



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK MİMARLIK
FAKÜLTESİ
DERGİSİ

ÇUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

Cilt/Vol: 32

Sayı/Issue: 1

Mart/March 2017

ISSN 1019-1011



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ



Çukurova University, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture

Sahibi

Mesut BAŞIBÜYÜK

Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanı

Editör

Özen KILIÇ

YAZI İNCELEME KURULU (Editorial Board)

Zekeriya TÜFEKÇİ (ÇÜ)

Mustafa GÜVEN (ÇÜ)

Ahmet YÜCEER (ÇÜ)

Ulus ÇEVİK (ÇÜ)

Rızvan EROL (ÇÜ)

İsmail Hakkı ÇAĞATAY (ÇÜ)

Ulvi Can ÜNLÜGENÇ (ÇÜ)

Ahmet Mahmut KILIÇ (ÇÜ)

Hüseyin AKILLI (ÇÜ)

Kadir AYDIN (ÇÜ)

F. Duygu SABAN ÖKESLİ (ÇÜ)

R. Tuğrul OĞULATA (ÇÜ)

Nil YAPICI (ÇÜ)

Mart 2017 Cilt 32 Sayı 1 Hakemleri

Durmuş Ali BİRCAN (ÇÜ)

Abdulazim YILDIZ (ÇÜ)

Hüseyin R. YERLİ (ÇÜ)

Mehmet Emin ÖCAL (OKAÜ)

Özen KILIÇ (ÇÜ)

Alper YILMAZ (ÇÜ)

Hasan ÇETİN (ÇÜ)

Füsun DOBA KADEM (ÇÜ)

Hasan SERİN (ÇÜ)

Recep YURTAL (ÇÜ)

Oktay BAYAT (ÇÜ)

İ. Hakkı ÇAĞATAY (ÇÜ)

Alaettin KILIÇ (İÜ)

M. Zeki KURT (ÇÜ)

Ebru ŞENADIM TÜZEMEN (CÜ)

Bülent YANIKTEPE (OKAÜ)

Ertuğrul ŞAHMETLİOĞLU (EÜ)

Hülya YÜCEER (ABTÜ)

Mehmet Ekrem ÇAKMAK (YÜ)

Kasım OCAKOĞLU (MÜ)

Ö. Yusuf TORAMAN (ÖHÜ)

Savaş BAYRAM (EÜ)

Serap AKCAN (AÜ)

Ertaç HÜRDOĞAN (OKAÜ)

Murat ÖRNEK (İSTEÜ)

Faruk Fırat ÇALIM (ABTÜ)

Gülgün MISTIKOĞLU (MKÜ)

Ahmet DEMİR (OKAÜ)

Ahmet CAN (AÜ)

Celal KARPUZ (ODTÜ)

Halil ÖZDEMİR (OKAÜ)

Gökhan TÜCCAR (ABTÜ)

Mustafa MAMAK (OKAÜ)

Metin UÇURUM (BÜ)

Serdal TERZİ (SDÜ)

Cengiz D. ATIŞ (EÜ)

Harun AKKUŞ (YYÜ)

Abdulkadir YAŞAR (ÇÜ)

Birgül YAZICI (ÇÜ)

Altay ÇOLAK (ÇÜ)

Mesut BAŞIBÜYÜK (ÇÜ)

Ahmet TEKE (ÇÜ)

Arif ÖZBEK (ÇÜ)

Gözde ÇELİK (ÇÜ)

Cenk ŞAHİN (ÇÜ)

Şaban ÜNAL (OKAÜ)

YAZIŞMA ADRESİ

Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergi ve Yayın Kurulu Başkanlığı Balcalı 01330 Sarıçam/ADANA
Tel : (322) 338 70 50 Fax : (322) 338 61 26 E-posta: mmfdergi@cu.edu.tr - cu.mmfdergi@gmail.com

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

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

AMAÇ ve KAPSAM

Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, yılda iki sayı olarak yayımlanan hakemli bilimsel bir dergidir. Dergi akademik ve araştırma kurumlarındaki mühendislik ve mimarlık alanındaki araştırmacı ve uygulamacılara hizmet etmeyi amaçlamaktadır. Daha önce başka bir yerde yayımlanmamış tüm özgün ve güncel bilimsel araştırma ve uygulamaları kapsayan yenilikçi, değerli ve yararlı araştırma makaleleri kabul edilmektedir.

AIM and SCOPE

Journal of the Engineering and Architecture of Çukurova University is a peer-reviewed scientific journal which is currently published semi-annually. The journal aims to serve researchers and practitioners in the fields of engineering and architecture in academic and research organizations. All innovative, valuable, and useful research articles including original and current scientific research and applications, previously unpublished anywhere else, will be regarded.

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

Investigation of Mechanical and Thermal Properties of Boron Minerals Doped Plastic Materials	1
<i>Bor Mineralleri Katkılı Plastik Malzemelerin Mekanik ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi</i>	
Yakup Emre TANRIKULU ve Abdulkadir YAŞAR	
Kum Zemine Gömülü Çan Tipi Ankrajların Deneysel Çalışmalar ve Sayısal Analizler ile İncelenmesi.....	9
<i>An Experimental and Numerical Investigation of Bell Type Anchor Plates Embedded in Sandy Soil</i>	
Ahmet DEMİR, Bahadır OK, Talha SARICI ve Mahmut EROĞLU	
Daire Eksenli Yapı Elemanlarının Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi ile Statik Analizi.....	23
<i>Static Analysis of the Circular Structural Elements with the Complementary Functions Method</i>	
Timuçin Alp ASLAN, Ahmad Reshad NOORI ve Beytullah TEMEL	
İnşaat Mühendisleri Özelinde Eş Zamanlı Mühendislik Yaklaşımının İrdelenmesi	31
<i>Investigation of Civil Engineers' Concurrent Engineering Approach</i>	
Olca GENÇ, Ercan ERDİŞ ve Hilmi COŞKUN	
Ulaşım Yapıları Temel/Alt Temel Zeminlerinin Kireçle Stabilizasyonu	39
<i>Soil Stabilization with Lime at Transportation Structure's Base/Subbase</i>	
Baki BAĞRIAÇIK	
Plakalı Kanatçıklı Isı Değiştiricilerde Kanat Açısının Isı Transferine Olan Etkisinin Üç Boyutlu Sayısal Olarak İncelenmesi	49
<i>The Three Dimensional Numerical Investigation of the Effect of Fin Angle on the Heat Transfer in Plate Fin Heat Exchangers</i>	
Ertan BUYRUK ve Koray KARABULUT	
Zonguldak Bölgesindeki Kayaçların Kıyı Koruma Yapılarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması	63
<i>Investigation of Usability of Rocks in Zonguldak Area for Coastal Defence Structures</i>	
Ali Can ÖZDEMİR	

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Cer Makinasında Ekartman Ayarlarının İplik Kalite Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi..... 73**
Investigation of Effect of Roller Setting on Yarn Quality Properties in Draw Frame
Belkis ZERVENT ÜNAL ve Soner VURKIR
- Palm Biyodizel-Dizel Yakıt Karışımlarının Yakıt Özelliklerinin Tahmini..... 81**
Prediction of Fuel Properties of Palm Biodiesel-Diesel Fuel Blends
Ceyla ÖZGÜR
- Baraj Rezervuarlarına Sediment Etkisinin Araştırılması: Berdan Barajı Örneği 89**
Investigation of Sedimentation Effects On Dam Reservoirs: Berdan Dam Example
Şerife Pınar GÜVEL, Bülent SELEK ve Galip SEÇKİN
- Bakır Konsantre Tesislerinde Kontrol Kartlarının ve Çok Boyutlu Ölçekleme Analizinin Uygulanması..... 99**
The Application of Control Charts and Multidimensional Scaling Analysis in Copper Concentrate Plants
Volkan ARSLAN
- Farklı Tür Agregalarla Üretilen Yüzeysel Kaplamaların Kayma Direnci Performanslarının İncelenmesi..... 109**
Evaluation of Skid Resistance Perfomance of Surface Coatings Manufactured with Different Aggregates
Volkan Emre UZ ve İslam GÖKALP
- Püskürtme İnce Kaplamaların Mekanik Özelliklerinin Kür Süresine Göre Değişiminin İncelenmesi 121**
Investigation of the Effect of Curing Time on Mechanical Properties of Thin Spray-on Liners
Doğukan GÜNER ve Hasan ÖZTÜRK
- Photonic Crystal Slab Biosensors and its Applications 133**
Fotonik Kristal Dilimli Biyosensörler ve Uygulamaları
Utku ERDİVEN ve Faruk KARADAĞ
- Determination of Magnetocaloric Effect in $La_{0.67}Ba_{0.33}MnO_3$ from Direct and Indirect Measurements 141**
 $La_{0.67}Ba_{0.33}MnO_3$ 'deki Manyetokalorik Etkinin Doğrudan ve Dolaylı Ölçümlerden Belirlenmesi
Selda KILIÇ ÇETİN ve Ahmet EKİCİBİL

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Investigation of Diffuser Augmented Wind Turbine Technologies 147**
Yayıcı ile Güçlendirilmiş Rüzgar Türbini Teknolojilerinin İncelenmesi
Beşir ŞAHİN, Akın İLHAN ve Mehmet BİLGİLİ
- Kitosan Destekli Au Nanopartiküller ile Modifiye Edilmiş Alüminyum Elektrotta Hidrojen Gazı Üretimi 155**
Hydrogen Gas Production on Aluminium Electrode Modified by Chitosan Supported with Au Nanoparticles
Didem BALUN KAYAN, Merve İLHAN ve Derya KOÇAK
- Mekansal Komşuluk Kavramı Üzerinden Mimari Mekanın Analizi 165**
Analysis of the Architectural Space through the Spatial Neighbourhood Concept
Onur ERMAN
- Bir Nano Adsorbent ile Reaktif Black 39 Boyar Maddesinin Distile Sudan ve Sentetik Atıksudan Giderimi 177**
Removal of Reactive Black 39 Dye from Distilled Water and Synthetic Wastewater by a Nano Adsorbent
Behzat BALCI ve Fatma Elçin ERKURT
- Mersin İli'nin 2023 Yılına Kadar Elektrik Enerjisi İhtiyacının Hesaplanması 187**
Calculation of Electrical Energy Needs for Mersin Province until 2023
İsmail TEKİN, Selma ERAT ve Yusuf ZEREN
- Absorbsiyonlu (LiBr-su) Nem Alma Sisteminin Isıl Performans Değerlerinin Deneysel Olarak Araştırılması 197**
Experimental Investigation of Thermal Performance Values of Absorption (LiBr-aq) Dehumidification System
Ertuğrul CİHAN
- Bastnazit Kompleks Cevherinden (Eskişehir, Türkiye) Bazı Nadir Toprak Elementlerinin (Ce, Nd, La) Asit Liçi ile Çözünürlüklerinin Araştırılması 207**
Investigation of Dissolution of Some Rare Earth Elements (Ce, Nd, La) from Eskisehir (Turkey) Bastnaesite Complex Ore by Acid Leaching
İlgin KURŞUN, Orhan ÖZDEMİR, Tuğba Deniz TOMBAL, Mert TERZİ ve Hasan HACİFAZLIOĞLU

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Ağaç Ürünleri Üreten Bir İşletmede Malzeme Taşıma Sisteminin Simülasyon Yaklaşımıyla İyileştirilmesi 215**
Improving Materials Handling Systems via Simulation Approach for a Woodworking Manufacture Company
Yusuf KUVVETLİ ve Rızvan EROL
- Karbon Lifi/Epoksi Tabakalı Kompozit Malzemelerin Farklı Ortam Şartlarındaki Mod I Kırılma Davranışı 223**
Mode I Interlaminar Fracture Behaviour of Carbon/Epoxy Laminated Composites under Different Temperatures
Fatih DARICIK ve Kerimcan ÇELEBİ
- Veri Madenciliği Uygulamalarının ve Sezgisel Optimizasyon Algoritmalarının Yapım Yönetimindeki Yeri 235**
The Place of Data Mining Applications and Heuristic Optimization Algorithms in Construction Management
Mümine KAYA KELEŞ ve Abdullah Emre KELEŞ

Investigation of Mechanical and Thermal Properties of Boron Minerals Doped Plastic Materials

Yakup Emre TANRIKULU¹, Abdulkadir YAŞAR^{*2}

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Adana

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

Geliş tarihi: 03.01.2017

Kabul tarihi: 14.03.2017

Abstract

In this study, mechanical and thermal properties of boron containing polyethylene and polyurethane was investigated. Manufacturing and characterization are main parts of the experimental study. Samples are manufactured by extruder, then tensile and impact tests samples is obtained by injection molding. Data showed that there is no significant decrease in tensile strength and a notable increase in stiffness. In addition, elongation at break decreases for polyethylene based whereas there is a variety of results obtained from polyurethane samples. While there was a notable decrease in impact resistance of polyethylene-based materials, contrary to expectation there is an increase in some polyurethane based samples. Results obtained in thermo gravimetric analysis (TGA) are lower than expected, however there is a noticeable improvement in the thermal properties of both materials.

Keywords: Colemanite, Ulexite, Polyethylene, Polyurethane

Bor Mineralleri Katkılı Plastik Malzemelerin Mekanik ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi

Öz

Bu çalışmada, bor mineralleri içeren polietilen ve poliüretan malzemelerin mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir. Deneysel çalışma, malzemelerin üretimi ve karakterizasyonu olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Numuneler ekstrüderde üretilmiş sonrasında ise enjeksiyon kalıplama yöntemi ile çekme ve darbe test çubukları elde edilmiştir. Deneysel veriler, malzemelerin çekme direncinde önemli bir azalış gözlenmediğini, rijitliklerinde ise önemli bir artış sağlandığını ortaya koymuştur. Ayrıca, polietilen tabanlı malzemelerin kopma uzamalarında düşüş gözlenirken poliüretan malzemeler için alınan veriler çeşitlilik göstermiştir. Polietilen tabanlı malzemelerin darbe dirençlerinde dikkate değer bir düşüş söz konusuysen, poliüretan malzemeler için beklenenin aksine bazı örnekler için artış gözlenmiştir. Termal özellikler beklendiği kadar olmasa da her iki malzeme için artış göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kolemanit, Üleksit, Polietilen, Poliüretan

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Abdulkadir YAŞAR, ayasar@cu.edu.tr

1. INTRODUCTION

There is a rapid development in polymer industry which is largely based on petroleum industry, thus new polymer types are offered to use. New products which are obtained by mixing graphite, glass and carbon fibers with polymers, is an important step in the development of polymers. The mechanical properties of these materials are close to metals. The polymeric materials which has developed properties will contribute to human life due to their advantages [1].

The properties of the polymers can be changed by fillers. Fillers that increase hardness in general increase wear resistance and reduce shrinkage of molded parts. The disadvantages of fillers are the difficulty of processing, reducing the toughness. In particular, polyolefins, which are nonpolar, are incompatible with the common hydrophilic fillers. So the adhesion between the filler surface and the matrix is weak. However, in order to provide some properties such as color, conductivity and flame retardancy, it is generally necessary to use high concentration filler materials [2,3].

Thanks to its versatile properties, polyethylene can be used in many applications. However, its use in applications where flame resistance is important is severely limited. Mineral filler is introduced to polyethylene to overcome this limitation. After the prohibition of halogen-containing flame retardants which are quite effective, halogen free flame retardants such as zinc borate are getting important [4].

Polyurethane used in various sectors such as biomedical, construction, textile and automotive is one of the important polymer class [5]. The properties of the polyurethane can be changed during chemical synthesis or by various additives [6]. Despite disadvantages in degradation under some conditions, easy flammability and thermal stability, polyurethane has good properties for special applications [7].

The aim of the study is to examine the effects of boron containing mineral fillers, in the case of colemanite and ulexite in the mechanical and

thermal properties of polyethylene and polyurethane matrices. Turkey has the largest boron reserves thus finding new emerging areas and increasing quantity of boron consumption is important from the view of economic prosperity. Samples obtained in the end of study has a potential to be utilized in different industries. Addition of boron containing mineral fillers is achieved by different means such as extrusion and injection molding. Different characterization methods are used in order to analyze and interpret the data in terms of mechanical and thermal properties.

2. MATERIALS AND METHOD

2.1. Material

Polyethylene with a trade name Petilen F2-12 was used in this study. It was supplied from Petkim Petrochemical Holding Inc. in a 5 kg polyethylene bag. The commercial thermoplastic polyurethane (Ravathane ® R130A65) was procured from Ravago Petrochemistry Inc. in a 5 kg polyethylene bag. Colemanite and ulexite are supplied from Bigadiç Boron Works of Eti Maden in a 10 kg bags.

Compositions of all samples which are prepared for this study and their notations are given in Tables 1 and 2.

Table 1. Compositions of samples for PE materials

	PE	Mg(OH) ₂	Colemanite	Ulexite
PE	100	0	0	0
PE0	70	30	0	0
PE1	70	25	5	0
PE2	70	20	10	0
PE3	70	15	15	0
PE4	70	25	0	5
PE5	70	20	0	10
PE6	70	15	0	15
PE7	70	20	3	7
PE8	70	20	5	5
PE9	70	20	7	3

Table 2. Compositions of samples for PUR materials

	PUR	Colemanite	Ulexite
PUR	100	0	0
PUR1	95	5	0
PUR2	90	10	0
PUR3	85	15	0
PUR4	95	0	5
PUR5	90	0	10
PUR6	85	0	15
PUR7	90	3	7
PUR8	90	5	5
PUR9	90	7	3

2.2. Method

A co-rotating twin screw extruder which is Gülnar Makina 12 mm twin screw was used to produce samples. Although screw speed which is 100 rpm was constant in all experiments, temperatures of mixing zones and die are different for polyethylene and polyurethane based mixtures during the extrusion process. While temperatures were 190, 200, 205, 210, 215°C for hopper, mixing zones and die respectively for polyethylene, they were 165, 170, 170, 150, 130°C for polyurethane. Molten products were cooled by air. Then they were passed through the pelletizer.

Just after extrusion of the samples, they are molded by using laboratory scale injection molding machine which is Xplore IM 12. Granules was placed into cylinder before the molding process. Two minutes was waited to make polymers melt. Then the melt was injected to the mold with pressure of 8 bars. Two sample was acquired for each molding operation. Two different type molds which had dog-bone and rectangular shape were used. Melt temperature was set to 215°C and 190°C for polyethylene and

polyurethane based samples, respectively. Mold temperature was set to 30°C for both polymer type.

Tensile tests of all sample were conducted under favor of Shimadzu AGS-X tensile tester. The test was continued until the samples failed. The tests were repeated three times and average of them was calculated. Tensile strength, modulus and yield strain were designated by using stress-strain data which was obtained from tests.

TE Common Non-Metallic Pendulum Impact Testing machine was used to perform un-notched charpy impact test. The length, width and height of the samples were 60, 3, 6 mm, respectively. All the samples were held in liquid nitrogen for five seconds to compare samples impact energies relatively. The tests were repeated three times and average of them was calculated.

TGA was carried out to determine thermal stability of the samples by using Hitachi STA7000. Tests were performed from room temperature to 1000 °C with a heating rate 20°C/min under nitrogen flow of 50 ml/min.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Table 3 demonstrates the mechanical data of different polyethylene blends. It is observed that an increase in colemanite content leads to a significant increase in stiffness values and the increase continues with an even more increasing colemanite content. However, the case appears to be different for ulexite filler. Although the immediate response to mineral filler input to system is to be an increase in stiffness, introducing a higher amount ulexite filler cause a slight drop in the stiffness properties. Furthermore, with PE7, PE8 and PE9, the substitution of mineral fillers and its effect on stiffness is also examined. It is quite peculiar that increasing amount of colemanite in the colemanite/ulexite mix leads to a reduction in the stiffness of the polymer.

Table 3. Tensile properties of polyethylene based blends

	Ultimate Tensile Strength (MPa)	Elastic Modulus (MPa)	Elongation at Break (%)
PE	14.30	155.07	179.95
PE0	13.46	363.78	99.34
PE1	13.37	387.73	74.66
PE2	13.88	389.22	71.00
PE3	13.61	395.60	64.55
PE4	14.62	384.30	69.30
PE5	14.37	347.70	75.56
PE6	13.92	296.58	78.34
PE7	13.36	348.97	72.07
PE8	13.96	323.88	83.02
PE9	13.90	314.14	71.43

Table 4 presents the mechanical properties of polyurethane based mixtures. Once more, the filler content has a strong effect on mechanical properties. To examine mechanical properties of these blends, elastic modulus values are chosen to understand the stiffness of the materials. Results reveal that increasing colemanite and/or ulexite filler content lead to an increase in the stiffness properties of the composite, even though somehow in varying degrees. Thermoplastic polyurethane is

an extremely ductile material to work with at any rate, thus observing the effect of ulexite on polyurethane appear to be more straightforward than its effect on polyethylene. As to the substitution and its effect on the blend, it can be deducted from the results that there is not much a fluctuation of results with an alteration in the mineral filler content. Therefore, it would be safe to say that the effect of boron-containing mineral filler substitution is not as clear-cut as other samples.

Table 4. Tensile properties of polyurethane based blends

	Ultimate Tensile Strength (MPa)	Elastic Modulus (MPa)	Elongation at break (%)
PUR	10.93	6.25	424.24
PUR1	14.12	6.34	532.81
PUR2	11.54	7.56	423.58
PUR3	11.78	10.49	371.06
PUR4	11.82	6.68	555.05
PUR5	10.66	7.81	548.75
PUR6	7.38	7.94	562.90
PUR7	10.76	6.68	449.39
PUR8	11.31	6.81	439.39
PUR9	11.85	6.57	465.21

In order to interpret the results obtained from impact testing, there needs to be a few correlations that ought to be understood very well. As seen in Figure 1 and 2, it is undoubtedly clear that with

increasing mineral filler input, there is a considerable reduction in the fracture toughness of the material of interest.

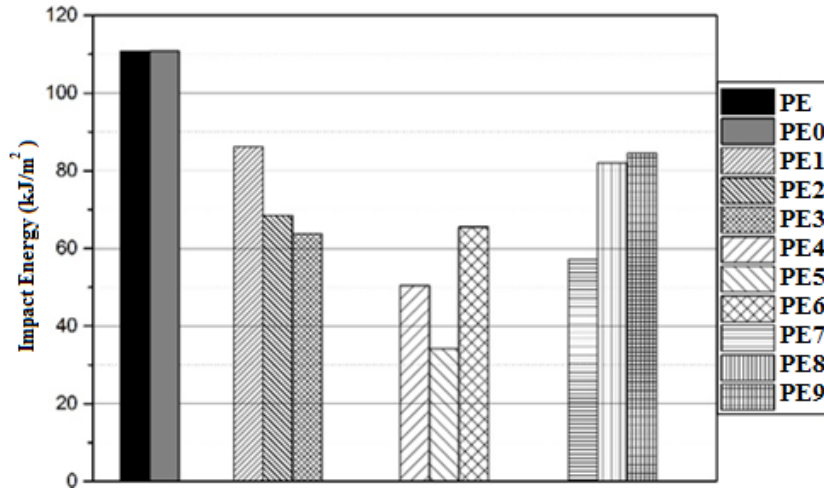


Figure 1. Impact energy of polyethylene based mixtures

Furthermore, there needs to be another distinction between the type mineral filler and its effect on the fracture toughness. Results reveal that the use colemanite as a filler has less of a detrimental effect compared ulexite in terms of fracture toughness properties of the material. To monitor this behavior, one needs to inspect the fracture

toughness properties of blends that contain both colemanite and ulexite. As seen in Figure 1 and 2, for samples coded with number of 7,8,9 (increasing amount of colemanite, respectively), with an increasing colemanite content in the material structure, there is quite a noticeable boost in the fracture toughness properties of the sample.

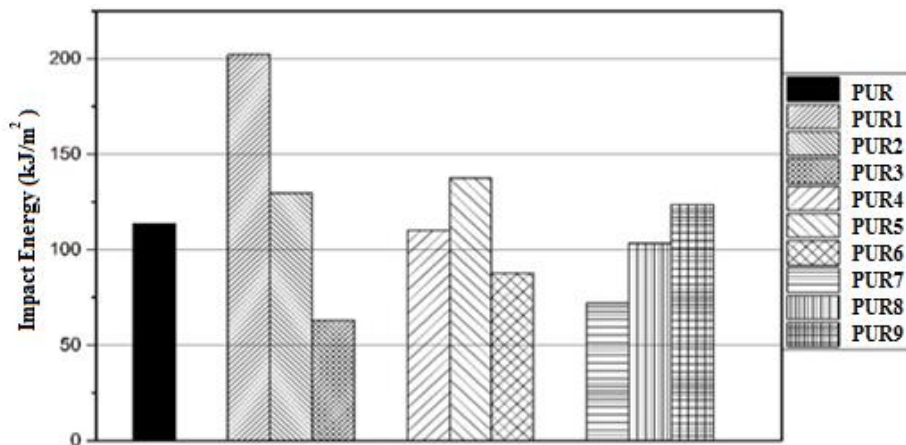


Figure 2. Impact energy of polyurethane based mixture

It should also be noted that there is some fluctuation in the data provided by Figure 1 and 2. This is thought be due to non-homogeneous dispersion of mineral filler in the structure. Therefore, any fluctuations, such seen at PE6 and PUR5, appear to be due to the inhomogeneity.

Thermo gravimetric analysis data are shown in Table 5. T_{5%} signifies the temperature where 5% of the sample is lost. The rationale behind this abbreviation is the same for T_{50%} (°C) which is the temperature where 50% of the sample weight is lost. Finally, Char Yield (%) is the amount of

sample materials left in the crucible that is usually in the form of ashes. In order to interpret the data obtained from TG-DTA analysis, one needs to figure out some thermal characteristics and expected from the samples examined in this study. The theory of thermal property improvement is based on the relatively better thermal properties of mineral fillers doped in the polymer matrix. Therefore, it is expected that with an increasing mineral content, there should be advancement in the values explained above.

The main trouble with the values shown in tables which are given above may be rooted in the homogeneity and incompatibility problems in the composite structure. Typically, the values indicate that an increase in mineral filler content reveals itself in Char Yield (%) values, which proves a point that there is indeed the amount of mineral filler targeted in the first place.

The examination of TG-DTA curves affirm that there is sharp loss in weight around 400-420°C for PE matrix systems, and 280-320°C for PUR matrix systems as shown in Figures 3 and 4. Furthermore, 400°C is a very crucial temperature both for

mineral fillers used in this study and the polyethylene.

Table 5. Thermo gravimetric analysis data (PE)

	T _{5%} (°C)	T _{50%} (°C)	Char Yield (%)
PE	441.87	478.77	0.96
PE0	415.75	484.30	15.92
PE1	408.37	468.64	20.65
PE2	415.56	483.58	21.37
PE3	409.86	484.85	24.24
PE4	430.29	484.01	13.69
PE5	430.70	482.59	17.97
PE6	419.41	480.34	21.14
PE7	428.46	485.11	21.65
PE8	423.21	479.66	19.69
PE9	425.75	484.89	20.61
PUR	280.43	375.39	2.76
PUR1	280.94	364.38	13.51
PUR2	276.06	368.74	10.06
PUR3	282.47	373.95	16.93
PUR4	275.73	358.96	4.01
PUR5	276.15	351.82	11.54
PUR6	272.44	350.42	12.04
PUR7	273.86	354.12	11.86
PUR8	275.67	354.84	5.39
PUR9	279.09	360.94	14.73

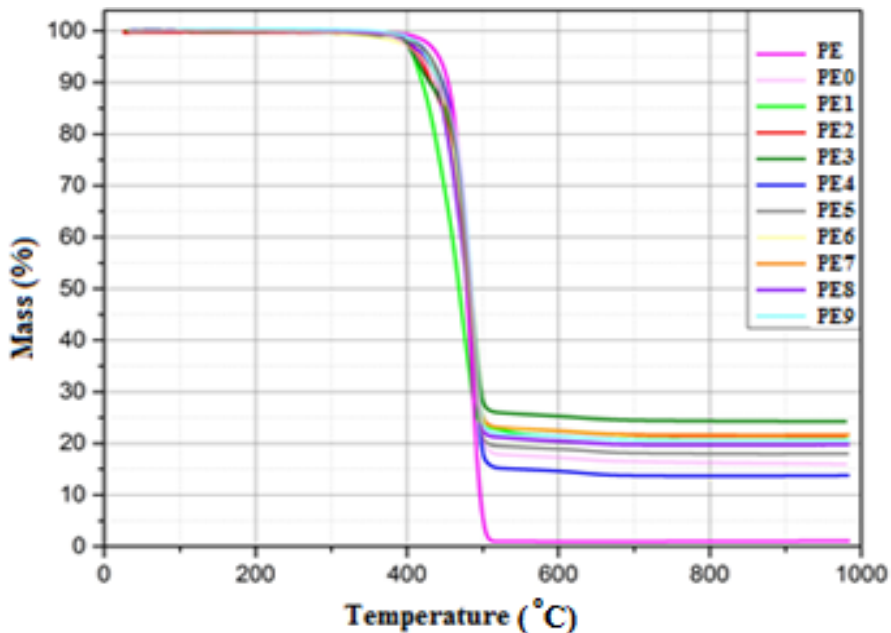


Figure 3. TGA curves of polyethylene based samples

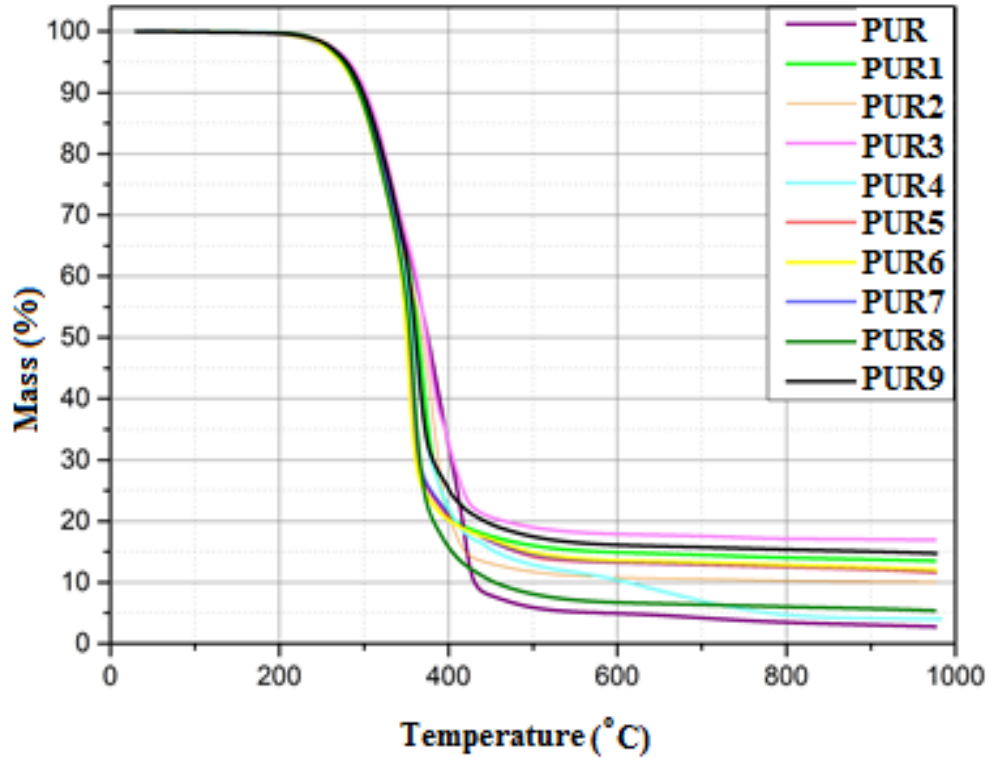


Figure 4. TGA curves of polyurethane based samples

4. CONCLUSIONS

Preparation and manufacturing of the blends is obtained via an extruder. After the granulation of blends, an injection molding machine is used in order to attain samples for tensile tests (dog-bone specimens) and impact testing. Tensile tests carried out on the samples to monitor any improvements on the mechanical properties of the blends. Results reveal that there is not a great change in the tensile strength of the blends, although there is clear improvement in the stiffness for polyethylene samples. It is observed that the elongation at break values for polyethylene samples drop with respect to increasing mineral content, whereas for polyurethane blends the data is not very consistent. Introduction of mineral filler to polymeric materials usually end up in a sharp drop in impact toughness properties of the polymer. There is not a strong influence of $Mg(OH)_2$ on the impact properties of the blend. On the other hand, it can be safely said that the impact

properties of colemanite/ulexite polymer blends are strongly affected by the addition at a high degree, negatively. However, it should also be noted that there is a noticeable amount inconstancy in the results especially with PUR samples. Thermal properties of the blends are investigated using TG analysis. It is found that the shift in total decomposition of the polymer is not as expected as it to be.

For further study, the dispersion of the mineral filler can be achieved through utilization of compatibilizers. The introduction of compatibilizer could increase some of the properties in which there are not as sufficient improvements as targeted. In addition, other boron-containing minerals that contain a higher amount of boron such as boracite ($Mg_3B_7O_{13}Cl$) and nobleite ($CaB_6O_{10} \cdot 4H_2O$) can be used as mineral fillers and their influence on mechanical and thermal properties can be investigated.

5. ACKNOWLEDGEMENT

This study was supported by Adana Science and Technology University Scientific Research Project (Project Number: 16103009).

6. REFERENCES

1. Çetinel, H., 2000. Polietilen ve Polipropilenin Mekanik Özelliklerinin İncelemesi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 3, 79-87.
2. Hippi, U., Mattila, J., Korhonen, M., Seppälä, J., 2003. Compatibilization of Polyethylene/Aluminum Hydroxide (PE/ATH) and Polyethylene/Magnesium Hydroxide (PE/MH) Composites with Functionalized Polyethylenes, Polymer, 44(4), 1193-1201.
3. Moon, S.Y., Kim, J.K., Nah, C., Lee, Y.S., 2004. Polyurethane/Montmorillonite Nanocomposites Prepared from Crystalline Polyols, using 1,4-Butanediol and Organoclay Hybrid as Chain Extenders, European Polymer Journal, 40(8), 1615-1621.
4. Beltrán-Ramírez, F.I., Ramos-deValle, L.F., Ramírez-Vargas, E., Sánchez-Valdes, S., Espinoza-Martínez, A.B., Martínez-Colunga, J.G., Rodríguez-Fernandez, O.S., Cabrera-Alvarez, E.N., López-Quintanilla, M.L., 2014. Effect of Nanometric Metallic Hydroxides on the Flame Retardant Properties of HDPE Composites, Journal of Nanomaterials, 2014, 11 Pages.
5. Gorrasi, G., Tortora, M., Vittoria, V., 2005. Synthesis and Physical Properties of Layered Silicates/Polyurethane Nanocomposites, Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 43(18), 2454-2467.
6. Zhang, X., Xu, R., Wu, Z., Zhou, C., 2003. The Synthesis and Characterization of Polyurethane/Clay Nanocomposites, Polymer International, 52(5), 790-794.
7. Yıldız, B., Seydibeyoğlu, M.Ö., Güner, F.S., 2009. Polyurethane-zinc Borate Composites with High Oxidative Stability and Flame Retardancy, Polymer Degradation and Stability, 94(7), 1072-1075.

Kum Zemine Gömülü Çan Tipi Ankrajların Deneysel Çalışmalar ve Sayısal Analizler ile İncelenmesi

Ahmet DEMİR¹, Bahadır OK^{*2}, Talha SARICI³, Mahmut EROĞLU¹

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

²Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

³İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya

Geliş tarihi: 03.01.2017

Kabul tarihi: 14.03.2017

Öz

Temeller genellikle basınç yüklerine maruz kalmaktadır. Fakat rüzgar yükü vb. gibi yanıl yüklerle maruz kalan yüksek binalar, elektrik üretmek için kullanılan rüzgar tribünleri vb. gibi yapıların temelleri çekme yüklerine maruz kalmaktadır. Bu tip yüklerle maruz yapıların temelleri tasarlanırken bu çekme kuvvetinin etkisini incelemek gerekmektedir. Bu çalışmada kum zemine gömülü çan tipi ankrajların çekme kapasitesi deneysel çalışmalar ve sayısal analizlerle incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda ve sayısal analizlerde taban çapı 50, 100 ve 150 mm olan çan tipi ankrajlar kullanılmıştır. Çan tipi ankrajın eğimli yüzeyinin açısı, gömülme derinliği ve gömüldüğü kum zeminin sıklığı gibi parametrelerin çekme kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca helisel ve dairesel ankrajların çekme kapasiteleri deneysel olarak bulunarak çan tipi ankrajların çekme kapasiteleri ile kıyaslanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda görülmüştür ki, çekme kapasitesi ankraj açısının değişiminden çok fazla etkilenmemektedir ve çekme kapasitesi ankraj açısı arttıkça az bir miktar azalmaktadır. Ayrıca, çan tipi ankrajın çapı, gömülme derinliği ve gömüldüğü kumun rölatif sıklığı arttıkça çekme kapasitesi artmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çan tipi ankraj, Çekme kapasitesi, Dairesel ankraj, Helisel ankraj, Kum zemin

An Experimental and Numerical Investigation of Bell Type Anchor Plates Embedded in Sandy Soil

Abstract

Foundations are often subjected by pressure loads. However, the foundations of structures such as high-rise building, wind turbines for generating electricity etc. which is exposed to lateral loads such as wind load etc. are generally subjected to uplift loads. It is necessary to examine the effect of this uplift force when designing the foundation of such subjected loads. In this study, the uplift capacity of bell type anchors embedded in a sandy soil was investigated experimentally and numerically. Bell type anchors with base diameters of 50, 100 and 150 mm were used. The effect of the parameters such as the angle of

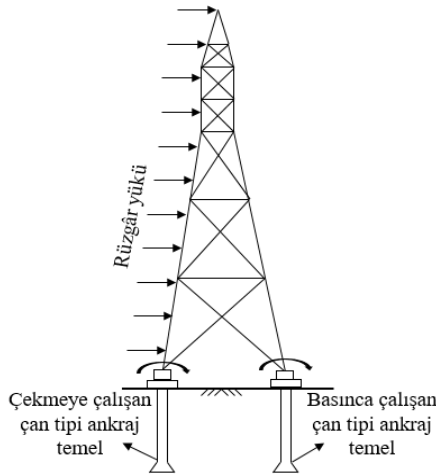
*Sorumlu yazar (Corresponding author): Bahadır OK, bahadirok@adanabtu.edu.tr

the sloping surface and embedding depth of the bell type anchor and relative density of the sand where the anchor was buried on the uplift capacity were investigated. Also, the uplift capacities of helical and circular anchors are found experimentally and compared with the uplift capacity of the bell type anchors. As a result of this study, the uplift capacity is not significantly affected by the change of the anchor angle and the uplift capacity decreases slightly as the anchor angle increases. In addition, the uplift capacity increases as the diameter and embedding depth of the bell type anchor, relative density of the sand where the anchor was buried increases.

Keywords: Bell type anchor, Uplift capacity, Circular anchor, Helical anchor, Sandy soil

1. GİRİŞ

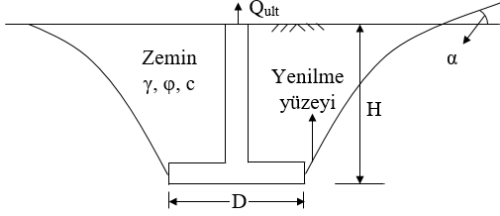
Rüzgâr türbinleri, petrol platformları, haberleşme kuleleri, yüksek gerilim hatları, otoban ve demiryollarındaki işaret levhaları ve reklam panolarını taşıyan direkler gibi yapılar kendi ağırlıkları ile temellerinde basınç gerilmesi oluştururlar. Ancak çoğu durumda bu ve buna benzer yapıların temelleri çekme kuvvetlerine ve devirme momentlerine maruz kalmaktadırlar (Şekil 1). Bundan dolayı bu tarz yapıların temelleri çekme kapasitesi açısından da değerlendirilerek tasarlanmalıdır. Temellerin çekme kapasitelerini artırmak için geleneksel olarak yapılan temellerin boyutları artırılabilir. Fakat bu çözüm maliyet ve zaman açısından efektif değildir. Bu sorunun üstesinden gelmek, yapının stabilitesini artırmak için mühendisler ankraj temeli sistemleri kullanarak yeni bir inşaat metodu önermişlerdir.



Şekil 1. Bir yüksek gerilim iletim hattı kulesinin temel sistemi örneği

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yaklaşık olarak son 55 yılda, çok çeşitli ankraj temeli sistemleri geliştirilerek büyük değerlerdeki çekme kuvvetlerine karşı yapıların stabilitesi sağlanmaya çalışılmıştır. Bu konuda pek çok araştırmacı da konu ile ilgili çalışmalar gerçekleştirmişlerdir [1-12]. 1960 yılından bu yana temel sistemlerinin büyük değerlerdeki çekme kapasitesini karşılamak için dairesel, dikdörtgen, kare, helisel, çan tipi vb. ankraj temeli sistemleri geliştirilmiştir. Ankraj temeli sistemlerinden birisi olan çan tipi ankrajlar (ve ya genişletilmiş uçlu kazıklar da denebilir) büyük değerlerdeki çekme yüküne direnç sağlamada ekonomik bir temel türü olduğu ispatlanmıştır. Çan tipi ankrajlar hem basınç mukavemeti hem de çekme direnci sağlarlar [13]. Bir diğer ankraj temeli olan helisel ankrajlar auger ekipmanına sahip herhangi bir kamyon ya da taşıyıcı aracılığıyla zemin içerisine inşa edilmektedirler [14]. En yaygın olarak kullanılan ankraj sistemi ise plaka tipi ankraj temelleridir [15]. Çapı ya da genişliği D , gömülme derinliği H olan bir sığ temelin nihai çekme kapasitesi olan Q_{ult} , yenilme yüzeyi boyunca zeminin sürtünme mukavemeti ile yenilme bölgesindeki zeminin ve temelin ağırlığının toplamından oluşmaktadır. Eğer ankraj temeli, bir çekme yüküne (Q_{ult}) maruz kalırsa, sığ derinliklerde zemindeki yenilme yüzeyi Şekil 2'deki gibi gösterilebilir. Şekil 2'de görülen, zemin seviyesiyle yenilme yüzeyinin yatayla yaptığı α açısının değeri kumlu zeminlerde sıklığa, killi zeminlerde ise kıvama bağlıdır [16].



Şekil 2. Çekme yüküne maruz temel [16]

Ankraj sistemlerinin çekme kapasitesini temelin boyutu, gömülme derinliği, geometrisi ve temelin bulunduğu zeminin yoğunluğu önemli ölçüde etkilemektedir. Eğer arzu edilen çekme kapasitesi elde edilemez ise bu durumda temelin boyutu, gömülme derinliği ve bulunduğu zeminin yoğunluğu parametrelerinden birinin ve birkaçının artırılması yoluna gidilebilir [17]. Ankraj sayısını artırmakta çekme kapasitesine artırmada bir çözüm olabilir [18]. Dickin ve Laman [19] kum zeminde 1 m genişlikteki şerit ankrajın çekme dayanımını belirlemek için santrifüj deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Bu deneyleri Plaxis paket programında modelleyerek şerit ankrajların çekme kapasitelerini incelemişlerdir. Kum zeminin sıklığının ve ankrajın gömülme oranının çekme kapasitesini etkilediğini, sıklık ve gömülme derinliği arttıkça çekme kapasitesinin arttığını görmüşlerdir. Deneysel çalışmalardan elde ettikleri sonuçları, teorik çalışmaları ve Plaxis analizlerini kıyaslamışlar ve değerlerin bir biri ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca kum zemin içindeki ankrajın çekme davranışını modellemek için Plaxis'teki pekleşen zemin modelini (hardening soil model) kullanmanın iyi sonuçlar verdiğini görmüşlerdir. Ghaly ve arkadaşları [21] helisel ankraj plakalarının çekme kapasitelerini teorik ve deneysel olarak belirlemişlerdir. Deneysel çalışmalarını kumlu bir zemin tabakası oluşturarak gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmalarında sıkı, orta sıkı ve gevşek olmak üzere üç farklı sıklıkta kum zemin kullanmışlardır. Kumun içsel sürtünme açısı ve gömülme derinliği ile yenilme modeli arasındaki ilişkiyi belirlemeye çalışmışlardır. Ilamparithi ve arkadaşları [22] dairesel ankraj plakalarının çekme davranışını incelemek için nispeten büyük ölçekli deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. 100 ile

400 mm arasında değişen çaplarda dairesel ankrajlar kullanmışlardır. Deneyleri sıkı, orta sıkı ve gevşek kum zeminlerde yapmışlardır. Çekme kapasitesinin ankraj çapından, gömülme oranından ve kumun yoğunluğundan oldukça etkilendiğini söylemişlerdir. Kritik gömme oranını belirlemek için alternatif yöntemler belirlemişlerdir ve sırasıyla gevşek, orta sıkı ve sıkı kum için 4,8, 5,9 ve 6,8 değerlerini önermişlerdir. Bir temelin sığ durumdan derin duruma geçtiği andaki gömülme oranına, kritik gömülme oranı denilir. Das [16] ise kritik gömülme oranını, kumlarda 3-11 arasında, suya doymun kilde ise 3-7 arasında olduğunu belirtmişlerdir. Çekme yüklerine maruz bir temelde, eğer zemindeki yenilme yüzeyi zemin yüzeyine kadar uzuyorsa, buna sığ durum denilir. Daha büyük gömülme değerlerinde, yenilme temel etrafında oluşabilir ve yenilme yüzeyi zemin yüzeyine kadar uzamayabilir. Bu ise derin durum olarak adlandırılırlar. Ayrıca, geoteknik mühendisliği alanında donatı olarak kullanımı giderek yaygınlaşan geosentetik ürünler çekme kapasitesini artırmada bir alternatif olarak kullanılabilir. Bu durumu ortaya koyan ilk araştırmacılar olan Subbarao ve arkadaşları [8] polipropilen şeritlerin dairesel ve çan tipi ankrajların çekme kapasitelerini arttırdığını belirtmiştir. Krishnaswamy ve Parashar [22] doğrudan ankrajın üst yüzüne oturan tek sıra geokompozit donatının diğer düzenlemelere göre daha fazla çekme kapasitesini arttırdığını söylemişlerdir. Ilamparithi ve Dickin [11] çan tipi ankrajlar üzerinde laboratuvarında çekme deneyleri yapmışlar ve çan kazıkların kopma faktörlerini araştırmışlardır. Değişik geometrilere ve kum sıklıklarında deneyler yapmışlardır. Ayrıca çan tipi ankrajın etrafına geogridleri bir hücre oluşturacak biçimde yerleştirerek bunun çekme kapasitesini nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Deneysel kopma faktörleri ankraj temeller için önerilen mevcut bazı teorilerle karşılaştırmışlardır ve sonuçların uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Geogrid hücrenin çekme kapasitesini önemli ölçüde artırdığını söylemişlerdir.

Literatür araştırmalarından, hem geogrid ile güçlendirilmiş için hem de güçlendirilmemiş çan

tipi ankrajların çekme kapasitesi üzerine yapılan çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, çan tipi ankrajların çekme kapasiteleri deneysel çalışmalarla ve sayısal analizler ile belirlenmiştir. Çan tipi ankrajların çekme davranışları belirlendikten sonra dairesel ve helisel ankrajları ile kıyaslanmıştır. Çan açısı (α), taban çapı (D), gömülme oranı (H/D , H =gömülme miktarı), kumun sıklığı (D_r) gibi parametreler deneysel olarak incelenmiştir. Sayısal analizlerin gerçekleştirilmesi için kullanılan Plaxis paket programı ile yapılan deneysel çalışmalar modellenerek modelin geçerliliği ortaya konmuştur. Ayrıca deneysel çalışmalardan ve sayısal analizlerden elde edilen sonuçları daha genel bir şekilde ifade edebilmek ve literatürdeki çalışmalar ile kıyaslamak için boyutsuz bir parametre olan kopma faktörü (F_q) kullanılmıştır.

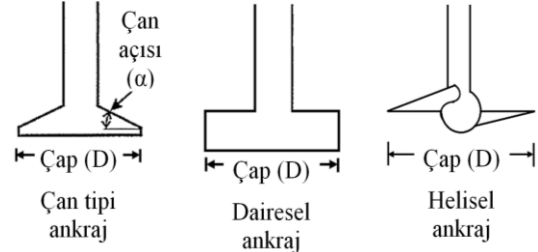
3. MATERYAL VE METOT

3.1. Deneysel Çalışma

3.1.1. Deneysel Düzenek ve Yükleme Sistemi

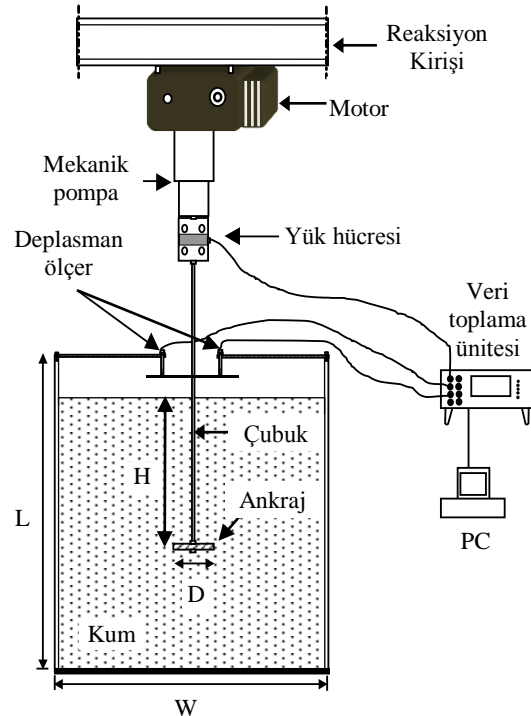
Deneysel çalışmalar Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarındaki mevcut deney düzenekinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar kum zemin içerisine gömülü rijit model ankrajlara çekme kuvvetleri uygulanması suretiyle gerçekleştirilmiştir. Deneysel düzenekte model ankrajın çekme direncini ölçmek için yük hücresi, model ankrajı çekerken oluşan düşey deplasmanı ölçmek için deplasman ölçerler elde edilen yük ve deplasman verilerini kayıt etmek için veri toplama ünitesi kullanılmıştır.

Deneysel kum yatağı oluşturmak için et kalınlığı 12 mm, çapı ve yüksekliği 600 mm olan çelik malzemeden yapılmış dairesel bir rijit çelik tank kullanılmıştır. Çan tipi, dairesel ve helisel olmak üzere üç farklı rijit model ankraj kullanılmıştır. 50, 100 ve 150 mm olmak üzere üç farklı çapta çan tipi ankraj, 50 ve 100 mm olmak üzere iki farklı çapta dairesel ankraj, 50 mm olmak üzere tek farklı çapta helisel ankraj kullanılmıştır. Model ankrajların şematik çizimi Şekil 3'te görüldüğü gibidir.



Şekil 3. Deneysel çalışmada kullanılan model ankrajlar [23]

Model ankrajlar, 20 mm çapında rijit bir çubuğa sabitlenmiştir. Çekme kuvveti çubuk vasıtasıyla model ankraja iletileceğinden oluşturulan tüm bu sistemin rijit olmasına ve deney sırasında bütünlüğünü koruyup yatay yönde hareket etmemesine dikkat edilmiştir. Yükleme çerçevesi rijit I profillerden imal edilmiştir. Yükleme motoru, kontrol paneli yardımı ile ilerleme hızı sabit tutularak çekme kuvveti oluşturulmasını sağlamıştır. Şekil 4'te deney düzenek ve yükleme sistemine ait şematik çizim görülmektedir.

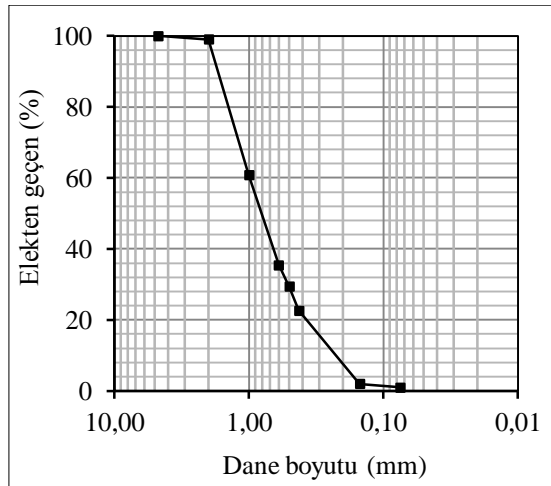


Şekil 4. Deneysel düzenek ve yükleme sistemi [23]

3.1.2. Kum Zeminin Özellikleri

Deneyisel çalışmalarda model ankrajların gömüldüğü kum yatağının oluşturulması için gerekli kum zemini numuneleri Ceyhan Nehri yatağından alınmıştır. Kum zemini numuneleri üzerinde, zemini sınıflandırmaya ve mekanik özelliklerini tespit etmeye yönelik ASTM standartlarına uygun [24-27] laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen elek analizi deneyi sonucunda elde edilen granülometri eğrisi Şekil 5'te görüldüğü gibidir. Bu deneyler sonucunda, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne [28] göre kullanılan kumun zemin sınıfı, kötü derecelenmiş kum (SP) ve dane birim hacim ağırlığı $\gamma_s=27,3 \text{ kN/m}^3$ olarak bulunmuştur. Kum için %35, %65 ve %85 olmak üzere üç farklı rölatif sıklık (D_r) seçilmiştir. Üç farklı rölatif sıklık için kuru birim hacim ağırlıkları sırasıyla $\gamma_k=16,4 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_k=17,2 \text{ kN/m}^3$ ve $\gamma_k = 17,7 \text{ kN/m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

Kum zeminin kayma mukavemeti parametrelerini tespit etmek için ASTM [29] standardına göre kesme kutusu deneyleri yapılmış ve içsel sürtünme açısı değerleri %35, %65 ve %85 rölatif sıklık değerleri için sırasıyla $\phi=36^\circ$, $\phi=39^\circ$ ve $\phi=42^\circ$ olarak bulunmuştur. Her üç sıklık için kohezyon değeri sıfırdır ($c=0$). Kum zemin üzerinde yapılan deneylere ait sonuçlar Çizelge 1'de özetlenmiştir.



Şekil 5. Kum zemine ait granülometri eğrisi [23]

Çizelge 1. Kum zeminin özellikleri [23]

Parametre Adı	Simge	Birim	Değeri
Dane birim hacim ağırlığı	γ_s	kN/m^3	27,3
Maksimum kuru birim hacim ağırlığı	γ_{kmax}	kN/m^3	18,20
Minimum kuru birim hacim ağırlığı	γ_{kmin}	kN/m^3	15,52
Kaba kum yüzdesi	-	%	2
Orta kum yüzdesi	-	%	33
İnce kum yüzdesi	-	%	64
Efektif çap	D10	mm	0,3
Üniformluk Katsayısı	C_u	mm	3,0
Süreklilik Katsayısı	C_r	mm	0,27
Sınıflandırma	-	-	SP

3.1.3. DeneySEL Çalışmanın Gerçekleştirilmesi

Deney tankına bir tabaka zemin yerleştirilmiş onun yüzeyine model ankraj oturtulmuştur. Bir tabaka zeminin yüksekliği 50 mm'dir. Model ankraj deney tankının tam ortasına gelecek şekilde konumlandırılmıştır. Daha sonra model ankraj üzerine tabakalar halinde istenilen gömülme derinliğine kadar kum zemin yerleştirilmiştir. Kum zemin %35, %65 ve %85 olmak üzere üç farklı sıklıkta yerleştirilmiştir. Bu üç sıklıktaki kumun kuru birim hacim ağırlıkları sırasıyla $\gamma_k=16,4 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_k=17,2 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_k=17,4 \text{ kN/m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Kum zemin tabakalar halinde sıkıştırılıp yerleştirilirken dinamik yöntem kullanılmıştır. İstenilen sıklığı deney koşullarında sağlamak amacıyla, her bir tabaka için gerekli olan kum ağırlığı önceden hesaplanarak, kontrollü bir şekilde sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Her bir tabakanın yerleştirilme işlemi tamamlandıktan sonra yüzeyinin düzgün olup olmadığı su terazisi yardımıyla kontrol edilirken aynı zamanda tabaka yüksekliğinin de 50 mm olmasına dikkat edilmiştir. Model ankraj plakasının ve bağlandığı rijit çubuğun yüzeye dik olmasına dikkat edilerek

eksantrisine oluşumu engellenmeye çalışılmıştır. Deneylerde çekme yükü, model ankrajın yukarı doğru 2,33 mm/dk'lık sabit bir hızla çekilmesi ile oluşturulmuştur. Bu işlemler tüm deneyler aynı şekilde uygulanmıştır. Yapılan deneylere ait

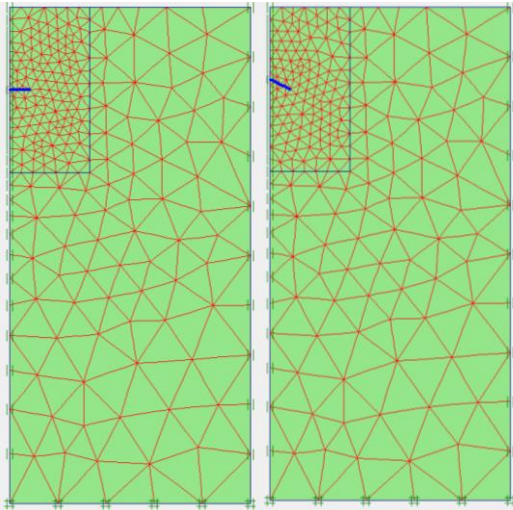
programın özeti ve deneylerden elde edilen çekme kapasitesi (Q_{ult}) Çizelge 2'de görüldüğü gibidir. Tüm deneyler için çekme kapasitesi (Q_{ult}) deneyler sırasında ölçülen maksimum çekme yükü olarak dikkate alınmıştır.

Çizelge 2. Deney programı ve deneylerden elde edilen çekme kapasiteleri

Test Serisi	Test No	Ankraj Çapı (D, mm)	Çan Açısı (Derece)	Rölatif Sıklık (D_r , %)	Gömülme Oranı (H/D)	Ankraj Tipi	Çekme Kapasitesi (Q_{ult} , N)
Seri I	1A	50	$\alpha=0^\circ$	65	2	Dairesel	25,11
	1B	50	$\alpha=25^\circ$	65	2	Çan Tipi	23,05
	1C	50	$\alpha=35^\circ$	65	2	Çan Tipi	20,69
Seri II	2A	100	$\alpha=0^\circ$	65	2	Dairesel	162,99
	2B	100	$\alpha=25^\circ$	65	2	Çan Tipi	151,41
	2C	100	$\alpha=35^\circ$	65	2	Çan Tipi	138,67
Seri III	3A	150	$\alpha=0^\circ$	65	2	Dairesel	447,38
	3B	150	$\alpha=25^\circ$	65	2	Çan Tipi	400,70
	3C	150	$\alpha=35^\circ$	65	2	Çan Tipi	386,38
Seri IV	4A	50	$\alpha=25^\circ$	65	1	Çan Tipi	5,30
	4B	50	$\alpha=25^\circ$	65	2	Çan Tipi	23,05
	4C	50	$\alpha=25^\circ$	65	3	Çan Tipi	63,55
	4D	50	$\alpha=25^\circ$	65	4	Çan Tipi	119,64
	4E	50	$\alpha=25^\circ$	65	5	Çan Tipi	180,05
Seri V	5A	100	$\alpha=25^\circ$	65	1	Çan Tipi	50,80
	5B	100	$\alpha=25^\circ$	65	2	Çan Tipi	151,41
	5C	100	$\alpha=25^\circ$	65	3	Çan Tipi	306,36
	5D	100	$\alpha=25^\circ$	65	4	Çan Tipi	653,12
Seri VI	6A	150	$\alpha=25^\circ$	65	1	Çan Tipi	82,18
	6B	150	$\alpha=25^\circ$	65	2	Çan Tipi	400,70
	6C	150	$\alpha=25^\circ$	65	3	Çan Tipi	1074,42
Seri VII	5A	50	-	65	1	Helisel	7,45
	5B	50	-	65	2	Helisel	26,87
	5C	50	-	65	3	Helisel	71,78
Seri VIII	6A	100	$\alpha=35^\circ$	35	3	Çan Tipi	213,59
	6B	100	$\alpha=35^\circ$	65	3	Çan Tipi	276,35
	6C	100	$\alpha=35^\circ$	85	3	Çan Tipi	341,66

3.2. Sayısal Analizler

Deneyel çalışmanın sayısal analizini gerçekleştirmek için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla, PLAXIS 2D bilgisayar programı kullanarak deneyel çalışma modellenmiş ve sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinin geometrik modeli, iki boyutlu ve eksenel simetrik olarak oluşturulmuştur. Eksenel simetrik koşullarda, geometrik modelin genişliği 300 mm yüksekliği ise 600 mm'dir. Zemin ortamı 15 düğümlü üçgen elemanlarla modellenmiştir. Deney ortamı sonlu elemanlara ayrılırken, ankraj etrafında ağ sıklaştırması yapılmıştır. Deneylerde kullanılan helisel ankraj, heliselin ankrajın çapına eşit çaplı dairesel ankraj gibi düşünülüp [31] paket programda mevcut olan "plate eleman" olarak modellenmiştir. Yine benzer şekilde, deneylerde kullanılan çan tipi ankraj, çan tipi ankrajın çapına eşit çaplı dairesel ankraj gibi düşünülüp, plate eleman olarak modellenmiştir. Fakat plate elemana, çan tipi ankrajın açısına eşit bir eğim verilmiştir. Dairesel ve çan tipi ankraja ait PLAXIS 2D bilgisayar programından oluşturulmuş sonlu elemanlar ağı Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 6. Dairesel (solda) ve çan tipi ankraja (sağda) ait sonlu elemanlar ağı

Model ankraj, Lineer Elastik malzeme modeli kullanılarak modellenmiş olup, malzeme

özellikleri ise, $EA=5,00 \times 10^6$ kN/m, $EI=8500$ kNm²/m'dir. Analizlerde kum zeminin davranışı Pekleşen Zemin modeli (Hardening Soil) ile modellenmiştir. Kum zeminin model parametreleri Çizelge 3'te verilmektedir.

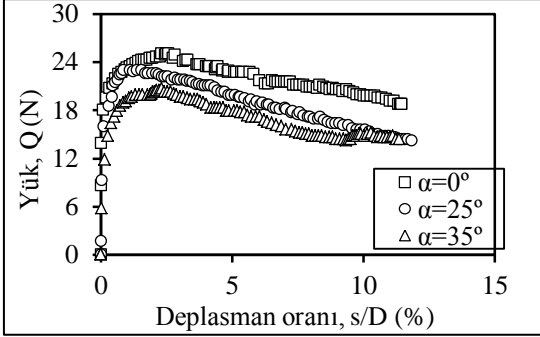
Çizelge 3. Kum zemine ait model parametreleri

Parametre Adı	Simge	Birim	Değeri
Sekant rijitliği	E_{50}	kN/m ³	25000
Başlangıç rijitliği	E_{oed}	kN/m ³	25000
Yükleme boşaltma rijitliği	E_{ur}	kN/m ³	60000
Kuvvet	m	-	0,5
İçsel sürtünme açısı	ϕ	(°)	38
Dilatasyon açısı	ψ	(°)	8
Kohezyon	c	kN/m ³	0,1
Poisson oranı	ν	-	0,2
Sükûnetteki yanıl zemin basınç katsayısı	K_o	-	0,384
Göçme oranı	R_f	-	09
Azaltma faktörü	R_{inter}	-	0,9

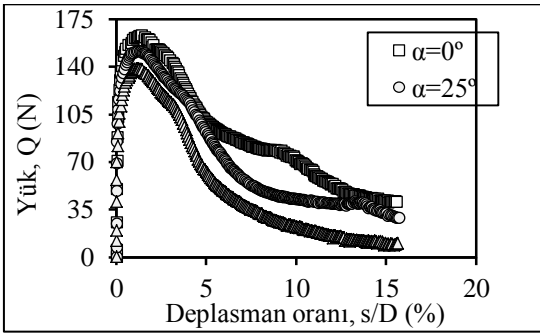
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Çan Açısının Etkisi

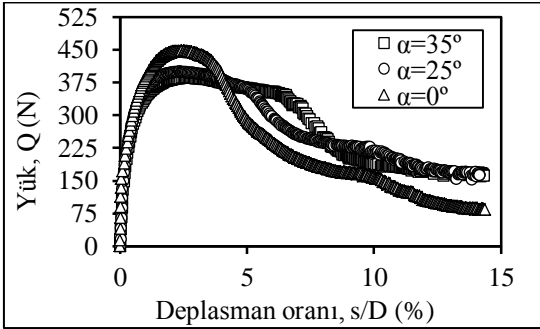
Seri I, Seri II ve Seri III deneylerinde çan açısının etkisi incelenmiştir. Bunun için dairesel ankraj ($\alpha=0^\circ$) ile 25° ve 30° çan açısına sahip çan tipi ankrajların çekme davranışları kıyaslanmıştır. 50, 100 ve 150 mm çaplı ankrajlar kullanılmıştır. Deneyler $H/D=2$ (H: ankrajın gömülme derinliği, D: ankrajın çapı) gömülme oranında %65 rölatif sıklıkta gerçekleştirilmiştir. Seri I, Seri II ve Seri III deneylerine ait yük (Q) – deplasman oranı (s/D) grafikleri sırası ile Şekil 7, 8 ve 9'da görüldüğü gibidir. Deplasman oranı yüzde cinsindedir. "s" deplasman miktarı "D" ankraj çapıdır.



Şekil 7. Seri I deneylerine ait yük-deplasman grafiği (D=50 mm)



Şekil 8. Seri II deneylerine ait yük-deplasman grafiği (D=100 mm)



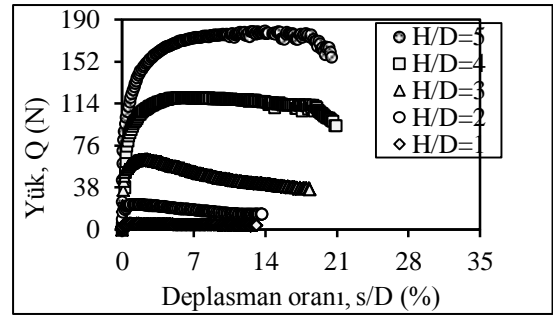
Şekil 9. Seri III deneylerine ait yük-deplasman grafiği (D=150 mm)

Şekil 7, 8 ve 9 incelendiğinde ankrāj açısı arttıkça çekme kapasitesi (Q_{ult}) düşmektedir. Fakat bu azalma az miktardır.

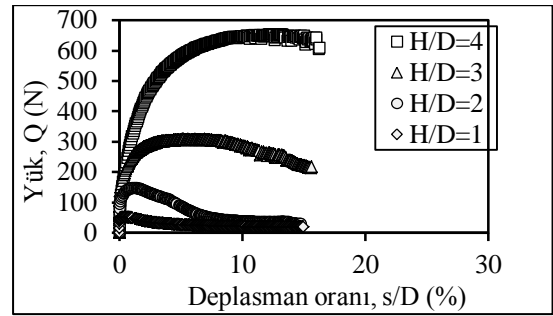
4.2. Gömülme Derinliğinin Etkisi

Seri IV, Seri V ve Seri VI deneylerinde çan tipi ankrājın Seri VII deneylerinde helisel ankrājın

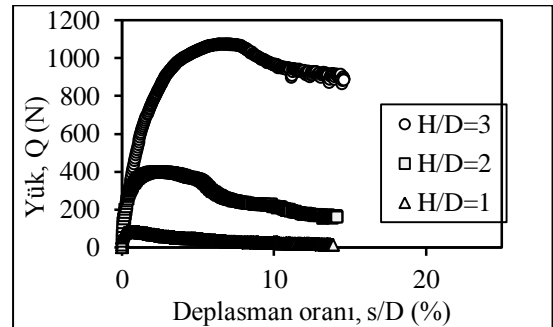
farklı gömülme derinliklerindeki çekme davranışları araştırılmıştır. Bu deney serilerinde 50, 100 ve 150 mm çaplı çan tipi ankrājlar, 50 mm çaplı helisel ankrājlar kullanılmıştır. Çan tipi ankrājların çan açısı $\alpha=25^\circ$ 'dir. Deneyler %65 rölative sıklıkta gerçekleştirilmiştir. Seri IV, Seri V, Seri VI, Seri VII deneylerine ait yük – deplasman oranı grafikleri sırası ile Şekil 10-13'te gösterilmiştir.



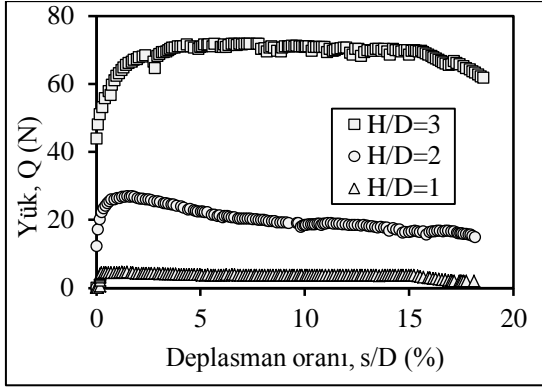
Şekil 10. Seri IV deneylerine ait yük-deplasman grafiği (D=50 mm, çan tipi)



Şekil 11. Seri V deneylerine ait yük-deplasman grafiği (D=100 mm, çan tipi)



Şekil 12. Seri VI deneylerine ait yük-deplasman grafiği (D=150 mm, çan tipi)

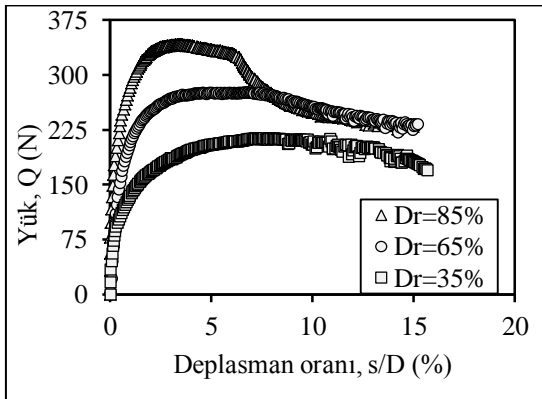


Şekil 13. Seri VII deneylerine ait yük-deplasman grafiği (D=50 mm, helisel)

Şekil 10, 11, 12 ve 13 incelendiğinde gömülme derinliği arttıkça çekme kapasitesinin (Q_{ult}) arttığı görülmektedir.

4.3. Rölatif Sıklığın Etkisi

Seri VIII deneyleri rölatif sıklığın çekme davranışına etkisini incelemek için gerçekleştirilmiştir. Deneylerde $\alpha=35^\circ$ ankraj açısına sahip 100 mm çapında çan tipi ankrajlar için yapılmıştır. Gömülme derinliği ise $H/D=3$ 'tür. Seri VIII deneylerine ait yük – deplasman oranı grafiği Şekil 14'te sunulmuştur.

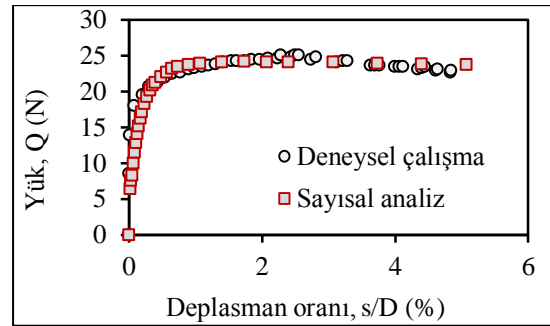


Şekil 14. Seri VIII deneylerine ait yük-deplasman grafiği (D=100 mm, çan tipi)

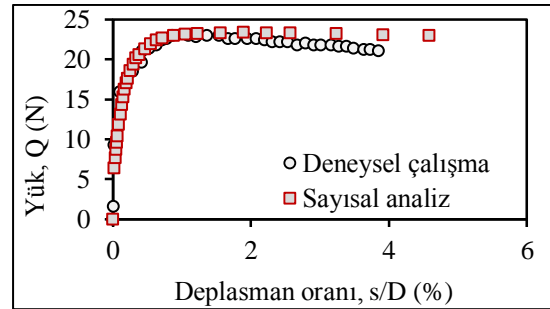
Şekil 14'te görüldüğü gibi rölatif sıklık arttıkça çekme kapasitesi (Q_{ult}) artmaktadır.

4.4. Sayısal Analizler ve Kopma Faktörü

Deneyel çalışmaları modellemek için PLAXIS 2D paket programı kullanılmıştır. Örnek olarak 1A ve 1B deneyleri sonucunda elde edilen yük – deplasman oranı grafiği ile bu deneylere ait modellerin sayısal analizlerinden elde edilen sonuçlar sırası ile Şekil 15 ve 16'da sunulmuştur.



Şekil 15. 1A deneyine ve deneyin sayısal analizine ait yük-deplasman grafiği (D=50 mm, dairesel)



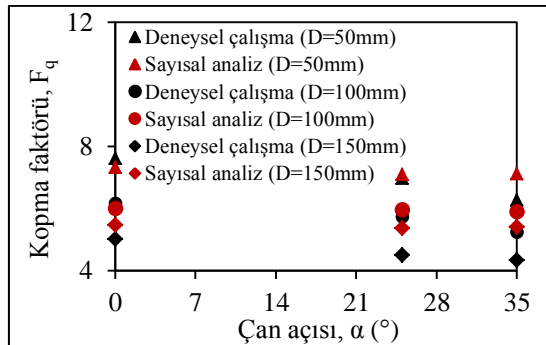
Şekil 16. 1B deneyine ve deneyin sayısal analizine ait yük-deplasman grafiği (D=50 mm, $\alpha=25^\circ$, çan tipi)

Bu kısma kadar deney sonuçları geleneksel yük-deplasman grafikleri şeklinde sunulmuştur. Hem sonuçların daha genel bir şekilde ifade edilmesi hem de deneysel çalışmaları sayısal analizler ve literatürdeki diğer çalışmalar kıyaslamak için, boyutsuz bir parametre olan, kopma faktörü (F_q) kullanılmıştır. Kopma faktörü aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır [16].

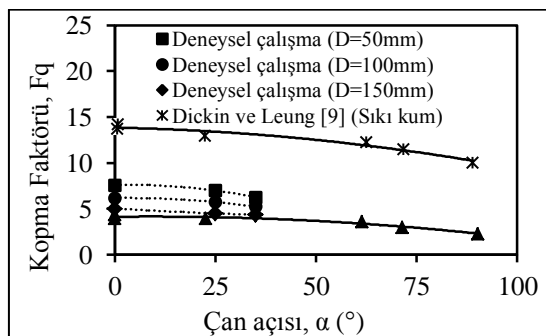
$$F_q = \frac{Q_{ult}}{\gamma \times A \times H} \quad (1)$$

Bu denklemde kopma faktörü olan “ F_q ” hesaplanırken; “ Q_{ult} ” çekme kapasitesi, “ A ” en kesit alanı ($=\pi \times D^2 / 4$), “ γ ” efektif birim hacim ağırlığı “ H ” ise ankrajın gömülme derinliği olarak dikkate alınır.

Seri I, II ve III deneylerinde sırası ile 50, 100 ve 150 mm çaplarındaki ankrajlar %65 sıklıktaki kuma $H/D=2$ derinliğine gömülmüş ve çan açısının etkisi incelenmiştir. Şekil 17’de Seri I, II ve III deneyleri ile bu deneylere ait sayısal analizlerin kopma faktörleri görülmektedir. Şekil 17’de görüldüğü gibi ankraj açısı arttıkça kopma faktörü çok az bir miktar azalmaktadır. Şekil 18’de ise Seri I, II ve III deneyleri literatürdeki bir çalışma ile kopma faktörleri cinsinden kıyaslanmıştır. Kıyaslamada deneysel çalışmadaki kopma faktörünün (orta sıkı) literatür çalışmasındaki sıkı ve gevşek durumlar arasında kaldığı ve eğrilerin davranışlarının benzer olduğu görülmüştür.

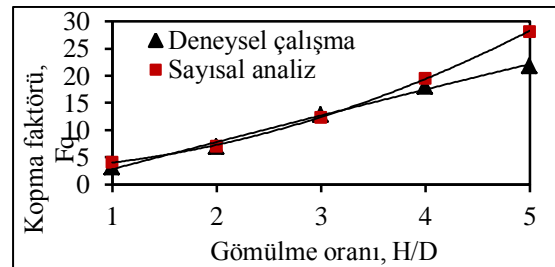


Şekil 17. Seri I, II ve III deneylerine ve bu deneylere ait sayısal analizlere ait kopma faktörleri

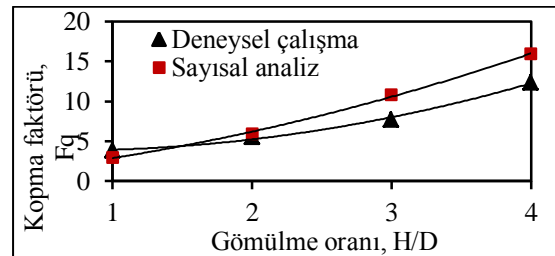


Şekil 18. Seri I, II ve III deneylerinin literatürdeki bir çalışma ile karşılaştırılması

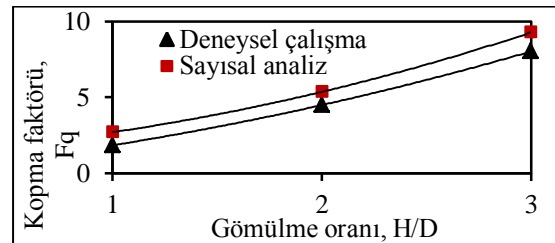
Seri IV, V ve VI deneylerinde çan açısı 25° olan sırası ile 50,100 ve 150 mm çaplarında çan tipi ankrajlar %65 sıklıktaki kuma farklı derinliklerde gömülmüş ve gömülme oranının etkisi incelenmiştir. Şekil 19, 20 ve 21’de sırası ile Seri IV, V ve VI deneylerine ve bu deneylere ait sayısal analizlere ait kopma faktörleri görülmektedir. Şekil 19, 20 ve 21’de görüldüğü gibi gömülme oranı arttıkça kopma faktörü değeri de artmaktadır. Ayrıca sayısal analizler ile deneysel çalışmadan elde edilen kopma faktörleri hemen hemen birbirine yakın değerlerdedir.



Şekil 19. Seri IV deneyleri ile bu deneylere ait sayısal analizlerin kopma faktörlerinin karşılaştırılması



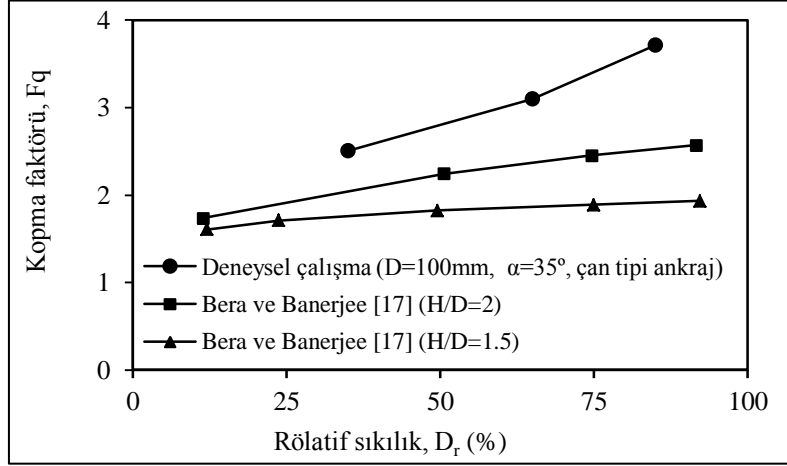
Şekil 20. Seri V deneyleri ile bu deneylere ait sayısal analizlerin kopma faktörlerinin karşılaştırılması



Şekil 21. Seri VI deneyleri ile bu deneylere ait sayısal analizlerin kopma faktörlerinin karşılaştırılması

Seri VIII deneylerinde rölatif sıklığın etkisi H/D=3 derinliğine gömülmüş çan tipi ankraj için incelenmiştir. Bu deneylere ait kopma faktörleri hesaplanarak literatürdeki bir çalışma ile

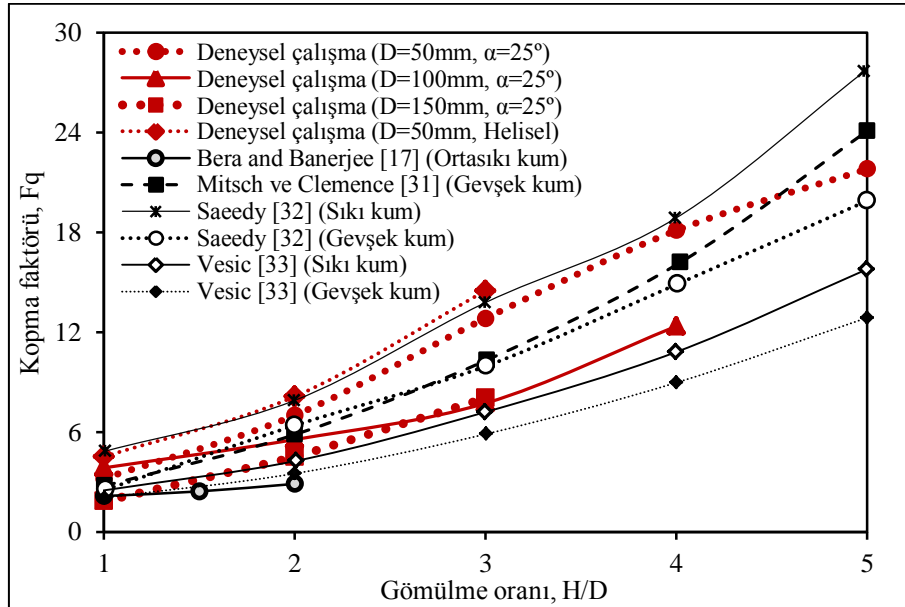
karşılaştırılmıştır ve Şekil 22’de görüldüğü gibidir. Şekil 22’de görüldüğü gibi deneysel çalışmadan elde edilen koma faktörleri eğrisi literatürdeki çalışma ile benzer davranışı sergilemektedir.



Şekil 22. Seri VIII deneylerinin literatürdeki bir çalışma ile karşılaştırılması

Seri IV, V ve VI (çan tipi) ile Seri VII (helisel ankraj) deneylerine ait kopma faktörleri literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır ve Şekil 23’de görüldüğü gibidir. Şekil 23’de

görüldüğü gibi elde edilen eğrilerin davranışları literatürdeki çalışmalar ile uyum içindedir. Ayrıca aynı çaplı (50 mm) helisel ve çan tipi ankrajların kopma faktörü değerleri birbirine çok yakındır.



Şekil 23. Seri IV, V ve VI (çan tipi) ile Seri VII (helisel ankraj) deneylerine ait kopma faktörleri literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırılması

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, kum zeminlere gömülü ankraj plakalarının çekme davranışı model deneyler yapılarak ve sayısal analizler gerçekleştirilerek belirlenmiştir. Ankraj plakası olarak çan tipi, dairesel ve helisel ankraj kullanılmıştır. Çan tipi ankrajın çan açısı (0° , 25° ve 35°), temel çapı (50, 100 ve 150 mm), gömülme derinliği ($H/D=1\sim 5$) ve rölatif sıklığı ($D_r=\%35$, $\%65$ ve $\%85$) değiştirilerek bu parametrelerin çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Kopma faktörü tanımlanarak deneysel çalışmalar sayısal analizler ve literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalardan ve sayısal analizlerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Yapılan çalışmalar ile çan tipi ankrajın eğimli yüzeyinin sahip olduğu açının çekme kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Çekme kapasitesi ve kopma faktörü ankraj açısının değişiminden çok fazla etkilenmemektedir. Fakat çekme kapasitesi ve kopma faktörü ankraj açısı arttıkça az bir miktar azalmaktadır.
2. Araştırmalarda, çan tipi ankrajın çekme kapasitesi dairesel ve helisel ankrajınki ile karşılaştırılmıştır. Aynı çaptaki çan tipi, dairesel ve helisel ankrajın çekme kapasitesi ve kopma faktörü değerleri hemen hemen birbirine yakındır.
3. 50, 100 ve 150 mm olmak üzere üç farklı çaptaki çan tipi ankrajın çekme kapasitesi incelenerek ankraj çapının etkisi araştırılmıştır. Çan tipi ankrajın çapı arttıkça çekme kapasitesi artmakta kopma faktörü ise az bir miktar azalmaktadır.
4. Ankrajın kum içine gömülme oranının çekme kapasitesine etkisi araştırmalar kapsamında incelenmiştir. Gömülme oranı arttıkça çekme kapasitesi ve kopma faktörü değerleri artmaktadır.
5. Kumun sahip olduğu rölatif sıklığın çekme kapasitesine etkisinin olduğu görülmüştür. Rölatif sıklık arttıkça çekme kapasitesi ve kopma faktörü değerleri artmaktadır.
6. Deneysel çalışmalar sayısal analizler ile modellenmiştir. Böylece sonuçların tutarlılığı

kontrol edilmiş ve sonradan yapılabilecek parametrik çalışmalara ışık tutacağı düşünülmüştür. Deneysel çalışmalar ile sayısal analizlere ait kopma faktörleri karşılaştırıldığında hemen hemen benzer davranışlar elde edilmiştir. Ayrıca deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalar ile de kıyaslanmıştır. Yapılan çalışmalar literatürdeki çalışmalar ile uyum içerisinde.

