108, 152-160.
34. Zhao, Y., Yan, Z., Liu, J., Wei, A., 2013. Synthesis and Characterization of CdSe Nanocrystalline Thin Films Deposited by Chemical Bath Deposition. *Mater. Sci. Semicond. Process.*, 16, 1592-1598.
35. Zi, M., Zhu, M., Chen, L., Wei, H., Yang, X., Cao, B., 2014. ZnO Photoanodes with Different Morphologies Grown by Electrochemical Deposition and their Dye-Sensitized Solar Cell Properties. *Ceram. Int.*, 40, 7965-7970.
36. Xue, B., Liang, Y., Donglai, L., Eryong, N., Congli, S., Huanhuan, F., Jingjing, X., Yong, J., Zhifeng J., Xiaosong S., 2011. Electrodeposition from ZnO Nano-rods to Nano-sheets with only Zinc Nitrate Electrolyte and its Photoluminescence. *Appl. Surf. Sci.*, 257, 10317-10321.
37. Powder Diffraction File 00-036-1451, International Center for Diffraction Data.
38. Cullity, B.D. and Stock, S.R., 2001. Elements of X-Ray Diffraction. 3rd Edition, Prentice Hall Inc., New Jersey.
39. Li, H., Yao, C., Meng, L., Sun, H., Huang, J., Gong Q., 2013. Photoelectrochemical Performance of Hydrogenated ZnO/CdS Core-Shell Nanorod Arrays. *Electrochim. Acta*, 108, 45-50.
40. Ahn, K.S., Deutsch, T., Yan, Y., Jiang, C.S., Perkins, C.L., Turner, J., Al-Jassim, M., 2007. Synthesis of Band-gap-reduced p-type ZnO Films by Cu Incorporation. *J. Appl. Phys.*, 102:023517, 1-6.
41. Liu, H., Piret, G., Sieber, B., Laureyns, J., Roussel, P., Xu, W., Boukherrou, R., Szunerits, S., 2009. Electrochemical Impedance Spectroscopy of ZnO Nanostructures. *Electrochem. Commun.*, 11, 945-949.
42. Rokade, A., Rondiya, S., Sharma, V., Prasad, M., Pathan, H., Jadkar, S., 2017. Electrochemical Synthesis of 1D ZnO Nanoarchitectures and their Role in Efficient Photoelectrochemical Splitting of Water. *J. Solid State Electrochem.*, 21, 2639-2648.

Spatially Adaptive DGL Test for Robust User-Assisted Multilabel Segmentation

Hüseyin AFŞER*¹ ORCID 0000-0002-6302-4558

¹Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 25.03.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: AFŞER, H., (2022). Spatially Adaptive DGL Test for Robust User-Assisted Multilabel Segmentation. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 569-576.

Abstract

Recently, the DGL test has been successfully applied to the user-assisted image segmentation problem where different types of user inputs, e.g. labeled pixels from ground truth masks, bounding boxes and pixel seeds, can be robustly leveraged to assist the segmentation process in a simple and effective way. However, in the baseline method the spatial information of the user inputs is not utilized and the test is implemented in the color domain. In this work, we propose a spatially adaptive version of the DGL test where the spatial information of the user-input regions is incorporated into the decision making process of the original test for an improved segmentation performance. We show that the proposed approach can be simply and seamlessly integrated into the baseline method without increasing its computational and algorithmic complexity. We demonstrate simulations on the Berkeley's BSDS500 image database that validate the effectiveness of the proposed method. We also present benchmarking results which indicate that the accuracy can be improved by about 3% compared to the baseline method.

Keywords: User-assisted segmentation, Multiple instance segmentation, Robust hypothesis testing, DGL test

Kullanıcı Yardımına Kararlı, Uzlamsal Adaptif DGL Test Tabanlı Çoklu Görüntü Kesitleme

Öz

Son dönemde DGL testi, kullanıcı yardımcı görüntü kesitleme problemine başarıyla uygulanmış ve etiketlenmiş pikseller, kesit çerçeveleri ve piksel tohumları gibi farklı kullanıcı girdileriyle kararlı bir şekilde çalışarak çoklu görüntü kesitleme problemine basit ve etkili bir çözüm olarak sunulmuştur. Fakat,

*Corresponding author (Sorumlu yazar): Hüseyin AFŞER, afser@atu.edu.tr

sunulan temel yöntemde kullanıcı girdilerinin görüntü kesitleri hakkında sağladığı uzlamsal bilgiden faydalanılmamış ve test sadece renk uzayında uygulanmıştır. Bu çalışmada, kullanıcı girdilerinin uzlamsal bilgilerinin daha iyi bir kesitleme performansı için temel karar verme mekanizmasına dahil edildiği, uzlamsal olarak duyarlı bir DGL testi sunulmuştur. Önerdiğimiz yöntemin, algoritmik ya da hesaplama karmaşıklığını arttırmadan, basit ve muntazam bir şekilde temel yönteme dahil edilebildiği gösterilmiştir. Berkeley BSDS500 görüntü veri tabanında yaptığımız betimlemeler önerilen yöntemin faydalarını göstermekte olup; performans betimlemeleri, temel yönteme göre %3 oranında kesitlemede iyileştirme elde edilebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kullanıcı yardımlı görüntü kesitleme, Çoklu görüntü kesitleme, Karalı hipotez testi, DGL testi

1. INTRODUCTION

Image segmentation, in general, is an NP-hard problem. Recently, several user-assisted segmentation methods have been developed in which different types of user inputs can be leveraged to assist the segmentation process. These inputs can be labeled pixels from the regions of interests, their bounding boxes, seeds points or scribbles. The mostly used methods include the Graph Cuts [1], the Random Walk [2] and the GrabCut [3] algorithms. For a detailed overview of these methods and their many variants we refer the reader to [4].

The methods cited above are often designed to work effectively under a particular user input type. For example, in Graph Cuts the user inputs are labeled seed points whereas in Random Walk the user assistance is provided via image scribbles. However, these algorithms can be sensitive to the amount or the precision of the user input and their performances may deteriorate if the user inputs are not delivered properly. Therefore, many variant algorithms (see [4]) are suggested in the literature to improve the robustness of these methods to user inputs.

The DGL test [5-7] is a robust multiple hypothesis testing procedure. Recently, this test has been successfully applied to the user-assisted multilabel image segmentation problem. In [8] it is shown that the inherent robustness of this test can be leveraged with a simple and effective segmentation method for robust operation under different types

of user inputs. The proposed baseline method can be implemented with linear complexity in the number of pixels and quadratic in the number of image regions. Moreover, the method is algorithmically minimal in the sense that it can be implemented with around 30 lines of Matlab code. However, this baseline method only utilizes the empirical distributions, i.e. the histograms of the user input regions, and does not consider their spatial information which may be crucial to improve the segmentation process. For example, when the user inputs are bounding boxes of the image regions, then these boxes also provide a spatial information about the whereabouts of the regions of interest. In this paper we propose an adaptation of the baseline DGL test that can take advantage of this spatial information and provide performance improvements.

The main contributions of our work are as follows: we propose a spatially adaptive DGL test based, user-assisted segmentation method where the spatial information of the user inputs is incorporated in the DGL test in a seamless manner. This is accomplished by including the spatial information of the user inputs in the decision making process of the DGL test by combining the color and spatial domain disparity metrics. We show that such an approach does not increase the computational and algorithmic complexity of the original method while providing performance improvements. We validate the performance improvements compared to the baseline method on the Berkeley BSDS500 database [9]. Our benchmarking results indicate that the proposed

method improves the segmentation accuracy around %3 for different types of user inputs such as fraction of labeled pixels form ground truth mask, bounding boxes, random seed points and perturbed bounding boxes.

2. PRELIMINARIES

2.1. Notation

We use capital letters X, Y for random variables and lowercase letters x, y for their realizations. We let \mathcal{X}, \mathcal{Y} to denote the alphabets such that $x \in \mathcal{X}$, and $y \in \mathcal{Y}$ where $|\mathcal{X}|$ and $|\mathcal{Y}|$ are used to denote the sizes of these alphabets. The cross product of the alphabets is denoted as $\mathcal{X} \times \mathcal{Y}$. The sequence of variables is denoted as X_1, X_2, \dots, X_N and we use the standard Landau notation $o(N)$ and $O(N)$ to denote the limiting values of functions.

2.2. Problem Statement

We assume the probabilistic formulation in [8], [10] and consider the segmentation process $I : \Omega \rightarrow \mathbb{R}^d$ where Ω is the pixel grid with size $|\Omega| = N$. We assume that the image consists of M disjoint segments $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_M$ where a segment may consist of different separated regions. Let X be an arbitrary pixel in Ω and $I(X)$ denote its intensity. We assume that the pixel intensities are independent and identically distributed (i.i.d.) in the regions of interest, $\Omega_i, i = 1, 2, \dots, M$ as (Equation 1):

$$\{I(X)|X \in \Omega_i\} \sim P_i, \quad i = 1, 2, \dots, M, \quad (1)$$

where P_i are the intensity distributions. The assumed image model is demonstrated in Figure 1. In this paper, we consider digitized images where the pixel intensities come from a discrete alphabet, \mathcal{X} , with dimension, d , as $\mathcal{X} = \mathcal{X}_1 \times \mathcal{X}_2 \times \dots \times \mathcal{X}_d$ so that $I : \Omega \rightarrow \mathcal{X}$ and $P_i : \mathcal{X} \rightarrow [0,1]$.

In multilabel segmentation one seeks a decision (labeling) rule D , that is of the form $D: \Omega \rightarrow \{1, 2, \dots, M\}$ so that $D(X) = i$ is chosen provided that $X \in \Omega_i$.

2.3. DGL Test-Based Segmentation

DGL test by Devroye et al. [5] is a non-linear majority voting test that is suitable for robust hypothesis testing applications where the true distributions of the hypothesis are not readily available but one has access to a set of nominal distributions that are known to be close to true distributions in total variation distance. Recently, this test has been successfully adapted to user-assisted image segmentation in [8] where different types of user inputs such as bounding boxes and pixel seeds can be robustly utilized to aid the segmentation task. This is accomplished by using the empirical intensity distributions of the user inputs regions as nominal distributions in the DGL test.