6. KAYNAKLAR

1. Majer, P., 1955. Zur Berechnung von zugfundamenten. Österreichische Bauzeitung (in German) 10(5):85–90.
2. Balla, A., 1961. The Resistance of Breaking-Out of Mushroom Foundations for Pylons, Proceedings of the 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris, 1, 569–576.
3. Baker, W.H., Kondner, R.L., 1966. Pullout Load Capacity of Circular Earth Anchor Buried in Sand. National Academy of Sciences, Highway Research Board, Report No. 108, 1-10.
4. Adams, J.I., Hayes, D.C., 1967. The Uplift Capacity of Shallow Foundations, Ontario Hydro Research Quarterly, 19(1), 1–13.
5. Sutherland, H.B., Finlay, T.W., Fadl, M.O., 1982. Uplift Capacity of Embedded Anchors in Sand, In Proceedings of the 3rd International Conference on the Behaviour of Offshore Structures, Cambridge, Mass., 2, 451–463.
6. Das, B. M., Jin, Y. 1987. Uplift Capacity of Model Group Anchors in Sand', In Foundations for Transmission Towers, (ed. B. M. Das), 57– 71, New York, ASCE.
7. Murray, E.J., Geddes, J.D., 1987. Uplift Behaviour of Plates in Sand. Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE 113 (3), 202-215.
8. Subbarao C, Mukhopadhyay S, Sinha J, 1988. Geotextiles to Improve Uplift Resistance of Anchors. In: Proceedings of the First Indian Geotextiles Conference on Reinforced Soil and Geotextiles, Bombay, India, Balkema, Rotterdam, F3–F8.

9. Dickin, E.A, Leung, C.F, 1990. Performance of Piles With Enlarged Bases Subjected to Uplift Forces. *Can Geotech J* 27(5), 546–556.
10. Hanna, A. M, Ghaly, A. M, 1994. Ultimate Pull out Resistance of Groups of Vertical Anchors. *Can Geotech J* 31(5), 673–682.
11. Ilamparuthi, K, Dickin, E. A, 2001. The Influence of Soil Reinforcement on the Uplift Behaviour of Belled Piles Embedded in Sand. *Geotext Geomembr* 19(1), 1–22.
12. Ilamparuthi, K, Dickin, E. A, 2001. Prediction of the Uplift Response of Model Belled Piles in Geogrid-Cell-Reinforced Sand. *Geotext Geomembr* 19(1), 89–109.
13. Hamza, AH, 1994. Transmission Line Tower Representation and its Effect on the Tower Surge Response Calculation. *Energy Convers Manag* 35(12), 1087–1096.
14. Ok, B., 2014. Ankrāj Plakalarının Farklı Zemin Koşullarındaki Çekme Kapasitelerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmaniye.
15. Niroumand H., Kassim K. A., Nazir R., 2010. Uplift Response of Horizontal Strip Anchor Plates in Cohesionless Soil, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 15, 1967-1974.
16. Das, B. M., 1999. *Shallow Foundations: Bearing Capacity and Settlement*. CRC Press, U.S.A.
17. Bera, A. K., Banerjee, U., 2013. Uplift Capacity of Model Bell Shaped Anchor Embedded in Sand. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 7(1), 84-90.
18. Ravichandran P. T., Ilamparuthi K., Toufeeq M. M., 2008. Investigations on Uplift Behaviour of Plate Anchor in Reinforced Sand Bed, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 13, 1-8.
19. Dickin, E. A., Laman, M., 2007. Uplift Response of Strip Anchors in Cohesionless Soil, *Advances in Engineering Software*, 38 (8-9), 618-625.
20. Ghaly, A. M., Hanna, A. M., Hanna, M., 1991. Uplift Behaviour of Screw Anchors in Sand, 11: Hydrostatic and Flow Conditions, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 117 (5), 794-808.
21. Ilamparuthi, K, Dickin, E. A, Muthukrishnaiah K. 2002. Experimental Investigation of the Uplift Capacity of Circular Plate Anchors in Sand. *Can Geotech J*, 39, 648–664.
22. Krishnaswamy, N. R., Parashar, S.P., 1994. Uplift behaviour of plate anchors with geosynthetics. *Geotextiles and Geomembranes* 13 (2), 67-89.
23. Sarıcı T., Ok, B., Demir, A., Eroğlu M., An Experimental Study for Uplift Capacity of Anchor Plates Embedded in Sandy Soil, 12th International Congress on Advances in Civil Engineering-ACE 2016, İstanbul, Türkiye, 21-23 Eylül 2016, 1464, 1-9.
24. ASTM D 854-14: Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Soils by Water Pycnometer.
25. ASTM D 4253-00: Standart Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table.
26. ASTM D 4254-00: Standart Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density.
27. ASTM C136/C136M-14 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
28. ASTM D2487-11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).
29. ASTM D 3080-98: Standard Test Methods for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.
30. Merifield, R. S., 2011. Ultimate Uplift Capacity of Multiplate Helical Type Anchors in Clay, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 137(7), 704-716.
31. Mitsch, M. P. and Clemence, S. P., 1985. The Uplift Capacity of Helix Anchors in Sand. In *Uplift Behavior of Anchor Foundations in Soil*, ASCE, 26-47.
32. Saeedy, H. S., 1987. Stability of Circular Vertical Earth Anchors. *Canadian Geotechnical Journal*, 24(3), 452-456.
33. Vesic, A. S., 1971. Breakout Resistance of Objects Embedded in Ocean Bottom, *J. Soil Mechan. Found. Eng.*, 97, (9), 1183–1205.

Daire Eksenli Yapı Elemanlarının Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi ile Statik Analizi

Timuçin Alp ASLAN^{*1}, Ahmad Reshad NOORI¹ ve Beytullah TEMEL¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Geliş tarihi: 03.01.2017

Kabul tarihi: 14.03.2017

Öz

Bu çalışmada, geometrik özellikleri eksen boyunca değişen, düzlemi içinde ve düzlemine dik yüklü eğri eksenli çubukların statik yükler altında analizleri incelenmiştir. Analizlerde homojen, izotropik ve elastik malzemeler seçilmiştir. Bu tür yapı elemanlarının statik yükler altında davranışını idare eden temel denklemler özetlenmiş, kanonik formda elde edilen birinci mertebeden adi diferansiyel denklem takımlarının çözümleri Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi (TFY) ile yapılmıştır. Düzlemsel yapı elemanlarının statik analizleri için genel amaçlı Fortran dilinde bilgisayar programları hazırlanmıştır. Hazırlanan bilgisayar programlarının kontrolü, literatürde mevcut değişik yöntemlerin sonuçları ve analitik çözümler ile karşılaştırılarak, literatür ile uyumlu ve etkin oldukları gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Eğri eksenli çubuklar, İki-noktalı sınır değer problemleri, Tamamlayıcı fonksiyonlar yöntemi

Static Analysis of the Circular Structural Elements with the Complementary Functions Method

Abstract

In this study, in-plane loaded and perpendicularly loaded to plane curved rods with variable geometric properties along the axis subjected to static loads are theoretically investigated. The materials of the structural elements are assumed to be homogeneous, isotropic and elastic. The governing equations of such structural elements under static loads have been summarized. The obtained canonical form of the first order ordinary differential equations has been solved by Complementary Functions Method (CFM). For the suggested models, the computer programs with the static analysis of the planar curved structural elements are coded in Fortran. Verification of the computer programs are performed by comparing the results of the present methods with the other numerical methods and analytical solutions. The procedures have been proved to be highly accurate and efficient compared to various other numerical methods available in the literatures.

Keywords: Curved axis rods, Two-point boundary value problems, Complementary functions method

*Sorumlu (Corresponding author) yazar: Timuçin Alp ASLAN, taslan@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Bazı mühendislik problemlerinin iki noktalı sınır değer problemleri olarak etkin çözümlerinin araştırılması hala güncelliğini devam ettirmektedir. Bu tür problemlere; doğrusal ve eğrisel çubuk sistemleri gibi birçok yapı elemanları örnek olarak verilebilir. Çubuklar, günümüzde birçok mühendislik alanında; örneğin inşaat, makina, otomotiv gibi önemli endüstri kollarında yapısal eleman olarak kullanılmaktadır. Genellikle inşaat mühendisliğinde kemer, köprü ve merdivenler gibi eğri eksenli yapı elemanları olarak kullanılmaktadır. Bu sebeptendir ki, yukarıda bahsedilen yapı elemanlarının statik yükler altında davranışının belirlenmesi önem arz etmektedir.

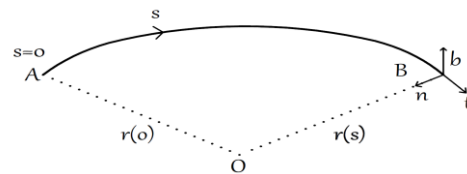
Özbek [1], eğri eksenli çubukların statik davranışlarını incelemiştir. Deplasman ve kesit tesirlerini, birbirleriyle ardışık türevler ile ilk defa ifade ederek elde etmiştir. İnan [2], elastik çubukların genel teorisini incelemiş, buradan doğru, düzlemsel ve daire eksenli çubukların taşıma matrisini elde ederek, çözümlerde taşıma matrisi yöntemini uygulamıştır. Haktanır ve Kırıl [3], eksen düzleminde herhangi bir eğri olabilen, kesit geometrisi eksen boyunca değişebilen çubukların, düzlemi içinde veya düzlemine dik, çubuk eksen boyunca değişken yükler altında, çubuk statikini idare eden diferansiyel denklemlerin çözümünde Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi (TFY)'ni kullanmışlardır. Bayhan [4], daire eksenli düzlem çerçevelerin statik yükler altındaki davranışları Taşıma ve Rijitlik Matrisi yöntemi ile gerçekleştirmiştir. Daire eksenli elemanların eleman rijitlik matrisi ve eleman yük vektörleri Taşıma Matrisi yöntemiyle elde etmiştir. Haktanır [5], elastik ve izotrop malzemeye sahip düzlemsel çubukların statik davranışını TFY'ne dayalı rijitlik matrisi yöntemiyle incelemiştir. Elde ettiği denklemlerin çözümünde Runge-Kutta 4 (RK4) algoritmasını kullanmıştır. Bozkurt [6], eğri eksenli yapıların statik yükler altında eğilmesini hesaplamak için, (TFY'ni kullanmıştır. Çözümlerde Taylor algoritmasını kullanmıştır. Çalım [7], eğri eksenli çubuk sistemlerin statik yükler altındaki davranışlarını idare eden denklemleri, kanonik halde birinci mertebeden adi

diferansiyel denklem takımı halinde elde etmiştir. Bu denklemleri (RK4) algoritmasını kullanarak direk Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi ve Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemine dayalı Rijitlik Matrisi yöntemi ile çözmüştür. Karaca [8], düzlemi içinde ve düzlemine dik yüklü daire eksenli çubukların statik ve dinamik analizlerini teorik olarak incelemiştir. Yapılan araştırmalar sonunda, eğri eksenli düzlemsel yapı elemanlarının statik yüklemeler altındaki çözümlerinin farklı yöntemlerle yapıldığına dair birçok çalışmaya rastlanmaktadır. Bu çalışmada geometrik özellikleri ve yükleri eksen boyunca değişen, düzlemi içinde veya düzlemine dik yüklü çubukların, davranışını idare eden diferansiyel denklemlerin çözümlerinde TFY kullanılmıştır. TFY, iki noktalı sınır değer problemlerini başlangıç değer problemine dönüştüren bir sayısal çözüm yöntemidir. Bu çalışmada başlangıç değer probleminin çözümleri için bu çalışmada 5. mertebe Runge-Kutta (RK5) algoritması kullanılmıştır. Önceki çalışmalarda, analizlerde (RK4) algoritması kullanılmıştır. Ele alınan çubuk malzemesi homojen, izotropik ve lineer elastiktir. Daire eksenli çubuklarda ara mesnet ve ara tekil yüklerin bulunduğu durumlarda, Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi ile doğrudan çözümler kolaylıkla yapılamamaktadır. Bu nedenle, TFY ile eleman rijitlik matrisleri ve eleman yük vektörleri bulunarak, analizler rijitlik matrisi metodu ile yapılabilmektedir. Bu amaçla her bir durum için Fortran dilinde bilgisayar programları hazırlanmıştır. Hazırlanan programdan elde edilen sonuçlar, literatürde verilen analitik çözümler tablolar üzerinde karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Çubuk eksenini herhangi bir eğri düşünülecek olursa; böyle bir eğri:

$\mathbf{r} = \mathbf{r}(s)$ yer vektörü ile tarif edilir. (Şekil 1)



Şekil 1. Çubuk eksenini

Burada s eğri üzerinde başlangıç olarak seçilen bir A noktası ile B noktası arasındaki mesafeyi ifade eder, s seçilen doğrultuda pozitiftir. Eğri eksenli çubuklarda, eksene bağlı hareketli bir koordinat takımının $(\mathbf{t}, \mathbf{n}, \mathbf{b})$ seçilmesi problemin tanımlanmasında kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca her üç birim vektör de yer vektörüne bağlıdır.

Burada \mathbf{t} , \mathbf{n} ve \mathbf{b} sırasıyla teğet, normal ve binormal birim vektörleri olarak tarif edilmektedir. \mathbf{t} artan s yönünde, \mathbf{n} teğet birim vektöre dik olup, yönü eğrilik merkezine doğrudur. \mathbf{b} , binormal birim vektör olup, \mathbf{t} ve \mathbf{n} birim vektörlerinin oluşturdukları düzleme diktir. Bu şekilde tarif edilen; \mathbf{t} , \mathbf{n} , \mathbf{b} birim vektörlerinin teşkil ettiği takım sağ el kuralına göre teşkil edilir ve aralarında Frenet formülleri denilen türevsel bağıntılar vardır.

$$\frac{d\mathbf{t}}{ds} = \chi \mathbf{n}, \quad \frac{d\mathbf{n}}{ds} = \tau \mathbf{b} - \chi \mathbf{t}, \quad \frac{d\mathbf{b}}{ds} = \tau \mathbf{n} \quad (1)$$

Burada χ , eğrilik olup daima pozitiftir. τ , tabii burulmayı ifade eder ve uzay eğrilerinde sıfırdan farklı, düzlemsel eğriler için sıfırdır. $\tau = 0$ olan eğrilere doğru denilmektedir. Daire için ise, $\chi = \text{sabit}$ dir.

Statik halde denge, bünye ve uygunluk denklemlerinden elde edilen ifadeler aşağıda verilmektedir.

$$\frac{d\mathbf{T}}{ds} + \mathbf{p} = \mathbf{0} \quad (2)$$

$$\frac{d\mathbf{M}}{ds} + \mathbf{t} \times \mathbf{T} + \mathbf{m} = \mathbf{0} \quad (3)$$

$$\frac{d\mathbf{\Omega}}{ds} - [D]^{-1} \mathbf{M} = \mathbf{0} \quad (4)$$

$$\frac{d\mathbf{U}}{ds} + \mathbf{t} \times \mathbf{\Omega} - [C]^{-1} \mathbf{T} = \mathbf{0} \quad (5)$$

Burada hesaplanması gereken iç kuvvetler, \mathbf{T} ve \mathbf{M} ile; yer değiştirme ve dönme, \mathbf{U} ve $\mathbf{\Omega}$ olmak üzere dört vektörel büyüklük vardır. Hesaplarda kolaylık sağlaması bakımından skaler denklemlerle işlem yapılması uygun olacaktır. Eksen takımı olarak $(\mathbf{t}, \mathbf{n}, \mathbf{b})$ hareketli takım alınmış olup, bu vektörel ifadeler sözü edilen hareketli takıma aktarılmıştır. Hesaplarda serbest

değişken s yerine ϕ ifadesi kullanılmıştır. Aralarında $ds = r d\phi$ bağıntısı vardır. Eğrilik ise, $\chi = 1/r$ şeklinde tarif edilir. Böylece eğri eksenli çubukların statik yükler altındaki davranışı idare eden genel denklemler vektörel formda elde edilmiş ve sonra sayısal çözüm yapılacağından, denklemler hareketli takıma aktarılmıştır. Denklemlerin, düzlemi içinde ve düzlemine dik yüklü olmak üzere, altışar adet iki gruba ayrılması hesaplamalarda büyük kolaylık sağlayacaktır.

2.1. Düzlemi İçinde Yüklü Hal için Kanonik Denklemler

Bu grupta kanonik halde,

$$\begin{aligned} \frac{dU_t}{d\phi} &= U_n + r \frac{T_t}{C_{tt}} \\ \frac{dU_n}{d\phi} &= -U_t + r \Omega_b + r \frac{T_n}{C_{nn}} \\ \frac{d\Omega_b}{d\phi} &= r \frac{M_b}{D_{bb}} \\ \frac{dT_t}{d\phi} &= T_n - r p_t \\ \frac{dT_n}{d\phi} &= -T_t - r p_n \\ \frac{dM_b}{d\phi} &= -r T_n - r m_b \end{aligned} \quad (6)$$

şeklinde düzlemi içinde yüklü hal için 6 adet olarak elde edilir.

2.2. Düzlemine Dik Yüklü Hal için Kanonik Denklemler

Bu gruptaki kanonik denklemler ise,

$$\begin{aligned} \frac{dU_b}{d\phi} &= -r \Omega_n + r \frac{T_b}{C_{bb}} \\ \frac{d\Omega_t}{d\phi} &= \Omega_n + r \frac{M_t}{D_{tt}} \\ \frac{d\Omega_n}{d\phi} &= -\Omega_t + r \frac{M_n}{D_{nn}} \\ \frac{dT_b}{d\phi} &= -r p_b \\ \frac{dM_t}{d\phi} &= M_n - r m_t \\ \frac{dM_n}{d\phi} &= -M_t + r T_b - r m_n \end{aligned} \quad (7)$$

şeklinde düzlemine dik yüklü hal için 6 adet denklemler olarak elde edilir.

2.3. Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi ile Diferansiyel Denklemlerin Çözümü

Birinci mertebeden 6 adet diferansiyel denklem,

$$\frac{d\{\mathbf{Y}(\phi)\}}{d\phi} = [\mathbf{A}(\phi)]_{6 \times 6} [\mathbf{Y}(\phi)]_{6 \times 1} + [\mathbf{F}(\phi)]_{6 \times 1} \quad (8)$$

şeklinde olsun. Burada ϕ bağımsız değişken, $\{\mathbf{Y}\}$ bilinmeyen bağımlı değişkenleri içeren kolon matris, $[\mathbf{A}]$ diferansiyel geçiş matrisi, $\{\mathbf{F}\}$ yüklemeyi içeren kolon matristir. Düzlem içinde yüklü daire eksenli çubuklar için durum vektörünün elemanları

$$\mathbf{Y}(\phi) = \{U_t(\phi), U_n(\phi), \Omega_b(\phi), T_t(\phi), T_n(\phi), M_b(\phi)\}^T \quad (9)$$

olarak tanımlanmaktadır. Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi, başlangıç şartları yardımıyla (8) denkleminin çözümüne dayanmaktadır. TFY ile sınır değer problemi başlangıç değer problemine indirgenmektedir. Denklemin genel çözümü ise,

$$\{\mathbf{Y}(\phi)\} = \sum_{m=1}^6 C_m (\mathbf{U}^{(m)}(\phi)) + \{\mathbf{V}(\phi)\} \quad (10)$$

şeklinde. $\mathbf{U}^{(m)}(\phi)$ m 'inci bileşenine 1, diğerlerine sıfır değeri verilerek elde edilen homojen çözümdür. $\mathbf{V}(\phi)$ ise, başlangıç şartları sıfır alınarak elde edilen özel çözümdür. Burada C_m integrasyon sabiti sınır şartlarından elde edilmektedir.

2.4. Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemine Dayalı Rijitlik Matrisinin Hesaplanması

Eleman denklemi aşağıdaki şekilde yazılmaktadır.

$$\{\mathbf{p}\} = [\mathbf{k}]\{\mathbf{d}\} + \{\mathbf{f}\} \quad (11)$$

Her düğümde üç serbestlik derecesi olmak üzere, bunun ikisi deplasman birisi dönmedir. Elemanın başlangıç düğümü i , diğer ucu j düğümü olmak üzere eleman deplasman ve eleman uç kuvvetleri:

$$\{\mathbf{d}\} = \{U_t(\phi_i), U_n(\phi_i), \Omega_b(\phi_i), U_t(\phi_j), U_n(\phi_j), \Omega_b(\phi_j)\}^T$$

$$\{\mathbf{p}\} = \{T_t(\phi_i), T_n(\phi_i), M_b(\phi_i), T_t(\phi_j), T_n(\phi_j), M_b(\phi_j)\}^T \quad (12)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Eleman rijitlik matrisini hesaplamak için (8) ifadesindeki eleman uç deplasmanlarına sırasıyla birim deplasman uygulanır. Bu işlem 6 kez tekrarlanır. Ankastrilik uç kuvvetleri ise, bütün uç deplasmanları sıfıra eşitleyerek (8) denkleminin çözümünden hesaplanmaktadır.

$$\{\mathbf{f}\} = \{-T_t(\phi_i), -T_n(\phi_i), -M_b(\phi_i), T_t(\phi_j), T_n(\phi_j), M_b(\phi_j)\}^T \quad (13)$$

Eleman koordinatlarında elde edilen bu denklemlerden sistem koordinatlarına geçmek için aşağıdaki transformasyon işlemi uygulanmalıdır.

$$[\mathbf{k}'] = [\mathbf{T}]^T [\mathbf{k}] [\mathbf{T}]; [\mathbf{f}'] = [\mathbf{T}]^T [\mathbf{f}] \quad (14)$$

Burada T transformasyon matrisi olup eğri eksenli düzlemsel çubuklar için aşağıda verilmektedir. Çubuğun i ve j uçları için dönüşüm matrisleri:

$$\mathbf{T}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{t}_i & 0 \\ 0 & \mathbf{t}_j \end{bmatrix}, \quad \mathbf{t}_i = \begin{bmatrix} \cos\phi_i & -\sin\phi_i & 0 \\ \sin\phi_i & \cos\phi_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{t}_j = \begin{bmatrix} \cos\phi_j & -\sin\phi_j & 0 \\ \sin\phi_j & \cos\phi_j & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Bu şekilde sistem koordinatlarında elde edilen eleman matrislerinin uygun bileşenleri kullanılarak, kodlama tekniği ile sistem rijitlik matrisi ve sistem yük vektörü oluşturulmaktadır.

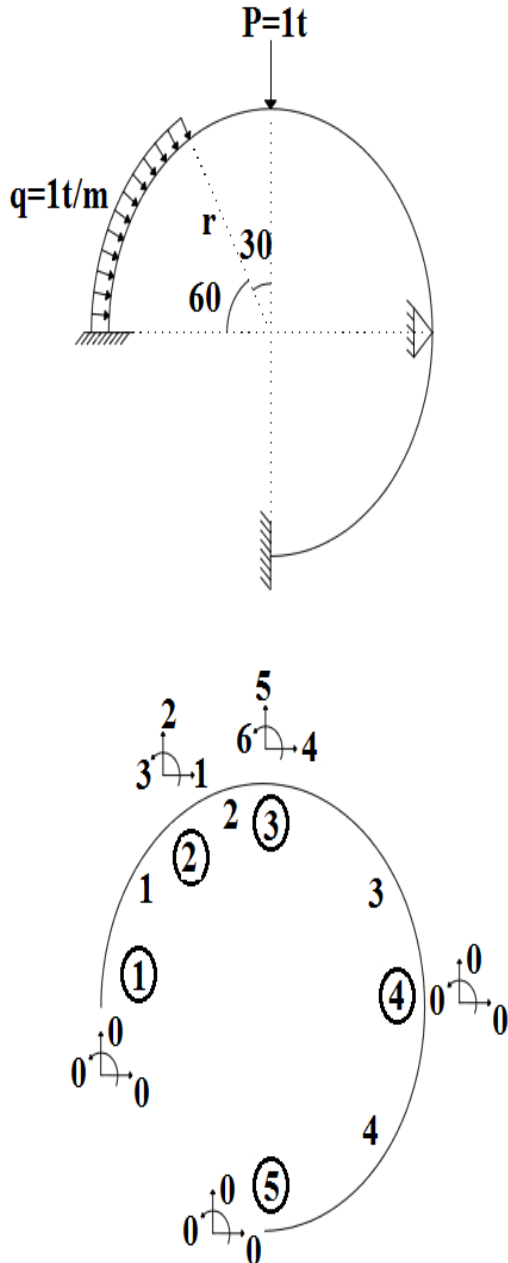
Düzlemine dik yüklü daire eksenli çubuklar için de işlemler benzer şekilde yapılmaktadır.

3. SAYISAL UYGULAMALAR

Örnek 1: Düzlemi içinde yüklü daire eksenli çubuk

Düzlemi içinde yüklü daire eksenli çubuk problemi göz önüne alınmaktadır (Şekil 2). Daire eksenli kirişe, $q_n = 1$ t/m yayılı ve $P = 1$ t şiddetinde tekil yük uygulanmıştır. Geometrik ve malzeme özellikleri: atalet momenti $I_b = 1/12 m^4$, yarıçap $r = 10$ m, elastisite modülü $E = 1 \times 10^6$ t/m², poisson oranı $\nu = 0,3$ ve $A = 1$ m² olarak verilmiştir. Bulunan sonuçlar Çizelge 1'de

verilmektedir. Ayrıca ANSYS [9] programı yardımıyla, 90 adet doğru eksenli eleman kullanılarak bulunan kesit tesirleri Çizelge 1’de karşılaştırılmıştır.



Şekil 2. Düzlemi içinde yüklü daire eksenli çubuk ve kodlama durumu

Çizelge 1. Düzlemi içinde yüklü daire eksenli çubukların uç kuvvetleri

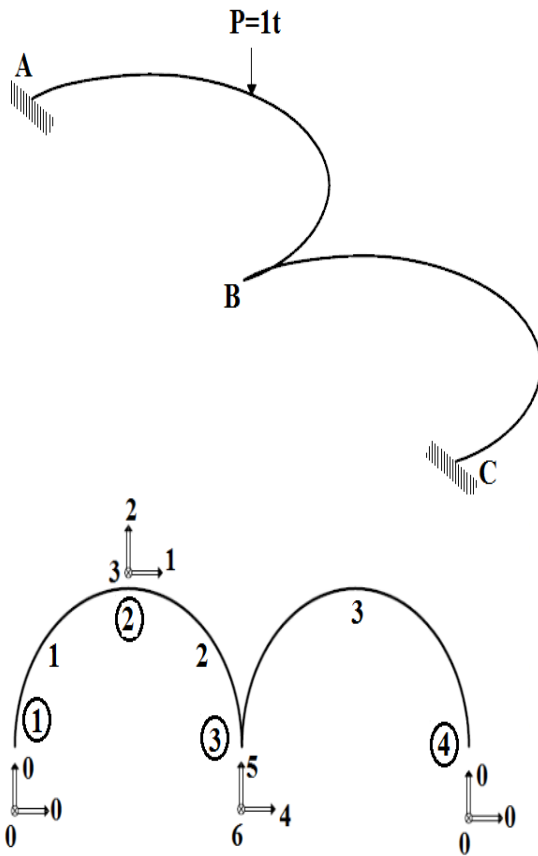
Eleman No	Kesit Tesirleri	Bu çalışma	Bayhan [4] Taşıma Matrisi	ANSYS [9] (90 Eleman)
1	T_{ti}	4,318	4,318	4,32
	T_{ni}	-6,203	-6,203	-6,204
	M_{bi}	-19,052	-19,052	-19,07
	T_{tj}	-1,787	-1,787	-1,788
	T_{nj}	-1,819	-1,819	-1,814
	M_{bj}	-6,262	-6,262	-6,26
2	T_{ti}	1,787	1,787	1,788
	T_{ni}	1,819	1,819	1,814
	M_{bi}	6,262	6,262	6,26
	T_{tj}	-2,457	-2,457	-2,456
	T_{nj}	-0,682	-0,682	-0,68
	M_{bj}	0,438	0,438	0,428
3	T_{ti}	2,457	2,457	2,456
	T_{ni}	1,682	1,682	1,68
	M_{bi}	-0,438	-0,438	-0,428
	T_{tj}	-1,682	-1,682	-1,68
	T_{nj}	2,457	2,457	2,456
	M_{bj}	-7,316	-7,316	-7,333
4	T_{ti}	1,174	1,174	1,207
	T_{ni}	1,675	1,675	1,7
	M_{bi}	7,316	7,316	7,333
	T_{tj}	-1,675	-1,675	-1,7
	T_{nj}	1,174	1,174	1,207
	M_{bj}	-2,309	-2,309	-2,398

Çizelge 1’de görüldüğü gibi, bu çalışma da elde edilen sonuçlar, ANSYS ve literatürde verilen sonuçlar ile uyum içerisindedir.

Örnek 2: Düzlemine dik yüklü iki açıklıklı daire eksenli çubuk

İki yarım daireden oluşan iki ucu ankastre düzlemine dik yüklü daire eksenli çubuk problemi ele alınmaktadır (Şekil 3). Daire eksenli kirişe, $P = 1$ t şiddetinde tekil yük

uygulanmıştır. Geometrik ve malzeme özellikleri: atalet momentleri $I_n=1/12 m^4$, $I_t=0,141m^4$, yarıçap $r=10 m$, elastisite modülü $E=1 \times 10^6 t/m^2$, Poisson oranı $\nu=0,3$ ve $A = 1 m^2$ olarak verilmiştir. Bulunan sonuçlar, Bayhan [4] ve ANSYS programı yardımıyla 100 adet doğru eksenli eleman kullanılarak bulunan kesit tesirleri Çizelge 2’de kıyaslanmıştır.



Şekil 3. Düzlemine dik yüklü iki açıklıklı daire eksenli çubuk ve kodlama durumu

Bu problem Çizelge 2 üzerinde literatür ile karşılaştırılmıştır. Ancak literatürde verilen burulma atalet momenti değeri, $I_t = 0,208 m^4$ hatalı verilmiş olup, bu hatalı atalet momenti için literatür ile karşılaştırılmış ve uyum içerisinde oldukları

görülmüştür. Ayrıca, doğru burulma atalet momenti, $I_t = 0,141 m^4$ değeri için problem tekrar çözülmüş ve ANSYS ile uyum içinde olduğu görülmüştür.

Çizelge 2. Düzlemine dik yüklü iki açıklıklı daire eksenli çubukların uç kuvvetleri

Eleman No	Kesit Tesirleri	Bu Çalışma TFY ile $I_t=0,141 m^4$			
		ANSYS [9] (100 Eleman) $I_t=0,141 m^4$	Bayhan [4] Taşıma Matrisi $I_t=0,208 m^4$	Bu Çalışma TFY ile $I_t=0,208 m^4$	
1.	M_{ti}	-4,531	-4,728	-4,543	-4,544
	M_{ni}	7,933	8,34	7,869	7,869
	T_{bi}	-0,806	-0,816	-0,807	-0,807
	M_{tj}	0,128	0,196	0,199	0,199
	M_{nj}	3,530	3,44	3,522	3,524
	T_{bj}	0,806	0,816	0,807	0,807
2.	M_{ti}	-0,128	-0,196	-0,199	-0,199
	M_{ni}	-3,530	-3,44	-3,524	-3,524
	T_{bi}	0,194	0,184	0,193	0,193
	M_{tj}	1,592	1,589	1,592	1,592
	M_{nj}	-2,067	-1,660	-2,131	-2,131
	T_{bj}	-0,194	-0,184	-0,193	-0,193
3.	M_{ti}	1,592	1,589	1,592	1,592
	M_{ni}	-2,067	-1,66	-2,131	-2,131
	T_{bi}	0,194	0,184	0,193	0,193
	M_{tj}	-2,286	-2,09	-2,273	-2,273
	M_{nj}	-2,067	-1,66	-2,131	-2,131
	T_{bj}	-0,194	-0,184	-0,193	-0,193

4. SONUÇLAR

Eğri eksenli çubukların statik davranışı için denge denklemleri, bünye denklemleri ve uygunluk şartlarından dört adet vektörel denklem elde edilmiş ve sonra sayısal çözüm yapılabilmesi bakımından denklemler hareketli takıma aktarılmıştır. Denklemlerin, düzlemi içinde ve düzlemine dik yüklü olmak üzere, altışar adet iki gruba ayrılması hesaplamalarda büyük kolaylık sağlamaktadır. Eksenel ve kayma deformasyonu etkileri de dikkate alınarak yapılan çözümler için

Fortran dilinde bilgisayar programları hazırlanmıştır. Hazırlanan programdan elde edilen sonuçlar, literatürde verilen analitik çözümler ile tablolar üzerinde karşılaştırılmış ve sonuçların uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir (FBA-2016-6007).

6. KAYNAKLAR

1. Özbek, T., 1963. Bulletin of Technical University of İstanbul, vol. 15.
2. İnan, M., 1966. Elastik Çubukların Genel Teorisi, Berksoy Matbaası, İstanbul, 179s.
3. Haktanır, V., Kırıl E., 1991. Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yönteminin Düzlemsel Çubukların Statiğine Doğrudan Uygulanması, Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Adana, 2, 155-167.
4. Bayhan, S., 1993. Daire Eksenli Düzlemsel Çubukların Taşıma ve Rijitlik Matrisi ile Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana. 193s.
5. Haktanır, V., 1994. A New Method for the Element Stiffness Matrix of Arbitrary Planar Bars, 4, 679-691.
6. Bozkurt, M., 1995. Silindirik Tonozlar Daire ve Helisel Eksenli Taşıyıcı Sistemlerin Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi ile Analizi -Mathematica Uygulamaları-, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana. 213s.
7. Çalım, F. F., 1996. Eğri Eksenli Çubuk Sistemler ve Silindirik Tonoz Yapıların Tamamlayıcı Fonksiyonlar Metodu ve Rijitlik Yöntemi ile Statik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana. 166 s.
8. Karaca, N., 2014. Düzlemsel Çubukların Taşıma ve Rijitlik Matrisi Metodu ile Statik ve Dinamik Analizi Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay. 67s.
9. ANSYS, 2013, Inc Release 15.0, Canonsburg, PA.

İnşaat Mühendisleri Özelinde Eş Zamanlı Mühendislik Yaklaşımının İrdelenmesi

Olcay GENÇ^{*1}, Ercan ERDİŞ¹, Hilmi COŞKUN¹

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay

Geliş tarihi: 03.01.2017

Kabul tarihi: 14.03.2017

Öz

İnşaat sözleşmelerinde iş sahipleri, mimarlar, mühendisler ve müteahhitler gibi farklı taraflar projenin farklı aşamalarına dahil olurlar. Birçok paydaşın farklı aşamalarda işe dahil edilmesi genelde bu paydaşların memnuniyetsizliği ile sonuçlanır. Eşzamanlı Mühendislik kavramı tüm paydaşlar için açık bir platform sunarak, artan proje süresi ve yetersiz müşteri memnuniyeti gibi istenmeyen sonuçlar için bir çözüm sunabilir. Bu çalışmanın amacı da, Türkiye’de, kamu ve özel sektörde çalışan inşaat mühendisleri özelinde Eşzamanlı Mühendislik algısının ve bu yaklaşımı etkileyen faktörlerin saptanması ve EM’nin uygulanması sırasında karşılaşılan zorlukların ve uygulamasıyla edinilebilecek faydaların yorumlanması, şeklinde özetlenebilir. Bunun için web tabanlı olarak hazırlanan bir anket, meslek odaları vasıtasıyla Türkiye’nin çeşitli illerinde, kamu ve özel sektörde çalışan inşaat mühendislerine ulaştırılmıştır. Çalışma sonucunda; Türkiye’de kamu ve özel sektörde çalışan inşaat mühendislerinin genel olarak eş zamanlı mühendislik hakkında teorik bilgi sahibi oldukları, fakat çoğunun henüz bunu uygulama olarak tecrübe etmedikleri tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Eş zamanlı mühendislik, Müşteri memnuniyeti, Kalite yönetimi

Investigation of Civil Engineers’ Concurrent Engineering Approach

Abstract

In construction contracts, different parties, such as owners, architectural and engineering consultants, contractors, and users, are involved in different phase of the project. These involvements at different phases usually result dissatisfaction by these parties. Concurrent engineering concept can provide an answer to undesirable outcomes, such as increased project duration and reduced customer satisfaction, by providing an open platform for all involved stakeholders. The purpose of this study is to detect civil engineers’, who work for either government or private sector in Turkey’ construction industry, a of concurrent engineering (CE), the difficulties encountered during implementation, the benefits of CE and factors that affect CE. A web-based questionnaire prepared for this purpose and the questionnaire was delivered to civil engineers who work in Turkish public and private sectors through chambers of civil engineers. In conclusion; it is stressed that civil engineers, who work for either government or private sector in Turkey’ construction industry, have theoretical knowledge about concurrent engineering but most of them did not experienced the implementation yet.

Keywords: Concurrent engineering, Customer satisfaction, Quality management

*Sorumlu (Corresponding author) yazar: Olcay GENÇ, olcay.genc@iste.edu.tr

1. GİRİŞ

Eşzamanlı mühendislik (EM); kalite, maliyet, zaman ve kullanıcı ihtiyaçları gibi gereklilikleri yerine getirmek için, ürün, süreç ve destek hizmetlerinin eşzamanlı olarak yürütüldüğü sistematik bir yaklaşımdır [1-3]. Bu yaklaşım, projenin başlangıç aşaması olarak nitelendirilen tasarım aşamasında tüm proje paydaşlarını bir araya getirmeye dönük bir anlayışı temsil etmektedir. Eş zamanlı mühendislik kavramı; bir kuruluşun organizasyon yapısı ve organizasyonda kullanılan farklı araç ve teknikler dikkate alınarak *taktiksel açıdan*, ürünün tüm aşamalarının paralel olarak kabul edilmesi ile *stratejik açıdan* ve iş performansını iyileştirmeye yönelik olarak ise *nesnel/objektif açıdan* değerlendirilmelidir [3]. Bu yönüyle EM; tasarım, inşaat, işletme ve bakım aşamalarındaki kullanıcı ihtiyaçlarını, taktiksel, stratejik ve objektif değerlendirmelerle; kalite, maliyet ve zaman ekseninde daha tasarım aşamasında ve tüm süreç boyunca dengeli bir şekilde geliştirmeye odaklanmış bir yönetim anlayışını temsil etmektedir [4-12].

Eşzamanlı mühendislik yaklaşımı, yazılım ve imalat sektörlerinde daha sık kullanılmaktadır. Bu yaklaşımın uygulanması yönünde, inşaat sektöründe de artan bir ilgi vardır. Bu yaklaşımın geliştirilmesinde rol oynayan ana faktör ise, tüm sektörlerde olduğu gibi, teknolojik gelişmeler doğrultusunda diğer profesyoneller ile işbirliği içinde çalışmalar yapma gerekliliğidir [13].

Eş zamanlı mühendislik kavramını anlamak için, eş zamanlı mühendisliğin iskeleti diğer bir deyişle; hedefler, hedefler arasındaki ilişkiler, stratejiler, araçlar ve tekniklerin belirlenmesi gerekmektedir [8,10,14].

Deasley ve Lettice [15], üretim yapan 20 şirkette, eşzamanlı mühendislik sürecinin uygulanması ve sürdürülebilirliği ile ilgili yaptıkları çalışmada, süreci; hazırlık, takım çalışması tabanlı entegre ürün geliştirme, çok disiplinli takımların ve organizasyonun yönetimi ve örgütsel yönetim ile süreçlerin geliştirilmesinde kullanılacak geribildirim verilerini saklamak şeklinde gruplandırmışlardır. Bu şekilde yazarlar bir

bakıma, eşzamanlı mühendisliğin çerçevesini çizmişlerdir.

İnşaat sektörü özelinde eşzamanlı mühendisliğin uygulamasında ise sektörün kendisinden kaynaklı özel koşullar nedeniyle bazı zorluklar da yaşanmaktadır. Bunlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

İmalat sektöründe, aynı ürün, aynı tasarım metodolojisini kullanarak birden fazla kez üretilebilir ve seri üretim yapılabilir. Ancak, inşaat sektöründe genel olarak tasarım ve üretim sadece bir kez gerçekleşir [16].

- Tasarım aşamasının inşaat aşamasından ayrı düşünülmesi, müteahhit ve tedarikçilerin tasarım ekibine verimli bir şekilde dahil olmasını imkânsız hale getirir.

- İnşaat işleri çoğunlukla müşterinin mimara verdiği bilgiler çerçevesinde, mimar tarafından hazırlanan tasarım süreci ile baslar. Bu tasarım, daha sonra statik hesaplamaları yapması için inşaat mühendisine verilir. Statik hesaplama bitirdikten sonra, proje maliyeti kesin hesapçı tarafından hesaplanır. Aynı zamanda elektrik, mekanik ve gerekli diğer projeler, ilgili mühendisler tarafından hazırlanır. Bu işler bittiğinde, proje, işi yapmayı taahhüt eden müteahhite teslim edilir ve müteahhittin projeyi kabul etmesiyle proje aşaması tamamlanmış olur. İnşaat projelerinin geliştirilmesinde, farklı mesleklerle mensup farklı disiplinleri ve uzmanlık alanlarını temsil eden birçok katılımcı vardır. Bu katılımcıların performansı için kullanılan farklı araç ve farklı metodları verimli bir şekilde entegre etmek kolay bir iş değildir. Bu, görevlerin dikkatli bir şekilde ayrılmasını gerektirir. Projedeki görevlerin birbirine yüksek derecede bağımlılığı sebebiyle, ayırma ve entegrasyon işlemleri başarılı bir şekilde gerçekleştirilmez ise, fonksiyonel bir disiplinin görevini tamamlaması sonrasında disiplinler arası yapay bir duvar oluşumuna neden olabilir. Bu duvar, her disiplinin birbiri ile etkili bir biçimde iletişim kurmasını engeller ve müşteri ihtiyaçlarının doğru belirlenememesi sonucu hata ve yanlış anlaşılmaların ortaya çıkmasına, maliyet ve süre artışlarına, hatta tasarımda değişikliklere gidilmesine neden olur [6,14,17].

• EM yaklaşımının uygulanmasında birçok şirket için ana problem, bu yaklaşımın kendisiyle birlikte şirketin yapısında ciddi organizasyonel ve teknolojik değişiklikleri beraberinde getiriyor olmasıdır. Eşzamanlı mühendisliğin uygulanmasına başlanmadan önce önündeki tüm engelleri kaldırmak gerekir. Genellikle şirketlerin kendi organizasyonel yapıları içerisinde, eş zamanlı mühendisliği başarılı bir şekilde uygulayabilmeleri yönünde önlerinde iki büyük engel vardır [16]:

1- *Teknik engeller:* Bu engeller genellikle; bir iletişim sisteminin eksikliği, ortak bir veri tabanının olmayışı, CAD/CAM sistemleri, yazılım ve donanım kullanımı hakkındaki bilgi eksiklikleri ve EDM/PDM veri yönetim sistemlerinin kabul edilir şekilde yönetilememesini içerir [16].

2- *Organizasyonel engeller:* Bu engeller genel olarak; üst yönetim desteğinin eksikliği, müşteri ve tedarikçilerin projeye katılım eksikliği ve ödüllendirici sistemi desteklemeyen organizasyon yapısı olarak sıralanabilir [14,18].

EM'nin faydaları ise özetle aşağıdaki şekilde sıralanabilir [19,20]:

- Müşteri beklentilerini karşılayan yüksek kaliteli düşük maliyetli ürünler.
- Ürün geliştirme sürecinde kısalma
- Ürün çeşitliliğinde, satışta ve karda artış
- Düşük ana ekipman maliyeti
- Yeniden tasarım ihtimalinin düşüklüğü
- Daha az satıcıdan daha az malzeme

Bu çalışmanın amacı da, inşaat mühendisleri özelinde EM yaklaşımının algılanma ve uygulanma düzeyini tespit etmektir. Bu doğrultuda kamu ve özel sektörde çalışan inşaat mühendislerinin EM'liği algılama düzeyini ölçmek, EM'yi etkileyen faktörleri saptamak, yöntemin uygulanması sırasında karşılaşılan zorlukları ve uygulamasıyla edinilebilecek faydaları belirlemek için bir anket yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma, web tabanlı bir anketin analizine yöneliktir. Anketin ilk kısmında; eş zamanlı mühendislik algısı, eş zamanlı mühendisliğin uygulanması sırasında karşılaşılan zorluklar, eşzamanlı mühendislik (EM) uygulamasıyla edinilebilecek faydalar ve EM'yi etkileyen faktörler sorgulanırken, ikinci kısım demografik sorulardan oluşmaktadır. Hazırlanan anket linki, meslek odaları vasıtasıyla Türkiye'nin çeşitli illerinde kamu ve özel sektörde çalışan inşaat mühendislerine ulaştırılmıştır. Link, bir kişinin anketi birden fazla kez yanıtlamasını engellemek amacıyla her alıcı için yalnızca bir kez çalışacak şekilde programlanmıştır. Araştırmanın evreni Türkiye genelinde kamu ve özel sektörde çalışan inşaat mühendisleri olup, örnek uzayı ise 221 adet inşaat mühendisidir. Anket soruları derecelendirme ve değerlendirme (5'li Likert) ölçekleri kullanılarak hazırlanmıştır. Derecelendirme soruları analiz edilirken, ilk sıraya gelen seçeneğe en yüksek puan (örneğin 6 seçenek varsa 6 puan), son sıraya gelen seçeneğe ise en düşük puan (1 puan) olacak şekilde seçenekler arasında puanlama yapıp ağırlıklı ortalamalar hesaplanmış ve değerlendirmeler bu ortalamaya göre yapılmıştır. Değerlendirme (5'li Likert) soruları analiz edilirken ortalamalar ve standart sapma değerleri baz alınmış ve Çizelge 1'deki puan aralıkları ve değerlendirme kriterleri kullanılmıştır.

Çizelge 1. Likert ölçeği sonuçlarını değerlendirme kriterleri

Likert Ölçeği	Anket	Puan Aralıkları	Değerlendirme Kriterleri
1	Çok önemli	4,20-5,00	Çok yüksek düzeyde
2	Önemli	3,40-4,19	Yüksek düzeyde
3	Orta derecede önemli	2,60-3,39	Orta düzeyde
4	Az önemli	1,80-2,59	Az düzeyde
5	Çok az önemli	1,00-1,79	Çok az düzeyde

3. ARAŞTIRMA BULGULARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmanın bulgular kısmı; ülkemiz kamu ve özel sektöründe çalışan inşaat mühendislerinin eş zamanlı mühendislik algısını anlamak, eş zamanlı mühendisliğin uygulanması sırasında karşılaşılan zorlukları, eşzamanlı mühendislik (EM) uygulamasıyla edinilebilecek faydaları ve EM'yi etkileyen faktörlerin saptanması ve yorumlanması üzerine kurgulanmıştır.

Çizelge 2. İnşaat mühendislerinin EM algısı

“Eşzamanlı Mühendislik” (EM) kavramı hakkında bilginiz var mı?	f	%
Bu konuda henüz hiçbir bilgim yok	76	34,4
İlgi duyuyorum ve bilgi edinmeye çalışıyorum	55	24,9
Biliyorum; ancak, henüz uygulamasında bulunmadım	48	21,7
Biliyorum ve uyguluyorum/uyguladım	42	19,0

Çizelge 2 incelendiğinde; katılımcıların %34,4'ünün eş zamanlı mühendislik hakkında bilgisi olmadığı görülürken, %24,9'unun ilgi duyduğu ve bilgi edinmeye çalıştığı, %21,7'sinin bildiği ancak henüz tecrübe etmediği, %19,0'unun ise bildiği ve uyguladığı görülmektedir.

Çizelge 3, 5'li Likert ölçeğine göre değerlendirilmiş olup, bu değerlendirmeye göre ankete katılan inşaat mühendisleri, EM' in uygulanması sırasında karşılaşılan zorlukları; eşzamanlı mühendislik kavramının yeterince bilinmemesi, ekip çalışmasının eksikliği,

departmanlar arası iletişim ve bilgi paylaşımındaki eksiklikler, projelerde tasarım ve imalat aşamasının ayrılması sonucu uygulamada yer alacak meslek gruplarının tasarım ekibine katılımındaki eksiklik, işverenin tutum ve davranışı (üretim çizgisinde ve şartnamede yaptığı değişiklikler, zamanında ödeme yapmayışı vb.), üst yönetimin desteğinin eksikliği, çalışanların yetersizlikleri (yetenekleri, bilgisi, kişiliği, dürüstlüğü, performansı vb.), önemli projelerle ilgili kararlar ve bu kararların alınmasını sağlayan faktörlerin yer aldığı ortak bir veri tabanının olmaması, proje ekiplerinde yapılan ani değişiklikler, gerek tasarım, gerekse yapım aşamasında projede görev alan kişilerin birbirlerine karşı güvensizliği, korkusu ve gördükleri hataları söylememe alışkanlığı, uygulamada çok disiplinli ve geçici organizasyonel yapının varlığı seçeneklerini önemli derecede değerlendirirken, diğer seçenekleri orta derecede önemli olarak değerlendirmişlerdir.

Önem derecesinde, eşzamanlı mühendislik kavramının yeterince bilinmemesi 3,92 ağırlıklı ortalama ile ilk sırada değerlendirilirken, projede yer alan meslek gruplarının farklı inançları, değerleri, davranışları, dilleri, alışkanlıkları, yönetme kuralları, beklentileri, norm ve uygulamaları (kültürel problemler) 2,85 ağırlıklı ortalama ile son sırada yer almaktadır. Bu durum yöntemin uygulanması ve başarısında; eşzamanlı mühendislik kavramının yeterince bilinmemesinin önemli olduğuna, organizasyonel kültürün ise önemli olmadığına işaret etmektedir.

Çizelge 4 ağırlıklı ortalamalar göz önüne alınarak incelendiğinde; ankete katılan inşaat mühendisleri, eşzamanlı mühendislik uygulamasıyla edinilebilecek faydaları sıralarken, ilk sıraya daha

kaliteli üretimi koymuşlardır. İkinci ve üçüncü sırada proje maliyetlerinde ve süresinde azalma yer alırken, son sırada rekabet edilebilirlik kapasitesinin artırılması yer almaktadır.

Çizelge 3. Eşzamanlı mühendisliğin uygulanması sırasında karşılaşılan zorluklar

EM'nin uygulanması sırasında karşılaşılan zorlukları önem derecesine göre sıralayınız. (1 en çok önemli, 5 en az önemli)	1		2		3		4		5		Ağr. Ort.
	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	-
Eşzamanlı mühendislik kavramının yeterince bilinmemesi	117	52,9	36	16,3	24	10,9	21	9,5	23	10,4	3,92
Ekip çalışmasının eksikliği	97	43,9	57	25,8	26	11,8	18	8,1	23	10,4	3,85
Departmanlar arası iletişim ve bilgi paylaşımındaki eksiklikler	78	35,3	70	31,7	30	13,6	25	11,3	18	8,1	3,75
Projelerde tasarım ve imalat aşamasının ayrılması sonucu, uygulamada yer alacak meslek gruplarının tasarım ekibine katılımındaki eksiklik	71	32,1	71	32,1	37	16,7	21	9,5	21	9,5	3,68
İşverenin tutum ve davranışı (Üretim çizgisinde ve şartnamede yaptığı değişiklikler, zamanında ödeme yapmayı vb.)	85	38,5	49	22,2	40	18,1	20	9,0	27	12,2	3,66
Üst yönetimin desteğinin eksikliği	65	29,4	77	34,8	39	17,6	15	6,8	25	11,3	3,64
Çalışanların yetersizlikleri (yetenekleri, bilgisi, kişiliği, dürüstlüğü, performansı vb.)	70	31,7	58	26,2	48	21,7	30	13,6	15	6,8	3,62
Önemli projelerle ilgili kararlar ve bu kararların alınmasını sağlayan faktörlerin yer aldığı ortak bir veri tabanının olmaması	67	30,3	57	25,8	58	26,2	25	11,3	14	6,3	3,62
Proje ekiplerinde yapılan ani değişiklikler	60	27,1	60	27,1	49	22,2	37	16,7	15	6,8	3,51
Gerek tasarım, gerekse yapım aşamasında projede görev alan kişilerin birbirlerine karşı güvensizliği, korkusu ve gördükleri hataları söylememe alışkanlığı	54	24,4	67	30,3	55	24,9	26	11,8	19	8,6	3,50
Uygulamada çok disiplinli ve geçici organizasyonel yapının varlığı	58	26,2	57	25,8	52	23,5	36	16,3	18	8,1	3,46
Tasarım, imalat ve her türlü bilgi paylaşımında bilgisayar teknolojisinin yetersiz kullanımı	48	21,7	63	28,5	53	24,0	33	14,9	24	10,9	3,35
Tasarım sürecine müşteri katılımının eksikliği	51	23,1	58	26,2	48	21,7	40	18,1	24	10,9	3,33
Yapılan işin ardışık ve birbirine bağımlı görevlerden oluşması	50	22,6	49	22,2	66	29,9	30	13,6	26	11,8	3,30
İşin yapımını etkileyen iç ve dış çevresel faktörlerin çokluğu ve kompleksliği	39	17,6	53	24,0	72	32,6	40	18,1	17	7,7	3,26
Kuruluşun üretim şekli-Seri üretim veya bir defaya mahsus üretim vb.	41	18,6	38	17,2	81	36,7	38	17,2	23	10,4	3,16
Tasarım aşamasında kullanılan araç ve gereçlerin yetersizliği	37	16,7	52	23,5	61	27,6	39	17,6	32	14,5	3,10
Projede yer alan meslek gruplarının farklı inançları, değerleri, davranışları, dilleri, alışkanlıkları, yönetme kuralları, beklentileri, norm ve uygulamaları (Kültürel problemler)	35	15,8	40	18,1	53	24,0	42	19,0	51	23,1	2,85

Çizelge 4. Eşzamanlı mühendisliğin faydaları

Eşzamanlı Mühendislik (EM) uygulamasıyla edinilebilecek faydaları en olası fayda 1 olmak üzere 1' den 6' ya kadar sıralayınız	1		2		3		4		5		6		Ağr. Ort.
	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	-
Daha Kaliteli Üretim	54	24,4	38	17,2	56	25,3	36	16,3	17	7,7	20	9,0	4,07
Proje Maliyetlerinde Azalma	60	27,1	42	19,0	38	17,2	31	14,0	24	10,9	26	11,8	4,02
Proje Süresinde Azalma	31	14,0	63	28,5	43	19,5	40	18,1	30	13,6	14	6,3	3,92
Şirket İçi Etkin Bilgi Yönetimi (Çalışanlar arası doğru ve hızlı bilgi akışı)	25	11,3	33	14,9	28	12,7	29	13,1	64	29,0	42	19,0	3,10
Müşteri Memnuniyeti	37	16,7	25	11,3	23	10,4	25	11,3	36	16,3	75	33,9	2,99
Rekabet Edilebilirlik	14	6,3	20	9,0	33	14,9	60	27,1	50	22,6	44	19,9	2,90
Kapasitesinin Artması													

Çizelge 5. Eşzamanlı mühendisliği etkileyen faktörler

EM'yi etkileyen faktörleri en olası faktör 1' den 7'ye kadar sıralayınız	1		2		3		4		5		6		7		Agr. Ort.
	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	-
Ekip çalışması	63	28,5	39	17,6	41	18,6	25	11,3	18	8,1	20	9,0	15	6,8	4,93
Zaman	32	14,5	40	18,1	34	15,4	26	11,8	25	11,3	27	12,2	37	16,7	4,09
Teknoloji	35	15,8	19	8,6	33	14,9	41	18,6	39	17,6	30	13,6	24	10,9	4,02
Görev tariflerini belirleme	33	14,9	39	17,6	18	8,1	25	11,3	33	14,9	40	18,1	33	14,9	3,92
Çalışanların eğitim sonucu kazandıkları yetenekler	30	13,6	34	15,4	28	12,7	29	13,1	30	13,6	25	11,3	45	20,4	3,87
Kullanılan teknikler	17	7,7	26	11,8	41	18,6	40	18,1	35	15,8	42	19,0	20	9,0	3,84
Kullanılan araçlar	11	5,0	24	10,9	26	11,8	35	15,8	41	18,6	37	16,7	47	21,3	3,33

Çizelge 5 ağırlıklı ortalamalar göz önüne alınarak incelendiğinde; ankete katılan inşaat mühendislerinin, eşzamanlı mühendisliği etkileyen faktörleri sıralarken ilk sıraya ekip çalışmasını koymuşlardır. Bunu sırasıyla, zaman, teknoloji, görev tariflerini belirleme, çalışanların eğitim sonucu kazandıkları yetenekler, kullanılan teknikler ve kullanılan araçlar izlemektedir.

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Çalışma sonucunda, ülkemizde kamu ve özel sektörde çalışan inşaat mühendislerinin; genel olarak eş zamanlı mühendislik hakkında bilgi sahibi oldukları, fakat çoğunun henüz bunu tecrübe etmediği anlaşılmıştır. Yöntemin uygulanması ve başarısında ise; eşzamanlı mühendislik kavramının sektör genelinde yeterince bilinmemesinin, ekip çalışmasının teşvik edilmemesinin, uygulamada yer alan farklı meslek gruplarının tasarım sırasında görüşlerinin alınmamasının, departmanlar arasında ve uygulama aşamasında yer alan birçok geçici organizasyonlar arasında iletişim ve bilgi paylaşımındaki eksikliklerin, işverenin tutum ve davranışının, üst yönetimin desteğinin eksikliğinin, çalışanların yetersizliklerinin, ortak bir veri tabanının olmamasının, proje ekiplerinde yapılan ani değişikliklerin, gerek tasarım, gerekse yapım aşamasında projede görev alan kişilerin birbirlerine karşı güvensizliği, korkusu ve gördükleri hataları söylememe alışkanlığının etkili

olduğu anlaşılmıştır. Yine çalışmada, firma genelinde başarılı eşzamanlı mühendislik uygulamaları ile kaliteli üretim gerçekleştirme, proje maliyetlerinde ve süresinde azalmanın mümkün olabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu yöntemin ülkemiz inşaat sektöründe de başarılı uygulamalarını görmek, kamu ve özel sektör işbirliği ile mümkün olabilecektir. Bu doğrultuda, özellikle kamu ve özel sektör projelerinde, bu konuda uzmanlaşmış mühendis ve mimarların istihdam edilmesi ve yöntemin proje bazındaki uygulamalarının takip edilerek, başarılı ve başarısız uygulamaların tespit edilmesi, sonrasında ise bunun nedenleri ve çözüm önerilerinin saptanması gerekmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. De la Garza, J. M., Alcantara, P., Jr., Kapoor, M., Ramesh, P. S., 1994. Value of Concurrent Engineering for A/E/C Industry, Journal of Management in Engineering, 10(3), 46–55.
2. Şekerci, B., 2008. Eşzamanlı Mühendislik Kavramının Türk İnşaat Sektöründe Uygulanabilirlik Düzeyinin İrdelenmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 142 p.
3. Shouke, C., Zhuobin, W., Jie, L., 2010. Comprehensive Evaluation for Construction Performance in Concurrent Engineering Environment, International Journal of Project Management, 28(7), 708-718.

4. Winner, R. I., 1988. The Role of Concurrent Engineering in Weapons System Acquisition, Institute for Defence Analyses, Report R-388.
5. Cleetus, K. J., 1992. Definition of Concurrent Engineering, CERC (Concurrent Engineering Research Center), Technical Report Series, Research Notes, CERC-TR-92003.
6. Anumba, C. J., Evbuomwan, N. F. O., 1997. Concurrent Engineering in Design-Build Projects, Construction Management and Economics, 15(3), 271-281.
7. Anumba, C. J., Baldwin, A. N., Bouchlaghem, D., Parasad, B., Cutting-Decelle, A. F., Dufau, J., Mommessin, M., 2000. Integrating Concurrent Engineering Concepts in a Steelwork Construction Project, Concurrent Engineering: Research and Applications, 8(3), 199-212.
8. Brookes, N. J., Backhouse, C. J., 1998. Understanding CE Implementation: A Case-Study Approach, 36(11), 3035-3054.
9. Love, P., Gunasekaran, A., Li, H., 1998. Concurrent Engineering: A Strategy for Procuring Construction Projects, International Journal of Project Management, 16(6), 375-383.
10. Kamara, J. M., Anumba, C. J., Evbuomwan, N. F. O., 2000. Establishing and Processing Client Requirements-A Key Aspect Concurrent Engineering in Construction, Engineering, Construction and Architectural Management, 7(1), 15-28.
11. Khalfan, M.M.A., Anumba, C.J., Carillo, P.M., 2001. Development of a Readiness Assessment Model for Concurrent Engineering in Construction, Benchmarking: An International Journal, 8(3), 223-239.
12. Khalfan, M. M. A., Anumba, C. J., Siemieniuch, C. E., Sinclair, M.A., 2001. Readiness Assessment of the Construction Supply Chain for Concurrent Engineering, European Journal of Purchasing & Supply Management, 7(2), 141-153.
13. Erdiş, E., Coşkun, H., Genç, O., 2015. Architects' View of Concurrent Engineering in Construction Projects, International Journal of Thales Engineering Sciences, 1(2), 1-15.
14. Anumba C. J., Baugh C., Khalfan, M. M. A., 2002. Organisational Structures to Support Concurrent Engineering in Construction, Industrial Management and Data Systems, 102(5-6), 260-270.
15. Deasley P., Lettice F., 1997. A Concurrent Engineering Approach to Construction: Learning from Cases in Manufacturing Industry, Concurrent Engineering in Construction, The Institution of Structural Engineers, London, 296-305.
16. Kamara J. M., Anumba C. J., Evbuomwan N. F. O., 1997. Considerations for the Effective Implementation of Concurrent Engineering in Construction, The Institution of Structural Engineers, London, 33-44.
17. Evbuomwan N. F. O., Anumba C. J., 1998. An Integrated Framework for Concurrent Life-Cycle Design and Construction, Advances in Engineering Software, 29(7-9), 587-597.
18. Parsaei H.R., Sullivan W.G., 1993. Handbook of Concurrent Engineering, Chapman and Hall, London.
19. İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü web sayfası, http://web.itu.edu.tr/~livatyali/dersler/mak568e/mak568e_L4_CE.pdf [Erişim tarihi: 22 Nisan 2016].
20. Coşkun, H., Erdiş, E., Genç, O. 2016. Improving the Performance of Construction Projects by Employing Concurrent Engineering. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(2), 7-58.

Ulaşım Yapıları Temel/Alt Temel Zeminlerinin Kireçle Stabilizasyonu

Baki BAĞRIAÇIK*¹

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

Geliş tarihi: 04.01.2017

Kabul tarihi: 14.03.2017

Öz

Zemin stabilizasyon yöntemleri, geoteknik ve ulaşım anabilim dallarında önem kazanmaktadır. Karayolları güzergahlarının, temel/alt temel zeminleri bazı durumlarda taşıt yüklerini taşıyamayacak değerlerde olabilmektedir. Bu yüzden, bu temel/alt temel zeminlerinin, ya tamamen kaldırılıp yerine yeterli taşıma gücüne sahip temel/alt temel zemini yerleştirilmekte ya da çeşitli zemin stabilizasyon yöntemlerinden biri ile mevcut zemin yeterli taşıma gücüne ulaştırılmaktadır. Kireç, uçucu kül ve lastik parçacıkları gibi katkı malzemeleri ile temel ya da alt temel zeminlerinin taşıma güçlerinin iyileştirilmesi son yıllarda önem kazanan zemin stabilizasyon yöntemlerinden biridir. Çalışmada, karayollarında temel/alt temel zemini olarak, CBR değerlerinin düşüklüğü nedeniyle kullanılamayacağı belirlenen zeminlerin, optimum su içeriğinde kireçle stabilizasyonu sonucunda elde edilen iyileşme durumlarını belirleyebilmek amacıyla laboratuvar ortamında kapsamlı bir çalışma yapılmıştır. Temel/alt temel zemininin stabilizasyonunda su içeriğinin etkisini belirleyebilmek amacıyla hacimce %5, %10, %15 ve %20 su içeriklerindeki zemin numuneleri hazırlanmış ve CBR deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, farklı kireç oranları ile temel/alt temel zemininin stabilizasyonunda optimum değerleri belirleyebilmek amacıyla hacimce %3, %4, %5 ve %6 oranlarında kireç karışımları yapılarak oluşturulan numunelerde CBR deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışma sonunda, temel/alt temel zeminleri için optimum su içeriğinin yaklaşık %10, optimum kireç oranının ise hacimce yaklaşık %5 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, CBR değerlerini belirleyebilmek amacıyla kullanılması tavsiye edilen yüksek korelasyon katsayılı ($R^2=\%99$) denklemler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zemin stabilizasyonu, Katkı malzemesi, Kaliforniya taşıma oranı, Kireç

Soil Stabilization with Lime at Transportation Structure's Base/Subbase

Abstract

Soil stabilization methods are extremely important in dealing with for geotechnics and transportation departments. The bearing capacity of the base/subbase soils may not sufficient at some planned road routes Therefore, this base/subbase soils must be completely removed and it must be applied the new base/subbase soils which are sufficient bearing capacity or one of several ground stabilization methods

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Baki BAĞRIAÇIK, bbagriacik@cu.edu.tr

are applied. One of the methods of stabilizing the ground is the stabilization of the base or subbase with materials such as lime, fly ash and rubber particles. A comprehensive study has been conducted in the laboratory to investigate the availability of soils with suitable lime ratio for increasing the the low CBR values. Soil samples have been prepared at different water content (5%, 10%, 15% and 20%) and CBR tests have been carried out in order to determine the effect of water content. In addition, soil samples have been prepared at different lime content (3%, 4%, 5% and 6%) and CBR tests have been carried out in order to determine optimum values for different lime ratios.

As a result, the optimal water content for base/subbase ground have been determined to be about 10%, and the optimum lime ratio has been determined about 5%. In addition, highly correlated coefficients ($R^2 = 99\%$) have been recommended to be used in order to determine the CBR values.

Keywords: Soil stabilization, Admixture materials, California bearing ratio, Lime

1. GİRİŞ

Zeminler, kayaçların ayrışması sonucu oluşan katı taneler ile bunlar arasındaki su ve/veya hava dolu boşluklardan meydana gelen ve içerisinde organik maddeler bulundurabilen doğal malzemeler olup, mekanik davranışları heterojen ve karmaşıktır. Zeminler hem üzerlerine inşa olunan yapıların temelleri hem de inşaat malzemesi olarak bütün inşaat projelerinde karşımıza çıkmaktadır. Her zemin cinsi birbirinden farklı mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olabildiği için sahada karşılaşılan zeminler her zaman istenilen kriterleri sağlamayabilir. Bu durum, inşaat sektöründe karşılaşılan en önemli problemlerden birisi olup, zeminin mutlaka izin verilebilir oturma değerlerini ve yeterli taşıma gücünü sağlaması için iyileştirilmesi gerekmektedir. Sorunlu olarak kabul edilen mevcut zemini başka bir zemin ile değiştirmek yerine stabilize etmek daha ekonomik görülmektedir [1].

Sorunlu zeminlerin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar sonucunda, zeminin taşıma gücünü attıracağı, deformasyonu azaltacağı ve mukavemet özelliklerini arttıracığı belirlenmiştir [2].

Stabilizasyon son yıllarda gelişen teknolojiler sayesinde git gide önem kazanmaktadır. Literatürde bilinen en eski zemin iyileştirme yöntemlerinden biri de kireç stabilizasyonudur. Literatürde, gerek inşaat sektöründe yapı malzemesi ve stabilizasyon olarak gerekse de sanayi hammaddesi olarak kirecin

kullanılabilirliğini, kalsinasyon derecelerini ve önemini gösteren çalışmalar bulunmaktadır [3-6]. Kireç stabilizasyonunda, zeminin mevcut kimyasal ve fiziksel özellikleri kireç kullanılarak değiştirilerek, mevcut zeminin mukavemetinin ve durabilitesinin iyileştirilmesi sağlanmaktadır [2,7,8].

Kireç stabilizasyonu, genellikle yol kaplaması altında ve yapılarda sağlam bir temel tabakası oluşturabilmek amacıyla kullanılmaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Dinçer ve Berilgen [9], yüksek plastisiteli killi silt zeminlerin stabilizasyon sonucunda davranışlarını incelemiştir. Hacimce %4 ve %6,5 oranlarında kireç katarak oluşturulan zemin numuneleri, 7 gün ve 28 günlük kür süreleri sonunda CBR deneylerine tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre, zemine kireç ile stabilizasyonu sonucunda, CBR değeri %11,63'den %29,75'e kadar yükseldiği ifade edilmiştir. Zeminin kireç ile stabilizasyonu sonucunda, deformasyon özelliklerindeki değişimi göstermek amacıyla yapılan ödometre deney sonuçlarında, kireç yüzdesi arttıkça konsolidasyon oturmalarının azaldığı, şişme miktarlarında ise kayda değer azalmaların olduğu belirlenmiştir [9].

Kavak [10], saf bentonit ve kaolin killerini kireçle stabilize ederek serbest basınç mukavemetlerini incelemiştir. Sonuçta, kilin serbest basınç mukavemetinde, bentonit için 1 ayda 6 kat, kaolin

için ise 12 kata varan artışlar olduğunu gözlemlemiştir.

Veith [11] ve Wild ve arkadaşları [12], killerde %5 kireç ve %1 yüksek fırın cürufu kullanarak yaptığı çalışmalarında, cürufun yol alt yapısında kullanma durumunu değerlendirmişlerdir. Sonuçta, killerin kimyasal yapısında meydana gelen değişimler sonucunda stabilizasyonu yapılan zeminin mukavemetinin arttığı ve cürufun, killerin şişme potansiyellerini önemli ölçüde azalttığı ve güçlendirdiği ifade edilmiştir.

Yıldız ve arkadaşları [13], plastisiteli farklı yüksek ve düşük plastisiteli iki çeşit kil zemin kullanılıp kireçle stabilizasyon yaparak, iki kil tipi için de mukavemet parametrelerindeki değişimleri gözlemişlerdir. Sonuçta, yüksek plastisiteli kil olan Aksaray kilinin serbest basınç mukavemeti 28 gün kür sonucunda yaklaşık olarak on beş kat arttığını, düşük plastisiteli kil olan Doğanhisar kilinde ise mukavemetin yirmi sekiz gün kür sonunda yaklaşık üç kat arttığını ifade etmişlerdir.

Kavak ve arkadaşları [14] kireç stabilizasyonunun gerçek bir yol üzerinde performansını belirleyebilmek için çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada, arazinin kireç stabilizasyonuna uygun olduğu Karayolları laboratuvarlarında zemin mekaniği deneyleri ile tespit edilmiştir. Çalışmalar, bölünmüş bir yolun yeni yapılmakta olan kısmında gerçekleştirilmiş ve taşıma gücü düşük ariyet ocağı malzemesi yol güzergahı üzerinde %2 kireç ile iyileştirilerek kullanılmıştır. Sonuçta, yapılan ıslak CBR (Kaliforniya Taşıma Oranı) deneylerinde doğal durumda 6 olan CBR değerinin %2 kireç ile 80'li değerlere çıktığı belirlenmiştir.

Kamal [15], yüksek plastisiteli bir killi zeminin ufalama seviyesine bağlı olarak sönmüş kireç ve uçucu kül ile stabilizasyonundan hangi ölçüde etkilendiğini serbest basınç mukavemeti ve modül parametreleri üzerinden incelemiştir. İki farklı ufalama seviyesinde hazırlanan yüksek plastisiteli zemin, kireç ve Çayırhan Termik Santrali'nden alınan F tipi uçucu kül ile stabilize edilmiştir. Çalışmada, kullanılan katkı miktarları %3 sönmüş kireç, %20 uçucu kül, %20 uçucu kül + %3 sönmüş kireç ve %40 uçucu kül + %3 sönmüş

kireç olarak belirlenmiştir. Numuneler 28 gün kür süresine tabi tutulmuştur. Tüm numuneler üzerinde yapılan serbest basınç deneyi sonuçlarına göre, %20 uçucu kül + %3 kireç ve %40 uçucu kül + %3 kireç ilavesi ile çok etkin iyileştirme sağlandığı belirlenmiştir.

Mohammed Ali [16], %3, %6 kireç ve %20 oranında F sınıfı Çayırhan Termik Santrali uçucu kül katkısının yüksek plastisiteli bir kilin mukavemet özelliklerini incelemiştir. Laboratuvarda küçük boyutlu numuneler üzerinde yapılan deneylerin sonucunda, kireç ve uçucu kül ilavesi için ufalama kalitesine bağlı olarak serbest basınç mukavemeti değerlerinin önemli ölçüde değişebileceğini belirlemiştir.

Bu çalışma kapsamında, taşıma gücü zayıf kohezyonlu temel/alt temel zemininin (orta plastisiteli kil) ulaşım yapıları için kullanılabilir hale getirebilmek amacıyla, optimum su içeriğinde ve optimum kireç oranını belirlemek amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

3. MATERYAL METOD

Karayolları temel/alt temel zeminlerinin stabilizasyonu, temel zemininin mukavemet özelliklerini artırmak ve şişme potansiyelini azaltmak için hedeflenen alternatif yöntemlerden biridir. Zemin stabilizasyon yöntemlerinden biri de kireç, uçucu kül ve lastik parçacıkları gibi malzemelerle temel ya da alt temel zemininin stabilizasyonudur.

Bu çalışmada, taşıma gücü zayıf kohezyonlu temel/alt temel zemininin (orta plastisiteli kil) ulaşım yapıları için kullanılabilir hale getirebilmek amacıyla, optimum su içeriğinde kireç kullanarak stabilizasyonun sağlanması hedeflenmektedir. Deneysel çalışmalar, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde, 0,074 mm elek aralığının altında kalan kohezyonlu temel/alt temel zemini ve stabilizasyon için de ince toz şeklinde torbalar halinde sönmüş kireç (Ca(OH)₂) kullanılmıştır. Stabilizasyon için kullanılan sönmüş kireç, yaklaşık %75 civarında

aktif CaO bulunmaktadır. Temel/alt temel zemininin stabilizasyonunda, optimum kireç oranlarını belirleyebilmek amacıyla, hacimce %3, %4, %5 ve %6 oranlarında deneylerde kullanılmak üzere karışımlar oluşturulmuştur.

Kohezyonlu temel/alt temel zeminine ait endeks ve mukavemet parametrelerinin belirlenmesi amacıyla bir seri deney gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, zeminin sınıfı, TS 1500 [17]'e göre orta plastisiteli kil (CI) olarak belirlenmiştir. Ayrıca, kil zeminin likit limit değeri yaklaşık olarak %42, plastik limit değeri yaklaşık olarak %24, maksimum kuru birim hacim ağırlığı 17,4 kN/m³, optimum su içeriği %11 olarak belirlenmiştir.

Karayolları temel/alt temel zeminlerinin stabilizasyonunun kontrolünü yapabilmek amacıyla, 1929 yılında ABD'nin California eyaletinde karayolları araştırma dairesi tarafından geliştirilen CBR (California Bearing Ratio) deneyi kullanılmıştır. Deney düzeneği Şekil 1'de gösterilmiştir.

CBR değeri, bilinen bir su içeriğinde ve yoğunluğunda hazırlanan zemin numunesinin üzerine belli bir hızla batırılan penetrasyon pistonunun istenen derinliğe kadar batması için uygulanan gerilmenin, kırma taşla yapılan deneyde aynı pistonun aynı batma derinliğine kadar gelmesi için uygulanan standart gerilmeye oranı olarak tanımlanmaktadır. CBR değeri genellikle 2,54 mm (0,10 inç) penetrasyona karşılık gelen deneyde uygulanan gerilmenin standart gerilmeye oranı olarak bulunur [18].

CBR deneyi ile temel/alt temel zemininin kayma direnimi ölçülür. Deney sonunda bir taşıma gücü oranı (CBR) elde edilir. Bu değer, bir temel/alt temel zemini için sabit bir değer olmayıp, zeminin su içeriğine ve yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Deneyden elde edilen CBR değeri sadece temel/alt temel zemininin mevcut su içeriği ve yoğunluğu için geçerli olmaktadır [18].

Karayolları temel/alt temel zemininin stabilizasyonunun farklı su içeriklerinde ve farklı kireç oranlarında kontrolünü sağlamak amacıyla,

%5, %10, %15 ve %20 su içeriklerindeki CBR değerleri belirlenmiş ve CBR değeri en yüksek çıkan su içeriğinde, hacimce %3, %4, %5 ve %6 oranlarında karışım yapılarak numuneler CBR kalıplarına yerleştirilmiştir. Hazırlanan numunelere ait deneyler 1 günlük bekletildikten sonra gerçekleştirilmiştir. Deneyler aşağıda belirtilen hususlar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

- Deneylerde, çapı 14,24 cm ve yüksekliği 17,78 cm olan CBR kalıpları kullanılmıştır (Şekil 2).
- Temel/alt temel zemini CBR kalıplarına 5 tabaka halinde serilerek, her bir tabaka 37 vuruşla sıkıştırılmıştır [18].
- İlgili zemin için yapılan penetrasyon deneyinde de numune üzerine şişme deneyindeki kadar bir yük (sürşarj) etki ettirilmiştir.
- Kalıp, taban plakası takılmış ancak üst yüzeyi açık olarak içindeki numuneyle birlikte basınç aletinin plakası üzerine yerleştirilmiştir [19].
- Numunenin üzerine 4,5 kg'lık ağırlıklar konulmuştur.
- Penetrasyon işlemi için kullanılacak alet 1,27 mm/dk (0,05 inç/dk) hızla pistonu numune içerisine itmektedir.
- Belirlenen penetrasyon miktarına karşılık gelen yük okumaları kayıt edilmiştir [18].
- Yük okumaları 5 mm'lik penetrasyon değerlerine kadar alınmıştır.
- Penetrasyon işlemi tamamlandıktan sonra, piston kaldırılmıştır ve numune yüzeyinde bırakmış olduğu girintiler doldurulmuş ve çıkıntılar çelik cetvelle kesilerek numunenin yüzeyi düzlenmiştir.
- Deney sonucunda, %100 CBR değerine karşılık olan standart yük-penetrasyon, 1,25 mm'lik penetrasyonda 860 kg, 2,5 mm'de 1360 kg, 5,0 mm'de 2040 kg,

7,5 mm'de 2585 kg, 10 mm'de 3130 kg ve 12,5 mm de 3590 kg olarak tanımlanmıştır.

- Belirli bir penetrasyonu sağlayan yükün aynı penetrasyonu standart eğri üzerinde sağlayan yüke oranı, o penetrasyondaki CBR değeri olarak tanımlanmıştır [19].



Şekil 1. Deney düzeneği



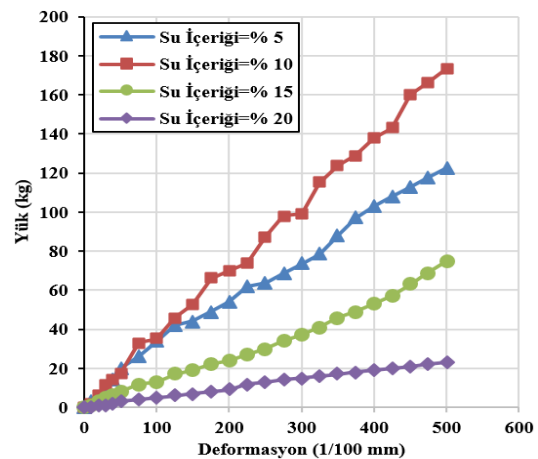
Şekil 2. CBR kalıbı ve temel/alttemel zemini

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada, CBR değerlerinin düşüklüğü sebebiyle karayollarında temel/alt temel zemini olarak kullanılmayacağı belirlenen zeminlerin, uygun su içeriğinde kireç stabilizasyonu ile kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla laboratuvar ortamında kapsamlı bir çalışma yapılmıştır.

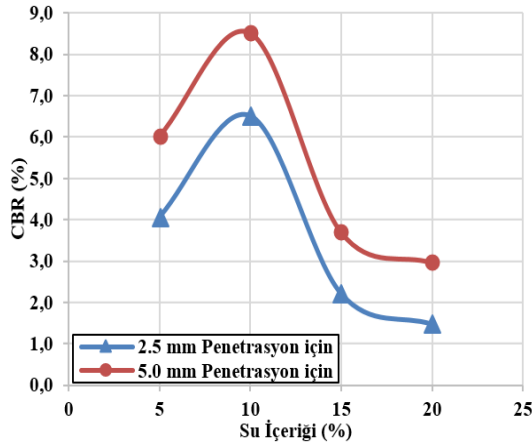
Temel/alt temel zemininin stabilizasyonunda su içeriğinin etkisini belirleyebilmek amacıyla hacimce %5, %10, %15 ve %20 su içeriklerindeki zemin numuneleri hazırlanmış ve CBR deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, farklı kireç oranları ile temel/alt temel zemininin stabilizasyonunda optimum değerleri belirleyebilmek amacıyla hacimce %3, %4, %5 ve %6 oranlarında kireç karışımları yapılarak oluşturulan numunelerde CBR deneyleri gerçekleştirilmiş ve sonuçları aşağıda sunulmuştur.

Şekil 3'te, farklı su içeriklerinde hazırlanan temel/alt temel zeminleri için yük-deformasyon ilişkisi görülmektedir. Sonuçlara göre, tüm su içeriklerinde, aynı deformasyona karşılık gelen düşey yük değerlerinde lineer bir artış görülmektedir. %10 su içeriğinde hazırlanan temel/alt temel zemininde, %5, %15 ve %20 su içeriğine göre hazırlanan temel/alt temel zeminlerine göre aynı deformasyon miktarında daha fazla taşıma gücü elde edildiği belirlenmiştir.



Şekil 3. Farklı su içeriklerindeki temel/alt temel zemini için yük deformasyon ilişkisi

Şekil 4'te farklı su içeriklerinde hazırlanan temel/alt temel zeminleri için 2,5 mm ve 5,0 mm penetrasyona karşılık gelen CBR değerleri görülmektedir. Şekil 4'deki grafiklerdeki CBR değerleri TS 1900'da [19] da belirtildiği gibi, yük-deformasyon grafiğinde (Şekil 3), 2,5 mm penetrasyona karşılık gelen yükün 1360 kg'a, 5,0 mm penetrasyona karşılık gelen yükün de 2040 kg'a bölünmesi ile belirlenmiştir. Sonuçta, her iki penetrasyon değerinde de en yüksek CBR değerinin yaklaşık %10 su içeriğinde meydana geldiği belirlenmiştir. Buradan, bu tür temel/alt temel zeminlerinde CBR değeri açısından bakıldığında en uygun su içeriğinin yaklaşık %10 olduğu görülmüştür.



Şekil 4. Farklı penetrasyon değerlerinde temel/alt temel zeminleri için su içeriği ve CBR ilişkisi

Şekil 5'te farklı kireç oranlarında oluşturulan temel/alt temel zemini için yük deformasyon ilişkisi görülmektedir. %10 su içeriğinde hazırlanmış farklı kireç oranlarındaki temel/alt temel zemini ile yapılan deney sonuçlarına göre, tüm karışım oranlarında kireçle stabilizasyon yapılması durumunda, kireç stabilizasyonu yapılmamış duruma göre taşıma güçlerinde kayda değer oranlarda (hacimce %3 kireç oranında %83,7-85,7, hacimce %4 kireç oranında %91,0-91,1, hacimce %5 kireç oranında %92,5-92,6 ve hacimce %6 kireç oranında %92,7-92,8) artış meydana geldiği belirlenmiştir.

Şekil 6'da, farklı kireç oranlarında hazırlanan temel/alt temel zeminleri için 2,5 mm ve 5,0 mm penetrasyona karşılık gelen CBR değerleri görülmektedir.

Şekil 6'daki grafiklerde CBR değerleri TS 1900'da [19] belirtildiği gibi, yük-deformasyon grafiğinde (Şekil 5), 2,5 mm penetrasyona karşılık gelen yükün 1360 kg'a, 5,0 mm penetrasyona karşılık gelen yükün de 2040 kg'a bölünmesi ile belirlenmiştir.

Sonuç olarak, en yüksek CBR değeri her iki penetrasyon değerinde de yaklaşık %5 oranında hazırlanan temel/alt temel zeminin de meydana geldiği belirlenmiştir. Hacimce %5 karışım oranından daha fazla karışım oranında hazırlanan temel/alt temel zemini için her iki penetrasyon değerinde de CBR değerinde (yaklaşık %0,2 artış) kayda değer bir artış meydana gelmediği görülmüştür. Bu nedenle, bu tür temel/alt temel zeminleri için optimum kireç oranı hacimce yaklaşık %5 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, bu tür zeminler için, her iki penetrasyon değeri için kil oranlarına bağlı olarak CBR değerlerini belirleyebilmek amacıyla, yüksek korelasyon katsayılı ($R^2=0,99$) denklemler elde edilmiştir (Denklem 1 ve Denklem 2).

2,5 mm penetrasyon için;

$$CBR = -10,50 (KO)^2 + 115,43 (KO) - 199,24 \quad (1)$$

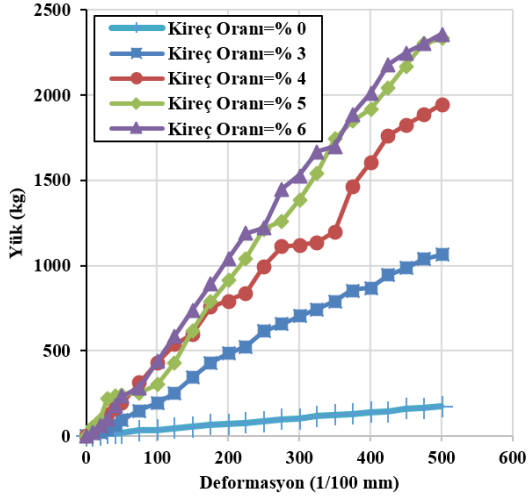
5,0 mm penetrasyon için;

$$CBR = -6,85 (KO)^2 + 76,70 (KO) - 123,14 \quad (2)$$

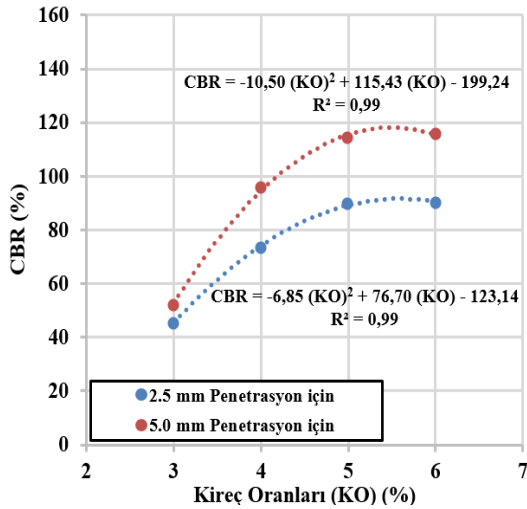
(KO: % cinsinden kireç miktarını ifade etmektedir.)

Denklem 1 ve Denklem 2, sırasıyla 2,5 mm ve 5,0 mm penetrasyon için kireç oranlarına bağlı olarak temel/alt temel zeminlerinin CBR değerlerini belirleyebilmek amacıyla kullanılabileceği belirlenmiştir.

Denklemler, optimum su içeriğinde, hacimce %2 ile %7 kireç oranı sınır şartlarında geçerliliklerini korumaktadır.



Şekil 5. Farklı kireç oranlarında oluşturulan temel/alt temel zemini için yük deformasyon ilişkisi



Şekil 6. Farklı penetrasyon değerlerinde temel/alt temel zeminleri için kireç oranı (KO) ve CBR ilişkisi

5. SONUÇLAR

Karayollarında temel/alt temel zemini olarak kullanılmayacağı belirlenen zeminlerin, kireç ile stabilizasyonu sonucunda kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla yapılan laboratuvar çalışmaları sonuçları aşağıda sunulmuştur.

Tüm su içeriklerinde, aynı deformasyona karşılık gelen düşey yük değerlerinde lineer bir artış görüldüğü belirlenmiştir.

%10 su içeriğinde hazırlanan temel/alt temel zemininde, diğer su içeriklerine göre hazırlanan temel/alt temel zeminlerine göre aynı deformasyon miktarında daha fazla taşıma gücü elde edildiği belirlenmiştir.

Her iki penetrasyon değerinde de (2,5 mm ve 5,0 mm) en yüksek CBR değerinin yaklaşık %10 su içeriğinde meydana geldiği belirlenmiştir. Bu temel/alt temel zeminlerinde CBR değeri açısından bakıldığında en uygun su içeriğinin yaklaşık %10 olduğu görülmüştür. Deneylerde kullanılan temel/alt temel zeminlerinde yapılmış olan proktor deney sonuçları incelendiğinde, optimum su içeriği değeri %11 olarak belirlenmiştir. Buradan, gerek CBR sonuçlarına göre gerekse de Proktor deneyi sonuçlarına göre temel/alt temel zeminlerinde su içeriğinin optimum değeri yaklaşık %10-11 olarak belirlenmiştir.

Optimum su içeriğinde hazırlanmış farklı kireç oranlarındaki temel/alt temel zemini ile yapılan deney sonuçlarına göre, tüm karışım oranlarında kireçle stabilizasyon yapılması durumunda, kireç stabilizasyonu yapılmamış duruma göre kayda değer oranlarda (minimum iyileşme oranı %83 ve maksimum iyileşme oranı %92,8) taşıma güçlerinde artış meydana geldiği belirlenmiştir.

En yüksek CBR değeri her iki penetrasyon değerinde de yaklaşık %5 oranında hazırlanan temel/alt temel zeminin de meydana geldiği belirlenmiştir.

Hacimce %5 karışım oranından daha fazla karışım oranında hazırlanan temel/alt temel zemini için her iki penetrasyon değerinde de CBR değerinde (yaklaşık %0,2 artış) kayda değer bir artış meydana gelmediği görülmüştür.

Bu tür temel/alt temel zeminleri için optimum kireç oranı hacimce yaklaşık %5 olarak belirlenmiştir.

Karayollarında temel/alt temel zemini olarak kullanılmayacağı belirlenen zeminler için de, her iki penetrasyon (2,5 mm ve 5,0 mm) değeri için kil oranlarına bağlı olarak CBR değerlerini belirleyebilmek amacıyla kullanılması tavsiye edilen yüksek korelasyon katsayılı ($R^2=\%99$) denklemler elde edilerek aşağıda sunulmuştur.

$$2,5 \text{ mm penetrasyon için;} \\ \text{CBR} = - 10,50 (\text{KO})^2 + 115,43 (\text{KO}) - 199,24 \quad (1)$$

$$5,0 \text{ mm penetrasyon için;} \\ \text{CBR} = - 6,85 (\text{KO})^2 + 76,70 (\text{KO}) - 123,14 \quad (2)$$

Denklemlerin her iki penetrasyon için kireç oranlarına bağlı olarak temel/alt temel zeminlerinin CBR değerlerini belirleyebilmek amacıyla belirli sınır şartları altında kullanılabileceği belirlenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Kavak, A., 2010. Yüksek Plastisiteli Bir Kilin Kireç ile Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, s. 118.
2. Şengül, E., 2010. Yüksek Su Muhtevalı Killi Yol Taban Zemininin Kireç Stabilizasyonu ve Hücresel Dolgu Sistemiyle İyileştirilmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, s. 100.
3. Anıl, M., Kılıç, Ö., 2000. İnşaat ve Sanayi Hammaddesi Olarak Kireç ve Önemi, Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 15, (1-2), s. 201-216.
4. Anıl, M., Kılıç, Ö., Güvenç, S., 2001. İnşaat ve Sanayi Hammaddesi Olarak Kireç, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Adana Bölge Şubesi Bülteni, 2, s. 4-9.
5. Kılıç, Ö., Anıl, M., 2006. Effects of Limestone Characteristic Properties and Calcination Temperature on Lime Quality. Asian Journal of Chemistry, 18, No. 1. s. 655-666.
6. Kılıç, Ö., Anıl, M., 2005. Farklı Kalsinasyon Ortamlarının Kireç Üretimi Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Madencilik, 44/4, s. 19-28.
7. Tumluer, G., 2006. Çimento Katkılı Kumlu Zeminlerin Mukavemeti, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi, Adana, s. 161.
8. Çıragöz, M., 1962. Yol İnşaatında Kireç Stabilizasyonu, Türkiye Mühendislik Haberleri, s. 13-15.
9. Dinçer, E., Belirgen, M. M., 1991. İnce Daneli Bir Zeminin Kireç Stabilizasyonu, Anadolu Üniversitesi V. Ulusal Kil Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, s. 280-291.
10. Kavak, A., 1996. The Behavior of Lime Stabilized Clays Under Cyclic Loading, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
11. Veith, G., 2000. Essay Competition Green, Ground End Great Soil Stabilization with Slag. Building Research & Information, 28, s. 70-72.
12. Wild, S., Kinuthia, J. M., Jones, G. I., Higgins, D. D., 1998. Effects of partial Substitution of Lime Ground Granulated Blast Furnace slag (GGBS) on the Strength Properties of Lime-Stabilised Sulphate - Bearing Clay Soils, Engineering Geology, 51, s. 1-37.
13. Yıldız, M., Soğancı, A. S., Demiröz, A., Albayrak, V., 2004. Tekrarlı Donma ve Çözülmenin Kireç ile Stabilize Edilmiş Kil Zeminlerin Mukavemet ve Permeabilitesine Etkisi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, s. 2-3.
14. Kavak, A., Güngör, A. G., Avşar, C., Yöner, G., Tokgöz, M., Akyarlı, A., 2009. Kil Oranı Yüksek Bir Dolgu Malzemesinin Kireç ile Stabilizasyonu. 14. Ulusal Kil Sempozyumu, KTÜ, Trabzon, Türkiye.
15. Kamal, N. A., 2012. Kireç ve Uçucu Kül ile Stabilize Edilmiş Killerin Yol Üstyapı Malzemesi Olarak Kullanılması, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, s. 188.
16. Mohammed Ali, M., 2012. Kireç ve Uçucu Kül ile Stabilize Edilen Şişen Killerde Esneklik Modülü Tayini, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, s. 153, İstanbul.
17. TS 1500, 2000. İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması.

- 18.** Aytekin, M., 2004. Deneysel Zemin Mekaniği, Teknik Yayınevi, 188, 321-329, Ankara.
- 19.** TS 1900-2, 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneylei, Ankara.

Plakalı Kanatçıklı Isı Değiştiricilerde Kanat Açısının Isı Transferine Olan Etkisinin Üç Boyutlu Sayısal Olarak İncelenmesi

Ertan BUYRUK¹, Koray KARABULUT^{*2}

¹Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sivas

²Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Sivas

Geliş tarihi: 06.01.2017

Kabul tarihi: 14.03.2017

Öz

Bu çalışmada, plakalı kanatçıklı ısı değiştiricilerde ısı transferini artırmak için birleşik (taşınım ve iletim) ısı transferi yaklaşımıyla 2 mm kanatçık yükseklikli 30° ve 60° kanatçık açılı ve akışa dik yatay yönde 10 mm ötelenmiş dikdörtgenel kanatçıkların ısı transferi potansiyeli ve basınç düşüşü sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal hesaplamalar, üç boyutlu Navier-Stokes ve enerji denkleminin FLUENT programı kullanılarak çözülmesiyle zamandan bağımsız olarak elde edilmiştir. Çalışma akışkanı olarak hava kullanılmıştır. Çalışma, $Re=400$ için soğuk ve sıcak hava kanala giriş hızlarının sırasıyla 1,338 m/s ve 0,69 m/s, giriş sıcaklıklarının ise 27°C ve 327°C olarak alınmasıyla yapılmıştır. Sonuçlar soğuk akışkan sıcaklığının ters akış durumunda 30° kanatçık açılı kanalın çıkışında düz kanala göre %9 artırıldığını göstermektedir. Çalışmada, paralel ve ters akış şartlarında Reynolds sayısının farklı değerlerinin ve farklı kanatçık yükseklikleri ve kanatçık aralıklarının ısı transferi artışı üzerindeki etkisi ve ayrıca kanalın dış yüzeyinin soğuk ve sıcak akışkan taraflarındaki sıcaklık dağılımları da 30° ve 60° kanatçık açılı için incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Plakalı ısı değiştirici, Sayısal ısı transferi, Kanat

The Three Dimensional Numerical Investigation of the Effect of Fin Angle on the Heat Transfer in Plate Fin Heat Exchangers

Abstract

In the present study, the heat transfer potential of rectangular fins with 30° and 60° angle and 2 mm fin height and 10 mm offset from the horizontal direction perpendicular to flow for heat transfer enhancement with the use of a conjugated heat transfer approach and pressure drop are numerically evaluated in the plate fin heat exchangers. The numerical computations are performed by solving a steady, three-dimensional Navier-Stokes equation and an energy equation by using Fluent software program. Air is taken as a working fluid. The study is carried out at $Re=400$ and inlet temperatures, velocities of cold and hot air are fixed as 27°C, 327°C and 1.338 m/s, 0.69 m/s, respectively. The results

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Koray KARABULUT, kkarabulut@cumhuriyet.edu.tr

show that the temperature of cold fluid is increased by 9 percent at the exit of channel with a fin angle of 30° when compared to the channel without fins for counter flow. On heat transfer enhancement the effect of different values of Reynolds number and fin heights and fin intervals and also temperature distributions on the cold and hot fluid sides of the channel outside surface are investigated for fin angles of 30° and 60° at parallel and counter flow in the study.

Keywords: Plate heat exchanger, Numerical heat transfer, Fin

1. GİRİŞ

Isı değiştiricilerindeki ısı transferini iyileştirme çalışmalarında arzu edilenler; ağırlık ve boyutta azalmaya imkan sağlamak, ısı transferi miktarını artırmak, akışkanlar arasındaki ortalama sıcaklık farkını azaltmak ve böylece toplam verimliliği iyileştirmektir. Isı transferini artırmak için kullanılan yöntemler genellikle genişletilmiş yüzeyleri, yüzeyde yapılacak birtakım değişiklikleri, akış alanında oluşturulmak istenen türbülansı içermektedir [1].

Bugünün teknolojisinde ısı transferi miktarını artırmada yoğun olarak kullanılan yöntemlerden birisi, genişletilmiş ısı transferi yüzeyleridir (kanatçıklar). Kanatçıklı (genişletilmiş) yüzeyler, yüzey alanını ve akımın türbülansını artırmak suretiyle taşınım ısı ve kütle aktarımını artırır. Kanatçıklı yüzeylerin uygulama alanı çok çeşitlidir. Başlıca kullanım alanları olarak gaz türbin motorlarında türbin kanatçıklarının soğutulması, elektronik cihazların soğutulması ile havacılık, uçak ve kimyasal üretim tesislerindeki çeşitli ısı değiştiricileri sayılabilir. Bununla birlikte, kanatçıkların uygun şekilde kullanılmaması ısı geçişini artırmak yerine azaltabilir. Kanatçık malzemesinin, tipinin, yerleştirilme düzeninin, yüzeye monte şeklinin ve ortam şartlarının her birisinin ayrı ayrı ele alınarak incelenmesi ve ısı geçişini artıracak şekilde değerlendirilmeleri gerekir. Isı değiştiricilerinde transfer edilen ısı miktarının düşmesi, ısı değiştiricinin performansının düşmesine neden olur. Bu da ısı değiştiricisi kullanılan sistemde kapasite kaybı anlamına gelmektedir. Isı transferinin iyileştirilmesi, sistem boyutlarının uygun ölçülerde tutulmasına ve dolayısıyla sistem maliyetinin ve işletme giderlerinin azaltılmasına olanak sağlar. Plakalı ısı değiştiricilerinde, ısı

transferi ve akış yapılarını anlamak için birçok teorik ve deneysel çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmaların bir tanesinde, farklı kurulumlarla oluşturulan kanatçıkları kullanarak, laminer ve düşük türbülanslı akış oranları için tablet tipi ısı değiştiricilerinde ısı transferi artırımı deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır [2]. Lee ve Abdel-Moneim [3] tarafından CFD modelinin kullanılmasıyla iki boyutlu düz dişli yatay yüzeyden olan ısı transferi ve akış biçimi sayısal olarak araştırılmıştır. Acharya ve arkadaşları [4], periyodik olarak gelişen akış alanı için kanatçıklara sahip kanalda akış ve ısı transferini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Liou, Chang ve Hwang [5] ve Liou ve Hwang [6] farklı kanatçık yüksekliği ve debilerde, farklı eğim açılarında peş peşe düzenlenmiş iki çift türbülans oluşturucu için araştırmalar yapmışlardır ($1,2 \times 10^4 < Re < 12 \times 10^4$). İki boyutlu dikdörtgenel kanala yerleştirilen üç farklı genişletilmiş yüzey geometrisinin ısı transferi üzerindeki etkileri Kaya ve arkadaşları tarafından araştırılmıştır [7]. Buyruk ve arkadaşları [8] ve Buyruk ve Karabulut [9], yatay ekseninde 10 mm ötelenmiş, 4 mm kanatçık yüksekliği ve yatay eksenle arasında 30°, 60° ve 90° olmak üzere farklı kanatçık açılına sahip plakalı kanatçıklı ısı değiştiricileri için ısı transferi artışını sayısal olarak incelemiştir. Ayrıca, dış zikzak-iç zikzak-düz-dış zikzak ve iç zikzak-düz-iç zikzak olmak üzere farklı dikdörtgenel kanatçık geometri dizilimlerine sahip plakalı kanatçıklı ısı değiştiricilerinde kanatçiksiz düz kanala göre ısı transferi artışı Buyruk ve Karabulut [10] tarafından değerlendirilmiştir. Ganzarolli ve Alternai [11], çalışma akışkanı olarak havayı kullanarak en düşük giriş sıcaklık farkı ve en az sayıdaki entropi üretim birimi şartlarına göre ters akışlı bir ısı değiştiricisinin ısı dizaynını yapmışlardır. Wang ve arkadaşları [12], düz ve tırtıklı kanatçıklı plakalı ısı değiştiricileri için akış ve ısı transferi

karakteristiklerini analiz etmişlerdir. Düşük Reynolds sayılarında iki kanatçıklı ısı değiştiricileri için sayısal simülasyonlar CFD kod FLUENT kullanılarak yapılmıştır. Wen ve arkadaşları [13], Kriging yüzey yöntemini kullanarak testere dişli kanatçıklı plakalı bir ısı değiştiricisinin optimizasyonunu çalışmışlardır.

Bu amaçla öncelikle, optimizasyon parametreleri olarak kanatçık kalınlığı t , kanatçık aralığı s , kanatçık yüksekliği h ve kanal uzunluğu l kullanılarak plakalı kanatçıklı ısı değiştiricisinin j ve f faktörlerini hesaplamak için testere dişli kanatçıkların sayısal simülasyonu yapılmıştır. Daha sonra bu dört optimizasyon parametresinin hassasiyet analizi, Kriging model uyumuna dayandırılarak gerçekleştirilmiştir. Masliyah ve Nandakumar [14], sonlu elemanlar yöntemini kullanarak üçgen kanatçıklı boruların ısı transferi karakteristiklerini elde etmişlerdir. Çalışmalarında en yüksek ısı transferi için kanat kurulumlarında en uygun kanat sayısının olduğu sonucuna varmışlardır. Gupta ve arkadaşları [15], MAC yöntemini kullanarak sayısal olarak üçgen kanatçıklı plakalı tip bir ısı değiştiricisinde ısı transferi artırımı için bir çift kanatçık tip vorteks üreticinin akış yapısı ve performansını araştırmışlardır. Ayrıca, kanatçık çiftinin yüksekliklerini değiştirerek, ısı transferi artış oranını belirlemişlerdir. Salehi ve arkadaşları [16], kollektör düzenlemesi ve kollektördeki akış saptırıcının yerleşiminin plakalı kanatçıklı ısı değiştiricisinin verimliliği üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Ayrıca, farklı Reynolds sayılarına karşı j faktörünü değerlendirerek plakalı kanatçıklı ısı değiştiricileri üzerinde dört farklı üçgen kanatçık dizisinin etkisini incelemek için sayısal olarak çalışmışlardır. Isı değiştiricilerde, ısı transfer plakaları arasında üçgensel kanatçık kurulumunun ısı transferi performansını iyileştirdiği sonucuna varmışlardır. Zhu ve Li [17], dört kanatçık tipi için (dikdörtgen, çubuk, oluklu ve dalgalı kanatçık) laminer akış rejiminde, kanatçık kalınlığını dikkate alarak akış yapısı ve ısı transferi üzerinde ısıl giriş ve çıkış etkilerini üç boyutlu sayısal olarak araştırmışlardır. Dixit ve Patil [18] çalışmalarında, genişletilmiş yüzeyler üzerinde çapraz, eğimli, V ve çoklu-V yivli düzenlemelere sahip plakalı kanatçıklı ısı

değiştiricilerinin ısı transferi özellikleri hakkında deneysel araştırma sonuçlarını sunmuşlardır. Çalışmada değerlendirdikleri tüm kanatçık tipleri arasında en yüksek ısı transferi artışı değerine eğimli yivli kanatçık tipinde ulaşmışlardır. Wasewar ve arkadaşları FLUENT paket programını kullanarak, geleneksel ısı değiştiricisi ile plakalı kanatçıklı ısı değiştiricisini karşılaştırarak akış dağılımını araştırmışlardır [19].

Literatürde belirtilen çalışmalar değerlendirildiğinde, bu çalışmada incelenen kanatçık tiplerinin henüz araştırılmadığı görülmüştür. Bu çalışmada, plakalı kanatçıklı ısı değiştiricileri için özgün kanatçık geometrileri üzerinde çalışılmıştır. Bu nedenle, daha yüksek ısı transfer oranları elde etmek için düz kanala yerleştirilen dikdörtgensel tipteki bu kanatçık geometrilerinin ısı transfer performans özelliklerini ve basınç düşüşünü araştırmak amacıyla sunulan bu çalışmada; kanatçık yükseklikleri 2 mm olan 30° ve 60° kanatçık açılı ve akışa dik olarak yatay yönde 10 mm ötelenmiş kanatçıkların plakalı ısı değiştiricilerinin ısı transferi, basınç düşüşü ve akış yapısı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada ayrıca, kanatçık yüksekliğinin ve kanatçık aralığının soğuk akışkan sıcaklığı üzerindeki etkisi incelenmiş ve farklı kanatçık açılarının kanalın alt ve üst yüzeylerinde oluşan sıcak ve soğuk akışkan sıcaklık dağılımları üzerindeki etkisi de değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, farklı Reynolds sayılarının Nusselt sayısı üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Hesaplamalar, FLUENT paket programı kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar, düz kanalla kanatçıklı kanalların karşılaştırılmasıyla sıcaklık dağılımları, basınç düşüşü, noktasal sıcaklık ve Nusselt sayısı değişimleri olarak farklı kanatçık açıları, kanatçık yükseklikleri, kanatçık aralıkları ve akış tipleri için sunulmuştur.

2. SAYISAL YÖNTEM

Sayısal çalışma üç boyutlu, zamandan bağımsız, birleşik (iletim ve taşınım) ısı transferi yaklaşımıyla çözülmüştür. Birleşik ısı transferi analizini çözmek için sonlu hacimler yöntemi (FLUENT programı) kullanılmıştır.

Sonlu hacimler yöntemi, çözülecek geometriyi parçalara bölerek bu parçaların her biri için çözüm yapma ve daha sonra bu çözümleri birleştirerek problemin genel çözümünü bulma esasına dayanır. Sonlu hacimler yöntemi, korunum denklemlerini sayısal olarak çözümlenebilen cebirsel denklem sistemlerine dönüştürmek için kontrol hacim esaslı bir teknik kullanır. Bu teknik her bir kontrol hacmi için korunum denklemlerinin integrasyonunun alınması sonucunda, değişkenler için kontrol hacmini sağlayan ayırık eşitliklerin elde edilmesini içerir. Ayırık eşitliklerin doğrusallaştırılması ile elde edilen, doğrusal denklem sistemlerinin iterasyona bağlı çözümünü ile hız, basınç ve sıcaklık gibi değişkenler verilen yakınsaklık ölçüsünü sağlayıncaya kadar güncellenir. Hazırlanabilecek en uygun ağ yapısı için hız, basınç ve sıcaklık değişiminin fazla olduğu bölgelerde daha sık ağ yapısı oluşturulmalıdır. Bu nedenle, kanatların olduğu kanal yüzeyleri en sık ağ yapısının olduğu kısımlardır ve diğer bölgelerde daha seyrek ağ yapısı tercih edilmiştir. Sayısal modelde, kanalın kanatlı kısımlarının da olduğu katı bölgede 25000 hücreden oluşan dikdörtgenel ağ yapısı varken, akışkanın olduğu üst ve alt kanal kısımlarında 74000 elemandan oluşan dikdörtgenel ağ yapısı kullanılmış ve ayrıca sonuçların ağ yapısından bağımsızlığı da sağlanmıştır. Bununla birlikte, bu çalışmadaki hesaplamalarda standart $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılmıştır.

Kullanılan kanatçıklar türbülansa neden olduğundan sayısal hesaplamalarda seçilen kanatçıklı geometriler için standart $k-\epsilon$ türbülans modelinin uygun olduğu belirlenmiştir.

Geometri boyunca akış ve ısı transferinin çözümlenmesi, zamandan bağımsız olarak kütle (süreklilik denklemi), momentumun ve enerjinin korunumu kanunlarından elde edilen kısmi türevli denklemlerin çözümlenmesi esasına dayanır, [12,20].

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Momentum

x momentum denklemi

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \quad (2)$$

$$-\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

y momentum denklemi

$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \quad (3)$$

$$-\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right)$$

z momentum denklemi

$$\rho \left(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = \quad (4)$$

$$-\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right)$$

Enerji denklemi

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \quad (5)$$

$$\left(\frac{k}{\rho c_p} \right) \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

Bu denklemlerde, ρ yoğunluk, μ dinamik viskozite, p basınç, k ısı iletkenlik, T sıcaklık, c_p özgül ısı ve u, v, w ise sırasıyla x, y ve z yönlerindeki hızlardır. Kullanılan standart $k-\epsilon$ türbülans modelinde, türbülans kinetik enerji, k' dissipasyon terimi, ϵ ve viskoz kaybolma terimi, ϕ kullanılmaktadır.

Daimi akış için türbülans kinetik enerjisi denklemini

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho uk')}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vk')}{\partial y} + \frac{\partial(\rho wk')}{\partial z} = \\ \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k'}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k'}{\partial y} \right) + \\ \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k'}{\partial z} \right) + \mu_t \phi - \rho \varepsilon \end{aligned} \quad (6)$$

Türbülans viskozitesi

$$\mu_t = C_\mu \cdot \rho \cdot \frac{k'^2}{\varepsilon} \quad (7)$$

Türbülans kinetik enerji

$$k' = \frac{1}{2} \left(\overline{u^2} + \overline{v^2} + \overline{w^2} \right) \quad (8)$$

Viskoz kaybolma terimi

$$\phi = 2\mu \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] + \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \quad (9)$$

Türbülans kinetik enerji kaybolma denklemini

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho u \varepsilon)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v \varepsilon)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w \varepsilon)}{\partial z} = \\ \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) + C_{1\varepsilon} \mu_t \frac{\varepsilon}{k'} \phi - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k'} \end{aligned} \quad (10)$$

C_μ , $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$, σ_k ve σ_ε katsayıları sabit olup $C_\mu = 0,09$, $C_{1\varepsilon} = 1,44$, $C_{2\varepsilon} = 1,92$, $\sigma_k = 1$ ve $\sigma_\varepsilon = 1,3$ 'dür.

Reynolds sayısı

$$Re = \frac{V_\infty \cdot D_h}{\nu} \quad (11)$$

Burada, D_h kanalın hidrolik çapıdır.

$$D_h = \frac{4A_c}{P} = \frac{4(H_2 \cdot W)}{2(H_2 \cdot W)} \quad (12)$$

A_c kanalın kesit alanı, P ise kanalın çevre uzunluğudur.

Sınır şartı ve Nusselt sayısı aşağıdaki şekilde verilmiştir

$$-k \left(\frac{dT}{dn} \right)_{\text{yüzey}} = h(T_\infty - T_s) \text{ ve } Nu = \frac{h \cdot D_h}{k} \quad (13)$$

h yüzey ısı taşınım katsayısıdır.

Basınç düşüşü aşağıdaki şekilde hesaplanabilir

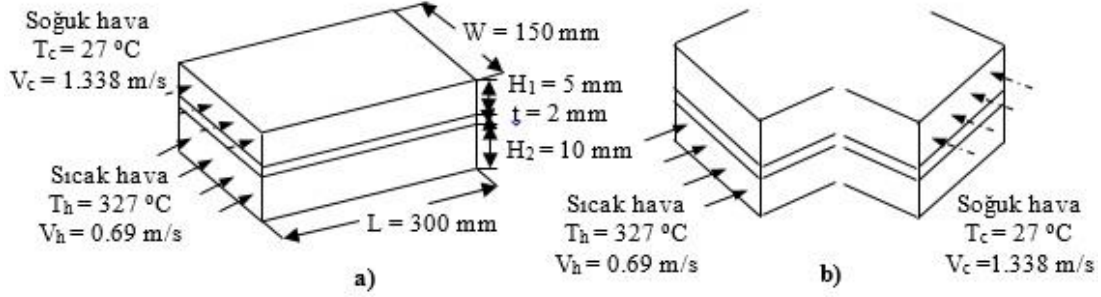
$$\Delta P_L = f \cdot \frac{L}{D_h} \cdot \frac{\rho \cdot V_m^2}{2} \quad (14)$$

ΔP_L akış yönünde kanaldaki basınç düşüşü, f ise sürtünme faktörüdür.

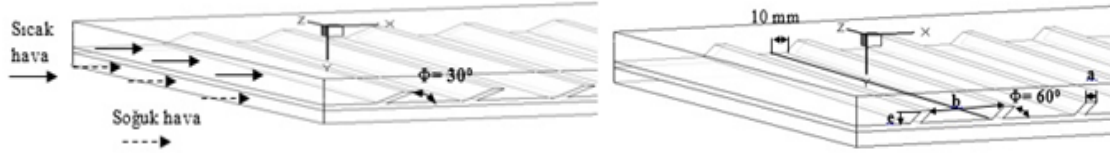
Kanat malzemesinin ısı iletkenliği kanal boyunca ısı dağılımı etkilediği için, ısı transferini artırmada kanatçık malzemesinin seçimi önemli bir faktördür. Bu nedenle, kanal malzemesi olarak yüksek ısı iletkenliğe sahip, ucuz ve hafif olan alüminyum seçilmiştir. Kanatçıkların kanal yüzeyi ile bir bütün olarak üretildiği varsayılarak, kanatçıklar ve yüzey arasındaki ısı direnç ihmal edilmiştir.

3. GEOMETRİK MODEL

Şekil 1'de üç boyutlu düz kanal geometrisinin perspektif görünüşü gösterilmekte iken, Şekil 2a ve Şekil 2b'de ise sırasıyla sayısal hesaplamalarda kullanılan 30° ve 60° kanatçık açılı modellere ait dikdörtgen kanal geometrileri gösterilmektedir. Ayrıca, bu şekiller üzerinde sınır şartları da belirtilmiştir. Şekil 2a ve Şekil 2b'de kanatçıkların daha iyi görselleştirilebilmesi için kanalların ters çevrilmiş görüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 1. Düz kanal için perspektif görünüş a) paralel akış b) ters akış



Şekil 2. Sayısal hesaplamalarda kullanılan dikdörtgen kanal modelleri a) $\Phi = 30^\circ$, $e = 2$ mm b) $\Phi = 60^\circ$, $e = 2$ mm

Kanatçık şekli	: Dikdörtgenel
Kanatçık yüksekliği (e)	: 2,4 mm
Kanatçık aralığı (b)	: 20, 30, 60 mm
Kanatçık genişliği (a)	: 3 mm
Kanatçık açısı (Φ)	: 30° , 60°
Kanal boyu (L)	: 300 mm
Kanal genişliği (W)	: 150 mm
Üst kanal yüksekliği (H_1)	: 5 mm
Alt kanal yüksekliği (H_2)	: 10 mm
Katı yüzey kalınlığı (t)	: 2 mm
Reynolds sayısı	: 300, 400, 600
Sıcak akışkan sıcaklığı (T_h)	: 327°C
Soğuk akışkan sıcaklığı (T_c)	: 27°C
Sıcak hava giriş hızı (V_h)	: 1,338 m/s
Soğuk hava giriş hızı (V_c)	: 0,69 m/s

Bu çalışmada, düşük hızlarda kanatçık kullanımının ısı aktarımına etkisini görebilmek amacıyla Reynolds sayısının 400 olduğu değerlerdeki sonuçlar sunulmuştur. Ayrıca farklı Reynolds sayılarının ısı transferi üzerindeki etkisini görebilmek için Reynolds sayısının 300 ve 600 olduğu değerler için de araştırma yapılmıştır. 30° ve 60° kanat açılı kanallarda, iki kanatçık arası

uzaklık 20 mm iken kanalın giriş kısmı ile birinci kanatçık arası uzaklık 25 mm'dir.

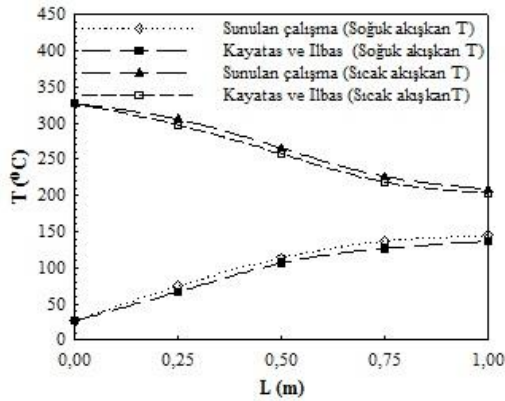
Her iki açılı kanatçık geometrisi için kanala 12 adet kanatçık yerleştirilmiş olup kanatçık yükseklikleri 2 mm'dir. Ayrıca, türbülansı artırabilmek için kanatçıklar yatay eksende 10 mm ötelenerek yerleştirilmiştir (Şekil 2a, 2b).

Bu çalışma, belirtilen kabuller altında yapılmıştır:

- i) Akış üç boyutlu, zamandan bağımsız ve laminardır;
- ii) Kullanılan akışkan sıkıştırılmazdır;
- iii) Kanatçık ve kanal malzemesi olarak alüminyum kullanılmıştır;
- iv) Tabakalar arası ısı teması tamdır;
- v) Kanalın alt ve üst bölümü için kullanılan akışkan havadır;
- vi) Akışkanın ısı özellikleri sabittir;
- vii) Hem akışkan hem de katı malzeme için ısı üretimi söz konusu değildir.

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 3’de Kayatas ve Ilbas [21] tarafından yapılan çalışma ile sunulan çalışmanın sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu Şekil 3’den görülebilmektedir ve bu nedenle sayısal sonuçların doğru ve kabul edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır. Akışkanlar arasındaki sıcaklık farklılığının, ağ yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

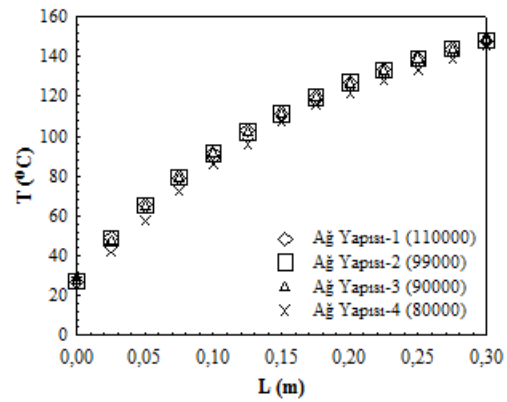


Şekil 3. Kanatçıklı kanal için Kayatas ve Ilbas’ın çalışması ile sunulan çalışmanın karşılaştırılması

Şekil 5A ve 5B’de sırasıyla kanatçıksız düz kanal, 30° ve 60° kanatçık açısı, 2 mm kanatçık yüksekliği ve aynı zamanda yatay ekseninde 10 mm ötelenmiş kanatçıklara sahip kanallar için soğuk ve sıcak akışkan sıcaklık dağılımları paralel ve ters akış durumlarında gösterilmektedir. Şekil 5A’da görüldüğü gibi her iki akış tipi için 30° açılı kanalda 60° açılı kanala göre daha fazla soğuk akışkan sıcaklık değişimi elde edilmektedir. Bu durum, 30° açılı kanalda artan türbülans etkisi ve ısı transfer yüzey alanıyla açıklanabilir. Böylece, 60° kanatçık açılı kanal ile karşılaştırıldığında 30° kanatçık açısı için sıcak akışkan sıcaklık değişimi daha fazla olmaktadır (Şekil 5B). Ayrıca, her iki kanatçık açısı için de soğuk ve sıcak akışkan sıcaklık konturu değişimleri düz kanaldan daha fazladır (Şekil 5A, 5B).

Şekil 6’da kanal boyunca paralel ve ters akış için soğuk akışkan sıcaklık değişimleri gösterilmektedir. 30° açılı kanatçıklı kanal, aynı

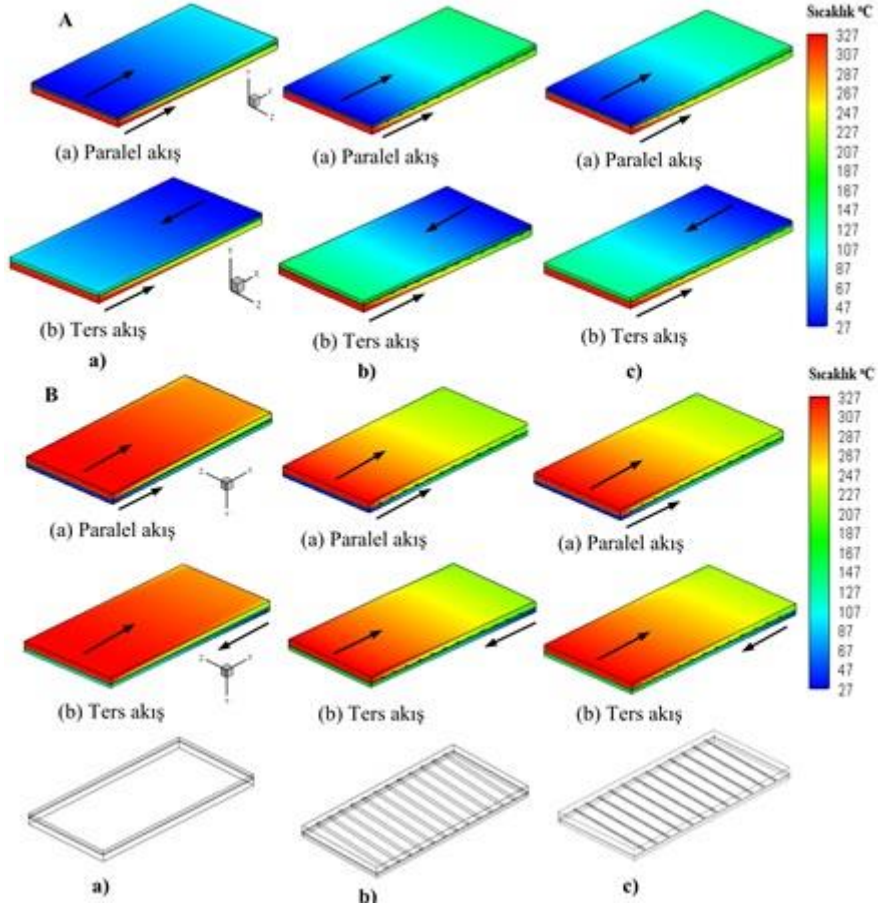
Sunulan çalışmanın sonuçlarının ağ yapısından olan bağımsızlığını belirlemek için kanatçıklı bir kanalda dikdörtgenel ağ eleman sayısı değiştirilerek sonuçların değişimi incelenmiştir (Şekil 4). Kanal kesitinde 99.000 adet elemanın (kanatçıklı katı kısımda 25.000, havanın geçtiği kısımda 74.000 adet eleman) olduğu ağ yapısının yeterli olduğu sonucuna varılmıştır (110.000 adet elemanın olduğu sonuçla karşılaştırıldığında fark % 0,1’den daha azdır).



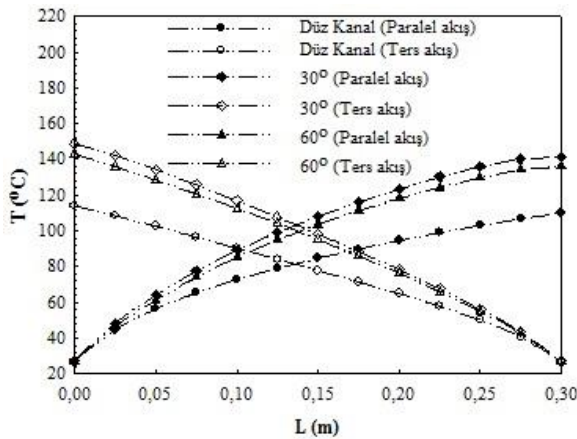
Şekil 4. Soğuk akışkan için ağ yapısının sıcaklık değişimine etkisi

kanatçık yüksekliğinde ($e=2$ mm) 60° açılı kanaldan daha fazla ısı transfer yüzey alanına ve akışkanda daha fazla türbülans etkisine sahiptir. Böylece, paralel akışta 30° açılı kanalda düz kanalla karşılaştırıldığında kanal çıkışında soğuk akışkan sıcaklığında %8’lik bir artış elde edilirken, 60° açılı kanal için bu artış %6,7 olmaktadır. Ters akış durumunda ise bu artış, 30° açılı kanalda %9’a çıkmaktadır.

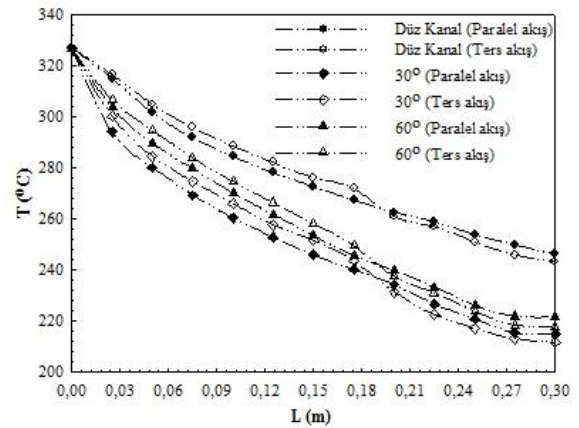
Düz, 30° ve 60° kanatçık açılı kanallar için kanal boyunca sıcak akışkan sıcaklık değişimleri paralel ve ters akış için Şekil 7’de belirtilmektedir. 60° kanatçık açılı kanalda ters akış için düz kanala göre sıcak akışkan çıkış sıcaklığı, girişteki 327°C’lik sıcak akışkan sıcaklığına göre % 5 azalmakta iken bu azalma miktarı 30° kanatçık açılı kanalda %6’ya ulaşmaktadır. Bu sonuç, 30° açılı kanalda, 60°’lik kanala göre ısı transfer oranının daha iyi olduğunu göstermektedir. Ayrıca, paralel akış için de benzer sonuç elde edilmektedir.



Şekil 5A. Soğuk akışkan için üç boyutlu sıcaklık dağılımı 5B. Sıcak akışkan için üç boyutlu sıcaklık dağılımı a) Düz kanal, b) $\Phi = 30^\circ$ açılı kanal, c) $\Phi = 60^\circ$ açılı kanal ($b = 20$ mm, $e = 2$ mm)



Şekil 6. Paralel ve ters akışta kanal boyunca soğuk akışkan sıcaklık değişimi ($e = 2$ mm)



Şekil 7. Paralel ve ters akışta kanal boyunca sıcak akışkan sıcaklık değişimi ($e = 2$ mm)

Şekil 8a ve 8b’de sırasıyla 2 mm kanatçık yüksekliği ve 30° ve 60° kanatçık açılara sahip plakalı ısı değiştiricilerde kanalın soğuk akışkan tarafındaki yüzeyi boyunca paralel akış için farklı Reynolds sayılarında noktasal Nusselt sayısı ve soğuk akışkan yüzey sıcaklık değişimi incelenmiştir. Şekil 8a ve 8b’den de görüldüğü gibi akışkan hızının artmasıyla ısı transferindeki iyileşme de artmaktadır. Bununla birlikte, paralel akışta kanal çıkışına doğru sıcak ve soğuk akışkanlar arasındaki sıcaklık farkı azaldığından analiz edilen Reynolds sayıları için de kanal boyunca çıkışa doğru ısı transfer oranı ve dolayısıyla noktasal Nu sayısı değerleri de azalmaktadır. Ayrıca, kanal girişinden 0,15 m uzaklıkta $Re=300$ ’de 30° açılı kanal için yüzey sıcaklık değeri 60° açılı kanaldan yaklaşık 3,5 °C daha fazladır (Şekil 8b). Bu sonuç, 30° kanatçık açılı plakalı ısı değiştiricisinin ısı transferi performansının daha iyi olduğunu bir kanıtı olarak görülebilir.

Ters akış için 30° ve 60° kanatçık açılara sahip plakalı ısı değiştiricilerde kanal yüzeyi boyunca farklı Re sayılarında noktasal Nu sayısı ve soğuk akışkan sıcaklık değişimi sırasıyla Şekil 9a ve 9b’de gösterilmektedir. İncelenen tüm Re sayıları ve kanatçık açıları için kanalın girişine doğru soğuk akışkan sıcaklığı arttığından ısı transfer oranı daha yüksektir. Bununla birlikte, incelenen Re sayısı aralığında en yüksek noktasal Nu sayısı değerlerine 30° kanatçık açılı kanalda $Re=600$ ’de ulaşılmaktadır. Şekil 9b’deki sıcaklık değişimi grafiği incelendiğinde ise kanal girişinden 0,075 m uzaklıkta 30° kanatçık açılı kanalda $Re=600$ ile aynı uzaklıkta $Re=300$ karşılaştırıldığında 11,6°C’lik sıcaklık farkı olduğu görülmektedir.

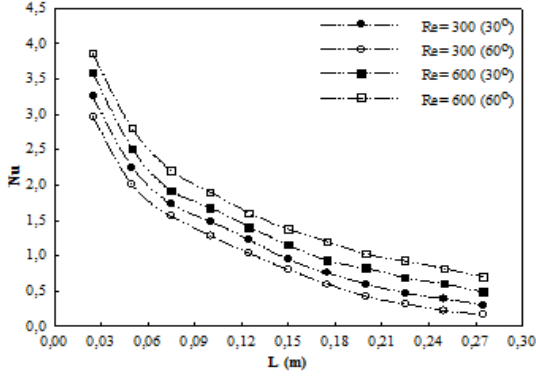
Şekil 10’da 60° kanatçık açılı kanalda $e=2$ mm ve $e=4$ mm olmak üzere farklı kanatçık yüksekliklerinin paralel ve ters akış durumlarında kanal boyunca soğuk akışkan sıcaklık değişimi üzerindeki etkisi gösterilmektedir. Kanatçık yüksekliğindeki artış, ısı transfer yüzey alanını artırarak soğuk akışkan sıcaklığının da artmasını sağlamaktadır.

30° kanatçık açılı ve 2 mm kanatçık yükseklikli kanalda $b=20$ mm ve $b=60$ mm kanatçık aralıkları için kanal boyunca soğuk akışkan sıcaklık değişimleri Şekil 11’de gösterilmektedir. Kanatçık aralığı arttığı zaman kanala yerleştirilen kanatçık sayısı azalacağından hem ısı transfer yüzey alanı hem de kanatçıklar tarafından oluşturulan akış dalgalanmaları azalacaktır. Şekil 11’de de görüldüğü gibi bu durum da kanal boyunca soğuk akışkanın sıcaklık değerinin azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle, ince ve akışı engellemeyecek ölçüde sık aralıklı kanatçık tasarımının verimli olacağı söylenebilir.

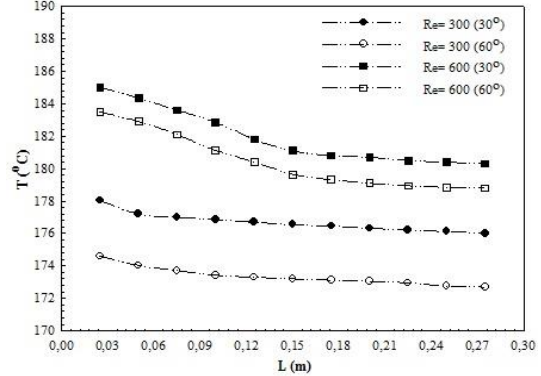
Şekil 12’de 30° ve 60° kanatçık açılı kanalların üst ve alt kısımlarında soğuk ve sıcak akışkanların geçtiği taraflarındaki yüzey sıcaklık dağılımları gösterilmektedir. Kanatçıklar sayesinde kanal boyunca küçük aralıklarda daha yüksek sıcaklık değişimleri elde edilebilmektedir. 60° açılı kanalla karşılaştırıldığında, 30° açılı kanalda hem paralel hem de ters akış için sıcaklık dağılımı daha erken gelişim göstermekte ve daha yüksek sıcaklık değişimleri elde edilebilmektedir. Bununla birlikte, sıcaklık dağılımlarından her iki kanatçık açısı için ters akışın kanal boyunca daha yüksek sıcaklık değişimi meydana getirdiği görülmektedir. Ayrıca, sıcaklık dağılımlarındaki oklar paralel ve ters akış için akış yönlerini belirtilmektedir.

2 mm kanatçık yüksekliğine sahip 30° ve 60° kanatçık açılı kanallarda soğuk akışkanın geçtiği kısımlarının üst yüzeylerindeki sıcaklık değişimleri Şekil 13’de gösterilmektedir. Düz kanal için paralel akış durumunda ilk sıcaklık değişimi kanalın giriş kısmından 0,1065 m uzaklıkta gelişmeye başlarken, 30° kanatçık açılı kanal için bu ilk sıcaklık değişiminin 0,0455 m uzaklıkta olduğu görülmektedir. Ters akış durumunda da benzer sonuç elde edilmekte birlikte 30° kanatçık açısı için 60° açılı duruma göre sıcaklık daha önce gelişim göstermektedir. Aynı zamanda, değişim noktalarında en yüksek sıcaklık değerlerine her iki akış durumunda da 30° kanatçık açılı kanal için ulaşılmaktadır.

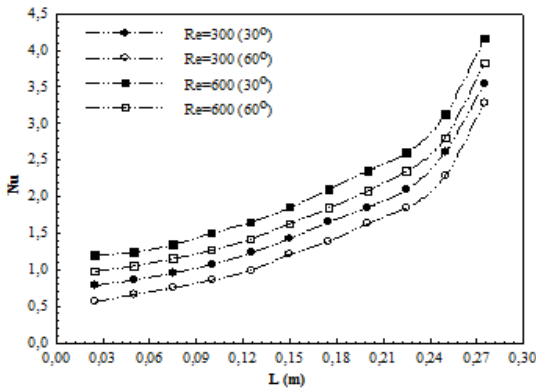
Plakalı Kanatçıklı Isı Değiştiricilerde Kanatçık Açısının Isı Transferine Olan Etkisinin Üç Boyutlu Sayısal Olarak İncelenmesi



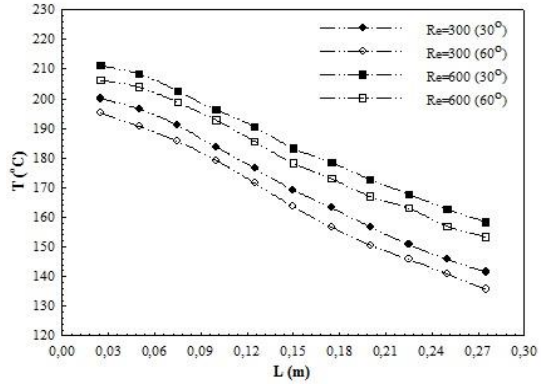
Şekil 8a. Paralel akışlı kanalda farklı Re sayılarında soğuk akışkanın noktasal Nusselt sayısı değişimi



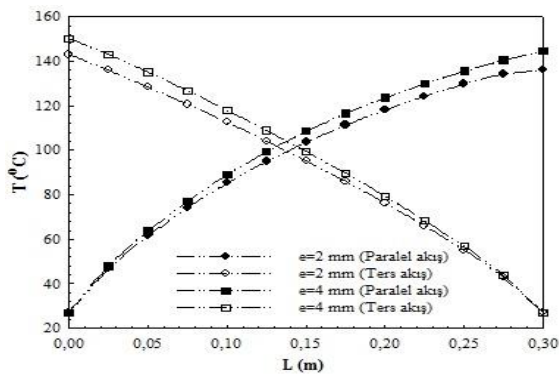
Şekil 8b. Paralel akışlı kanalda farklı Re sayılarında soğuk akışkanın sıcaklık değişimi



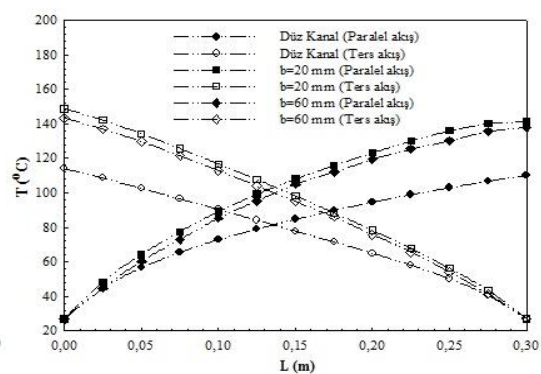
Şekil 9a. Ters akışlı kanalda farklı Re sayılarında soğuk akışkanın noktasal Nusselt sayısı değişimi



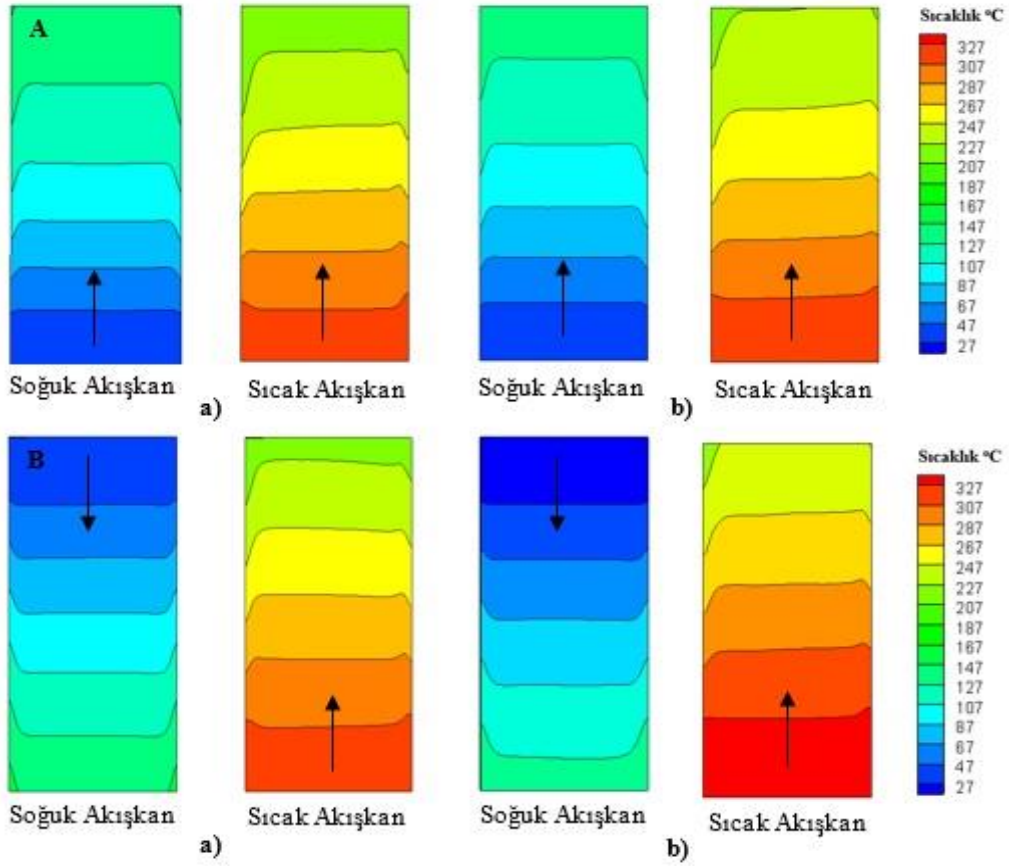
Şekil 9b. Ters akışlı kanalda farklı Re sayılarında soğuk akışkanın sıcaklık değişimi



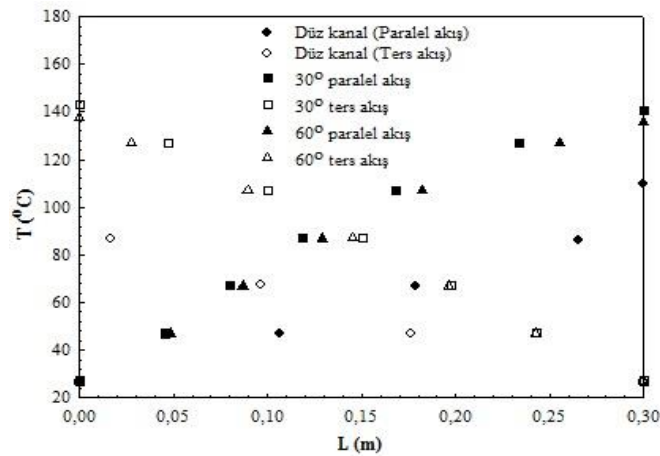
Şekil 10. 60° kanatçık açılı kanalda farklı kanatçık yükseklikleri için soğuk akışkan sıcaklık değişimi



Şekil 11. 30° kanatçık açılı kanalda farklı kanatçık aralıkları için soğuk akışkan sıcaklık değişimi (e=2 mm)



Şekil 12. Kanalı soğuk ve sıcak akışkan taraflarındaki sıcaklık dağılımları, A-Paralel akış B-Ters akış a) $\Phi=30^\circ$ b) $\Phi=60^\circ$



Şekil 13. Kanal yüzeyi boyunca paralel ve ters akış için soğuk akışkan sıcaklık değişimi

Çizelge 1’de düz kanal, 30° ve 60° olmak üzere iki farklı kanatçık açısına sahip plakalı ısı değiştiriciler için kanal boyunca basınç düşüşü değerleri gösterilmektedir. Aynı kanatçık yüksekliğinde daha fazla ısı transfer yüzey alanına sahip 30° kanatçık açılı plakalı ısı değiştiricisinde basınç düşüşünün 60° kanatçık açılı ısı değiştiricisine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Kanatçıklar ısı transferini artırmalarının yanında akışa karşı direnç oluşturmaları sebebiyle kanatçiksız düz kanala göre Çizelge 1’de de görüldüğü gibi basınç düşüşünü artırıcı etkiye sahiptirler. Basınç düşüşünün de gerekli olan pompalama gücünü artırması nedeniyle plakalı ısı değiştiriciler tasarlanırken kanatçık tasarımına dikkat edilmesi gerekmektedir.

Çizelge 1. Isı değiştiriciler için basınç düşüşleri

Isı değiştiricisi tipi	Basınç düşüşü (Pa)
Düz kanal	0.653
30° kanatçıklı	1.578
60° kanatçıklı	1.371

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 30° ve 60° açılı ve akışa dik olarak yatayda 10 mm ötelenmiş dikdörtgenel kanatçık geometrisine sahip plakalı ısı değiştiricilerde ısı transferi, basınç düşüşü ve akış özellikleri üç boyutlu, zamandan bağımsız ve sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada ayrıca, kanatçık yüksekliğinin, kanatçık aralığının etkisi de dikkate alınmış ve kanalın alt ve üst taraflarındaki sıcak ve soğuk akışkanların kanal dış yüzey sıcaklık dağılımları da incelenen farklı kanatçık açıları (30° ve 60°) için araştırılmıştır. Sıcaklık dağılımları ve basınç düşüşleri FLUENT paket programı kullanılarak elde edilmiştir. Kanatçıklar, ısı aktarım yüzeylerini genişletmeleri ve oluşturacakları akış dalgalanmalarıyla aynı hacimde ısı aktarım miktarını arttırmak amacıyla tasarlanmaktadır. Bununla birlikte, pratikte yüksek basınç düşüşü ve dolayısıyla yüksek pompalama gücünden kaçınmak için genellikle düşük akış hızlarında çalışılmaktadır. Bu nedenle çalışmada, düşük hızlarda kanatçık kullanımının ısı transferi üzerindeki etkisini görebilmek amacıyla Re sayısının değeri 400 alınarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Basınç düşüşü sonuçları

incelendiğinde, aynı kanatçık yüksekliğinde daha fazla ısı transfer yüzey alanına sahip 30° kanatçık açılı plakalı ısı değiştiricisinde basınç düşüşünün 60° kanatçık açılı ısı değiştiricisine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Kanatçıklar ısı transferini artırmalarının yanında akışa karşı direnç oluşturmaktadırlar. Bu nedenle düz kanala göre daha fazla basınç düşüşü etkisine sahiptirler.

Bunun yanı sıra, çalışmada farklı Re sayılarının Nu sayısı üzerindeki etkisi de incelenmiş ve Re sayısındaki artışın, Nu sayısında artışa neden olduğu görülmüştür. Çalışılan kanatçık aralıkları düşünüldüğünde, en iyi sonuca 20 mm kanatçık aralığında ulaşılmaktadır. Ayrıca, kanatçık yüksekliğinin artışı, ısı transfer oranını artırsa da kanatçıkların uygun şekilde kullanılmaması ısı geçişini artırmak yerine azaltabilir. Bu nedenle, ince ve akışı engellemeyecek ölçüde sık aralıklı kanatçık tasarımının verimli olacağı söylenebilir. Sonuçlar, soğuk akışkan sıcaklığının ters akış durumunda 30° kanatçıklı kanalda düz kanala göre kanal çıkışında %9 artırıldığını göstermektedir.

Çalışmada, plakalı kanatçıklı ısı değiştiricileri için özgün kanatçık geometrileri değerlendirilmiş ve ısı transferini artırmak için kullanılan kanatçıklar literatürde henüz araştırılmamıştır. Bu nedenle, plakalı kanatçıklı ısı değiştiricilerde daha fazla ısı transfer artış oranları elde edebilmek için bu tip dikdörtgenel kanatçık geometrilerinin ısı transfer performans özelliklerinin ve bununla birlikte basınç düşüşlerinin araştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada, kanatçık açısı, kanatçık yüksekliği ve kanatçıklar arası mesafe, akıştaki türbülansı artırmak için kanatçıkların akışa dik olarak yatayda 10 mm ötelenmesiyle değerlendirilerek plakalı kanatçıklı ısı değiştiricilerinin verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır. Sonuçlar, düz kanalla kanatçıklı kanalların karşılaştırılmasıyla sıcaklık dağılımları, basınç düşüşü, noktasal sıcaklık ve Nusselt sayısı değişimleri olarak farklı kanatçık açıları ve akış tipleri için sunulmuştur.

Sonuç olarak bu çalışmadan elde edilen verilerin, plakalı kanatçıklı ısı değiştiricilerinin tasarımı açısından yapılacak olan doğrudan uygulamalarda büyük öneme sahip olduğu ve plakalı kanatçıklı ısı değiştiricilerin optimizasyonunda kullanılabileceği düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Sunden, B., 1999. Heat Transfer and Fluid Flow in Rib-Roughened Rectangular Ducts, Heat Transfer Enhancement of Heat Exchangers, (Ed.) S. Kakac, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 355, 123-140.
2. Tauscher, R., Mayinger, F., 1999. Heat Transfer Enhancement in a Plate Heat Exchanger with Rib-Roughened Surfaces, Heat Transfer Enhancement of Heat Exchangers, (Ed.) S. Kakac, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 355, 207-221.
3. Lee, C. K., Abdel-Moneim, S. A., 2001. Computational Analysis of Heat Transfer in Turbulent Flow Past a Horizontal Surface with Two-Dimensional Ribs, Int. Comm. Heat Mass Transfer, 28 (2), 161-170.
4. Acharya, S., Dutta, S., Myrum, T.A., Baker R.S., 1993. Periodically Developed Flow and Heat Transfer in a Ribbed Duct, Int. J. Heat Mass Transfer, 36 (8), 2069-2082.
5. Liou T.M., Chang, Y., Hwang, D.W., 1990. Experimental and Computational Study of Turbulent Flows in a Channel with Two Pairs of Turbulence Promoters in Tandem, ASME J. Fluids Eng., 112 (3), 302-310.
6. Liou, T. M., Hwang, J. J., 1992. Developing Heat Transfer and Friction in a Ribbed Rectangular Duct with Flow Separation at Inlet, ASME J. Fluids Eng., 114 (3), 565-573.
7. Kaya, D., Buyruk, E., Can, A., Fertelli, A., 2007. Numerical Study of Heat Transfer Characteristics of Extended Surfaces, Strojarsstvo, 49 (2), 137-144.
8. Buyruk, E., Karabulut, K., Karabulut, O. O., 2013. Three-Dimensional Numerical Investigation of Heat Transfer for Plate Fin Heat Exchangers, Heat and Mass Transfer, 49 (6), 817-826.
9. Buyruk, E., Karabulut, K., 2013. Numerical Investigation into Heat Transfer for Three-Dimensional Plate Fin Heat Exchangers with Fins Placed Perpendicular to Flow, Transactions of Famen, 37 (2), 87-102.
10. Buyruk, E., Karabulut, K., 2015. Numerical Study of Heat Transfer Enhancement and Flow Characteristics of Three-Dimensional Plate Fin Heat Exchangers, Heat Transfer Research, 46 (9), 819-837.
11. Ganzarolli, M. M., Alternani, C. A. C., 2010. Optimum Fin Spacing and Thickness of a Finned Heat Exchanger Plate, Heat Transfer Engineering, 31 (1), 25-32.
12. Wang, Y. Q., Dong, Q. W., Liu, M. S., Wang, D., 2009. Numerical Study on Plate Fin Heat Exchangers with Plain Fins and Serrated Fins at Low Reynolds Number, Chem. Eng. & Tec., 32 (8), 1219-1226.
13. Wen, J., Yang, H., Tong, X., Li, K., Wang, S., Li, Y., 2016. Optimization Investigation on Configuration Parameters of Serrated Fin in Plate-Fin Heat Exchanger Using Genetic Algorithm, Int. J. Thermal Sciences, 101, 116-125.
14. Masliyah, J. H., Nandakumar, K., 1976. Heat Transfer in Internally Finned Tubes, Trans. ASME J. Heat Transfer, 98 (2), 257-261.
15. Gupta, M., Kasana, K. S., Vasudevan, R., 2009. A Numerical Study of the Effect of Flow Structure and Heat Transfer of a Rectangular Winglet Pair in a Plate Fin Heat Exchangers, J. Mech. Eng. Science, 223 (9), 2109-2215.
16. Salehi, S., Afshin, H., Farhanieh, B., 2015. Numerical Investigation of the Inlet Baffle, Header Geometry and Triangular Fins Effects on Plate-Fin Heat Exchangers Performance, Heat Transfer Engineering, 36 (16), 1397-1408.
17. Zhu, Y. H., Li, Y. Z., 2008. Three Dimensional Numerical Investigation on the Laminar Flow and Heat Transfer in Four Basic Fins of Plate Fin Heat Exchangers, Trans. ASME J. Heat Transfer, 130, 1-8.
18. Dixit, A., Patil, K., 2015. Heat Transfer Characteristics of Grooved Fin Under Forced Convection, Heat Transfer Engineering, 36 (16), 1409-1416.
19. Wasewar, K.L., Hargunai, S., Atluri, P., Kumar, N., 2007. CFD Simulation of Flow Distribution in the Header of Plate Fin Heat Exchangers, Chem. Eng. & Tech., 30 (10), 1340-1346.
20. FLUENT User's Guide, 2003. Fluent Inc. Lebanon, NH.
21. Kayatas, N., Ilbas, M., 2005. İç İçe Borulu Model Bir Isı Değiştiricisinde Isı Transferinin

Plakalı Kanatçıklı Isı Değiştiricilerde Kanatçık Açısının Isı Transferine Olan Etkisinin Üç Boyutlu Sayısal Olarak İncelenmesi

İyileştirilmesinin Sayısal Olarak İncelenmesi,
Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Dergisi, 21 (1-2), 128-139.

Zonguldak Bölgesindeki Kayaçların Kıyı Koruma Yapılarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Ali Can ÖZDEMİR*¹

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

Geliş tarihi: 05.01.2017

Kabul tarihi: 14.03.2017

Öz

Kıyı şeridinin faydalı şekilde kullanılması ve korunması ülke ekonomisi açısından oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Bu amaç doğrultusunda kıyı koruma yapılarının planlanması ve projelendirmesi aşamaları oldukça dikkatli uygulanmalıdır. Kıyı koruma yapıları için en önemli parametrelerden biri kullanılacak olan dolgu malzemesinin (kayaç) karakteristik özellikleridir. Bu çalışmanın amacı, Zonguldak bölgesinde bulunan taş ocaklarından elde edilen kayaç numunelerin kıyı dolgusu ve sanat yapılarında kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bütün testler TS EN ve BS EN standartlarına göre uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar SK-2, ÇS-3, YL-4, KYP-5, AY-6 ve ARS-7 taş ocaklarının teknik şartname özelliklerini sağladığını göstermiştir. Ancak, EMM-1 taş ocağının heterojen yapısından dolayı selektif üretim uygulanırsa kullanılabilirliği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kıyı koruma yapıları, Zonguldak, Kayaç

Investigation of Usability of Rocks in Zonguldak Area for Coastal Defence Structures

Abstract

The use and protection of the coastline in beneficial way are very important in terms of the country's economy. For this purpose, the planning and projecting stages of the coastal defence structures should be applied carefully. One of the most important parameters for the coastal defence structures is characteristic features of the filler material (rock) that is being used. The aim of this study, to investigate the usability of the rock samples obtained from quarries in the Zonguldak area for coast filler and art structures. All tests were conducted according to TS EN and BS EN standards and the results were evaluated. The obtained results showed that the SK-2, ÇS-3, YL-4, KYP-5, AY-6 and ARS-7 quarries provide the technical specification properties. However, it was determined that EMM-1 quarry can be used when the selective production was performed due to its heterogeneous structure.

Keywords: Coastal defence structures, Zonguldak, Rock

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ali Can ÖZDEMİR, acozdemir@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemizde, kıyıların en iyi şekilde kullanımının hem deniz ulaşımı hem de turizm açısından ülke ekonomisinin büyümesinde oldukça büyük payı olmaktadır. Deniz ulaşımının en ekonomik ulaşım sektörü olması ve ülkemizin transit deniz ulaşım yolları üzerinde bulunması bu payı daha da artırmaktadır. Bu nedenle kıyıların en iyi şekilde korunması ve geliştirilmesi gerekmektedir [1].

Deniz yapılarında kullanılacak kaya malzemelerinin seçilmesinde dikkat edilmesi gereken başlıca temel özellikler; renk, yoğunluk, su emme, porozite, süreksizliklerin konumu, ayrışma durumu, mukavemeti, sertliği, tane boyu dağılımı, blok bütünlüğü, blok şekli, blok ağırlığı ve boyutu olarak sıralanabilir. Deniz yapılarında kullanılacak doğal yapı malzemelerinin belirlenmesinde ilk adım olarak jeolojik inceleme yapılmalı ve potansiyel kaya malzemesi öncelikle kaynağında incelenmelidir. Uygun kaya malzemesi taş ocağında yapılacak kayanın fiziksel ve jeolojik özelliklerinin ayrıntılı değerlendirilmesine dayalı olarak seçilmelidir. Belirli bir kaynak tespit edildiğinde dikkatlice araştırılmalıdır. Ayrışmayla birlikte kayaçların mineralojisi, oluşumu, süreksizliklerin durumu, bölgesel metamorfizma, tektonizma ve faylanma kaya kalitesini belirleyen önemli faktörlerdir [2].

Bu çalışma, Zonguldak İli, Karadeniz Ereğli ve Merkez İlçesi sınırlarında bulunan kayaç numunelerinin kıyı koruma yapılarında kullanılabilirliğinin araştırılmasını kapsamaktadır. Bu kapsamda çalışma alanını temsil etmesi açısından 7 farklı bölgeden kayaç örnekleri alınmıştır. Daha sonra laboratuvar ortamında ilgili standartlara uygun olarak deneyler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

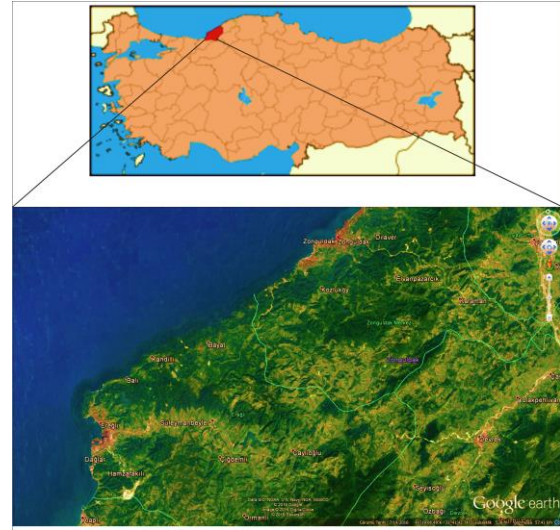
2.1. Materyal

Bu çalışmada blok numuneler de dahil olmak üzere farklı boyut ve özellikte kayaç numuneleri

kullanılmıştır. Materyal olarak araştırılan kayaç numuneleri Zonguldak İli, Karadeniz Ereğli ve Merkez İlçesi sınırlarında 7 farklı bölgede bulunan taş ocaklarından (EMM-1, SK-2, ÇS-3, YL-4, KYP-5, AY-6 ve ARS-7/Ocakların isimleri gizlenmiştir) elde edilmiştir.

2.1.1. Çalışma Alanının Konumu

Çalışma alanı Zonguldak İli, Karadeniz Ereğli ve Merkez ilçesi olarak sınırlandırılmıştır. Şekil 1’de çalışma alanının yer bulduru haritası görülmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası

2.2. Metot

Çalışma alanından alınan deney numunelerinin kıyı koruma yapılarında kullanılabilirliği TS EN 13383-1 [8], TS EN 13383-2 [9], TS 706 EN 12620 +A1 [10], TS EN 1467 [11] standartları ve CIRIA/CUR [12] kıyı mühendisliği el kitabı temel alınarak araştırılmıştır.

2.2.1. Kimyasal Analiz

Deney numunelerinin kimyasal içeriklerini ve bünyesinde bulunan elementlerin miktarını belirlemek amacı ile kimyasal analiz yapılmaktadır. Bu çalışmada kimyasal analiz yöntemlerinden X-ışını floresans (XRF) yöntemi

uygulanmıştır. Kimyasal analizde kullanılacak olan deney numuneleri, ocağı temsil etmesi açısından tüm kayaç numunelerinden alınan parçaların öğütülmesi ve konileme-dörtleme yöntemi ile azaltılması işlemlerinden elde edilmiştir. Elde edilen bu deney numunelerinin kimyasal içerikleri XRF deney cihazı yardımı ile belirlenmiştir.

2.2.2. Özgül Ağırlık (Tane Yoğunluğu)

Bir kayacın bağıl (boşlukları ihmal edilmiş) yoğunluğu özgül ağırlık olarak adlandırılır. Özgül ağırlık hesaplamalarında yaygın olarak piknometre yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde, deney numunesi 0,2 mm'lik elekten geçecek şekilde öğütülür. Öncelikle boş piknometre ağırlığı tartılır daha sonra piknometrenin 4/3'lük kısmı deney numunesi ile doldurulur ve bu şekilde tartım yapılır. Sonrasında numune ile dolu olan piknometrenin içerisinde saf su doldurulur ve tekrar tartım alınır. Son olarak piknometre boşaltılıp temizlenir ve sadece saf su ile doldurulur ve tartım alınır. Bu işlemlerden sonra aşağıdaki formül ile özgül ağırlık değeri hesaplanır [13].

$$G_s = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \quad (1)$$

W₁= Boş piknometre ağırlığı (g)
W₂= Piknometre + numune ağırlığı (g)
W₃= Piknometre+ numune + su ağırlığı (g)
W₄= Piknometre + su ağırlığı (g)
G_s= Özgül Ağırlık

2.2.3. Ağırlıkça Su Emme Oranı

Bir kayacın ağırlık bazında bünyesinde ne kadar miktarda su bulunduğunu ölçmek amacıyla ağırlıkça su emme deneyi uygulanır. Deney numuneleri sabit tartıma gelinceye kadar etüvde kurutulur. Sabit tartıma gelen deney numunesinin hassas terazide tartımı yapılır. Daha sonra desikatörde bekletilen deney numunesi tüm yüzeyleri su ile temas edilecek şekilde su dolu kabın içerisine bırakılır. Yaklaşık 48 saat süre geçtikten sonra su içerisinden çıkarılır ve hafifçe üzerindeki ıslaklık alındıktan sonra aynı

hassas terazi ile tartımı yapılır. Elde edilen tartım verileri aşağıdaki formülde yerine koyularak ağırlıkça su emme değeri hesaplanır [13].

$$A_w = \frac{W_d - W_k}{W_k} \times 100 \quad (2)$$

W_d= Numunenin doygun ağırlığı (g)

W_k= Numunenin kuru ağırlığı (g)

A_w= Ağırlıkça su emme oranı değeri (%)

2.2.4. Birim Hacim Ağırlık

Bu deney ile kayaç numunesinin kütleli (gözenekler dahil) birim hacim ağırlık değeri hesaplanmaktadır. Deney numunesinin hacim ve ağırlık değerleri ölçülür. Daha sonra aşağıdaki formül ile birim hacim ağırlık değeri hesaplanır [14].

$$\rho = \frac{W}{V} \quad (3)$$

W= Numune ağırlığı (g)

V= Numune hacmi (cm³)

ρ= Birim hacim ağırlık (g/cm³)

2.2.5. Los Angeles Aşınma Kaybı

Bir kayaç numunesinin aşınmaya karşı gösterdiği dayanım mekanik özellikler arasında oldukça önemli yer tutmaktadır. Bu dayanımı belirlemek için farklı deney yöntemleri vardır. Ancak en yaygın olarak kullanılan yöntem Los Angeles aşınma kaybı deneyidir. Bu deney için -16+14 mm boyutunda 2500 g; -14+12,5 mm boyutunda 2500 g olmak üzere toplam 5000 g agrega numunesi hazırlanır. Los Angeles deney tamburu içerisine atılan deney numuneleri üzerine çelik bilyalar bırakılır ve tamburun ağzı kapatıldıktan sonra 31 devir/dakika sabit hızla 500 devir dönüşü tamamlaması beklenir. Tamburun dönüşü tamamlandıktan sonra deney numunesi tamburdan çıkarılır ve bilyeler ayıklandıktan sonra 1,6 mm açıklıktaki elekten eleme yapılır ve elek üstü malzemenin tartımı alınır. Los Angeles aşınma kaybı miktarı aşağıdaki formül ile hesaplanır [15].

$$LA = \frac{5000 - m}{50} \quad (4) \quad \sigma_b = \frac{F}{A} \quad (6)$$

m= 1,6 mm'lik elek üstü malzeme miktarı (g)
LA= Los Angeles aşınma kaybı değeri

F= Numunenin kırılma yükü (kgf)
A= Numunenin yüzey alanı (cm²)
 σ_b = Tek eksenli basınç dayanımı (kgf/cm²)

2.2.6. Don Kaybı (MgSO₄ Yöntemi)

Deney sırasında tartım yapılarak en az 500 gr ağırlığında ve 10-14 mm boyut aralığında agrega numunesi magnezyum sülfat çözeltisine daldırılır ve 17 saat beklenir. Daha sonra deney numunesinin 2 saat süzülmesi beklenir ve sonrasında 5 saat süre ile etüvde kurutulur. Bu işlemler periyodik olarak 5 sefer tekrarlanır. Döngü tamamlandıktan sonra deney numunesi 10 mm'lik elekten geçirildikten sonra elek üzerinde kalan malzeme tekrar tartılır. Magnezyum sülfatın tekrar su alması ve agrega numunesinde tekrarlanan kristalizasyon ile agrega boşluklarında zararlı etkiler ortaya çıkar. Tane büyüklüğü 10 mm'den daha küçük malzemelerin oluşmasına neden olan zararlı etkilerin neden olduğu ufalanma ölçülür. Tartım işleminden sonra aşağıdaki eşitlik ile Don kaybı kütlece yüzde olarak hesaplanır [16].

$$M_s = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \cdot 100 \quad (5)$$

M₁= Deney numunesinin ilk kütlesi (g)

M₂= Deney numunesinin son kütlesi (g)

M_s= Donma-Çözünme kaybı (%)

2.2.7. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Bu deney ile numunenin düşey yönde uygulanan kuvvet karşısında kırılmaya karşı gösterdiği direnç hesaplanmaktadır. Deney numunesi küp veya silindir (boy/çap oranı= 2-2,5) olacak şekilde hazırlanmalıdır. Hazırlanan deney numunesinin yüzey alanı ölçüldükten sonra hidrolik pres makinesi yardımıyla düşey yönde kuvvet uygulanır ve numunenin kırılma yükü kayıt altına alınır. Deney numunesinin kırılma yükünün yüzey alanına oranı tek eksenli basınç dayanımı değerini verir [17].

2.2.8. Sürtünme ile Aşınma Kaybı (Böhme Metodu)

Bu deneyde 30 devir/dk.±1 devir/dk hızla dönmesini sağlayan yaklaşık 750 mm çapında yatay olarak yerleştirilmiş döner bir aşındırma diski bulunmaktadır. Numuneye dönen disk üzerinde belirli bir kuvvet uygulayan donanım yüzey aşındırıcı olarak kullanılmaktadır. Sürtünme ile aşınma kaybı deneyi için kenar uzunlukları 71 mm±1,5 mm olan küp numuneler hazırlanmıştır. Deneyde yaklaşık 20 g zımpara tozu (korundum) sürtünme şeridi üzerine serpilir ve çelik manivela aracılığı ile 294±3 N ile yüklenir. 22 devir sonunda otomatik olarak duran disk üzerinden zımpara tozu ve numune atıkları temizlenir. Numune düşey eksen etrafında 90° çevrilir. Her numune için 22 devir'den oluşan deney 16 defa tekrarlanır. Deney numunesi iyice temizlendikten sonra numune hassas terazide tartılır. Aşağıdaki Eşitlik (7) kullanılarak toplam hacim kaybı hesaplanır [18].

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho} \quad (7)$$

ΔV = Toplam hacim kaybı (cm³/50 cm²)

Δm = Toplam ağırlık kaybı (g/50 cm²)

ρ = Numune yoğunluğu (g/cm³)

2.2.9. Arazide Düşürme Testi

Bu deney, blok numunelere yüksekte düşmeye karşı direncini ölçmek amacı ile uygulanmaktadır. Zeminde duran bir blok numunenin üzerine aynı özellikleri taşıyan başka bir blok numune yaklaşık 3 m yükseklikten bırakılır. Daha sonra her iki bloğun fiziksel yapılarını koruyup korumadığına bakılır ve blok numunelerde oluşan deformasyon miktarı ölçülür [19].

2.2.10. Ayrıştırma Derecesi Tayini

Arazide düşme testine tabi tutulan örneklerden çıplak göz, lup ve binoküler mikroskop altında incelemeye uygun el örnekleri hazırlanmış ayrıca benzer numunelerden değişik doğrultularda 5'er adet ince kesit hazırlanarak incelenmiştir [12, 20].

2.2.11. Petrografik Tanımlama

Bu deneyde taş ocaklarını temsil edecek şekilde alınan el örneklerinden ince kesitler hazırlanmış olup polarizan mikroskop ile incelenerek kayaç tanımlamaları yapılmıştır [21, 22].

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Zonguldak Karadeniz Ereğlisi sınırlarında bulunan farklı bölgelerden alınmış olan deney numuneleri üzerinde ayrıntıları önceki bölümde verilmiş olan deneyler uygulanmış olup elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

3.1. Kimyasal Analiz

Deney numuneleri üzerinde kimyasal analiz deneyi uygulanmış ve analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Deney numunelerinin kimyasal analiz sonuçları

Numune Adı	CaO - CaCO ₃	MgO - MgCO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
EMM-1	33,97 – 60,66	1,19 – 2,50	24,00	5,37	3,17
SK-2	43,42 – 77,53	0,19 – 0,41	8,65	2,60	5,05
ÇS-3	53,86 – 96,18	-	1,71	0,65	0,69
YL-4	45,77 – 81,74	7,19 – 15,10	1,70	-	0,70
KYY-5	53,98 – 96,40	0,20 – 0,42	1,60	0,32	0,30
AY-6	55,38 – 98,90	0,14 – 0,30	-	0,36	0,22
ARS-7	55,22 – 98,61	0,17 – 0,35	-	0,22	0,15

3.2. Özgül Ağırlık (Tane Yoğunluğu)

Deney numuneleri üzerinde özgül ağırlık (piknometre metodu) deneyi uygulanmış ve numunelere ait ortalama deney sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Ortalama özgül ağırlık değerleri

Numune Adı	Özgül Ağırlık (g/cm ³)
EMM-1	2,720
SK-2	2,719
ÇS-3	2,682
YL-4	2,802
KYP-5	2,710
AY-6	2,700
ARS-7	2,695

3.3. Ağırlıkça Su Emme Oranı

Deney numuneleri üzerinde ağırlıkça su emme oranı deneyi uygulanmış ve numunelere ait ortalama deney sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Ortalama ağırlıkça su emme değerleri

Numune Adı	Ağırlıkça Su Emme Oranı (%)
EMM-1	0,209
SK-2	0,157
ÇS-3	0,540
YL-4	0,172
KYP-5	1,224
AY-6	0,448
ARS-7	0,148

3.4. Birim Hacim Ağırlık

Deney numuneleri üzerinde birim hacim ağırlık deneyi uygulanmış ve numunelere ait ortalama deney sonuçları Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Ortalama birim hacim ağırlık değerleri

Numune Adı	Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)
EMM-1	2,509
SK-2	2,527
ÇS-3	2,571
YL-4	2,717
KYP-5	2,499
AY-6	2,510
ARS-7	2,543

3.5. Los Angeles (LA) Aşınma Kaybı

Deney numuneleri üzerinde Los Angeles aşınma kaybı deneyi uygulanmış ve numunelere ait deney sonuçları Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 5. Ortalama LA Aşınma kaybı değerleri

Numune Adı	Elek Üstü (g)	LA (%)
EMM-1	3898	22,04
SK-2	4020	19,60
ÇS-3	4046	19,80
YL-4	4106	17,58
KYP-5	4116	17,68
AY-6	4120	17,60
ARS-7	4100	18,00

3.6. Don Kaybı (MgSO₄ Yöntemi)

Deney numuneleri üzerinde Don kaybı (MgSO₄) deneyi uygulanmış ve numunelere ait deney sonuçları Çizelge 6’da verilmiştir.