Let L_1, L_2, \dots, L_M denote M sets of image pixels that are labeled in accordance with the user inputs. This set of pixels may be gathered randomly from the bounding boxes, pixels seeds or ground truth mask. Let $Q_i : \mathcal{X} \rightarrow [0,1], \mathcal{X} = \mathcal{X}_1 \times \mathcal{X}_2 \times \dots \times \mathcal{X}_d, i = 1, 2, \dots, M$, be the empirical distributions, i.e., histograms of L_i as (Equation 2):

$$Q_i(q)_{q \in \mathcal{X}} = \frac{1}{|L_i|} \sum_{x \in L_i} \mathbb{I}_{I(x)=q} \quad (2)$$

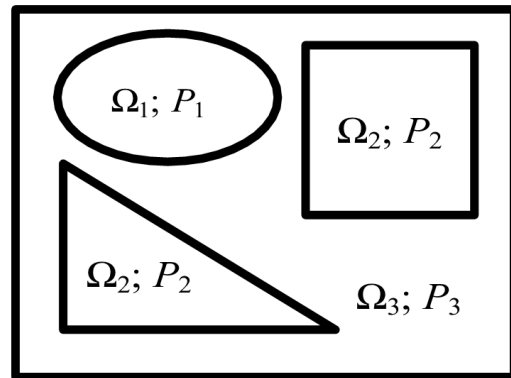


Figure 1. The depiction of the considered image model for $M=3$ region image segmentation problem. The pixel intensities P_1, P_2, P_3 are assumed to be different in the regions of interest $\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3$

where \mathbb{I} is an indicator function that takes value 1 when its argument is true, and $\bar{I}(X)$ denotes the rounded intensity of the pixel where rounding is performed in accordance with the edges of the histogram bin descriptor.

In the baseline method the segmentation process is implemented at the superpixel level by assuming the pixels in each superpixel are i.i.d and belong to some Ω_i . This approach is illustrated in Figure 2. Notice that adopting superpixel level segmentation with the assumed image model effectively transforms the image segmentation problem into a hypothesis testing problem where robust hypothesis testing framework and the DGL is well suited. As the superpixels gather adjacent pixels into visually distinct pixel groups that adhere well to image boundaries, their differentiation with the DGL test provides a simple and effective solution to the segmentation problem.

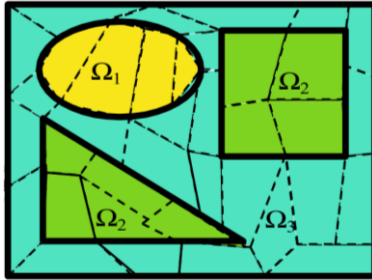


Figure 2. Performing the segmentation task at the superpixel level where dashed lines are the boundaries of the superpixels and the distinct image segments are denoted with different colors

Let $\Omega \rightarrow \{S_1, S_2, \dots, S_K\}$, $K \leq N$, denote the partition of the pixel grid into superpixels. Before the application of the DGL test, $M(M - 1)/2$ Borel sets $A_{i,j}, A_{i,j} \in \mathcal{A}$ that have the following form (Equation 3):

$$A_{i,j} = \{q: \hat{Q}_i(q) \geq \hat{Q}_j(q)\}, 1 \leq i < j \leq M, \quad (3)$$

need to be calculated for all $q \in \mathcal{X}$. Then, if $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ are the set of pixels in S_k , the test decides on $D(S_k) = i$ provided that (Equation 4):

$$\max_{A \in \mathcal{A}} \left| \int_A \hat{Q}_i(A) - \mu_n(A) \right| = \min_{j=1, \dots, M} \max_{A \in \mathcal{A}} \left| \int_A \hat{Q}_j(A) - \mu_n(A) \right| \quad (4)$$

Where (Equation 5):

$$\mu_n(A) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbb{I}_{X_i \in A} \quad (5)$$

The integrals in (4) can be calculated numerically for example using the trapz function in Matlab. This algorithm can be implemented with time complexity $O(M^2 \max\{|\mathcal{X}|, N\})$ and space complexity $O(M^3 \max\{|\mathcal{X}|, N\})$ [8]. When $|\mathcal{X}|$ is larger than N , the complexities are not linear in the number of pixels which is undesired for a practical segmentation algorithm. However, one can reduce the dimension of \mathcal{X} and implement the algorithm on \mathcal{X}' via dimensionality reduction techniques to have $|\mathcal{X}'| \leq N$. This ensures an algorithm with time complexity $O(M^2N)$ and space complexity $O(M^3N)$. In [8] the algorithm is implemented in the HSV color domain by considering only the H and S components where it is shown that the reduction in the performance might be negligible.

3. SPATIALLY ADAPTIVE DGL TEST-BASED IMAGE SEGMENTATION

3.1. Motivation

Notice that the decision rule in (4) in the baseline method aims to choose the hypothesis such that the mismatch between the nominal and the empirical histogram is minimum. Therefore, this method only takes advantage of the relative distances between the intensity histograms of the user input regions and does not consider their spatial properties. However, the spatial information of these regions can also be crucial for segmentation process. For example, if the bounding box of a region is provided by the user than the region of interest resides inside the bounding box and one should not search for an instance of that region in any other part of the image.

3.2. Implementation

The spatial information of the user input regions can be incorporated into the DGL by introducing spatially varying intensity distributions as in [11]. In this approach one augments the spatial dimension, i.e. the pixel grid Ω , with the alphabet of the intensity distributions, \mathcal{X} , and considers a compound alphabet $C = \mathcal{X} \times \Omega$. With this alphabet the probability for the intensity of a pixel, $I(X)$, is considered jointly with its spatial position, X , as $\Pr(I(X), X)$. Therefore, the resultant spatially varying distributions allow for discrimination both in the histogram and spatial domain. In order to adapt this method to the DGL the calculations of the

Borel sets $A \in \mathcal{A}$ in (3) and implementation of the test in (4) must be performed over C instead of X . However, since the complexity of the DGL test depends on $|\mathcal{X}|$ such an approach would possibly increase the computational complexity of the baseline test. In this paper, we provide a simple alternative method based on the inherent mechanism of the DGL test that allows one to adapt it to handle spatial information as well.

The proposed approach is implemented as follows. We use the set of the labeled pixels L_1, L_2, \dots, L_M that are gathered from the vicinity of user input regions. We let (Equation 6):

$$C_j = \frac{1}{|L_j|} \sum_{x \in L_j} X \tag{6}$$

be the centroid of the pixels in L_i and similarly define (Equation 7):

$$\mu(S_k) = \frac{1}{|S_k|} \sum_{x \in S_k} X \tag{7}$$

to be the centroid of the superpixel. When deciding a label for S_k the baseline method tries to minimize

the metric $\max_{A \in \mathcal{A}} \left| \int \hat{Q}_j(A) - \mu_n(A) \right|$ in the color domain.

This metric is the disparity between the (worst case) nominal and the empirical distribution on the support $A \in \mathcal{A}$. In an analogy, the term $|C_j - \mu(S_k)|$ is a spatial metric than can be regarded as the mismatch between the nominal location of the region Ω_j and the centroid of the superpixel. In the proposed spatially adaptive DGL test we soften the decision rule based on the color metric by combining it with the proposed spatial metric and decide on $D(S_k) = i$ if (Equation 8):

$$i = \arg \min_{j=1,2,\dots,M} \max_{A \in \mathcal{A}} \left| \int \hat{Q}_j(A) - \mu_n(A) \right| + w_j |C_j - \mu(S_k)| \tag{8}$$

where $w_j \geq 0$ are weight terms that can be adjusted to modify the relative dominance of the mismatch in the spatial or in the color domain. As $w_j \rightarrow 0$ the effect of the proposed spatial mismatch term vanishes and the proposed test becomes identical to the baseline test. Whereas, as $w_j \rightarrow \infty$ the effect of the mismatch in the color domain vanishes and the test becomes purely spatial. Therefore, we balance the two mismatches with a proper selection of the w_j terms.

The improvements of the proposed method is depicted in Figure 3 for some images from the BSDS500 database where we have used the SLIC superpixels [12] with $K = 500$. Here, we have used the bounding boxes of image segments as user inputs and we have used the proposed algorithm by setting $w_j = 1$. Notice that in the first image the segmentation errors between the foreground and background grassy field, in the second image the errors in the background forest to the left and right of the tree, and in the last image the errors between the faces of the mother and the baby are almost eliminated with the proposed method. In the next section, we present our benchmarking results and show that similar improvements can be obtained with different types of user inputs as well.

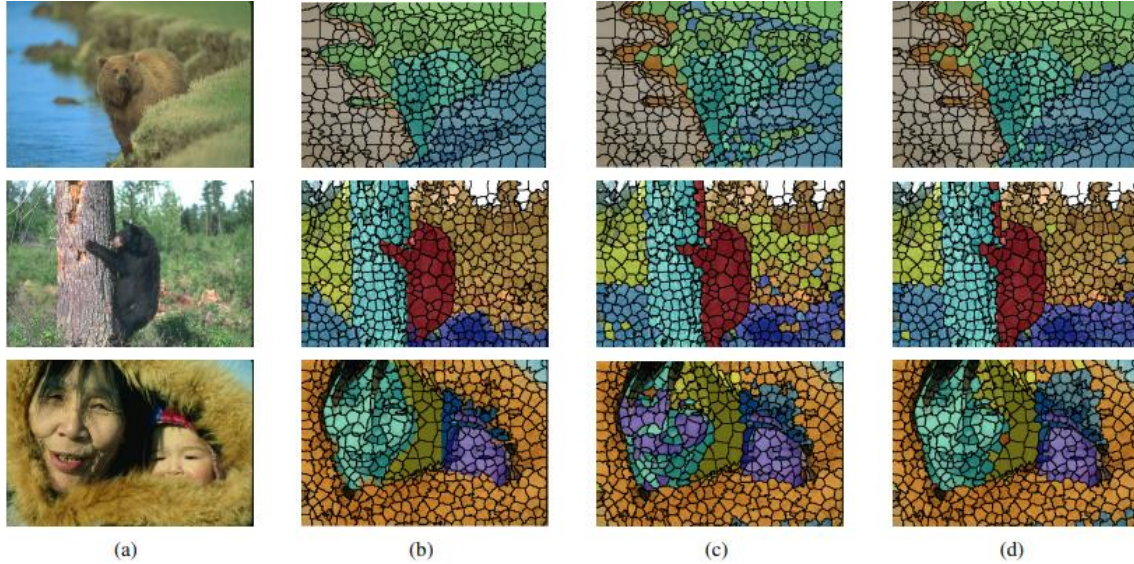


Figure 3. Performance comparison of the proposed method and the baseline method on some sample images from Berkeley's BSDS500 database where a) the original image, b) the ground truth, c) baseline DGL test d) spatially adaptive DGL test

3.3. Complexity

Notice that the proposed method only requires the calculations of equations in (6) and (7) which can be performed with complexity $O(N)$. Therefore, the proposed method does not increase the computational complexity of the baseline test and can be implemented with time complexity $O(M^2N)$ and space complexity $O(M^3N)$.