Çizelge 6. Ortalama Don kaybı değerleri

Numune Adı	Kütle Kaybı (g)	Kategori
EMM-1	8,39	M18
SK-2	1,98	M18
ÇS-3	1,49	M18
YL-4	6,80	M18
KYP-5	2,10	M18
AY-6	2,06	M18
ARS-7	3,04	M18

3.7. Tek Eksenli Basınç (TEB) Dayanımı

Deney numuneleri üzerinde tek eksenli basınç dayanımı deneyi uygulanmış ve numunelere ait ortalama deney sonuçları Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 7. Ortalama TEB dayanımı değerleri

Numune Adı	TEB Dayanımı (kgf/cm ²)	TEB Dayanımı (MPa)
EMM-1	892,60	87,50
SK-2	866,44	84,97
ÇS-3	873,60	85,67
YL-4	844,35	82,80
KYP-5	1087,21	106,62
AY-6	826,36	81,04
ARS-7	793,50	77,80

3.8. Sürtünme ile Aşınma Kaybı (Böhme Metodu)

Deney numuneleri üzerinde sürtünme ile aşınma kaybı (böhme metodu) deneyi uygulanmış ve numunelere ait ortalama deney sonuçları Çizelge 8’de verilmiştir.

Çizelge 8. Ortalama Böhme aşınma kaybı değerleri

Numune Adı	Böhme Aşınma Kaybı (cm ³ /50 cm ²)
EMM-1	14,14
SK-2	13,44
ÇS-3	13,10
YL-4	13,95
KYP-5	13,13
AY-6	13,15
ARS-7	13,86

3.9. Arazide Düşürme Testi

Deney numuneleri üzerinde arazide düşürme testi uygulanmıştır. Deney sırasında elde edilen taş ocaklarının görüntüsü Şekil 2-8’de verilmiştir. Bu deney açısından bütün ocaklar gerekli kriterleri sağlamıştır.



Şekil 2. EMM-1 taş ocağı



Şekil 3. SK-2 taş ocağı



Şekil 4. ÇS-3 taş ocağı



Şekil 5. YL-4 taş ocağı



Şekil 6. KYP-5 taş ocağı



Şekil 7. AY-6 taş ocağı



Şekil 8. ARS-7 taş ocağı

3.10. Ayırışma Derecesi Tayini

Deney numuneleri üzerinde ayırışma dereci tayini yapılmış olup elde edilen deney sonuçları Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 9. Ayırışma derecesi deney sonuçları

Numune Adı	Ayırışma Derecesi
EMM-1	IB
SK-2	IB
ÇS-3	IB
YL-4	IA-IB
KYP-5	IB
AY-6	IB
ARS-7	IB

3.10. Petrografik Analiz

Deney numuneleri üzerinde yapılan petrografik analizler ışığında kayaç adlandırmaları yapılmış olup elde edilen sonuçlar Çizelge 10'da verilmiştir.

Çizelge 10. Petrografik Analiz sonuçları

Numune Adı	Deney Sonucu
EMM-1	Kumtaşı
	Konglomera
SK-2	Silisli Kalker
ÇS-3	Kalker
YL-4	Dolomitik Kalker
KYP-5	Saf Kalker
AY-6	Saf Kalker
ARS-7	Saf Kalker

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, fiziksel, mekanik, kimyasal ve petrografik özellikleri ayrı ayrı değerlendirilen EMM-1, SK-2, ÇS-3, YL-4, KYP-5, AY-6, ve ARS-7 taş ocaklarında blokların homojenlik ve sağlamlık bakımından birbirine oldukça benzer özellik taşıdıkları anlaşılmıştır. Ancak taş ocaklarında arazide düşürme testleri yapılırken genel görünüm ve blok verimi bakımından

farklılıklar olduğu görülmüştür. EMM-1 taş ocağı kumtaşı ve çok orijinli konglomera olmak üzere iki farklı litolojiden oluşmuş olduğu görülmüştür. Diğer taş ocakları oldukça homojen karakterdedir. Arazide düşürme testinde EMM-1 ocağına ait kumtaşı bloğu konglomera üzerine düşürülmüştür. Oldukça dayanıklı olduğu anlaşılan blokların ayrı ayrı litolojide üretilmesi ve şiştik özellik gösteren çamurtaşı gibi suya dayanıksız kısımların ayıklanması halinde (selektif kazı) tercih edilerek kullanılabilmesi anlaşılmıştır. KYP-5 ve AY-6 taş ocakları esas olarak masif kireçtaşlarından oluşan fiziksel ve mekanik özellikleri birbirine çok yakın olan saf kalker sınıfındadır. Bu ocaklardan türetilen blok ve el örneklerinin teknik şartnameye de en uygun özellikler gösteren taşocakları oldukları görülmektedir. Sonuçlar değerlendirilirken TS EN 13383-1 [8], TS EN 13383-2 [9], TS 706 EN 12620 +A1 [10], TS EN 1467 [11], CIRIA/CUR [12] standartları ve Çizelge 11'de verilmiş olan karayolları teknik şartnamesi [19] dikkate alınmıştır.

Çizelge 11. Karayolları teknik şartnamesi

Deney	Şartname Limitleri	Deney Standardı
Ayırışma derecesi	I-II	
Süreksizlik aralığı (m)	1,00+	
RQD (%)	80-100	
Petrografik Görünüm	Kristaller iyi kenetlenmiş, kil minerali ve eriyebilir mineral olmayacaktır.	ASTM C 295
Doğru Yüzey Kuru Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	≥ 2.50 ³	TS 699-Ocak 1987
Hacimca Su Emme Oranı %	≤ 3.0	
Basınç Dayanımı (kgf/cm ²)	≥ 500	TS 2513- Şubat 1977
Kaba Agregada Los Angeles Aşınma Direnci %	≤ 40	
Tabii Don Dayanımı %	≤ 5	TS EN 13383-1 ve TS EN 13383-2-Nisan 2004
Don Kaybı Deneyi (Mg ₂ SO ₄) %	≤ 25	
Don Kaybı Deneyi (Na ₂ SO ₄) %	≤ 18	
Sürtünme ile Aşınma Kaybı	≤ 15 cm ³ / 50 cm ²	
Arazide Düşürme Testi	Ana boyutta kırılma olmayacak ve çatlak oluşmayacaktır.	
Arazide Bekleme - Yerinde Gözlem	Ocak yerinde veya kullanılacağı yerde 12 ay beklediği sürede çatlak oluşumu, parçalanma ve ayırışma olmayacaktır.	
Not-1. Don Kaybı Deneyi: Tabii Don Dayanımı deneyinin çabuklaştırılmış şekli olduğundan, Tabii Don Dayanımı deneyinin yapılmadığı durumda yapılacaktır. Don kaybı deneyi için Na ₂ SO ₄ veya Mg ₂ SO ₄ kullanılacaktır. Not-2. Arazide Düşürme Testi: Yükleyici tarafından 3 m. yüksekliğe taş bloğunun sert bir yüzey üzerine düşürülmesi ile yapılacaktır. Not-3. Yöredeki taş ocaklarının durumuna göre Los Angeles aşınma değeri maksimum %50, Don Dayanımı (Na ₂ SO ₄) maksimum %25, DYK özgül ağırlığı minimum 2.450 g/cm ³ olarak bulunan taş ocaklarını idare anrışman olarak kabul edilebilir. Not-4. Yukarıdaki deneyleri Kontrol Mühendisi istediği takdirde yılda birkere merkez laboratuvarında kontrol ettirebilecektir.		

Çizelge 11'de belirtilen sınır değerler esas alındığında; yapılan deneyler sonucunda her 7 ocağın da şartnameye uygun olduğu anlaşılmaktadır.

Deney sonuçları ayrıntılı olarak değerlendirildiğinde ise tane yoğunluğu, ağırlıkça su emme, birim hacim ağırlıkları değerleri bakımından 7 ocak içinde büyük benzerlikler görülmektedir. Ancak parçalanmaya karşı direnç (Los Angeles) değeri en az olan (en sağlam) YL-4 taş ocağı örneği olup, KYP-5, AY-6 ve ARS-7 taş ocaklarının onu takip ettikleri görülmektedir. Donma-çözünme sonrası kütle kaybı değerleri bakımından kütle kaybı (%) değeri en az olan (en sağlam) ÇS-3 taş ocağı olup, SK-2 ve AY-6 onu takip etmektedir. Tek Eksenli Basınç Dayanımı değeri en yüksek olan (en sağlam) KYP-5 taş ocağı olup, EMM-1, ÇS-3 ve SK-2 taş ocakları onu takip etmektedirler. Petrografik tanımlamada EMM-1 taş ocağından alınan örneklerin Kumtaşı ve Konglomera, SK-2 taş ocağından Silisli Kalker, ÇS-3 taş ocağından alınan örneklerin Kalker, YL-4 taş ocağından alınan örneklerin Dolomitik Kalker, KYP-5, AY-6 ve ARS-7 taş ocaklarından alınan örneklerin Saf Kalker olduğu belirlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Durmuş, C., 2007. Mersin Bölgesi Kıyı Koruma Yapılarının İncelenmesi. Mersin Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Mersin, 90 s.
2. Yılmaz, E., 2010. Yumurtalık Liman Yapımında Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılan Dolomitik Kireçtaşlarının Fiziko-Mekanik Özellikleri. Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 77 s.
3. Ketin, İ., 1966. Anadolunun Tektonik Birlikleri (Tectonic Units of Anatolian Asia Minor). M.T.A. Derg., (66), 20-34.
4. Okay, A. İ., 1989. Tectonic Units and Sutures in the Pontides, Northern Turkey. Tectonic Evolution of the Tethyan Region: ed. A.M.C. Şengör, Nato Advanced Science Institute (ASI) Series (Publ.), pp. 109-116.
5. Okay, A. İ. Görür, N., 1994. Kinematic History Of The Opening Of The Black Sea And Its Effect On The Surrounding Regions. Geology, (22), 267-270.
6. Okay, A.İ., 2006. Cretaceous and Triassic Subduction Accretion, Hp/Ilt Metamorphism and Continental Growth in the Central Pontides, Turkey. Geol. Soc. Am. Bull., 118: 1247-1269.
7. Bacak, G., Yılmaz, S. A., 2011. Karadeniz Ereğli (Zonguldak) Andezitlerinin Petrografik-Jeokimyasal Özellikleri ve Endüstriyel Kullanılabilirliği. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 1 (1), 23-36.
8. TS EN 13383-1, Mayıs 2004. Koruma Tabakası Taşları (zırh taşı)-Bölüm 1: Özellikler, Ankara.
9. TS EN 13383-2, Aralık 2013. Koruma Tabakası Taşları (zırh taşı)-Bölüm 2: Deney Metotları, Ankara.
10. TS 706 EN 12620+A1, Mayıs 2009. Beton Agregaları, Ankara.
11. TS EN 1467, Haziran 2012. Doğal taşlar-Ham bloklar- Özellikler, Ankara.
12. CIRIA/CUR, 1991. Manual on the Use of Rock in Coastal and Shoreline Engineering. CIRIA Special Publication 83, Report:154, London, 607 p.
13. TS EN 1097-6, Aralık 2013. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 6: Tane Yoğunluğunun ve Su Emme Oranının Tayini, Ankara.
14. TS 699, Mart 2009. Doğal Yapı Taşları-İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri, Ankara.
15. TS EN 1097-2, Temmuz 2010. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Yöntemler, Ankara.
16. TS EN 1367-2, Nisan 2011. Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi, Ankara.
17. TS EN 1926, Ekim 2013. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri-Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini, Ankara.
18. TS 699, Mart 2009. Doğal Yapı Taşları-İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri, Ankara.
19. Karayolları Genel Müdürlüğü, 2006. Karayolları Teknik Şartnamesi (Yol Altyapısı, Sanat Yapıları, Köprü ve Tüneller, Üstyapı ve Çeşitli İşler). Ankara, 753 s.
20. CIRIA/CUR, CETMEF, 2007. The Rock Manual. The Use of Rock in Hydraulic Engineering. 2nd Edition. C683, CIRIA, London, 1234 p.

21. TS 10088 EN 932-3/A1, Nisan 2006. Agregaların Genel Özellikleri için Deneyler-Kısım 3: Basitleştirilmiş Petrografik Tanımlama için İşlem ve Terminoloji, Ankara.
22. ASTM C-295. 1998. Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete. Annual Books of Standards, 1990.

Cer Makinasında Ekartman Ayarlarının İplik Kalite Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi

Belkıs ZERVENT ÜNAL^{*1}, Soner VURKIR¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 04.01.2017

Kabul tarihi: 14.03.2017

Öz

Çalışma kapsamında, birinci ve ikinci cer pasajı aşamalarında cer makinası ekartman ayarlarındaki değişimin seçilmiş iplik özelliklerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla her iki pasaj için iki farklı ekartman mesafesi ayarı seçilerek cer şeridi üretimi gerçekleştirilmiş ve bu şeritler sabit üretim parametreleriyle iplik haline getirilmiştir. Ardından ipliklerin tüylülük, düzgünsüzlük ve mukavemet değerleri test edilmiş ve ekartman mesafesindeki artışın üç iplik özelliğini de olumsuz etkilediği görülmüştür. Bu durumda çalışmada numune olarak seçilen Şanlıurfa GAP pamuğu için daha kısa ekartman mesafesinin iplik kalite parametreleri açısından daha olumlu sonuçlar doğurduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Cer makinası, Ekartman ayarları, Mukavemet, Düzgünsüzlük, Tüylülük

Investigation of Effect of Roller Setting on Yarn Quality Properties in Draw Frame

Abstract

In the scope of the study, it was aimed to determine the effect of the variation of the roller setting on the selected yarn properties in the first and second passage draw frame stages. For this purpose, two different draft distances were chosen for both passages and draw frame strip was produced. Then, these strips were made into yarn with constant production parameters. The hairiness, unevenness and strength properties of the yarns were tested with standard method. As a result, it was observed that increasing the draft distance affects negatively the selected three yarn properties. In this case, it has been determined that the shorter draft distance has more positive results in terms of yarn quality parameters for Şanlıurfa GAP cotton selected as the sample in the study.

Keywords: Draw frame, Roller setting, Strength, Unevenness, Hairiness

^{*}Sorumlu yazar (Corresponding author): Belkıs ZERVENT ÜNAL, belzer@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Sadece ticari açıdan bakıldığında cer makinası, üretim hattındaki diğer makinalara göre daha az önem taşımaktadır. Genellikle iplik üretim maliyetlerinin %3'den daha azını oluşturmaktadır. Ancak iplik düzgünsüzlüğü başta olmak üzere iplik mukavemeti ve uzaması gibi iplik kalite özellikleri üzerine etkisi oldukça büyüktür.

Cer makinası, iplik eğirme prosesi içerisinde kütle değişimlerinin düzeltilmesi için dublaj ve regülenin uygulanabileceği son işlem basamağıdır [1]. Burada giderilemeyen hatalar ipliğe ve dolayısıyla örme/dokuma kumaşa yansiyacaktır. Cer makinasının iplik düzgünsüzlüğünü önemli ölçüde etkilemesinin iki ana nedeni vardır. Birincisi, kısa lif iplikçiliğinde makinaların diziliminde, cer makinası hataların giderilmesi için son düzeltme noktasıdır. Cer makinasından çıkan üründeki eksiklikler sadece ipliğe geçmekle kalmaz, bu yetersizlikler cer makinasını takiben çekim etkileri ile fiilen de pekiştirilir. Dolayısı ile iplik hiç bir zaman cer şeridinden daha iyi olamaz. İkinci olarak, cer makinasında meydana gelen bir hata tüm prosesi önemli oranda etkiler. Yüksek performanslı cer makinaları çok yüksek hızlarda şerit üretmektedir. Hatayı saptamadan önce, geçen zaman içinde çok büyük miktarda hatalı şerit üretilecektir. Bu nedenle her modern kısa lif iplik işletmesi için regüleli cer makinaları kaçınılmaz hale gelmiştir.

İplikhanedeki tüm bölümler arasında, çekim bölümünün, ekonomik olarak tasarruf etmek için en uygunsuz yer olduğu son derece açıktır. Cer işleminde kaliteye etki eden faktörler pasaj sayısı, şerit düzgünsüzlüğü, uygulanan dublaj sayısı, regüle işleminin ilk veya son pasajda yapılması, karde/penye besleme, şerit ağırlıkları ve çekimler ile yabancı madde ve kısa lif miktarıdır [1].

Cer makinasının görevleri

1. Düzgünleştirme:

Cer makinasının temel görevlerinden birisi, kısa, orta ve özellikle uzun periyotlu düzgünsüzlükleri iyileştirmektir. Cer makinasına beslenen tarak şeritleri pratikte tolere edilemeyecek bir

düzgünsüzlüğe sahiptir ve bunların giderilmesi gerekmektedir.

2. Paralleleştirme:

İplik özelliklerinden mukavemet için optimum bir değer elde etmek amacıyla, elyaf demeti içinde liflerin paralel olarak düzenlenmesi gerekir. Bu paralel düzenlemeyi oluşturmak esas olarak cer makinasının görevidir. Cer makinası bu görevi çekim vasıtasıyla gerçekleştirir, çünkü her çekim kademesi liflerin düzleşmesine yol açar.

3. Karıştırma:

Dublajlama (katlama) aracılığı ile (en az iki – en fazla sekiz) bantları çapraz olarak birleştirerek homojen bir bant elde etmek amaçlanmaktadır. Dublaj, karıştırma ile hammadde varyasyonlarını da bir dereceye kadar kompanse eder. Bu sonuçtan özellikle pamuk/sentetik veya sentetik/sentetik karışım ipliklerinin üretiminde yararlanır. Cer makinalarında ayrı komponentlerin dozajlanması çok basit bir şekilde makinarya giren şerit sayılarının seçimi ile yapılabilir. Örneğin 67:33 bir karışım elde etmek için, bir materyalden dört şerit ve diğerinden iki şerit cer makinasına beslenir. Ancak bu şeritlerin aynı numarada olması gerekmektedir [2].

Cer makinasında çekim

Çekim işlemi; lifleri çekerek inceltmek, birbirine paralel hâle getirmek ve lifin doğal yapısından ileri gelen uçlarındaki kancaları açmak amacıyla yapılmaktadır. Çekim tertibatları 3 veya 4 silindir çiftinden oluşur (Şekil 1).



Şekil 1. Çekim silindirleri [3]

Çekim; öndeki silindirin arkadaki silindirden daha hızlı dönmesi anlamına gelir ancak servo motor olan cer makinelerinde istisna olarak yoğunlaştırma işlemleri de yapılabilmektedir [3].

Çekim sisteminde birbirini takip eden alt ve üst silindirlerin kıştırma noktaları arasındaki mesafeye ekartman mesafesi denir. Ekartman mesafesi ortalama lif uzunluğuna göre ayarlanır (Şekil 1).

Ekartman ayarı, ortalama lif boyundan daha kısa ise uzun lif manşonlar üzerine sarabilecek veya kopacak, bu da düzgünlük sorunlarına yol açacaktır. Ayrıca elyafların büyük kısmı hem ön hem de arka silindirlerce yakalanmış olacak ve materyalin düzgün çekimi sağlanmayacaktır.

Ekartman mesafesi ortalama lif boyundan daha fazla ise silindirler arasında çekim işlemi gerçekleşmeyecektir. Çünkü çekimin oluş şeklinde arka silindir lifi bırakacağı anda öndeki silindir lifi tutabilmelidir. Silindirler lifi bırakmadan önce lif hafifçe gerilebilmeli ve bu sayede lif çengel uçlarının açılabilmesi sağlanmış olmalıdır [3]. Ucu arka silindirlerce serbest bırakılmış kısa elyaflar, arka silindir hızında hareket edecek ve etrafında uçları arka silindire tutulu elyaflar olacaktır. Yüzen ve arka silindire tutunan elyaflar arasındaki sürtünme nedeni ile yüzen elyaf arka silindirden aldığı hızı korursa çekim hatasız olur. Ancak ön silindire tutunan elyafların hızına kapılırsa gereğinden önce ön silindire gelecektir. Bunun sonucu ön silindirin kavraması gerekenden fazla elyaf kavranacaktır. Böylece ön silindir “iplikte kalın yer hatası” verecektir. Artık ön silindirde yüzen elyafı çekecek daha çok elyaf olacaktır. Bu esnada çekim bölgesinde yüzen elyaf sayısı azalacaktır. Arkada oluşan ince bölge ön silindire geldiğinde arka silindir hızına kapılan elyaf sayısı artacak ve “iplikte ince yer hatası” oluşacaktır.

Ekartman ayarında amaç; hem elyaf kırılmalarını en aza indirebilmek hem de ekartman mesafesinden daha kısa olan lifleri ve küçük partikülleri çekim kutusu içindeki üst ve alt hava emiş sistemleri aracılığı ile temizleyebilmektir.

Çalışma kapsamında, 2 farklı ekartman ayarı ile üretilen cer şeritleriyle elde edilen ipliklerin seçilmiş özelliklerinin kıyaslanması, buna bağlı olarak ekartman mesafesinin iplik kalite özelliklerine etkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Buharalı ve Ömeroğlu [1] çalışmalarında hammadde özelliklerinin, hazırlık işlemlerinin ve eğirme parametrelerinin iplik kalite özelliklerine etkisini inceleyen yayınları derlemişlerdir. Jackowski ve arkadaşları [4] open-end rotor iplik eğirme makinesinde dört farklı numarada (3,5-4,0-4,5-5,0 ktex) ikinci pasaj cer şeridi kullanarak, her bir şeritten dört farklı numarada (18, 20, 25 ve 30 tex) olmak üzere on altı farklı rotor ipliği üretmişlerdir. Ardından bu ipliklerin mukavemet, uzama ve elastikiyet özellikleri incelenmiştir.

Farooq [5] çalışmasında, çeşitli cer çekim parametrelerinin (çıkış hızı, ara ve ana çekim mesafeleri, toplam çekim vb.) dinamik şerit kohezyonuna etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca yapay sinir ağları metoduyla dinamik şerit kohezyonunu tahminleme amaçlı model oluşturmuştur. Saha ve Hossen tarafından yapılan çalışmada ring karde iplik kalitesi için cer makinasında dublajın optimizasyonu amaçlanmıştır. Ayrıca dublaj sayısının iplik kalitesine etkisi olup olmadığını ve 1. ve 2. Pasaj için uygun dublaj sayısı belirlenmeye çalışılmıştır [6]. Jabbar ve arkadaşları [7] çalışmalarında tarak ve cer makinasına ait bazı parametrelerin pamuk ipliği kalite özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Sonuç olarak cer makinasında dublaj sayısı belirli bir değere kadar attıkça tüylülük, uzama ve mukavemetin arttığını belirlemişlerdir. Ayrıca tarak üretim hızı arttıkça düzgünlüğün arttığını tespit etmişlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Çalışma kapsamında cer makinası ekartman ayarlarının iplik kalite parametrelerine etkisi belirlenmeye çalışılmış olup, bu amaçla Gaziantep’te faaliyet gösteren SANKO Tekstil İşletmelerinde cer makinesinde ekartman ayarları dışında diğer tüm parametreler sabit tutularak şerit üretimleri gerçekleştirilmiştir. Cer makinası üretim parametreleri Çizelge 1’de her iki numune için verilmiştir. Ardından bu şeritlerle yine tüm üretim

şartları ve ayarları sabit tutularak önce Ne 0,90 numaralı fitil, ardından Ne 30 numarada iplik üretilmiştir.

Çizelge 1. Cer üretim parametreleri

	1. PASAJ (SB 951)		2. PASAJ (RSB 951)	
	Numune 1	Numune 2	Numune 1	Numune 2
Ekartman mesafesi (mm)	49-52	43-48	51-54	43-50
Şerit Numarası (Ne)	0,120	0,120	0,120	0,120
Ön Çekim (inch)	1,41	1,41	1,41	1,41
Makine Devri (dev/dak)	550	550	450	450
Harman	GAP Pamuğu (Şanlıurfa Pamuğu)			

3.2. Metot

Farklı ekartman mesafelerinde üretilmiş cer şeritleriyle elde edilen ipliklere standartlara uygun olarak düzgünlük, tüylülük ve mukavemet testleri uygulanmış ve elde edilen sonuçlar grafiksel olarak kıyaslanmıştır.

- Düzgünlük Testi

İplikte düzgünlük, uzunluk boyunca meydana gelen kütleli değişimler olarak tanımlanabilmekte olup iplik kalitesini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. İplikteki düzgünlükler iplik mukavemetinin düşmesine, ince-kalın yerlerin oluşmasına ve bu ipliklerle üretilen kumaşların boyanmasında abraj hatalarının görülmesine sebep olmaktadır. İplik düzgünlüğü hammadde özelliklerine bağlı olduğu gibi hammaddenin iplik oluncaya kadar geçirdiği proseslerde gördüğü işlemlerin kalitesine de bağlıdır.

Çalışma kapsamında düzgünlük ve sık görülen hata tespiti testlerinin yapıldığı Uster Tester-5, kapasitif sisteme (ipliğin, aralarında elektriksel alan oluşturulan iki kapasitif levha arasından geçirilerek kütleli değişimlerden kaynaklanan elektriksel alan değişimlerinin belirlenmesi

prensibine) göre çalışan, 400 metre/dakika hızla ölçüm yapabilen bir cihazdır. Test sonucunda iplik yapısındaki bütün düzgünlük değerlerini, standart sapmaları, tüylülük, ince-kalın yer gibi birçok parametreyi sayısal olarak sunmaktadır.

İplik düzgünlüğünün sayısal olarak ifade edilmesi için değişim katsayısı (Coefficient of Variation, %CV) veya ortalama mutlak sapma (Unevenness, %U) ifadeleri kullanılmaktadır. Ortalama mutlak sapma, gerek kesikli lif ipliklerinin gerekse filament ipliklerinin düzgünlüğünün belirlenmesinde kullanılan ilk istatistiksel ölçüdür. Ancak, bugün tekstil endüstrisinde her türlü değişim için genellikle değişim katsayısı kullanılmaktadır. Düzgünlüğün ifade edilmesi için de gelecekte sadece değişim katsayısının kullanılması tavsiye edilmektedir [8].

- Tüylülük Testi

İplik tüylülüğü, genel olarak birim uzunluk veya alan başına iplik yüzeyinden dışarı çıkan liflerin sayısı ya da iplik yüzeyine dik olarak ölçülen lif uzunluğu olarak tanımlanmaktadır.

Son yıllarda iplik tüylülüğü, iplik numarası, mukavemeti ve düzgünlüğü gibi önemli kalite parametrelerinden birisi olarak kabul edilmekte olup, bazı özel durumlar hariç genel anlamda istenilmeyen bir özelliktir. İplik tüylülüğünün kabul edilebilir bir sınırın üzerinde olması, iplik üretimi sırasında uçuntu oluşumu, çözgü çekme ve dokuma işlemleri sırasında yan yana gelen lif uçlarının düğümlenmesi sonucu kopuş vb. problemlere sebep olmaktadır. Ayrıca iplik tüylülüğü, kumaşlarda boncuklanma gibi bazı problemleri olumsuz etkilemekte, boya-terbiye ve bitim işlemlerinden sonra görünüm bozukluklarına yol açmaktadır. Bu nedenle iplik tüylülüğünün kabul edilebilir sınırları aşmış aşmadığının henüz üretim aşamasında tespit edilmesi, önlemeye veya azaltmaya yönelik önlemlerin kısa sürede alınması bakımından önemlidir [9].

Cer pasaj sayısı arttıkça bant içindeki lif kancaları açılmakta, dolayısıyla bant içindeki liflerin uzunluğu artmakta ve buna bağlı olarak iplik

tüylülüğü azalmaktadır. Cer bandından direkt olarak iplik eğirmek iplik tüylülüğünü arttırmaktadır [10]. Cer makinasında ekartman mesafesinin kısa tutulması halinde de yüzen elyaf daha az olacağından daha yoğun ve düzgün şeritler elde edileceği ve tüylülük derecesinin düşeceği düşünülmektedir.

İplik tüylülüğünü hassas ve doğru bir şekilde tespit etmeye yönelik çok sayıda yöntem ve cihaz geliştirilmiş olmakla birlikte, bu yöntemlerin çok azı pratikte uygulama alanı bulabilmiştir. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan yöntem fotoelektrik ölçüm yöntemi olup, yaygın olarak kullanılan test cihazları ise UT3 veya UT4 (Uster), Pt7000 (Premier), G 565 ve G 566 (Zweigle) gibi cihazlardır.

Çalışma kapsamında ipliklerinin tüylülük dereceleri USTER Tester ve Uster Zweigle cihazlarında test edilmiştir.

Zweigle G 565 ve G 566 cihazlarında ölçüm sırasında iplik, bir ışık kaynağından iplik eksenine dik olarak gönderilen ışık hüzmesi tarafından yoklanır. İplik ve iplik gövdesinden çıkan lifler, ölçüm bölgesine gönderilen ışık demetini keser ve gönderilen ışıkların ölçülebilen parlaklığında dalgalanmaya sebep olur. Bu şekilde iplik gövdesinden çıkan lifler tarafından engellenen ışık demeti, düştüğü fototransistör üzerinde bir fotoakıma dönüştürülür ve kuvvetlendirilerek değerlendirilir. Tek bir geçişte iplik 12 ayrı fototransistör tarafından taranır ve iplik yüzeyinden çıkan lifler 1-25 mm arasında değişen 12 farklı uzunluk bölgesinde gruplandırılır. Test sonucunda Zweigle G 566 test cihazından tüylülük indeksi (H_z) ile birlikte S_3 değeri (3 mm ve daha uzun olan tüylerin sayısı), T_p (toplam tüy sayısı) ve her bir uzunluk sınıfındaki tüy sayısı alınabilmektedir. Cihaz 50 m/dak hızla ölçüm yapmakta ve ölçüm uzunluğu 10-9999 m arasında değişebilmektedir [9].

Uster Tester cihazında ise bir ışık kaynağından çıkan ışık optik sistem yardımıyla kırılarak ölçüm alanına yerleştirilmiş olan iplik üzerine gönderilir ve iplik yüzeyinden dışarıya doğru çıkmış lifler tarafından dağıtılan ışık, optik sistem tarafından

toplanarak alıcı üzerine düşürülür. Cihazda, 1 cm uzunluğundaki iplik yüzeyinde çıkıntı halindeki liflerin uzunluğu toplamının, birim iplik uzunluğuna (1 cm) oranı tüylülük indeksi (H_U) olarak hesaplanır [9].

- Mukavemet Testi

İplikler, sonraki işlemlerde duraklama veya kesintiye sebep olmamak için yeterince mukavemetli olmalıdır. Bugün piyasada en çok kabul gören cihazlar CRE (Sabit uzama hızı) prensibine göre çalışan cihazlardır. Uster Tensojet ve Uster Tensorapid test cihazları da bu prensibe göre çalışmaktadırlar. İki cihaz prensipte birtakım farklılıklara sahiptirler. Çalışma kapsamında iplik mukavemet testlerinde Uster® Tensojet 4 cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile ölçülen büyüklükler aşağıda kısaca tanımlanmıştır [11]:

- Kopma kuvveti (B-Kuvvet): Bir ipliği koparmak için uygulanması gereken kuvvet değeridir. Birimi gF' dir.
- Kopma uzaması: İpliğe uygulanan kuvvet altında kopma mukavemetine kadar ipliğin ne kadar uzayabildiğinin ölçüsüdür. % değeri ile ifade edilir.
- Mukavemet (Sağlamlık): Uster tarafından kullanılan mukavemet değeri iplik üzerinde bulunan maksimum kuvvet belirler (kopma noktasına kadar) ve iplik numarasını referans alarak bir değer oluşturmaktadır. Birimi N/tex' dir. (RKM; 0,9807 cN/tex)
- Kopma işi (B-iş): İpliğe maksimum koşullarda etki eden kuvvet ile ipliğin bu kuvvet etkisiyle yer değiştirme mesafesinin çarpımına eşittir. Birimi $cN.cm'$ dir.

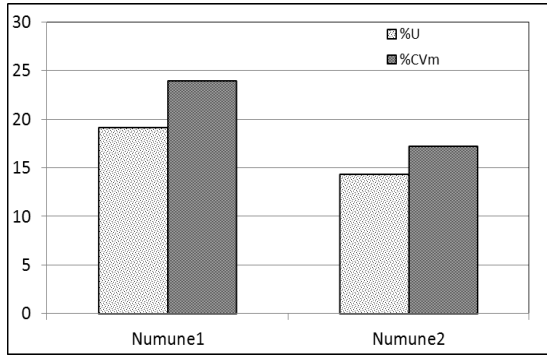
4. BULGULAR

4.1. Düzensizlik Test Sonuçları

Çalışma kapsamında yapılan deneysel çalışma sonucu elde edilen, numunelere ait düzensizlik test sonuçları toplu olarak Çizelge 2' de verilmiştir. İki numunenin %U ve %CVm değerlerindeki değişimin grafiksel gösterimi ise Şekil 2' de görülmektedir.

Çizelge 2. Düzgünsüzlük test sonuçları

	Numune 1	Numune 2
%U	19,1	14,3
%CV _m	23,95	17,17
İnce yer / km (-40%)	1854	286
İnce yer / km (-50%)	165,0	4,5
Kalın yer / km (+35%)	787,5	1444
Kalın yer / km (+50%)	117	278,5
Neps / km (+140%)	225,5	350,5
Neps / km (+200%)	21,5	32,5



Şekil 2. Düzgünsüzlük test sonuçları

Elde edilen test sonuçlarına göre; 1. numunenin (ekartman mesafesi iki pasajda da fazla olan numune) U ve CV_m değerlerinin 2. nolu numuneden sırasıyla %25 ve %28 oranlarında yüksek çıktığı, başka bir ifadeyle 1. nolu numunenin düzgünsüzlüğünün daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durumun beklenen şekilde 1. numunede silindirler arası mesafenin fazla olmasından kaynaklandığı söylenebilmektedir.

Düzgünsüzlük testi sırasında ölçülen periyodik hata değerlerinden ise -%40, -%50 ince yer, +%35, +%50 kalın yer, +%140, +%200 neps değerleri ele alınmış olup ekartman mesafesi artışı ile ince yer sayısının arttığı, ancak kalın yer ve neps sayılarının azaldığı görülmüştür. İnce yer miktarlarındaki artışın kalın yer ve neps değişimlerinden oldukça fazla bir oranda gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu durumda sık rastlanan hatalar açısından da ekartman mesafesinin fazla olmasının olumsuz kalite değerlerine yol açtığı söylenebilmektedir.

4.2. Tüylülük Test Sonuçları

Uster Tester ve Zweigle test cihazları ile yapılan tüylülük test sonuçları her iki numune için toplu olarak Çizelge 3’de verilmiştir.

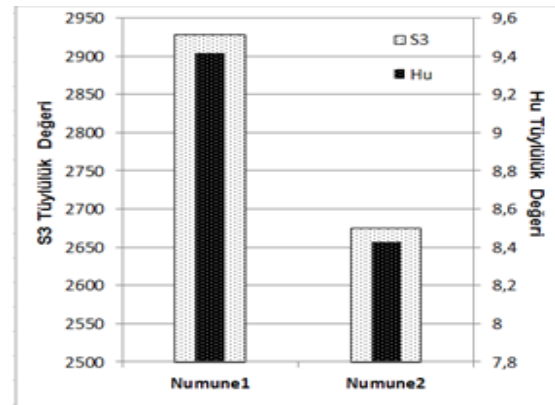
Çizelge 3. Tüylülük test sonuçları

	Numune 1	Numune 2
1 mm	28626	30174
2 mm	7604	7374
3 mm	2039	1669
4 mm	753	821
6 mm	115	157
8 mm	18	22
10 mm	3	6
S₁₊₂	36230	37648
S₃	2928	2675
H_u	9,42	8,43

S₃ : 3 mm ve daha uzun olan tüylerin sayısıdır.

H_u : İpliğin yapısından dışarı çıkan liflerin toplam uzunluğunun ipliğin 1 cm’sine oranıdır.

Test sonuçlarına bakıldığında 1,2,3,4,6,8 ve 10 mm uzunluktaki tüy sayılarının değişkenlik gösterdiği, bazı uzunluklarda (2 mm ve 3 mm) Numune 1’in, bazı uzunluklarda (1, 4, 6, 8 ve 10 mm) Numune 2’nin tüy miktarının yüksek olduğu görülmektedir. Ancak S₃ ve H_u değerlerine bakıldığında, ekartman mesafesinin daha kısa tutulduğu Numune 2’de bu iki büyüklük için daha düşük değerler elde edildiği belirlenmiştir (Şekil 3). Başka bir ifadeyle ekartman mesafesi düşürülünce tüylülük değerleri azalmıştır. S₃ değerindeki düşüş yaklaşık %9 oranında gerçekleşmiştir.



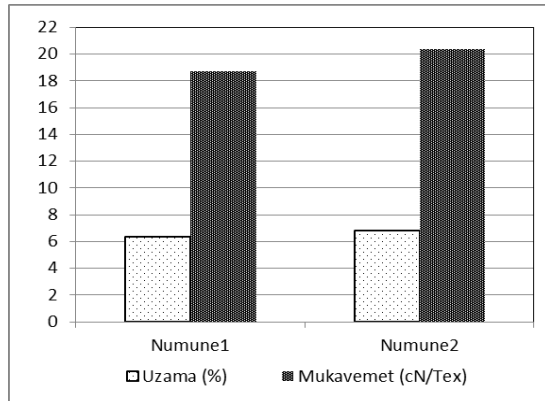
Şekil 3. Tüylülük test sonuçları

4.3. Mukavemet Test Sonuçları

Numunelere ait mukavemet test sonuçları Çizelge 4'te, % uzama ve mukavemet sonuçlarının grafiksel gösterimi ise Şekil 4'te verilmiştir. Sonuçlardan görüldüğü gibi ekartman mesafesinin azaltılması durumunda mukavemet değerlerinde bir miktar artış (yaklaşık %9) meydana gelmiştir. Bu durumun çalışmada ele alınan hammadde için ekartman mesafesinin daha kısa olması durumunda yüzen elyaf miktarının azalmasından ve liflerin iplik içerisine daha fazla katılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4. Mukavemet testi sonuçları

	Numune 1	Numune 2
B-Kuvvet (cN)	1580	1711
Uzama (%)	6,34	6,8
Mukavemet (cN/Tex)	18,72	20,33
B-İş (cN.cm)	2473	2516



Şekil 4. Mukavemet test sonuçları

5. SONUÇLAR

Cer makinasında ekartman ayarlarında yapılan değişikliğin seçilmiş iplik özelliklerine etkisinin araştırıldığı çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Cer makinasında ekartman mesafesinin artırılması düzgünlük değerlerinde (%U ve %CVm) artışa neden olmuştur. Bu durumun çalışma kapsamında kullanılan pamuk lif

uzunluğuna bağlı olarak uzun ekartman mesafesinde yüzen lif miktarının artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

2. Düzgünlük sonuçlarına benzer şekilde tüylülük değerlerinde de uzun ekartman mesafesinde daha yüksek tüylülük değerleri elde edilmiştir.
3. Ekartman mesafesinin her iki pasaj cerde de daha yüksek tutulduğu 1 nolu numunenin mukavemet ve uzama değerlerinin de diğer numuneye göre bir miktar düşük çıktığı görülmüştür.

Bu durumda çalışmada numune olarak seçilen Şanlıurfa GAP pamuğu için Numune 2'nin cer üretim şartlarının (daha kısa ekartman mesafesi) iplik kalite parametreleri açısından daha olumlu sonuçlar doğurduğu ve ekartman mesafesinin artışı ile iplik düzgünlük, tüylülük değerlerinin arttığı, mukavemetin bir miktar düştüğü tespit edilmiştir.

6. TEŞEKKÜR

Çalışmada kullanılan ipliklerin üretimi ve testlerin gerçekleştirilmesi hususunda gösterdikleri yardımlar için Gaziantep SANKO Tekstil İşletmelerine teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR

1. Buharalı, G., Ömeroğlu, S., 2013. Open-End Rotor İplik Özelliklerine Etki Eden Faktörler, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 18, Sayı 2, 19-36.
2. Klein, W., 2011. Rieter İplikçilik El Kitabı-Cilt 3, Rieter Machine Works Ltd. (Tercüme: Prof. Dr. H. Erhan Kırtay).
3. Tekstil Teknolojisi- Cer Makinesi, Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Cer%20Makinasi.pdf, Ankara, 2011.
4. Jackowski, T., Chylewska, B., Cyniak, D., 2002. Influence of the Spinning Process Parameters on Strength Characteristics of Cotton Yarns, Fibres&Textiles in Eastern Europe, Vol: 38, 27-31, July/September.

5. Farooq, A., 2014. Predicting the Dynamic Cohesion in Drafted Slivers at Draw Frame Using Artificial Neural Networks, *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, 24(3), 286-290.
6. Saha, A. S. K., Hossen, B. J., 2011. Optimization of Doubling at Draw Frame for Quality of Carded Ring Yarn, *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS* Vol: 11 No: 06, 75-80.
7. Jabbar, A., Hussain, T., Moqet A., 2013. Impact of Carding Parameters and Draw Frame Doubling on the Properties of Ring Spun Yarn, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, Vol:8 (2), 72-78.
8. Kılıç, M., 2010. Karışım İpliklerinde Düzensizlik ve Tüylülük Analizleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Tekstil Mühendisliği ABD, Doktora Tezi*.
9. Alay, S., Göktepe, F., 2006. Farklı İplik Tüylülüğü Test Cihazlarından Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10-3, 422-427.
10. Can, Y., Kurtay, E., 2003. Pamuk İpliklerinde İplik Tüylülüğü ve Tüylülüğe Etki Eden Faktörler (Kaynak Taraması), *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9 (3), 379-385.
11. Soyaslan, D., 2009. Uster Tensojet ve Tensorapid Test Cihazlarının Test Parametreleri ve Çalışma Prensiplerinin Karşılaştırılması, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt: 3, No: 1, 71-75.

Palm Biyodizel-Dizel Yakıt Karışımlarının Yakıt Özelliklerinin Tahmini

Ceyla ÖZGÜR^{*1}

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü,
Adana

Geliş tarihi: 05.01.2017

Kabul tarihi: 14.03.2017

Öz

Bu çalışmada palm yağından transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretilmiştir. Üretilen palm biyodizeli dizel yakıtıyla %5, 10, 20, 30, 40, 50 ve 75 oranlarında karıştırılmıştır. Yakıt karışımlarının yoğunluk, üst ısıl değer, akma noktası, bulutlanma noktası ve soğuk filtre tıkanma noktası özellikleri ölçülmüş ve bu yakıt özellikleri lineer regresyon yöntemi kullanılarak tahmin ettirilmiştir. Yakıt karışımlarının ölçülen ve hesaplanan değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, yakıt karışımlarının ölçülen ve hesaplanmış değerleri arasında iyi bir uyum olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Palm biyodizeli, Dizel, Yakıt özellikleri, Karışım oranı

Prediction of Fuel Properties of Palm Biodiesel-Diesel Fuel Blends

Abstract

In this study, biodiesel was produced from palm oil by transesterification process. The produced palm oil biodiesel was blended with diesel fuel at volumetric ratio of 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75%. The density, higher heating value, pour point, cloud point and cold filter plugging point of fuel blends were measured and linear regression equation was used to predict of these fuel properties. The measured and calculated values of fuel blends were compared. The results showed that there is a good agreement between measured and calculated values of fuel blends.

Keywords: Palm biodiesel, Diesel, Fuel properties, Blend ratio

^{*}Sorumlu yazar (Corresponding author): Ceyla ÖZGÜR, cgungor@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Taşımacılık sektöründe önemli bir yere sahip olan dizel motorların kullanımının artması ile birlikte neden oldukları egzoz emisyonları çevre kirliliğini büyük ölçüde arttırmaktadır [1]. Bu nedenle pek çok araştırmacı dizel motorlarda kullanılabilecek alternatif yakıt arayışına girmiştir. Bitkisel ve hayvansal yağlardan kimyasal yöntemler kullanılarak üretilen biyodizel dizel motorlarda en çok tercih edilen biyoyakıttır [2]. Biyodizel üretimi için 4 farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler seyreltme, termal kraking, mikro emülsiyonlama ve transesterifikasyon yöntemleridir. Günümüzde bu yöntemler içerisinde en çok transesterifikasyon yöntemi tercih edilmektedir [3]. Biyodizelin dizel yakıtına kıyasla en önemli avantajları biyolojik olarak parçalanabilmesi, yenilenebilir olması, anti-toksik olması ve çevre dostu olmasıdır [4-6]. Biyodizel yakıtı dizel motorlarda ufak bir modifikasyonla ya da direkt olarak kullanılabilir [7]. Bu nedenle de dizel motorlarda biyodizel kullanımı oldukça artmıştır [8]. Literatürde Biyodizel-dizel yakıt karışımlarının yakıt özelliklerinin tahmini için farklı ampirik korelasyonlar geliştirilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Alptekin ve Çanakçı [9] 2 farklı dizel yakıtı ile 6 farklı yağdan ürettiği biyodizelleri (Ayçiçek, kanola, soya, pamuk tohumu, mısır yağları ve atık palm yağı) %2, 5, 10, 20, 50 ve 75 oranlarında karıştırarak elde ettiği yakıt karışımlarının yoğunluk ve viskozite değerlerini ASTM Standartlarına göre ölçmüştür. Yoğunluk ve viskozite değerlerinin tahmini için Arrhenius ve Grunberg ve Nissan denklemlerini kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre bütün karışımlar için ölçülmüş ve hesaplanmış değerler arasında iyi bir uyum olduğu gözlemlenmiştir.

Enweremadu ve arkadaşları [10] shea yağı biyodizeli ve dizel yakıtı %2, 5, 10, 20, 50 ve 75 oranlarında karıştırarak hazırladıkları yakıt karışımlarının yoğunluk, viskozite, bulutlanma ve donma noktası değerlerini ASTM Standartlarına göre ölçmüşlerdir. Bu özelliklerin tahmininde

genelleştirilmiş ve ampirik formüller kullanılmıştır.

Benjumea ve arkadaşları [11] palm yağı biyodizeli dizel yakıt karışımlarının yoğunluk, viskozite, ısıl değer, bulutlanma noktası, setan indeksi, destilasyon sıcaklıklarını ASTM Standartlarına göre ölçmüş ve bu özelliklerin tahmininde Kay ve Arrhenius denklemlerini kullanmışlardır.

Bu çalışmanın amacı palm biyodizel-dizel yakıt karışımlarının yakıt özelliklerinin hesaplanmasıdır. Bu amaçla palm biyodizeli dizel yakıtıyla %5, 10, 20, 30, 40, 50 ve 75 oranlarında karıştırılmıştır ve yakıt karışımlarının yoğunluk, üst ısıl değer, akma noktası, bulutlanma noktası ve soğuk filtre tıkanma noktası değerleri ölçülmüştür. Ölçülen bu yakıt özelliklerinin tahmini için lineer regresyon denklemi kullanılmış olup ölçülen ve hesaplanan değerler karşılaştırılmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmada biyodizel üretiminde hammadde olarak yerel marketlerden temin edilen palm yağı, alkol olarak %99,9 saflıkta metil alkol ve katalizör olarak sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Biyodizel üretim işlemleri ve elde edilen yakıt karışımlarının yakıt özellikleri Çukurova Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü Yakıt Analiz Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

3.2. Metot

Palm yağından biyodizel üretiminde esterleşme (transesterifikasyon) yöntemi kullanılmıştır. Biyodizel üretimi sırasında katalizör olarak yağın kütlece %1 oranında NaOH katalizörü ve 6:1 oranında metil alkol kullanılmıştır. Kullanılan yağ, katalizör ve alkol miktarları hassas terazi kullanılarak ölçülmüştür. İlk olarak sodyum metoksit karışımını elde etmek için sodyum hidroksit ve metil alkol ayrı bir cam kap içerisinde karıştırılmıştır. Elde edilen homojen karışım daha önceden 65°C'ye kadar ısıtılan palm yağı içerisinde ilave edilerek 60 °C'de 60 dakika karıştırılmıştır.

Reaksiyon tamamlandıktan sonra elde edilen ham metil ester oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra 8 saat ayırma hunisinde bekletilmiş bu sayede biyodizelin gliserin fazından ayrılması sağlanmıştır. Sonunda, elde edilen ham metil ester sıcak suyla 3 kere yıkandıktan sonra su atıklarını uzaklaştırmak için 105°C'de 1 saat boyunca kurutulmuş ve filtre işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen palm biyodizeli ve dizel yakıtının yakıt özellikleri Çizelge 1'de verildiği gibi ölçülmüştür.

Çizelge 1. Palm biyodizeli ve dizel yakıtının yakıt özellikleri

Yakıt Özellikleri	Dizel	Palm Biyodizeli (PB)
Yoğunluk 15°C	833,6	881,4
Viskozite (40 °C'de) (cSt)	2,76	4,239
Akma Noktası (°C)	-19	12
Bulutlanma Noktası (°C)	-15	15
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (°C)	-18	13
Üst Isıl değer (kJ/kg)	45,856	38,850
Setan Sayısı	59	52

2.3. Data Analizleri

Her bir yakıt karışımının yoğunluk, üst ısıl değer, akma noktası, bulutlanma noktası ve soğuk filtre tıkanma noktası özellikleri ölçülmüştür ve bu yakıt özellikleri aşağıda verilen lineer regresyon denklemi kullanılarak tahmin ettirilmiştir.

$$y=mx+b \quad (1)$$

m ve b değerleri regresyon katsayıları, x değeri de biyodizel oranıdır.

2.4. Yoğunluk Ölçümü

Yakıt karışımlarının yoğunluk ölçümünde Kyoto Electronics (KEM) marka, DA-130 tipi tam otomatik dijital yoğunluk ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihazın ölçüm aralığı 0 ile 2 kg/l olup hassasiyeti 0,001 kg/l ve ölçüm sıcaklık aralığı 0-40°C'dir.

2.5. Üst Isıl Değer Ölçümü

Yakıt karışımlarının üst ısıl değer ölçümünde IKA -Werke marka C2000 tipi kalorimetre kullanılmıştır. Cihazın çalışma sıcaklığı aralığı +15°C ile +35°C'dir.

2.6. Akma ve Bulutlanma Noktası Ölçümü

Yakıt karışımlarının akma noktası ve bulutlanma noktası değerleri Tanaka MPC-102 tam otomatik soğuk özellik belirleme cihazı ile ölçülmüştür. Bu cihaz -50 °C ile +50 °C aralığında 1°C hassasiyetle çalışabilmektedir.

2.7. Soğuk Filtre Tıkanma Noktası Ölçümü

Yakıt karışımlarının soğuk filtre tıkanma noktası değerleri Tanaka AFP-102 tam otomatik soğuk özellik belirleme cihazı ile ölçülmüştür. Bu cihaz -60 °C ile +60 °C aralığında 0,1°C hassasiyetle çalışabilmektedir.

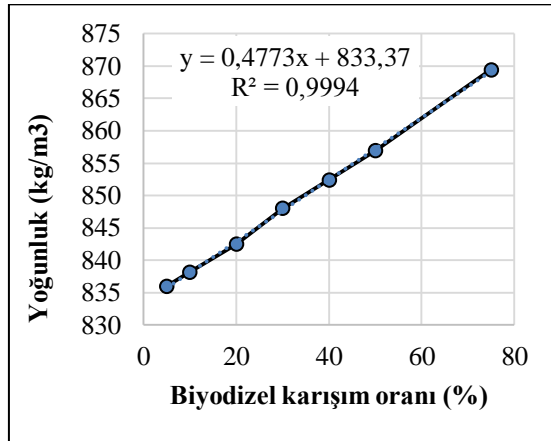
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Yoğunluk Sonuçları

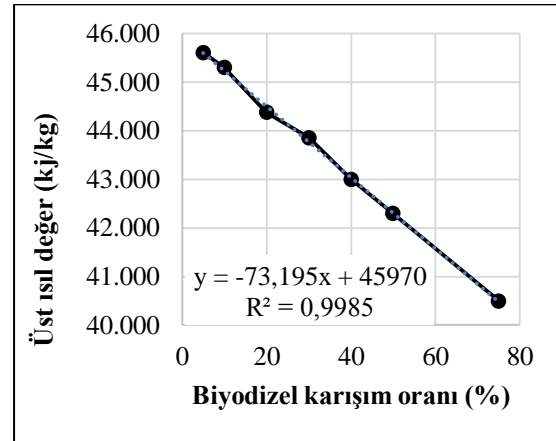
Birçok standartta biyodizellerin yoğunluk değerleri 860 ila 900 arasında değişir [12]. Literatürdeki pek çok çalışmaya göre biyodizellerin yoğunlukları dizel yakıtına oranla daha fazladır. Yapılan bu çalışmada palm biyodizeli-dizel yakıt karışımındaki biyodizel oranı arttıkça karışımların yoğunluk değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Biyodizel karışım oranına göre ölçülen ve hesaplanan biyodizel değerleri, aralarındaki hata ve regresyon katsayıları sırasıyla Çizelge 2'de verilmiştir. Palm biyodizeli-dizel yakıt karışımlarının yoğunlukları Şekil 1'de verildiği gibidir.

Çizelge 2. Yakıt karışımlarının biyodizel oranına göre ölçülen ve hesaplanan yoğunluk değerleri, aralarındaki mutlak hata (%) ve regresyon katsayıları

Yakıt	Ölçülen (kj/kg)	m	b	R ²	Hesaplanan	Mutlak Hata	Hata (%)
PB75	869,4	0,4773	833,37	0,9994	869,2	0,2	0,0230
PB50	856,9				857,2	0,3	0,0350
PB40	852,4				852,5	0,1	0,0117
PB30	848				847,7	0,3	0,0354
PB20	842,5				842,9	0,4	0,0475
PB10	838,2				838,1	0,1	0,0119
PB5	836				835,8	0,2	0,0239



Şekil 1. Palm biyodizeli-dizel yakıt karışımlarının yoğunluk değerleri



Şekil 2. Palm biyodizeli-dizel yakıt karışımlarının üst ısı değerleri

3.2. Üst Isıl Değer Sonuçları

Şekil 2 palm biyodizeli-dizel yakıt karışımlarının üst ısı değerlerindeki değişimi göstermektedir. Yakıt karışımlarının ölçülen ve hesaplanan üst ısı değerleri, aralarındaki mutlak hata ve regresyon katsayıları Çizelge 3'te verilmiştir. Beklenildiği üzere elde edilen sonuçlara göre palm biyodizel-dizel yakıt karışımlarındaki biyodizel oranı arttıkça yakıt karışımlarının üst ısı değeri miktarları da azalmaktadır. Ölçülen ve hesaplanan üst ısı değeri miktarı arasındaki maksimum mutlak hata % 0,2817'dir.

3.3. Akma Noktası Sonuçları

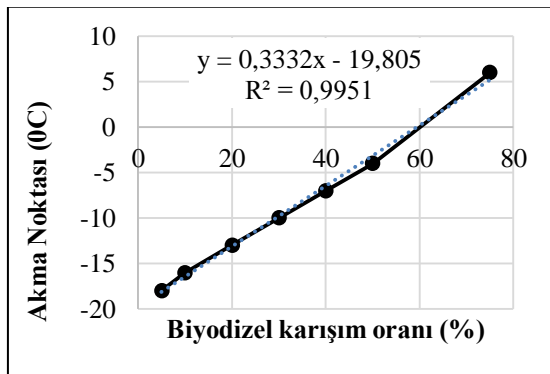
Yakıt karışımlarının ölçülen ve hesaplanan akma noktası değerleri, aralarındaki mutlak hata ve regresyon katsayıları Çizelge 4'te verilmiştir. Şekil 3 palm biyodizeli-dizel yakıt karışımlarının akma noktası değerlerindeki değişimi göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre, palm biyodizel-dizel yakıt karışımlarının akma noktası değerlerinin yakıt karışımları içerisindeki palm biyodizel miktarı arttıkça arttığı gözlemlenmiştir. Akma noktası için hesaplanan maksimum mutlak hata 0,9 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3. Biyodizel karışım oranına göre yakıt karışımlarının ölçülen ve hesaplanan üst ısıl değerleri

Yakıt	Ölçülen (kJ/kg)	m	b	R ²	Hesaplanan	Mutlak Hata	Hata (%)
PB75	40,500	-73,195	45,970	0,9985	40,480	20	0,0494
PB50	42,300				42,310	10	0,0236
PB40	43,000				43,042	42	0,0977
PB30	43,857				43,774	83	0,1893
PB20	44,381				44,506	125	0,2817
PB10	45,300				45,238	62	0,1369
PB5	45,615				45,604	11	0,0241

Çizelge 4. Biyodizel karışım oranına göre yakıt karışımlarının ölçülen ve hesaplanan akma noktası değerleri

Yakıt	Ölçülen (°C)	m	b	R ²	Hesaplanan	Mutlak Hata
PB75	6	0,3332	-19,8	0,9951	5,2	0,8
PB50	-4				-3.1	0,9
PB40	-7				-6.5	0,5
PB30	-10				-9.8	0,2
PB20	-13				-13.1	0,1
PB10	-16				-16.5	0,5
PB5	-18				-18.1	0,1

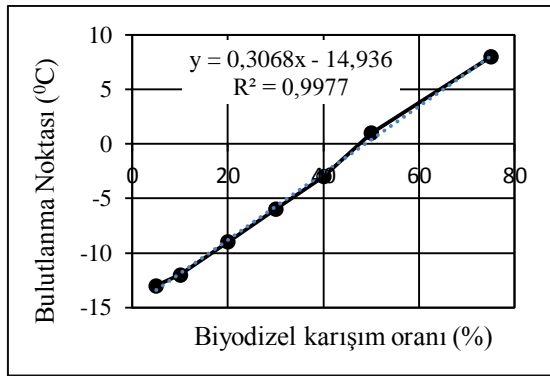
**Şekil 3.** Palm biyodizeli-dizel yakıt karışımlarının akma noktası değerleri

3.4. Bulutlanma Noktası Sonuçları

Yakıt karışımlarının ölçülen ve hesaplanan bulutlanma noktası değerleri, aralarındaki mutlak hata ve regresyon katsayıları Çizelge 5'te verilmiştir. Şekil 4 palm biyodizeli-dizel yakıt karışımlarının bulutlanma noktası değerindeki değişimi göstermektedir. Palm biyodizel-dizel yakıt karışımlarının bulutlanma noktası değerinin yakıt karışımları içerisindeki biyodizel miktarı arttıkça arttığı gözlemlenmiştir. Bulutlanma noktası için hesaplanan maksimum mutlak hata 0,6 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5. Biyodizel karışım oranına göre ölçülen ve hesaplanan bulutlanma noktası değerleri

Yakıt	Ölçülen (°C)	m	b	R ²	Hesaplanan	Mutlak Hata
PB75	8	0,3068	-14,94	0,9977	8,1	0,1
PB50	1				0,4	0,6
PB40	-3				-2,7	0,3
PB30	-6				-5,7	0,3
PB20	-9				-8,8	0,2
PB10	-12				-11,9	0,1
PB5	-13				-13,4	0,4



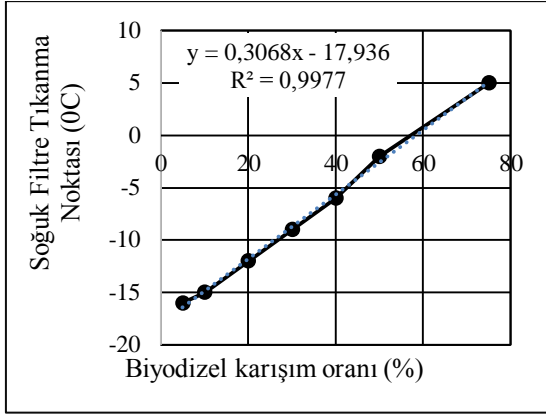
Şekil 4. Palm biyodizel-dizel yakıt karışımlarının soğuk filtre tıkanma noktası değerleri

3.5. Soğuk Filtre Tıkanma Noktası Sonuçları

Yakıt karışımlarının ölçülen ve hesaplanan soğuk filtre tıkanma noktası değerleri, aralarındaki mutlak hata ve regresyon katsayıları Çizelge 6'da verilmiştir. Şekil 5 palm biyodizel-dizel yakıt karışımlarının soğuk filtre tıkanma noktası değerlerindeki değişimi göstermektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde palm biyodizel-dizel yakıt karışımlarındaki biyodizel oranı arttıkça yakıt karışımlarının soğuk filtre tıkanma noktası değerleri artmaktadır.

Çizelge 6. Biyodizel karışım oranına göre ölçülen ve hesaplanan soğuk filtre tıkanma noktası değerleri

Yakıt	Ölçülen (°C)	m	b	R ²	Hesaplanan	Mutlak Hata
PB75	5	0,3068	-17,94	0,9977	5,1	0,1
PB50	-2				-2,6	0,6
PB40	-6				-5,7	0,3
PB30	-9				-8,7	0,3
PB20	-12				-11,8	0,2
PB10	-15				-14,9	0,1
PB5	-16				-16,4	0,4



Şekil 5. Palm biyodizeli-dizel yakıt karışımlarının soğuk filtre tıkanma noktası değerleri

4. SONUÇLAR

Bu deneysel çalışmanın amacı palmiye biyodizeli dizel yakıtıyla karıştırıldığında yakıt özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri belirlemektir. Bu amaçla, palm biyodizeli dizel yakıtıyla hacimsel olarak %5, 10, 20, 30, 40, 50, 75 karıştırılmış olup elde edilen yakıt karışımlarının yoğunluk, üst ısıl değer, akma noktası, bulutlanma noktası ve soğuk filtre tıkanma noktası değerleri ölçülmüştür. Bu yakıt özelliklerinin tahmin edilmesinde lineer regresyon denklemi kullanılmıştır. Yakıt karışımlarının ölçülen ve hesaplanan değerleri karşılaştırılmış ve aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir:

Yakıt karışımlarının yoğunluk değerleri dizel yakıtından daha yüksektir. Yakıt karışımlarının yoğunlukları biyodizel miktarı arttıkça artmaktadır.

Üst ısıl değer miktarı yakıt karışımlarındaki biyodizel oranı arttıkça azalmıştır. Ölçülen ve hesaplanan üst ısıl değer miktarı arasındaki maksimum mutlak hata % 0,2817'dür. Korelasyon katsayısı 0,9985 olarak hesaplanmıştır.

Yakıt karışımlarının akma noktası ve bulutlanma noktası değerleri biyodizel miktarı arttıkça yükselmiştir. Akma noktası ve bulutlanma noktası için ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki maksimum mutlak hata sırasıyla 0,9 ve 0,6'dur.

Yakıt karışımlarının soğuk filtre tıkanma noktası değerleri biyodizel miktarı arttıkça yükselmiştir. Soğuk filtre tıkanma noktası için ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki maksimum mutlak hata 0,6'dır.

5. KAYNAKLAR

1. Sugözü, D., Aksoy, F., Baydır, S. A., 2009. Bir Dizel Motorunda Ayçiçeği Metil Esteri Kullanımının Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6(2), 49-56.
2. Karabaş, H., 2013. Kışlık Kanola Çeşitlerinden Californium'dan Üretilen Biyodizelin Diesel Motorlarda Kullanıma Uygunluğunun İncelenmesi, Toprak Su Dergisi, 2(1):45-52.
3. Çanakçı, M., Özsezen A. N., 2005. Atık Mutfak Yağlarının Alternatif Dizel Yakıtı Olarak Değerlendirilmesi, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 18(1), 81-91.
4. Ramírez-Verduzco, L. F., Rodríguez-Rodríguez, J. E., Jaramillo-Jacob, A. R., 2012. Predicting Cetane Number, Kinematic Viscosity, Density and Higher Heating Value of Biodiesel from its Fatty Acid Methyl Ester Composition, Fuel, 91, 102-111.
5. Azam, M. M., Waris, A., Nahar, N. M., 2005. Prospects and Potential of Fatty Acid Methyl Esters of Some Non-Traditional Seed Oils for use as Biodiesel in India, Biomass and Bioenergy. 29:293-302.
6. Boz, N., Sunal, O., 2009. Biodiesel Production from Canola Oil Over Zinc Oxide Supported Catalysts, J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. 24, 389-395.
7. Alptekin, E., Çanakçı, M., 2008. Farklı Hammaddelerden Üretilen Metil Ester ve Gliserinin Bazı Özelliklerinin Belirlenmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 23(3), 549-556.
8. Gülüm, M., Bilgin, A., 2015. Density, Flash Point and Heating Value Variations of Corn Oil Biodiesel-Diesel Fuel Blends, Fuel Processing Technology, 134, 456-464.
9. Alptekin, E., Çanakçı, M., 2008. Determination of the Density and the Viscosities of Biodiesel-Diesel Fuel Blends, Renewable Energy. 33, 2623-2630.

10. Enweremadu, C. C., Rutto H. L., Oladeji, J. T., 2011. Investigation of the Relationship Between Some Basic Flow Properties of Shea Butter Biodiesel and their Blends with Diesel Fuel, *International Journal of the Physical Sciences*, 6(4), 758-767.
11. Benjumea, P., Agudelo, J., Agudelo, A., 2008. Basic Properties of Palm Oil Biodiesel–Diesel Blends, *Fuel*, 87, 2069–2075.
12. Meher, L .C., Sagar, D. V., Naik, S. N., 2006. Technical Aspects of Biodiesel Production by Transesterification-A Review, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 10, 248–268.

Baraj Rezervuarlarına Sediment Etkisinin Araştırılması: Berdan Barajı Örneği

Şerife Pınar GÜVEL^{*1}, Bülent SELEK², Galip SEÇKİN³

¹DSİ Genel Müdürlüğü, 6. Bölge Müdürlüğü, Adana

²DSİ Genel Müdürlüğü, Etüt, Planlama ve Tahsisler Dairesi Başkanlığı, Ankara

³Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 04.01.2017

Kabul tarihi: 14.01.2017

Öz

Baraj projelerinin planlanmasında sediment ölçümleri, ölü hacmin güvenilir olarak hesaplanması için kullanılmaktadır. Mühendislik uygulamalarında, sediment hacminin gerçek değerinden düşük hesaplanması depolama tesislerinde işletme-bakım problemlerine neden olmakta ve barajlardan beklenen fayda sağlanamamakta, gerçek değerinden fazla hesaplanması ise maliyeti artırmaktadır. Nehir havzalarında baraj rezervuarlarına taşınan sediment miktarları barajların depolama kapasitesini azaltmakta, bu nedenle tesisler işletmeye alındıktan sonra rezervuar işletme çalışmalarının sediment etkisine bağlı olarak tekrar değerlendirilmesini gerekli duruma getirmektedir.

Berdan Barajı, Türkiye'nin güneyinde Mersin İli'nde, Tarsus İlçesi'nin 6 km kuzeydoğusunda yer almaktadır ve sulama, içme suyu, taşkın kontrolü ve enerji amaçları için Berdan Nehri üzerinde inşa edilmiştir. Berdan Barajı 1984 yılında inşaatı tamamlanarak işletmeye açılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, su kaynaklarının planlanması ve yönetimi faaliyetlerinde değerlendirilmek üzere Berdan Barajı rezervuarında biriken sediment miktarının Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak tahmin edilmesidir. Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmada, Berdan Barajı rezervuarında sediment birikiminin analizi, 1961 yılına ait rezervuar sahası haritası ile 2003 yılında hazırlanmış olan hidrografik haritanın Coğrafi Bilgi Sistemi teknolojisi kullanılarak karşılaştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda rezervuar hacminde 2003 yılına kadar minimum su seviyesinde rezervuar kapasitesinde %32, normal su seviyesinde rezervuar kapasitesinde %12, maksimum su seviyesinde rezervuar kapasitesinde %4 oranında azalma olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Coğrafi bilgi sistemi, Sedimentasyon, Berdan rezervuarı

Investigation of Sedimentation Effects on Dam Reservoirs: Berdan Dam Example

Abstract

Sedimentation measurements are used for calculation of dead volume storage capacity of dams at planning stage of dam projects. Calculating the sedimentation volume less than actual capacity causes operation-maintenance problems at water projects at engineering technics, while calculating the

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Şerife Pınar GÜVEL, spinar.guvel@dsi.gov.tr

sedimentation volume more than actual capacity increases cost of water projects. Sediment accumulation in reservoirs decreases water storage capacity of dams in river basins, therefore it is essential to evaluate reservoir operation studies with sedimentation effects.

Berdan Dam is located in Mersin City, 6 km northeast of Tarsus in the southern part of Turkey, and constructed with purposes of irrigation, drinking water supply, flood control and energy on Berdan River. Berdan Dam was constructed in 1984 and it is operational since then.

The aim of this study is to estimate the amount of accumulated sediment in Berdan Reservoir by using Geographic Information Systems (GIS) to evaluate the water resources planning and management activities of Berdan Dam. In this study, analysis of sediment accumulation in Berdan Dam Reservoir is studied comparing the map of reservoir area with the hydrographic map prepared in the year 2003 by using geographic information system technology. As a result, it is experienced that there is a 32% reservoir storage volume loss at minimum reservoir operation elevation, 12% reservoir storage volume loss at normal reservoir operation elevation and 4% reservoir storage volume loss at maximum reservoir operation elevation before the year 2003.

Keywords: Geographic information systems, Sedimentation, Berdan reservoir

1. GİRİŞ

Sürdürülebilir su kaynaklarının planlanması ve yönetiminin sağlanması çalışmaları kapsamında, projelerin işletmeye alınmasından sonraki süreçte su kaynakları projelerinin hizmet alanlarında teknik izleme ve değerlendirme faaliyetleri devam etmektedir. Su sınırlı bir kaynak olduğu için dünyada suyun etkin kullanımı her gün daha fazla önem kazanmaktadır. Günümüzde mevcut su potansiyelinin sürdürülebilir hale getirilmesi gerekmektedir [1]. Su kaynaklarının yönetiminde akarsular üzerinde planlanan ve inşa edilen mühendislik yapıları sulama, içmesuyu temini, enerji üretimi gibi amaçlarla insanlara hizmet etmektedir. Baraj rezervuarlarının kapasiteleri, etüt çalışmalarının yanısıra baraj inşaatı tamamlanarak işletmeye açıldıktan sonra da gerekli ölçümler yapılarak değerlendirilmektedir.

Sediment birikimi, rezervuar hacminin azalmasına neden olduğundan baraj işletme çalışmalarını etkilemektedir [2]. Rezervuar sedimentasyonunun değerlendirilmesi hakkında daha önceki yıllarda yapılan çalışmalarda da, rezervuar kapasitesinde azalmaya neden olan sedimentasyonla ilgili sorunlar belirtilmektedir [3-6]. Bu nedenle rezervuar havzalarındaki sediment dağılımının değerlendirilmesi için mühendislik projelerinde

planlama aşamalarından işletme aşamalarına kadar gerekli çalışmalar yapılmalıdır [3]. Sediment birikiminin rezervuar kapasitesinin azalmasına neden olması su kaynaklarının yönetiminde büyük bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Mühendislik problemlerinin çözümünde CBS tekniklerinin kullanımı, özellikle su ve toprak kaynaklarının planlanması ve yönetimi uygulamalarında, sulama yönetimi ve çeşitli tarımsal faaliyetler, hidroloji uygulamaları, taşkın risk değerlendirmeleri ve sulama projeleri tabansuyu seviye ölçümlerinin izlenmesi ve incelenmesi gibi çalışmalarda günümüzde yaygın olarak kullanılır hale gelmiştir [1,7-10].

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ülkemizde rezervuar sedimentasyonunun incelenmesi konusunda çeşitli araştırmalar bulunmaktadır. Demirköprü Barajında rezervuar sedimentasyonunun değerlendirilmesi çalışmasında hem hidrografik haritalar hem de sediment gözlem istasyonu ölçümleri kullanılmış ve sonuç olarak sediment birikiminden dolayı rezervuar toplam depolama hacminin %33'ünün kaybedildiği görülmüştür [3]. Sille Barajında 1984-2008 yılları arasında 24 yıllık sürede gölün depolama kapasitesinde sediment birikimi

nedeniyle %11,6 azalma olduğu tespit edilmiştir [11]. İstanbul'da bulunan Alibey Barajı rezervuarında yapılan araştırmada, barajdaki sedimentasyon incelenmiş, sediment miktarının belirlenebilmesi için arazi çalışmaları ve gözlemleri değerlendirilmiştir [6]. Kalkan [12] tarafından yapılan çalışmada, ülkemizde batimetrik haritaların mevcut durumu incelenerek, güncel batimetrik haritaların yapılması ve barajların dolma hızının tespiti konuları değerlendirilmiştir. Bu çalışmada aynı zamanda, Haliç Islah Projesi kapsamında, Haliç Körfezinin üst bölgesine 16 aylık sürede taşınan sediment miktarının yaklaşık 500.000 m³ olarak hesaplandığı ve dip topoğrafyasındaki değişim izlenmeye çalışıldığı da belirtilmektedir. Balıkesir-Çaygören Rezervuarının sedimentasyon durumunun incelenmesi neticesinde, 1970 ile 1983 yılları arasında, barajın ölü hacminin yaklaşık %62'sinin dolmuş olduğu belirtilmektedir [13].

Dünyada, rezervuar depolama kapasitesinin etkin kullanımı için sediment birikiminin önlenmesi amacıyla geliştirilen uygulamalar ve rezervuarda kapasite kaybının tespit edildiği çeşitli örnekler bulunmaktadır. Özbekistan'da Akdarya Barajı rezervuarında 2003 yılına kadar, rezervuar orijinal depolama hacminde yıllık azalma oranı %0,8 olarak belirlenmiştir [14]. Hindistan'da Hirakud rezervuarında, uzaktan algılama teknikleri ile gerçekleştirilen çalışmada, 1989 ve 1957 yılları arasında kapasite kaybı %24,10 olarak tespit edilmiştir [15]. Hindistan'da Bargi Rezervuarında uzaktan algılama teknikleri kullanılarak sediment depolaması değerlendirilmiş, sonuç olarak sedimentasyon oranı 229,03 m³km⁻²yıl⁻¹ olarak bulunmuştur [16]. Etiyopya'da bulunan Angereb Rezervuarı'nda sedimentasyonun neden olduğu yıllık toplam kapasite kaybı 1997-2005, 1997-2007 ve 2005-2007 yılları için sırasıyla %4,02, %3,16 ve %3,03 olarak hesaplanmıştır [17].

Baraj planlama çalışmalarında ekonomik ömür esas alınarak rezervuara gelen rusubatu hesaplamak üzere rusubat gözlemleri yapılır ve benzer havzalardaki gerçek sonuçlardan yararlanır. Rezervuarlarda biriken gerçek sediment miktarını izlemek, sediment dağılımını incelemek amacıyla

hidrografik haritalar üretilmektedir. Süspansediment ölçümleri yatak yükünü kapsamadığı için, yatak yükünün ayrıca tahminini gerektirmektedir. Bu sebeple, hidrografik haritalar baraj havzaları sediment veriminin belirlenmesi için en güvenilir yöntemdir.

İşletmeye açılmış göllerde birikmiş olan sediment durumunu belirlemek, barajlar ve göllerden uzun süre yararlanmak için hidrografik haritalar yapılmaktadır; DSİ tarafından Türkiye genelinde 120 barajın ve 62 gölün hidrografik haritası hazırlanmıştır [18].

Sediment gözlem istasyonlarından alınan ölçümler ve üretilen hidrografik haritalar rezervuar sediment birikim oranının hesabında, barajların işletme planının belirlenmesinde ve yeni planlama çalışmalarında kullanılmaktadır.

Doğu Akdeniz Havzasında yer alan ve Berdan Projesi kapsamında geliştirilen, işletme aşamasındaki Berdan Barajı, sulama, taşkın kontrolü, enerji ve Mersin İli'ne içme suyu temini amaçlıdır. Baraj tipi zonlu toprak dolgu, barajın sulama sahası 24.940 ha, rezervuar normal su seviyesi 56,0 m'dir. Berdan Barajı, Berdan nehri üzerinde inşa edilmiştir. Berdan Nehrinin başlıca kolları Pamukluk ve Kadıncık çaylarıdır.

Proje kapsamında bir baraj ve rezervuar ile bir enerji santrali, sulama ve drenaj sistemleri de bulunmaktadır [19,20]. Planlama çalışmalarında, Berdan Rezervuarında 50 yıllık sürede birikecek rusubat miktarı yaklaşık 16 milyon m³ olarak öngörülmektedir [19]. Berdan Barajı proje karakteristiklerinde, ölü hacim 18 milyon m³ olarak hesaplanmıştır [21].

DSİ tarafından 2003 yılında Berdan Barajı Rezervuarında hidrografik harita hazırlanmıştır. Bu çalışmada, Berdan Rezervuarında 2003 yılında hazırlanan hidrografik harita ile baraj inşaatı öncesi hazırlanan rezervuar sahası haritasının coğrafi bilgi sistemi ortamında karşılaştırılması ile rezervuar kapasitesindeki gerçek azalma belirlenmiştir ve planlama çalışmasında öngörülen ölü hacim değeri olan 18 milyon m³ değeri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada ek olarak, Berdan

Barajı Rezervuarında sediment birikiminin coğrafi bilgi sistemi ortamında modellenmesi ile rezervuar aktif hacminde sediment birikimi gerçekleşen alanlar ile rezervuarda sediment dağılımı ve miktarları incelenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Çalışmada, Karar Destek Sistemi aracı olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojisi kullanılmıştır. Coğrafi bilgi sistemleri ile her ölçekteki veriye ait bilgilerin bilgisayar ortamında depolanması sağlanmakta, bilimsel yöntemlerle gerçekleştirilen modelleme ve analiz çalışmaları ile karar vericilere destek hizmeti sunulmaktadır. CBS tekniği ile depolanan verilerle ve üretilen modellerle, doğal kaynakların yönetiminin yanısıra pek çok bilim dalında çeşitli istatistik değerlendirmeler yapılabilen, gelecekteki veri analizi uygulamalarında tarihi verilere kolay ulaşım sağlanmaktadır. Klasik yöntemlerle karşılaştırıldığında, CBS tekniği kullanılarak yapılan planlama çalışmalarında alternatif projeler daha hızlı geliştirilebilmektedir. Günümüzde bilimsel araştırmaların yanısıra kurumsal faaliyetler kapsamında da, hem planlama ana done faaliyetlerinde ve planlama raporlarının hazırlanmasında, hem de proje ve inşaat aşaması ile tesislerin işletme çalışmalarında Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılmaktadır. Akarsu havzalarında yeni projelerin geliştirilmesi, çevresel ve tarımsal faaliyetler ve hidrojeoloji konularında da CBS yöntemi başarı ile uygulanmaktadır. Bu çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemi uygulamalarında ArcGIS yazılımı kullanılmıştır.

Araştırmada, sediment birikim haritalarının elde edilmesinde temel altlık olarak, DSİ arşivinde yer alan Berdan Barajı rezervuarına ait 1/5000 ölçekli 1961 yılı haritaları baraj inşaatından önce rezervuar sahasının sayısal yükseklik modelinin oluşturulması ve Berdan Barajı rezervuarına ait 2003 yılına ait hidrografik haritalar, 2003 yılına ait sayısal yükseklik modelinin oluşturulması amacıyla kullanılmıştır. Berdan Barajı rezervuarına ait 1961 yılı haritaları ile 2003 yılı

hidrografik haritaları TIFF formatında temin edilmiş, her iki yıla ait haritalar sayısallaştırma işlemi için bilgisayar ortamına koordinatlı olarak aktarılmıştır. Öznitelik veri olarak yükseklik bilgileri kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, rezervuar hacmindeki azalma miktarını tespit etmek ve yıllar arasındaki sediment birikiminin dağılımını hesaplamak için, CBS ortamında veri tipleri ve katmanları belirlenerek rezervuar sahası yükseklik verileri sayısallaştırılmıştır. CBS uygulamalarında ArcGIS yazılımında TIN (Triangulated Irregular Network) modülü kullanılarak rezervuarı ait sayısal yükseklik modelleri elde edilmiştir. 1961 ve 2003 yılları sayısal yükseklik modelleri ile bulunan her iki yıla ait rezervuar hacimleri incelendiğinde, iki yıl arasında azalarak değişen hacimler arasındaki fark sediment birikimi olarak değerlendirilmektedir.

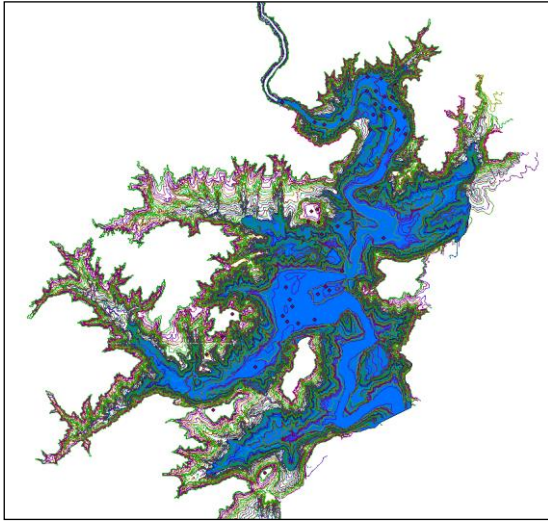
CBS Analiz yöntemleri kullanılarak, sayısal yükseklik modelleri ile hazırlanan uygulamalarda, rezervuar hacim-kot-alan tabloları elde edilmiş, enkesit ve boykesitler incelenerek rezervuar dip topoğrafyasının değişimi değerlendirilmiş ve CBS teknolojisi kullanılarak rezervuar sahasındaki sediment dağılımı belirlenmiştir.

3.2. Metod

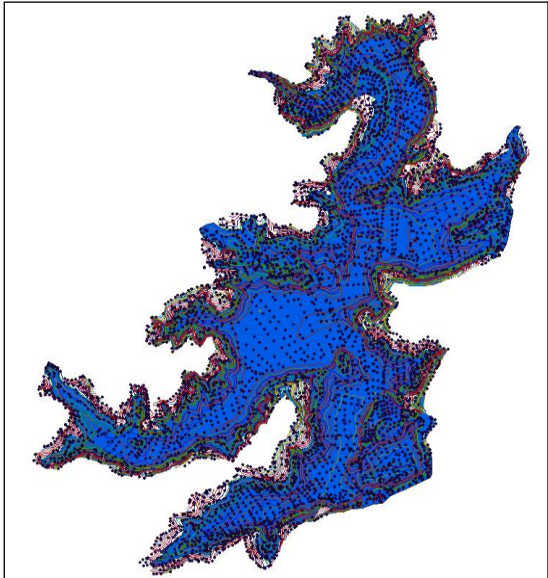
Berdan Barajı inşaatından önceki rezervuar sahasına ait sayısal yükseklik modelini elde etmek için yükseklik verilerine bağlı katman tiplerinin belirlenmesiyle bir veritabanı hazırlanmıştır. Rezervuar paftaları, coğrafi bilgi sistemleri ortamında sayısallaştırılma işlemlerinin gerçekleştirilmesi için bilgisayar ortamına koordinatlı olarak aktarılmıştır. Paftalarda yer alan noktasal ve çizgisel verilerle vektör veriler üretilmiş, öznitelik bilgileri mekan bilgileri ile ilişkilendirilerek sisteme aktarılmıştır.

Çalışmada öncelikle 1961 yılı rezervuar sahası haritası ile 2003 yılı hidrografik haritası sayısal hale getirilmiştir. Sayısal haritalardaki noktasal ve çizgisel veriler kullanılarak ve baraj kret kotu ile maksimum su seviyesi dikkate alınarak belirlenen sınır poligonu katmanı kullanılarak, CBS ortamında ArcGIS yazılımında TIN (Triangulated Irregular Network) modülü ile rezervuar sahasına

ait kot bilgilerine dayalı rezervuar sayısal yükseklik modelleri oluşturulmuştur. CBS tekniği ile modellerin karşılaştırmasını sağlamak için hazırlanan sayısal haritalar Şekil 1 ve Şekil 2’de verilmektedir. Oluşturulan rezervuar sayısal yükseklik modelleri ise Şekil 3 ile Şekil 4’de verilmektedir.