4. SIMULATIONS

We have compared the performances of the proposed method and the baseline DGL test in [8]. The simulations are performed on Berkeley's BSDS500 database [9] test images. This dataset includes 200 natural RGB images where multiple ground truth annotations are provided for each image. The pixel grid has a size of 321×481 and each color intensity is encoded with 8 bits precision i.e. $|\mathcal{X}| = 256^3$. As a performance measure, we have used intersection over union (IoU) metric defined as (Equation 9):

$$IoU = \frac{\text{Area of Overlap}}{\text{Area of Union}} \quad (9)$$

where overlap and union are calculated for the considered superpixels and the ground truths. IoU is calculated by averaging it over multiple ground truths and over multiple images. Before calculating IoU, we have decreased the number of regions in each image and considered 90% of the labeled pixels, as in [8], since a majority of the annotations are Over-segmented.

We have compared the performances of both methods for all the considered user types in the baseline method in [8].

Following the same notation we let, GT_i and BB_i , $i=1, 2, \dots, M$, denote the ground truth masks and bounding boxes of the image segments. First, the set of labeled pixels, \mathcal{T}_i are obtained from a percentage $f\%$, $f \in \{25, 50, 75, 100\}$, of randomly selected labeled pixels from GT_i and BB_i . These methods are respectively denoted by

$DGL_{GT}^{f\%}$ and $DGL_{BB}^{f\%}$ for the baseline test and by $DGLSPAT_{GT}^{f\%}$ and $DGLSPAT_{BB}^{f\%}$ in the proposed spatially adaptive DGL test. We have also considered $t\%$, $t \in \{5, 10, 15\}$, random pixels seeds from each ground truth mask and investigated the case of $p\%$, $p \in \{5, 10, 15\}$, randomly perturbed bounding boxes. These methods are respectively denoted by $DGL_{GT}^{t\ pts}$, $DGL_{GT}^{p\%pt}$ in the baseline method and by $DGLSPAT_{GT}^{t\ pts}$, $DGLSPAT_{GT}^{p\%pt}$ in the proposed method. While using random pixel seeds, the pixels in L_i are gathered from square boxes with centers being the seed points in Ω_i . The side-length of these squares are chosen to be 50 pixels as in [8]. For the case of perturbed bounding boxes, the two corner points, (r_1, c_1) , (r_2, c_2) , of the bounding boxes are uniformly translated $p\%$ to obtain (\hat{r}_1, \hat{c}_1) , (\hat{r}_2, \hat{c}_2) , respectively. Here, \hat{r}_1 is selected uniformly over $r_1 - \frac{(r_2-r_1)p}{200}$, $r_1 + \frac{(r_2-r_1)p}{200}$ the

same perturbation method is applied to obtain \hat{c}_1 , \hat{r}_2 and \hat{c}_2

Both algorithms are implemented in the HSV color space by considering only the H (hue) and S (saturation) components of the image. As in [8] we have applied dimensionality reduction by choosing $|\mathcal{X}_1|=|\mathcal{X}_2|=\sqrt{321 \times 481} \approx 392$ so that the complexity of the both tests is linear complexity in the number of pixels. We have used the proposed algorithm by setting $w_j = 1$ in Eq. (8). This choice provided an accuracy improvement for the majority of the images in the BSDS500 database. We have also considered the injection of additional user inputs via a genie-aided user that relabels the mislabeled superpixels and observed the increase in the accuracy of segmentation versus the number of relabeled superpixels.

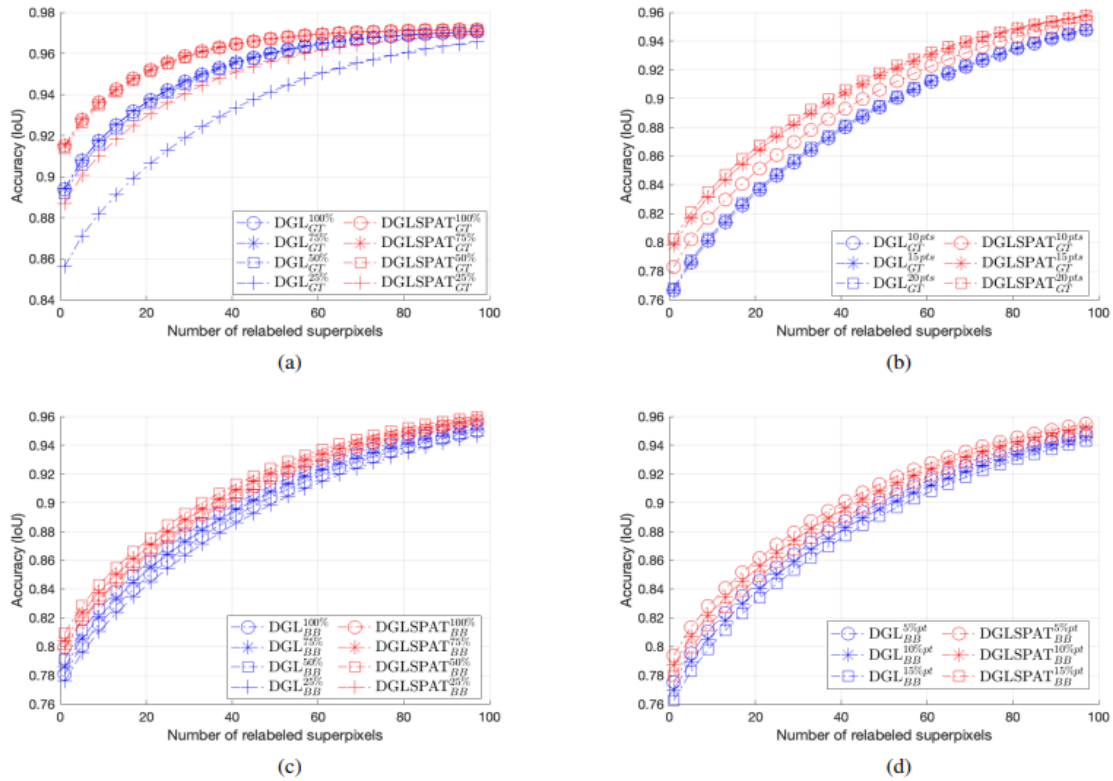


Figure 4. Benchmarking results of the proposed spatially adaptive DGL test and the baseline DGL test on Berkeley's BSDS500 database for different types of user inputs. In all the figures the blue curves represent the baseline method and the red curves represent the proposed method

The benchmarking results are presented in Figure 4. Here we compare $DGL_{GT}^{f\%}$ and $DGLSPAT_{GT}^{f\%}$ in Figure 4.a, $DGL_{GT}^{t\ pts}$ and $DGLSPAT_{GT}^{t\ pts}$ in Figure 4.b, $DGL_{BB}^{f\%}$ and $DGLSPAT_{BB}^{f\%}$ in Figure 4.c and $DGL_{GT}^{p\%pt}$ and $DGLSPAT_{GT}^{p\%pt}$ in Figure 4.d, respectively. From these figures we observe that the proposed spatially adaptive DGL test provides an accuracy improvement around 3% for all the considered user input types.

5. CONCLUSION

We have presented a spatially adaptive version of the DGL test to be used in user-assisted multilabel image segmentation problem. The proposed method offers a simple way to include the spatial information of the user inputs to the baseline, color domain based DGL test, for an improved segmentation performance. We have shown that the proposed method can be seamlessly integrated into the baseline method without increasing its complexity and it can provide performance improvements. We have also provided benchmarking results on the Berkeley's BSDS500 database and showed that an accuracy improvement of around 3% can be obtained compared the baseline method. Investigating the segmentation performance of the DGL test via spatially varying color distributions as in [11] is the topic of our upcoming work.

6. REFERENCES

1. Boykov, Y.Y., Jolly, M.P., 2001. Interactive Graph Cuts for Optimal Boundary & Region Segmentation of Objects in N-D Images, Proceedings Eighth IEEE International Conference on Computer Vision. ICCV 2001, 1, 105-112.
2. Rother, C., Kolmogorov, V., Blake, A., 2004. Grabcut: Interactive Foreground Extraction Using Iterated Graph Cuts, ACM Transactions on Graphics, 23(3), 309-314.
3. Grady, L., 2006. Random Walks for Image Segmentation, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 28(11), 1768-1783.
4. Ramadan, H., Lachqar, C., Tairi, H., 2020. A Survey of Recent Interactive Image Segmentation Methods. Comp. Visual Media 6, 355-384.
5. Devroye, L., Györfi, L., Lugosi, G. A., 2002. A Note on Robust Hypothesis Testing. IEEE Trans. Inform. Theory, 48(7), 2111-2014.
6. Biglieri, E., Györfi, L., 2014. Some Remarks on Robust Binary Hypothesis Testing. IEEE Inter. Symp. on Inform. Theory, 566-570.
7. Afşer, H., 2021. Statistical Classification via Robust Hypothesis Testing: Non-Asymptotic and Simple Bounds. IEEE Signal Processing Letters, 28, 2112-2116.
8. Afşer, H., 2022. A Baseline Statistical Method for Robust User-assisted Multiple Segmentation. IEEE Signal Processing Letters, 29, 737-741.
9. Arbelaez, P., Maire, M., Fowlkes, C., Malik, J., 2011. Contour Detection and Hierarchical Image Segmentation. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 33(5), 898-916.
10. Junmo, Kim, Fisher, J.W., Yezzi, A., Cetin, M., Willsky, A.S., 2005. A Nonparametric Statistical Method for Image Segmentation Using Information Theory and Curve Evolution. IEEE Transactions on Image Processing, 14(10), 1486-1502.
11. Nieuwenhuis, C., Cremers, D., 2013. Spatially Varying Color Distributions for Interactive Multilabel Segmentation. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 35(5), 1234-1247.
12. Achanta, R., Shaji, A., Smith, K., Lucchi, A., Fua, P., Susstrunk, S., 2012. SLIC Superpixels Compared to State-of-the-Art Superpixel Methods. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 34(11), 2274-2282.

Ham ve Epoksi Reçine Kaplı Teknik Elyaf Kullanımının Yapı Elemanı Performansına Etkisi

Mutlu KURBAN¹ ORCID 0000-0001-9132-0349

Osman BABAARSLAN² ORCID 0000-0002-1606-3431

İsmail Hakkı ÇAĞATAY³ ORCID 0000-0001-5182-776X

¹Çukurova Üniversitesi, AOSB Teknik Bilimler MYO, Tekstil Teknolojisi Programı, Adana

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana

³Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 22.04.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: KURBAN, M., BABAARSLAN, O., ÇAĞATAY, İ.H., (2022). Ham ve Epoksi Reçine Kaplı Teknik Elyaf Kullanımının Yapı Elemanı Performansına Etkisi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 577-588.

Öz

Tekstil takviyeli betonlar (TTB) kullanımı giderek yaygınlaşan sandviç paneller, çatı konstrüksiyonları, yürüyüş köprüleri ve bahçe mobilyaları gibi kullanım alanları olan yenilikçi yapı malzemeleridir. TTB'ler ince tanecikli agregadan üretilen beton ve yüksek çekme dayanımına sahip korozyon riski taşımayan tekstil yüzeylerinden oluşan kompozit yapılardır. Çalışmada beton takviyesinde yaygın olarak kullanılan alkali dayanımlı cam, bazalt ve karbon filamentler ham ve epoksi reçine kaplı olarak iki farklı yüzey halinde ve üç farklı konumda kullanılmıştır. Takviyesiz numune ile birlikte farklı parametrelerde 37 adet numune üretilmiş ve numunelere eğilme deneyi uygulanmıştır. Eğilme deneyi sonucunda en fazla değer karbon filamentli numunelerde elde edilirken en düşük değer ise bazalt filamentli numunelerde elde edilmiştir. Epoksi reçine kullanımının ham filament kullanımına göre eğilme dayanımına katkısı ortalama olarak alkali dayanımlı cam filamentte %63, bazalt filamentte %71, karbon filamentte ise %127 olmuştur.

Anahtar Kelimeler: İnşaat teknik tekstilleri, Tekstil takviyeli beton, Teknik lifler, Epoksi reçine, Eğilme dayanımı

The Effect of Using Raw and Epoxy Resin Coated Technical Fibers on Construction Element Performance

Abstract

Textile-reinforced concrete (TRC) is an innovative building material with areas of use such as sandwich panels, roof constructions, walking bridges and outdoor furniture, which are becoming increasingly common. TRC's are composite structures consisting of concrete produced from fine-grained aggregate and textile structures with high tensile strength and non-corrosive. In the study, alkali resistant glass, basalt and carbon filaments, which are widely used in concrete reinforcement, were used as raw and epoxy resin coated on two different structures and in three different positions. 37 samples with different

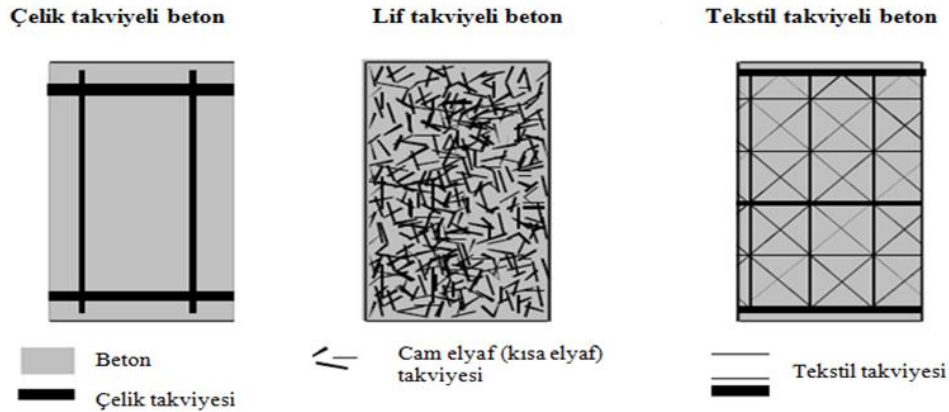
parameters were produced together with the non-reinforced sample and flexural test was applied to the samples. As a result of the flexural test, the highest value was obtained in carbon filament samples, while the lowest value was obtained in basalt filament samples. The contribution of the use of epoxy resin to the flexural strength compared to the use of raw filament was 63% in alkali resistant glass filament, 71% in basalt filament, and 127% in carbon filament.

Keywords: Buildtech textile, Textile reinforced concrete, Technical fibers, Epoxy resin, Flexural strength

1. GİRİŞ

Beton; çimento, agrega, su, kimyasal ve mineral katkıların karışımıyla elde edilen bir yapı malzemesidir [1]. Kendini oluşturan malzemelerin doğadan kolayca temin edilmesi, üretim maliyetinin düşük olması ve yüksek dayanımı nedeniyle günümüzde beton yapı sektöründe en yaygın kullanılan yapı malzemesidir [2]. Yapı malzemesi olarak kullanılan harçlar kullanıldığı ilk

günden itibaren içine kırılğan özelliğinin giderilmesi amacıyla bitkisel veya hayvansal lifler katılarak kullanılmışlardır. Örneğin, killi çamur içine saman, çeşitli bitki dalları, sap ve lifleri katılarak yapı dayanıklılığının artırıldığı kerpiç yapılar Anadolu'da da yaygın olarak kullanılmıştır [3]. Günümüzde ise betonların dayanımını artırmak için kimyasal ve mineral katkıları yanında çeşitli tekstil lifleri de kullanılmaktadır [1].



Şekil 1. Beton güçlendirme sistemleri [4]

Tekstil takviyeli beton (TTB) kompozit yapıları, matris kısmı ince tanecikli malzemelerden elde edilmiş betondan oluşan, takviye bileşeni ise tekstil yapılarından oluşan yüksek yük taşıma kapasitesine sahip yenilikçi yapı malzemeleridir [5]. Kullanılan tekstil yapıları beton kompozitlerin çekme ve eğilme dayanımında artış sağlamaktadır. Mekanik katkılarının yanında, kullanılan tekstil materyali yapıya süneklik de sağladığından tekstil kumaş yapılarının takviye bileşeni olarak kullanıldığı beton tabanlı kompozit yapıların kullanımı günümüzde gittikçe artmaktadır. [6]. Modern mimarinin yapılarda kaliteli ve farklı

dizaynlara sahip dış cepheler kullanması günümüzde giderek artmaktadır. Bu yapıların oluşturulabilmesinde konvansiyonel yöntem ve materyaller yeterli olmadığı için yeni teknolojiler ve materyallere gereksinim duyulmaktadır. TTB'lerde kullanılan yüksek performanslı ve metalik olmayan tekstil bileşenleri, yapılarda hafiflik, incelik ve kıvrımlı yapı oluşturabilme imkânı sağlamaktadır [7]. TTB'ler; yüksek yüzey kalitesine sahip olması, tasarımda özgürlük sunması, ince duvarların elde edilebilmesine olanak tanınması, çevreci olması ve iyi mekanik özellikleri yanında düşük maliyetli olması gibi

avantajlara sahiptir [8]. TTB'ler çelik takviyeli betondan farklı olarak çatlak oluşumu sonrası ortaya çıkan çekme gerilmesini taşıma eğilimindedirler. Takviye amacıyla kullanılan tekstil bileşenleri korozyon riski taşımadığı için klasik kullanımdaki gibi pas payına ihtiyaç duyulmamakta, tekstil yüzeylerinin ince bir yüzeyle kaplanmış olması yeterli olmaktadır. Böylece tekstil takviyeli beton uygulamaları yüksek dayanıklılık ve yüksek yüzey kalitesi yanında farklı tasarımlara ve düşük ağırlıklı yapılara öncülük etmektedirler. Tekstil takviyeli betonlar çoğunlukla dış cephe duvarlarında başarıyla uygulanmakta olup, son dönemlerde yapılan çalışmalarla bu kullanım alanları genişletilmeye çalışılmaktadır [9].

Tekstil takviyeli betonun matris kısmını beton oluştururken, takviye elemanı kısmını ise tekstil bileşenleri veya bu bileşenlerin oluşturduğu kompozit yapılar oluşturmaktadır. Tekstil bileşenleri tek başlarına kullanılabilirler gibi farklı yöntemlerle oluşturulmuş kompozit yapılar olarak da kullanılabilirler. Bu yönüyle tekstil takviyeli beton yapıların iç içe geçmiş kompozit yapılardan oluştuğu söylenebilir. Tekstil takviyeli beton üretiminde, tekstil bileşenleri kesikli lif formunda veya kesiksiz filament olmak üzere iki türlü kullanılabilir. Kesikli formdaki polipropilen, cam, metal veya bazı doğal lifler beton sünekliğini artırmak için kullanılırken, kesiksiz formdaki alkali dayanımlı cam filament, bazalt filament ve karbon filament gibi malzemeler genellikle çekme ve eğilme dayanımını artırmak için kullanılmaktadır [8,10]. Epoksi reçineler tekstil filamentlerinin dayanımlarını artırmada çok başarılı matris yapılar olup epoksi reçine kaplı tekstil filament yapıları mükemmel mekanik özellikleri sayesinde yenilikçi ürünlerin oluşturulmasında özellikle de tekstil takviyeli betonların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır [11]. Yoo ve arkadaşları (2016), beton takviyesinde kaplamalı/kaplamasız tekstil yüzeyleri ve çelik lifi kullanımının eğilme dayanımı üzerine etkisini araştırmışlardır. Tekstil bileşenleri ham olarak kullanıldığında çelik lifi kullanımına nazaran daha düşük eğilme dayanımı değeri elde edilmiştir. Çalışma sonucunda daha iyi eğilme dayanımı ve tokluk değeri elde etmek için

çelik lifi kullanımı yerine epoksi reçine kaplı tekstil yüzeylerinin kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır [12]. Krüger ve arkadaşları (2001), tekstil takviyeli betonlarda tekstil bileşeni kaplamasının beton eğilme dayanımı üzerine etkisini araştırmışlardır. Takviye amacıyla kullanılan tekstil bileşenin kaplamalı olarak kullanılmasının ürün kullanım performansını artırdığı görülmüştür. Tekstil yüzeyinin epoksi reçine ile kaplanmasıyla ürün çekme dayanımında yüksek oranda artış elde edilmiştir. Diğer bir kaplama maddesi olan stiren butadien kauçuk (SBR) esaslı maddelerle kaplanmış numuneler epoksi reçineyle kaplanarak üretilen ürünlere göre daha düşük dayanım performans değeri göstermiştir [13]. Chira ve arkadaşları (2016), epoksi reçine kaplı tekstil ürünleriyle takviyelendirilmiş betonların performans özelliklerini incelemişlerdir. Yürütülen çalışmada epoksi reçinenin içine %1-3 oranında nanosilika ilavesi yapılarak numuneler üretilmiş ve test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda %2'lik nanosilika takviyesinin basma dayanımında %13, kesme dayanımında %68 ve çekme dayanımında da %32'lik bir artış sağladığı gözlemlenmiştir. Çalışmada ayrıca alkali dayanımlı cam filament kullanılarak bir panel oluşturulmuş ve panel dayanımının teorik olarak hesaplanması ve tahminlenmesi için bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan model yardımıyla elde edilen ve yapılan deneyler sonrası elde edilen sonuçlar birbirine yakın bulunmuş olup nano silika takviyesinin panel eğilme dayanımına %21 katkı sağladığı görülmüştür [11]. Lv ve arkadaşları (2012), tekstil takviyeli beton üretiminde kullanılan tekstil yüzeylerinin epoksi reçine kaplamasının beton performansına etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada alkali dayanımlı cam ve karbon filamentten elde edilen yüzeyler kaplanarak tekstil takviyeli beton numuneleri oluşturulmuştur. Uygulanan testler sonucunda elde edilen değerlerden epoksi reçine kaplamasının beton performansını artırdığı ve çelik takviyesine alternatif oluşturabileceği görülmüştür. Ayrıca, epoksi reçine kaplamasının betonun eğilme dayanımını artırmasına karşın oluşturduğu pürüzsüz yüzey nedeniyle tekstil yüzeyi-beton bağlantısını azalttığından, daha iyi eğilme dayanımı değerleri adına tekstil yüzeyi-beton