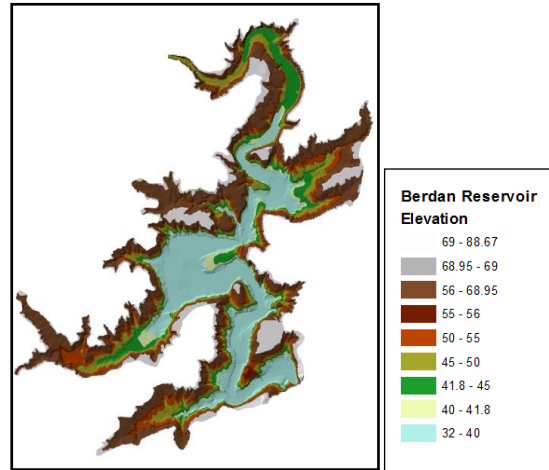


Şekil 1. 1961 yılı için elde edilen rezervuar sahası sayısal haritası

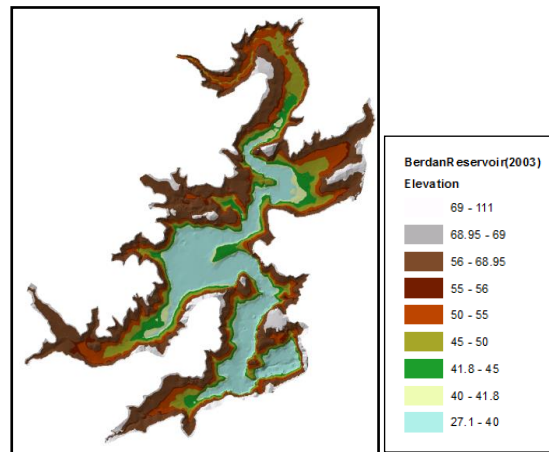


Şekil 2. 2003 yılı için elde edilen rezervuar sahası sayısal haritası

Sayısal yükseklik modelleri ile CBS analiz yöntemleri kullanılarak baraj depolama kapasitesi belirlenmiş, Berdan Barajı Rezervuarında planlama aşamasındaki hacim-kot-alan değerleri ile baraj işletmeye alındıktan sonra 2003 yılında Berdan Barajı Rezervuarında hacim-kot-alan değerleri hesaplanmıştır. Sediment hacim miktarının belirlenmesi için, her iki yıla ait rezervuar hacimlerinin farkı, minimum, normal ve maksimum su seviyelerinde hesaplanmıştır. Berdan rezervuarı hacim-kot eğrileri Şekil 5’de, rezervuar kot-alan eğrileri Şekil 6’da verilmektedir.



Şekil 3. 1961 yılı için oluşturulan rezervuar sayısal yükseklik modeli

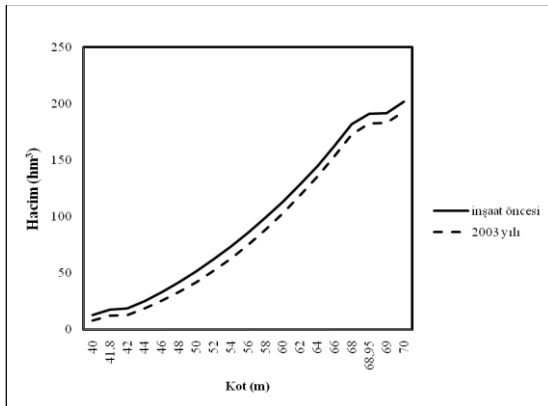


Şekil 4. 2003 yılı için oluşturulan rezervuar sayısal yükseklik modeli

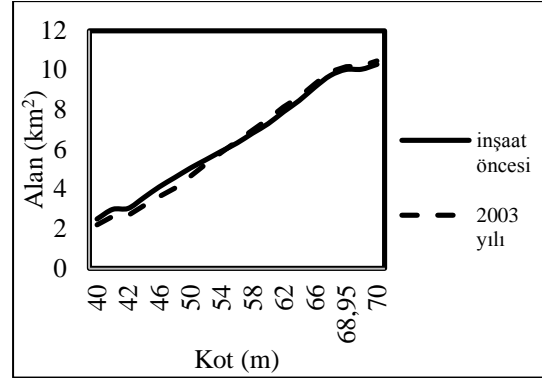
Şekil 3 ve Şekil 4’de verilen her iki rezervuar sayısal yükseklik modelinde, yüksekliği 40 m kotuna kadar olan yüzey alanı açık mavi renk ile temsil edilmekte, Şekil 3’de görülen birinci durumdan Şekil 4’de görülen ikinci duruma geçildiğinde, açık mavi renk alanın azaldığı görülmekte, bu fark sediment birikiminden kaynaklanmaktadır.

Her iki durumda baraj minimum su seviyesi, baraj normal su seviyesi ve baraj maksimum seviyesi oluşturulan lejandda aynı renklerle temsil edilmekte, birinci durumdan ikinci duruma geçildiğinde, sediment birikiminden dolayı olduğu öngörülen, rezervuarda renk dağılımının kotların yükselmesi olması yönünde değişiklik gösterdiği görülmektedir. Ancak kıyıya yakın kesimlerde kotlardaki azalmalar bu kısımlarda erozyon olduğu şeklinde değerlendirilmiştir.

CBS analiz yöntemleri ile hesaplanan ve Berdan Barajı hacim-kot-alan bilgileri ile elde edilen 1961 ve 2003 yıllarına ait rezervuar hacim-kot grafiğinde (Şekil 5), iki yıla ait depolama verileri karşılaştırıldığında rezervuar hacmindeki azalma miktarı görülmektedir. Rezervuarda biriken sediment hacim miktarı, iki yıla ait rezervuar depolama kapasitelerinin farkının hesaplanması ile belirlenmiştir. Şekil 6’da yer alan rezervuar kot-alan grafiği incelendiğinde ise, birinci durumdan ikinci duruma geçildiğinde, yaklaşık 55 m kotlarından sonra alan değerlerinde artma görülmektedir, bu durum kıyı kesimlerine yakın kısımlarda erozyon şeklinde değerlendirilmiştir.



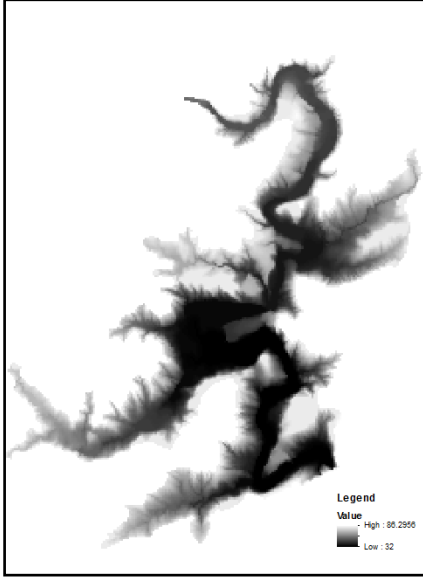
Şekil 5. Rezervuar hacim-kot grafiği



Şekil 6. Rezervuar kot-alan grafiği

Berdan Barajı planlama çalışmalarında, akım rasat verileri ve proje sahası etütleri dikkate alınarak baraj rezervuarına $200 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ rusubat taşınacağı kabul edilerek, kabul edilen ekonomik ömür sürecinde, baraj rezervuarına 16 milyon m^3 rusubat birikeceği öngörülmüştür [19]. Berdan Barajı’nda sulama yönünden minimum su seviyesi 41,80 m, bu seviyeye karşılık gelen ölü hacim değeri 18 milyon m^3 ’tür. Berdan Barajı’nın planlama aşamasındaki rezervuar topoğrafyası ile 2003 yılı hidrografik çalışma sonucu karşılaştırılarak, 2003 yılına kadar minimum su seviyesi olan 41,80 m kotunda $5,73 \text{ milyon m}^3$ gerçek sediment birikimi hesaplanmıştır. Sonuç olarak, planlama çalışmalarında öngörülen ölü hacim miktarı 18 milyon m^3 iken 2003 yılına kadar $5,73 \text{ milyon m}^3$ sediment birikimi gerçekleştiği bu çalışma sonucunda belirlenmiştir.

Berdan Barajı rezervuarında her iki yıl arasındaki sediment birikimini modellemek için sayısal yükseklik modelleri (TIN) öncelikle hücresel raster veri modellere aktarılmıştır. Her iki durum için oluşturulan raster veri modelleri Şekil 7 ve Şekil 8’de verilmiştir. Her iki veri modeli, bilgisayarda aynı anda ekrana çağırılarak CBS ortamında karşılaştırılmış ve farklarından oluşan yeni bir veri modeli elde edilmiştir. Bu yeni veri modeli, Berdan Barajı Rezervuarında sediment dağılımını temsil etmekte, raster veri modelindeki pozitif değerler kot yükselmelerini, dolayısıyla sediment birikimini, negatif değerler ise kotlardaki azalmayı, diğer bir ifadeyle erozyon gerçekleşen alanları göstermektedir.



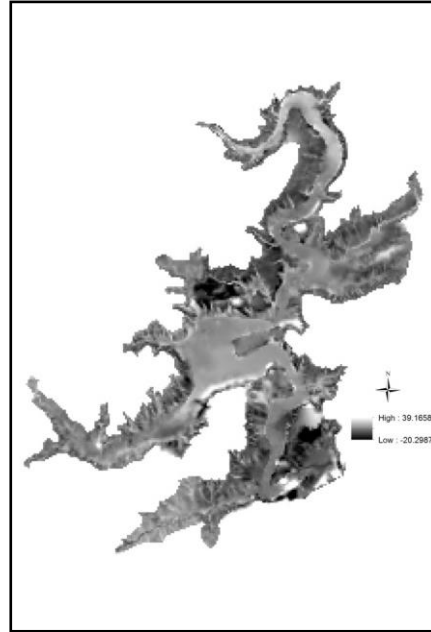
Şekil 7. 1961 yılı için oluşturulan raster veri modeli



Şekil 8. 2003 yılı için oluşturulan raster veri modeli

Rezervuar sahasında sediment birikiminden dolayı oluşan değişimler Şekil 9'da gösterilmiştir. CBS analiz sonuçlarına göre, baraj gövdesine yakın kısımlarda, sediment birikim miktarları 1,5 m ile 6 m arasında değişmektedir. Rezervuar sahasının

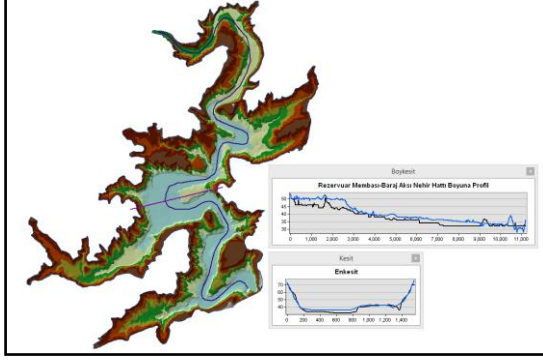
orta kısımlarında sediment birikimi genel olarak 2 m ile 6 m arasında değişmekle birlikte bazı kısımlarda 11 m ile 13 m arasında değerlere de ulaşmaktadır. Rezervuarın memba kısmında ise sediment birikimi genel olarak 4 m'ye yakın değerler almakta, bu kısımlarda 6 m'ye kadar sediment birikiminin gerçekleştiği alanlar bulunmaktadır.



Şekil 9. Berdan barajı rezervuarında sediment birikimi

Rezervuar sahasında meydana gelen değişim, CBS ortamında enkesit ve boykesit örnekleri ile, Şekil 10'da görüldüğü gibi incelenmiştir. Rezervuarda baraj inşaatından önceki durumda ve 2003 yılındaki durumda, rezervuar membası ile baraj aksı arasındaki boyuna profiller incelendiğinde, barajın işletmeye açıldığı 1984 yılından 2003 yılına kadar geçen 19 yıllık sürede, sediment birikiminin gerçekleştiği kısımlar görülmektedir. Ayrıca nehir hattı boyunca sediment birikiminin gerçekleştiği kısımların yanısıra örnek bir enkesitte meydana gelen değişim de görülmektedir. Rezervuar sayısal yükseklik modeli ve CBS katmanları kullanılarak, belirlenen herhangi bir kesitteki yükseklik değişimleri incelenebilmekte, ayrıca rezervuar sayısal

yükseklik modelleri, boykesit ve enkesitlerin elde edilmesi için çeşitli coğrafi sorgulamaların yapılmasına hazır durumda bulunmaktadır.



Şekil 10. Rezervuar sahası ve çevresi

4. SONUÇLAR

Çalışmada, Berdan Barajı planlama çalışmalarında öngörülen, baraja geleceği tahmin edilen sediment miktarı ile baraj işletmeye açıldıktan sonra fiziki olarak gerçekleşen sediment miktarları coğrafi bilgi sistemleri teknolojisi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Planlama kapsamında değerlendirilen hacim-satış çalışmaları ile 2003 yılına ait baraj hidrografik haritası coğrafi bilgi sistemleri ortamında değerlendirilmiş, rezervuara ait sayısal yükseklik modelleri oluşturularak rezervuar hacmindeki değişimler incelenmiştir.

Rezervuara ait sayısal yükseklik modelleri sediment birikiminin yüksekliklerinin hesaplanması ve sediment dağılımını belirlemek için coğrafi bilgi sistemleri ortamında karşılaştırılmıştır. Rezervuarın enkesit ve boykesitleri modeller üzerinden oluşturularak rezervuar taban yüzeyinde zamanla meydana gelen değişimler incelenmiştir.

Bu çalışmada hazırlanmış olan coğrafi bilgi sistemleri veritabanı ile, gelecek yıllarda depolama kapasitesinin tekrar değerlendirilmesi için hazırlanacak yeni hidrografik haritalar karşılaştırılarak rezervuar sediment dağılımı güncel hale getirilebilecektir. Ayrıca, bu araştırmada hazırlanmış olan sediment dağılım

haritası, rezervuar taban yüzeyinde yeni enkesitlerin elde edilmesinde kullanılabilecektir.

Berdan Barajının su kaynağı olarak teşkil edildiği sulama projelerinin işletme faaliyetlerinin planlanması ve değerlendirilmesinde, bu çalışma sonucunda elde edilen sayısal yüksek modelleri ve sediment birikim haritaları çalışmalara katkı sağlayacaktır.

Berdan Barajında, her iki yıla ait sayısal yükseklik modelleri coğrafi bilgi sistemleri ortamında karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, rezervuar hacminde 2003 yılına kadar minimum su seviyesinde rezervuar kapasitesinde %32, normal su seviyesinde rezervuar kapasitesinde %12, maksimum su seviyesinde rezervuar kapasitesinde %4 oranında azalma olduğu belirlenmiştir. 2003 yılına kadar rezervuar aktif hacmindeki değişimin %2'ye yaklaşan azalma şeklinde, taşkın hacmindeki değişimin ise %2 artış şeklinde olduğu belirlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Gürer, İ., Uçar, İ., 2013. CBS ve Uzaktan Algılama Destekli Kar Erimesi Modeli (SRM) İle Akış Hidrografi Benzetimi (Kayseri-Sarız Çayı Havzası Örneği), Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 28, No 1, 91-101.
2. El-Sersawy, H., 2005. Sediment Deposition Mapping In Aswan High Dam Reservoir Using Geographic Information System (GIS), Ninth International Water Technology Conference IWTC9 2005, Sharm El-Sheikh, Egypt.
3. Kokpınar, M. A., Kumcu, S. Y., Altan-Sakarya, A. B., Gogus, M., 2010. Reservoir Sedimentation in the Demirkopru Dam, Turkey, Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, River Flow 2010, Braunschweig, 2, 1125-1130.
4. Güvel, Ş.P., Yurtal, R., 2007. Karar Destek Sistemi ile Seyhan Baraj Haznesi Katı Madde Birikiminin İncelenmesi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 16, Sayı 1, 134-145.
5. Fakioğlu, M., 2005. Seyhan Barajı Hidrografik Harita Alımı Değerlendirilmesi ve Sonuçları, 2.

- Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İstanbul, 23-25 Kasım 2005.
6. Çelik, H. E., Şengönül, K., Akyüz, F., Altunel, O., Dağcı, M., Esin, A.İ., 2012. İstanbul'un İçme Suyu Barajlarının Sedimentasyon Problemi ve Çözüm Önerileri: Alibey Barajı Örneği, *Istanbul University Journal of Faculty of Forestry*, 62, 2, 113-127.
 7. Arslan, H., Demir, Y., 2011. Monitoring and Assessing Groundwater level By GIS: A Case Study In The Irrigated Soils of Bafra Plain In Northern Turkey, *Anadolu Tarım Bilim Derg.*, 26, 3, 203-211.
 8. Cengiz, T., Akbulak, C., Özcan, H., Baytekin, H., 2013. Gökçeada'da Optimal Arazi Kullanımının Belirlenmesi, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 19, 148-162.
 9. Cemek, B., Güler, M., Arslan, H., 2006. Bafra Ovası Sağ Sahil Sulama Alanındaki Tuzluluk Dağılımının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak Belirlenmesi, *Atatürk Üniv. Ziraat Fakültesi Derg.*, 37(1), 63-72, ISSN 1300-9036.
 10. Tuğaç, M.G., Torunlar, H., 2007. Tarım Arazilerinin Tarımsal Kullanım Uygunluklarının Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 13 (3), 157-165.
 11. Ceylan, A., Yiğit, C. Ö., Ekizoğlu, İ., Özdemirler, A., Bilgin, A., Hisoğlu, Ş., Toprakkale, A., 2009. Barajlarımızdaki Batimetrik Ölçmeler: Sille Barajı Örneği, 4. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, KTÜ-Trabzon, 14-16 Ekim 2009.
 12. Kalkan, Y., 2009. Barajlarımızdaki Hidrografik Ölçmeler ve Sediment Hareketleri, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 11-15 Mayıs 2009.
 13. İrtem, E., Özgür, A. C. A., 2000. Balıkesir-Çaygören Rezervuarının Sedimentasyon Açısından İncelenmesi, *İMO Teknik Dergi*, 2155-2164, Yazı 150, Kısa Bildiri.
 14. Rakhmatullaev, S., Huneau, F., Bakiev, M., Motelica-Heino, M., Le Coustumer, P., 2011. Sedimentation of Reservoirs in Uzbekistan: a Case Study of the Akdarya Reservoir, Zerafshan River Basin, *Proceedings of the ICCE Workshop, Hyderabad, India, IAHS Publ.*349.
 15. Mukherjee, S., Veer, V., Tyagi, S. K., Sharma, V., 2007. Sedimentation Study of Hirakud Reservoir through Remote Sensing Techniques, *Journal of Spatial Hydrology*, Vol 7, No 1, 122-130.
 16. Goel, M. K., Jain, S. K., Agarwal, P. K., 2002. Assessment of Sediment Deposition Rate in Bargi Reservoir Using Digital Image Processing, *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, Special Issue: Towards Integrated Water Resources Management for Sustainable Development, 47 (S) August 2002.
 17. Haregeweyn, N., Melesse, B., Tsunekawa, A., Tsubo, M., Meshesha, D., Balana, B.B., 2012. Reservoir Sedimentation and its Mitigating Strategies: A Case Study of Angereb Reservoir (NW Ethiopia), *J Soils Sediments*, 12:291-305.
 18. Fakıoğlu, M., Athler, Y., 2016. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nde Hidrografik Harita Çalışmaları, 8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 19-21 Ekim 2016, İstanbul.
 19. IECO., 1966. Berdan Geliştirilmesi Teknik ve Ekonomik Fizibilite Raporu Berdan Projesi Mersin İçme Suyu Projesi.
 20. IECO, 1966. Su Kaynaklarının Geliştirilmesi Ceyhan Havzası Projeleri, Seyhan Havzası Projeleri, Berdan Projesi, Develi Projesi, Amik Projesi, Master Plan Raporu.
 21. DSİ, 1974. Berdan II. Merhale Projesi Planlama Revizyon Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü Etüt ve Plan Dairesi Başkanlığı, Temmuz 1974.

Bakır Konsantre Tesislerinde Kontrol Kartlarının ve Çok Boyutlu Ölçekleme Analizinin Uygulanması

Volkan ARSLAN^{*1}

¹MTA Genel Müdürlüğü, Orta Anadolu II. Bölge Müdürlüğü, Konya

Geliş tarihi: 05.01.2017 Kabul tarihi: 14.03.2017

Öz

Bu çalışmada, Türkiye'deki iki bakır zenginleştirme tesisinde istatistiksel kalite kontrol uygulaması yapılmıştır. Elde edilen bilgilerle üretim sürecinin yeterli olup olmadığını tespit etmek amacıyla proses yeterlilik analizi yapılmıştır. A ve B tesisleri için C_p ve C_{pk} indisleri sırası ile 1,42, 1,20 ve 1,50, 1,10 bulunmuştur. Bu değerlere göre proseslerin ihtiyaçları karşıladığı tespit edilmiştir. Ayrıca, çok boyutlu ölçekleme (ÇBÖ) analizi ile stress değeri ve korelasyon indeksi değeri tespit edilmiştir. Hesaplamalar sonucunda stress değeri 0,01258 bulunmuş ve bu değer konfigürasyon uzaklıkları ile tahmini uzaklıklar arasında mükemmel bir uyum olduğunu göstermiştir. Korelasyon indeksi değeri (R^2) 0,99923'dür. Bu değer güvenilirlik açısından öklid uzaklık modelinin verileri çok iyi temsil ettiğini göstermektedir. Çok boyutlu ölçekleme analizi sonuçlarının çalışmada kullanılan veri setini yeterli ölçüde yansıttığı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bakır konsantre tesisi, Kontrol grafikleri, Proses yeterlilik analizi, Çok boyutlu ölçekleme analizi

The Application of Control Charts and Multidimensional Scaling Analysis in Copper Concentrate Plants

Abstract

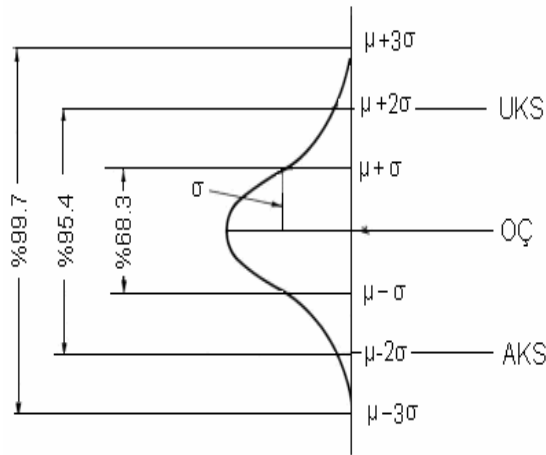
In this study, statistical quality control application was applied to two copper concentrate plants in Turkey. Process capability analysis was carried out to determine whether there was sufficient of the production process with the information obtained. The C_p and C_{pk} indices for A and B plants were 1.42, 1.20 and 1.50, 1.10, respectively. According to these values, it has been determined that the processes meet the needs. Furthermore, stress index value and the correlation value were determined with multidimensional scaling (MDS) analysis. As a result of the calculations, the stress value was founded 0.01258, indicating that this was a perfect fit between the configuration distances and the estimated distances. The correlation index value (R^2) was 0.99923. This value showed that the euclidean distance model represents the data very well in terms of reliability. Multidimensional scaling analysis of the results of the data set used in this study seems to adequately reflect.

Keywords: Copper concentrate plant, Control charts, Process capability analysis, Multidimensional scaling analysis

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Volkan ARSLAN, volkanarslan76@hotmail.com

1. GİRİŞ

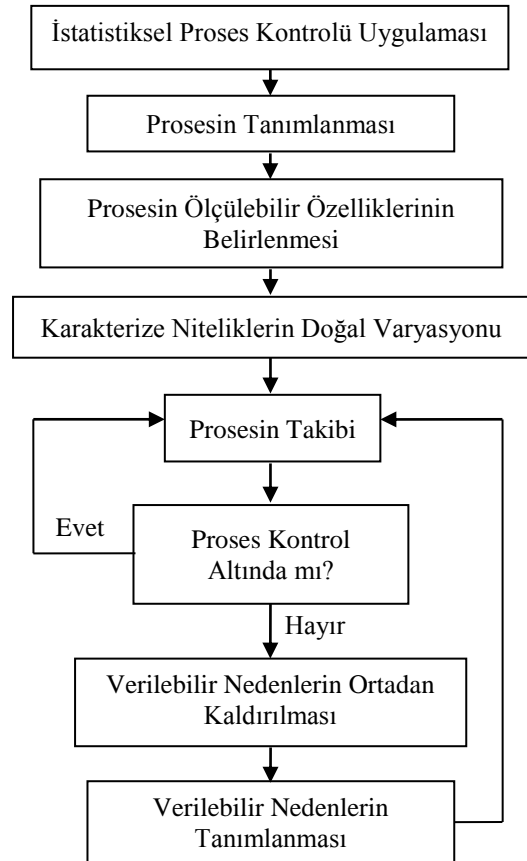
İstatistiksel kalite kontrolü, bir ürünün en ekonomik ve yararlı bir şekilde üretilmesini sağlamak, önceden belirlenmiş kalite özelliklerine uygunluğunu ve standartlara bağlılığını hedef almak, kusurlu ürün üretimini minimize etmek amacıyla istatistik prensip ve tekniklerinin üretimin bütün safhalarında kullanılmasıdır. İstatistiğin bilgisayar ile entegrasyonu sürecinde kullanımı giderek yaygınlaşan bazı programlar mevcuttur. Bu programların önde gelenlerinden biri de SPSS (Statistical Package for Social Scientists)'dir. İstatistiksel kalite kontrolü yöntemleri içinde en fazla kullanılan ve bilinen araç kontrol grafikleri olup, 1924 yılında Shewhart tarafından üretim kalitesindeki değişimleri araştırmak amacıyla hazırlanmıştır. Özellikle imalat sanayinde yoğun bir şekilde kullanılan kontrol grafiklerinden son yıllarda madencilik alanında da faydalanılmaya başlanmıştır [1,2]. Kontrol altında tutulan bir üretim sisteminden toplanan verilerin kalite özellikleri normal bir dağılım gösterir. Normal dağılmış bir eğride verilerin %99,73'ü $\pm 3\sigma$, %95,45'i $\pm 2\sigma$ ve %68,26'sı $\pm 1\sigma$ aralığında yer alır. Normal dağılım ve kalite kontrol grafikleri ilişkisi Şekil 1'de verilmiştir [3].



Şekil 1. İstatistiksel kalite kontrolünde normal dağılım eğrisi [3]

İstatistiksel kalite kontrolü çalışmaları 6 aşamaya ayrılmaktadır. Bunlar; prosesin tanımlanması,

kontrol edilecek olan karakteristiklerin belirlenmesi, ölçü aletlerinin test edilmesi ve kalibrasyonu, proses yeterlilik analizi, kalite performans analizi ve kalite kontrol grafikleridir. İstatistiksel kalite kontrolü uygulamasının aşamaları Şekil 2'deki gibi gösterilebilir [4,5].



Şekil 2. İstatistiksel kalite kontrolü akış diyagramı [5]

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Değişkenler İçin Kontrol Grafikleri

Bir üretim sürecinde üretilen her ürünün kalite özelliklerinin değişkenlik göstermesi doğaldır. Kalite ile ilgili işçi, makine ve malzeme gibi özelliklerden kaynaklanan belirlenebilir değişimler daha önemli olup bu etkenlerden kaynaklanan sorunlar olması durumunda proses kontrol

dışındadır ve bu değişimlere yol açan etkenlerin tespit edilip düzeltilmesi kalite kontrolün ana amaçlarındandır. Üretimden belirli ve eşit zaman aralığında alınan örneklerden elde edilen ölçümlerin zamana bağlı değişimlerinin gösterildiği grafiğe kontrol grafiği adı verilir [6]. Merkezi eğilim ve dağılım için kontrol grafikleri “Değişkenler İçin Kontrol Grafikleri” olarak adlandırılır ve bu kontrol grafiklerinin arasında en yaygın biçimde kullanılanları X kontrol grafiği, S kontrol grafiği ve R kontrol grafiğidir. Bir kontrol grafiği esas olarak üç çizgiden oluşur. Bunlar; alt kontrol limiti (AKL), üst kontrol limiti (ÜKL) ve orta değer (OÇ) çizgisidir. Kalite özelliğinin ortalama değeri aynı zamanda hedeflenen değer olarak da ifade edilen orta çizgi ile temsil edilir. Bu üç temel elemanın hesaplanması için kontrol değişkeni olarak seçilen ve ölçümü yapılarak elde edilen veri tablosundaki veriler alt gruplara bölünürler. Alt grubun numune alma sıklığı ise önceden belirlenir ve saatte bir, vardiyada bir, günde 3 gibi belirli bir değere ayarlanır. Her bir alt grup (m) için ortalama ve değişim aralığı hesaplanır. Bu hesaplamalar için Eşitlik 1’den yararlanılır;

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{X}_i}{m}; \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m} \quad (1)$$

Burada \bar{X} alt grup ortalaması, \bar{X}_i alt grupların ortalamalarının ortalaması, R_i alt grup değişim aralığı değeri ve \bar{R} değişim aralıklarının ortalamasıdır. Kontrol sınırlarının belirlenmesinde ise Eşitlik 2-3’den yararlanır;

$$\text{ÜKL} = \bar{X} + A_2 \bar{R} \quad \text{Orta Çizgi} = \bar{X} \quad \text{AKL} = \bar{X} - A_2 \bar{R} \quad (2)$$

$$\text{ÜKL} = D_4 \bar{R}; \text{Orta Çizgi} = \bar{R}; \text{AKL} = D_3 \bar{R} \quad (3)$$

Burada, A_2 , D_3 ve D_4 katsayılar olup örnek sayısına göre değişik değerler almaktadırlar. Bu hesaplamalar tamamlandıktan sonra grafikler oluşturulup kontrol çizgileri çizilir ve veriler grafikte yerlerine yerleştirilir. Ortaya çıkan grafik yorumlanarak kontrol edilen üretim sistemi hakkında bir değerlendirme yapılır. Yapılacak değişikliklerin sisteme yansımaları da yine

grafikler aracılığıyla kontrol edilerek sistemin tepkisi incelenir [3,7-16]. Yukarıdaki formüllerde; A_2 , D_3 , D_4 ve d_2 doğal toleranslar olarak tanımlanan sabitler olup, alt ve üst kontrol limitlerinin ve proses yeterlilik indislerinin hesaplanmasında Çizelge 1’de verilen bu sabit değerlerden uygun olanlar kullanılmaktadır [2].

Çizelge 1. X-R kontrol kartları için katsayılar [2]

AGS (n)	A_2	D_3	D_4	d_2
2	1,880	0	3,267	1,128
3	1,023	0	2,574	1,693
4	0,729	0	2,282	2,059
5	0,577	0	2,115	2,326

*AGS: Alt Grup Sayısı

2.1. Proses Yeterlilik Analizi

Proses yeterlilik analizinin amacı; proses ortalaması ve standart sapmasını, spesifikasyonlar ile ilişkilendirerek prosesin tüketici isteklerine uygun ürün oluşturup oluşturmadığını değerlendirmektir. İşletmelerin ulaşmak istediği amaç; proses ortalamasının hedef değer üzerinde ve yayılımın spesifikasyonlar içerisinde mümkün olan en küçük değerde oluşmasıdır. Proses yeterliliği, istatistiksel bir ölçüt olup müşteri beklentilerine göre bir sürecin ne kadar değişkenlik gösterdiğini özetler [17].

Bu aşamada proses yeterlilik analizi, procese ait ölçülebilir bir kalite karakteristiğinin belirlenen hedef değer, Alt Spesifikasyon Limiti (ASL) ve Üst Spesifikasyon Limiti (ÜSL)’ne göre nasıl bir merkezlenme ve saçılım gösterdiğini inceler. Dikkate alınan parametreler ise C_p ve C_{pk} indisleridir. C_p indisi, şartname limitleri ile proses kontrol limitleri arasındaki ilişkiyi gösterir. C_{pk} indisi ise proses ortalamasının hedef değere göre konumunu ve spesifikasyon limitleri arasındaki konumunu gösterir. C_p ve C_{pk} indisleri Eşitlik 4’e göre, standart sapmanın bilinmediği durumlarda ise standart sapma Eşitlik 5’e göre hesaplanır.

$$C_p = \frac{\text{ÜSL} - \text{ASL}}{6\sigma}; C_{pk} = \min\left(\frac{\text{ÜSL} - \bar{X}}{3\sigma}; \frac{\bar{X} - \text{ASL}}{3\sigma}\right) \quad (4)$$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}; \sigma = \frac{\bar{S}}{c_4} \quad (5)$$

Proses yeterlilik analizinde geçerli olan varsayımlardan biri prosesin istatistiksel olarak kontrol altında olmasıdır. Bu aşamada yaygın olarak kontrol grafikleri kullanılmaktadır. Kalite karakteristiğinin ölçülebilir değişken olarak tanımlanabildiği durumlarda bu karakteristiğin ortalaması ve değişkenliği sürekli kontrol edilmelidir [14,17-20]. Yeterlilik indisleri hesaplandıktan sonra C_p ve C_{pk} değerlerine göre sürecin yeterliliği hakkında karar vermede Çizelge 2'deki veriler kullanılır [21].

Çizelge 2. C_p ve C_{pk} indisinin karar noktaları [21]

$C_p \geq 1,33$	Proses spesifikasyonları karşılamaktadır.
$1 < C_p < 1,33$	Proses spesifikasyonu karşılamaz. Proses kontrolü sürdürülmelidir.
$C_p \leq 1$	Proses yetersizdir. İyileştirmeler yapılmalıdır.
$C_{pk} \geq 1$	Verilerin tamamı spesifikasyon sınırları içine düşer.
$0 < C_{pk} < 1$	Proses ortalaması spesifikasyon sınırlarının içindedir.
$C_{pk} \leq 0$	Proses ortalaması spesifikasyon sınırlarının dışındadır.

2.2. Çok Boyutlu Ölçekleme Analizi

Çok Boyutlu Ölçekleme Analizi (ÇBÖ) n adet gözlem veya örnek arasındaki p değişkene göre belirlenen uzaklıklara dayalı olarak nesnelere k boyutlu ($k < p$) bir uzayda konumlarını saptamayı amaçlayan ve nesnelere arasındaki ilişkileri belirleyen bir yöntemdir. ÇBÖ analizinin genel amacı mümkün olduğu kadar az boyutla, nesnelere uzaklık değerlerini kullanarak orijinal şekle yakın bir biçimde ortaya koymaktır. Orijinal veriler mümkün olduğunca az boyutlu bir koordinat sistemine yerleştirilmektedir. ÇBÖ analizinde, nesnelere benzerlikleriyle nesnelere arasındaki uzaklıklar karşılaştırılmaktadır. Noktalarla temsil edilen benzer nesnelere birbirine daha yakın, farklı nesnelere ise birbirine daha uzaktır. ÇBÖ analizinin en önemli kullanım nedenlerinden birisi, kullanıcı karmaşık bir dizi içindeki farklılıkları göstermek istediğinde, kolay bir şekilde görselleştirme sağlamasıdır. ÇBÖ

yöntemi uzaklık matrislerinden yararlanarak çözüm yapar. Bu nedenle veri tipine göre uygun uzaklık matrislerini hesaplamak gerekir. En sık kullanılan ölçü Öklid uzaklığıdır ve d boyut için Öklid uzaklığı Eşitlik 6'daki gibi hesaplanır;

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^d (X_{ik} - X_{jk})^2} \quad (6)$$

Burada, $X_{i1}, X_{i2}, X_{i3}, \dots, X_{ik}$: X_i vektörünün ve $X_{j1}, X_{j2}, X_{j3}, \dots, X_{jk}$: X_j vektörünün elemanlarıdır. ÇBÖ analizinde, çok boyutlu (p boyutlu) gerçek şekil ile indirgenmiş (k-boyutlu) uzayda kestirilen şekil arasındaki farklılığın bir ifadesi olan stress değeri (yani orijinal uzaklıklar ile gösterim uzaklıkları arasındaki uygunluğun ölçüsü) hesaplanır. Metrik olmayan ölçekleme için stress değeri Eşitlik 7'de verilmiştir. Stress değerinin sıfıra yakın olması istenir.

$$\text{Stress} = \sqrt{\frac{\sum \sum (d_{ij} - \bar{d}_{ij})^2}{\sum (d_{ij})^2}} \quad (7)$$

Kruskal tarafından 1964 yılında sunulan stress değerine karşılık gelen uygunluk değerleri Çizelge 3'de verilmiştir. ÇBÖ analizinin girdi verilerini ne kadar iyi temsil ettiğine ait korelasyon indeksi değerinin $R^2 \geq 0,60$ olması iyi bir uyum olduğunun diğer bir göstergesidir [22-25].

Çizelge 3. Stress değeri ve uygunluk derecesi [25]

Stress Değeri	Uygunluk Derecesi
$\geq 0,20$	Yetersiz
$0,10 < 0,20$	Orta
$0,05 < 0,10$	İyi
$0,025 < 0,05$	Çok İyi
$0,00 < 0,025$	Mükemmel

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkiye'deki önemli iki bakır konsantre tesisinden A tesisi için 01.03.2016-31.05.2016 ve B tesisi için 01-31.10.2016 tarihleri

arasında düzenli olarak alınan konsantre bakır tenör değerleri kullanılarak kalite kontrol grafikleri çizilmiş, proses yeterlilik analizi yapılmış ve son olarak çok boyutlu ölçekleme analizi uygulanmıştır. Bu amaçla her iki tesisten de yukarıda belirtilen dönem boyunca alınan örnekler analiz edilerek değerlendirmeler yapılmış ve analiz değerlerine göre X-R kontrol kartları çizilmiştir (Şekil 3-6). Test edilen zaman aralıklarında konsantre bakır tenör değerlerindeki değişimler incelenmiş ve periyot boyunca gerçekleşen hataların ve sistemdeki sapmaların sebepleri araştırılmış ve çözümler üretilmeye çalışılmıştır. Eşitlik 1-5'e göre \bar{X} , \bar{R} , C_p , C_{pk} , σ , AKL ve ÜKL hesaplanmıştır. Tüm hesaplamalarda kullanılan sabit değerler için Çizelge 1'deki değerler dikkate alınmıştır ($A_2=1,880$, $D_3=0$, $D_4=3,267$ ve $d_2=1,128$). Ayrıca A işletmesinde $\bar{U}SL_x=25$ ve $ASL_x=13$ ve B işletmesinde $\bar{U}SL_x=19$ ve $ASL_x=15,5$ olduğu için buna göre C_p ve C_{pk} değerleri hesaplanmıştır.

A Konsantre Tesisi için;

$$\bar{X} = \frac{1851,33}{93} = 19,91$$

$$AKL_x = 27,77 - [1,880 \times 1,59] = 16,92$$

$$\bar{U}KL_x = 27,77 + [1,880 \times 1,59] = 22,90$$

$$\bar{R} = \frac{147,85}{93} = 1,59$$

$$AKL_R = 0 \times 1,59 = 0$$

$$\bar{U}KL_R = 3,267 \times 1,59 = 5,19$$

$$\sigma = \frac{1,59}{1,128} = 1,41$$

A işletmesinden alınan konsantre bakır tenör değeri verilerine göre $\bar{U}SL_x=25$ ve $ASL_x=13$ olduğu belirlenmiş ve buna istinaden C_p ve C_{pk} değerleri hesaplanmıştır.

$$C_p = \frac{25-13}{6 \times 1,41} = \frac{12}{8,46} = 1,42$$

$$C_{pk} = \frac{25-19,91}{3 \times 1,41} = \frac{5,09}{4,23} = 1,20$$

B Konsantre Tesisi için;

$$\bar{X} = \frac{549,36}{31} = 17,72$$

$$AKL_x = 17,72 - [1,880 \times 0,44] = 16,90$$

$$\bar{U}KL_x = 17,72 + [1,880 \times 0,44] = 18,54$$

$$\bar{R} = \frac{13,49}{31} = 0,44$$

$$AKL_R = 0 \times 0,44 = 0$$

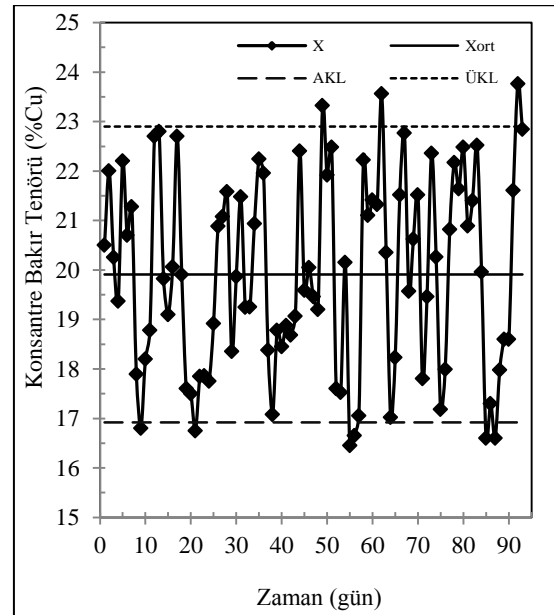
$$\bar{U}KL_R = 3,267 \times 0,44 = 1,44$$

$$\sigma = \frac{0,44}{1,128} = 0,39$$

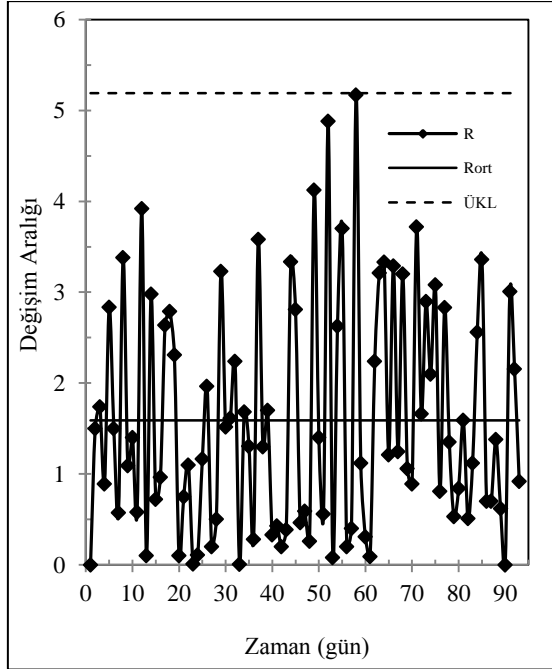
B işletmesinden alınan konsantre bakır tenör değeri verilerine göre $\bar{U}SL_x=19$ ve $ASL_x=15,5$ olduğu tespit edilmiş ve buna istinaden C_p ve C_{pk} değerleri hesaplanmıştır.

$$C_p = \frac{19-15,5}{6 \times 0,39} = \frac{3,5}{2,34} = 1,50$$

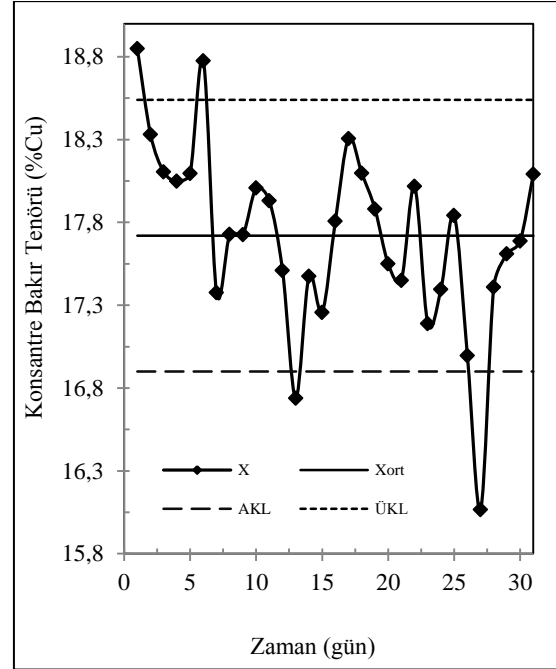
$$C_{pk} = \frac{19-17,72}{3 \times 0,39} = \frac{1,28}{1,17} = 1,10$$



Şekil 3. A Konsantre tesisi bakır tenörü değerleri için X kontrol kartı

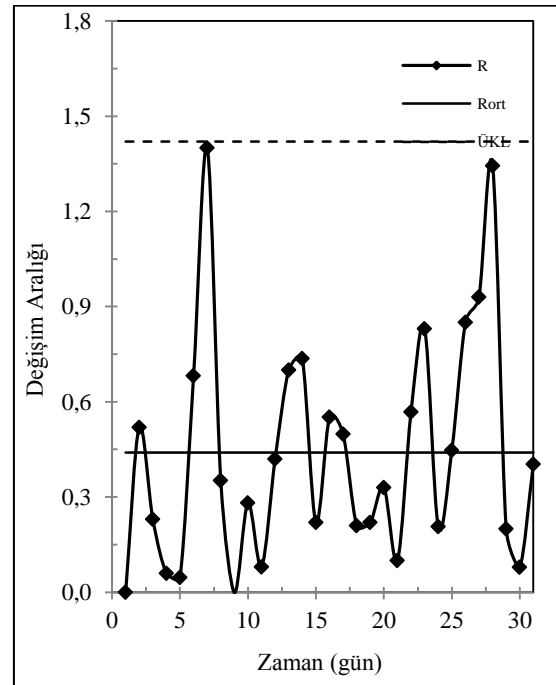


Şekil 4. A Konsantre tesisi bakır tenörü değerleri için R kontrol kartı



Şekil 5. B Konsantre tesisi bakır tenörü değerleri için X kontrol kartı

Şekil 3-4 incelendiğinde, A konsantre tesisinden alınan verilerinde çok fazla alt ve üst sınır değerlerinden sapmalar gözlenmemiştir. Ancak bakır tenör değerleri alt ve üst kontrol limit değerlerine çok yakın seyretmektedir. Bu durum prosesin sürekli takip edilmesi gerekliliğini göstermektedir. Bu düzensizlikler test sürecindeki prosese beslenen hammadde kalitesindeki değişkenliklerden, iklimsel şartlardan, işçilikten kaynaklanan nedenlerden veya laboratuardaki analiz cihazlarının kalibrasyon hatalarından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Bu düzensizliklerin stabil hale getirilebilmesi için yukarıda bahsedilen nedenlerden kaynaklı olabilecek hataların minimize edilmesi ve küçük düzenlemeler yapılması gerekmektedir. Bu amaçla işletme yetkilileri ile yapılan görüşmeler sonucunda işçilik hatalarından ve cihazların kalibrasyonundan kaynaklı hataların minimize edilmesi için işçilerin eğitim aralıkları sıklaştırılması ve cihazların 2-3 ay aralığında kalibre edilmesi tavsiye edilmiştir. Ancak diğer düzensizlikler için proses tolere edilebilir sınırlar içerisinde.

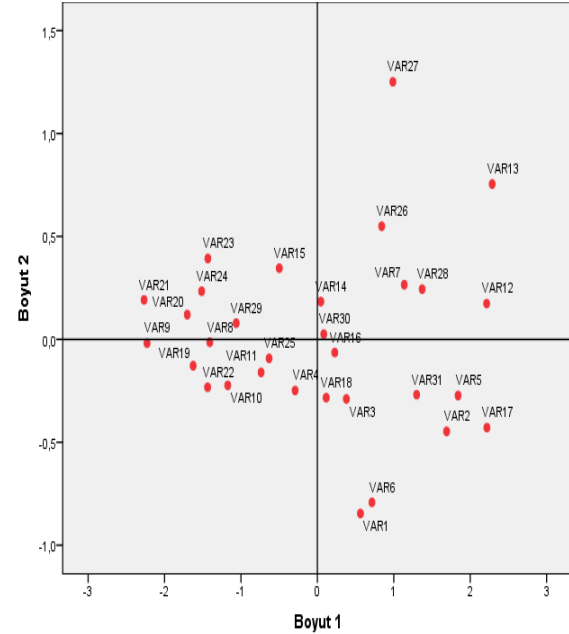


Şekil 6. B Konsantre tesisi bakır tenörü değerleri için R kontrol kartı

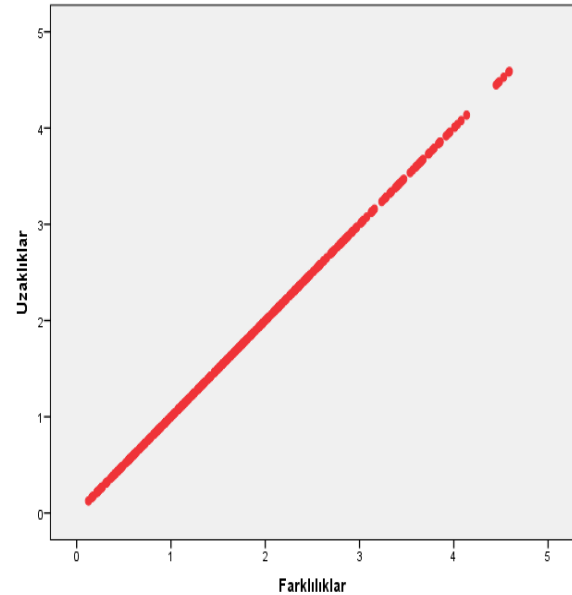
Şekil 5 ve 6 incelendiğinde ise B konsantre tesisinden elde edilen verilerin nispeten daha stabil olduğu gözlenmiştir. Ancak özellikle 1., 6., 13. ve 27. günlerdeki verilerde ani düzensizlikler görülmektedir. Bu günlerdeki ani sapmalar o günlerde numune alımındaki hatalardan, harmanlamadan kaynaklı hatalardan, işçilikten kaynaklı hatalardan veya laboratuardaki analiz cihazlarının kalibrasyon hatalarından kaynaklı olma ihtimali kuvvetle muhtemeldir. Ancak bu sapmalar proses için tolere edilebilir sınırlar içerisinde ve sistemde herhangi bir düzenlemeye gerek duyulmamaktadır. A ve B tesislerinden alınan veriler ile yapılan proses yeterlilik analizleri sonuçlarına göre her iki tesis için de $C_p > 1,33$ ve $C_{pk} > 1$ olduğundan dolayı Çizelge 2'ye göre prosesler yeterli düzeydedir ve prosesler spesifikasyonları karşılamaktadır. Ayrıca her iki proses için de verilerin tamamı spesifikasyon sınırları içine düşmektedir. Son olarak, bu çalışmada bakır konsantre tesislerinin verilerine Çok Boyutlu Ölçkleme (ÇBÖ) analizi de uygulanmıştır. Elde edilen sonuçların, mevcut veri setini yeterli ölçüde yansıtmadığını gösteren stress değerleri incelenerek bu değerlerin $k=2$ boyut için daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle 2 boyutlu ÇBÖ analizi sonuçları verilmiş ve bu sonuçlara ilişkin yorumlar yapılmıştır. Görsel açıdan daha belirgin olmasından dolayı her bir değer birbirlerine göre konumları öklid uzaklık modeline ilişkin iki boyutlu grafikte gösterilmiştir (Şekil 7).

Yapılan hesaplamalar sonucunda stress değeri 0,01258 olarak bulunmuştur. Çizelge 3'e göre tespit edilen stress değerinin konfigürasyon uzaklıkları ile tahmini uzaklıklar arasında mükemmel düzeyde bir uyum bulunduğunu göstermektedir. Diğer bir deyişle elde edilen sonuçların çalışmada kullanılan veri setini yeterli ölçüde yansıttığı görülmektedir. Ayrıca korelasyon indeksi değeri $R^2 = 0,99923$ olarak tespit edilmiştir. Bu değer güvenilirlik açısından öklid uzaklık modelinin verileri çok iyi bir şekilde temsil ettiğini göstermektedir. Gözlemsel uzaklıklar (distances) ile farklılıkların (disparities) dağılımını gösteren Serpilme Diyagramı Şekil 8'de verilmiştir. Buna göre uzaklıklar ile farklılıklar arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Bu durum, tahmini

uzaklıkların gerçek değerlerle uyumlu olduğunu ve doğrusal model ile uygun çözümün elde edilebileceğini göstermektedir.



Şekil 7. Bakır konsantre tenör verilerinin 2 boyutlu konumlandırılması



Şekil 8. Öklid uzaklık modeli doğrusal serpilme diyagramı

4. ÖNERİLER VE TARTIŞMA

Bu çalışmada; Türkiye'deki iki bakır konsantre tesisine SPSS-21 istatistik programı yardımıyla istatistiksel kalite kontrol uygulaması, proses yeterlilik analizi ve çok boyutlu ölçekleme analizi uygulanmıştır. Yapılan istatistiksel çalışmalar ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Konsantre bakır tenörü değerleri için çizilen kontrol kartlarına göre A tesisindeki veriler alt ve üst sınır değerlere çok yakın olmakla birlikte genellikle sınır değerler içerisinde kalmış veya çok az sınır değerleri aşmıştır. Bu yüzden A tesisi düzenli olarak takip edilmeli ve tespit edilen anormal değişimler sürekli not edilmelidir. A tesisi yetkilileri ile yapılan görüşmeler neticesinde bu dalgalanmaların daha çok iklimsel şartlardan, işçilik hatalarından ve cihazların kalibrasyon sorunlarından kaynaklandığı tespit edilmiş ve bu amaçla yapılan görüşmeler sonucunda işçilik hatalarından ve cihazların kalibrasyonundan kaynaklı hataların minimize edilmesi için işçilerin eğitim aralıklarının sıklaştırılması ve cihazların 2-3 ay aralığında kalibre edilmesi tavsiye edilmiştir.
- B tesisi için çizilen X-R kontrol kartları incelendiğinde ise çok fazla alt ve üst sınır değerlerden sapmaların olmadığı ve test dönemi boyunca yalnızca 3 gün (1., 6., 27. günlerde) sınır değerlerin dışına çıktığı görülmüştür. Bu durum genel tablo içerisinde tolere edilebilir.
- Proses yeterlilik analizlerinde ise A tesisi için C_p ve C_{pk} değerleri sırası ile 1,42 ve 1,20 bulunmuştur Aynı şekilde B tesisi içinse bu değerler 1,50 ve 1,10 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara ve Çizelge 2'deki verilere göre $C_p > 1,33$ ve $C_{pk} > 1$ olduğundan dolayı işletme müşterilerin isteklerini karşılayabilecek kalitede üretim yapmaktadır, spesifikasyonları karşılamaktadır ve verilerin tamamına yakını spesifikasyon sınırları içine düşmektedir.
- Son olarak yapılan çok boyutlu ölçekleme analizine göre stress değeri 0,01258 bulunmuş ve bu değer konfigürasyon uzaklıkları ile tahmini uzaklıklar arasında mükemmel bir uyum olduğunu göstermiştir. Ayrıca korelasyon

indeksi değeri (R^2) de 0,99923 olarak tespit edilmiştir. Bu değer güvenilirlik açısından öklid uzaklık modelinin verileri çok iyi temsil ettiğini göstermektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Akın, B., Öztürk, E., 2005. İstatistik Proses Kontrol Tekniklerinin Bilgisayar Ortamında Uygulanması, 7. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu, 2-15, İstanbul.
2. Elevli S., Bedhioğlu S., 2006. İstatistiksel Proses Kontrolü Teknikleri ile Kömür Kalitesindeki Değişkenliğin Belirlenmesi, Madencilik Dergisi, 45, 3, 19-26.
3. Akkoyun, Ö., 2006. Kalite Kontrol Grafikleri Oluşturmak için Bir Bilgisayar Yazılımının Geliştirilmesi ve Mermer Sektöründe Denenmesi, Geosound Yerbilimleri Dergisi, Sayı: 48-49 ISSN 1019-1003.
4. Şahin O., 2013. İstatistiksel Proses Kontrolünde Kontrol Grafiklerinin Kullanımı ve Tekstil Sanayinde Bir Uygulama, Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 10, 53-75.
5. Madanhirea, I., Mbohwb, C., 2016. Application of Statistical Process Control (SPC) in Manufacturing Industry in a Developing Country, Procedia CIRP 40, 580-583.
6. Bircan, H., Özcan, S., 2003. Excel Uygulamalı Kalite Kontrol, Yargı Yayınevi, 375 syf., Ankara.
7. Devor R. E., Chang T., Sutherland J. W., 1992. Statistical Quality Design and Control, Macmillan Publishing Company, NewYork, USA.
8. Juran J. M., Gryna F. M., 1993. Quality Planning and Analysis, 3rd Edition, McGraw-Hill Company, 383-396, USA.
9. Ankara H., Bilir K., 1995. Kriblaj Tesisinde Kalite Denetimi, Madencilikte Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu, 235-240, İzmir.
10. Akın B., 1996. İşletmelerde İstatistik Proses Kontrol, Bilim Teknik Yayınevi, 150 syf., İstanbul.
11. Grant E.L., Leavenworth R.S., 1996. Statistical Quality Control, 7th Edition, McGraw-Hill Company, 35-116, USA.

12. Ertuğrul, İ., 2004. Toplam Kalite Kontrol ve Teknikleri, Hünkar Yayınevi, 209-258, İstanbul.
13. Burr J.T., 2005. Elementary Statistical Quality Control, 2nd Edition, Marcel Dekker CRC Press, 480 p., New York, USA.
14. Montgomery D. C., 2007. Introduction to Statistical Quality Control, 4th Edition., John Wiley and Sons Inc., 818 p., New Jersey, USA.
15. Ryan T.P., 2011. Statistical Methods for Quality Improvement, 3rd Edition, John Wiley and Sons Inc., 657, New Jersey, USA.
16. Arslan V., Bayat, O., 2012. Çukurova Bölgesindeki Kömür Briketleme Fabrikalarına İstatistiksel Kalite Kontrol Uygulaması, Türkiye 18. Kömür Kongresi, 111-122, Zonguldak.
17. Zeyveli M., Selalmaz E., 2008. İstatistiksel Proses Kontrol Tekniklerinin Zincir İmalatı Yapan Bir İşletmede Uygulanması, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 36-45, Elazığ.
18. Kolarik W. J., 1995. Creating Quality, Industrial Engineering Series, McGraw-Hill Company, 925 p., USA.
19. Vapur H., Bayat O., Akyol F., 2005. Eti Gümüş A.Ş. Liç Prosesinde İstatistiksel Proses Kontrolü Uygulaması, 19. Uluslararası Madencilik Kongresi, 347-356, İzmir.
20. Aydın Ö., Pakdil F., Aydın Ö., 2010. Kömür Kalorisi Değişkenliğinin Azaltılmasında Proses Yeterlilik Analizi, Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23, 2, 1-17, Eskişehir.
21. Işığçok E., 2012. Toplam Kalite Yönetimine Bakış Açısıyla İstatistiksel Kalite Kontrol, 2. Baskı, Ezgi Yayınevi, 412, Bursa.
22. Doğan, İ., 2003. Kuzularda Büyümenin Çok Boyutlu Ölçekleme Yöntemi ile Değerlendirilmesi, Uludağ Üniversitesi, Veterinerlik Fakültesi Dergisi, 22, 1, 33-37, Bursa.
23. Tüzüntürk, S., 2009. Çok Boyutlu Ölçekleme Analizi: Suç İstatistikleri Üzerine Bir Uygulama, Uludağ Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 28, 2, 71-91, Bursa.
24. Bülbül, S., Köse, A., 2010. Türkiye’de Bölgelerarası İç Göç Hareketlerinin Çok Boyutlu Ölçekleme Yöntemi ile İncelenmesi, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi, 39, 1, 75-94, İstanbul.
25. Çelik, Ş., 2015. Çok Boyutlu Ölçekleme Analizi ile Hayvancılık Açısından Türkiye’de İllerin Sınıflandırılması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 31, 4, 159-164, Kayseri.

Farklı Tür Agregalarla Üretilen Yüzeysel Kaplamaların Kayma Direnci Performanslarının İncelenmesi

Volkan Emre UZ^{*1}, İslam GÖKALP¹

¹Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 06.01.2017

Kabul tarihi: 14.03.2017

Öz

Bu çalışmada, doğal agregalardan ve cürüflardan oluşan farklı agrega tür ve tane boyutlarında ve gradasyonunda üretilen yüzeysel kaplamaların kayma direnci performansı araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, öncelikle her bir agreganın fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri TS EN standartlarına göre belirlenmiştir. Sathi kaplama örnekleri; 2-19 mm aralığında değişen yedi farklı tane boyutunda hazırlanırken, harç tipi kaplama örnekleri ise üç farklı gradasyonda üretilmiştir. Üretilen yüzeysel kaplama numunelerinin, kayma dirençleri ve makro dokuları sırasıyla ASTM E 303 ve ASTM E 965 standartları göre belirlenmiştir. Yüzeysel kaplamaların kayma direnci karşılaştırıldığında, her boyut ve gradasyonda cürüflar ile üretilmiş olan numunelerin, doğal agrega ile üretilmiş olan numunelerden daha iyi performans gösterdiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kayma direnci, Yüzeysel kaplamalar, Kaplama dokusu, Cüruf

Evaluation of Skid Resistance Performance of Surface Coatings Manufactured with Different Aggregates

Abstract

In this study, skid resistance performance of surface coatings, which were produced with different aggregate types including natural aggregates and slags and sizes and gradations were evaluated. Physical, mechanical and chemical properties of each aggregate were determined according to related EN standards. Chip seal samples were prepared with seven different particle size ranging from 2.00 to 19.00 mm, whereas slurry seal samples were manufactured in three different gradations, which are specified in ASTM D 3910. To identify the skid resistances and macro-textures of each surface coating samples, ASTM E 303 and ASTM E 965 were followed. The results showed that skid resistance performance of the samples manufactured with slags higher than those produced with natural aggregates.

Keywords: Skid resistance, Surface coating, Pavement texture, Slag

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Volkan Emre UZ, vemreuz@adanabtu.edu.tr

1. GİRİŞ

Yük ve yolcu taşımacılığının büyük çoğunluğu karayolları ile yapılmakta ve trafik kazaları bu ulaştırma modunun ana sorununu oluşturmaktadır. Karayolu kazaları binlerce ölüme ve yaralanmaya sebep olmakta ve çok büyük bir mali kayba yol açmaktadır. İnsan hatası en büyük kaza nedeni olarak ortaya çıksa da, yol kusurları da trafik kazalarına sebep olan önemli bir etkidir. Kayma tipi kazalar genellikle kaplama kayma direncinin düşük olmasına bağlı olarak ortaya çıkan ve yaygın görülen bir kaza tipidir. Kayma direnci, araç lastiği ile kaplama yüzeyi arasında oluşan sürtünme kuvvetinin bir göstergesidir ve trafik güvenliği bakımından önemli bir parametredir [1]. Kayma direncindeki düşüşün trafik kazalarında artışa sebep olması kayma direncinin önemini açıkça göstermektedir. Trafik ve iklim etkileri zamanla kaplamada kusma, sökölme, cilalanma vb. gibi bozulmalara neden olmakta ve bu bozucu etkiler altında kaplama kayma direncini zaman içerisinde düşüş göstermektedir [2]. Ayrıca, Kaplama türü, agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri, bitüm miktarı ve özellikleri gibi faktörlerin kaplama uzun dönem kayma direnci performansı üzerinde etkisi olduğu bilinmektedir [3-6].

Kaplama kayma direncinin ölçülmesi karmaşık bir işittir. Bunun sebebi, kaplama özelliklerinden (doku, malzeme, sıcaklık), lastik özelliklerinden (diş tasarımı, kauçuk bileşeni, kayma hızı, sıcaklık) ve çevresel ve iklimsel koşullardan gelen ve ölçümleri etkileyen birçok faktörün olmasıdır [5-7]. Bu nedenle yıllar içerisinde en doğru kayma direnci değerini ölçmek için birçok cihaz ve metot geliştirilmiştir. Aynı kaplama yüzeyi için farklı ölçüm değerleri verebilen bu cihazlar, çalışma prensiplerine bağlı olarak üç ana grupta sınıflandırılabilir. Bunlar; yanal kuvvet katsayısı ölçen cihazlar, sabit veya düşük hızda ölçüm yapan cihazlar ve boyuna sürtünme katsayısı ölçen cihazlardır. Bu metotlarda farklı ölçüm hızları, lastik tipleri, tekerlek yükleri ve su film kalınlıkları kullanılmaktadır [8, 9]. Sabit veya düşük hızda ölçüm yapan cihazlar basit çalışma prensipleri, taşınabilir oluşları ve hem laboratuvar

hem de saha ölçümlerinde kullanılabilir olmaları sebebiyle tercih edilmektedirler. Bu kapsamda, İngiliz Pandül Test Cihazı (BPT) tüm dünyada en iyi bilinen ve araştırma çalışmalarında da yaygın olarak kullanılan kayma direnci ölçüm cihazıdır. BPT, dinamik bir pandül olup, kauçuk kaydırıcı kenarlarının deney yüzeyi üzerindeki hareketi esnasındaki enerji kaybını ölçmek için kullanılan bir cihazdır. [5]. Bu test cihazı ülkemizde de yaygın olarak kullanılmakta ve ölçümlerde genellikle ASTM E303 [10] standardı takip edilmektedir. Ölçümleri düşük hızda gerçekleştirmesinden dolayı malzemenin mikro doku ölçümlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaplama kayma direnci ölçümünde kullanılan en basit ve ucuz aletlerden biridir. Bu çalışmada da bu yöntem, üretilen yüzeysel kaplama örneklerinin kayma direncinin tayin edilmesinde kullanılmıştır.

Kaplama yüzey dokusu üstyapının fonksiyonel kalitesi ve trafik güvenliği üzerinde oldukça etkili bir parametredir. Kaplama yüzey dokusu, periyodik ve tekrarlanan eğrilerin tepe noktaları arasındaki minimum mesafeye (0-50 m) bağlı olarak mikro, makro, mega doku ve düzgünlük olmak üzere dört ana kategoriye ayrılır. [5,11,12]. Bir kaplamanın makro dokusu, akış-zaman ölçer ve kum yama gibi hacimsel tabanlı metotlar; lazer profil metre, lazer tarayıcı ve dairesel doku metre gibi lazer tabanlı metotlar ve X-ray, bilgisayarlı kesityazar, görüntü işleme ve fotogrametri gibi görüntüleme metotları kullanılarak ölçülebilir [13]. Bu çalışma kapsamında, hacimsel tabanlı metotlardan kum yama test metodu kullanılmış ve testlerde ASTM E 965-12 [14] standardı takip edilmiştir. Bu test metodunda, makro doku derinliğini boşlukları dolduran kumların oluşturduğu belli elek aralıklarında kalan malzemelerin hacmi belirlenir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Uluslararası Güvenli Yol Seyahati Derneği (ASIRT) tarafından yayımlanan rapora göre, karayolu kazalarında her yıl yaklaşık 1,3 milyon kişi ölmekte (günlük 3.287 ölüm) ve 20-50 milyon insan yaralanmakta veya sakatlanmaktadır. Ek

olarak, karayolu trafik kazaları ölüm nedenleri içerisinde 9. sıra ile önde gelen ölüm sebeplerindedir ve dünya çapındaki tüm ölümlerin %2,2 sine karşılık gelmektedir [18]. Önceki çalışmalar incelendiğinde trafik kazalarında üç temel faktörün varlığına işaret etmektedir. Bunlar; sırasıyla insan faktörleri, yol ve yol çevresi faktörleri ve araç faktörleridir. Kaza oluşumuna neden olan faktörler içerisindeki payları ise sırasıyla yaklaşık olarak %95, %28 ve %8'dir [19-21].

Çok uzun yıllardan beri kaplama kayma direnci ile kaza oluşumu arasındaki ilişkiye odaklanmış araştırmalar yürütülmektedir [22]. Yapılan çalışmalar kaza oluşumunu azaltmak ve trafik güvenliğinin artırılması için en önemli yol yüzey özelliğinin kaplama kayma direnci olduğunu doğrulamaktadır. Kayma direnci, lastik yükü, basıncı, diş derinliği ve şekli, yol yüzey özellikleri, kaplama üzerinde su veya buzun bulunması ve sürüş hızı gibi faktörlere bağlıdır. Kayma direncini etkileyen faktörleri araç, yol, sürüş ve çevresel faktörler olarak sınıflandırmak mümkündür [5,23].

Kaplama yüzeyinin düz bir yatay düzlemde sapan düzensizlikleri kaplama yüzey dokusu olarak bilinir. Yüzey dokusu, genişlik ve dalga boyu olarak tanımlanan boyutlarına bağlı olarak, araç-kaplama etkileşimini birçok açıdan etkiler. Bunlar; kaymaya karşı direnç, lastik-kaplama gürültüsü, su sıçratma ve püskürtme, yuvarlanma direnci ve lastik aşınmasıdır [24-26] Makro doku, frekansı 0,5 mm ile 50 mm ve şiddeti 0,1 mm ile 20 mm arasında değişen dokudur ve agrega boyutları ve aralarındaki boşluklar tarafından kontrol edilir. Mega doku, 50 mm ile 5000 mm frekansa ve 0,1 mm ile 50 mm arasında değişen şiddete sahip sapmalardır ve yol yüzeyindeki büyük ölçekli bozulmaların ve kusurların oluşturduğu dokudur. Düzgünlük ise 500 mm'den büyük dalga boylarını belirtmek için kullanılır [5,11,26,27]. Kaplama yüzey dokusu, agrega mineralojisi, agrega boyutu ve gradasyonu, yüzey boşlukları, yol kaplaması inşa teknikleri ve yüzey aşınmasına bağlıdır [15,24,28]. Servis ömrü boyunca bir kaplamanın kayma direnci ağırlıklı olarak yüzey dokusu (makro ve mikro doku) tarafından etkilenir. Kaplama mikro ve makro dokusunda

azalmaya yol açan birçok sebep bulunmaktadır. Bunlar: cilalanma, soyulma, sökülme, gömülme, kuma, terleme, tekerlek izi gibi bozulmalar ve yüzey kirliliği ve sıcaklık gibi çevresel faktörlerdir [29,30]. Ayrıca, yağışlı hava ve kaplama kayma direnci kaybı arasında güçlü bir ilişki olduğu yapılan çalışmalar ile ortaya konmuştur [2,31].

Dünya nüfusu her geçen gün büyümektedir. Ulaşım yatırımları ve mevcut altyapının genişleme ve bakım ihtiyacı da doğal olarak artmaktadır. Bu nedenle, kaliteli agrega ihtiyacı sürekli artmakta ve doğal kaynaklara olan talep de büyümeye devam etmekte ancak doğal agrega kaynakları giderek azalmaktadır. Bu durum, araştırmacıları teknik, çevresel ve ekonomik fizibilite yönünden agrega gibi kullanılabilir alternatif malzemelere yönlendirmiştir [32,33]. Tüm dünyada, metalürji sanayi büyük miktarlarda endüstriyel yan ürün üretmektedir [34]. Çelik cürufu, çelik üretim süreci sonucunda ortaya çıkan bir yan üründür ve üretimde kullanılan çeşitli katkı maddelerinin oksidasyonu sonucu ortaya çıkan oksit ve silikatlardan oluşan karmaşık kimyasal bir yapıya sahiptir. Cüruflar doğal agregalarla karşılaştırıldığında sertlik ve aşınma direnci gibi fiziko-mekanik özellikler bakımından daha üstün özelliklere sahip olduğu araştırmalarla ortaya çıkarılmıştır.

Ülkemiz, Türkiye yıllık 50 milyon ton üretim kapasitesi ile dünyadaki en büyük çelik üreticilerinden biridir. Türkiye Çelik Üreticileri Derneği tarafından yayımlanan rapora göre 2015 yılı üretimi yaklaşık 35 milyon tondur. Toplam çelik üretiminin yaklaşık %72'sini (25 milyon ton) elektrik ark fırınları (EAF) ile yapılan üretim teşkil etmektedir. Toplam çelik üretiminin %10-15'inin cüruf olarak oluştuğunu dikkate aldığımızda her yıl yaklaşık 4,5 milyon ton cüruf ortaya çıktığı öngörülebilir [32,33].

Yüzeysel kaplamalar mevcut kaplamaların bakımını yaparak özelliklerini iyileştirmek, koruyucu bir tabaka gibi mevcut üstyapının ömrünü uzatmak veya düşük hacimli yollarda direkt olarak bir kaplama tabakası olarak kullanılmaktadır. Uygulama yöntemlerine bağlı olarak yüzey kaplamalarını sathi kaplamalar ve

harç tipi kaplamalar olarak iki kategoriye ayırmak mümkündür. Sathi kaplamalar yüzeye önce bağlayıcının püskürtülmesi ve ardından mıcırın serilmesi ve sıkıştırılması ile imal edilirken, harç tipi kaplamalar belirli miktarda agreganın ve bitümün karıştırılması ve serilmesi ile üretilmektedir. Genel olarak, sathi veya harç tipi kaplamalar, diğer kaplama koruma ve iyileştirme yöntemleriyle karşılaştırıldığında efektif, ekonomik ve kolay uygulanabilir olmaları nedeniyle genel olarak tercih edilmektedir [15,16]. Yüzeysel kaplamaların performansı yapım şartları, malzeme özellikleri ve miktarları, trafik, hava ve çevre koşulları gibi bir takım faktörlere bağlıdır [35].

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Yüzeysel kaplamalar, agrega ve bitümlü bağlayıcılardan meydana gelmektedir. Çalışmanın bu bölümünde, kullanılan agregalar ve bitümlü bağlayıcılar anlatılacaktır.

3.1.1. Agregalar

Bu çalışma kapsamında doğal kayalar ve endüstriyel yan ürünlerden oluşan toplam on çeşit agrega kullanılmıştır. Agregalar, Türkiye'nin Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinden olmak üzere 9 farklı il ve/veya ilçe sınırları

içerisinde hizmet veren agrega ocakları, demir çelik işletmeleri veya cüruf depolama sahalarından temin edilmiştir. Geniş spektrumda sonuçlar elde etmek amacıyla birer kaynaktan dere malzemesi (DR) ve Ferrokrom (FER) cürufu, üçer kaynaktan kireçtaşı (KT) ve EAF cürufu ve iki kaynaktan bazalt (BZ) agregası kullanılmıştır. Belirtildiği üzere, doğal agregalar özel agrega/taş ocaklarından, cürufur ise işletmelerin cüruf depolama sahalarından veya atık toplama sahalarından tedarik edilmiştir.

Agregalar, betonarme yapılarda, yol üstü yapısında ve diğer toprak işlerinde kullanılan temel malzemelerdendir. Yol üstü yapısında kullanılacak olan agregalarda bir takım özellikler aranmaktadır. Aranılan bu fiziksel ve mekanik özelliklerin tayin edilebilmesi için agregalara bir dizi test uygulanmaktadır. Bunlar; aşınma direnci tayini (%) için Micro-Deval testi (A), parçalanma direnci tayini (%) için Los-Angeles testi (B), ısıl bozulma direnci tayini (%) için MgSO₄ çözümü çevrimi (C), cilalanma direnci tayini (PSV) için hızlandırılmış parlatma testi (D), kuru birim hacim ağırlık (g/cm³) (E) ve su emme yüzdesi tayini (%) (F) testleridir. Ayrıca, çalışmada kullanılan agregaların malzeme özelliklerini tam olarak ortaya koyabilmek için kimyasal bileşenlerini tanımlamak önemlidir. Bu nedenle, X-ray floresan (XRF) kimyasal element analizi yapılmıştır. Tüm testler ilgili TS EN standartları takip edilerek yapılmıştır. İki tekrar olarak yapılan testlerden elde edilen ortalama sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Agregaların fiziksel, mekanik özellikleri ve kimyasal bileşenleri

Numune Kodu	Fiziksel ve Mekanik Özellikler						Kimyasal Birleşenler (mg/kg)					
	A	B	C	D	E	F	CaO	CO ₂	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO
KT-1	10,6	24,4	2,4	41,2	2,7	0,4	47,6	47,0	0,4	1,4	0,6	0,5
KT-2	21,3	16,2	3,0	43,2	2,7	0,2	48,9	47,2	0,0	0,9	0,2	0,3
KT-3	11,7	24,4	8,1	41,6	2,7	0,3	47,5	46,5	0,3	1,2	0,6	0,8
BZ-1	10,4	12,0	6,9	61,0	2,6	2,0	8,5	5,6	7,4	49,9	18,1	3,3
BZ-2	9,4	25,9	9,4	52,4	2,7	1,4	7,5	5,5	6,0	56,8	16,0	1,6
DR	11,3	17,5	6,2	57,9	2,7	0,9	31,0	28,9	4,7	22,7	5,6	4,0
EAF-1	9,5	22,9	2,3	76,1	3,4	1,8	25,6	17,5	28,7	10,6	5,8	1,7
EAF-2	8,8	25,3	8,3	59,0	3,4	2,5	21,8	37,9	15,4	10,3	4,5	2,5
EAF-3	12,3	29,7	3,7	54,1	3,3	2,9	22,6	18,1	26,0	12,1	6,1	4,5
FER	7,6	16,5	6,1	61,7	2,9	1,1	4,5	22,0	1,4	23,8	14,9	28,3

3.1.2. Bitümlü Bağlayıcılar

Bu çalışmada, sathi kaplama numuneleri hazırlamak için Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından yayınlanan ve Türkiye'nin değişik bölgelerinde sathi kaplama yapımında kullanılacak bitüm seçim haritasında öngörülen 70/100 penetrasyonlu bitüm kullanılmıştır. Bitümün fiziksel özelliklerini tanımlamak için penetrasyon, yumuşama noktası, kütle değişimi, parlama noktası ve çözünürlük testleri uygulanmıştır. Testlerde takip edilen standartlar ve elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Bitüm özellikleri

Özellikler	Standart	Sonuç
Penetrasyon ($\times 0,1$ mm)	EN 1426	76
Yumuşama Noktası ($^{\circ}$ C)	EN 1427	48
Kütle Değişimi (%)	EN 12607-1	0,8
Parlama Noktası ($^{\circ}$ C)	EN ISO 2592	230
Çözünürlük (%)	EN 12592	99

Harç tipi kaplamalar, yüzeysel kaplama türlerinden ikincisidir. Bu tür kaplamaların üretilmesinde, genellikle, emülsiyon kullanılır. Bu çalışma kapsamında üretilen her bir harç tipi kaplamada bağlayıcı olarak CRS-2 ile kodlanan, çabuk kesilen katyonik emülsiyon kullanılmıştır. Emülsiyonun reçetesi Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Emülsiyon reçetesi

Malzemeler	Tür	Miktar (kg)
Bitüm	50/70	710
Su	Su	290
Çözelti	Emülgator (Redicote Em 22/44)	1
	Emülgator (RC-406)	2
	HCl	2
	CaCl ₂	1
	Katı	2

3.2. Metot

Çalışma kapsamında, yüzeysel kaplama uygulaması olarak sathi kaplama ve harç tipi kaplama olmak üzere iki tür kaplama üretilmiştir.

Bu bölümde, öncelikle numunelerin üretilmesinde takip edilen tasarım prosedürü, sonrasında kayma direnci ve makro doku ölçümlerinde kullanılan yöntemler detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

3.2.1. Sathi Kaplama Tasarımı

Çalışma kapsamında, her bir agrega türü için dane boyutları 2-19 mm arasında değişen yedi farklı sathi kaplama numunesi üretilmiştir.

Makro doku derinliği genel olarak agrega büyüklüğüne, şekline ve agreganın yüzeye yerleşimine bağlıdır. Kırılma şekli ve kırım işleminde kullanılan kırıcı tipinden dolayı agregalar içerisinde farklı oranlarda bulunabilecek yassı tanelerin sonuçlara etki etmemesi için ASTM D 4791 ve EN-933-3'e göre uzun ve yassı olan parçalar agregalardan ayrıştırılmış ve yüzeysel kaplama numunelerin hazırlanması için sadece kübik agregalar kullanılmıştır. 6,3 mm'ye eşit ya da küçük agregalarda yassı ve uzun parçacıkların ayrılmasına gerek görülmemiştir [36].

Serbest malzeme ve tozun agregadan ayrıştırılması, agrega ve bitümün arasındaki adezyon için çok önemlidir. Bundan dolayı, bütün agregalar yıkanmış ve $100\pm 5^{\circ}$ C'de fanlı etüvde kurutulmuştur. Agregaya serme miktarı, ortalama en küçük boyut (ALD) teorisine dayalıdır. Bu teori, agreganın en düz tarafında konumlandırılmış iken, beklenen sathi kaplama kalınlığını temsil etmektedir [37]. Yeni Zelanda sathi kaplama tasarım kitapçığında belirtilen formüle göre, agrega serme miktarı (ASM) Eşitlik 1'de verilen formüle göre hesaplanmıştır.

$$ASM=950/ALD \quad (1)$$

Örnekleri hazırlamada 180 mm iç, 200 mm dış çapı olan, ve bağlayıcıyı plakanın içinde tutmak için 3 mm derinliği olan galvaniz metal plaka kullanılmıştır. Agregaların her biri farklı birim ağırlığa sahip olduğundan, ASM ml/m³ cinsinden hesaplanmıştır. Uygulanan agrega serme oranları ve hesaplanan ALD değerleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Agregası serim miktarı

Agregası Boyutları (mm)	ALD (mm)	ASM (ml/m ²)
19,0-16,0	17,5	510
16,0-12,5	14,3	420
12,5 – 10,0	11,3	330
10,0 – 8,0	9,0	260
8,0 – 6,3	7,2	210
6,3 – 4,0	5,15	150
4,75 – 2,0	3,4	100

Yüzeysel kaplamadaki bitüm oranı İngiltere tasarım metoduna göre belirlenmiştir. Roberts ve Nicholls (2008) [38] tarafından bağlayıcı oranını hesaplamak için dikkate alınacak faktörler, trafik, mevcut yüzey, iklim koşulları ve agrega veya mıcır türleridir. Bu parametrelerin ağırlık faktörleri Çizelge 5'te verilmiştir. Seçilen parametrelerden ağırlık faktörleri belirlenir. Bağlayıcı uygulama oranı Eşitlik 2 ile hesaplanabilir.

$$R=0,0625+F \times 0,023+(0,0375+F \times 0,0011) \times ALD \quad (2)$$

Buradaki eşitlikte; R, bitümün miktarını (kg/m²) F ise toplam ağırlık faktörünü belirtmektedir.

Çalışmada trafik için orta, mevcut yüzey için az bitümlü, iklim için ılık ve son olarak agrega şekli için kübik seçilmiş ve bütün ağırlık faktörlerinin (f) toplamı sıfır olarak hesaplanmıştır. Her agrega gradasyonu için, plaka boyutuna göre bitüm miktarı belirlenmiş, Çizelge 6'da verilmiştir.

3.2.2. Harç Tipi Kaplama Tasarımı

Harç tipi kaplamalar, asfalt emülsiyonunun, gradasyonlu ince agreganın, mineral fillerin, suyun ve diğer katkı maddelerinin karışımı ile imal edilir. Harç tipi kaplama numunelerinin dizaynında, ASTM D 3910 [17] standardı kullanılmıştır. Bu standardta 3 tip harç tipi kaplama karışımlarda kullanılacak agrega gradasyonuna göre tanımlanmıştır. Çizelge 7'de her üç tip harç tipi kaplama için kullanılan agrega gradasyonları ve oranları verilmiştir.

Çizelge 5. Bitüm miktarının hesabında kullanılan değişkenler ve ağırlık faktörleri

TRAFİK		
Trafik Hacmi	Araçlar (L/D)	f
Çok az	0-50	3
Az	50-250	1
Orta	250-500	0
Orta-Yüksek	500-1000	-1
YÜZEY		
Mevcut Yüzey		f
Bakımı yapılmamış		6
Çok az bitümlü		4
Az bitümlü		0
Otalama bitümlü		-1
Çok bitümlü		-3
İKLİM		
İklimsel koşullar		f
Islak ve Soğuk		2
Islak ve Sıcak		1
Ilık		0
Yarı kurak		-1
Kurak		-2
AGREGA		
Agregası Türü		f
Yuvarlak		2
Kübik		0
Yassı		-2
Kaplamalı		-2

Çizelge 6. Bitüm miktarının hesabında kullanılan değişkenler ve ağırlık faktörleri

Agregası boyutları (mm)	R (g/m ²)
19,0 - 16,0	30,0
16,0 - 12,5	27,5
12,5 - 10,0	25,0
10,0 - 8,0	23,0
8,0 - 6,3	21,0
6,3 - 4,0	20,0
4,75 - 2,0	19,0

Çizelge 7. Harç tipi kaplama agrega gradasyonları

Elek Çapı (mm)	% Geçen		
	Tip-1	Tip-2	Tip-3
9,50	-	100	100
4,75	100	95	80
2,36	95	77,5	57,5
1,18	77,5	57,5	39
0,60	50	40	26,5
0,30	33,5	24	18,5
0,15	22,5	15,5	10,5
0,075	15	10	10

Harç tipi kaplamalar için kullanılması önerilen agrega miktarları Tip-1, Tip-2 ve Tip-3 için sırasıyla 4 ± 1 , 8 ± 1 , $10\pm 1,5$ kg/m^2 'dir ve $0,025$ m^2 plaka için Tip-1, Tip-2 ve Tip-3 gradasyonlarda toplamda 100, 200 ve 250 g doğal agrega kullanılmıştır. EAF ve FER cüruflarının birim ağırlığı doğal agregalardan yüksek olduğu için, cüruf lu harç tipi kaplamalar da ağırlıkça bir düzeltme yapılması gerekmiştir. Harç tipi kaplamaların üretiminde kullanılan cüruf miktarları (LS-1) kireç taşı referans alınarak belirlenmiştir.

Çizelge 8. Harç-tipi kaplamada cüruf miktarları

Numune Kodu	Tip-1 (g)	Tip-2 (g)	Tip-3 (g)
EAF-1	130	260	320
EAF-2	130	260	320
EAF-3	130	250	310
FER	110	220	280

Emülsiyon uygulama oranı, kuru agrega ağırlık yüzdesi ile harç tipi kaplama türüne bağlı olarak ASTM D 3910 standardında tanımlanmaktadır. Buna bağlı olarak, her bir harç tipi kaplama türü için tavsiye edilen miktarlar kuru agrega miktarı yüzdesi oranı olarak belirlenmiştir. Bu oranlar; Tip-1 için % 10-16 Tip-2 için %7,5-13,5 ve Tip-3 için %6,5-12 olarak standartta tanımlanmıştır. Çalışma kapsamında tüm harç tipi kaplama örnekleri için agrega karışımına eklenen emülsiyon miktarı üst limit değerinden uygulanmıştır.