aderansını artırmak için kaplama sonrası yüzeyin modifiye edilmesi gerektiği önerilmiştir [14]. Koeckritz ve arkadaşları (2010), kaplama prosesinin tekstil takviyeli betonlardaki etkisini incelemek için yürüttükleri çalışmada 2400 tex alkali dayanımlı cam filament ve 800 tex karbon filamentten oluşturulmuş tekstil yüzeylerini kaplamasız ve stiren butadien kauçuk (SBR) esaslı maddelerle kaplayarak 2, 3 ve 4 katlı olarak kullanılmışlardır. Yapılan testler sonucunda kaplamanın ve tekstil yüzeyi kat sayısının tekstil takviyeli beton numunelerin yük taşıma kapasitesini doğrudan artırdığı görülmüştür. Karbon filamentlerden elde edilen yüzeylerin kullanıldığı numuneler alkali dayanımlı cam filament kullanılarak elde edilen numunelere göre daha yüksek eğilme dayanımı göstermiştir [15]. Rampini ve arkadaşları (2018), İtalya'da deprem bölgesinde tekstil takviyeli beton kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Alkali dayanımlı cam filamentlerden leno dokuma yapısında üretilen yüzeyler epoksi reçine ve stiren-butadien esaslı maddelerle kaplanarak beton takviyesinde kullanılmıştır. Numunelere uygulanan testler sonucunda, tekstil takviyeli betonları restorasyon ve güçlendirme çalışmalarında kullanmanın bir çözüm olarak değerlendirilebileceği ortaya konulmuştur [16]. Kurban ve Babaarslan (2017), beton takviyesinde kullanılacak hibrit iplik üretimi için saç örgü tekniğini kullandıkları çalışmada ham, epoksi reçine kaplı ve hibrit iplikli beton numuneler üretmişlerdir. Kullanılan tekstil yüzeyleri betona daha çok eğilme yönünde katkı sağlayacağı için numunelerin eğilme dayanımları test edilmiş ve takviyesiz numuneler ile kıyaslanmıştır. Testler sonucunda alkali dayanımlı cam filamentin tek başına eğilme dayanımına %38,60, epoksi reçine kaplı filamentin %171,68 ve hibrit ipliğin

%80,38'lik katkı sağladığı görülmüştür [17]. Kurban ve arkadaşları (2017), yürüttükleri çalışmada tekstil materyallerinin ham, epoksi reçine kaplı ve hibrit iplik formunda kullanımının betonun eğilme dayanımına etkisini incelemişlerdir. Çalışmada uygulanan testler sonucunda epoksi reçine kaplamanın ham filament kullanımına göre alkali dayanımlı cam filamentli numunelerde %75, karbon filamentli numunelerde ise %65 katkı sağladığı görülmüştür [18].

Bu çalışmada; tekstil takviyeli beton üretiminde kullanımı uygun olan alkali dayanımlı cam, bazalt ve karbon filamentlerin kullanımının betonun performans özellikleri üzerine etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Kullanılan filamentler, ham ve epoksi reçine ile kaplı olarak iki farklı formda, numunede 10x40 tel ve 10x8 tel olacak şekilde iki farklı yüzey halinde ve beton numune içerisinde üç farklı konumda kullanılarak bunların beton performansı üzerine etkileri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Çalışma kapsamında üretilecek tekstil takviyeli beton kompozit yapısının takviye bileşeni için beton takviyesinde yaygın olarak kullanılan alkali dayanımlı cam filament (AR-Glass) (Cem-FIL® 5325-OCV Reinforcements), bazalt filament (Spinteks) ve karbon filament (DowAksa) kullanılmıştır. Kullanılan filamentlerin teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Bu üç filament ham ve epoksi reçine (SR8500-Sicomina) kaplı olarak kullanılmıştır.

Çizelge 1. Materyallerin teknik özellikleri

Filament türü	Lineer yoğunluk (tex)	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (GPa)
AR-Glass	2400	2,68	1700	72
Bazalt	2400	2,75	2800	89
Karbon	1600	1,78	4200	240

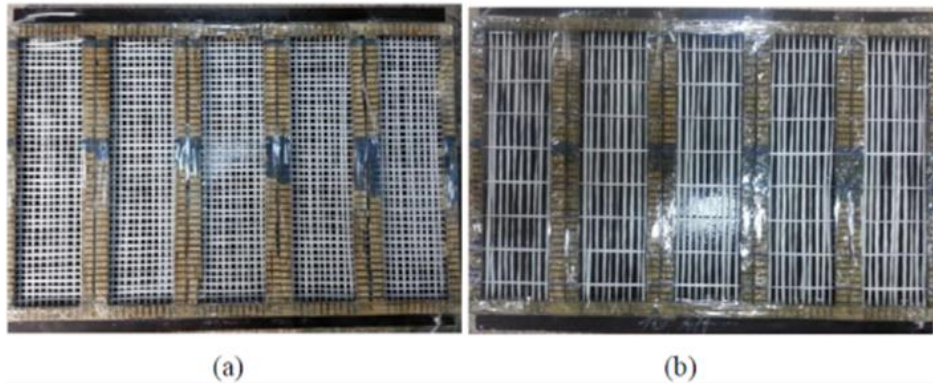
Kompozit yapının matris kısmını oluşturacak olan beton yapı Çimsa A.Ş.'nin Mersin'de bulunan tesislerindeki çalışmalar sonucu belirlenmiş olan ve Çizelge 2'de verilen reçeteye göre hazırlanmıştır. Karışımın hazırlanmasında kullanılacak materyaller istenen dayanım ve işlenebilirlik özelliklerini sağlayacak şekilde belirlenmiştir. Öncelikle istenen dayanımın sağlanabilmesi için çimento olarak CEM I 42,5 R gri Portland çimentosu kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak çimentonun yanında uçucu kül kullanılarak çimento kullanımı azaltılmış ve beton harcı maliyetinin düşürülmesi hedeflenmiştir. Beton işlenebilirliğinin istenen seviyede olabilmesi için maksimum tane büyüklüğü 300 μ ve 500 μ olan iki farklı agrega türü kullanılmıştır. Yüksek dayanımlı beton eldesi ve işlenebilirliğe katkı sağlamasından ötürü de beton harcı içerisinde süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Belirlenen karışıma göre hazırlanan betonun dayanımı ve beton sınıfını belirlemek için TS EN 12390-3 nolu "Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini" standardına göre test edilmiş ve 52,3 MPa bulunmuştur [19]. Elde edilen dayanım C40 beton sınıfına karşılık gelmekte olup tekstil takviyeli beton üretiminde kullanılacak olan beton yeterli dayanıma sahiptir. Ayrıca beton karışımının akışkanlığı TS EN 12350-5 nolu "Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 5: Yayılma tablası deneyi" standardına göre test edilmiş ve 75-80 cm'lik yayılma değeri ile istenen kıvam sağlanmıştır [20].

Çizelge 2. Beton karışım oranları

Bileşen	Miktar (kg/m ³)
Çimento CEM I 42,5 R	480
Uçucu kül	240
Agrega (0-0,3 mm)	642
Agrega (0,2-0,5 mm)	503
Süper akışkanlaştırıcı	10,8
Su	284

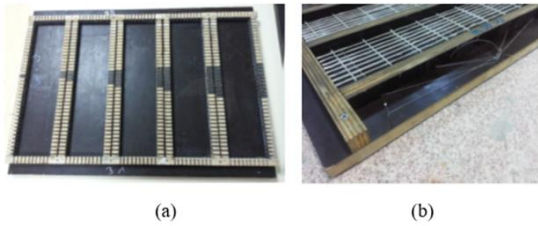
2.2. Yöntem

Üretimi gerçekleştirilecek tekstil takviyeli betonlar TS EN 12390-5 numaralı "Beton-sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini" standardına uygun bir şekilde 400x100x20 mm ebatlarında üretilmiş ve tekstil yüzeyleri bu ebatlara uygun bir şekilde hazırlanmıştır [21]. Takviye amacıyla kullanılan filamentler ham ve epoksi reçine kaplı olmak üzere iki formda kullanılmıştır. Ham filamentlerden yüzey elde edilirken filamentler, Şekil 4'de görülen çentikli kalıplara direkt olarak sarılırken, epoksi reçine kaplı numunelerde yüzey üretimi gerçekleştirildikten sonra beton kalıplara yerleştirilmiştir. Takviye amacıyla kullanılacak filamentler bir fulardda epoksi reçine ile kaplandıktan sonra belirlenen konstrüksiyonda çerçevelere sarılmış ve ürün prospektüsüne göre kurlenmiştir. Sonrasında beton içerisine yerleştirilebilmek amacıyla 400x100 mm ebatlarında kesilmiştir. Ham ve epoksi reçine kaplı yüzey oluşumunda bir numune içerisinde 10x40 ve 10x8 tel olacak şekilde iki farklı formda yüzey oluşturulmuştur (Şekil 2).

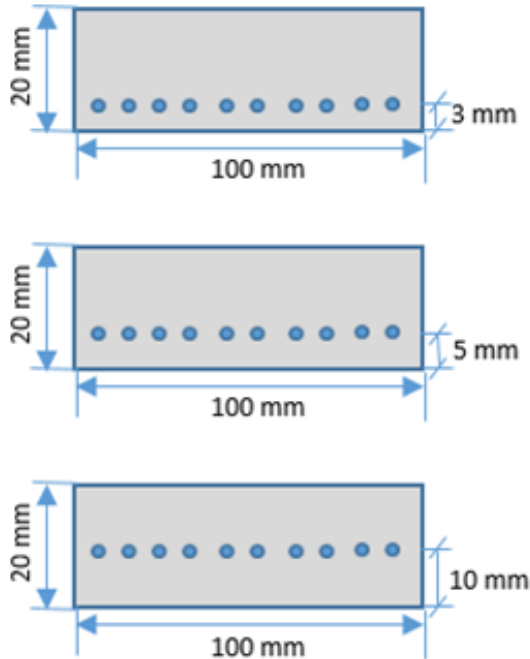


Şekil 2. a) 10x40 tekstil yüzeyi, b) 10x8 tekstil yüzeyi

Ham filamentlerden numune üretilirken filament direkt olarak çentikli kalıplara sarılırken epoksi reçine kaplı yüzeyler misina iplikleriyle oluşturulan askı sistemiyle istenen konumda sabit olarak tutturulmuştur (Şekil 3). Tekstil yüzeyleri beton kalıplara beton tabanından 3-5-10 mm yükseklikte olacak şekilde üç farklı konumda yerleştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 3. (a) Ham filamentler için çentikli kalıp, (b) Epoksi reçine kaplı tekstil yüzeyleri için misina askılı kalıp



Şekil 4. Tekstil yüzeylerinin beton içerisindeki konumları

Tekstil bileşenleri beton kalıbına yerleştirilmeden önce beton numunelerin kolayca kalıptan çıkartılabilmesi için kalıp yağı ile yağlanmıştır.

Tekstil yüzeyleri kalıplara yerleştirildikten sonra reçeteye göre hazırlanan beton dikkatli bir şekilde kalıp içerisinde porsiyonlar halinde dökülmüştür. Betonun homojen bir şekilde yerleşmesi için düşük oranda titreşim uygulanmıştır. Kalıpların üzerindeki fazla beton bir mala yardımıyla sıyrılarak beton numunelerin üst kısmı düzeltilmiştir. Sonrasında epoksi reçine kaplı yüzeylerin bulunduğu kalıplardaki misina iplikler sökülmüş ve numuneler kurumaya bırakılmıştır. 24 saat sonra kalıplardan çıkartılan numuneler TS EN 12390-2 nolu “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması” standardında belirtildiği gibi 20 °C’de 27 gün boyunca kürlenmiştir [22].

Böylelikle alkali dayanımlı cam, bazalt ve karbon filament olmak üzere üç ana takviye bileşeni ham ve epoksi reçine kaplı olarak iki farklı formda kullanılarak 10x40 ve 10x8 tel olacak şekilde iki farklı tekstil yüzeyi oluşturulmuştur. Üretilen yüzeyler beton numuneler içerisinde numune tabanından 3-5-10 mm olacak şekilde üç farklı konumda yerleştirilmiştir. Karşılaştırma yapabilmek için üretilen takviyesiz numune ile birlikte toplam 37 adet farklı parametrelerde numune üretimi gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3).

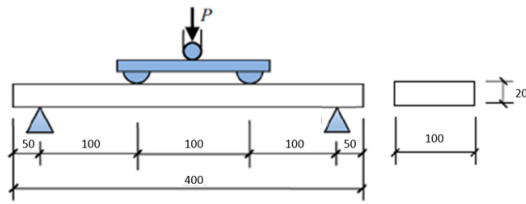
Çizelge 3. Beton numune üretim deney planı

Takviye bileşen	Kullanım şekli	Tekstil yüzey formu	Numune yerleşimi
AR-Glass	Ham	10x40 tel	3 mm
Bazalt	Epoksi reçine	10x8 tel	5 mm
Karbon			10 mm

Kürlenme sonrası üretim parametrelerinin beton dayanımına etkisinin gözlemlenebilmesi ve tekstil bileşenleri daha çok eğilme doğrultusunda katkı sağladıkları için numunelere TS EN 12390-5 standardına göre dört nokta eğilme deneyi uygulanmıştır (Şekil 5). Numunenin deney düzeneğindeki yerleşimi Şekil 6’daki gibi olup eğilme dayanımı TS EN 12390-5 standardında belirtilen Eşitlik 1’e göre hesaplanmıştır.



Şekil 5. Eğilme deneyi test cihazı



Şekil 6. Dört nokta eğilme deneyi numune yerleşimi

$$\sigma = \frac{(Pl)}{(bh^2)} \quad (1)$$

Burada; σ (MPa) eğilme dayanımını, P (N) kırılma yükünü, l (mm) mesnetler arası mesafeyi, b (mm) numune genişliğini ve h (mm) ise numune kalınlığını ifade etmektedir.

Eğilme deneyi kamera ile kayıt altına alınmış ve beton numuneler altına yerleştirilen komperatör yardımıyla yük uygulama esnasında oluşan sehim ölçülmüştür. Uygulanan yük esnasında oluşan sehim değerleri grafiğe dönüştürülmüş ve yük-deplasman grafikleri oluşturularak numunelerin yük altındaki davranışları incelenmiştir.

Eğilme deneyi sonucunda oluşturulan yük-deplasman grafikleri üretilen numunelerin kırılma enerjilerinin hesaplanmasında da kullanılmıştır.

Numunelerin kırılma enerjileri oluşturulan grafiklerin altında kalan alana eşit olup Eşitlik 2'ye göre hesaplanmıştır.

$$W = \int_0^{\delta} F d\delta \quad (2)$$

Eşitlik 2'de W (N.mm) kırılma enerjisini, F (N) uygulanan yükü ve δ (mm) ise oluşan sehimi ifade etmektedir.

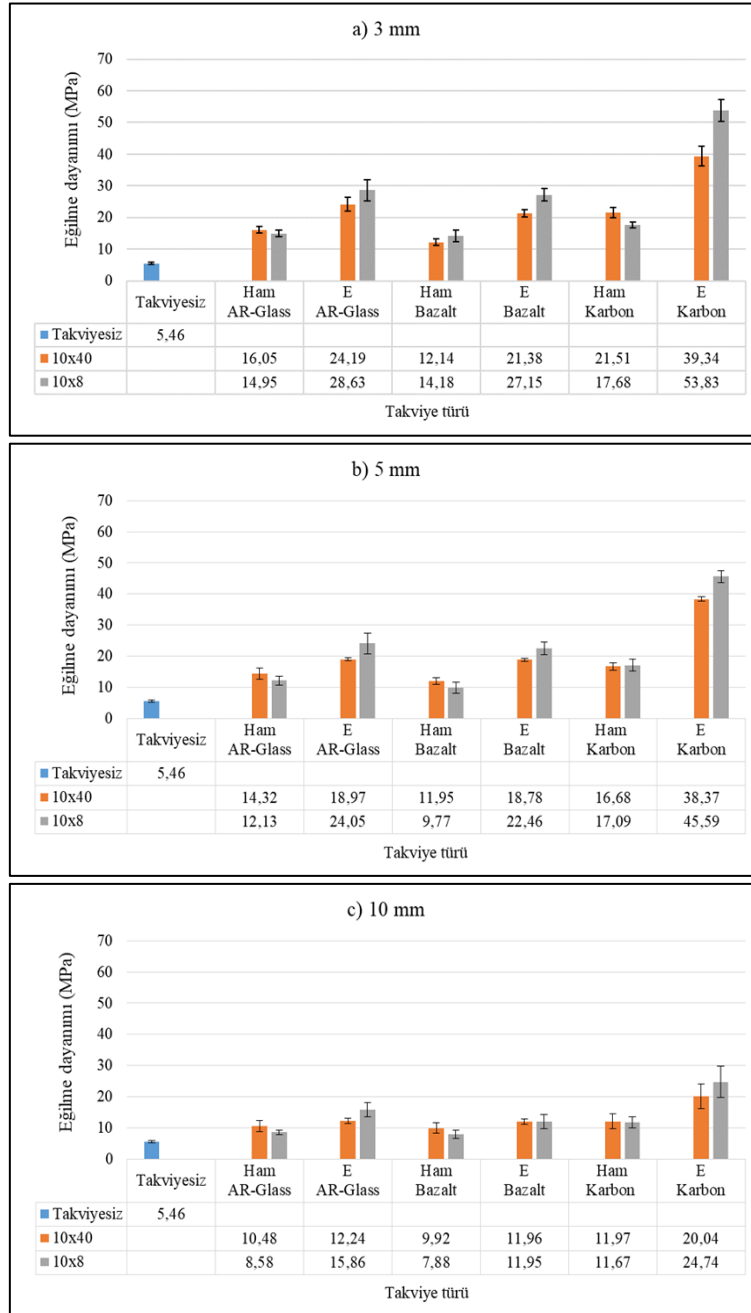
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Eğilme Dayanımı

Şekil 7'de, ham ve epoksi reçine kaplı alkali dayanımlı cam, bazalt ve karbon filament kullanılarak oluşturulmuş 10x40 ve 10x8 tekstil yüzeylerinin numune tabanından 3, 5 ve 10 mm mesafeye yerleştirilmesi sonucu elde edilmiş beton numunelerin eğilme dayanımı sonuçları verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi tüm takviye bileşenleri eğilme dayanımına katkı sağlamış olup en büyük katkıyı karbon filamentten üretilen yüzeyler sağlarken, en düşük katkıyı ise bazalt filamentten üretilen yüzeyler sağlamıştır. Bazalt filament alkali dayanımlı cam filamentten daha yüksek çekme dayanımına sahip olmasına rağmen beton içerisindeki performansı ve epoksi reçineye uyumundan dolayı eğilme dayanımında alkali dayanımlı cam filamentte göre daha düşük katkı sağlamıştır. Epoksi reçine kaplama prosesi tüm filamentler için eğilme dayanımına katkı sağlamıştır. 10x8 tekstil yüzeylerinin kullanıldığı numunelerde epoksi kullanımının katkısı ham filament kullanımına göre alkali dayanımlı cam filamentte %92, bazalt filamentte %91, karbon filamentte ise %205 olmuştur. 10x40 tekstil yüzeyleri ham filament kullanımında, 10x8 tekstil yüzeyleri ise epoksi reçine kaplı filament kullanımında genellikle daha yüksek eğilme dayanımları vermiştir. Ham filament kullanımında filament beton içerisinde nüfuz ederek aderansı artırmaktadır. Bu nedenle tekstil bileşeni miktarının fazla olduğu 10x40 tekstil yüzeyleri ham filament kullanımında daha iyi dayanım göstermektedir. Epoksi reçine ile filamentlerin kaplanması durumunda filament çevresinde oluşan kaplama tabakası ile bileşen kalınlaşmakta bu da beton geçişini azaltmaktadır. Bunun sonucunda tekstil yüzeyi-beton bağlantısı azaldığından tekstil yüzeyi sıyrılmaları meydana gelmekte bu da eğilme dayanımını azaltmaktadır. Bu durum tekstil bileşeninin fazla olduğu 10x40 tekstil yüzeylerinde daha fazla gerçekleşmektedir. Bu nedenle epoksi reçine kaplı filamentlerin kullanıldığı 10x8 tekstil

yüzeyleri daha yüksek eğilme dayanımı göstermiştir. Tekstil yüzeylerinin beton içerisindeki konumları incelendiğinde takviye bileşeninin numune tabanına yaklaştıkça katkısının

arttığı görülmüştür. Bundan sonraki bölümlerde alkali dayanımlı cam filament “AR-Glass”, epoksi reçine kaplı filament ise “E” olarak kodlanmıştır.