3.2.3. Kaplama Numunelerinin Hazırlanması

Laboratuvar koşullarında sathi kaplama üretiminde şu adımlar takip edilmiştir: Hesaplanan agrega miktarı hacimsel olarak ölçülerek $100\pm 5^\circ\text{C}$ 'de etüvde ısıtılır. Agrega gradasyonuna göre bitüm miktarı tartılır ve $145\pm 5^\circ\text{C}$ 'de ısıtılır. Bitüm $100\pm 5^\circ\text{C}$ 'de ısıtılmış plaka üzerine spatula yardımıyla yayılır ve agrega bitümlü plaka üzerine düzgün olarak serilir ve kauçuk kaplı silindir ile üç pas olacak şekilde iki yönde silindirler ve numuneler 24 saat oda sıcaklığında kür edilir.

Harç tipi kaplama numuneleri üretebilmek için ise şu adımlar takip edilmiştir: Herhangi bir yapışma problemini önlemek için plaka astarlanır. Agrega ve bitüm miktarı tartılır. Emülsiyon 60°C 'de 1 saat su havuzunda şartlandırılır. Agregalar bir sprey yardımıyla ıslatılır ve bitüm ile karıştırılır. Hazırlanan karışım astarlanmış plaka üzerine yayılır ve her iki yönde üç pas olacak şekilde silindirler ve 24 saat oda sıcaklığında küre bırakılır.

3.2.4. Kaplama Kayma Direnci Ölçümü

Bu çalışmada, numunelerin kayma direnci ölçümünde ASTM E 303 standardı kullanılmış ve testler şu işlem adımları takip edilerek yapılmıştır:

1) Test alanının ve/veya numune yüzeyinin hazırlanması: Numune serbest parçalardan arındırılır ve BPT numunenin üzerine yerleştirir ve su terazisi ve tesviye vidası yardımıyla cihaz dengelenir.

2) Sıfırlama ayarı: Bu adım gerçekte bir çeşit kalibrasyon adımıdır. Pandül mekanizması yükseltilir ve kilitlenir. Pandül serbest bırakılır, işaretçinin gösterdiği değer sıfır değil ise, sürtünme halkası rulman mili hafifçe çevrilir ve tekrar kilitlenir.

3) Kaydırıcı yükseklik ayarı: Pabucun numune üzerinde temas etmesi gerek özel uzunluk yükseklik ayar vidası ve özel cetvel yardımıyla ayarlanır. Eğer temas yolu, test numunesinin üzerinde 124 ve 127 mm aralığında değilse cihazın önündeki tesviye vidasını yükseltip düşürerek ayarlamak gerekmektedir.

4) Testin uygulanması: Son adım testin uygulanmasıdır. Teste başlamadan önce, numune

yüzeyi ve kaydırıcı pabuç ıslatılır. Bırakma düğmesine basılır ve pandül kolunun serbestçe kendi yayınca salınmasına izin verir. Dönüş yolunda kol kaydırıcı yüzeyine temas etmeden yakalanır. Test, her defasında numune yüzeyi ıslatarak beş kez tekrarlanır ve sonuçlar kayıt edilir.

3.2.5. Kaplama Makro Doku Ölçümü

Bu çalışmada, kaplama yüzeylerinin makro dokularını belirlemede kum yama testi ASTM E 965 standardı takip edilerek kullanılmıştır.

Bu test metodunda, makro doku derinliğini boşlukları dolduran kumların oluşturduğu malzemelerin hacmi belirler. Testin, laboratuvarda hazırlanan numuneler üzerinde uygulanma sırası şu şekildedir: İlk olarak temiz yüzey üzerine önceden belirlenen miktarda kum dökülür ve kum yayıcı tokmak ile dairesel hareketlerle dağıtılır. Bu dağıtma hareketleri dairenin çapı sabitleninceye ve kum tanecikleri boşlukları tamamen doldurana kadar devam eder ve yüzeyde en yüksek noktalar görünene kadar yayıma devam edilir. Bu süreçten sonra dairenin çapı eşit aralıklı olacak şekilde dört yönden ölçülür. En sonunda dört okumanın ortalaması belirlenir ve ortalama doku derinliği aşağıdaki eşitlik (3) kullanılarak hesaplanır.

$$MTD=4V/\pi D^2 \quad (3)$$

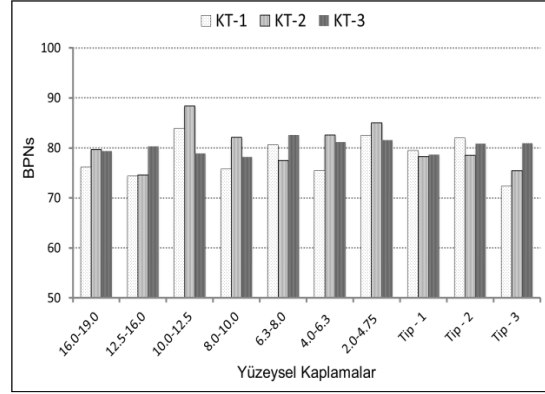
Burada;

MTD, Ortalama doku derinliğini, V, kum hacmi ve D, ortalama kum çapını belirtmektedir.

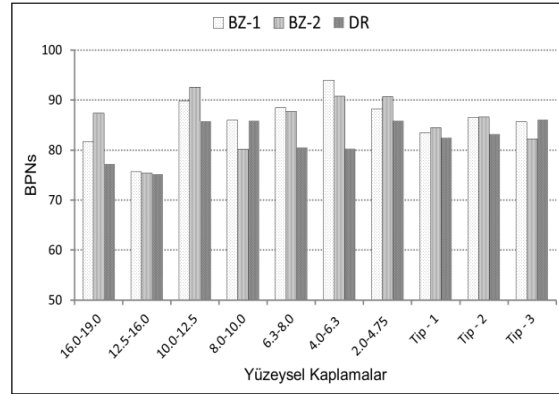
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kaplama Kayma Direnci

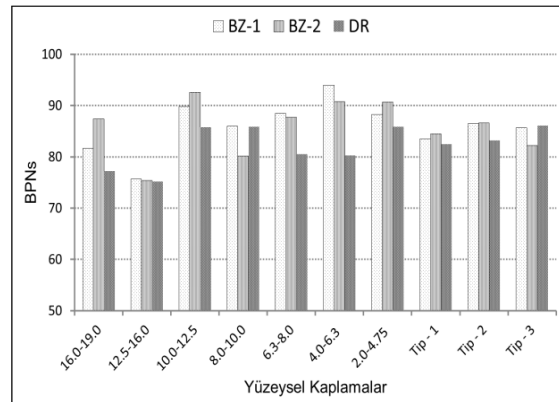
Çalışma kapsamında, 7 farklı agrega çapında sathi kaplama, 3 farklı gradasyonda harç tipi kaplama numuneleri, doğal agrega ve cüruf içeren 10 farklı agrega türünden imal edilmiştir. Her bir agrega türü için üretilen tüm yüzeysel kaplamalara için yapılan kayma direnci ölçüm sonuçları Şekil 1-3'te verilmiştir.



Şekil 1. Kireçtaşı agregaları ile üretilmiş yüzeysel kaplamaların kayma dirençleri



Şekil 2. Bazalt ve dere malzemesi agregaları ile üretilmiş yüzeysel kaplamaların kayma dirençleri



Şekil 3. Cüruf agregaları ile üretilmiş yüzeysel kaplamaların kayma dirençleri

4.2. Kaplama Makro-Dokusu

Çalışma kapsamında, 7 farklı agrega çapında sathi kaplama, 3 farklı gradasyonda harç tipi kaplama numuneleri, doğal agrega ve cüruf içeren 10 farklı agrega türünden imal edilen her bir yüzeysel kaplama için yapılan makro doku ölçüm sonuçları verilmiştir. Makro doku, agrega taneleri arasındaki boşlukların oluşturduğu ve büyük oranda agrega boyutu, tane ve kırılma şekli tarafından kontrol edilen dokudur. Metot kısmında tanımlandığı gibi tane şeklinin makro dokuya olan etkisini ortadan kaldırmak için tüm malzemeler yassılık eleklerinden elenerek yassı tanelerinden arındırılmıştır.

Çizelge 9'da verilen sonuçlardan da görüleceği üzere kullanılan agrega boyutu arttıkça kaplamaların makro doku derinlikleri de beklendiği gibi artmaktadır. Cüruf yüzeyleri daha pürüzlü olduğundan genellikle aynı boyutta cüruf ile üretilen kaplamaların ortalama doku derinliği doğal agregalarla üretilen kaplamalardan daha fazladır. Bunun nedeni kum yayma işleminin cüruf yüzeylerde biraz daha zor olmasıdır. 2,00-4,75 mm agrega kullanılarak üretilen sathi

kaplamaların ortalama doku derinlikleri 2,5 ila 3,5 mm arasında değişirken 16,0-19,0 mm agregalar ile üretilen kaplamaların doku derinlikleri 7,7 ila 10,5 mm arasında değişmektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, yüzey kaplamalarının kayma direnci performansının agrega türüne, tane boyutlarına ve gradasyonlarına göre nasıl değiştiği laboratuvar ortamında değerlendirilmiştir. Buna göre üç değişik kökünde (kireçtaşı, bazalt, dere malzemesi) altı doğal agrega ve iki farklı kaynaktan (elektrik ark fırın cürufu ve ferrokrom cürufu) dört cüruf yüzey kaplama üretimi için kullanılmıştır. Her bir agreganın fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri ilgili testler ve standartlara göre belirlenmiştir. Laboratuvar ortamında standart plakalar üzerinde üretilen her bir yüzeysel kaplama numunesinin doku derinliğini ölçmek için literatürde iyi bilinen hacimsel test yöntemi (kum yama) kullanılmıştır. Her numunenin kayma direncini belirlemek için dünyada en yaygın olarak kullanılan İngiliz Pandül Cihazı kullanılmıştır.

Çizelge 9. Makro doku ölçüm sonuçları

Agrega Boyutları (mm)	Numuneler ve Macro-Doku Derinlik Ölçüm Sonuçları (mm)									
	KT-1	KT-2	KT-3	BZ-1	BZ-2	DR	EAF-1	EAF-2	EAF-3	FER
4,75 – 2,00	2,69	2,61	2,52	2,87	3,34	2,39	2,56	3,30	3,44	3,17
6,30 – 4,00	2,93	2,88	2,60	3,36	3,58	3,11	3,44	4,05	3,32	3,40
8,00 – 6,30	4,14	3,51	4,11	4,33	4,09	3,85	4,72	4,90	4,90	4,54
10,00 – 8,00	4,64	4,36	4,70	5,02	4,51	4,76	5,24	5,82	5,04	5,22
12,50 – 10,00	5,11	5,11	5,22	5,86	6,05	5,66	6,24	6,97	6,85	6,42
16,00 – 12,50	7,92	6,65	7,44	7,40	7,94	6,86	8,84	8,67	8,90	8,09
19,00 – 16,00	8,81	7,70	8,53	9,05	9,53	8,55	10,11	9,40	10,56	10,01
Tip-1	0,65	0,68	0,59	0,83	0,71	0,65	0,59	0,87	0,59	0,67
Tip-2	0,86	0,70	0,64	0,98	0,82	0,77	0,87	1,02	0,74	0,97
Tip-3	1,06	0,92	0,76	1,09	0,97	1,03	1,51	2,18	1,45	1,59

Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar ve öneriler şu şekilde sıralanabilir.

1. Agregalar fiziksel ve mekanik özellikleri açısından karşılaştırıldığında, cürufkların doğal agregalara göre üstün ve zayıf özellikleri vardır. Örneğin, cürufkların su emme miktarları ve kuru birim hacim ağırlıkları doğal agregalara oranla daha yüksektir. Kullanım amacına da bağlı olmakla beraber bu özellikleri bir dezavantaj olarak düşünülebilir. Öte yandan doğal agrega ile karşılaştırıldığında cürufkların aşınma, parçalanma, ayrılma, cilalanma dirençleri doğal agregalara nazaran çok daha üstündür.
2. Cürufklarla üretilmiş yüzey kaplamalarının kayma direncini karşılaştıracak olursak, hemen hemen tüm doğal agregalara göre daha iyi performans göstermiştir. Yüzeysel kaplama uygulamalarında cüruf kullanımı ile yüksek kayma dirençli ve uzun ömürlü kaplama yüzeyleri elde etmenin mümkün olacağı ve bakım onarım maliyetlerinde azalma ve kayma tipine bağlı trafik kazaları sonucu oluşan can ve mal kaybını azaltacağı öngörülebilmektedir.
3. Bu çalışmada, bir yüzeysel kaplamanın kayma direncinin mikro doku değişiminden önemli ölçüde etkilendiği ancak kayma direnci ile makro doku değişimi arasında güçlü bir ilişkinin bulunmadığı söylenebilir.
4. Cürufkların geri dönüştürülerek yüzeysel kaplamalarda kullanılması ile çevresel, agrega temini ve işleme maliyetinin azaltılması ile de ekonomik yararlar sağlanabilir. Ayrıca cürufkların agrega olarak kullanılması ile cüruf bertaraf ve depolama maliyetleri düşürülebilir ve doğal agrega tüketimi azaltılabilir. Türkiye'nin jeolojik yapısına da bağlı olarak özellikle ülkemizin güney bölgesinde istenilen kalitede yol kaplama agrega temini her zaman mümkün olamamakta veya tedariki taşıma maliyeti açısından pahalı olabilmektedir. Özellikle bu bölgelerde çokça ortaya çıkan cüruf yaşanan bölgesel sıkıntıların çözümünde de etkili olabilir.

6. KAYNAKLAR

1. Rezaei, A., Masad, E., Chowdhury, A., 2011. Development of a Model for Asphalt Pavement Skid Resistance Based on Aggregate Characteristics and Gradation, *Journal of Transportation Engineering*, vol. 137, pp. 863-873.
2. Mayora, J. M. P., Piña, R. J., 2009. An Assessment of the Skid Resistance Effect on Traffic Safety Under Wet-Pavement Conditions, *Accident Analysis & Prevention*, vol. 41, pp. 881-886.
3. Do, M.T., Cerezo V., 2015. Road Surface Texture and Skid Resistance, *Surface Topography: Metrology and Properties*, vol. 3, p. 16,
4. Asi, I. M., Qasrawi, H. Y., Shalabi, F. I., 2007. Use of Steel Slag Aggregate in Asphalt Concrete Mixes, *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 34, pp. 902-911,
5. Kogbara, R. B., Masad, E. A. E., Kassem, Scarpas, A. T., Anupam, K., 2016. A State-of-the-art Review of Parameters Influencing Measurement and Modeling of Skid Resistance of Asphalt Pavements, *Construction and Building Materials*, vol. 114, pp. 602-617,
6. Fwa, T., Choo, Y., Liu, Y. 2003. Effect of Aggregate Spacing on Skid Resistance of Asphalt Pavement, *Journal of Transportation Engineering*, vol. 129, pp. 420-426,
7. Artamendi, I., Phillips, P., Allen, B., Woodward, D. 2013. Development of UK Proprietary Asphalt Surfacing Skid Resistance and Texture, in *Airfield and Highway Pavement Sustainable and Efficient Pavements*, pp. 865-874.
8. Sandberg, U., 1987. Road Traffic Noise - The Influence of the Road Surface and its Characterization, *Applied Acoustics*, vol. 21, pp. 97-118,
9. Andriejauskasa, T., Vorobjovasa, V., Mielonasb, V., 2014. Evaluation of Skid Resistance Characteristics and Measurement Methods, *Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering*. ICEE, Vol. 9, p. 1.

10. ASTM, ASTM E 303 Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties using the British Pendulum Tester, ed, 2012.
11. Martino, M. M., Weissmann, J., 2008. Evaluation of Seal Coat Performance Using Macro-texture Measurements, Texas Department of Transportation, Technical Report (9/05 — 8/07) FHWA/TX-08/0-5310-3
12. Saykin, V. V., Zhang, Y., Cao, Y., Wang, M. L., McDaniel, J. G., 2012. Pavement Macrotecture Monitoring Through Sound Generated by a Tire-Pavement Interaction, *Journal of Engineering Mechanics*, vol. 139, pp. 264-271.
13. Sengoz, B., Topal, A., Tanyel, S., 2012. Comparison of Pavement Surface Texture Determination by Sand Patch Test and 3D Laser Scanning, *Periodica Polytechnica. Civil Engineering*, vol. 56, p. 73.
14. ASTM, ASTM E 965-12, Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotecture Depth using a Volumetric Technique, ed, 2012.
15. Adams, J. M., Richard Kim, Y., 2014. Mean Profile Depth Analysis of Field and Laboratory Traffic-Loaded Chip Seal Surface Treatments, *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 15, pp. 645-656.
16. Praticò, F. G., Vaiana, R., Iuele, T., 2015. Macrotecture Modeling and Experimental Validation for Pavement Surface Treatments, *Construction and Building Materials*, vol. 95, pp. 658-666.
17. ASTM, ASTM D3910 – 11 Standard Practices for Design, Testing, and Construction of Slurry Seal, ed, 2012, p. 8.
18. ASIRT. (2016, 13.04.2016). Annual Global Road Crash Statistics.
19. Carrillo, M. C., Flores Anaya, M. R., Lopez, V., 2000. Risk Factors in Highway Traffic Accidents: A Case Control Study, *Accident Analysis & Prevention*, vol. 32, pp. 703-709.
20. Andreescu, M.-P., Frost, D. B. 1998. Weather and Traffic Accidents in Montreal, Canada, *Climate Research*, vol. 9, pp. 225-230.
21. Hayakawa, H., Fischbeck P. S., Fischhoff, B. 2000. Traffic Accident Statistics and Risk Perceptions in Japan and the United States, *Accident Analysis & Prevention*, vol. 32, pp. 827-835.
22. Lindenmann, H., 2006. New Findings Regarding the Significance of Pavement Skid Resistance for Road Safety on Swiss Freeways, *Journal of safety research*, vol. 37, pp. 395-400.
23. Andriejauskasa, T., Vorobjovasa, V., Mielonab, V., 2014. Evaluation of Skid Resistance Characteristics and Measurement Methods, in 9th International Conference on Environmental Engineering, Vilnius, Lithuania, p. 8.
24. Ahammed, M., Tighe, S., 2009. Early-Life, Long-Term, and Seasonal Variations in Skid Resistance in Flexible and Rigid Pavements, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, pp. 112-120.
25. Huang, C., 2010. Texture Characteristics of Unpolished and Polished Aggregate Surfaces, *Tribology International*, vol. 43, pp. 188-196.
26. Mahboob Kanafi, M., Kuosmanen, A., Pellinen, T. K., Tuononen, A. J., 2015. Macro- and Micro-Texture Evolution of Road Pavements and Correlation with Friction, *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 16, pp. 168-179.
27. Bitelli, G., Simone, A., Girardi, F., Lantieri, C. 2012. Laser Scanning on Road Pavements: A New Approach for Characterizing Surface Texture, *Sensors*, vol. 12, p. 9110.
28. Loprencipe G., Cantisani, G., 2013. Unified Analysis of Road Pavement Profiles for Evaluation of Surface Characteristics, *Modern Applied Science*, vol. 7, p. 1.
29. Kumar, P., 2014. Laboratory Base Pavement Surface Analysis Based on Materials, *International Journal of Emerging Trends in Science and Technology*, 1(07).
30. Bazlamit, S. M., Reza, F., 2005. Changes in Asphalt Pavement Friction Components and Adjustment of Skid Number for Temperature, *Journal of Transportation Engineering*, vol. 131, pp. 470-476.
31. Fwa, T., Ong, G.P., 2008. Wet-pavement Hydroplaning Risk and Skid Resistance: Analysis, *Journal of Transportation Engineering*, vol. 134, pp. 182-190.
32. Gökalp, İ., Uz, V.E., Saltan, M., 2016. Testing the Abrasion Resistance of Aggregates Including By-products by using Micro Deval Apparatus with Different Standard Test

- Methods, Construction and Building Materials, vol. 123, pp. 1-7.
33. Uz, V.E., Gökalp, İ., Epsileli, S.E., Tepe, M., 2014. Karayolları Teknik Şartnamesinde (KTŞ) Yer Alan Pürüzlendirme Uygulaması ve Bu Uygulamada Endüstriyel Atıkların Kullanılabilirliği, Karayolları 3 Ulusal Kongresi, Ankara, Turkey.
 34. Reuter, M., Xiao, Y., Boin, U., 2004. Recycling and Environmental Issues of Metallurgical Slags and Salt Fluxes, VII International Conference on Molten Slags Fluxes and Salts, The South African Institute of Mining and Metallurgy, pp. 349-356.
 35. Krugler, P.E., Freeman, T.J., Wirth, J.E., Wikander, J.P., Estakhri, C.K., Wimsatt, A.J. 2012. Performance Comparison of Various Seal Coat Grades Used in Texas, Citeseer.
 36. Karasahin, M., Aktas, B., Gurer, C., 2011. Determining Precoated Aggregate Performance on Chip Seals Using Vialit Test, Transportation Research Board 90th Annual Meeting.
 37. Gransberg D.D., James, D.M., 2005. Chip Seal Best Practices Vol. 342: Transportation Research Board.
 38. Roberts C., Nicholls, J.C., 2008. Desing Guided for Road Surface Dressing: IHS.

Püskürtme İnce Kaplamaların Mekanik Özelliklerinin Kür Süresine Göre Değişiminin İncelenmesi

Doğukan GÜNER^{*1}, Hasan ÖZTÜRK¹

¹Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

Geliş tarihi: 11.01.2017

Kabul tarihi: 14. 03.2017

Öz

Bu çalışma püskürtme ince kaplama (PİK) olarak tanımlanan polimer bazlı bir yüzey tahkimatı malzemesinin mekanik özelliklerinin direk çekme ve deformasyon deneyleri ile saptanmasını içermektedir. Dünya genelinde yaygın olarak kullanılmaya başlanan PİK'lerin çekme dayanımı, çekme modülü, yenilgide uzama yüzdesi, elastik modülü ve Poisson oranı gibi mekanik özellikleri bilinmesine rağmen bu değerlerin kür süresine bağlı olarak nasıl bir değişim gösterdikleri ilk kez bu çalışmada sunulmuştur. Ayrıca bu tip deneyler madencilik alanında sıklıkla yapılmadığı için deney düzeneğinin ve test numunelerinin hazırlanması, deneylerde dikkat edilmesi gereken koşullardan da detaylı bir biçimde bahsedilmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen eşitlikler yardımıyla araştırmacı/ kullanıcı, polimer bazlı PİK malzemesinin istenen mekanik özelliğe ulaşabileceği süreyi kestirebilecek ve PİK'lerin uzun dönem mekanik davranışlarına ilişkin niceliksel fikir sahibi olabileceklerdir.

Anahtar Kelimeler: Püskürtme ince kaplama (pik), Kür süresi, yüzey tahkimat, Direk çekme, deformasyon, Çekme dayanımı, Elastik modül, Poisson oranı

Investigation of the Effect of Curing Time on Mechanical Properties of Thin Spray-on Liners

Abstract

This study presents the investigation of mechanical properties of a polymer based surface support material known as thin spray-on liner (TSL) s, by performing direct tensile and deformability tests. Although mechanical properties such as tensile strength, tensile modulus (Young's modulus), elongation at break percentage, modulus of elasticity and Poisson's ratio of TSL's which are getting worldwide popularity are determined in the previous studies, the effect of curing time on these properties are presented in this study for the first time in the literature. Since these experiments are not widely conducted in the mining field, preparation of the test set-up and samples, and the test conditions that should be paid attention are mentioned in detail. With the help of the acquired equations, researchers/ companies will be able to estimate the time required for a polymer based TSL to reach the required mechanical properties and they will have a quantitative idea on TSL's behavior on the long run.

Keywords: Thin spray-on liner (tsl), Curing time, Surface support, Direct tensile, Deformability, Tensile strength, Modulus of elasticity, Poisson's ratio

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Doğukan GÜNER, dogukan@metu.edu.tr

1. GİRİŞ

1990'lı yılların başında Kanada ve Güney Afrika'da yapılan eşzamanlı çalışmaların sonucunda püskürtme betona alternatif olarak yeni bir malzeme ortaya çıkmıştır. 90'lı yıllarda birkaç madende yapılan denemelerin son derece olumlu sonuçlar vermesi, maden kuruluşlarınca büyük heyecanla karşılanmıştır. 2001 yılında Avustralya'nın Perth eyaletinde yapılan "1st International Seminar on Mine Surface Support Liners: Membrane, Shotcrete and Mesh" adlı çalışmada "plastik, polimer ya da çimento bazlı yüzey tahkimatında kullanılan ince tabaka" tanımına uyan bu tip malzemelerin hepsinin "Püskürtme ince kaplama (PİK) (Thin Spray-on Liner (TSL))" şeklinde adlandırılmasına karar verilmiştir.

PİK'in tüm madencilik endüstrisi tarafından kabul gören tanımı ise; "genelde çimento, lateks, polimer bazlı reaktif olan veya olmayan, çok bileşenli kaya yüzeyine, genelde 6 mm ya da daha ince kalınlıkta, püskürtme yöntemiyle uygulanan malzeme"dir. Ayrıca yukarıda da bahsedildiği gibi PİK'ler püskürtme betonların yeni bir formu olarak bilinmektedir. Yıllardır dünyada kabul gören bir malzemeye (Püskürtme betona) alternatif olabilmek için pek çok özelliğin bu malzeme ile yarışır hatta daha üst düzeyde olması gerekmektedir.

1.1. Problemin Tanımı

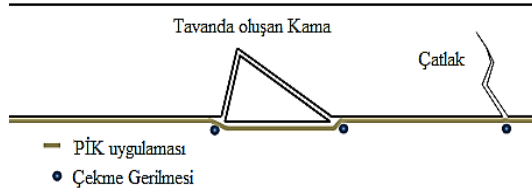
PİK'lerin pek çok avantajı olduğu söylenmesine rağmen hala bu yeni yüzey tahkimatı malzemesinin mekanik davranışı, tahkimat mekanizmasının henüz anlaşılabilmesi sebebiyle gizemini korumaktadır [1]. Araştırmacılar, PİK'lerin bu tahkimat mekanizmasını anlayabilmek için farklı laboratuvar deneyleri ve analitik-sayısal modelleme çalışmaları yapmaktadırlar [2]. PİK'lerin kaya saptamalarının yapışma mukavemetinin artırılması amaçlı kullanımı da mevcuttur[3]. PİK'lerin davranışının belirlenmesi amacıyla pek çok farklı deney düzenekleri oluşturulmuştur. Bu deneylerin başlıcaları aşağıda sıralanmıştır;

- Direk çekme dayanımı ve uzama [4-8],
- Tek eksenli basma dayanımı [8],
- Delme [9-11],
- Yapışma mukavemeti [7, 9,11,12],
- Çift yönlü makaslama [13],
- Plaka çekme [4,14,15],
- Düzlemsel blok tahkimat [16],
- Açıklık makaslama yük dayanımı [16],
- Kaplanmış karot basma testi [10,17,18,19].

PİK'ler nispeten yeni ürünler olduğundan, yukarıda belirtilen deneylere ait herhangi bir standart test yöntemi bulunmamaktadır. Ancak, bu testlerden bazıları (direk çekme ve yapışma mukavemeti) araştırmacılar tarafından kabul görmüştür. Çünkü yapılan arazi çalışmalarında çekme yenilmesi mekanizmasının PİK'lerde yaygın olarak görülen yenilme tipi olduğu anlaşılmıştır [20].

Literatürde PİK'ler elastik malzemeler olarak kabul görmektedir ve araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda PİK'lerin elastik malzeme özelliklerini tahmini değerler olarak kullanmaktadırlar [21-25]. Ancak PİK'lerin mekanik malzeme özellikleri kür süresine bağlı olarak değişim göstermektedir [4]. Bu mekanik özelliklerin değişimini zamana bağlı değişkenler olarak tanımlamak PİK'lerin mekanik özelliklerinin tam olarak anlaşılabilmesi için son derece önem arz etmektedir.

Çekme testi mevcut PİK deneyleri arasında en yaygın yapılan deneydir. Yeraltı açıklıklarında yüksek basınç altında, patlatma operasyonlarında, sismik faaliyetlerde ve geriliminde ani azalma olan bölgelerde çatlak oluşumu gözlenmektedir. Oluşan çatlakların ani genişlemesi dolayısıyla uygulanan PİK'lerde de gerilmeler meydana gelmektedir. Şekil 1'de görüldüğü gibi çatlak, kendisine komşu ya da oluşması muhtemel süreksizlik düzlemi ile temas kurduğunda kama blokları oluşmaktadır. Süreksizliğin doğrultusuna ve makaslama dayanımı parametrelerine bağlı olarak kaya blokları denge koşulunu sağlayamayabilir ve özellikle tavan ve yan duvarlarda bilhassa yer çekiminin de etkisiyle düşebilir [7,26].



Şekil 1. Yeraltı açıklıklarında PİK'lerin gerilme mekanizması [7]

Çoğu araştırmacı çekme testi düzeneğini birincil PİK sınıflandırma yöntemi olarak kabul etmektedir [20]. Bu deneyler sonucunda çekme dayanımı parametresine ek olarak gerilme yenilmesine bağlı olan çekme modülü, uzama kapasitesi gibi farklı mekanik özellikler de bu test sonucunda bulunabilmektedir. Ancak literatürde farklı kür süreleri için yalnızca dayanım parametresi değerleri mevcuttur.

Literatürde basma deneyleri alanında pek az çalışma bulunmaktadır. Bunun temel sebebi PİK'lerin arazi uygulamalarında basma yüküne maruz kaldığının düşünülmemesidir. Ancak son dönemde yapılan çalışmalarda PİK'lerin tahkimat mekanizmasını anlamak için sayısal modellemeler yapılmaktadır, bu sayısal modellemelerde basma dayanımı elastite modülü, Poisson oranı gibi elastik girdi parametrelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tip elastik parametrelerin bulunabilmesi için yapılması gereken test ise basma dayanım testidir.

1.2. Çalışmanın Hedefi

Bu çalışmada, yapı kimyasalları alanında üretici bir firmadan temin edilen PİK malzemesinin mekanik özellikleri, farklı kür süreleri için (1, 7, 14, 21, 28 gün direk çekme testi, 2, 7,14, 21, 28 gün deformasyon testi) saptanmıştır.

Bu özellikler;

- Çekme dayanımı
- Çekme modülü
- Tek eksenli basma dayanımı
- Elastisite modülü
- Poisson oranı'dır.

Bulunan bu değerlerin kür süresine bağlı olarak değişimlerinin belirlenmesi ile araştırmacılar, ileride yapacakları sayısal modelleme çalışmalarında bulunan değerleri direk girdi parametresi olarak kullanarak, PİK'lerin sayısal veya analitik modellemelerini gerçeğe daha uygun yapabileceklerdir. Ayrıca, malzemenin hedeflenen mekanik özelliğe ulaşabileceği zamanın da sunulan eşitlikler yardımıyla tahmin edilmesi mümkün olacaktır.

2. LABORATUVAR DENEYLERİ

2.1. Ürün Hakkında Bilgi

Deneylerde kullanılan PİK tek bileşenli polimer bazlı, toz halinde satılan, su ile karıştırılıp sprey ekipmanı yardımıyla kaya ya da kömür yüzeyine püskürtülüp yüzey tahkimatı ve bozunma/aşınma gibi pek çok soruna karşı koruma amaçlı kullanılan malzemedir. Şirketin verdiği bilgilere göre ürün; yüksek elastikiyeti, yüksek çekme dayanımı ve içerdığı polimer bileşen sayesinde gelişmiş yüzey stabilitesi sağlamaktadır. Ayrıca, membran ve püskürtme betona muadil bir ürün olduğu iddia edilmektedir. Yapılan deneyler sırasında ürünün fark edilen en önemli özelliği ise çok çabuk kür olmasıdır. Karışım hazırlandıktan birkaç dakika sonra ürün kür olmaktadır. Bu özelliğinin yanı sıra ürünün hemen hemen tüm malzemelere yüksek yapışma kabiliyeti de göz ardı edilmemesi gereken özelliklerinden biridir. Bu çalışmada genel olarak PİK'lerin çekme ve basma dayanımı özellikleri üzerinde durulduğundan yapışma dayanımı kapsama alınmamıştır.

Üretici firmanın tavsiyesine göre; 1 metrekare'lik alanı 1 milimetre kalınlığında kaplamak için gerekli malzeme miktarı yaklaşık olarak 1 kg'dır. Ayrıca ürün tüketimi, uygulanacak yüzeyin pürüzlülük miktarına bağlı olarak artış gösterebilmektedir. Ürünün tavsiye edilen karışım oranı ise ağırlıkça bir birim toz için yarım birim su eklenmesidir. Karışım ve uygulama işlemi tek bir işçi tarafından yapılabilir (Şekil 2). Ürüne ilişkin detaylı teknik bilgi Çizelge 1'de sunulmuştur. Ürünün polimer tozunun içeriği aşağıdaki gibidir;

- % 10,0 -% 15,0 kalsiyum oksit
- % 10,0 -% 15,0 Dolomit
- % 10,0 -% 15,0 Çimento, alümina, kimyasallar
- % 0,3 -% 3,0 Kaolen
- % 0,3 -% 3,0 Talk
- % 1,0 -% 3,0 Bor kalsiyum oksidi
- % 1,0 -% 3,0 Kalsiyum sülfat
- % 0,3 -% 1,0 kristal silika.



Şekil 2. PİK ürününün uygulaması ve uygulanmış hali [27]

Çizelge 1. PİK ürününe ait teknik bilgiler [27]

Form	Toz
Renk	Beyaz
Bulk Yoğunluğu (g/L)	690 ±90
Tüketim	0,9 kg/m ² /mm
Uygulama Kalınlığı	2 -10 mm
Uygulama Sıcaklığı	5-45°C
Tutuşabilirlik	Kendinden Sönümlü
pH Değeri	Yaklaşık 11

2.2. Laboratuvar Test Parametreleri

Laboratuvar testleri ve test numunelerinin hazırlanması yoğun emek, dikkat ve çok sayıda parametreyi dikkate almayı gerektiren uzun bir süreçtir. Polimer ve püskürtme beton için dikkate alınması gereken farklı durumlar ilerde bu alanda çalışma yapmayı düşünecek araştırmacıları aydınlatma açısından bu bölümde sıralanmıştır.

Kimyasal İçerik: PİKler toz- su veya toz- sıvı karışımlarından meydana gelmektedir. Bu toz karışımların kimyasal bileşenleri PİK'lerin mekanik özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Çimento bazlı PİK'lerin daha yüksek gerilme değerlerine kadar çıkabildiği öte yandan ise daha az esneme kabiliyeti olacağı beklenmektedir. Ayrıca içerdiği çimento sebebiyle yük-deformasyon eğrisinin gevrek davranış izleyeceği düşünülmektedir.

Yapılan laboratuvar testlerinin ışığında her kür süresi için yapılan testlerin başında bir deneme amaçlı test yapılması önerilmektedir.

Raf Ömrü: PİK'lerin püskürtme betona göre kendine has malzeme özellikleri bulunmaktadır. Püskürtme beton tavsiye edilen nem ve sıcaklık değerlerinde saklandığı tarihte uzun raf ömrüne sahiptir. Ancak PİK ürünlerinin raf ömrü birkaç ay, ya da en fazla bir senedir. Ayrıca mevcut PİK ürünleri 20-25 kg'lık paketler halinde piyasada bulunmaktadır ve üreticiler bu paketlerin açıldıktan sonra en fazla 2 hafta gibi bir süre içerisinde kullanılmasını önermektedirler.

Karışım oranı: Genel olarak her PİK ürününün kendine ait sabit bir karışım oranı bulunmaktadır. Uygulama yapan kişi bu oranlara sadık kalmalıdır. Arazi uygulamalarında PİK'ler özel bir donanım yardımıyla karıştırılır. Ancak laboratuvar uygulamaları arazi uygulamalarına göre çok küçük ölçekli olduğundan bu tip donanımlar kullanılamamıştır. Bu nedenle laboratuvar çalışmalarında farklı karışım teknikleri (aynı karışım oranına bağlı kalmak şartı ile) uygulanmıştır.

Laboratuvar şartları: Bu çalışmanın amaçlarından birisi de yapılan deneylerin arazi şartlarını birebir yansıtmasıdır. Ancak yapılan laboratuvar çalışmalarının da gösterdiği üzere PİK'ler sıcaklık ve nem gibi laboratuvar şartlarına son derece duyarlı ürünlerdir. Bu çalışmada, aynı ürünlerin farklı kür sürelerinde pek çok deney yapıldığından, sıcaklık ve nem gibi parametreler kür süresinin öneminin keşfedilebilmesi açısından mümkün olduğunca sabit tutulmuştur. PİK'lerin ideal deney ortamı Yılmaz'a [7] göre 22-28°C sıcaklık ve %50-60 nem aralığında olmalıdır. Ayrıca hazırlanan numuneler direk hava akımı ve güneş ışığına maruz bırakılmamalıdır. Bu çalışmada kür süresinin etkisinin saptanması üzerinde durulduğundan yalnızca kür süresi parametresi değiştirilmiştir. PİK'lerin laboratuvar testlerinde sıcaklık ve nem faktörünün etkisine ilişkin gelecekte detaylı çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Büzüşme: Deney numunelerinin hazırlanması sırasında PİK tozu su ile karıştırılarak oluşturulduğundan boyutlarında azalma gözlemlenmiştir. Buharlaşma sebebiyle içeriğindeki suyu kaybeden numunelerde boyutlarında azalmanın yanı sıra farklı yönlerde bükülmeleri de gözlemlenmiştir. Büzüşme bu tip su bazlı numunelerde kaçınılmaz bir problemdir. Bükülen numuneler simetriklik özelliğini yitirdiğinden basma ve çekme deneylerinde elde edilen sonuçlar gerçeği yansıtmayacaktır. Bu nedenle bu problemin oluşabileceği göz önüne alınıp deney yapılması düşünülen numuneden fazla sayıda numune hazırlanması gerekmektedir. Şekil 3'te standart (üst) ve büzüşmüş (alt) test numuneleri sunulmuştur.



Şekil 3. Standart ve büzüşmüş test numuneleri

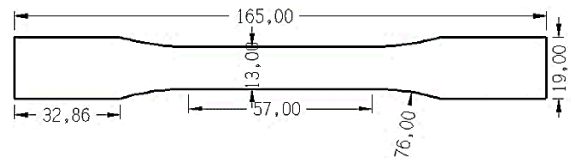
Numune hazırlama sürecinde her test numunesi standart kalıba dökülmesine karşın deney

öncesinde her numunenin boyutları tek tek ölçülmüş ve hesaplamalarda en son ölçülen boyutlar kullanılmıştır, %10'a kadar olan küçük boyut azalmaları belirtilen standartlar çerçevesinde kabul edilmiştir.

Numune boyutları: İdeal numune boyutlarının seçimine pek çok etmen etki etmektedir. Test numunesi arazi durumunu temsil edebilmeli, kolay hazırlanabilmeli, hazırlanması ekonomik olmalı ve test yapılan cihaza uyumlu olmalıdır.

Bazı test standardizasyonu yapan kuruluşlar ASTM, ISO vb. pek çok farklı malzeme için farklı test standartları ve numune boyutları belirlemişlerdir. Önceki araştırmalarda araştırmacılar ASTM-D638 test standardını [28] çekme deneylerinde kullanmışlardır. Dolayısıyla daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırma yapabilmek adına bu çalışmada da aynı test standardına ait numune boyutları seçilmiştir. Çekme deneylerinde kullanılan numune boyutları Şekil 4'te sunulmuştur.

Basma deneylerinde ise ASTM D695 standardındaki [29] numune boyutları esas alınarak 2,54 cm çapında, boy çap oranı 2 den büyük silindirik numuneler oluşturulmuştur.



Şekil 4. Çekme deneyi numune boyutları (mm)

Ayrıca kalınlığın sabit olması da önemli bir parametredir. Numuneler sabit kalınlıkta hazırlanmalıdır.

Kür süresi: Kür süresi veya priz süresi malzemenin hazırlanıp döküldükten sonra katılaşarak plastik özelliğini kaybedinceye kadar geçen süre olarak tanımlanmaktadır. Aynı zamanda katılaşma süresi olarak da bilinir. Bu terim genelde çimento ve termoplastik malzemeler için kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise kür süresi "numunenin teste hazır oluncaya kadarki bekleme süresi" olarak tanımlanmaktadır.

Numune sayısı: Test sonuçlarının istatistiksel olarak da doğrulanabilmesi için deneyler aynı koşullarda (kür süresi) birden çok kez tekrar edilmelidir. Literatürde numune sayısının 3 ile 5 arasında olması gerektiği belirtilmiştir. Bu çalışmada ise belirlenen kür süreleri için 5 geçerli deney yapılmıştır.

Aykırı değer tespiti: Deneyler sonunda elde edilen sonuçlar beklenen değer aralığının dışında (çok üstünde veya altında) çıkması durumunda bu değerler belirli yöntemler kullanılarak göz ardı edilebilir. Bu yöntem aykırı değer testi denilmektedir. Yapılan deneyler 5'er kez tekrarlandığından yaygın olarak kullanılan aykırı değer testleri bu çalışmada kullanılamamıştır.

Dean ve Dixon [30] tarafından bulunan Q test adı verilen kimya deneylerinde pratik olarak aykırı değer tespiti yapılabilen yöntem bu çalışmada aykırı değer tespitinde kullanılmıştır. Q değeri bir orandır ve bu oran şüphelenilen değer kendine en yakın değere olan farkının sonuç aralığına oranlanmasıyla bulunur. (Eşitlik 1)

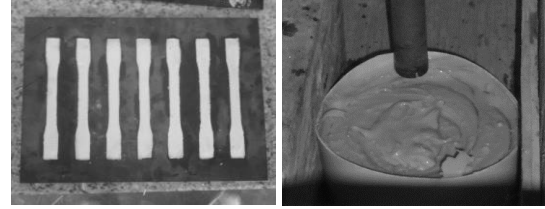
$$Q = \frac{X_{2. \text{ küçük}} - X_{\text{ küçük}}}{X_{\text{ büyük}} - X_{\text{ küçük}}} \quad (1)$$

Bulunan Q değerleri Q test çizelgesinde verilen değerlerin üzerinde olması durumunda şüphelenilen değer aykırı değer olarak saptanmaktadır. %90, %95 ve %99 güven aralığında bulunan Q değerleri sırasıyla 0,642, 0,710, 0,821'dir. Aykırı değer bulunması ve sonuçlardan elenmesi daha yüksek R-kare değerleri elde edilmesini sağlamaktadır. Bilindiği üzere yüksek R-kare değerleri de daha gerçekçi sayısal eşitlikler bulunmasını sağlamaktadır.

2.3. Laboratuvar Deneyleri

Homojen deney numuneleri elde edebilmek için tüm deney numuneleri mikserde hazırlanan tek bir karışım sonucunda kalıplara dökülmüştür. Dambıl ya da köpek kemiği olarak adlandırılan çekme deneyi numuneleri kalıp yöntemiyle, silindirik

basma deneyi numuneleri ise karot alma yöntemiyle oluşturulmuştur (Şekil 5).



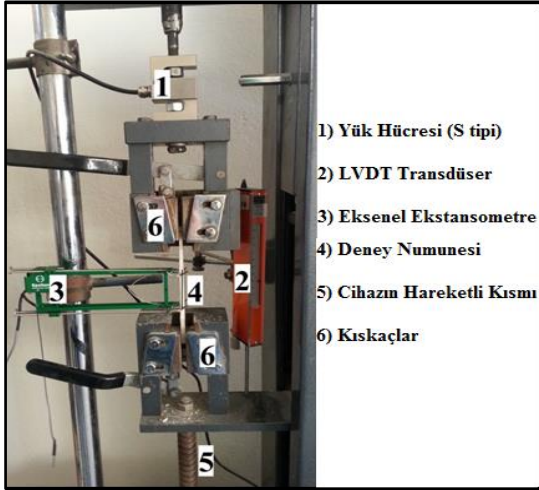
Şekil 5. Numunelerin oluşturulması

Daha önceden de belirtildiği üzere her kür süresi için en az 5 geçerli deney sonucu elde edebilmek için en az 50 geçerli deney gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Deney düzeneğinin kalibrasyonu, test edilmesi ve geçersiz deneylerin yerine yenisinin yapılabilmesi adına toplamda 80 numune hazırlanmıştır.

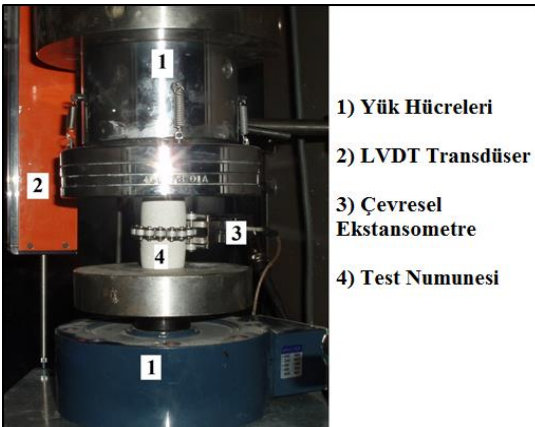
Laboratuvar deneyleri, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Direk çekme deneylerinin daha sağlıklı bir biçimde yapılması için test cihazına 500 kgf kapasiteli S tipi yük hücresi, 50 mm ölçüm aralığına sahip aksel ekstansometre bağlanmış ve veri toplama sistemi yardımıyla saniyede 8 veri kaydedilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Direk çekme deney düzeneği Şekil 6'da sunulmuştur.

Basma deneyleri 500 kN yük kapasiteli, deplasman kontrollü MTS cihazında gerçekleştirilmiştir. Yük ölçümü için 5000 kgf kapasiteli yük hücresi ve veri toplama sistemi MTS cihazına bağlanarak basma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca aksel ve çevresel ekstansometre ile çapsal değişim de kayıt altına alınarak Elastisite modülü ve Poisson oranı değerleri de hesaplanmıştır. Basma deney düzeneği Şekil 7'de sunulmuştur.

Yapılan çekme deneyleri sonucunda 3 önemli parametre bulunmuştur. Bunlar; i) Çekme Dayanımı (σ) ii) Çekme modülü (Et) ve iii) Yenilmede uzama miktarı (%)'dir. Ayrıca Basma deneyleri sonunda ise; i) Elastik modülü ve ii) Poisson oranı parametreleri bulunmuştur.



Şekil 6. Direk çekme deney düzeneği



Şekil 7. Basma deney düzeneği

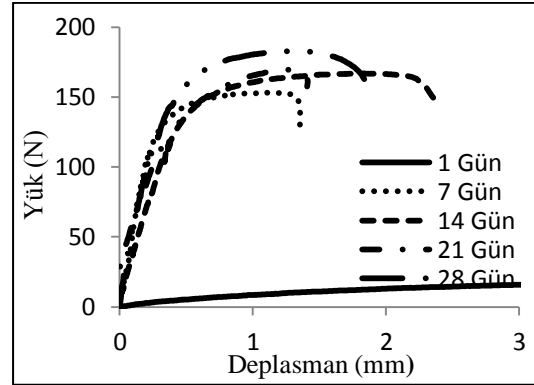
3. DENEY SONUÇLARI

Laboratuvar çalışmaları sonucunda toplamda 50 geçerli deney gerçekleştirilmiştir. Direk çekme ve basma deney sonuçları ayrı başlıklar altında sunulmuştur.

3.1. Çekme Deneyi Sonuçları

Standartlara uygun biçimde gerçekleştirilen 25 geçerli deney sonucunda her bir deney için gerilim-gerinim grafikleri çizilmiştir. Her bir numune için ortalama test süresi 4 dakika olarak ölçülmüştür. Deneylerde yük oranı sabit tutulmuştur

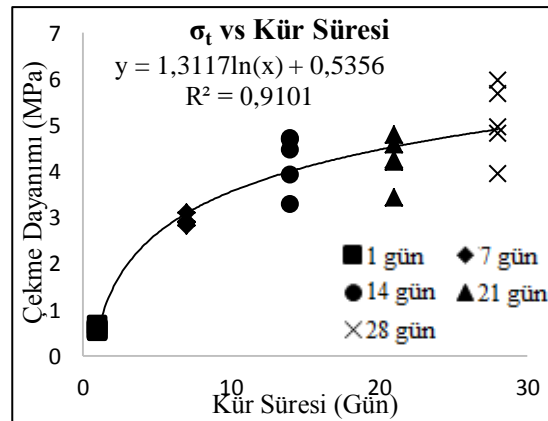
(6,5 mm/dak). Deneyler sonucunda elde edilen ham yük- deplasman eğrileri Şekil 8'de sunulmuştur.



Şekil 8. Farklı kür süreleri için elde edilen temsili yük deplasman grafikleri (çekme deneyi)

Laboratuvar çalışmaları sonucunda çekme dayanımı – kür süresi, çekme modülü-kür süresi ve çekme dayanımı-modülü grafikleri çizilmiştir.

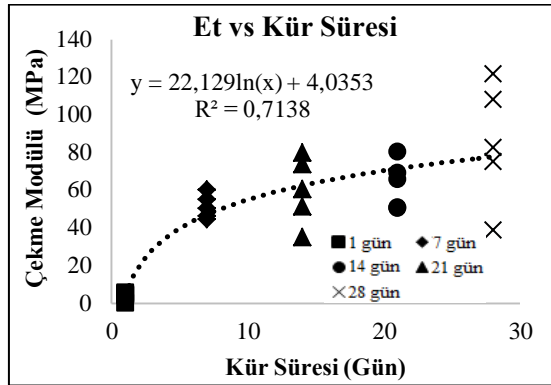
Çekme dayanımı ve kür süresi arasındaki ilişki Şekil 9'da gösterilmiştir. Grafikten de görülebileceği üzere çekme dayanımı kür süresine bağlı olarak değişmektedir. Bu ilişki logaritmik bir eşitlik ile tanımlanmaktadır.



Şekil 9. Çekme dayanımı - kür süresi ilişkisi

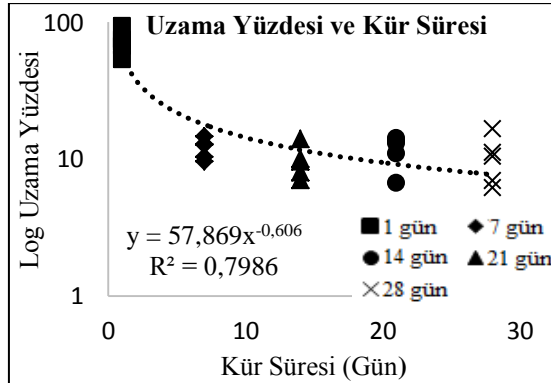
Yukarıdaki sonuçlara göre yüksek korelasyon katsayısı (0,91) elde edilmiştir. Başka bir deyişle çekme dayanımındaki artış %91 olasılıkla kür süresinde artış ile açıklanabilmektedir. Ancak kür

süresindeki artış çekme dayanımı sonuçlarındaki standart sapma değerlerini de arttırmaktadır. Bu durumun sebebi deneylerin laboratuvar ortamında küçük ölçekte yapılmasından kaynaklanabilir. Çünkü daha önceki araştırmalarda da benzer sorunlar göze çarpmaktadır. Elde edilen ortalama çekme dayanım sonuçları Çizelge 2’de sunulmuştur. Benzer grafik sonuçları çekme modülü ve uzama yüzdesi için de gerçekleştirilmiştir.



Şekil 10. Çekme modülü- kür süresi ilişkisi

Çekme dayanımında olduğu gibi çekme modülünün de kür süresine bağlı değişimi, logaritmik fonksiyonla tanımlanmıştır. Elde edilen ortalama çekme modülü değerleri Çizelge 2’de sunulmuştur.



Şekil 11. Çekme modülü - kür süresi ilişkisi

Polimer bazlı malzemeler için yüzdeye yenilmede uzama miktarı, sıklıkla kullanılan bir parametre olup, PİK’ler için literatürde ilk kez bu çalışmada

bulunmuştur. Beklendiği üzere malzemenin uzama yüzdesi kür süresi arttıkça azalmaktadır. Bu azalma en iyi üstel fonksiyon ile tanımlanmaktadır. Elde edilen ortalama yüzdeye yenilmede uzama değerleri Çizelge 2’de sunulmuştur.

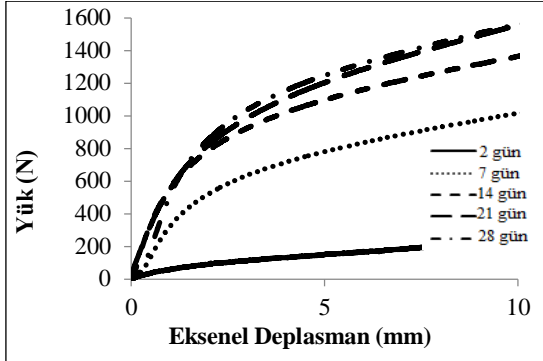
Çizelge 2. Çekme deney sonuçlarının kür süresine göre değişimi

Kür Süresi	Ort. σ_t (MPa)	Ort. E_t (MPa)	Ort. Uzama Yüzdesi
1 Gün	0,58 ± 0,05	4,51 ± 0,51	71,60± 14,4
7 Gün	2,93 ± 0,10	51,13 ± 6,41	11,99± 2,01
14 Gün	4,21 ± 0,61	59,92 ± 17,96	9,71± 2,68
21 Gün	4,26 ± 0,52	63,01 ± 12,85	11,62± 3,03
28 Gün	5,08 ± 0,79	93,08 ± 45,50	10,23± 4,15

3.2. Basma Deneyi Sonuçları

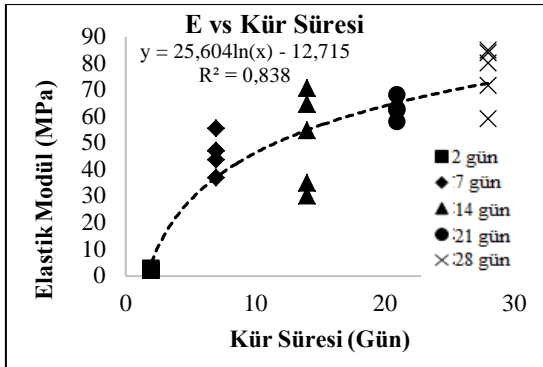
Yapılan ilk kalibrasyon deneylerinde ürünün basma yükü altında son derece yüksek gerinim gösterdiği saptanmıştır. Ürün, içeriğindeki kimyasalların etkisiyle sınırlı malzeme özelliği gösterdiğinden testler sonucunda yenilmemiştir. Bu nedenle basma dayanımı parametresi elde edilememiştir. Bu yüzden deneyler, numune 10 mm deformasyona ulaşınca sona erdirilmiştir (yaklaşık 7 dakika). Deneyler ASTM D695 standardına sadık kalınarak yapıldığından 1,5 mm/dak sabit yük oranı uygulanmıştır. Deneylerde saniyede 8 veri kayıt altına alındığından malzemenin doğrusal elastik davranış gösterdiği bölgeler hassas bir biçimde bulunmuştur. Şekil 12’de farklı kür süreleri için tipik yük-eksenel deplasman eğrileri sunulmuştur.

Şekil 12’den de görülebileceği üzere numunenin yük taşıma kapasitesi kür süresiyle doğrudan ilgilidir. Bu eğrilerin doğrusal elastik kısmı elastik modül bulunmasını mümkün kılmaktadır. Ayrıca malzeme bilineer yük-deplasman ve gerilim-gerinim davranışı göstermektedir. Görülen 2 farklı doğrusal kısımda ilk doğrusal elastik kısım standartlara göre elastik modülü bulmakta kullanılmaktadır.



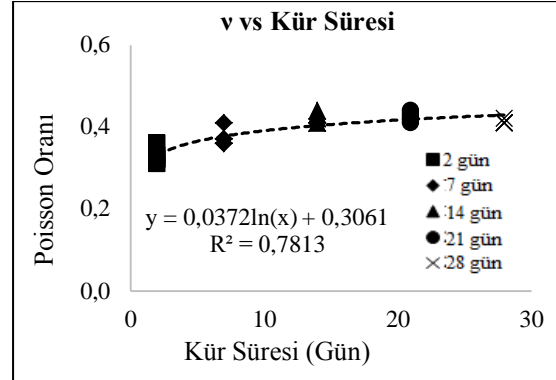
Şekil 12. Farklı kür süreleri için tipik yük-deplasman eğrileri

Şekil 13’de görüldüğü üzere elastik modül değeri, artan kür süresine göre artış göstermektedir. Başka bir deyişle elastik modül artışı %84 olasılıkla sadece kür süresindeki artış ile tanımlanabilir. Elde edilen ortalama elastik modül değerleri Çizelge 3’te sunulmuştur.



Şekil 13. Elastik modül- kür süresi ilişkisi

Basma deneylerine ilişkin ikinci özet grafiği ise Poisson oranı ve kür süresi ile ilintilidir. Deneyler sonunda çok benzer Poisson oranları elde edilmiştir. Elde edilen değerler 0,31 ile 0,44 arasındadır. Ayrıca kür süresinin Poisson oranı üzerinde de etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Kür süresindeki artış Poisson oranında da az da olsa bir artışa neden olmaktadır. Bu ikili arasındaki ilişki logaritmik bir eşitlikle %78 olasılıkla açıklanabilmektedir. Şekil 14’de bu ilişki sunulmuştur. Ayrıca bu grafiğin çizildiği ortalama Poisson oranı değerleri de Çizelge 3’de bulunmaktadır.



Şekil 14. Poisson oranının kür süresine bağlı değişimi

Çizelge 3. Basma deney sonuçlarının kür süresine göre değişimi

Kür Süresi	Ort. E (MPa)	Ort. v
2 Gün	1,98 ± 0,33	0,33 ± 0,02
7 Gün	45,94 ± 6,67	0,37 ± 0,02
14 Gün	50,96 ± 17,88	0,43 ± 0,01
21 Gün	60,08 ± 6,74	0,42 ± 0,01
28 Gün	75,87 ± 10,77	0,41 ± 0,01

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Deney numunesi hazırlanışında PİK karışımları sahip oldukları farklı içerikler sebebiyle priz alma süresi farklılık göstermektedir. Ayrıca su bazlı ürünlerde büzüşme görülmektedir. 28 günlük kür süresi sonunda numune boyutlarında önemli ölçüde azalmalar olmaktadır. Arazi, uygulamalarında büzüşme nedeni ile uygulama kalınlığı azalmaktadır.
- Beklenildiği üzere çekme dayanımı ve çekme modülü kür süresiyle doğrudan bağlantılıdır. Kür süresi arttıkça çekme dayanımı ve modülü değerleri de artmaktadır.
- Sunulan ilgili logaritmik eşitlikler ve korelasyon katsayıları yardımıyla araştırmacı, kullanıcı

ürünün hedeflenen parametre değerine ulaşacağı tarihi kestirebilecektir.

- Kür süresindeki artış PİK'lerin uzama yüzdelerinde azalmaya neden olmaktadır. Bunun sonucunda malzeme daha gevrek bir hal almaktadır.
- Genel kanının aksine kür süresinin Poisson oranı üzerinde az miktarda etkisi bulunmaktadır. Deneylerde 7. kür günü sonunda Poisson oranı neredeyse sabit kalmıştır. Bu değer yaklaşık olarak 0,42'dir.

5. ÖNERİLER

Yukarıda bahsedilen sonuçların ışığında gelecekte yapılacak çalışmalar için tavsiyeler aşağıda sıralanmıştır:

- Kalıp döküm yöntemi ile numune hazırlama yönteminde kalıp ayırıcı kimyasal madde kullanılmalı, numunenin kalıptan ayrılırken zarar görmemesi için esnek kalıplar tercih edilmelidir.
- Basma deney numuneleri hazırlanırken kalıba dökme yöntemi zaman alıcı ve tercih edilmemesi gereken bir işlemdir. Karot alma tekniği kolay ve etkili numune hazırlama yöntemidir.
- PİK'lerin uzun süreçteki performanslarını keşfetmek için 3 ay ya da 1 sene gibi daha uzun kür süreli deneyler gerçekleştirilmelidir.
- Basma ve çekme dayanımı deneyleri bu çalışmada detaylı bir biçimde incelenmesine rağmen, kür süresinin diğer önemli dizayn parametrelerine etkisini bulabilmek için yapışma mukavemeti gibi farklı deneyler de gerçekleştirilmelidir.
- Sıcaklık ve nem değişimi de PİK'ler için önemli parametrelerdendir. Bu alan üzerinde detaylı bir çalışma yapılırsa önemli sonuçlar ortaya çıkabilir.
- PİK'lerin seçiminde çekme dayanımına olabildiğince erken ulaşabilmesi önemli bir kriterdir. Bu nedenle üreticiler PİK'lerin dayanım kazanma süresini minimize edecek ürünler geliştirmelidir.
- Arazi uygulamalarında daha sert ve deformasyona dayanıklı PİK'lere ihtiyaç duyulmaktadır.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (Proje No: 08-11-2012-104) tarafından desteklenmiştir. Katkıları için teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR

1. Tannat, D., 2001. Thin Spray-on Liners for Underground Rock Support. 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey, 57-68.
2. Lau, V., Saydam, S., Cai, Y., Mitra, R., 2008. Laboratory Investigation of Support Mechanism for Thin Spray-on Liners. The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG) Goa, India, 1381-1388.
3. Kömürlü, E., Kesimal, A., 2014. Improved Performance of Rock Bolts using Sprayed Polyurea Coating. Rock Mechanics and Rock Engineering. DOI: 10.1007/s00603-014-0696-4.2179-2182.
4. Tannant, D.D., Swan, G., Espley, S., Graham, C., 1999. Laboratory test Procedures for Validating the use of Thin Sprayed-on Liners for Mesh Replacement. Canadian Ins. of Mining and Metallurgy Annual Meeting, Calgary. 1-8.
5. Archibald, J.F., Espley, S.J., St., Lausch, P., 2001. Field and Laboratory Response of Mineguard Spray-on Polyurethane Liners. Proc. Int. Symp. on Rock Support, Lillehammer, pp. 475-490.
6. Spearing, A.J.S., Gelson, J., 2002. Developments and the Future of Thin Reactive Liners since the Previous Conference in Australia. 2nd Int. Seminar on Surface Support Liners: Thin Sprayed Liners, Shotcrete, Mesh, Sandton, South Africa, Sect. 13,1-10.
7. Yılmaz, H., 2010. Tensile Strength Testing of Thin Spray-on Liner Products (TSL's) and Shotcrete. The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Volume 110. 559-569.

8. Ozturk, H., 2011. Püskürtülen İnce Kaplamaların Elastik Malzeme Özellikleri. Madencilik, Vol. 50, No. 2. 41-45.
9. Spearing, A.J.S., Champa, J., 2001. The Design, Testing and Application of Ground Support Membranes for use in Underground Mines Proc. MASSMIN.
10. Kuijpers, J., 2001. Evaluation of Membrane Support Behaviour. Surface Support Liners: Membranes, Shotcrete and Mesh. Australian Centre for Geomechanics, Perth. Sect.21.
11. Stacey, T.R., Kasangula, M., 2003. Results from Testing of TSL's Using a Simple, Low Cost Laboratory Test. 3rd Int. Seminar on Surface Support Liners: Thin Spray-On Liners, Shotcrete and Mesh, Quebec City, Canada. Sect. 17.
12. Lewis, B., 2001. Mondi Rock-Hold™ the Development of this Structural Membrane Support. Surface Support Liners: Membranes, shotcrete and Mesh. Australian Centre for Geomechanics, Perth.
13. Saydam, S., Yilmaz, H., Stacey, T.R., 2003. A New Testing Approach for thin Spray-on Liners: Double-sided Shear Strength (DSS). Test. 3rd International Seminar on Surface Support Liners: Thin Spray-on Liners, Shotcrete and Mesh, Quebec City, Canada. Section 18.
14. Archibald, J.F., 2001. Assessing Acceptance Criteria for and Capabilities of Liners for Mitigating Ground Falls. Mining Health and Safety Conference, Sudbury, Ontario. 2001.
15. Finn, D., 2001. Polymer Membrane Tests. Surface Support Liners: Membranes, Shotcrete and Mesh, Australian Centre for Geomechanics, Australia. Sect.20.
16. EFNARC, 2008. Specification and Guidelines on Thin Spray-on Liners for Mining and Tunneling. ENC 250TSL v7.2 25-07-08.
17. Espley, S., Tannant, D.D., Baiden, G., Kaiser, P.K., 1999. Design Criteria for Thin Spray-on Membrane Support for Underground Hardrock Mining. Canadian Ins. of Mining and Metallurgy Annual Meeting, Calgary.
18. Archibald, J.F., Degagne, D.O., 2000. Recent Canadian Advances in the Application of Spray-on Polymeric Linings, Mining Health and Safety Conference, Sudbury, Ontario.
19. Guner, D., Öztürk, H., 2016. Scale Effect of Thin Spray-on Liners for Pillar Reinforcement. Eighth International Symposium on Ground Support in Mining and Underground Construction, Sweden.
20. Kuijpers, J.S., Sellers, E.J., Toper, A.Z., Rangasamy, T., Ward, T., Van Rensburg, A.J., Yilmaz, H., Stacey, R., 2004. Required Technical Specifications and Standard Testing Methodology for Thin Sprayed Linings. SIMRAC Final Report. Research agency: CSIR Division of Mining Technology. Project No: SIM 020206.
21. Mason, D.P., Stacey, T.R., 2008. Support to Rock Excavations Provided by Sprayed Liners. Int J. Rock Mech Min Sci; 45, 773–788.
22. Mason, D.P., Abelman, H., 2009. Support Provided to Rock Excavations by a System of Two Liners. Int. J. Rock Mech Min Sci; 46, 1197- 1205.
23. Fowkes, N., Teixeira, J.A., Stacey, R., 2008. Crack Repair using an Elastic Filler. J Mech Phys Solids 56(9), 2749–2758.
24. Tannant, D. D., Wang, C. G. 2002. Thin Rock Support Liners Modeled with Particle Flow Code. Geotech Spec Publ (117), 346–352.
25. Dirige, A., Archibald, J., 2009. Numerical Modeling Simulations of Spray-on Liners Support Potential in Highly Stressed and Rockburst Prone Rock Conditions. Proceedings of the 3rd CANUS Rock Mechanics Symposium, Toronto.
26. Öztürk, H., 2012. Work of Adhesion of Thin Spray-On Liners. Rock Mechanics and Rock Engineering, 1095-1102.
27. BASF web sayfası, son erişim tarihi 02.12.2016. <https://www.master-builders-solutions.basf.us/en-us/products/masterroc/1953?Product=MasterRocTSL865>.
28. ASTM, Standard D-638-10, 2010. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics-1. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA DOI: 10.1520/D0638-10
29. ASTM, Standard D-695-10, 20100 Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA
30. Robert, B., Dean, Wilfrid, J.D., 1951. Simplified Statistics for Small Numbers of

Püskürtme İnce Kaplamaların Mekanik Özelliklerinin Kür Süresine Göre Değişiminin İncelenmesi

Observations. Anal. Chem., 1951, 23(4), 636–638.

Photonic Crystal Slab Biosensors and its Applications

Utku ERDİVEN*¹, Faruk KARADAĞ¹

¹Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 04.01.2017

Kabul tarihi: 14.03.2017

Abstract

In this study, filling factor, sensitivity, quality factor, and local density of states variation depending on resonance frequency changing refractive index of liquid medium and radius of spherical silver metal nanoparticle inside unit cell for titanium dioxide (TiO₂) photonic crystal slab biosensor device is investigated. This structure is typically used for protein-protein interaction, display of primitive cells, cancer cell metastasis, enzyme detection, Deoxyribonucleic acid (DNA) microarrays. Proposed calculations include a square lattice of air holes created in two-dimensional TiO₂ photonic crystal structure and a small spherical sphere nanoparticle into the air holes is put in order to see shift in resonant wavelength's. Lattice constant ($a= 1 \mu\text{m}$) was used in the calculations. Analyses have been performed in the wavelength range of 1500-1550 nm. The calculations were made by software MIT Electromagnetic Equation Propagation based finite-difference time-domain method.

Keywords: Photonic crystal, Optical biosensor, Quality factor, Sensitivity, Resonant wavelength

Fotonik Kristal Dilimli Biyosensörler ve Uygulamaları

Öz

Bu çalışmada, fotonik kristalden tasarlanan biyosensör cihazı için rezonans frekansını değiştiren sıvı ortamın kırılma indisine ve titanyum dioksit (TiO₂) birim hücre içindeki küresel gümüş metal nanopartikülünün yarıçapına bağlı olarak değişen dolgu faktörü, duyarlılık, kalite faktörü ve lokal yoğunluk incelendi. Bu yapı tipik olarak protein-protein etkileşimi, ilkel hücrelerin görüntülenmesi, kanser hücresi metastazının var olup olmadığının, enzim ve Deoksiribonükleik asit (DNA) mikrodizilerin belirlenmesi için kullanılır. Önerilen hesaplamalar, rezonant dalga boyundaki kaymayı görmek için iki boyutlu TiO₂ fotonik kristal yapısında yaratılan boşluklarının kare örgüsünü ve hava boşluklarına yerleştirilen küçük bir küresel nanopartikülünü kapsamaktadır. Hesaplamalarda örgü sabiti olarak ($a= 1 \mu\text{m}$) kullanıldı. Analizler 1500-1550 nm dalga boyu aralığında yapıldı. Hesaplamalar, MIT Elektromanyetik Denklem Yayılımına dayalı zamanda sonlu farklar yöntemi yazılımı ile yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotonik kristal, Optik biyosensör, Kalite faktörü, Duyarlılık, Rezonans dalgaboyu

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Utku ERDİVEN, ufuk@cu.edu.tr

1. INTRODUCTION

Photonic crystals (PCs) are periodically arranged dielectric structures investigating interaction between biomolecules in two or three dimensions [1]. If periodic parameters (for example, lattice constant, thickness of structure) and refractive index (RI) of photonic crystal (PC) is suitably selected, it will particularly match energy at specific wavelengths. With a capture alternative of insulator fabrics and properties, resonating manners of a PC can be organized to happen at particular arrays of angle and wavelength. This situation admits electromagnetic radiation of chosen wavelength and incident direction to match to the PC and induce an extremely localized electromagnetic stationary wave with amplitude that is considerably bigger than the original clarification source. Heightened irritation will take place by localizing emitters inside the part with a raised electric field magnitude at their innervation wavelength. For the directed modes will match in and out of the PC under phase checking circumstances for particular combining of wavelength and incident angle, it is likely to gather electromagnetic wave at the outcoupling angle further expeditiously, and hence supplying a heightened eradication physical, chemical and biologic device [2]. To summarize, while the PC is enlightened with a wideband wave source, catching diffraction modes match electromagnetic radiation into and out of structure having high dielectric constant, disruptively interfering with the carried light. At a peculiar resonant wavelength and incident angle, absolute intervention happens and any light is not conveyed (100% reflection is almost occur). The resonant wavelength is regulated by the increase of biomaterial upon the PC optical biosensor surface, resulting in a displacement to a greater wavelength. The electromagnetic wave that is produced at the PC surface during resonant light matching prohibits sidelong spread [3].

Accordingly, there are many applications such as display of primitive cells [2], cancer cell metastasis, biofilm and gene identification [4], biomolecular detection [5], DNA microarrays, and pharmaceutical drug screening [6-8]. These

structures including cavities can be also used as label-free PC biosensors (kinetic imaging of cell-surface interactions) [9], immobilized protein targets [10].

Label-free biodetectors achieve on accommodate by a couple of important physical ability link to observing biomolecular fundamental interactions and organic analytes that can admit appropriate particles, peptides, proteins, bacterium, or stem cells [11]. Label-free sensing elements are supported a regular design or construction of insulator substance in two or three dimensions optimized to supply a highly constricted resonating mode whose wavelength is especially sensible to inflections caused by the deposit of biochemical material on its plane [12]. In fact, the detector surface is lighted with white light and the mirrored light from dissimilar positions is assembled. When the variations in the wavelength of the reflected electromagnetic radiation are analyzed, biochemical binding cases happening on the sensing element surface can be noticed and measured. Generally, label-free biosensing with optics depends on observing exchanges in a particular parametric quantity such as absorption, reflection, index of refraction.

TiO₂ has been generally applied for another practice such as electrochemical impedance spectroscopy [13], single nanoparticle detection [14], visible wavelength emitting quantum dots [2], screening of immobilized protein enzymes [3] and atomic layer deposition [10] and electrochemical biodetector applications [11]. However, TiO₂ has wide photonic band range and optic assimilation stage is ten times less than that of the silicon at optic communicating wavelength (1.5 μm), it can restrain more easily to the led resonance modes. It has especially a high sensitivity at the near-infrared (750 nm) and near-ultraviolet (400 nm) wavelengths [2]. Therefore, TiO₂ can be used to immobilizing proteins, enzymes in biomolecular material and optical biosensor practices [14]. Beside this, TiO₂ shows the increase of a liquid based fluorescence assay component from photonic crystal optical biosensor [15]. Fluorescence is an important application area for assay of biological structures such as DNA

identification and protein diagnostic analysis. At the same time, with TiO₂ layer which has 60 nm thicknesses can be observed both attachment footprints of filopodial extensions and intracellular attachment strength gradients [3]. TiO₂ PC slab structure is quite a significant mechanism of nanoscale PC optical biosensors. Because, in such a case, the high RI dielectric slab limits guided modes of electromagnetic wave and it couples the allowed incident optical beams at the guided resonance frequencies [16, 17].

In this study, we explain the theoretical features of RI detection in PCs optical biosensor materials to improvement of present analyzes of TiO₂ photonic crystal-based sensor devices. We calculate features for directed resonance modes connected on these devices and specify that the type of headed resonance mode promoted by the PC slab can solution in notably other detection properties. This distinction is particularly important in symmetric or asymmetric PCs optical biosensor structures, in which the slab is suspended in water or other liquids. While coated with the same liquid (water, alcohol vs.) both sides (bottom and top) of the symmetric PC (SPC) slab (TiO₂) structure having a high RI, in the asymmetric PC (APC) structure bottom side of the slab is supported by SiO₂.

Our studies are promoted as follows. Part 2 gives short information about calculation techniques containing our workings. Part 3 explains sensitivity, filling fraction, quality factor, local density of states (LDOS) and frequency values of the guided resonance modes about symmetric and asymmetric TiO₂ PC biostructures. TE-like guided resonance modes in PCs optical biosensors are described in Part 3. In this section, we will obtain transmission spectra of TE-like directed resonance modes within symmetric and asymmetric structures and we will compare our found results in the end.

2. MATERIALS AND METHODS

To understand the operation of PC biosensors, some important biometric parameters must be explained. These parameters are sensor sensitivity, detection limit or resolution, quality factor, filling

fraction. Sensor sensitivity is specified as the ratio of the alteration in sensing element output response to the exchange in the measure to be evaluated.

Sensitivity of the sensor is influenced from a few factors such as thickness of the slab and RI. This sensitivity is basically specified with the interaction between biomolecules and electromagnetic field for PC optical biosensors. It has been also explained by density of electromagnetic radiation at the biosensor surface. In this situation, fraction of the light in the solution affects sensor's sensitivity.

For all that, guided resonance modes in the sensing mechanism can be replaced in the spectral position. For this, the amount of liquid and analytes binding to the biological material or the refraction of index of the medium surrounding the PC slab must be changed with external influences. So, PC optical biosensor structure can be stimulated at the guided resonance frequencies. Because, the real interaction between the generated layer with electromagnetic field energy occurs in these frequencies. These cases cause shift of the PC sensing element structure directed resonances. As a result, bulk spectral sensitivity can be calculated as follows [18].

$$S = \frac{\Delta\lambda}{\Delta n_{liquid}} = f \frac{\lambda_0}{n_{eff}} \left[\frac{nm}{RIU} \right] \quad (1)$$

Here, while $\Delta\lambda$ is spectral shift of guided resonance modes λ_0 , Δn , n_{eff} , f defines resonance wavelength, RI change of liquid, effective index of refraction of the dielectric detecting device and filling fraction of light, respectively. In addition, LDOS of the resonance modes can be calculated since spherical silver is placed inside the proposed structure. Therefore, the LDOS could be made definitions on the fluorescence properties of biosensor device looking at the Purcell enhancement effect. In this case, the LDOS of guided resonance's [19] can be defined as,

$$LDOS \approx \frac{2}{\pi\omega^n} \frac{Q^n}{V^n} \quad (2)$$

Where, Q is the dimensionless quality factor and V is the modal volume of modes.

As shown in Figure 1, PC structure depicts periodically arranged dielectric slab device. This device may be completely specified by a unit cell with a lattice constant, r' hole radius, r spherical silver radius and t thickness, n refractive index. In the forming structure, titanium dioxide (TiO_2 , $n=2.62$) has high RI surrounds with a low RI fluid namely water ($n=1.33$), isopropyl alcohol (IA) ($n=1.3776$), ethanol ($n=1.3611$) and hydrogen peroxide (HP) ($n=1.4061$). Polarization parameters of the spherical silver are founded in MIT Electromagnetic Equation Propagation MEEP units [20].

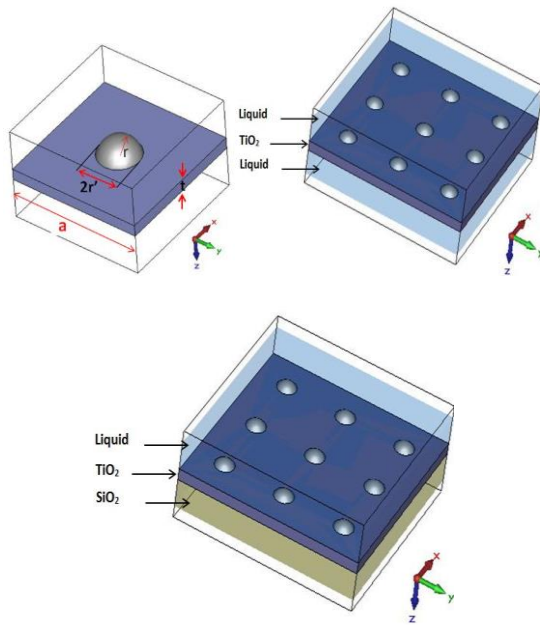


Figure 1. Illustrations of a unit cell, SPC and APC design for a square grid of holes PCS, respectively. In SPC device, while TiO_2 slab has high RI, the index of refraction of the medium surrounding the TiO_2 slab is lower than TiO_2 . In the TiO_2 , APC slab is promoted SiO_2 substrate which has a RI higher than liquids, lower than TiO_2 . The diameter of the holes ($2r'$) is $0.3a$. The radius of the spherical silver (r) is $0.1a$. The thickness of TiO_2 slab (t) is $0.2a$.

Computational technique is used by MEEP [21] using “dimensionless” units, a freely available finite difference time-domain (FDTD) implementation. The FDTD is an accurate method for determining the interaction of any physical structure with electromagnetic radiation. The electric field of the transverse electric (TE) polarization is parallel to the 2D plane of the structure, normal to the magnetic field vector H_z following the normal PC device [22]. Periodic boundary conditions with FDTD can be applied a single unit cell. These boundary conditions are implemented to xz and yz planes to obtain infinite planar periodicity while perfect matched layers (PMLs) restrict the top and bottom of the unit cell to engulf outgoing fields. To analyze modes of the PC slab in the periodic boundary condition, the irradiation occurs of a wideband planar Gaussian source was placed above the periodic boundary condition. Modal field dispersions are calculated by stimulating the PC slab utilizing a planar continuous light source also positioned above the PC slab.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Symmetrical and asymmetrical structure of TiO_2 PC biosensor application in the square lattice of holes is provided in Figure 1. In SPC device, the index of refraction of the medium surrounding the TiO_2 slab is lower than TiO_2 while TiO_2 slab has high RI. In TiO_2 APC slab is promoted SiO_2 substrate which has a RI higher than liquids and lower than TiO_2 . The spherical silver material was placed within the center of holes for both symmetrical and asymmetrical structures.

Transmission spectra of the symmetric biosensor structure of different surrounded mediums excited at the guided resonance frequencies, (the thickness of slab, the radius of holes and the radius of silver sphere is $0.2a$, $0.3a$, $0.1a$, respectively) are shown in Figure 2. According to the working principle of the PC biosensor's, the change in RI of the liquids causes very small spectral shifts of the resonance frequencies. While the increasing of the RI of the fluid in the vicinity of the slab causes decreasing the frequency of the TE-like guided modes, it ensures increasing of the quality factor. So, both

scattering in PC slab decreases and more interaction between proposed structures with electromagnetic radiation occurs. In this situation, filling factor and sensitivity values increase. As given in Table 1, especially, fluorescence properties of PC biosensor enhance under influence of the effective RI. As a result, PC slab sensors incorporate these precious features with the skill to couple light from free-space radiation modes into directed resonances by perpendicular light coupling.

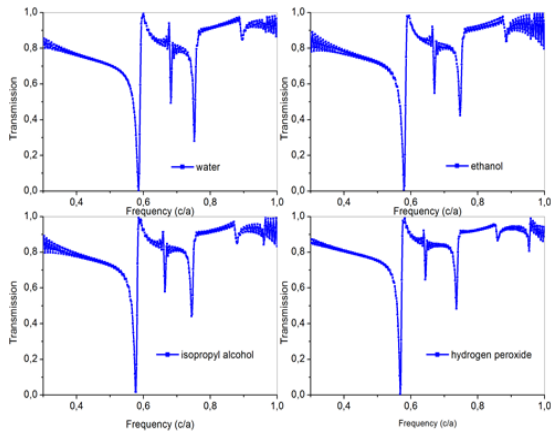


Figure 2. TE-like mode transmission spectrum for silver sphere radius $r = 0.1a$ and hole radius $r = 0.3a$ for SPC

Table 1. Results of the symmetric photonic crystals. The radius of the holes is $0.3a$. The radius of the spherical silver is $0.1a$. The thickness of slab is $0.2a$. (IA- Isopropyl Alcohol, HP- Hydrogen Peroxide)

Materials (liquid)	Resonance wavelength (nm)	Sensitivity (nm/RIU)	Quality factor	Filling fraction	LDOS
Water	1710	162	54	0.248	37
Ethanol	1724	450	60	0.683	42
IA	1733	545	188	0.823	134
HP	1751	630	374	0.942	270

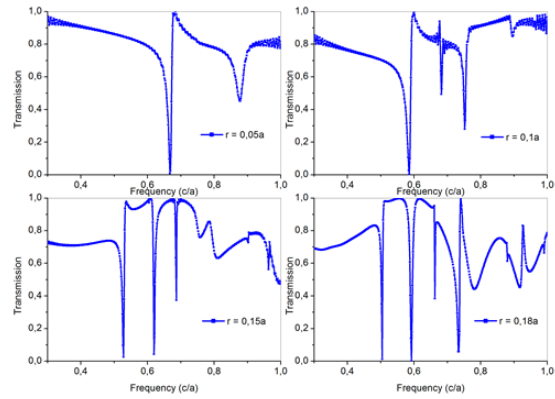


Figure 3. SPC TE-like mode transmission spectrum for water medium. The changed radius of spherical silver metal creates small shifts at the guided resonance frequencies

Table 2. Results of the symmetric photonic crystals. Water was used as a liquid. The radius of the holes is $0.3a$

Radius (r)	Thickness of slab	Resonance wavelength(mm)	Sensitivity (nm/RIU)	Quality factor	Filling fraction	LDOS
0.05a	0.1a	1500	108	1298	0.188	806
0.1a	0.2a	1710	162	54	0.248	40
0.15a	0.3a	1893	141	1020	0.195	782
0.18a	0.36a	1984	70	143	0.092	115

Transmission spectra of symmetric biosensor structure of surrounded same liquid medium (water) excited at the guided resonance frequencies are shown in Figure 3. The increasing simultaneously of the radius of silver spheres and the thickness of the slab has been effected in a different manner to the variation of the effective index of refraction as seen in Table II. While the radius of the silver metal spheres is $0.15a$ and $0.18a$ the number of the obtained resonance frequencies is more than others as seen in Figure 3. This case effectively enriches the fluorescence and sensing properties of the biodetecting structure.

Same conditions happen in APC slab device. When APC and SPC biosensor structure is

compared, the guided resonance frequencies of APC sensing element are shifted to smaller values. Transmission spectra for APC slab designs and surrounded liquid medium excited at TE-like directed resonance mode frequencies are provided in Figure 4. These obtained values are also summarized in the Table 3.

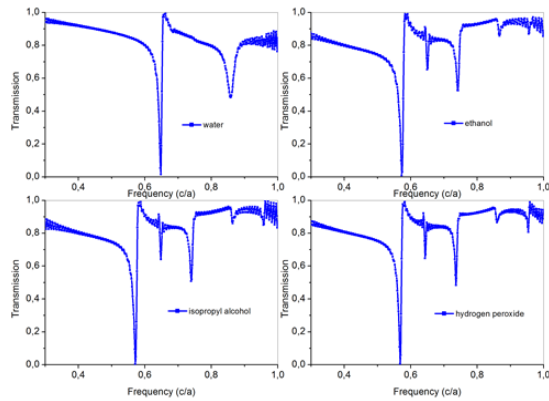


Figure 4. TE-like mode transmission spectrum in APC slab for silver sphere radius $r = 0.1a$ and hole radius $r = 0.3a$

Table 3. Results of the asymmetric photonic crystals. The radius of the holes is $0.3a$. The radius of the spherical silver is $0.1a$. The thickness of slab is $0.2a$. (IA- Isopropyl alcohol, HP- Hydrogen Peroxide)

Materials (liquid)	Resonance wavelength (nm)	Sensitivity (nm/RIU)	Quality factor	Filling fraction	LDOS
Water	1736	180	57	0.271	40
ethanol	1748	300	62	0.450	43
IA	1751	315	65	0.470	45
HP	1760	385	70	0.573	50

With the increase of the RI of the liquid in the small volume the relative RI decreases. Hence, the interaction between the implemented electric field energies and liquids rises. Result of that the values of sensitivity, quality factor, filling fraction and LDOS increase, as provided in Table 3.