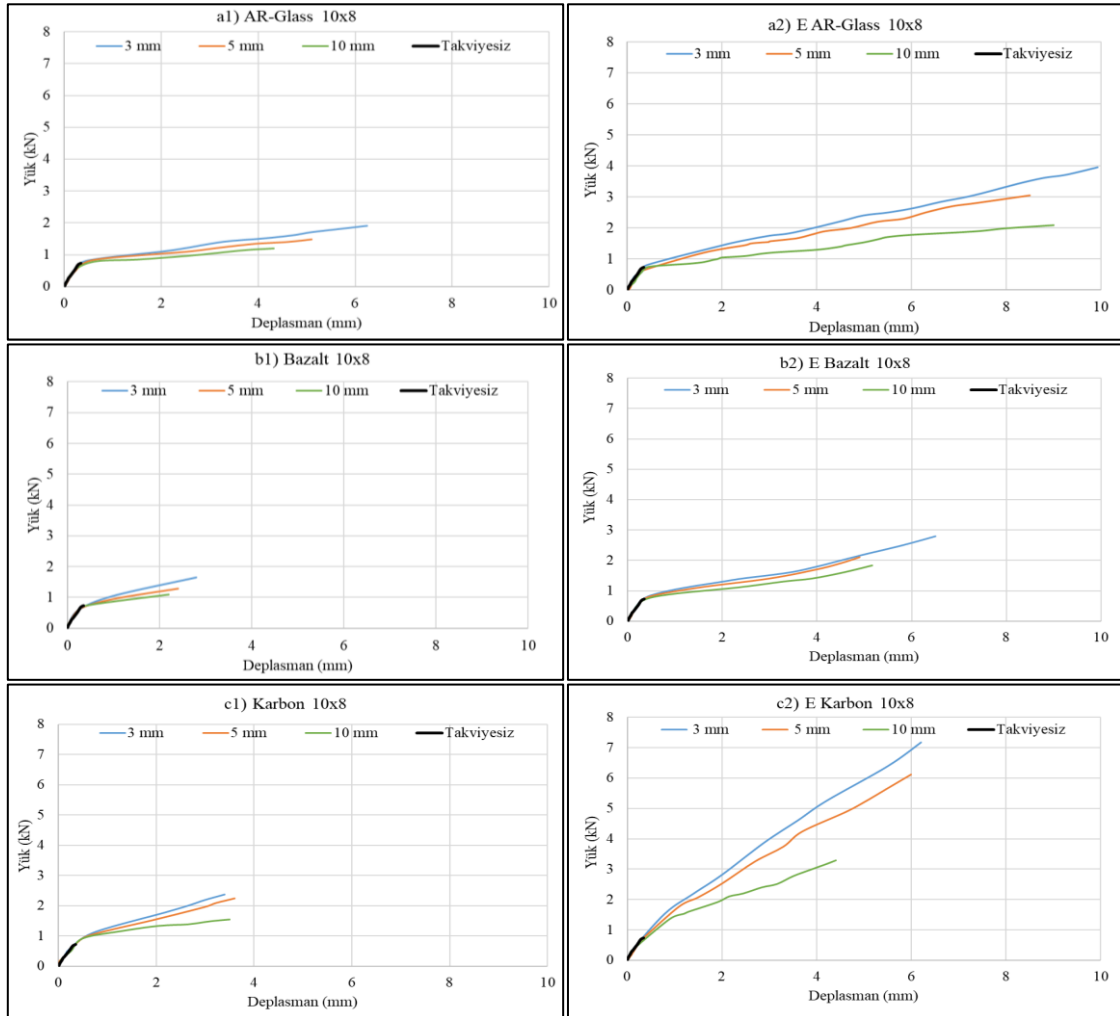


Şekil 7. Eğilme dayanımı sonuçları

3.2. Yük-Deplasman Grafikleri

Eğilme deneyi sırasında numunelere uygulanan yük ve oluşan sehim değerlerinden yük-deplasman grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 8). Yük-deplasman grafikleri en fazla katkının sağlandığı 10x8 tekstil yüzeylerine için hazırlanmıştır. Grafikler incelendiğinde epoksi reçine kullanımında yük ve deplasman değerlerinde artış elde edildiği görülmektedir. Tekstil bileşenlerinin epoksi reçine ile kaplanması takviye bileşeninin dayanımını artırmış bu da betonun eğilme performansına etki etmiştir. Grafikler genel olarak ilk kırığın olduğu bölgeye kadar olan kısım ve

sonrası olan kısım olmak üzere iki ana bölgeye ayrılabilir. Takviyesiz numune incelendiğinde oluşturduğu eğri doğrusal olup betonun elastik durumuna karşı gelir ve betonun kırılmasıyla birlikte sonlanır (I. Bölge). Takviyeli numunelerde ise ilk bölge takviyesiz numune gibi hareket etmekte olup ilk kırık oluşumunda sonra doğrunun eğimi azalmakta ve takviye bileşeni yük taşımaya nihai kapasitesine kadar devam etmekte ve sonrasında deney sonlanmaktadır (II. Bölge). Grafikler incelendiğinde takviye bileşeninin numune tabanına yakın yerleştirilmesi sonucu oluşan eğimin daha büyük olduğu görülmüştür.

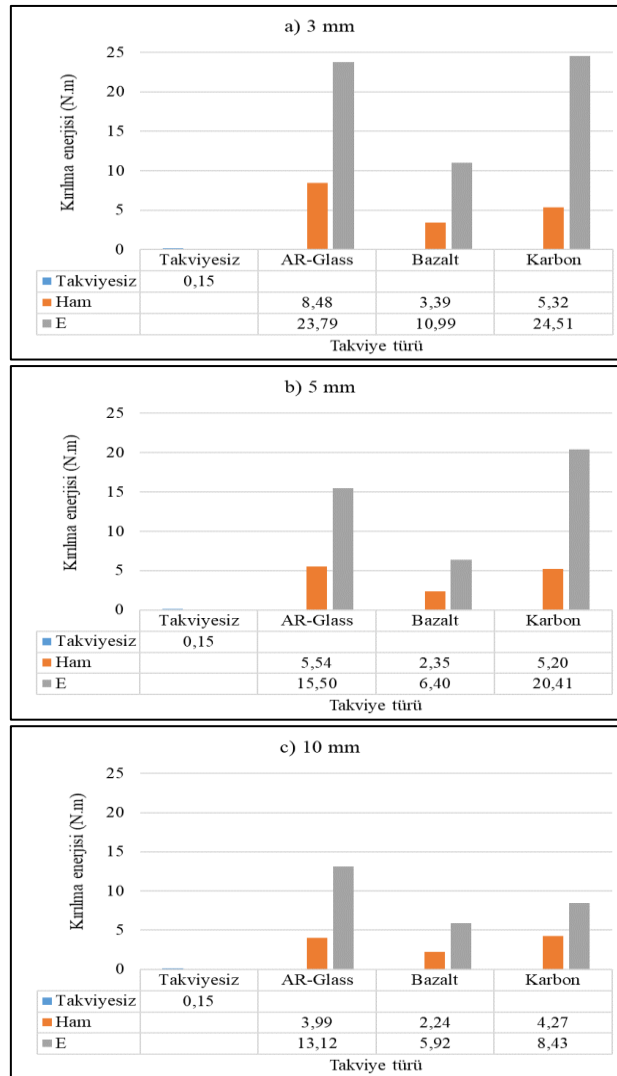


Şekil 8. Yük-deplasman grafikleri

3.3. Kırılma Enerjisi

Eğilme deneyi sonucunda oluşturulan yük-deplasman grafikleri üretilen numunelerin kırılma enerjilerinin hesaplanmasında da kullanılmıştır. Numunelerin kırılma enerjileri oluşturulan grafiklerin altında kalan alana eşit olup, hesaplanan değerler Şekil 9'da grafik olarak verilmiştir. Şekil 9'da da görüldüğü gibi tüm takviye bileşenleri hem ham hem de epoksi reçine kaplı olarak takviyesiz bileşene göre kırılma enerji değerlerini kayda değer bir şekilde artırmışlardır.

Kırılma enerjisi grafikleri eğilme dayanımı grafiklerine benzer özellikler göstermiştir. Sadece AR-Glass kullanımında elde edilen deplasman değerlerinin daha yüksek olmasından dolayı karbon filament kullanımına göre yakın veya daha yüksek kırılma enerjisi değerleri elde edilmiştir. Kırılma enerjisinin en büyük olduğu takviye yüzeylerinin 3 mm'de kullanıldığı durumda epoksi reçine kullanımı ham filament kullanımına göre kırılma enerjisinde alkali dayanımlı cam filamentte %181, bazalt filamentte %224, karbon filamentte ise %360 artış elde edilmiştir.



Şekil 9. Kırılma enerjileri

4. SONUÇLAR

Tekstil takviyeli betonlar yapı sektöründe kullanımı giderek artan yenilikçi kompozit malzemelerdir. Farklı kullanım alanları bulunan bu yapılar yapılan çalışmalarla giderek yaygınlaşmaktadır. Çalışmada beton takviyesinde yaygın olarak tercih edilen alkali dayanımlı cam, bazalt ve karbon filament ham ve epoksi reçine kaplı olarak kullanılmıştır. Filamentler numunede 10x40 ve 10x8 tel olacak yüzeylere dönüştürülmüş ve üç farklı konumda beton içerisine yerleştirilmiştir. Böylelikle yaygın kullanılan üç tekstil filamenti iki farklı formda, iki farklı yüzeyde ve üç farklı konumda kullanılarak karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Her bir takviye bileşeni eğilme dayanımına katkı sağlamış en fazla katkıyı karbon filament, en düşük katkıyı ise bazalt filamentten üretilen yüzeyler sağlamıştır.
- Epoksi reçine kullanımı eğilme dayanımında ham filament kullanımına göre alkali dayanımlı cam filamentte %92, bazalt filamentte %91, karbon filamentte ise %205 katkı sağlamıştır.
- Ham filament kullanımında 10x40 tekstil yüzeyleri, epoksi reçine kaplı filament kullanımında ise 10x8 tekstil yüzeyleri daha iyi eğilme dayanımı değerleri vermiştir.
- Takviye amacıyla kullanılan tekstil yüzeyleri numune tabanına yaklaştıkça eğilme dayanımına katkısı artmıştır.
- Epoksi reçine kullanımı eğilme deneyindeki sehim değerlerini artırmıştır.
- Kırılma enerjisi ve eğilme dayanımı grafikleri benzer olup epoksi reçine kullanımı durumunda yük ve sehim değerlerindeki artıştan dolayı kırılma enerjisindeki artışlar daha fazla olmuştur.

5. TEŞEKKÜR

Çalışma Çukurova Üniversitesi BAP Birimi tarafından FDK-2016-6682 kodlu proje numarası ile desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Ünsal, A., Şen, H., 2008. Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri. Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Malzeme Lab. Şubesi Müdürlüğü, T.C. Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
2. Bagherzadeh, R., Sadeghi, A.H., Latifi, M., 2011. Utilizing Polypropylene Fibers to Improve Physical and Mechanical Properties of Concrete. *Textile Research Journal*, 82(1), 88-96.
3. Kurt, G., 2006. Lif İçeriği ve Su/çimento Oranının Fibrobetonun Mekanik Davranışına Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 87.
4. Pidun, K., Gries, T., 2013. Shaped Textile Reinforcement Elements for Concrete Components, *Advanced Materials Research* 747, 415-419.
5. Shams, A., Horstmann, M., Hegger, J., 2014. Experimental Investigations on Textile-Reinforced Concrete (TRC) Sandwich Sections. *Composite Structures*, 118, 643-653.
6. Peled, A., Cohen, Z., Pasder, Y., Roye, A., Gries, T., 2008. Influences of Textile Characteristics on the Tensile Properties of Warp Knitted Cement Based Composites. *Cement & Concrete Composites*, 30, 174-183.
7. Funke, H., Gelbrich, S., Ehrlich, A., 2013. Development of a New Hybrid Material of Textile Reinforced Concrete and Glass Fibre Reinforced Plastic. *Procedia Materials Science*, 2, 103-110.
8. Brameshuber, W., 2006. Textile Reinforced Concrete, in State-of-the-art Report of RILEM Technical Committee 201-TRC, RILEM Publications S.A.R.L., Bagneux, France.
9. Hegger, J., Zell, M., Horstmann, M., 2008. Textile Reinforced Concrete-realization in Applications. *Taylor Made Concrete Structures*. Taylor & Francis Group, London, 357-362.

10. Kurban, M., 2021. Hibrit İplikler Kullanılarak Düşük Maliyetli Tekstil Takviyeli Beton Geliştirilmesi, Yapı ve Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 363.
11. Chira, A., Kumar, A., Vlach, T., Laiblova, L., Skapin, A.S., Hajek, P., 2016. Property Improvements of Alkali Resistant Glass Fibres/epoxy Composite with Nanosilica for Textile Reinforced Concrete Applications. *Materials and Design*, 89, 146-155.
12. Yoo, D.Y., Gohil, U., Gries, T., Yoon, Y.S., 2016. Comparative Low-velocity Impact Response of Textile-reinforced Concrete and Steel-fiber-reinforced Concrete Beams. *Journal of Composite Materials*, 50(17), 2421-2431.
13. Krüger, M., Reinhardt, H.W., Fichtlscherer, M., 2001. Bond Behaviour of Textile Reinforcement in Reinforced and Prestressed Concrete. *Otto-Graf-Journal* 12, 33-50.
14. Lv, L.B., Du, M., Xun, Y., 2012. Design and Production of Pre-Stressed Carbon Fabric Used in Fabric Reinforced Concrete Board. *Applied Mechanics and Materials*, 174-177, 900-904.
15. Koeckritz, U., Cherif, C.H., Weiland, S., Curbach, M., 2010. In-situ Polymer Coating of Open Grid Warp Knitted Fabrics for Textile Reinforced Concrete Application. *Journal of Industrial Textiles*, 40(2), 157-169.
16. Rampini, M.C., Zani, G., Colombo, M., Prisco, M.D., 2018. Textile Reinforced Concrete Composites for Existing Structures: Performance Optimization Via Mechanical Characterization. Proc. of the 12th fib International PhD Symposium in Civil Engineering, Aug 29 to 31, 2018, Czech Technical University in Prague, Prague, Czech Republic.
17. Kurban, M., Babaarslan, O., 2017. Saç Örgü Tekniği İle Tasarlanan Hibrit İpliklerin Tekstil Takviyeli Beton Üretiminde Kullanımı. 2. Lif ve Polimer Araştırmaları Sempozyumu, Bursa, Türkiye, 27-28 Nisan 2017, 62-63.
18. Kurban, M., Babaarslan, O., Çağatay İ.H., 2017. Hybrid Yarn Composites for Construction. *Textiles for Advanced Applications* (Bipin Kumar and Suman Thakur, Editör), InTech Open, Londra, 135-160.
19. TS EN 12390-3: 2010 Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deneysel Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini.
20. TS EN 12350-5: 2010 Beton-Taze Beton Deneyleri- Bölüm 5: Yayılma Tablası Deneyi.
21. TS EN 12390-5: 2010 Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 5: Deneysel Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini.
22. TS TSEN 12390-2: 2019 Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deneysel Numunelerinin Hazırlanması ve Küre Tabii Tutulması.

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi Yazım Kuralları

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi mühendislik bilimlerindeki güncel bilimsel ve teknik gelişmeleri araştırmacılara ve mühendislere ulaştırmayı hedeflemektedir. Tüm mühendislik alanları ile ilgili teorik/deneysel ve uygulamaya yönelik çalışmalar Dergi'nin ilgi alanındadır. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi daha önce başka hiçbir yerde yayımlanmamış, özgün ve güncel bilimsel araştırma ve uygulamaları içeren makale ve kısa bildirimleri ile Dergi'de daha önce yayımlanmış makalelerle ilgili tartışmaları kabul etmektedir. Çeviri ve derleme makaleler kabul edilmemektedir. Makaleler Türkçe veya İngilizce olabilir. Dergi'ye gönderilen yazılar yayınlansın veya yayınlanmasın iade edilmez. Makaleleri yayınlama yetkisi dergi yayın kuruluna aittir.

Makalenin tamamı bilgisayar ortamında hazırlanmalı baskıya hazır biçimde iki adet (birisinde yazar adları ve adresleri olmamak üzere) **Dergi web sayfasında verilen örnek şablona uygun hazırlanmış olarak elektronik ortamda veya e-posta ekinde gönderilmelidir.**

Makale, A4 (210x297 mm) boyutlu kağıda, Windows uyumlu Word ortamında, Times New Roman font kullanılarak, birer aralıkla yazılmalı, ana başlıklar 12 Punto (koyu), yazar adları 12 Punto (koyu), alt başlıklar ve metin 10 punto olmalıdır.

Çizimler ve çizelgelerle birlikte, makaleler 15 sayfadan, kısa bildirimler 4 sayfadan daha uzun olmamalıdır. **Makale Türkçe ise: Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Öz, Anahtar Kelimeler, Abstract** (İngilizce öz), **Keywords, Metin, Semboller** (gerekliyse), **Teşekkür** (gerekliyse) ve **Kaynaklar**,

Makale İngilizce ise: İngilizce Başlık, Türkçe Başlık, Abstract, Keywords, Öz (Türkçe öz), **Anahtar Kelimeler, Text, Notations** (gerekliyse), **Acknowledgments** (gerekliyse) ve **References** sırası içinde düzenlenmelidir.

Başlık kısa ve açık olmalı, içeriği yansıtabilmelidir. **Öz** (ve **Abstract**) çalışmanın amacını, kapsamını, yöntemini ve ulaşılan sonuçları kısaca tanımlamalı ve 150 kelimeyi aşmamalıdır. En az üç, en fazla beş tane anahtar kelime verilmelidir. Başlık, Öz ve İngilizce başlıklı Abstract birinci sayfaya sığdırılmalı ve ana metin ikinci sayfadan başlatılmalıdır. **Metin** yalnız bir dil ve anlatımla yazılmalı, makale Türkçe ise Türkçe, makale İngilizce ise İngilizce yazım kurallarına uygun olmalıdır.

Bölüm ve alt bölüm başlıkları numaralanmalıdır. Denklemler numaralanmalı ve bu numaralar satır sonunda parantez içinde gösterilmelidir. Yazılarda yalnızca SI birimleri kullanılmalıdır. Semboller uluslararası kullanıma uygun seçilmeli; her bir sembol ilk kullanıldığı yerde tanımlanmalıdır. Teşekkür olabildiğince kısa olmalı, çalışmaya katkısı ve desteği bulunan kişi ve kuruluşlar belirtilmelidir. Çizelgeler, çizimler ve fotoğraflar metin içine yerleştirilmeli, her birine numara ve başlık verilmeli ve başlıklar çizim ve fotoğrafların altına, çizelgelerin üstüne yazılmalıdır.

Kaynaklar metinde köşeli parantez içinde numaralanmalı ve kaynaklar listesinde metin içinde veriliş sırasına uygun biçimde belirtilmelidir. Etik kuralları gereğince, alıntılar tırnak içinde verilmeli ve bir referans numarası ile kaynak belirtilmelidir. Kaynaklarda şu bilgiler verilmelidir:

Makale ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi., yıl. makalenin tam başlığı. derginin adı, cilt, sayı, başlama ve bitiş sayfaları.

Kitap ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi., yıl. kitabın tam adı. cilt numarası, varsa editörü, yayımlandığı yer, son sayfa no.

Bildiri ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi., yıl. bildirim tam başlığı. konferansın adı, yapıldığı yer.

Elektronik ortamdan alınmış ise: Bildiri sadece CD/DVD'de yayınlanış ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi., diğer yazarlar, yıl, bildirim adı. konferansın adı (CD/DVD), yapıldığı yer, yıl. "Konferansın adından hemen sonra parantez içerisinde CD/DVD olduğu belirtilecektir."

Tez ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi., yıl. tezin adı. derecesi, sunulduğu kurum, son sayfa no.

Rapor ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi., diğer yazarlar, yıl. raporun adı. türü, numarası, kuruluşun adı, yayımlandığı yer.

Web Sitesi ise: Yazar(lar) belli ise; yazarın soyadı, adının baş harfi., diğer yazarlar, varsa yayımlandığı yıl. yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), Erişim Tarihi: gün.ay.yıl.

Kurum/Kuruluşlara ait ise; Kurum adı, varsa yayımlandığı yıl. yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), Erişim Tarihi: gün.ay.yıl.

Elektronik kitap/rapor ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi veya kitap/raporu yayımlayan kurum veya kuruluşun adı, varsa yayımlandığı yıl, konunun tam adı, Erişim Tarihi: gün.ay.yıl.