In APC slab, the transmission spectra caused by the increase of the silver sphere and the thickness of the slab are given in Figure 5. According to Table 4, the calculated LDOS exhibits the better results compared with Figure 3. This situation shows the improved fluorescence features of the biodetecting structure.

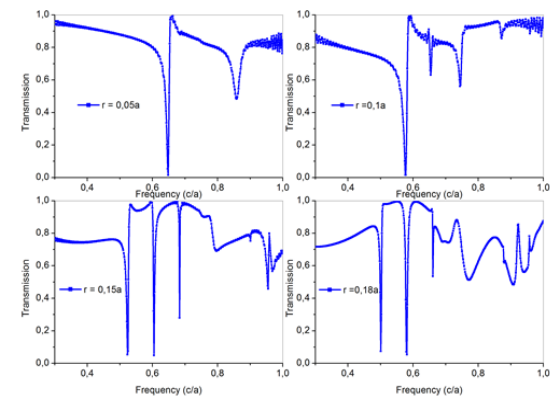


Figure 5. TE-like mode transmission spectrum in APC slab for water medium. The changed radius of spherical silver metal creates small shifts at the guided resonance frequencies

Table 4. Results of the asymmetric photonic crystals. Water was used as a liquid

Radius (r)	Thickness of slab	Resonance wavelength (nm)	Sensitivity (nm/RIU)	Quality factor	Filling fraction	LDOS
0.05a	0.1a	1543	124	140	0.210	85
0.1a	0.2a	1736	180	57	0.271	40
0.15a	0.3a	1912	136	106	0.186	78
0.18a	0.36a	2000	266	142	0.089	115

Thus, the obtained results show that they appropriately provide interaction between electromagnetic waves and biosensing element region. TE-like guided resonances penetrate effectively to external regions of TiO_2 slab. So, the proposed structures can be optimized for protein-protein interaction, enzyme detection, molecular diagnostics, small molecule aggregation and inhibition of protein-DNA interactions.

4. CONCLUSION

In conclusion, effect of the RI of the liquid medium and the small spherical silver placed inside TiO₂ slab are investigated. It demonstrates that the changing radius of the silver sphere increase the number of reflected resonant wavelength in the PC's and at the same time, this situation shows that silver spheres not only shift the guided resonance frequency, but also optical absorption of PC's essentially decrease. The obtained graphs for index of refraction change of 0.01 will create a change of approximately 0.001 in the guided resonant frequencies. Thus, the proposed TiO₂ biosensor structure has high sensitivity, quality factor and LDOS at the visible wavelengths.

5. REFERENCES

1. Yun, M., Wan, Y., Liang, J., Xia, F., Liu, M., Ren, L., 2012. Multi-Channel Biosensor Based on Photonic Crystal Waveguide and Microcavities, *Optik*, vol. 123, pp. 1920-1922.
2. See, G. G., Naughty, M. S., Tang, T., Bonita, Y., Joo, J., Trefonas, P., Deshpande, K., Kenis, P. J. A., Nuzzo, R. G., Cunningham, B. T., 2015. Region Specific Enhancement of Quantum Dot Emission using Interleaved Two-Dimensional Photonic Crystals, *Applied Optics*, vol. 54, no. 9, pp. 2302-2308.
3. Chen, W., Long, K. D., Lu, M., Chaudhery, V., Yu, H., Choi, J. S., Polans, J., Zhuo, Y., Harley, B. A., Cunningham, B. T., 2013. Photonic Crystal Enhanced Microscopy for Imaging of live cell adhesion, *Analyst*, vol. 138, no. 20, pp. 5886-5894.
4. Cunningham, B. T., Zhang, M., Zhuo, Y., Kwon, L., Race, C., 2014. Review of recent advances in Biosensing with Photonic Crystals, *IEEE Sensors Journal*, 2014 IEEE Sensors Conference, Doi. 10.1109/JSEN.2015.2429738, April 2015.
5. Zhang, M., Peh, J., Hergenrother, P. J., Cunningham, B. T., 2014. Detection of Protein-Small Molecule Binding using a Self-Referencing External Cavity Laser Biosensor, *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 136, pp. 5840-5843.
6. Peterson, R. D., Cunningham, B. T., Andrade, J., 2014. A Photonic Crystal Biosensor Assay for Ferritin Utilizing Iron-Oxide Nano Particles, *Biosens. and Bioelectron.*, Vol. 56, pp. 320-327.
7. Shamah, S. M., Cunningham, B. T., 2011. Label-free Cell-based Assays using Photonic Crystal Optical Biosensors, *Analyst*, vol. 136, pp. 1090-1102.
8. Tan, Y., Sutanto, E., Alleyne, A. G., Cunningham, B. T., 2014. Photonic Crystal Enhancement of a Homogeneous Fluorescent Assay using Submicron Fluid Channels Fabricated by E-jet Patterning, *J. Biophotonics*, Vol. 3-4, pp. 266-275.
9. Pineda, M. F., Chan, L. L., Kuhlenschmidt, T., Kuhlenschmidt, M., Cunningham, B.T., 2009. Rapid Label-free Selective Detection of Porcine Rotavirus using Photonic Crystal Biosensors, *IEEE Sensors Journal*, vol. 9, no. 4, pp. 470-477.
10. Jardinier, E., Pandraud, G., Pham, M. H., French, P. J., Sarro, P. M., 2009. Atomic Layer Deposition of TiO₂ Photonic Crystal Waveguide Biosensors, *J. Phys., Conf. Series* 187, 012043.
11. Kafi, A. K. M., Wu, G., Chen, A., 2008. A Novel Hydrogen Peroxide Biosensor Based on the Immobilization of Horseradish Peroxidase onto Au-modified Titanium Dioxide Nanotub Arrays, *Biosens. Bioelectron.*, vol. 24, pp. 566-571.
12. Cunningham, B. T., Li, P., Schulz, S., Lin, B., Baird, C., Gerstenmaier, J., Genick, C., Wang, F., Fine, E., Laing, L., 2004. Label-free Assays on the BIND System, *J. Biomol. Screen.*, vol. 9, pp. 481-490.
13. Na, Z., Tao, Y., Kui, J., Cai-Xia, S., 2010. Electrochemical Deoxyribonucleic Acid Biosensor Based on Multiwalled Carbon Nanotubes/Ag-TiO₂ Composite Film for Label-Free Phosphinothricin Acetyltransferase Gene Detection by Electrochemical Impedance Spectroscopy, *Chin. J. Anal. Chem.*, vol. 38, no. 3, pp. 301-306.
14. Zhuo, Y., Hu, H., Chen, W., Lu, M., Tian, L., Yu, H., Long, K. D., Chow, E., W. King, P., Singamaneni, S., Cunningham, B. T., 2014. Single Nano Particle Detection using Photonic

- Crystal Enhanced Microscopy, *Analyst*, vol. 139, no. 5, pp. 1007-1015.
15. Chaudhery, V., George, S., Lu, M., Pokhriyal, A., Cunningham, B.T., 2013. Nanostructured Surfaces and Detection Instrumentation for Photonic Crystal Enhanced Fluorescence, *Sensors*, vol. 13, pp. 5561-5584.
 16. Johnson, S. G., Fan, S. H., Villeneuve, P. R., Joannopoulos, J. D., Kolodziejski, L. A., 1999. Guided Modes in Photonic Crystal Slabs, *Phys. Rev. B.*, vol. 60. no. 8, 5751–5758.
 17. Fan, S., Joannopoulos, J. D., 2002. Analysis of Guided Resonances in Photonic Crystal Slabs, *Phys. Rev. B.*, vol. 65 no. 23, pp. 235112(1)-235112(8).
 18. Mortensen, N. A., Xiao, S. S., Pedersen, J., 2008. Liquid-infiltrated Photonic Crystals: Enhanced Light-Matter Interactions for Lab-on-a-chip Applications, *Microfluid. Nanofluid.*, vol. 4, no. 1-2, pp. 117–127.
 19. Qiu, P., Wang, G., Lu, J., Wang, H., 2012. Local Density of States in Photonic Crystal Cavity, *Front. Optoelectron.*, vol. 5, no. 3, pp. 341-344.
 20. <http://ab-initio.mit.edu/MEEP/Tutorial>,
 21. Oskooi, A. F., Roundy, D., Ibanescu, M., Bermel, P., Joannopoulos, J. D., Johnson, S. G., 2010. MEEP: A Flexible, Free-software Package for Electromagnetic Simulations by the FDTD Method, *Comput. Phys. Commun.*, vol. 181, pp. 687–702.
 22. Joannopoulos, J. D., Meade, R. D., Winn, J. N., 1995. *Photonic Crystals: Molding the Flow of Light*, University Press, Princeton.

Determination of Magnetocaloric Effect in $\text{La}_{0.67}\text{Ba}_{0.33}\text{MnO}_3$ from Direct and Indirect Measurements

Selda KILIÇ ÇETİN^{*1}, Ahmet EKİCİBİL²

¹Çukurova University, Central Research Laboratory, 01330

²Çukurova University, Faculty of Sciences and Letters, Department of Physics, 01330

Geliş tarihi: 04.01.2017

Kabul tarihi: 14.03.2017

Abstract

In this study, we investigated magnetocaloric properties of the perovskite compound $\text{La}_{0.67}\text{Ba}_{0.33}\text{MnO}_3$ synthesized by sol-gel technique. The temperature dependent magnetization measurements at 50Oe applied magnetic field showed that the sample displays a ferromagnetic-paramagnetic transition with increasing temperature. ΔT_{ad} of the sample was measured both on increasing and decreasing fields directly. The results indicate that the magnetocaloric effect is largely reversible due to showing the same ΔT_{ad} for both cases.

Keywords: Magnetic refrigeration, Magnetocaloric effect, Adiabatic temperature change, Manganite

$\text{La}_{0.67}\text{Ba}_{0.33}\text{MnO}_3$ 'deki Manyetokalorik Etkinin Doğrudan ve Dolaylı Ölçümlerden Belirlenmesi

Öz

Bu çalışmada, sol-jel yöntemi ile üretilen $\text{La}_{0.67}\text{Ba}_{0.33}\text{MnO}_3$ perovskit bileşiğindeki manyetokalorik etki özelliği incelenmiştir. 50 Oe uygulanan manyetik alan altında sıcaklığa bağlı manyetizasyon ölçümlerinden örneğin sıcaklığın artışıyla birlikte ferromanyetik-paramanyetik faz geçişi gösterdiği gözlenmiştir. Örneğin ΔT_{ad} değeri alan artarken ve azalırken doğrudan ölçülmüştür. Sonuçlar ΔT_{ad} 'nin her iki durumda da aynı değeri göstermesinden manyetokalorik etkinin tersinir olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Manyetik soğutma, Manyetokalorik etki, Adiyabatik sıcaklık değişimi, Manganit

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Selda KILIÇ ÇETİN, kilics@cu.edu.tr

1. INTRODUCTION

Magnetic refrigeration (MR) based on the magnetocaloric effect (MCE) has potential as a promising alternative to conventional gas compression refrigeration due to its unique advantages such as high energy efficiency, environmentally friendly, low noise, soft vibration and longer usage time [1-3]. Therefore, there is an increasing attention to find materials that show large values of magnetocaloric effect near room temperature. MCE is a magnetothermodynamic phenomenon and induced via coupling of a magnetic sublattice with the magnetic field which alters the magnetic part of the total entropy due to a corresponding change of the magnetic field [4].

The MCE is defined as an isothermal magnetic entropy change (ΔS_M) or an adiabatic temperature change (ΔT_{ad}) when the magnetic material is subjected to a changing magnetic field. The MR technology needs the materials that show large ΔS_M , ΔT_{ad} and refrigerant capacity near room temperature by the application of external magnetic field [5].

The MCE has been studied in a large variety of magnetic materials [6]. The rare-earth perovskite manganites of the general formula $\text{R}_{1-x}\text{A}_x\text{MnO}_3$ (R: rare-earth cation, A: alkali-metal or alkaline-earth cation), due to their adjustable Curie temperature and saturation magnetization by varying the composition, low-cost synthesis, high resistivity and low eddy-current-loss compared to metallic alloys, and large magnetic entropy change are also expected to be promising candidates in magnetic refrigeration technology [4,7-9].

In this work, we have performed a study on magnetic and magnetocaloric properties of $\text{La}_{0.67}\text{Ba}_{0.33}\text{MnO}_3$ manganite. We have investigated the magnetocaloric properties of sample by direct and indirect measurement techniques. We have measured the adiabatic temperature change value of the sample by using an adiabatic magnetocalorimeter system directly.

2. MATERIAL AND METHOD

The $\text{La}_{0.67}\text{Ba}_{0.33}\text{MnO}_3$ sample was synthesized by using the sol-gel technique with high purity powders of La_2O_3 , $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Monoethylene glycol with 99.9% purity, citric acid monohydrate with 99.9% purity, and nitric acid with 70% purity were used as a chelating substance. Obtained material was mixed and heated by a magnetic stirrer at 300°C until obtaining gel-like precipitation. This precursor was heated at 500°C for 1 h to burn. The final material was ground by using an agate mortar to obtain fine powders. Then the material was pressed into pellet form and sintered 1150°C for 24 h in air.

The crystal structure of the sample was determined by X-ray diffraction (XRD) using $\text{Cu K}\alpha$ radiation. The XRD pattern showed the reflections typical of the perovskite structure with orthorhombic symmetry. Magnetization measurements were carried out using a superconducting quantum interface device (SQUID) magnetometer (Quantum Design MPMS XL). The magnetic entropy change values were obtained from isothermal magnetization measurements near the phase transition region and the adiabatic temperature change was measured directly in an adiabatic magneto-calorimeter system.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Figure 1 shows the temperature dependence of low field magnetization for the sample that was measured in a wide range of temperature in 50 Oe applied magnetic field at zero-field cooled (ZFC) and field-cooled (FC) process in order to determine the transition temperature of the material. The paramagnetic to ferromagnetic phase transition temperature which is known as Curie temperature (T_C) is determined as $T_C \sim 245$ K from the temperature at which the $dM/dT-T$ curve reaches a minimum.

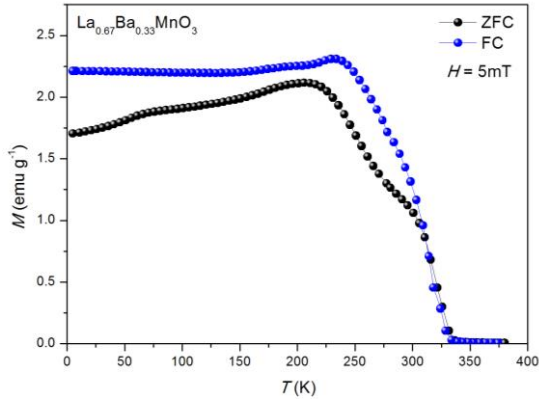


Figure 1. Thermomagnetic curves of the sample in a magnetic field of 5mT at zero-field cooled (ZFC) and field-cooled (FC) process

We have measured $M(H)$ isotherms to evaluate the magnetic entropy change around transition region as a function of temperature. Figure 2 shows the $M(H)$ curves of the sample which were taken up to 5T at various temperatures near T_C in 4K intervals from 180 K to 304K. While $M(H)$ curves at temperatures above T_C show a linear behaviour, as expected in the paramagnetic state, below T_C , they show ferromagnetic behaviour followed by a slow approach to saturation at higher fields. The isothermal magnetic entropy change, induced by the magnetic field change can be calculated using the following relation (Equation 1) [10]:

$$|\Delta S_M| = \sum_i \frac{M_i - M_{i+1}}{T_{i+1} - T_i} \Delta H, \quad (1)$$

where M_i and M_{i+1} are magnetization values measured at temperatures T_i and T_{i+1} , respectively.

We have calculated the $\Delta S_M(T)$ using the Eq.(1) and showed in Figure 3 at different applied magnetic field. As expected, the sample exhibits a maximum in magnetic entropy change in the vicinity of T_C , where the variation of magnetization with temperature is the fastest and $\Delta S_M(T)$ increases with the increasing of applied magnetic field. The maximum magnetic-entropy change reaches 0.59, 1.09, 1.51, 1.90 and 2.20 $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ for a field change of 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 and 4.8 T, respectively.

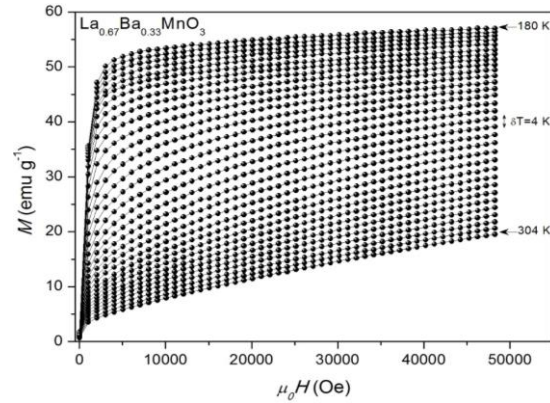


Figure 2. Isothermal magnetization curves around T_C up to 5T

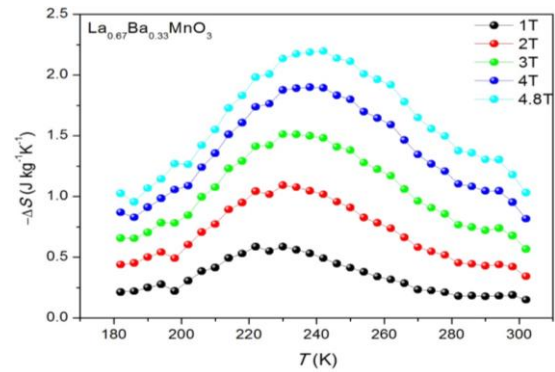


Figure 3. The temperature dependence of ΔS_M at different magnetic fields

Figure 4 shows the Arrott plots which were extracted from the isothermal $M(H)$ curves. According to criterion proposed by Banerjee [11], Arrott plots give a positive slope which confirms that the second order ferromagnetic-paramagnetic phase transition occurs.

In addition to the indirect measurement of the magnetic entropy change, the adiabatic temperature change, ΔT_{ad} , of the sample was estimated directly using an adiabatic magnetocalorimeter system. In the direct measurement, the initial temperature of sample, $T_i(H_i)$ and the final one $T_f(H_f)$ at the end of the applying of magnetic field were measured. And the ΔT_{ad} at T_i has been determined from (Equation 2) [12],

$$\Delta T_{ad} = T_f(H_f) - T_i(H_i). \quad (2)$$

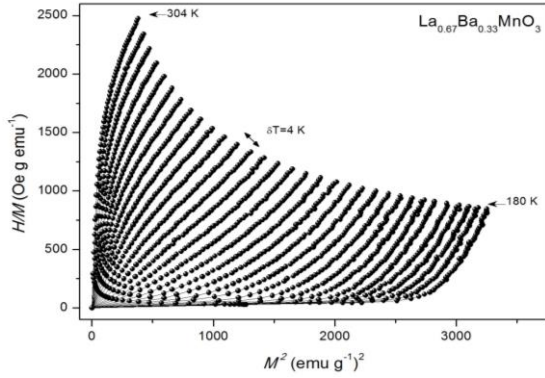


Figure 4. Arrott plots, H/M vs. M^2 around phase transition region at different temperatures

We have placed a chromel-constantan thermocouple into the sample to detect the temperature as the same like in our previous work [5-14]. Figure 5 shows the directly measured ΔT_{ad} obtained both on increasing and decreasing fields near the magnetic phase transition region at 5K intervals. It is clear from the Figure 5 that the ΔT_{ad} is nearly the same for both cases indicating that the MCE is largely reversible. The maximum adiabatic temperature change is measured about 0.78 K around 240 K. We have also measured the cyclic adiabatic temperature-change of the sample at 234K.

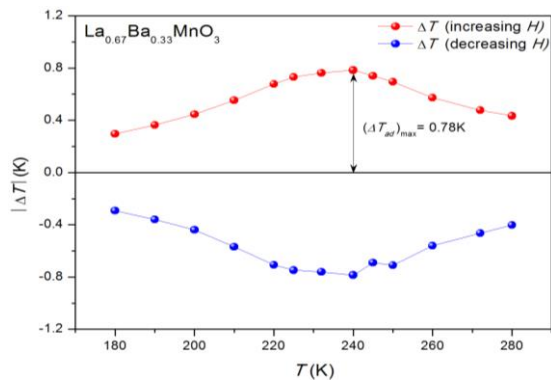


Figure 5. Directly measured adiabatic temperature-change of the sample induced by a magnetic field change of 3T. Red and blue curves represent ΔT measured in increasing and decreasing fields, respectively

Figure 6 shows the cyclic adiabatic temperature change that the magnetic field is applied and removed five times up to 3T. Each step on the time-dependent temperature curve is associated with a magnetizing and a subsequent demagnetizing sequence.

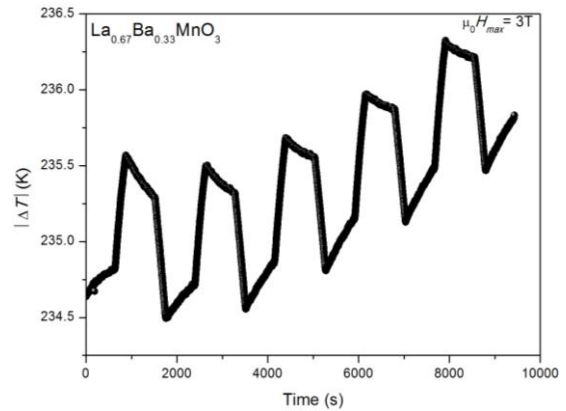


Figure 6. Direct measurement of cyclic adiabatic temperature change of the sample at 235K

From Figure 6, we conclude that the sample shows reversible magnetocaloric effect and no hysteresis loss because each step gives nearly the same value of adiabatic temperature change.

3. CONCLUSION

In summary, we have investigated the magnetic and magnetocaloric properties of $\text{La}_{0.67}\text{Ba}_{0.33}\text{MnO}_3$ perovskite manganite synthesized by sol-gel technique. The thermomagnetic measurements showed that the sample shows ferromagnetic to paramagnetic phase transition with increasing temperature. The Curie temperature of the sample was determined as $T_C \sim 245$ K. We have performed the isothermal magnetization measurements near the phase transition region to determine the magnetic entropy change. The maximum magnetic entropy change was determined as 0.59, 1.09, 1.51, 1.90 and 2.20 $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ for a field change of 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 and 4.8 T, respectively. We have also measured the adiabatic temperature change using an adiabatic magneto-calorimeter system directly

under a magnetic field change of 3T. The maximum adiabatic temperature change is determined as 0.78 K at 240 K. The cyclic adiabatic temperature change measurements indicated that the sample shows a reversible magnetocaloric effect due to showing the same ΔT_{ad} for each step. And this means that the sample shows no magnetic hysteresis loss which is essential for the magnetic refrigeration systems.

4. ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the Research Fund of Çukurova University, Adana, Turkey, under grant contracts no. FBA-2016-7314 and FBA-2015-5028.

5. REFERENCES

1. Guo, Z. B, Du, Y. W., Zhu, J. S., Huang, H., Ding, W. P., Feng, D., 1997. Large Magnetic Entropy Change in Perovskite-Type Manganese Oxides. *Phys. Rev. Lett.* 78: 1142.
2. Sarkar, P., Mandal, P., Choudhury, P., 2008. Large Magnetocaloric Effect in $\text{Sm}_{0.52}\text{Sr}_{0.48}\text{MnO}_3$ in Low Magnetic Field. *Appl. Phys. Lett.* 92, 182506.
3. Kumar, V. S., Mahendiran R., 2011. Effect of Impurity Doping at the Mn-site on Magnetocaloric Effect in $\text{Pr}_{0.6}\text{Ca}_{0.4}\text{Mn}_{0.96}\text{B}_{0.04}\text{O}_3$ (B=Al, Fe, Cr, Ni, Co, and Ru). *J. Appl. Phys.* 109, 023903.
4. Das, S., Dey, T. K., 2006. Magnetocaloric Effect in Potassium Doped Lanthanum Manganite Perovskites Prepared by a Pyrophoric Method. *J. Phys.: Condens. Matter* 18, 7629-7641.
5. Çetin, S. K., Acet, M., Güneş, M., Ekicibil, A., Farle, M., 2015. Magnetocaloric Effect in $(\text{La}_{1-x}\text{Sm}_x)_{0.67}\text{Pb}_{0.33}\text{MnO}_3$ ($0 \leq x \leq 0.3$). *J. Alloys Comp.* 650, 285-294.
6. Phan, M. H., Yu, S. C., 2007. Review of the Magnetocaloric Effect in Manganite Materials. *J. Magn. Magn. Mater.* 308, 325-340.
7. Wang, Z., Xu, Q., Ni, G., Zhang, H., 2011. Magnetic Entropy Change in Perovskite Manganites $\text{La}_{0.6}\text{Pr}_{0.1}\text{Pb}_{0.3}\text{MnO}_3$ with Double Metal-insulator Peaks. *Physica B* 406, 4333-4337.
8. Kolat, V. S., Izgi, T., Kaya, A. O., Bayri, N., Gencer, H., Atalay, S., 2010. Metamagnetic Transition and Magnetocaloric Effect in Charge-ordered $\text{Pr}_{0.68}\text{Ca}_{0.32-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ($x=0, 0.1, 0.18, 0.26$ and 0.32) Compounds. *J. Magn. Magn. Mater.* 322, 427-433.
9. Phan, M.H., Tian, S.B., Hoang, D. Q., Yu, S. C., Nguyen, C., Ulyanov, A. N., 2003. Large Magnetic-entropy Change Above 300K in CMR Materials. *J. Magn. Magn. Mater.* 25-259: 309-311.
10. Pecharsky, V. K., Gschneidner, K. A. Jr., 1999. Magnetocaloric Effect and Magnetic Refrigeration. *J. Magn. Magn. Mater.* 200: 44-56.
11. Banerjee, B. K., 1964. On a Generalised Approach to First and Second Order Magnetic Transitions. *Phys. Lett.* 12, 16-17.
12. Tishin, A. M., 1999. Handbook of Magnetic Materials, Ed. By Bushow, K. H. J. (Elsevier, Amsterdam), Vol. 12, p. 395.
13. Çetin, S. K., Acet, M., Ekicibil, A., Sarıkürkçü, C., Kıymaç, K., 2013. Reversibility in the Adiabatic Temperature Change of $\text{Pr}_{0.73}\text{Pb}_{0.27}\text{MnO}_3$. *J. Alloys Comp.* 565, 139-143.

Investigation of Diffuser Augmented Wind Turbine Technologies

Beşir ŞAHİN^{*1}, Akın İLHAN¹, Mehmet BİLGİLİ²

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana

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

Geliş tarihi: 09.01.2017

Kabul tarihi: 14.03.2017

Abstract

Renewable energy technologies play an important role in contribution of global energy demand as well as conservation of the environment. Researchers have realized that wind turbines combined with a diffuser increase efficiency and start generating electricity with a lower wind speed. It is also expected that increasing efficiency of wind turbine results in reduction of energy generation cost. In this respects, designing wind turbine running with high efficiency with a lower wind speed needs further research and development. In this study, performance indicators of variety geometrically structured horizontal and vertical axis wind turbine technologies which their output power augmented through utilization of diffusers were investigated in detail.

Keywords: Diffuser, Renewable energy, Wind turbine

Yayıcı ile Güçlendirilmiş Rüzgar Türbini Teknolojilerinin İncelenmesi

Öz

Küresel enerji ihtiyacının temin edilmesi ve çevrenin korunumu üzerine katkının sağlanmasında, yenilenebilir enerji teknolojileri önemli rol oynamaktadır. Araştırmacılar, yayıcı ile birleştirilmiş rüzgar türbinlerinin verimliliği artırdığını ve daha düşük rüzgar hızlarında elektrik üretimine başladıklarını fark etmişlerdir. İlaveten, rüzgar türbinine ait verimin artırılması, enerji üretim maliyetinin düşmesine sebep olmaktadır. Bu bakımdan, yüksek verimde ve daha düşük rüzgar hızında çalışan rüzgar türbinlerinin tasarımı ilave araştırma ve geliştirmeye ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışmada, yayıcı ile güçlendirilmiş yatay ve dikey eksenli türbin teknolojilerinin farklı geometrilereki performans göstergeleri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar türbini, Yayıcı, Yenilenebilir enerji

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Beşir ŞAHİN, bsahin@cu.edu.tr

1. INTRODUCTION

Wind power generation systems have been in use more than 3000 years and several different types of wind-mills have been invented 3000 years ago by the appearance of the ancient Persian vertical axis wind-mills. A starting point of wind power generation system started to be used in electrical power generation in late 1800s and early 1900s. Wind turbines mainly started to spread across the world in last three decades as reported by Sørensen [1]. A wind turbine generates power from the wind with the cube of the wind speed, defined by $P=0.5\rho AV^3$. Namely, minor rise in wind speed can induce a large increase in wind power generation. For that reason, developing new technologies can considerably accelerate the approaching wind speed is the desired fact. In this respect, augmenting wind turbines with diffuser (DAWT) was first proposed by Lilley and Rainbird [2] in 1956. This work was followed by many other studies such as Oman et al. [3], Igra [4], Foreman et al. [5], Gilbert et al. [6], Igra [7], Gilbert and Foreman [8], Phillips et al. [9], Hansen et al. [10], Bet and Grassmann [11], Jafari and Kosasih [12] and Shonhiwa and Makaka [13].

According to the Betz limit, the maximum possible ideal conversion of wind power is $C_{Pmax} = 0.593$ [14]. There have been several different designs of wind turbines which cannot generate power beyond the Betz limit as seen in Figure 1. Ilhan performed the processing of the real annual power output data of an installed wind farm where in the case of bare wind turbines, the average monthly power coefficient, C_p of the identical wind turbines in farm were calculated to be lower than Betz limit [15].

2. DEVELOPMENTS OF WIND TURBINE CAPACITY AND INSTALLATIONS

The capacity of wind turbines increased significantly in last two decades and they were classified with different categories by Tummala et al. [17] as presented in Table 1. The leading companies have started to manufacture wind

turbines with the capacities of 7.5-8 MW. It is also known that there are projects for developing wind turbines for offshore installations with the power capacity of 10-20 MW.

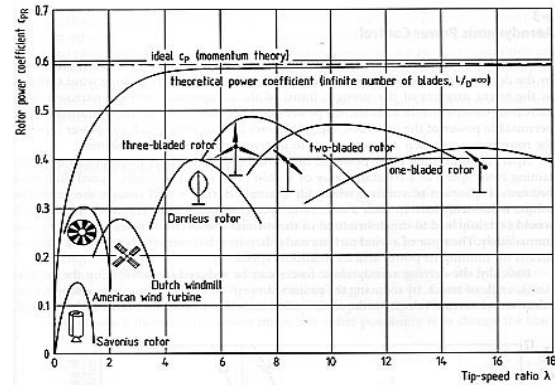


Figure 1. Power coefficient, C_p of different wind turbine designs, Hau [16]

The global concentration of CO_2 increased from 277 ppm in 1950 to 398 ppm in 2014 which corresponds to 43% [18] due to mostly fossil fuel consumptions. Whole world is very anxious about the impact of CO_2 emissions on the environment. One of the alternatives in the reduction of CO_2 generation is the wind power energy. In this respect, technological development, progress in energy efficiency and considerable growth of energy generation from renewable energy sources are the three among several factors caused this percentage reduction in increase of CO_2 emissions [19].

The global wind power capacity has been growing rapidly for last 10 years as shown in Figure 2. It seems that wind energy generation is one of the most crucial alternatives of reducing fossil fuel consumption which is the main source of CO_2 emissions [20]. In last decade, the cost of initial investment of wind turbines has been declined considerably due to the progress of manufacturing technologies and a high rate of demand on wind turbines resulted of this reduction. In connection with these reasons, global wind power cumulative capacity has grown up significantly. In the near future, the rate of wind power installations is going to be substantially increased worldwide.

2.1. Wind Turbines with Diffuser

Shrouding of wind turbines is one of the most important ways of increasing the output power and reducing the cost of power generation. That is to say, an important way of enhancing the wind turbine output power under low wind speed can be achieved through concentrating of air by shrouding geometry. This involves the rotor with diverging and converging ducts to convey the air mass flow rate through the wind turbine at a higher rate. Studies demonstrated that better performance under low free-stream wind speed, U was observed with concentrating shroud utilization compared to a conventional horizontal or vertical axis wind turbine [13].

In performance of diffuser augmented wind turbines, most effective design parameters are mainly diffuser cone angle, 2θ , diffuser length, L and inlet diameter, D_1 and outlet diameter, D_2 . Three different geometric configurations of

diffusers as shown in Figure 3a were selected by Disterfano et al. [21] measured the axial velocity distributions along the diffuser under variations of diffuser cone angles, 2θ and lengths, L . As reported in Figure 3b, the highest velocity, $u/U = 1.48$ takes place at a location very close to the diffuser entry for the smallest cone angle, $2\theta = 10^\circ$ and the longest diffuser length ratio, $L/D = 2.32$ symbolized as diffuser 2. However, Ohya and Karasudani [22] also obtained maximum speed ratio, $u/U = 1.75$ experimentally, at a location very close to the diffuser entry with opening angle $2\theta = 8^\circ$ and diffuser length ratio, $L/D = 7.7$ as seen in Figure 3c.

Innovative and original aspects of ongoing research works focus on ensuring the optimization of a casing system around the turbine consisting of nozzle-diffuser-flange combination or lens is used in order to enhance the performance of small scaled conventional wind turbines having moderate capacity.

Table 1. Classification of horizontal axis wind turbines with rotor diameters and power rating, Tummala et al [17]

Type of wind turbine	Rotor diameter (m)		Swept area (m ²)		Standard power rating (kW)		
Small scale	Micro	0.5	1.25	0.2	1.2	0.004	0.25
	Mini	1.25	3	1.2	7.1	0.25	1.4
	Household	3	10	7.1	79	1.4	16
Small commercial	10	20	79	314	25	100	
Medium commercial	20	50	314	1963	100	1000	
Large commercial	50	100	1963	7854	1000	3000	
Largest commercial	100	160	7854	20106	3000	8000	
Under development [16]	160	220	20106	38013	8000	20000	

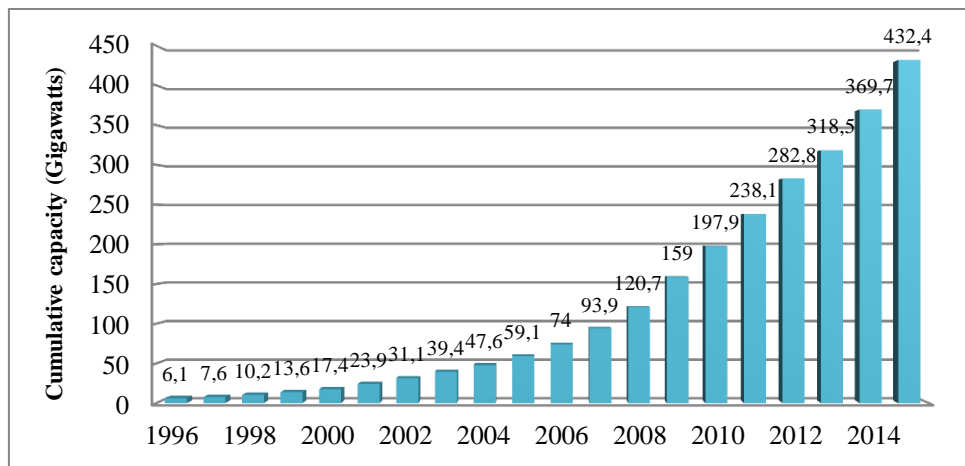


Figure 2. Global wind power cumulative capacity [19]

In the case of nozzle-diffuser-flange casing system, instead of having a straight diffuser wall, it is better to have a curved wall like an airfoil geometry as seen in Figure 4. Illustration of the axial velocity profile along the central axis of diffuser without wind turbine given by Rio Vaz et al. [23] demonstrates that axial velocity is maximum close to the inlet section of the curved wall diffuser. This presents the importance of curved shrouding on the velocity enhancement.

Conical diffusers as seen in Figure 5a have main parameters of dimensionless length, L/D and dimensionless flange height, H/D which effect power coefficient, C_p significantly. For example, having a small value of dimensionless length based on diffuser exit diameter, L/D_2 causes high cone angle, 2θ resulting in flow separation in the diffuser which can cause considerable reduction in the overall power coefficient, C_p as reported by Jafari and Kosasih [12]. Several diffuser geometry performances in terms of wind speed enhancement as presented in Figure 5b were examined by

Shives and Crawford [24], numerically. The diffuser inlet-outlet area ratio, D_1/D_2 or cone angles, 2θ significantly influence the degree of boundary layer separations from the surface of diffusers to deteriorate the performance of wind turbine which is characterized by a reduction in the diffuser efficiency. In summary, turbine rotor blades initially placed in a diffuser, later a flange system was combined with the diffuser, presently, a casing system consisted of a nozzle, diffuser and a flange are used to further upgrade the wind turbine performance by obtaining an increase of air mass flow rate and wind speed passing through turbine blades. Diffuser augmented wind turbine improves the power coefficient, C_p significantly as seen in Figure 6. Since the conical diffuser of Disterfano et al. [21] is very lengthily, thus, it may not be practical to use for high rate of wind loading due to receiving high wind loading. Considering these reasons, optimized diffuser length, L is to become shorter in commercially manufactured wind turbines.

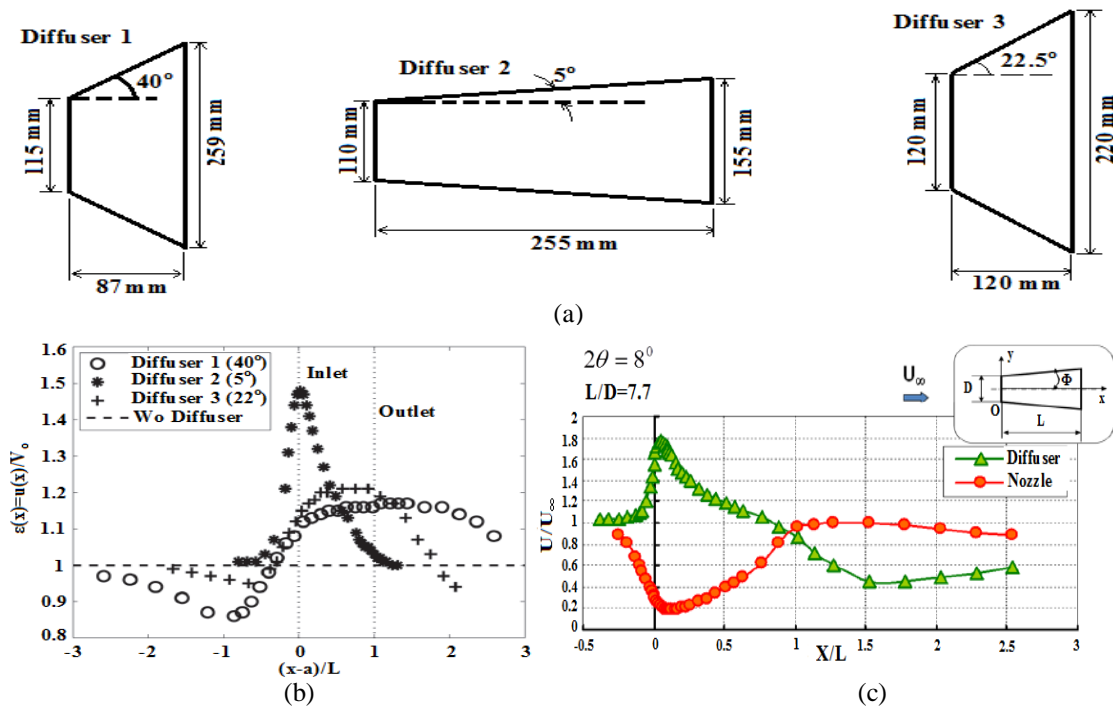


Figure 3. a) Diffusers with different dimensions, b) Velocity distributions along the axis of diffusers [21], and c) Velocity distributions along the axis of diffuser [22]

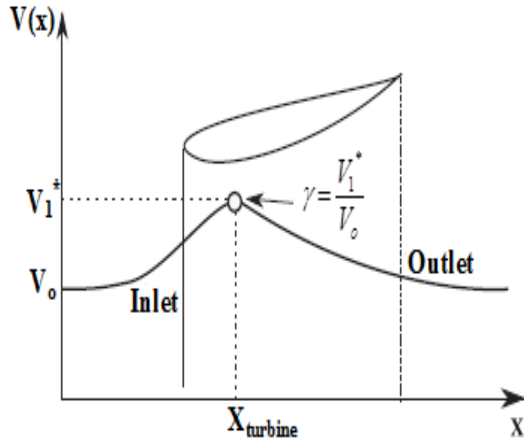


Figure 4. Illustration of the axial velocity profile on the symmetry axis of a diffuser without wind turbine [23]

2.2. Wind Turbine with Nozzle-Diffuser-Flange

Ohya and Karasudani [22] constructed a diffuser geometry with dimensions of $L/D= 1.47$ and $h/D= 0.5$ as shown in Figure 7. Here, L is the length of the diffuser and D is the diffuser diameter where turbine is located and h indicates the height of the flange.

As presented in Figure 7, Ohya and Karasudani [22] reported that flange inclusion to the diffuser increases the output power around 4–5 times that of a conventional wind turbine. The experimental results of Ohya et al. [25] presented that the power coefficient, C_p of the wind turbine combined with flanged diffuser is $C_p = 1.4$, whereas, the power coefficient, C_p for bare wind turbines is only $C_p = 0.35$.

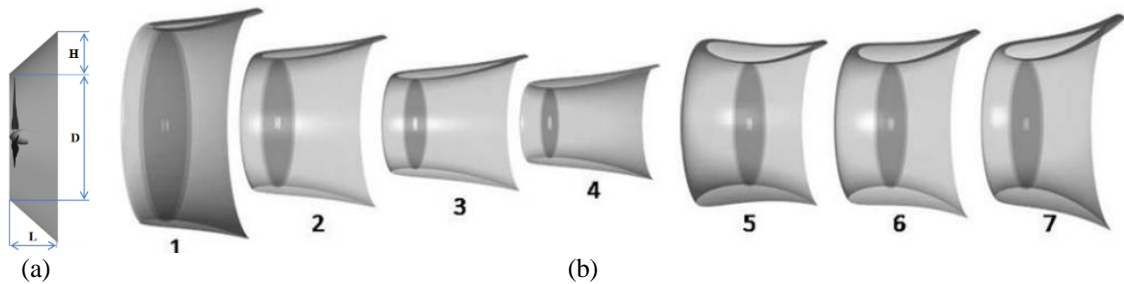


Figure 5. a) Diffuser geometry with straight wall [12] and b) Blade profiled diffusers for wind turbines [24]

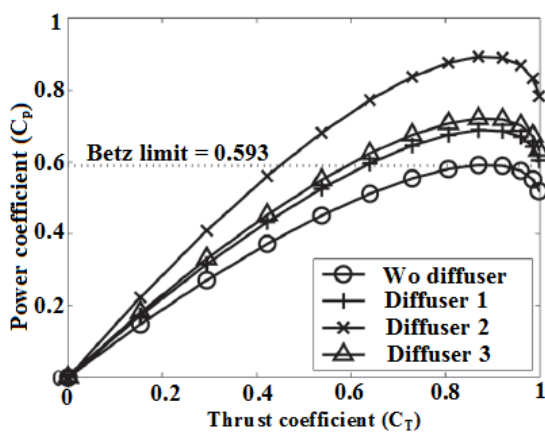


Figure 6. Computed power coefficient, C_p for a rotor in a diffuser given as a function of the thrust coefficient, C_T , [21]

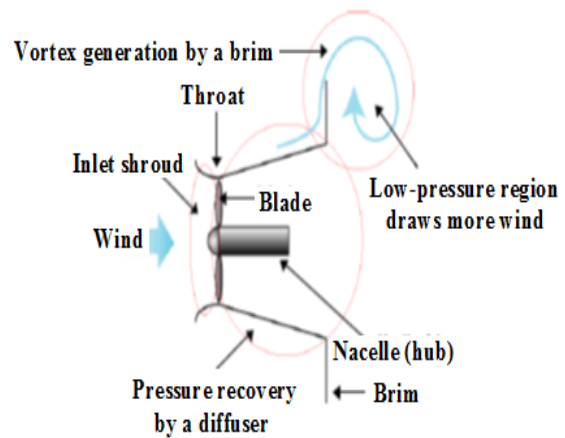


Figure 7. Flow around a wind turbine with brimmed diffuser (nozzle-diffuser-flange), [22]

Ohya and Karasudani [22] combined a shorter curved diffuser with a flange to the outlet periphery of the diffuser and formed a curved nozzle as inlet shrouding attached to the entrance of the diffuser as seen in Figure 8. This flange named as *brim* develops vortices and shedding of these vortices causes a low-pressure region downstream of the diffuser and curved nozzle at the entrance results in higher mass flow rate of air through the wind turbine rotor blades [26].

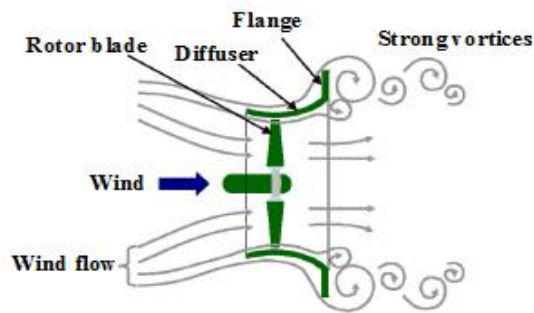


Figure 8. Illustration of curved nozzle-diffuser casing structure including brim [26]

Because of high rate of drag force, F_D , the axial length of the nozzle-diffuser-flange type casing was constrained.



Figure 9. Propeller placed inside the shrouding form of double airfoil structures [11]

Bet and Grassmann [11] concluded that one can increase power generation by a factor of 2 comparing to the bare wind turbine when an optimum length of diffuser consisted of a couple of wind profiles as shown in Figure 9 that has an area equal to the swept area of the rotor. Similar numerical work was also conducted by Kannan et

al. [27] using two diffusers with straight walls as a casing for wind turbine.

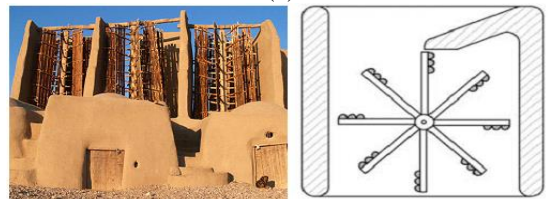
2.3. Vertical Axis Wind Turbine

Presently, reviewed turbines are capable of producing electricity generation in lower wind speeds; they attain to their maximum power values with lower wind speeds as well and also result of generating higher efficiencies. On the other hand, a few samples of vertical axis wind turbines are shown in Figure 10a. However, it is worth to mention that the earliest known vertical axis windmills built by Persians in Nashtifan which is in the east of Khorasan of Iran approximately 2500-3000 years ago for the purpose of grinding grains and those had a concentrator as shown in Figure 10b. The diffuser shaped shroud as seen in Figure 11, along with a few other changes, are able to significantly improve the power generated by the vertical axis turbine which corresponds to a rise of about 2.5 times the power coefficient, C_p .

In recent years; numerical, analytical and all experimental works are also performed by several other researchers to optimize design parameters of vertical axis wind turbines.



(a)



(b)

Figure 10. a) Samples of vertical axis wind turbines, b) The earliest known vertical axis windmills built by Persians in Nashtifan located in the east of Khorasan of Iran

The studies of Altan et al. [28] introduce a new concentrator arrangement to improve the performance of Savonius type vertical axis wind turbines. The diffuser type concentrator was placed in front of the rotor preventing the negative torque opposite the rotor rotation. The geometrical parameters of guide vanes conveying the air into VAWT rotor were optimized to generate an optimum performance. They found that maximum power coefficient, C_p of the Savonius type vertical axis wind turbine is increased to about 38.5%.

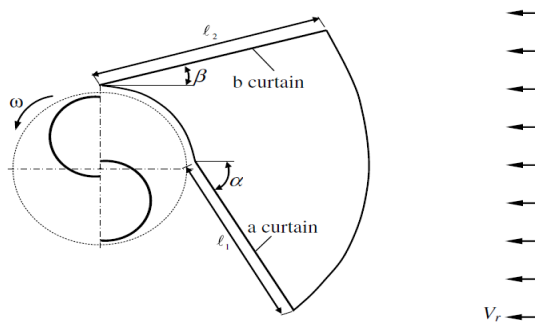


Figure 11. Geometrical parameters optimized for the entrance arrangement of vertical axis wind turbine ($L_1= 45$ cm, $L_2= 52$ cm, $\alpha= 45^\circ$, $\beta= 15^\circ$) [25]

3. CONCLUSIONS

In this regards, renewable energy technologies play an important role in contributing global energy demand and conservation of the environment. Researchers have realized that wind turbines that are combined with a diffuser structure result increase of the efficiency and those start generating of electricity at lower wind speed values. Thus, usage of lens around a wind turbine can also serve in exceeding of the Betz limit. Also, system components manufactured with lighter materials such as carbon fiber cause reduction of the overall weight of the system. Prevailing with these new types and utilization from the moderate capacity wind turbines globally increase the total installed wind capacity of the world. Namely, total area of the constructed wind farms expands with these new technologies. Eventually, wind turbines combined with diffuser increase efficiency and

those start generating electricity at lower wind speed values.

4. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank the office of Scientific Research Projects of Cukurova University for funding this project under Contract No. FED-2016-7128.

5. REFERENCES

1. Sørensen, J. N., 2011. Aerodynamic Aspects of Wind Energy Conversion, *Annu Rev Fluid Mech.*, 43, p. 427-448.
2. Lilley, G. M., Rainbird, W. J., 1956. A Preliminary Report on the Design and Performance of Ducted Windmills; Report 102; College of Aeronautics Cranfield: Cranfield, UK.
3. Oman, R. A., Foreman, K. M., Gilbert, B. L., 1975. A Progress Report on the Diffuser Augmented Wind Turbine, In Proceedings of the 3rd Biennial Conference and Workshop on Wind Energy Conversion Systems, Washington, DC, USA, 8(12), p. 829–826.
4. Igra, O., 1977. Compact Shrouds for Wind Turbines, *Energy Conversion and Management*, 16, p. 149–157.
5. Foreman, K. M., Gilbert, B., Oman, R. A., 1978. Diffuser Augmentation of Wind Turbines, *Solar Energy*, 20, p. 305–311.
6. Gilbert, B. L., Oman, R. A., Foreman, K. M., 1978. Fluid Dynamics of Diffuser-Augmented Wind Turbines, *Journal of Energy*, 2, p. 368–374.
7. Igra, O., 1981. Research and Development for Shrouded Wind Turbines, *Energy Conversion and Management*, 21, p. 13–48.
8. Gilbert, B. L., Foreman, K. M., 1983. Experiments with a Diffuser-Augmented Model Wind Turbine, *Trans. ASME, Journal of Energy Resources Technology*, 105, p. 46–53.
9. Phillips, D. G., Richards, P. J., Flay, R. G. J., 2002. CFD Modelling and the Development of the Diffuser Augmented Wind Turbine, *Wind and Structures*, 5, p. 267–276.

10. Hansen, M. O. L., Sørensen, N. N., Flay, R. G. J., 2000. Effect of Placing a Diffuser Around a Wind Turbine, *Wind Energy*, 3, p. 207–213.
11. Bet, F., Grassmann, H., 2003. Upgrading Conventional Wind Turbines, *Renewable Energy*, 28, p. 71–78.
12. Jafari, S. A. H., Kosasih, B., 2014. Flow Analysis of Shrouded Small Wind Turbine with a Simple Frustum Diffuser with Computational Fluid Dynamics Simulations. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 125, p. 102–110.
13. Shonhiwa, C., Makaka, G., 2016. Concentrator Augmented Wind Turbines: A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, p. 1415–1418.
14. Bilgili, M., Yasar, A., Ilhan, A., Sahin, B., 2015. Aerodynamic Characteristics of a Horizontal Axis Wind Turbine in Belen-Hatay, Turkey, *International Journal of Natural and Engineering Sciences*, 9 (1), p. 54-58.
15. Ilhan, A., Efficiency Analysis of an Installed Wind Farm, MSc Thesis, Cukurova University, Institute of Natural and Applied Sciences, Adana, 2014.
16. Hau, E., 2006. *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics*, Springer, Germany.
17. Tummala, A., Velamati, R. K., Sinha, D. K., Indraja, V., Krishna, V. H., 2016. Review on Small Scale Wind Turbines, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, p. 1351-1371.
18. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Renewables, Global Status Report, 2016. Available from <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>
19. Global Wind Energy Council, Global Wind Statistics, 2015. Available from http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-PRstats-2015_LR.pdf
20. Bilgili, M., Ozbek, A., Sahin, B., Kahraman, A., 2015. An Overview of Renewable Electric Power Capacity and Progress in New Technologies in the World, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, p. 323-334.
21. Disterfano, L. M., Jerson, R. P. B., Savio, W. O. V., Oliveira, E. F. M., Erb, F. S. L., Lins, S. E. F., Mesquita, A. L. A., 2015. An Investigation of a Mathematical Model for the Internal Velocity Profile of Conical Diffusers Applied to DAWTs, *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 87(2), p. 1133-1148.
22. Ohya, Y., Karasudani, T., 2010. A Shrouded Wind Turbine Generating High Output Power with Wind-Lens Technology, *Energies*, 3, p. 634–649.
23. Rio Vaz, D. A. T. D., Mesquita, A. L. A., Vaz, J. R. P., Blanco, C. J. C., Pinho, J. T., 2014. An Extension of the Blade Element Momentum Method Applied to Diffuser Augmented Wind Turbines, *Energy Conversion and Management*, 87, p. 1116–1123.
24. Shives, M., Crawford, C., 2011. Developing an Empirical Model for Ducted Tidal Turbine Performance Using Numerical Simulation Results, *Proc. Inst. Mech. Eng., Part A, Journal of Power and Energy*, 226(1), p. 112-125.
25. Ohya, Y., Karasudani, T., Sakuraib, A., Abeb, K., Inouec, K., 2008. Development of a Shrouded Wind Turbine with a Flanged Diffuser, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96, p. 524–539.
26. Wang, W. X., Matsubara, T., Hu, J., Odahara, S., Nagai, T., Karasutani, T., Ohya, Y., 2015. Experimental Investigation into the Influence of the Flanged Diffuser on the Dynamic Behavior of CFRP Blade of a Shrouded Wind Turbine, *Renewable Energy*, 78, p. 386–397.
27. Kannan, T. S., Mutasher, S. A., Kenny Lau, Y.H., 2013. Design and Flow Velocity Simulation of Diffuser Augmented Wind Turbine Using CFD, *Journal of Engineering Science and Technology*, 8(4), p. 372-384.
28. Altan, B. D., Atilgan, M., Ozdamar, A., 2008. An Experimental Study on Improvement of a Savonius Rotor Performance with Curtaining, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 32, p. 1673–1678.

Kitosan Destekli Au Nanopartiküller ile Modifiye Edilmiş Alüminyum Elektrotta Hidrojen Gazı Üretimi

Didem BALUN KAYAN^{*1}, Merve İLHAN¹, Derya KOÇAK¹

¹Aksaray Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Aksaray

Geliş tarihi: 09.01.2017

Kabul tarihi: 14.03.2017

Öz

Günümüzün en büyük problemlerinden biri, enerji gereksiniminin karşılanmasında çok büyük oranda fosil yakıtların kullanılmasıdır. Artan enerji ihtiyacının fosil yakıtlardan sağlanması, çevresel problemlere ve enerji maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Bu problemlerin çözümü ancak sürdürülebilir enerji kaynakları kullanımıyla gerçekleştirilebilecektir. Bu yüzden bol miktarda bulunan hidrojen, temiz ve ideal bir yakıt olarak geleceğin enerji kaynağı olarak düşünülmektedir. Hidrojen gazı üretiminin en basit yolu suyun elektrolizidir. Suyun elektrolizi ile hidrojen üretiminde karşılaşılan en büyük problem, elektrokimyasal sistemde oluşan aşırı gerilim nedeniyle maliyet artışıdır. Bu çalışmada suyun elektrolizi ile hidrojen elde etmek amacıyla ucuz bir materyal olarak seçilen alüminyum elektrodun yüzeyi, önce polianilin (PAni)-Kitosan kompozit yapısıyla modifiye edilmiş, daha sonra elde edilen bu kompozit yapı üzerine hidrojen oluşumunda yüksek katalitik aktivite gösteren altın (Au) nanopartiküller ayrıştırılmıştır. Elde edilen tüm yapıların yüzey özellikleri incelenmiş ve elektrokimyasal hidrojen üretimindeki katalitik aktiviteleri çeşitli elektrokimyasal yöntemler kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hidrojen enerjisi, Elektrokataliz, İletken polimer, Kitosan, Au nanopartikül

Hydrogen Gas Production on Aluminium Electrode Modified by Chitosan Supported with Au Nanoparticles

Abstract

One of the major problems of today's world is in its heavy dependency on fossil fuels for energy requirements. The increase in energy requirements causes environmental problems and leads to an increase in energy costs. It has already been obvious that the solution to these problems is to use of sustainable energy resources. Since hydrogen, the most abundant element is the cleanest and ideal fuel, has been considered as the fuel of the future. The simplest way of hydrogen production is the electrolysis of water. The major problem in the electrolysis of water for the hydrogen evolution is the increase in costs due to overvoltage of the electrochemical system. In this study, first the surface of the aluminium electrode as a cheap material, coated with polyanilin (PAni)-Chitosan composite film, then the gold (Au) nanoparticles electrodeposited on this composite surface which show high catalytic activity toward hydrogen production. The surface properties of the all obtained structures are investigated and the catalytic activities of the structures are compared with various electrochemical techniques for the electrocatalytic hydrogen production.

Keywords: Hydrogen energy, Electrocatalysis, Conducting polymer, Chitosan, Au nanoparticle

*Sorumlu yazar (Corresponding author): *Didem BALUN KAYAN, didemalun@aksaray.edu.tr*

1. GİRİŞ

Alternatif enerji kaynakları arayışı çok uzun süredir bilim adamlarının gündeminde yer alan ve tüm insanlığı ilgilendiren önemli bir araştırma konusudur. Özellikle çevreye zarar vermemesi, yenilenebilir ve düşük maliyetli olması alternatif bir enerji kaynağının taşınması gereken en önemli özelliklerdir. Bu anlamda alternatif enerji kaynağı olarak hidrojen enerjisi, verimli ve temiz bir yakıt olduğundan ayrıca fosil yakıtların sebep olduğu çevresel sorunlara yol açmadığından, bir enerji sisteminin sahip olması gereken hemen hemen tüm özellikleri taşımaktadır. Hidrojen doğal bir yakıt olmayıp, diğer enerji kaynaklarından yararlanılarak üretilen sentetik bir yakıttır. Dünyada bol miktarda bulunan hidrojen doğada serbest halde değil, bileşikleri halinde bulunmaktadır. En iyi bilinen bileşiği sudur ve en basit üretim yöntemi suyun elektrolizidir. Ancak suyun elektroliziyle hidrojen üretiminde, elektrokimyasal sistemde meydana gelen aşırı gerilim, yöntemin maliyetini arttıran bir dezavantaj durumundadır. Sudan hidrojen üretimi ile ilgili ilk çalışmalar Fujishima ve Honda [1] tarafından TiO_2 elektrot kullanılarak fotokatalitik olarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra farklı elektrokatalizörlerde hidrojenin daha az enerjiyle ekonomik olarak sudan üretimi üzerine çalışmalar yoğunlaşmış, özellikle son yıllarda verimliliği arttırabilmek, kararlı, ucuz ve kullanılabilir elektrot materyalleri geliştirebilmek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır [2-7].

Günümüzde elektrokatalitik hidrojen üretiminde en aktif katalizörlerin Pt grubu metallerinin olduğu ama bu metallerin yüksek maliyetlerinden dolayı katı metal elektrot olarak kullanımlarının sınırlı kaldığı bilinmektedir [8-10]. Dolayısıyla hidrojen oluşumu reaksiyonu (HER) için daha düşük maliyetli yeni elektrotların geliştirilmesi gerekmektedir. Literatürde farklı metal, metal oksitler ve farklı iletken polimerle modifiye edilmiş elektrotlarda elektrokatalitik hidrojen oluşumu reaksiyonunun incelendiği çalışmalar giderek artmaktadır.

Polianilin, elektrokimyasal uygulamalarda yaygın olarak çalışılan iletken polimerlerdendir. Ancak

endüstriyel uygulamalarda işlenebilirliğinin ve mekaniksel özelliğinin zayıf olması kullanım alanını sınırlamaktadır. Bu yüzden iletken polimerlerin farklı materyallerle kompozitlerinin hazırlandığı çok sayıda çalışmalar gerçekleştirilmiştir [11-14]. İletken polimerlerin soy metallerle kompozitleri teknolojik uygulamalar açısından oldukça önemlidir. Özellikle mikro ve nano boyutta metal partiküller içeren iletken polimer kompozitleri mikro elektronikte ve sensörlerde geniş kullanım alanı bulmaktadırlar [15-17].

Doğal bir biyopolimer olan kitosan, son yıllarda metaller için destek materyali olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yapısındaki -OH ve $-NH_2$ gibi aktif gruplar nedeniyle metallerle etkileşimi yüksek olan kitosanın soy metallerle ve geçiş metalleriyle kompozitleri elde edilmektedir [18-20].

Diğer taraftan, alüminyum ve alaşımları, sahip oldukları mekaniksel, elektriksel ve termal özelliklerinin yanında hafifliklerinden dolayı, taşımacılık, inşaat, paketleme ve elektronik gibi birçok alanda kullanım alanı bulmaktadırlar. Tamamen geri dönüşüme katılabilmesinden dolayı alüminyuma “yaşayan metal” denilmekte, maliyeti, uygulanabilirliği, çevre güvenliği ve hidrojen üretiminde kullanılabilirliği açısından alüminyum, günümüzün sürdürülebilir enerji teması açısından önemli bir metal sayılabilmektedir [21-22]. Alüminyumun iletken polimer ile kaplanması, yüzeyinde oluşan ince fakat yüksek kararlılığa ve elektriksel dirence sahip oksit (Al_2O_3) filminden dolayı oldukça zordur. Bu koruyucu film, yüzeyde polimer oluşumu sırasındaki elektron transferini engellemekte ve polimerizasyon potansiyelini daha pozitif değerlere kaydırmaktadır. Bu nedenle bu konuda yapılan çalışma sayısı çok fazla değildir.

Bu çalışma kapsamında alternatif, yenilenebilir ve temiz hidrojen enerjisinin elektrokatalitik olarak sudan elde edilmesi tasarlanmıştır. Düşük maliyetli alüminyum elektrodun, doğal bir biyopolimer olan kitosan varlığında anilin ile eş zamanlı elektropolimerizasyonu sağlanmış, elde edilen kompozit yapı üzerine, elektrokatalitik aktivitesi yüksek olan altın metalinin nano boyutta biriktirilmesiyle nispeten düşük maliyetli bir

elektrokatalizör geliştirilmiştir. Geliştirilen bu elektrokatalizörün hidrojen üretimindeki katalitik etkinliği elektrokimyasal yöntemlerle incelenmiştir.

2. MATERYAL ve METOT

Çalışma elektrodu olarak %99,99 saflıktaki 3 mm çaplı alüminyum elektrot, uç kısmı açıkta kalacak şekilde polyester ile soğuk kaplama yapılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan alüminyum elektrot, kalımdan inceye doğru zımpara kağıtları ile zımparalandıktan sonra 5 dk etil alkol içerisinde, daha sonra 5 dk saf su içerisinde bekletilerek yüzeydeki safsızlıklar giderilmiştir. Böylece alüminyum elektrot, polimerizasyon için kullanıma hazır hale getirilmiştir. Elektropolimerizasyon için, 0,174 M anilin ihtiva eden 0,3 M okzalik asit çözeltisine 0,01 g kitosan eklenmiş (toplam 5 mL çözelti), sonra bu çözeltiye 5 mL 1,5 M p-toluensülfonik asit çözeltisi eklenmiştir (toplam 10 mL). Elde edilen elektrolit çözeltisi iyice karıştırılarak homojen hale getirilmiş, her deney öncesinde taze olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan alüminyum elektrot, anilin-kitosan çözeltisine daldırılarak elektropolimerizasyon işlemi dönüşümlü voltametri yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Tüm ölçümlerde karşı elektrot olarak Pt tel, referans elektrot olarak Ag/AgCl/Cl⁻ elektrot kullanılmış, ölçümler standart cam hücrede gerçekleştirilmiştir. -0,2 V ile +1,25 V potansiyel aralığında, 10 mV/s tarama hızıyla dönüşümlü voltametri tekniği kullanılarak elektropolimerizasyon gerçekleştirilmiştir. 25 döngü sonucunda alüminyum elektrodun yüzeyi homojen olarak kaplanmış ve film kalınlığı, son döngüde elde edilen ilk anodik pik için geçen yük miktarından (145 mC.cm^{-2}) 2,2 µm olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen kompozit yapıdan monomer ve dimer gibi safsızlıkların uzaklaştırılması için kompozit film ile kaplanan elektrot saf su ile yıkandıktan sonra 0,5 M H₂SO₄ çözeltisinde 5 dk bekletilip karakterizasyon işlemleri ve elektrokimyasal ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Alüminyum elektrodun PAni-Kitosan kompozit yapısıyla modifiye edilmesinden sonra

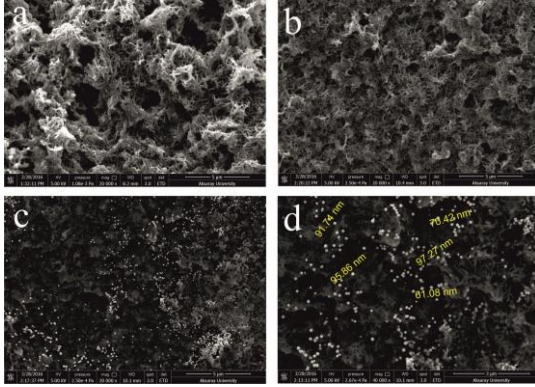
elektrokatalitik aktifliği yüksek Au metalinin kompozit yapı üzerine elektrodepozisyonu gerçekleştirilmiştir. Altının kompozit yüzeye elektrodepozisyonu, 1mM HAuCl₄ (kloroaurik asit) içeren 0,5 M H₂SO₄ elektrolit ortamında, -0,2 V ile +1,3 V potansiyel aralığında 50 mV/s tarama hızıyla dönüşümlü voltametri yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Kompozit film üzerine biriken Au miktarı, $m_{Au} = \frac{Q_{Au}}{nF} \cdot M_{Au}$ eşitliğine göre 80µg olarak hesaplanmış olup, Q_{Au} ; altının elektrodepozisyonu sırasında geçen yükü, $M_{Au} = 196,9 \text{ g/mol}$; altının atomik kütesini, $n=3$; transfer edilen elektron sayısını ve $F=96485 \text{ C/mol}$ olarak Faraday sabitini göstermektedir.

Elektrokimyasal tüm işlemler, Gamry (Interface 1000) marka Elektrokimyasal Çalışma Ünitesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kompozit filmlerin yüzey özellikleri, FEI Quanta 250 FEG marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz edilmiş, kimyasal kompozisyonları SEM cihazına integre edilmiş enerji dağılım spektrometresi (EDAX) ile belirlenmiştir. Ayrıca kompozit filmlerin yapı analizleri, Perkin Elmer Spectrum 100 FTIR marka, Fourier Transform Infrared (FT-IR) spektroskopisi cihazıyla gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

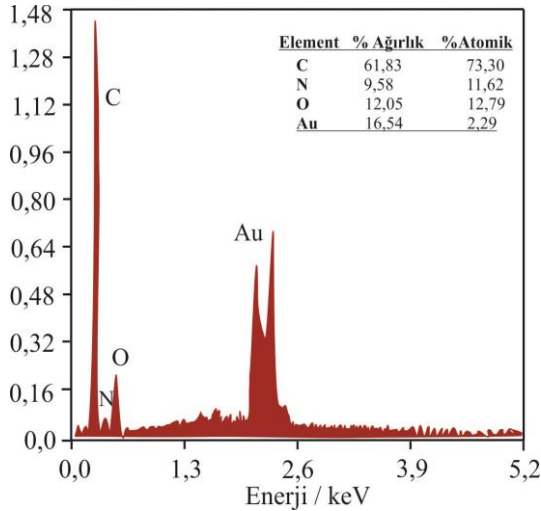
3.1. Yüzey Özellikleri

Kompozit filmlerle kaplanan alüminyum elektrodun ilk olarak yüzey morfolojileri incelenmiş, yüzey özelliklerini incelemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır (Şekil 1). Şekil 1a'da polianilin ile kaplanmış polimerinin tipik saçaklı yapısı görülmektedir. Polianilin yapısına kitosanın katılmasıyla elde edilen filmde, gözenek yapısının küçüldüğü, daha kompakt bir yüzey elde edildiği dolayısıyla kitosanın yapıya katılmasıyla film özelliğini iyileştirdiği görülmüştür (b). Polianilin-Kitosan kompozit yapısının üzerine altının elektrodepozisyonu sonucunda elde edilen film yüzeyinde altın partiküllerinin homojen bir şekilde dağıldığı (c) ve partikül çaplarının 65-95 nm aralığında olduğu görülmektedir (d).



Şekil 1. Alüminyum elektrot üzerine kaplanmış a) PANi filminin, b) PANi-Kitosan, c) PANi-Kitosan/Au ve d) daha yüksek büyütme oranında çekilmiş PANi-Kitosan/Au kompozit filmlerinin SEM görüntüleri

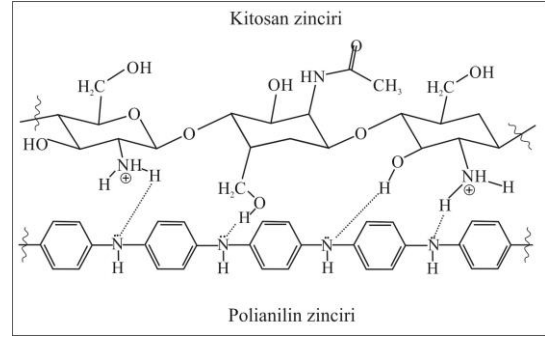
Görüntüleri alınan PANi-Kitosan/Au kompozit yapısının ayrıca yüzey kompozisyonu enerji dağılım spektroskopisi (EDS) ile aydınlatılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. PANi-Kitosan/Au kompozit filminin EDS analizi

Enerji dağılım spektrumu, PANi-Kitosan kompozit yapısında var olan atomlardan karbon, azot ve oksijenin yanında, daha sonra elektrodpozisyon ile yüzeye ayrıştırılan altının yapıya katıldığını doğrulamaktadır.

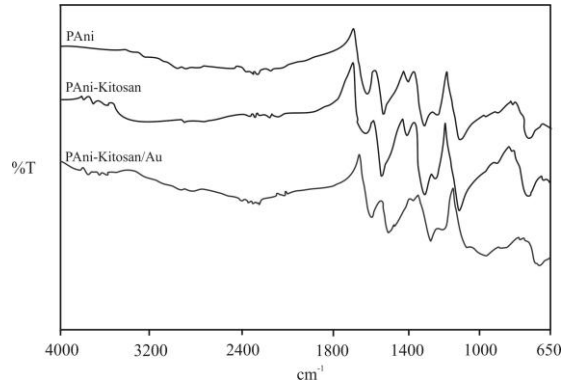
Kitosan zinciri üzerinde bulunan $-NH_2$ ve $-OH$ grupları ile polianilin zinciri üzerindeki azot atomu arasında oluşan hidrojen bağları sonucunda meydana gelen PANi-Kitosan yapısının şematik gösterimi Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. PANi-Kitosan kompozit filmi

3.2. Yapı Analizleri

Alüminyum elektrot üzerine kaplanan PANi, PANi-Kitosan ve PANi-Kitosan/Au filmlerinin yapı analizleri FT-IR spektroskopisiyle incelenmiş, elde edilen sonuçlar Şekil 4'te gösterilmiştir. Yüzeye kaplanan polianilin filminin kitosan ile etkileşimleri ve PANi-Kitosan filminin Au metaliyle etkileşimleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 4. a) PANi filminin, b) PANi-Kitosan ve c) PANi-Kitosan/Au kompozit filmlerinin FT-IR spektrumları

Polianilin karakteristik bantları olan, "benzenoid" yapısına ait $C=C$ ve $C=N$ pikleri 1500 cm^{-1} ve "quinoid" yapısına ait $C=C$ ve $C=N$ pikleri

1590 cm^{-1} dolaylarında gözlemlenmiştir. Yapıya kitosan katıldığında, elde edilen spektrumun saf PANi spektrumuna çok benzediği, ancak 2880 ve 3440 cm^{-1} arasında gözlenen karakteristik bantların genişlediği görülmüştür. Bu durumun, PANi ile kitosanın yapısında bulunan -OH ile -NH₂ grupları arasında gerçekleşen hidrojen bağlarından kaynaklandığı bilinmektedir. Ayrıca yapıya altın katılmasıyla, 1597, 1512 ve 1335 cm^{-1} 'de gözlenen aromatik halkaya ait C=C ve C=N gerilmelerinin daha düşük dalga sayılarına kaydığı gözlemlenmiştir.

3.3. Voltametrik Çalışmalar

Suyun elektroliziyle hidrojen eldesi, katotta meydana gelen,



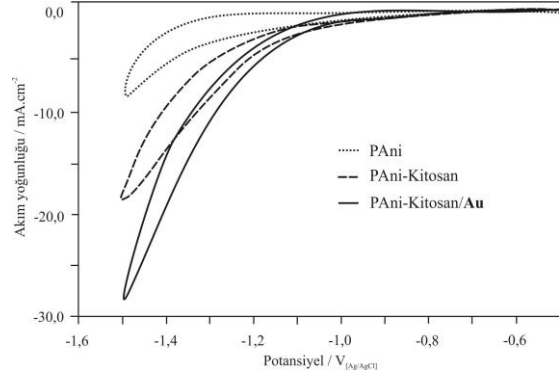
yarı tepkimeye göre gerçekleşir. Bu yarı tepkimenin potansiyeli,

$$E = E^{\circ} + \frac{RT}{F} \ln a_{\text{H}^+} - \frac{RT}{2F} \ln p_{\text{H}_2} \quad (2)$$

eşitliği ile hesaplanır. Hidrojen elektrot için $E^{\circ} = 0,0\text{V}$ olarak kabul edildiğinden yukarıda eşitlik

$$E = -0,059 \text{ pH} - \frac{RT}{2F} \ln p_{\text{H}_2} \quad (3)$$

olarak ifade edilir. Hidrojen çıkışı gerçekleştiğinde $p_{\text{H}_2} = 1 \text{ atm}$ olarak kabul edilir ve bu durumda potansiyel pH ile doğrudan ilişkili olur. Alüminyum elektrot yüzeyine kaplanan PANi-Kitosan kompozit filminin ve bu film üzerine Au nanopartiküllerin elektrodpozisyonuyla elde edilen kompozit filmin, 0,5 M H₂SO₄ elektrolit ortamında hidrojen gazı oluşumundaki performansları dönüşümlü voltametri tekniğiyle incelenmiştir. -0,5 V ile -1,5 V potansiyel aralığında, 20 mV/s tarama hızıyla 0,5 M H₂SO₄ elektrolit ortamında kaydedilen voltamogramlar Şekil 5'te görülmektedir. Ayrıca PANi filmine katılan kitosanın etkisini görebilmek amacıyla aynı elektropolimerizasyon şartlarında alüminyum elektrot yüzeyine sadece PANi filmi kaplanarak sulu asidik ortamda hidrojen oluşumuna ait voltamogramlar karşılaştırılmıştır.



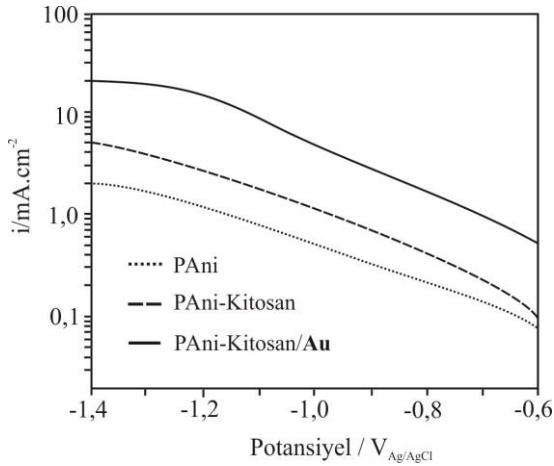
Şekil 5. Alüminyum elektrot üzerine kaplanmış PANi filminin, PANi-Kitosan ve PANi-Kitosan/Au kompozit filmlerinin 0,5 M H₂SO₄ elektrolit ortamında kaydedilen dönüşümlü voltamogramları ($v = 20 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$)

Tüm kaplamalarda sulu asidik ortamda, hidrojen oluşumuna ait akım yoğunluğu negatif potansiyellere doğru gidildikçe artmış, ancak PANi ile karşılaştırıldığında, PANi-Kitosan kompozit film üzerinde daha yüksek akım yoğunluğuna ulaşıldığı görülmüştür. İletken filmin yapısına hidrojen bağlarıyla katılan kitosanın, filmin gözeneklerine girmesiyle daha iyi bir film oluşturduğu dolayısıyla oluşan daha az pürüzlü filmin daha hızlı elektron transferini sağlayarak elektrik iletkenliğini arttırdığı görülmüştür [23-25]. Kompozit film üzerine Au nanopartiküllerinin ayrıştırılmasıyla elde edilen PANi-Kitosan/Au kompozit filmi üzerinde ise hidrojen oluşumuna ait akım yoğunluklarının çok daha belirgin bir şekilde arttığı görülmüştür. Altın nanopartiküllerin, hidrojen oluşumunda gösterdiği katalitik aktivite, özellikle -1,0 V'tan daha negatif potansiyellere gidildikçe belirgin bir şekilde gözlemlenmiştir.

3.4. Tafel Polarizasyon Eğrileri

Tafel polarizasyon eğrileri, elektrokimyasal bir proseste, elektrokatalitik aktivitelerin değerlendirilmesinde en çok bilgi veren yöntemlerden birisidir. Alüminyum elektrodun PANi, PANi-Kitosan ve PANi-Kitosan/Au kompozit filmleriyle modifikasyonu sonucunda elde edilen yapılar üzerinde, 0,5 M H₂SO₄ elektrolit ortamında -0,6 V ile -1,4 V potansiyel aralığında kaydedilen Tafel eğrileri Şekil 6'da görülmektedir.

Polianilin iletken filmi üzerinde, uygulanan potansiyel aralığında hidrojen oluşumuna ait akım yoğunluklarının, PAni-Kitosan kompozit filmi üzerinde artış gösterdiği görülmektedir. Kompozit yapıya Au nanopartiküllerin ayrıştırılmasıyla, aynı potansiyel aralığında elde edilen akım yoğunluğunun belirgin bir şekilde arttığı görülmüştür.



Şekil 6. Alüminyum elektrot üzerine kaplanmış PAni filminin, PAni-Kitosan ve PAni-Kitosan/Au kompozit filmlerinin 0,5 M H₂SO₄ elektrolit ortamında kaydedilen Tafel polarizasyon eğrileri ($v=1 \text{ mV.s}^{-1}$)

Elektrot materyallerinin elektrokatalitik aktivitelerinin değerlendirilmesinde Tafel Eşitliğinden yararlanılarak Tafel analizleri yapılmaktadır. Bu analizde, uygulanan potansiyele karşı elde edilen akım değeri olan Tafel eğimi ve değişim akım yoğunluğu değerlerinden tepkimenin kinetiği ile ilgili bilgiler elde edilmektedir. Tafel eğimi, Tafel eğrisinin lineer kısmı olup Eşitlik 4'te verilen Tafel eşitliğinden hesaplanmaktadır;

$$\eta = a + b \log i \quad (4)$$

Eşitlikte, η ile gösterilen uygulanan aşırı gerilim (V), i ; akım yoğunluğu (mA/cm^2), a ; değişim akım yoğunluğu ile ilişkili kayma değeri (mA/cm^2) ve b ; Tafel eğimidir (V/decade). Düşük Tafel eğimi ve yüksek değişim akım yoğunluğuna sahip olan materyallerin, hidrojen oluşumunda daha yüksek katalitik aktivite gösterdikleri bilinmektedir [26].

Ancak son yıllarda değişim akım yoğunluğuna ek olarak, belirli bir potansiyelde elde edilen akım yoğunluğunun ve belirli bir akım yoğunluğuna ulaşmak için uygulanması gereken potansiyel değerlerinin karşılaştırılmasının, katalizörün etkinliği ile ilgili daha somut bilgi verdiği kabul edilmektedir. Belirli bir potansiyelde ne kadar yüksek akım yoğunluğu elde edilir ve belirli bir akım yoğunluğuna ne kadar düşük bir potansiyel değeriyle ulaşırsa, kullanılan elektrokatalizörün o kadar etkin olduğu söylenebilmektedir.

Kaydedilen Tafel eğrilerinden gerekli hesaplamalar yapılarak belirlenen Tafel eğimleri (b), belirli bir potansiyelde ($\eta=-1,2 \text{ V}$) elde edilen akım yoğunlukları ve belirli bir akım yoğunluğuna (1 mA.cm^{-2}) ulaşmak için uygulanması gereken potansiyel değerleri Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. PAni, PAni-Kitosan ve PAni-Kitosan/Au kompozit filmleriyle kaplanmış alüminyum elektrot üzerinde kaydedilen Tafel polarizasyon eğrilerinden hesaplanan elektrokimyasal parametreler

Film	-b mVdec^{-1}	$i/ \text{mA cm}^{-2}$ $\eta = -1,2\text{V}$	$-\eta/\text{V}$ (1 mA cm^{-2})
PAni	227	1,24	1,16
PAni-Kitosan	173	3,83	0,96
PAni-Kitosan/Au	148	18,12	0,70

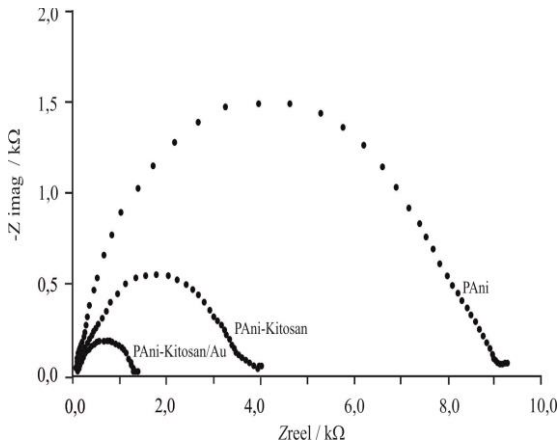
Çizelge verileri incelendiğinde, PAni filmi üzerinde 227 mV/dec olarak elde edilen Tafel eğiminin, kitosan varlığında (PAni-Kitosan) 173 mV/dec'a düştüğü görülmektedir. PAni-Kitosan/Au kompozit filmi üzerinde 148 mV/dec olarak hesaplanan daha düşük eğim, Au nanopartiküllerinin hidrojen oluşumu tepkimesini daha iyi katalizlediğini göstermektedir.

Elektrokimyasal tüm proseslerde en önemli parametre olan birim yüzey alanına düşen akım

yoğunluğu irdelendiğinde, 1 mA/cm^2 akım yoğunluğuna, PAni filmi üzerinde $-1,16 \text{ V}$ 'ta ulaşıldığı, PAni-Kitosan kompozit yapı üzerinde ise $-0,96 \text{ V}$ gibi daha düşük potansiyel değerinde ulaşıldığı görülmüştür. Kompozit filmin Au nanopartiküller ile modifiye edilmesiyle, bahsedilen akım yoğunluğuna $-0,7 \text{ V}$ 'ta yani daha düşük enerji girdisi ile ulaşıldığı tespit edilmiştir.

3.5. Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopisi

Elektrokimyasal impedans spektroskopisi, elektrokimyasal proseslerin kinetik incelemeleri ile ilgili oldukça önemli bilgiler vermektedir. Alüminyum elektrot yüzeyinde sentezlenen PAni, PAni-Kitosan ve PAni-Kitosan/Au kompozit filmlerinin hidrojen oluşumundaki elektrokatalitik aktiviteleri elektrokimyasal impedans spektroskopisiyle de incelenmiştir. Nyquist diyagramları olarak değerlendirilen elektrokimyasal impedans spektroskopisi verilerinden, elektrot yüzeyine kaplanan kompozit filmlerin elektron aktarımıyla gerçekleşen hidrojen oluşumundaki performansları karşılaştırılmıştır. $0,5 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ elektrolit ortamında $0,1$ ile 100000 Hz frekans aralığında $-1,0 \text{ V}$ sabit potansiyelde kaydedilen impedans eğrileri Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Alüminyum elektrot üzerine kaplanmış PAni filminin, PAni-Kitosan ve PAni-Kitosan/Au kompozit filmlerinin $0,5 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ elektrolit ortamında kaydedilen Nyquist diyagramları

Elektrokatalizörler üzerinde hidrojen oluşumu kinetiği ile ilişkilendirilen yarım dairelerin çaplarının film kompozisyonuna bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Çözelti ortamında bulunan H^+ iyonlarının elektron alarak indirgenmesine karşılık gelen bu yarım dairelerin çapı, yük transfer direnci olarak nitelendirilmiştir. Polianilin filmi için yaklaşık $9 \text{ k}\Omega$ olarak hesaplanan yük transfer direncinin, PAni-Kitosan kompozit filmi için yaklaşık $4 \text{ k}\Omega$ olarak hesaplandığı ve PAni-Kitosan filmi üzerine Au nanopartiküllerin ayrıştırılmasıyla elde edilen PAni-Kitosan/Au kompozit filmi üzerinde bu direncin yaklaşık $1,5 \text{ k}\Omega$ 'a kadar azaldığı tespit edilmiştir. Buradan yola çıkılarak, hidrojen oluşumuna ait elektron transferinin PAni-Kitosan/Au kompozit filmi üzerinde hızlandığı, Au nanopartiküllerinin tepkimeyi daha iyi katalizlediği sonucuna varılmıştır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, alternatif, temiz ve geleceğin enerji kaynağı olarak kabul gören hidrojenin en basit elde edilme yöntemi olan suyun elektroliziyle eldesi için uygun bir elektrokatalizör geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, ucuz bir elektrot materyali olan alüminyum elektrodun yüzeyi, doğal bir biyopolimer olan kitosan varlığında polianilin ile modifiye edilmiş daha sonra bu kompozit yapı üzerine Au nanopartiküllerin elektrodepozisyonu ile PAni-Kitosan/Au kompozit filmi elde edilmiştir. Elde edilen yapıların yüzey ve yapısal özellikleri karakterize edildikten sonra sentezlenen yapılar üzerinde, sulu asidik ortamda hidrojen oluşumu tepkimesi dönüşümlü voltametri, Tafel polarizasyon eğrileri ve elektrokimyasal impedans spektroskopisi teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Kitosanın yapıya katılmasıyla daha iyi bir film elde edildiği tespit edilmiş, buna bağlı olarak hidrojen oluşumuna ait akım yoğunluğunun arttığı dolayısıyla elektron transferine katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. Hidrojen oluşumuna ait katalitik aktivitesi yüksek olan altın metalinin kompozit yapı üzerine nano boyutta ayrıştırılmasıyla, hem katalitik aktivitesi yüksek, hem de saf altın veya platin gibi oldukça pahalı malzemelerin elektrot materyali olarak kullanıldığı

proseslere göre nispeten ekonomik bir elektrokatalizör geliştirilmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu projeye sağladığı maddi desteğinden dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK, Proje No: KBAG-114Z315) teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Fujishima, A., Honda, K., 1972. Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode, *Nature*, 238, 37-38.
2. Devadas, B., Imae, T., 2016. Hydrogen Evolution Reaction Efficiency by Low Loading of Platinum Nanoparticles Protected By Dendrimers on Carbon Materials, *Electrochemistry Communications*, 72, 135-139.
3. Tuomi, S., Guil-Lopez, R., Kallio, T., 2016. Molybdenum Carbide Nanoparticles as a Catalyst for the Hydrogen Evolution Reaction and the Effect of pH, *Journal of Catalysis*, 334, 102-109.
4. Lu, Q., Hutchings, G. S., Yu, W., Zhou, Y., Forest, R. V., Tao, R., Rosen, J., Yonemoto, B. T., Cao, Z., Zheng, H., Xiao, J. Q., Jiao, F., Chen, J. G. 2015. Highly Porous Non-Precious Bimetallic Electrocatalysts for Efficient Hydrogen Evolution, *Nature Communications*, 6(6567), 1-8.
5. Solmaz, R., Salcı, A., Yüksel, H., Doğrubaş, M., Kardaş, G., 2016. Preparation and Characterization of Pd-modified Raney-type NiZn Coatings and Their Application for Alkaline Water Electrolysis, *International Journal of Hydrogen Energy*, xxx, 1-12, doi:10.1016/j.ijhydene.2016.07.221.
6. Akyüz, D., Keskin, B., Şahintürk, U., Koca, A., 2016. Electrocatalytic Hydrogen Evolution Reaction on Reduced Grapheneoxide Electrode Decorated with Cobaltphthalocyanine, *Applied Catalysis B: Environmental* 188, 217-226.
7. Baran, E., Yazici, B., 2016. Effect of Different Nano-structured Ag Doped TiO₂-NTs Fabricated by Electrodeposition on the Electrocatalytic Hydrogen Production, *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(4), 2498-2511.
8. Habibi, B., Pournaghi-Azar, M. H., Razmi, H., Abdolmohammad-Zadeh, H., 2008. Electrochemical Preparation of a Novel, Effective and Low Cast Catalytic Surface for Hydrogen Evolution Reaction, *International Journal of Hydrogen Energy*, 33, 2668-2678.
9. Rao, C. R. K., Trivedi, D. C., 2005. Chemical and Electrochemical Depositions of Platinum Group Metals and their Applications, *Coordination Chemistry Reviews*, 249, 613-631.
10. Winther-Jensen, B., Fraser, K., Ong, C., Forsyth, M., MacFarlane, D. R., 2010. Conducting Polymer Composite Materials for Hydrogen Generation, *Advanced Materials*, 22, 1727-1730.
11. Yan, R., Jin, B., 2014. Preparation and Electrochemical Performance of Polyaniline/Pt Microelectrodes, *Electrochimica Acta*, 115, 449-453.
12. Spătaru, T., Marcu, M., Banu, A., Roman, E., Spătaru, N., 2009. Electrodeposition of Platinum on Polytyramine-Modified Electrodes for Electrocatalytic Applications, *Electrochimica Acta*, 54, 3316-3319.
13. Zhao, W., Zhou, X., Xue, Z., Wu, B., Liu, X., Lu, X., 2013. Electrodeposition of Platinum Nanoparticles on Polypyrrole Functionalized Graphene, *Journal of Material Science*, 48, 2566-2573.
14. Del Valle, M. A., Díaz, F. R., Bodini, M. E., Pizarro, T., Córdova, R., Gómez, H., Schrebler, R., 1998. Polythiophene, Polyaniline and Polypyrrole Electrodes Modified by Electrodeposition of Pt and Pt+ Pb for Formic Acid Electrooxidation, *Journal of Applied Electrochemistry*, 28, 943-946.
15. Wysocka-Żołopa, M., Grądzka, E., Szymański, K., Winkler, K., 2013. Electrodeposition of Nickel, Cobalt, and Iron on Polypyrrole Films, *Thin Solid Films*, 548, 44-51.
16. Liu, Z., Zhang, L., Poyraz, S., Zhang, X., 2013. Conducting Polymer-Metal Nanocomposites Synthesis and their Sensory Applications, *Current Organic Chemistry*, 17, 2256-2267.

17. Fujii, S., Kodama, M., Matsuzawa, S., Hamasaki, H., Ohtaka, A., Nakamura, Y., 2011. Conducting Polymer-Metal Nanocomposite Coating on Fibers, *Advances in Nanocomposite Technology*, Hashim, A. China: InTech.15.
18. Mostafa, T. B., Darwish, A. S., 2014. An Approach Toward Construction of Tuned Chitosan/Polyaniline/Metal Hybrid Nanocomposites for Treatment of Meat Industry Wastewater, *Chemical Engineering Journal*, 243, 326–339.
19. Adlim, M., Bakar, M. A., Liew, K. Y., Ismail, J., 2004. Synthesis of Chitosan-Stabilized Platinum and Palladium Nanoparticles and their Hydrogenation Activity, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 212, 141–149.
20. Luo, X. L., Xu, J. J., Zhang, Q., Yang, G. J., Chen, H. Y., 2005. Electrochemically Deposited Chitosan Hydrogel for Horseradish Peroxidase Immobilization Through Gold Nanoparticles Self-Assembly, *Biosensors and Bioelectronics*, 21, 190–196.
21. Parmuzina, A. V., Kravchenko, O. V., 2008. Activation of Aluminium Metal to Evolve Hydrogen From Water, *International Journal of Hydrogen Energy*, 33, 3073-3076.
22. Wang, H. Z., Leung, D. Y. C., Leung, M. K. H., Ni, M., 2009. A Review on Hydrogen Production using Aluminum and Aluminum Alloys, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 845-853.
23. Silva, R. C., Sarmiento, M. V., Nogueira, A. R. F., Tonholo, J., Mortimer, R. J., Faez, R., Ribeiro, A. S., 2014. Enhancing the Electrochromic Response of Polyaniline Films by the Preparation of Hybrid Materials Based on Polyaniline, Chitosan and Organically Modified Clay, *RSC Advances*, 4, 14948–14955.
24. Varghese, J. G., Kittur, A. A., Rachipudi, P. S., Kariduraganavar, M. Y., 2010. Synthesis, Characterization and Pervaporation Performance of Chitosan-G-Polyaniline Membranes for The Dehydration of Isopropanol, *Journal of Membran Science*, 364, 111-121.
25. Gök, A., Omastova, M., Yavuz, A. G., 2007. Synthesis and Characterization of Polythiophenes Prepared in the Presence of Surfactants, *Synthetic Metals*, 157, 23–29.
26. Alhajri, N. S., Yoshida, H., Anjum, D. H., Garcia-Esparza, A. T., Kubota, J., Domen, K., Takanabe, K., 2013. Synthesis of Tantalum Carbide and Nitride Nanoparticles using a Reactive Mesoporous Template for Electrochemical Hydrogen Evolution, *Journal of Materials Chemistry A*, 1, 12606-12616.

Mekansal Komşuluk Kavramı Üzerinden Mimari Mekanın Analizi

Onur ERMAN*¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 09.01.2017

Kabul tarihi: 14.03.2017

Öz

Mekan konfigürasyonunun analizine odaklanan bu çalışma, “mekansal komşuluk” kavramını öne sürerek bu kavram ışığında mekansal ilişkileri irdelemektedir. Çalışma bu kapsamda mimari kurguda komşuluk eden mekanların bütün içindeki ilişkisel rolünü sorgulamayı ve farklı mekansal komşuluk şekillerinin mekan kurgusuna ve anlamına etkisini tartışmayı hedeflemektedir. Çalışmanın araştırma yöntemi Mekan Dizilimi Analizlerine dayanmakta ve örneklem grubunu farklı dönemlere ait müstakil konut örnekleri oluşturmaktadır. Dizilim analizleri kapsamında derinlik ve entegrasyon değerlerine bakılarak, geçiş modeli analizleri yapılmıştır. Ulaşılan dizilim değerleri yardımıyla farklılaşan mekansal komşuluk ilişkileri tespit edilerek, mekan kurgusuna ve mekanın anlamına etkisi tartışılmıştır. Sonuçlar mekan konfigürasyonu içinde mekansal komşuluk ilişkilerinin değişiminin mekanın kullanımı, anlamı ve bütün içindeki konumuna nasıl etki ettiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Mekansal komşuluk, Mekan konfigürasyonu, Mekansal ilişkiler, Mekan dizilimi analizi, Konut

Analysis of the Architectural Space through the Spatial Neighbourhood Concept

Abstract

This study, which focuses on the analysis of spatial configurations, examines the concept of “*spatial neighbourhood*”. It aims at questioning the relational role of the neighbouring spaces within a whole as well as discussing the effects of different forms of spatial neighbourhood on the layout and meaning of spaces. The method of the study is based on Space Syntax Analysis and the sample group of the analysis consists of single family houses from different periods. For the syntactic analysis, mean depth, integration and justified graph analysis are realized. Using the syntactic values obtained, changes in spatial relations are revealed and the effects of these changes on the structure of spatial neighbourhood and to the meaning of space are discussed. The results of the study reveal the effects of the changings in spatial neighbouring relations in the spatial configuration in the use, the meaning and the position of space within a whole.

Keywords: Spatial neighbourhood, Spatial configuration, Spatial relations, Space syntax analysis, House

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Onur ERMAN, oerman@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

İnsan ile çevre arasında kurulan ilişki mekansaldır. Birey ihtiyaçlarını karşılamak için davranış ya da davranış dizilerini gerçekleştirir ve böylece ihtiyaçlar ve karşılığı olan davranışlar mekansallaşır. Markus [1] mekan ve davranış ilişkisini “her ne yapılsa yapılsın mutlaka bir yerde yapılır” şeklinde ifade eder. Bu ifade bir yandan mekanın inşa nedenini açıkça ortaya koyarken, diğer yandan davranışın geçmediği bir mekandan söz etmenin mümkün olamayacağını vurgular. Ancak mekanın varlığı diğer mekanlarla kurduğu ilişkilere dayanır. Herhangi bir başka mekanla ilişkisi olmayan bir mekan kullanılamaz, dolayısıyla var olamaz.

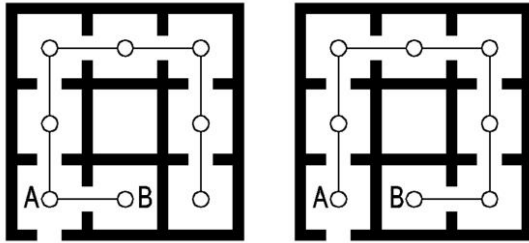
İlişkilerin organize edildiği ve davranışsal alanların tanımlandığı mimari tasarımda; mekanlar ve mekansal ilişkiler soyut bir biçimde geometrik olarak ifade edilir. Mekanı tanımlayan her bir çizgi diğerleri ile sonsuz alternatifle bir araya gelebilir ve sonuçta çizgilerin kesişmesi, kopması, birleşmesiyle işlevsel bir alan tanımlanır. Mimari tasarım; mekana ait boyutsal, biçimsel özelliklerle birlikte, bütüne dahil olan mekanları ve onların ilişkili olduğu diğer mekanları, bu mekanlara nasıl ulaşılacağı ve nasıl kullanılacağı gibi bilgileri basit ve açıkça ifade eder. Ancak bunun ötesinde, mekanın sosyal ve kültürel bir olgu olmasının bir sonucu olarak ortaya çıkan, daha karmaşık yapıda ve kolayca anlaşılacak şekilde sosyokültürel ve sosyopsikolojik düzeyde beliren mekansal ilişkileri, mekanın sunduğu yaşantıyı, değişen koşullarda mekanda kimlerin bulunacağı ya da kimlerin hariç tutulacağı gibi bilgilerin yanı sıra, mekanın kullanıcılarında çeşitli anlamlar oluşturabilecek ve farklı psikolojik etkiler yaratabilecek bilgileri de içerir. Bu bakımdan mekan semantik bir olgudur ve anlam iletir. Mekana ait anlam belli kurallarla şifrenerek kodlanır ve mekanın algılanabilir özellikleriyle kullanıcıya ulaşır. Kodlar ve anlamlar konusunda yaşama ait en açık ve kolay anlaşılır örneklerden biri dildir. Kelimeler birer ses topluluklarıdır ve kelimeleri bir araya getiren dil kurallarıdır. Cümlede kelimelerin diziliş sırası kurallarla belirlenir ve sıralanma şekli cümlenin anlamını etkiler. Bir yapı bütünü içinde mekanların bir araya

gelmesi cümle içinde kelimelerin bir araya gelmesine benzetilebilir. Cümlenin anlamlandırılması için seslendirilmesi gerekiyken mekansal kurgunun anlamlandırılması için mekansal ilişki düzenin kavranması gerekir. Kavrama ancak bütünü içinde ilişkili mekanlar arasında dolaşarak oluşur. Hillier vd. [2] mekansal ilişkinin olması için boşluğun gerekli olduğunu söyler. Boşluk sınırdaş iki mekan arasındaki geçişi sağlar ve bağlantıyı kurar. Boşluğun oluşumu ve ilişkilerin düzeni ise sınırların niteliği ile ilgilidir. Sınırlar mekanı fiziki olarak tanımlar ve içeridekileri dışarıdakilerden hariç tutar ya da bir grubu diğerlerinden ayırarak fiziki ve sosyal olarak birlikteliğini sağlar. Dolu yüzeyler sınırları kesin olarak belirler ve ayırır, şeffaf yüzeyler kontrollü bir ilişki sağlar, boşluklar ve boşluklu yüzeyler ise fiziki olarak dahil olmayı sağlayarak sosyal ilişkileri temasla destekler. Mekanın bir diğer mekan arasında ilişkinin-geçişin olması ve geçişin niteliği bir yandan mekanları organize ederken bir yandan da kullanıcılar arasındaki ilişkiyi karakterize eder. Bunlara ek olarak mekan nesnel özelliklere sahip olsa da bir nesne olarak tanımlanmaktan çok bir örüntü olduğu söylenebilir. Bu örüntüde ışık, ses, renk, doku gibi nesnel unsurlar bir araya gelirken, aynı zamanda mekanı yaratan organizma subjektif biçimde mekansallaşır, mekandaki varlığını ifade eden ilişki örüntüleri kurgulanır [3]. Bu bakımdan mekan kurgusu işlevsel organizasyondan çok ilişkiler organizasyonudur ve sosyal ilişkiler ve süreçler kendilerini mekan ve mekansal ilişkilerle ifade eder [2].

Bu ifadelerle göre mekan kurgusu içinde ilişkili yakınlığın ilişkisiz sınırdaşıktan daha anlamlı olduğu düşünülmektedir. Konfigürasyonel açıdan mekansal komşuluk kavramı kurgu içinde mekansal geçişlerle mekanların birbirine bağlanması olarak yorumlanabilir. Bu nedenle mekansal komşuluk için geometrik yakınlığın önemli olmadığı, uzaklık kavramının geçilen bağlantı sayısı ile ilgili olduğu düşünülebilir. Dolayısıyla mekansal komşuluk kavramında kurgusal ilişkinin doğal olarak geometrik değil topolojik olduğu söylenebilir [4]. Bu ilişkinin çözümlenmesi yapı yüzüne bakarak değil, ancak

bina içine girdikten sonra dolaşarak edinilen deneyimle sağlanır [1].

Mekansal komşuluk kavramı Şekil 1’de yer alan A ve B mekanları yardımıyla açıklanmaya çalışılmıştır. Bu iki mekan şekilde görüleceği üzere sınırdadır ve geometrik düzen içinde yan yanadır. Ancak şemalarda A ve B mekanları sınırdadır olsalar da bu iki mekanın birbirine göre mekansal komşuluk durumu değişiklik göstermektedir. Şekil 1.i’de A mekanından B’ye bir geçiş ile ulaşırken, Şekil 1.ii’de A mekanından B’ye ulaşmak için yedi adet geçiş aşmak gerekir. Şemalar karşılaştırıldığında her iki mekanın geometrik yapı içindeki yeri değişmese de topolojik uzaklıklarının değiştiği görülmektedir. Bu durumda, (i) örneğindeki B mekanı A mekanına topolojik olarak daha yakinken (ii) örneğindeki B mekanı topolojik olarak daha uzaktır. Bu örnek üzerinden mekansal komşuluk kavramı geometrik yakınlığın ötesinde, mekansal geçişlerle sağlanan ilişkili yakınlık olarak tanımlanabilir.



(i) Yakın mekansal komşuluk ilişkisi

(ii) Uzak mekansal komşuluk ilişkisi

Şekil 1. Aynı geometrik düzende farklı mekansal komşuluk ilişkileri

Mekanlar arasındaki geçişler nedenlidir, amaç yönelimlidir ve hareketle birlikte oluşan izler mekanların bütündeki diğer mekanlarla olan ilişkisini ortaya çıkarır. Mekan kurgusunun anlaşılabilirliği için ilişkili mekanlara tekil olarak bakmak yerine organizasyona dahil olan tüm mekansal ilişki düzenini dikkate almak gerekir. Peponis [4] mekansal düzen içinde sınırların varlığıyla ve mekansal birleşme ya da kopma sonucunda oluşan potansiyel geçişleri mekan

konfigürasyonu olarak adlandırır. Bu anlamda mekan konfigürasyonu; mekanlar arasındaki geçişte sıralama-ardı ardına geliş, geçişte hareket rotasının değişimi, alternatif geçişlerin varlığı ve farklı yönlerdeki geçiş rotalarının kesişimini kapsar.

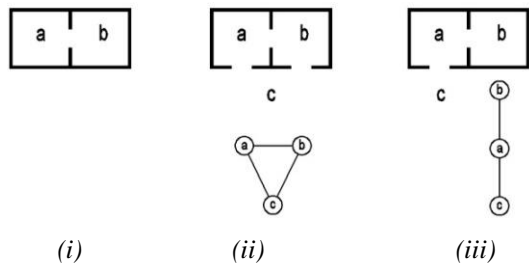
Kurguda yer alan mekanların hangi mekanlarla bağlantılı olduğu ve bağlantılı mekanların birbirine göre önce ya da sonra oluşu ise mekan dizilimi olarak adlandırılır. Mekanın dizilim değeri kurguya ait tüm mekanlar arasındaki geçiş sıralamasında ilişkide olduğu önceki ve sonraki mekanlara göre saptanır. Dizimsel yapının analizi Hillier ve Hanson [5] tarafından geliştirilen Mekan Dizilimi Yöntemi (*Space Syntax Method*) yardımıyla yapılabilmektedir. Bu analiz yöntemiyle kurguya ait dizimsel özelliklerin tespiti, değerlendirilmesi ve yorumlanması mümkün olur.

Çalışma, mekanın karakterinin ilişkili olduğu diğer mekanlarla tanımlandığı, mekansal kurgu içindeki yerinin mekanın anlamlandırılmasını ve kullanımını etkilediği savlarından yola çıkarak mekansal komşuluk ilişkilerinin değişiminin mekanın karakterini nasıl etkilediğini analiz etmeye çalışmaktadır. Bu kapsamda Hillier ve Hanson’un mekan dizilimi yöntemi kullanılarak ilgili analizler yardımıyla değerlendirmeler yapılması hedeflenmektedir.

2. MEKAN DİZİLİMİ YÖNTEMİ VE ANALİZLERİ

Mekanın sınırları ile inşa edildiğinden, sınırlar ve boşluklarla ilişki örüntülerinin olduğundan önceki bölümde söz edilmişti. Bu örüntü sosyal ilişkileri yapılandırır ve kültür gibi yaşama ait değerler mekansal biçim yardımıyla anlaşılır hale gelir. Böylece mekan işlevsel, biçimsel ve anlamsal olarak kurgulanmış olur. Mekan dizilimi analizi “sosyal ve kültürel olarak tanımlanmış örüntüler mekan kurgusu içine gizlenmiştir” görüşünü temel alarak mekan kurgusunun temsilini ve sayısal analizini kapsar [2]. Bu teknik, plan şemasının önerdiği sosyal işlev ve ilettiği kültürel anlamla doğrudan ilişkili olan konfigürasyonel

özelliklere dayanarak mimari mekanı analiz eder. Mekan konfigürasyonunun anlaşılması için mekanların ilişkili olmaktan doğan yakınlıklarını incelemek gerekir. Hillier'e [6] göre iki mekan arasındaki ilişki konfigürasyonu bir üçüncü mekan olmaksızın belirlenemez. Çünkü iki mekan arasındaki ilişki sadece basit bir bağlantı olurken, konfigürasyon bütününe ait ilişkileri anlamaya yarar. Şekil 2.(i)'de sadece birbiriyle ilişkili iki hücrenin değişiklik göstermeyen ve bu nedenle anlam taşımayan ilişkisi görülmektedir.



Şekil 2. Mekan konfigürasyonunda değişim ve geçiş modelinde ifadesi [5]

Değişen mekansal ilişkiler mekan konfigürasyonunun da değişmesini sağlar. Dolayısıyla Şekil 2.(ii)'de görüldüğü gibi A ve B mekanına bir C mekanının eklenmesiyle mekansal ilişkiler değişmiş ve konfigürasyon farklılaşmıştır. Bu nedenle konfigürasyonun çözümlenebilmesi için ilişkili mekan çiftleri yerine bütüne ait mekansal ilişkilerin tamamının dikkate alınması gerekir. Mekansal ilişkilerin şekli ayrıca kurgunun simetrik ya da asimetrik yapıda olmasını belirler. Şekil 2.(ii)'de C'den B'ye A yoluyla gelmek ya da C'den A'ya B yoluyla gelmek aynı şekilde sonuçlanır. Bu iki mekanın birbiri üzerindeki kontrolü bu durumda eşittir ve bu nedenle kurgu simetrikdir. Ancak Şekil 2.(iii)'de A ve B arasındaki ilişki C'ye göre asimetrikdir ve mekanların kurgu içindeki değeri değişir. C'den B'ye ulaşmak ancak A hücresinden geçerek olur ve bu durumda A hücresi B'yi kontrol eder.

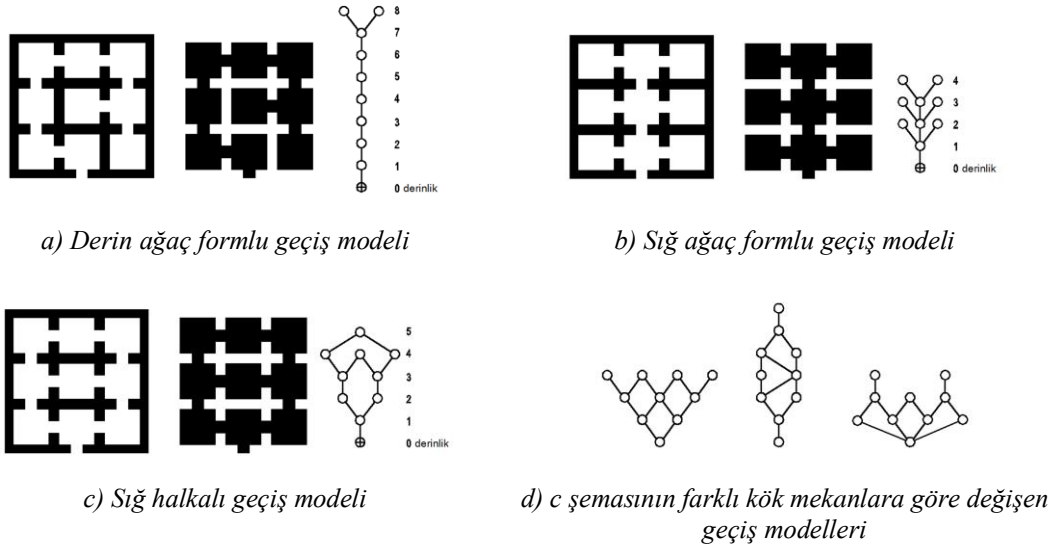
Mekan Dizilimi Analizi üç temel analiz yöntemini içerir [4]:

a) Mekansal Örüntünün Analizi: Binalar tasarım programında yer alan mekanların ne olduğundan

çok bu mekanların nasıl ilişkilendirildiği ile oluşur. Dolayısıyla binalar mekanlar bütünü olmakla beraber aslında mekansal ilişkilerle oluşmuş örüntülerdir. Mekanlar arasındaki ilişki örüntüsü tasarımda farklılık gösterebilir. İlişki örüntüsü mekanın diğerlerine göre önce ya da sonra oluşunu tanımlarken aynı zamanda mekanın kullanım ve sosyal değerini de ifade eder. Mekansal ilişki örüntülerinin analizinde ana yöntem geçiş (graph) diyagramlarının modellenmesidir. Bu analizde mekan konfigürasyonunda her bir işlevsel birim bir hücre olarak ele alınır ve modelde bir daireyle, bir hücrenin diğer hücrelerle olan ilişkisi ise geçişleri belirten çizgilerle ifade edilir. Bu analizde mekanın büyüklüğü önemsizdir ve mekanların ilişkisini ifade eden çizgilerin uzunluğu, yönü ya da şekli anlam taşımaz. Geçiş analizi dizilimde seçilen bir mekana göre diğer mekanların ilişkisini ve durumunu gösterir. Dolaşımın başlangıç yeri olarak seçilen mekan geçiş modelinde kök olarak adlandırılır ve \oplus işareti ile temsil edilir.

Geçiş modeli analiziyle öncelikle basit bir biçimde mekanların derinlik durumu karakterize edilir. Bir hücrenin derinliği kök mekana göre seçilen hücreye ulaşmak için sırasıyla geçilen hücre sayısına dayanarak belirlenir. Kök mekana göre "1" derinlik değeri mekana doğrudan ulaşıldığını, "2" derinlik değeri ise mekana ulaşmak için bir diğer mekanın geçilmesi gerektiğini ifade eder [2]. Bu bakımdan derinlik mekanlar arasındaki ilişki uzaklık olarak yorumlanabilir.

Topolojik yapının çözümlenmesine imkân tanıyan geçiş modeli analizinde derinliğin değişmesi konfigürasyonun biçimsel ifadesini değiştirir. Bağlantılı hücre sayısından bir eksik bağlantı sayısının olması geçiş modelinin ağaç formunda olmasını sağlar. Mekansal kontrolün yüksek ve mekan hiyerarşinin fazla olduğu kurgularda asimetrik yapıyla birlikte derinlik artar ve geçiş modeli derin ağaç formu kazanır. İlişkilerin çeşitlendiği durumlarda dallanmış ve sık ağaç formu oluşur. Mekana halkaların dahil olmasıyla beliren alternatif rotalar simetrik yapının oluşmasını sağlar ve geçiş modelinde derinliğin azalmasına neden olur. Bunlara ek olarak kök mekanın değişmesi geçiş modelini farklılaştırır [7], (Şekil 3).

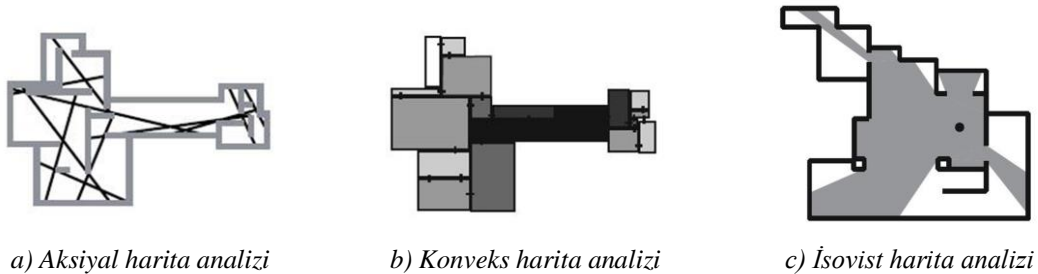


Şekil 3. Farklı geçiş modeli örnekleri ve kök mekana göre geçiş modelinin değişimi [7]

Şekil 3’de aynı geometrik forma sahip ancak farklı mekansal geçişleri içeren şemaların geçiş modelleri yer almaktadır. Şemalarda geometriler aynı olsa da mekansal ilişkilerin değişmesiyle kurgunun farklılaşması ve geçiş modelinde derinliğin değişmesi açıkça görülmektedir. Görsellerde “a” derin ağaç (8 derinlik), “b” sığ ağaç (4 derinlik), “c” sığ halkalı (4 derinlik) geçiş modelleridir. Şekil 3.c’de halkaların dahil olmasıyla oluşan alternatif rotaların mekan derinliğini nasıl değiştirdiği (3, 6 ve 3 derinlik) ve Şekil 3.d’de aynı kurguda kök mekânın değişmesinin geçiş modelini nasıl farklılaştırdığı gözlenmektedir.

b) Dışbükey (Konveks) Mekan Analizleri: Dışbükey mekanların ilişkili komşuluk durumu analizini içerir. Bu analizlerde sınırların tanımladığı ilişkili boşlukları kesintiye uğramadan geçen en uzun düz çizgilerin birbiriyle ilişkisini analiz eden aksiyal harita analizi, görsel bağlantıları irdeleyen isovist harita analizi ve boşlukların derinlik ve geçiş ilişkilerine dayanan konveks harita analizi yer alır (Şekil 4).

Mekânın geometrik ilişkisine dayanarak morfolojik çözümlemesini yapabilmek için bu analizler kullanılabilir.



Şekil 4. Konveks mekan analizleri [8]

c) Geçiş (Graph) Kuramsal Ölçmeler: Geçiş modellemesi yapılan konveks harita analizleri yardımıyla mekansal kurgunun entegrasyon, ortalama derinlik, toplam derinlik, adım derinliği, göreceli entegrasyon, göreceli asimetri, gerçek göreceli asimetri gibi matematiksel hesaplamalarını içerir.

Konveks harita analizinde entegrasyon en temel geçiş (graph) bazlı ölçmedir. Entegrasyon değeri geçiş modeli içinde yer alan diğer mekanlara göre mekanın göreceli derinliğidir. Bu değer seçilen bir mekandan herhangi bir diğer mekana ulaşmak için geçilen mekan sayısı ve bu mekanların sistem içindeki derinliğiyle ilişkilidir. Entegrasyon dizimsel ulaşılabilirliği ve böylece kurgu içinde mekanın merkezilik durumunu ölçer [8]. Entegrasyon değeri 0 ile 1 arasında değişir. Sıfıra yakın olmak maksimum entegrasyonu, düşük derinliği ve dizimsel olarak merkeziliği vurgularken, 1'e yakın olmak daha az ulaşılabilir ve merkezden uzak olmayı işaret eder. Ortalama derinlik seçilen mekanın bütün içinde ne derece derin ya da yüzeysel olduğunu belirler. Ortalama derinlik değeri entegrasyonun dağılımı ve eşit dizimsel büyüklüğe sahip farklı sistemlerin karşılaştırılabilirliği için kullanılan göreceli asimetri değerinin hesaplanması için gereklidir. Ancak bir mekana göre sistemin ortalama derinlik değeri ve tüm mekanların averaj ortalama derinlik değeri seçilen sistemin büyüklüğüne bağlı olarak değişir [8]. Bu nedenle farklı sentaktik büyüklüğe sahip sistemlerin analizi için gerçek göreceli asimetri (RRA) değerinin bilinmesi gerekir. Göreceli asimetri değerinin tersi (1/RRA) entegrasyon değerini verir [9]. Farklı büyüklükteki sistemlerin dizilim değerlerinin karşılaştırılması bu veriler yardımıyla yapılabilir.

3. MEKANSAL KOMŞULUK KAVRAMININ ANALİZİ

3.1. Çalışmanın Materyali

Konut sosyokültürel bir olgudur ve toplumsal değerlerle biçimlenmesi nedeniyle değişime açıktır. Sosyoekonomik ve sosyokültürel değişimin konuta yansması biçimsel olduğu kadar

mekansaldır. Bu değişim farklılaşan tipleri işaret eden kurgusal yapıda kendini gösterir. Ayrıca statünün, kişiliğin, zevk ve beğenilerin ifadesi, bireyin varlığını ifade ettiği öz alanı olması [10] konutu kolay manipüle edilebilir kılar. Bu bakımdan sadece değişen mekansal ilişkilerin analiz edilebilmesi için değil pek çok farklı araştırma konusu için konut zengin bir laboratuvarıdır.

Çalışmada değişen mekansal ilişkilerin analizi için Adana'da farklı dönemlerde inşa edilmiş müstakil konut örnekleri uygulamaya konu edilmiştir. Örneklerin seçiminde Erman vd.'nin [11] Adana'da konut yapılarının sosyokültürel ve sosyoekonomik bağlamda değişimini inceledikleri çalışmadan yararlanılmıştır. Konutun sosyal ve kültürel bir olgu olduğunun altını çizen çalışmada Adana kentinde konutun değişimi kentte yaşanan sosyal ve ekonomik değişimlere paralel olarak dönemlere ayrılmış, her dönem için konut karakteri tasvir edilerek, yıllar içindeki değişim ortaya konulmuştur.

Anılan çalışmada yazarlar Adana'da konut gelişimini, bu bağlamda değişimini dört dönemde ele almıştır. Bu çalışma ise anılan çalışmada tespit edilen dönemleri esas alarak, konutun daha çok bireysel kararlarla inşa edildiği ve toplumsal değerlerin belirgin bir biçimde ve daha homojen olarak gözlenebildiği 1920-1930'lar, 1940-1950'ler ve 1960-1970'ler olmak üzere üç döneme odaklanmıştır. Bu kapsamda her dönem için seçilen üç karakteristik örnek üzerinden mekansal ilişkileri çözümlenmeye yönelik analizler gerçekleştirilmiştir.

3.2. Çalışmanın Yöntemi

Hillier ve Hanson [5] mekan dizilimi yönteminden söz ederken sosyal değişimlerin mekansal yansımalarını analiz etmek için elverişli bir yöntem olduğunu belirtir. Bu yöntem pek çok çalışmada yapılaşmış çevreyi farklı yönleriyle ve farklı ölçeklerde analiz etmek için kullanmıştır. Bu çalışma; mekan dizilimi analiz yöntemini mekan kurgusunu oluşturan mekansal ilişkilerin değişimini analiz etmek amacıyla kullanmaktadır.

Mekansal kurgunun analizi ile mekansal komşuluk kavramına odaklanan çalışmada sınınmaya çalışılacak hipotezler şu şekilde sıralanabilir:

- 1) Mekan ve mekansal ilişkiler yaşamın karşılığıdır. Yaşamın değiştiği farklı dönemlere ait konut mekanlarında farklı mekansal kurgular oluşur.
- 2) Mekan kurgusunda ilişkiler değişirse mekanın karakteri değişmiş olur.
- 3) Mekanın karakteri, kullanımı ve anlamı ilişkili olduğu mekanlarla karakterize edilir.

Çalışmanın yukarıda belirtilen hipotezlerinin denenmesi amacıyla geçiş diyagramı modellemeleri ve geçiş kuramsal analizleri yapılmıştır. Bu kapsamda;

- a) Hipotez 1'in denenmesi amacıyla konutların geçiş diyagramları analiz edilerek her bir dönem için geçiş diyagramlarının değişimi tespit edilmeye,
- b) Hipotez 2'nin denenmesi için her bir dönem konutunda merkez mekanın geçiş diyagramı çözümlemeleriyle ilişki olduğu mekanlar, derinlik ve entegrasyon analizleriyle dizilim içindeki yerleri ve buna dayanarak değişen mekan karakteri saptanmaya,
- c) Hipotez 3'ün denenmesi için Hipotez 2'nin denenmesi sırasında elde edilen bulguların yanı sıra, dönemler arasında geçiş analizlerinde değişen mekansal ilişkilerin saptanmasıyla edinilen bulgular yardımıyla değişimin mekan karakterini nasıl etkilediği bulunmaya çalışılmıştır.

Geçiş diyagramlarında konut içi mekanın sonlanarak konut dışı mekana geçilen ilk nokta kök mekan olarak alınmıştır. Bu mekan geçiş modellerinde merdiven holü, sokak ve giriş verandası olarak tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında yapılacak olan analizler ve hesaplamalar için UCL Space Syntax Lab. tarafından geliştirilen Depthmap X paket programı

kullanılmış, derinlik ve entegrasyon analizlerinde *Radius (n)* olarak kabul edilmiştir.

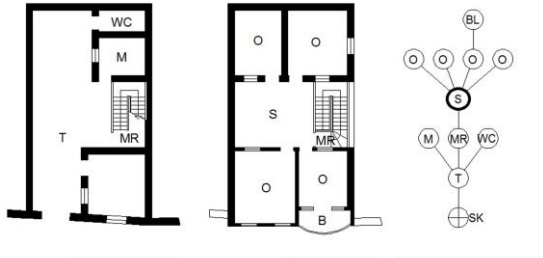
3.3. Bulgular

3.3.1. 1920–1930 Dönemi Adana Konutunun Genel Karakteri ve Analiz Bulguları

1920'lerde geleneksel tarihi dokuda görülen tipik konut uygulamaları, geleneksel karakteri devam ettiren, zemin katı geçiş ve servis alanlarına ayrılmış 2-3 katlı konutlardır. Bu konutların ana yaşam katında orta sofa anlayışının tekrarı bir mekan ve ona açılan odalar yer alır. 1930'larla birlikte Jansen Planının önerdiği kentin yeni yerleşim alanlarında ise geleneksel etkilerden uzak, işlevin biçimlendirdiği rasyonel ve yalın geometrik formların kullanıldığı konut uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Bu dönemde genelde yaşama mekanlarının zemin katta, yatak odalarının ise üst katta yer aldığı örneklere, tek aile kullanımına yönelik tasarlanmış müstakil konutlara ve bunların yanı sıra tek konut görünümünde olup iki ayrı daireli kat evi olarak çözümlenmiş örneklere de rastlanmaktadır.

Birinci dönem konutların geçiş kuramsal analizleri sonucunda merkez mekanın sofa mekanı olduğu, 4-5 adım derinlikli geçiş modellerinde merkez mekanın kök mekandan 2 veya 3 adım derinde olduğu tespit edilmiştir. Modern şemada gelenekselden farklı olarak merkez mekana alternatif ikinci bir merkezin oluştuğu görülmüştür. Geçiş modelleri geleneksel plan şemasına sahip 76 Numaralı Ev ve Hayriye Hanım Evi'nde derin dallı ağaç, modern plan şemasına sahip Şevket Bey Evi'nde ise sığ halkalı çalı formundadır (Şekil 5).

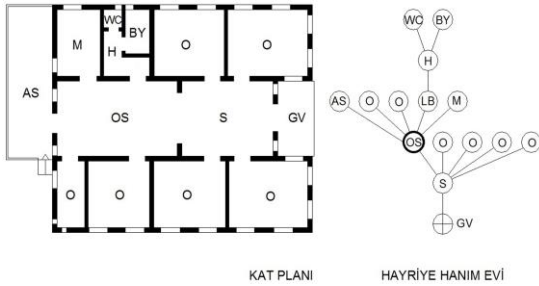
Merkez mekan ve ona bağlanan diğer mekanlar arasında geleneksel şemalarda halkalı geçişler bulunmazken modern şemada bulunur. Geleneksel şemanın bu ilişki düzeni mekanların içe dönük ve merkez mekanın kontrolündeki kullanımını ve odaların daha bireysel, merkez mekanın ise daha genel kullanımda olduğunu işaret eder. Modern şemada ise halkalı geçişlerin servis mekanları hariç tüm yaşama ve yatma mekanları arasında olduğu görülür. Bu bulgu henüz mekan kullanımında



ZEMİN KAT PLANI ÜST KAT PLANI 76 ENVANTER NOLU EV
76 Envanter Nolu Ev, 1920'ler [12]

Entegrasyon Dizilimi (ort. değer: 0,902)
S>MR>T>O=O=O=O>SK=M=WC>BL

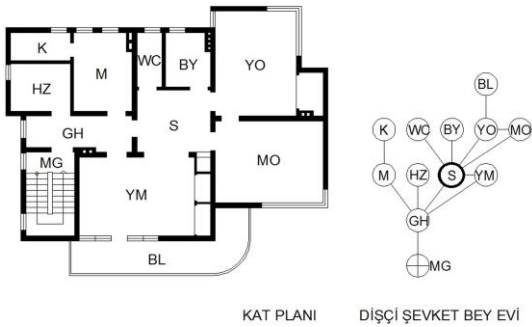
Ort. Derinlik Dizilimi (ort. değer: 2,655)
S<MR<T<O<O=O=O<SK=M=WC<BL



KAT PLANI HAYRİYE HANIM EVİ

Entegrasyon Dizilimi (ort. değer: 1,254)
OS>S>H>M=O=O=AS>GV=O=O=O=O>WC=BY

Ort. Derinlik Dizilimi (ort. değer: 2,462)
OS<S<H<M=O=O=AS<GV=O=O=O=O<WC=BY



KAT PLANI DIŞÇI ŞEVKET BEY EVİ

Entegrasyon Dizilimi (ort. değer: 1,297)
S=GH>YM>M>YO=MO>MH=HZ=BY=WC>BL>K

Ort. Derinlik Dizilimi (ort. değer: 2,303)
S=GH<YM<M<YO=MO<MH=HZ=BY=WC<BL<K

*dizilimlerde koyu ifadeler ortalama değerinin altında ve üstünde kalan mekanları ifade eder.

Şekil 5. 1920–1930 dönemi Adana konutunun mekan dizilimi analizi

işlevsel ayrımın tam olarak yapılamadığını göstermektedir. Bu dönemde merkeze en yakın mekanlar sirkülasyonun sağlandığı taşıyıcı mekanlar, merkezden uzak mekanlar ise odalar, mutfak, wc, banyo ve balkondur.

3.3.2. 1940–1950 Dönemi Adana Konutunun Genel Karakteri ve Analiz Bulguları

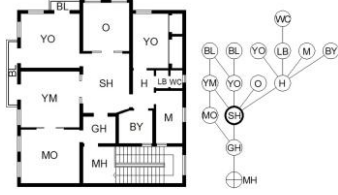
Bu dönemde kentin yeni gelişen bölgelerinde uygulanan apartman plan şemalarında geleneksel karakterden uzaklaşma çabası belirgindir. Apartmanların öncü örneklerinde değişen yaşam biçimi ve konut kültürünün etkisiyle mekan kurgusunda yenilikçi denemeler ortaya çıkmakla beraber bunların büyük kısmı beklentileri karşılamaktan uzak çözümlerdir. Plan şemalarında bir yandan orta sofa benzeri yaşama mekanı çözümlenmeleri ile gelenekselin devamı anlayış sürerken, bir yandan da işlevsel gruplamaların tanımlandığı modern tasarım anlayışının yaygınlaştığı gözlenmektedir.

İkinci dönem geçiş kuramsal analizlerine göre günlük odanın konutun merkez mekanı olduğu belirlenmiştir. Geçiş modellerinde koyu renkli daire ile işaretlenen merkez mekandan daima 2 basamak uzakta yer aldığı tespit edilmiştir.

Halkalı geçiş ilişkisinin daha çok görüldüğü bu dönem konutlarında modeller 5 adım derinlikli halkalı ağaç formdadır. Tüm modellerde merkez mekan halka üzerinde ve rotaların değişim noktasında bulunur. Bununla beraber şemada yeni işlevsel grupların oluşmasıyla ikincil merkezlerin belirdiği tespit edilmiştir. Bu gruplamaların mutfak, wc ve hol ilişkisiyle servis mekanları arasında, yatak odaları, banyo, gece holü ilişkisiyle uyuma, dinlenme-mahremiyet mekanları arasında olduğu görülmüştür (Şekil 6). Bunun sonucunda gece holü ve servis mekanlarının bağlandığı holler gruplanan mekanlara ulaşımı ve geçişi sağlayan görevleri nedeniyle ikincil merkezleri oluşturmuştur.

Merkez mekânın diyagram üzerindeki durumu incelendiğinde ise merkez mekânın simetrisinde daima bir başka mekân olduğu görülür. Geçiş

modellerine göre simetride, merkez mekanla aynı derinlik değerine sahip olarak misafir odası ve hol bulunmaktadır.



KAT PLANI AKIYÜREK APARTMANI

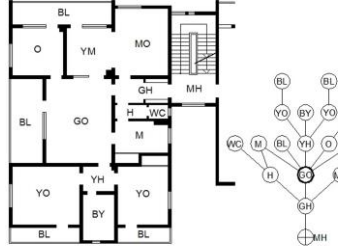
Akıyürek Apartmanı, 1950'ler [13]

Entegrasyon Dizilimi (ort. değer: 1,093)

SH>H>GH=YO=YM>O>LB>YO=M=BY>MO=BL>MH=BL>WC

Ort. Derinlik Dizilimi (ort. değer: 2,724)

SH<H<GH=YO=YM<O<LB<YO=M=BY<MO=BL<MH=BL<WC



KAT PLANI

ÖZVEREN EVİ

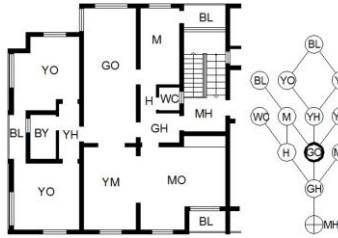
Özveren Evi, 1950'ler [13]

Entegrasyon Dizilimi (ort. değer: 1,068)

GO>YH>GH>YM=M>O>BL>MO=H=YO=YO>BY>MH>BL>BL=WC

Ort. Derinlik Dizilimi (ort. değer: 2,911)

GO<YH<GH<YM=M<O<BL<MO=H=YO=YO<BY<MH<BL<BL=WC



KAT PLANI

SOYLU EVİ

Soylu Evi, 1958, Melahat Öngen [13]

Entegrasyon Dizilimi (ort. değer: 0,971)

GO>GH>YH>M>YM>H>MO>MH=YO=YO>BY>BL>WC>BL>BL

Ort. Derinlik Dizilimi (ort. değer: 2,914)

GO<GH<YH<M<YM<H<MO<MH=YO=YO<BY<BL<WC<BL<BL

*dizimlerde koyu ifadeler ortalama değer in altında ve üstünde kalan mekanları ifade eder.

Şekil 6. 1940-1950 dönemi Adana konutunun mekan dizilimi analizi

Bu bulgunun mekansal ilişkiler bakımından önemli bir noktayı işaret ettiği düşünülmektedir. Bu dönem plan şemaları gelenekselden modern geçiş çabasını içermekte ve merkez mekan hem geçiş hem de ailenin günlük yaşam mekanı olarak tanımlanmaktadır. Öte yandan modern yaşama ait salon ve yemek odası gibi mekanları kurguya dahil etme çabası konfigürasyonda simetrisinin oluşmasına neden olmuştur. Halkalı geçişlerde simetrisinin "birbirleriyle eşit kontrollü ilişki düzeni" olarak değerlendirilmesi bu bulgunun geçirliğini desteklediği düşünülmektedir. Bu durumda mevcut geçiş modellerinde simetriyi oluşturan mekanların merkez mekana işlevsel olarak alternatif olduğu söylenebilir. Oluşan dizimsel simetride misafir odası hane halkı dışındaki kullanıcılar için hane halkının yaşama mekanı olan merkez mekana işlevsel olarak alternatif bir mekan haline gelmektedir.

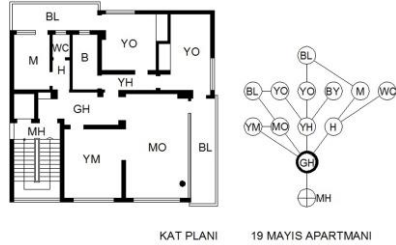
Dizimsel uzaklıklar bakımından ise merkeze en yakın mekanların yatak holü, giriş holü, yemek odası ve mutfak, en uzak mekanların ise misafir odası, yatak odası, wc, banyo ve balkonlar olduğu belirlenmiştir.

3.3.3. 1960–1970 Dönemi Adana Konutunun Genel Karakteri ve Analiz Bulguları

1960-1970 yılları arasında kalan dönemde müstakil konut uygulamaları önemli ölçüde azalmış, buna karşın 3-4 katlı aile apartmanları ile 4-8 katlı kira apartmanları yaygınlaşarak devam etmiştir. Apartman plan şemasının olabildiğince netleştiği bu dönemde gece ve gündüz kullanımı belirgin bir şekilde ayrılmış, mekanda kullanıcı mahremiyetinin sağlanmasına özen gösterilmiştir.

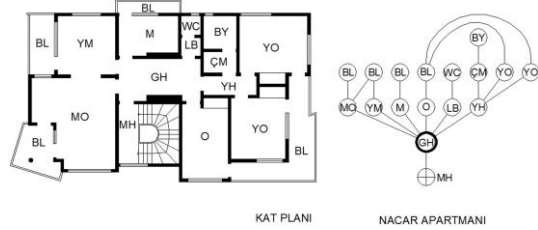
Üçüncü dönem konut örneklerinde geçiş modeli 4-5 derinlikli, sığ halkalı çalı ve halkalı ağaç formundadır. Merkez mekan bu dönemde kök mekandan 1 basamak derinlik uzaktadır. Plan şemalarının işlevsel olarak belirgin biçimde netleştiği bu dönemde mekanlar çoklu fonksiyonlu karakterinden sıyrılmaya başlamıştır. Bu değişim mekan kurgusunda ve dolayısıyla geçiş modellerinde açıkça gözlenmektedir. Geçiş diyagramları incelendiğinde merkez mekanın

bulunduğu derinlikte simetrisinde yer alan başka bir mekanın bulunmadığı görülür (Şekil 7).



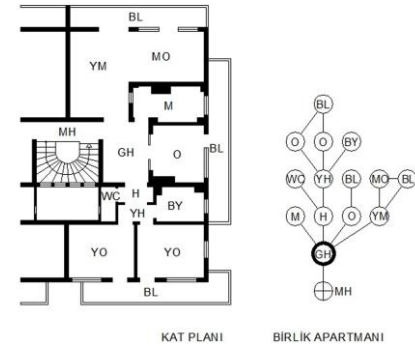
19 Mayıs Apartmanı, 1960'lar [13]

Entegrasyon Dizilimi (ort. değer: 1,160)
GH>YH>H>MO>YM=YO>YO>MH>M=BL>BY>BL>WC
Ort. Derinlik Dizilimi (ort. değer: 2,436)
GH<YH<H<MO<YM=YO<YO<MH<M=BL<BY<BL<WC



Nacar Apartmanı, 1964 [13]

Entegrasyon Dizilimi (ort. değer: 1,220)
GH>YH>MO>YM=O>M=LB>MH>YO=YO>ÇM=BL>BL>BL>BL=WC>BY
Ort. Derinlik Dizilimi (ort. değer: 2,699)
GH<YH<MO<YM=O<M=LB<MH<YO=YO<ÇM=BL<BL<BL<BL=WC>BY



Birlik Apartmanı, 1970'ler [13]

Entegrasyon Dizilimi (ort. değer: 0,913)
GH>H>YH>YM>O>MH=M>WC>YO=YO>BY>MO=BL>BL>BL
Ort. Derinlik Dizilimi (ort. değer: 3,029)
GH<H<YH<YM<O<MH=M<WC<YO=YO<BY<MO=BL<BL<BL
 *dizimlerde koyu ifadeler ortalama değer in altında ve üstünde kalan mekanları ifade eder.

Şekil 7. 1960-1970 dönemi Adana konutunun mekan dizilimi analizi

Böylelikle merkez mekan sadece sirkülasyon elemanı olurken, önceki dönemlerde merkez mekanın yüklendiği ailenin günlük oturma alanı olma işlevi ise merkez mekana açılan bir odayla sağlanmıştır. Bu tespitler mekansal ilişkilerin değişiminin ve bu değişimin mekanın kullanımına yansımalarının belirgin işaretleri olarak değerlendirilebilir.

Bu dönemde de halkalı geçişler kurguda yer alır ve bu geçişler giriş holü, misafir odası ve yatak holü arasında bulunur. Ancak bu dönemde halkaların kurgudaki rolünün önceki dönemlere göre değiştiği görülmektedir. Halkalı geçişlerin varlığı halka üzerinde yer alan mekanın diğerleriyle eşit kontrollü ilişkisi olarak açıklansa da mekanlar arasında gerek duyulan işlevsel ilişkiyi sağlama çabasını işaret etmektedir. Bu dönemde merkeze en yakın mekanlar holler, misafir odası, yemek odası ve oda, merkezden en uzak mekanlar yatak odaları, wc, banyo ve balkonlardır.

4. SONUÇ

Dizilim analizi ve geçiş diyagramı modelleri dönemlerin birbiri içinde ortak ve birbirlerine göre değişen özelliklerini tespit etmeye yardımcı olmuştur. Sosyal ve kültürel farklılıkların olduğu dönemler arasında açık bir şekilde mekan kurgusunun da farklılaştığı tespit edilmiştir. Bu tespitin çalışmanın ilk hipotezini doğruladığı düşünülmektedir. Her dönemin kendine özgü mekansal ilişkiler geliştirdiği ancak bunu yaparken bir önceki dönemden izler taşıdığı da ayrıca bulunmuştur. Bu bulgu konutun kültürel bir olgu olması ve kültürün öğrenilerek aktarılan niteliğiyle açıklanabilir. Farklılaşan dönemlerde her seferinde yeniden keşfedilen bir konut şeması yerine bir önceki şema üzerinden geliştirilerek elde edilmiş bir şemanın varlığından söz edilebilir.

Ele alınan dönem örneklerinde şemanın evrilek değişimi geçiş diyagramlarından kolaylıkla izlenebilmektedir. Gelenekselden modern tasarım anlayışına doğru gelişen süreçte geçiş diyagramları derin dallı ağaç formundan sıkı halkalı çalı formuna doğru değişime uğramıştır. Konutun mekansal ilişki şemasında görülen bu değişim yeni mekansal

ilişkilerin altını çizerken, buna paralel olarak yeni mekan kullanımları ve işlevsel alan tanımlarının oluştuğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda birinci dönemde merkez mekanla odaların doğrudan ilişkisinin ikinci dönemde kısmen daha dolaylı hale geldiği, üçüncü dönemde ise tamamen ayrıldığı görülmüştür. Değişim sürecinin ilk dönemlerinde merkez mekan çok fonksiyonlu olarak hane halkına hizmet ederken, sonraki dönemlerde odaların çok fonksiyonlu kullanımı kısıtlanmış, hane halkı dışından kullanıcılar için misafir odası, yemek salonu gibi yeni mekan tanımları ve ilişkileri geliştirilmiştir. Bunun sonucunda merkez mekan kök mekana göre daha derinden daha sığ bir konuma geçmiştir. Merkez mekanın geçiş modeli üzerinde yerinin değişimi çoklu fonksiyondan tekli fonksiyona geçişinin göstergesi olarak düşünülebilir.

İkinci dönemde çokça görülen halkalı geçişler ve rota değişimi önerilen yeni mekansal ilişkilerin ve kullanımların sağlanabilmesi için bir araç haline gelmiştir. Birinci dönemden ikinci döneme geçerken halkalar yeni mekansal ilişkilerin mevcut şemaya dahil edilmesini sağlama görevini üstelenmiştir. Bu anlamda çok fonksiyonlu sofa mekanından, günlük yaşama ve yemek odası olarak ayrılmış yeni mekansal kullanımlar şemaya ve yaşantıya adapte edilirken halkalı geçişler yardımıyla eski mekansal ilişkiler terkedilmeyerek varlıklarını sürdürmüşlerdir. İkinci dönemden üçüncü döneme geçilirken ise halkalar daha çok işlevsel ilişkileri sağlamak için kullanılmıştır.

Bu tespitlere ek olarak mekansal ilişkilerin değişimi konutta gece ve gündüz kullanımının ayrılmasını sağlamış, hollerin oluşmasına ve mekanlar arasında kademeli geçişlere neden olmuş, işlevsel gruplamaların belirginleştiği görülmüştür. Analiz edilen son dönemde bu değişim tekil merkezin yanında ikincil merkezin oluşmasıyla sonuçlanmıştır. Bu ikincil merkez özel kullanım alanlarını içeren, mahremiyet seviyesinin yüksek olduğu mekanları kontrol etmektedir. Elde edilen bu sonuçlarla çalışmanın ikinci ve üçüncü hipotezlerinin doğrulandığı düşünülmektedir.

Plan şemasında ilişkili yakınlık olarak tanımlanan mekansal komşuluğun geometrik biçimlenişte

sınırdış olmanın ötesinde anlamlar taşıdığı, mekansal komşuluk ilişkisinin değişmesiyle mekanın işlevsel karakterinin değiştiği tespit edilmiştir. Ulaşılan bu sonuç merkez mekanın üç dönemde farklı mekansal ilişkilere sahip olmasıyla açıklanabilir. Birinci dönemde sofa olan merkez mekan, ikinci dönemde günlük odaya, üçüncü dönemde ise giriş holüne dönüşmüştür. Merkez mekana ait ilişkilerin değişimi mekanın işlevsel karakterini değiştirirken mekanın anlamsal olarak da farklılaşmasını sağlamıştır. Bu tespitler ışığında mekan kurgusu içinde her bir dönemin kendi içinde benzer mekansal komşuluk ilişkisine sahip olduğunu, dönem içinde farklı geometrik biçimlenmeler görülse de mekan kurgusunun benzerlikler taşıdığını ayrıca söylemek mümkündür.

Çalışma aracılığıyla mekansal ilişkiler ve mekan kurgusu konularına, çalışmada tanımlanan “mekansal komşuluk” kavramıyla farklı bir bakış geliştirilmek istenmiştir. Bu kapsamda Adana’da 1920-1970 yılları arasına yayılan üç ayrı dönemde inşa edilmiş konut şemaları yardımıyla mekansal komşuluk kavramı tartışılmaya çalışılmıştır. Ulaşılan sonuçlar değişen geometrilere benzer mekansal komşuluk ilişkilerinin varlığını ve mekansal ilişkilerin değişmesiyle mekanın işlevsel ve anlamsal değerinin değiştiğini ortaya koymaktadır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi BAP Birimi tarafından FBA-2016-7534 proje kodu ile desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Markus T.A., 1993. Buildings as Social Objects, Companion to Contemporary Architectural Thought, Farmer B., Louw H. (eds.), Routledge, London, UK, p.15-20.
2. Hillier B., Hanson J., Graham H., 1987. Ideas are in Things: an Application of the Space Syntax Method to Discovering House Genotypes, Environment and Planning B: Planning and Design, 14 (4), 363-385.

3. Ireland T., 2015. The spatiality of Being, Biosemiotics, 8, 381-401.
4. Peponis J., 1997. Geometries of Architectural Description, First International Space Syntax Symposium, Vol. 2, 34.1-34.8, 16-18 Nisan, London, UK.
5. Hillier B., Hanson J., 1984. The Social Logic of Space, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
6. Hillier B., 2014. Space Syntax as a Method and as a Theory, 21st International Seminar on Urban Form - ISUF2014, Porto, Portugal, 3-6 Temmuz, <http://isuf2014.fe.up.pt/Hillier.pdf>, Erişim tarihi Kasım 21, 2016.
7. Hillier B., 2007. Space is the Machine, Space Syntax, UCL, London, UK.
8. Peponis J., Wineman J., 2002. Spatial Structure of Environment and Behavior, Handbook of Environmental Psychology, Bechtel R.B., Churchman A. (eds.), John Wiley & Sons, NY, ABD, 271-291.
9. Karaman F., Erman O., 2014. From Traditional to Modern: Changes in the Spatial Structure of Single Family Houses in Turkey, International Journal of Academic Research, 6(5), 64-74.
10. Marcus C.C., 1995. House as a Mirror of Self, Conari Press, Berkeley, CA, ABD.
11. Erman O., Karaman F., Saban D., Durukan İ., 2007. Adana'da 1930'lardan Günümüze, Sosyal, Kültürel ve Ekonomik Değişimler Bağlamında Konut Mimarisinin Gelişimi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(2), 235-247.
12. Adana Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu, Adana İli, 76 Envanter Numaralı Taşınmaz Kültür Varlığı Tescil Fişi.
13. Onur ERMAN Arşivi.
14. Semih Rüstem, 1933. Şevket Bey Evi, Arkitekt, 1933-04(28), 99-102.

LB : Lavabo	WC : Tuvalet
M : Mutfak	YM : Yemek Odası
MH : Merdiven Holü	YO : Yatak Odası

KISALTMALAR

AS : Açık Sofa	MO : Misafir Odası
BL : Balkon	MR : Merdiven
BY : Banyo	O : Oda
ÇM : Çamaşırılık	OS : Orta Sofa
GH : Giriş Holü	S : Sofa
GO : Günlük Oda	SH : Sofa Hol
GV : Giriş Verandası	SK : Sokak
H : Hol	T : Taşlık

Bir Nano Adsorbent ile Reaktif Black 39 Boyar Maddesinin Distile Sudan ve Sentetik Atıksudan Giderimi

Behzat BALCI^{*1}, Fatma Elçin ERKURT¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 11.01.2017

Kabul tarihi: 14.03.2017

Öz

Bu çalışmada yüzeyi nano manyetit ile kaplanmış *Eucalyptus camaldulensis* kabukları (NEK), bir tekstil boyar maddesi olan Reaktif Black 39'un (RB39) distile su ve sentetik atıksudan gideriminde düşük maliyetli bir adsorbent olarak kullanılmıştır. Adsorpsiyon üzerine temas zamanı, pH, sıcaklık NEK dozu ve başlangıç boyar madde konsantrasyonu gibi çeşitli parametrelerin etkisi araştırılmıştır. Çalışmalar NEK'in adsorpsiyon kapasitesinin başlangıç boyar madde konsantrasyonunun, pH'ın ve sıcaklığın artmasıyla arttığını, NEK dozunun artmasıyla azaldığını göstermiştir. 300 mg/L RB39'un 150 mL distile sudan yaklaşık %94 verimle giderilmesi için 0,2 g NEK yeterli olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan 300 mg/L RB39'un sentetik atıksudan yaklaşık %92 verimle giderilmesi için 0,4 g NEK'in yeterli olduğu bulunmuştur. Freundlich izotermi ($R^2=0,993$) adsorpsiyon sürecini Langmuir izotermine göre daha etkili bir şekilde açıklamıştır. Langmuir izotermi NEK'in maksimum adsorpsiyon kapasitesini 432,12 mg/g olarak tahmin etmiştir.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, *Eucalyptus camaldulensis*, Manyetit

Removal of Reactive Black 39 Dye from Distilled Water and Synthetic Wastewater by a Nano Adsorbent

Abstract

In the present study, nano magnetite coated *Eucalyptus camaldulensis* barks (NEC) was used as a low-cost adsorbent for the removal of a textile dye Reactive Black 39 (RB39) from distilled water and synthetic wastewater. The effects of the various parameters, contact time, pH, temperature, NEC dosage and initial dye concentration on the adsorption were investigated. It was found that the adsorption capacity of NEC increases by increasing the RB39 concentration, pH and temperature and by decreasing the dosage of NEC. 0.2 g NEC was found to be sufficient for the removal of 300 mg/L RB39 from 150 mL distilled water with ~94 % removal efficiency. On the other hand 0.4 g NEC was found sufficient for the removal of RB39 from synthetic wastewater with ~92 % removal efficiency. The Freundlich isotherm model described the adsorption process more effectively ($R^2 = 0.993$) than the Langmuir isotherm model. The Langmuir isotherm predicted a 432.12 mg/g maximum adsorption capacity of NEC.

Keywords: Adsorption, *Eucalyptus camaldulensis*, Magnetite

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Behzat BALCI, behzatbalci@gmail.com

1. GİRİŞ

Boyar madde içeren atıksular, oluşturacağı ekolojik problemlerden dolayı özel önem verilmesi gereken kirleticiler arasına girmektedir. Dünya genelinde 10.000 tip farklı boya ve ortalama 700.000 ton miktarında boya kullanımı mevcuttur. Boyar maddelerin sucul ortamlarda toksik, kanserojenik ve estetik problemlere neden olduğu bilinmektedir [1]. Reaktif boyar maddeler parlak yapıları, hızlı uygulanabilirliği ve düşük maliyetinden dolayı tekstil endüstrisinde en yaygın kullanılan boyar madde tipidir [2]. Reaktif boyar maddeler suda çok iyi çözünür ve azoik yapılarından dolayı biyolojik parçalanmaya karşı oldukça dirençlidirler. Geleneksel arıtma süreçleri sonucunda, çıkış sularında reaktif boyar madde kalıntıları mevcut olabilmektedir [3]. Adsorpsiyon süreci, boyar maddeler gibi çözünmüş organik kirleticilerin sudan gideriminde yüksek kaliteli çıkış suyu sağladığından dolayı ön plana çıkmaktadır [4].

Manyetik ayırma teknolojisi, etkili ve hızlı sonuç veren bir teknoloji olmasından dolayı son yıllarda bilim adamlarının önemle dikkatini çekmiştir. Bu teknoloji, ilaç, hücre biyolojisi, analitik kimya, madencilik ve çevre teknolojisi gibi pek çok alanda kullanım göstermektedir [5]. Bu teknolojinin en önemli avantajları; büyük miktarlarda atıksuyu kısa sürelerde arıtabilmesi ve yeni kirletici üretmemesidir [6]. Manyetik ayırma teknolojisinin adsorpsiyon süreci ile birlikte kullanılması çevresel uygulamalarda geniş yer tutmaktadır. Manyetik nano partiküller (Fe_3O_4) adsorpsiyon süreçlerinde, adsorbentin yüzey alanını arttırmak için bir yüzey kaplayıcı olarak kullanılabilir. Manyetik ile kaplanmış bu nano adsorbentler, artan yüzey alanlarına ve yüksek derecede aktif adsorpsiyon sitlerine sahip olmasından dolayı adsorpsiyon süreçlerinde son yıllarda ilginin odağı haline gelmiştir [7].

Literatürde boyar maddelerin çeşitli adsorbentler ile giderimi üzerine dayalı olan çalışmalar, genel olarak distile sudan boyar madde giderimi üzerine

yoğunlaşmıştır [8-15]. Bu çalışmalarda distile suda, boyar madde haricinde kirleticiler bulunmamaktadır. Böylece adsorpsiyon mekanizmaları sadece boyar madde ile adsorbent arasında gerçekleşmektedir. Hiç şüphesiz; boyar madde ile adsorbent arasındaki özellikli sorpsiyon etkileşimlerini anlamak adına, distile su ortamından boyar madde giderimi önem arz etmektedir. Ancak bunun yanında, boyar maddelerin bulunduğu atıksular boyar maddeler dışında alkalinite, asidite, NH_4-N , Cl^- iyonları, askıda katı maddeler ve yağ gres gibi kirleticiler içermektedir [16,17]. Bu kirleticiler, adsorbent yüzeyindeki adsorpsiyon sitlerini işgal ederek, oluşturabileceği rekabetçi adsorpsiyon ile atıksudan boyar madde giderim verimlerini düşürebilmektedir. Bu durumda distile sudan boyar madde giderimi ile atıksudan boyar madde giderimi süreçleri arasında, giderim verimleri açısından önemli farklar ortaya çıkabilmektedir.

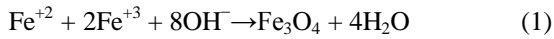
Bu çalışmanın amacı, *Eucalyptus camaldulensis* kabuklarının yüzeyinin manyetit ile kaplanmasıyla elde edilmiş olan düşük maliyetli bir nano adsorbent ile Reaktif Black 39 (RB39) boyar maddesinin distile sudan ve sentetik olarak oluşturulmuş tekstil atıksuyundan, değişen parametreler altında, adsorpsiyonla gideriminin araştırılmasıdır. *Eucalyptus camaldulensis* kabukları yenilenebilir, ekonomik ve bol bulunan bir materyal olmasından dolayı nano adsorbent üretiminde tercih edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. NEK Eldesi

Eucalyptus camaldulensis kabukları, Çukurova Üniversitesi Balcalı kampüsünden toplanmıştır. Toplanan kabuklar, kir ve tozdan temizlenmek üzere, sıcak su ile yıkanıp $70^\circ C$ 'de 24 saat kurutulmuştur. Kurutulan kabuklar parçalanıp ortalama 0,2 mm dane çapında olacak şekilde elek analizine tabii tutulmuştur. NEK, kimyasal çöktürme metoduna göre elde edilmiştir. 12,5 g kabuk, 1,455 g $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ve 7,5 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ içeren 1000 mL çözeltiye eklenmiştir. Süspansiyon

karişım 50°C'ye kadar ısıtılıp bu sıcaklıkta azot gazı akımı altında 2 saat boyunca karıştırılmıştır. Karişımın pH'ı 10'a gelinceye kadar damla damla NaOH çözeltisi eklenip, 5 saat boyunca 80°C'de sabit tutularak güçlü bir şekilde karıştırılmıştır. İşlem sonunda, NEK oksijensiz distile su ile yıkanıp 80°C'de 24 saat kurutulmuştur. Muhtemel Fe₃O₄ oluşumu eşitlik 1'de verilmiştir.



2.2. Boyar Madde ve Ölçümü

RB39 boyar maddesi, (CAS No: 68259-02-9) Adana'da yerel bir tekstil firmasından temin edilmiştir. Sıvı fazdaki kalıntı boyar madde konsantrasyonunun tespiti, spektrofotometrede (Chebios Opitimum-one) 531 nm dalga boyunda hazırlanmış olan kalibrasyon eğrisi üzerinden numunelerin okutulmasıyla gerçekleştirilmiştir.

2.3. Adsorpsiyon Çalışmaları

RB39'un NEK tarafından adsorpsiyonla giderilmesi süreci üzerine, temas zamanının (5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 dk), pH'ın (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10), sıcaklığın (15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 °C), NEK dozunun (0,1, 0,2, 0,3 ve 0,4 g) ve başlangıç RB39 konsantrasyonunun (75, 100, 150, 200 ve 300 mg/L) etkisi araştırılmıştır. Boyar madde giderimi distile sudan ve sentetik atıksudan olmak üzere iki kısımda gerçekleştirilmiştir. Boyar maddenin eklendiği sentetik atıksu kompozisyonu 6 mg/L NH₄-N, 160 mg/L yağ gres ve 18000 mg/L Cl⁻ içerecek şekilde hazırlanmıştır [16,17]. Yapılan adsorpsiyon çalışması kesikli süreç olup, 500 mL erlenmayerlerde ve 150 mL hacminde sulu çözeltide gerçekleştirilmiştir. Karıştırma işlemi 250 rpm'de, sıcaklık ayarlı çalkalayıcı ile sağlanmıştır. Deneyler üç tekrarlı yapılmış olup, hesaplamalarda ortalama değerler kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Temas Zamanının Etkisi

Adsorpsiyon bir denge tepkimesine benzer ve çözeltide kalan çözünen derişimi ile yüzeye tutulan

çözünen derişimi arasında dinamik bir dengeye ulaşmaya kadar devam eder. Dengenin, çözünenin katı ve sıvı fazları arasında belirli bir dağılımı vardır. Dağılım oranı, adsorpsiyon işleminde denge durumunun bir ölçüsüdür. Adsorpsiyon dengesini belirtmek için sabit sıcaklıkta, denge zamanında, çözeltide kalan çözünen derişimine karşı, katı adsorbentin birim ağırlığında adsorbe edilen çözünen miktarı grafiğe geçirilir [18].

Denge zamanındaki adsorbentin birim ağırlığında (g) adsorbe edilen çözünen miktarı (mg) olan "q_e" değerini tespit etmek gerekmektedir. Aslında "q_e" değerinin tam olarak elde edilmesi oldukça zordur. Bunun nedeni, pek çok adsorpsiyon sürecinde, adsorbat ile adsorbent arasındaki etkileşimin, ilk hızlı tepkimededen sonra oldukça yavaş cereyan etmesidir. Bu durum, denge zamanına kesin olarak ulaşıp ulaşılmadığını anlamayı zorlaştırır. Bu gibi durumlarda en yaklaşık bir "q_e" değeri seçilir. Seçilen en yaklaşık "q_e" değerine ait denge zamanından sonraki zamanlardaki "q_t" değerleri en yaklaşık q_e değerine oldukça yakındır [19].

Adsorpsiyon denge zamanı çalışması, distile sudan ve sentetik atıksudan 300 mg/L boyar madde için pH 7'de, 20 °C'de ve 0,1 gram NEK dozu ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada adsorpsiyon denge zamanının distile su ve sentetik atıksu için 40 dk olduğu tespit edilmiştir. Distile su için ve sentetik atıksu için denge zamanında hesaplanan adsorpsiyon kapasiteleri sırasıyla 185,25 ve 133,20 mg/g olarak hesaplanmıştır. Sentetik atıksuda daha düşük adsorpsiyon kapasitesi elde edilmesinin nedeni, boyar madde dışında sentetik atıksuya eklenmiş olan diğer kirleticilerin NEK'in adsorpsiyon sitelerini belli oranda işgal ederek boyar madde giderimini negatif yönde etkilemesinden olduğu düşünülmektedir. Adsorpsiyon kapasitesi (q) Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır. Adsorpsiyon denge grafiği Şekil 1'de verilmiştir.

$$q = \frac{(C_0 - C_e)}{W} V \quad (2)$$

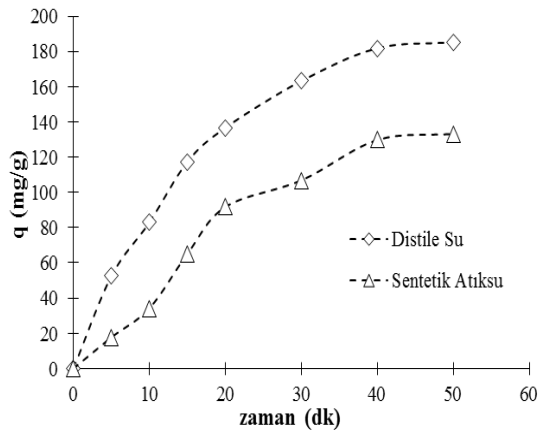
q = Adsorpsiyon kapasitesi, mg/g

C_0 = Başlangıç boyar madde konsantrasyonu, mg/L

C_e = Çıkış boyar madde konsantrasyonu, mg/L

V = Çözelti hacmi, L

W = Adsorbent kütlesi, g

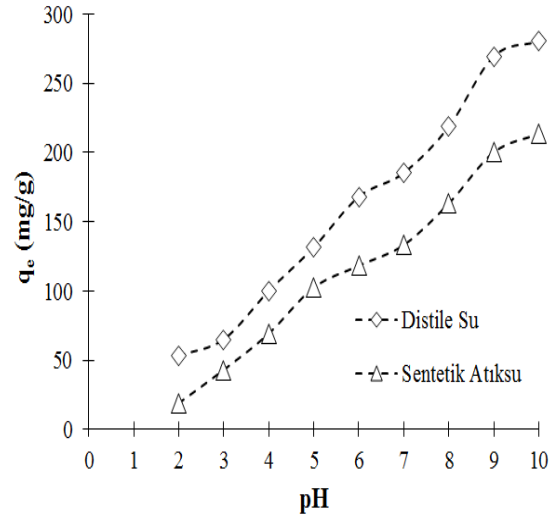


Şekil 1. Adsorpsiyon denge zamanı

3.2. pH'in Adsorpsiyon Sürecine Etkisi

pH'in adsorpsiyon süreci üzerine olan etkisinin araştırılması, 300 mg/L boyar madde için, 20°C'de ve 0,1 gram NEK dozu ile gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon süreçlerinde, pH değeri adsorpsiyon sürecini etkileyebilecek en önemli parametrelerden biridir. Çözeltinin pH'ı, adsorbent yüzey yük yoğunluğunu ve çözünmüş iyon konsantrasyonunu değiştirebileceğinden, adsorpsiyon kapasitesi üzerine etki eder [20]. NEK'in distile suda ve sentetik atıksudan RB39 gideriminde pH etkisini gösteren grafik, Şekil 2'te verilmiştir. Asidik koşullarda adsorpsiyon kapasitesinin, bazik koşullara göre önemli ölçüde düştüğü görülmüştür. Düşük pH değerlerindeki düşük adsorpsiyon kapasitesinin, H⁺ iyonlarının adsorbent yüzeyini işgal etmesi ve RB39 tutulumunu azaltmasından olabileceği düşünülmektedir [21]. pH 2'de, distile su ve sentetik atıksu için adsorpsiyon kapasiteleri sırasıyla 53,25 ve 19,05 mg/g bulunurken, pH 9'da 269,55 ve 200,10 mg/g olarak bulunmuştur. En yüksek adsorpsiyon kapasiteleri pH 10 için tespit

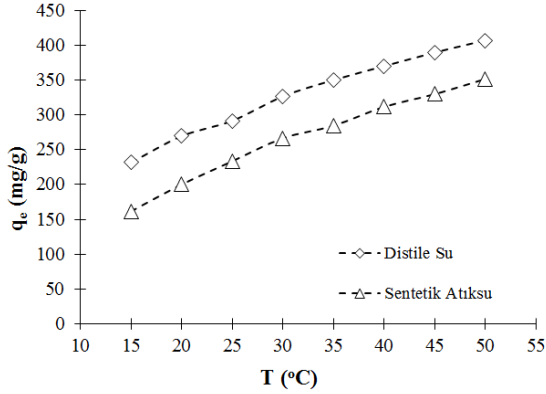
edilirken pH 10 ile 9'daki adsorpsiyon kapasiteleri arasındaki fark önemli olmadığından optimum pH değeri olarak 9 seçilmiş ve sonraki çalışmalar bu pH değerinde gerçekleştirilmiştir. Tüm pH değerlerinde denge zamanının yaklaşık 40 dakika civarı olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2. Adsorpsiyon süreci üzerine pH'in etkisi

3.3. Adsorpsiyon Süreci Üzerine Sıcaklığın Etkisi

Adsorpsiyon sürecine sıcaklığın etkisinin araştırıldığı deneysel süreç, 300 mg/L boyar madde için, pH 9'da ve 0,1 gram NEK dozu ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar, NEK adsorpsiyon kapasitesinin sıcaklığın artmasıyla önemli derecede arttığını göstermiştir. Adsorpsiyon kapasitesi 15°C'de distile su ve sentetik atıksu için sırasıyla 231,60 mg/g ve 161,25 mg/g olarak hesaplanırken, 50°C'de yine distile su ve sentetik atıksu için sırasıyla 407,10 ve 351,60 mg/g olarak hesaplanmıştır. Yüksek sıcaklıklarda yüksek adsorpsiyon kapasitesinin elde edilmesinin, sıcaklık artışıyla RB39 moleküllerinin mobilitesinin ve NEK aktif sitelerinin artmasına dayalı olabileceği düşünülmektedir [22]. Adsorpsiyon sürecine sıcaklığın etkisini gösteren grafik, Şekil 3'te verilmiştir. 50°C optimum sıcaklık olarak seçilmiş ve bundan sonraki çalışmalar bu sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Adsorpsiyon süreci üzerine sıcaklığın etkisi

3.3.1. Termodinamik Parametreler

Standart Gibbs serbest enerji (ΔG°), entalpi (ΔH°) ve entropi (ΔS°) gibi termodinamik parametreler, Eşitlik 3 ve 4 kullanılarak hesaplanmıştır. Termodinamik parametrelerin hesaplanmasında, farklı sıcaklıklarda distile sudan RB39 giderimi üzerine yapılan deneysel süreçten elde edilen veri kullanılmıştır.

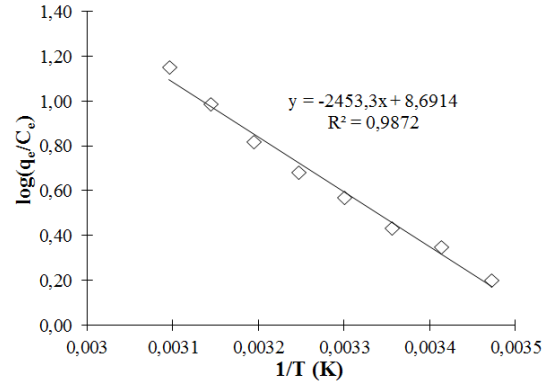
$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - \Delta S^\circ \quad (3)$$

$$\log\left(\frac{q_e}{C_e}\right) = \frac{\Delta S^\circ}{2,303R} + \frac{-\Delta H^\circ}{2.303RT} \quad (4)$$

ΔH° ve ΔS° $\log(q_e/C_e)$ 'nin $1/T$ 'ye karşı grafiğe geçirilmesi ile elde edilen doğrunun eğimi ve kesim noktasından hesaplanır. Burada q_e denge zamanındaki adsorpsiyon kapasitesini (mg/g), C_e denge zamanında sıvı fazdaki kalıntı boyar madde konsantrasyonunu (mg/L), T sıcaklığı (K) ve R gaz sabitini (8,314 J/mol.K) ifade eder [23]. Termodinamik parametrelerin hesaplanmasında kullanılan grafik ve doğru denklemi Şekil 4'de, termodinamik parametreler ise Çizelge 1'de verilmiştir.

Gibbs serbest enerjisi, adsorpsiyon sürecinin spontanite seviyesini ifade eder. Yüksek negatif Gibbs değerleri, enerji açısından daha elverişli bir adsorpsiyon sürecinin olduğunu gösterir [24]. Tüm sıcaklık değerlerinde ΔG° değerlerinin negatif

çıkması, bu sıcaklıklarda adsorpsiyon sürecinin spontanitesinin elverişli olduğunu işaret etmektedir.



Şekil 4. $\log(q_e/C_e)$ 'nin $1/T$ 'ye karşı grafiğe geçirilmesi

Çizelge 1. Termodinamik parametreler

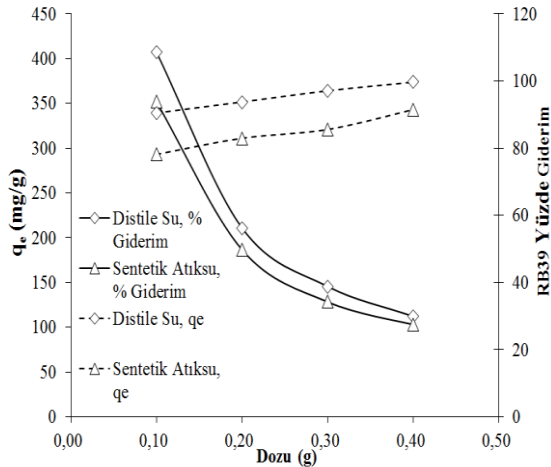
Sıcaklık °C	ΔG° kJ/mol	ΔH° kJ/mol	ΔS° kJ/mol
15	-953,84	46973,68	166,415
20	-1785,915		
25	-2617,99		
30	-3450,065		
35	-4282,14		
40	-5114,215		
45	-5946,29		
50	-6778,365		

Pozitif ΔH° değeri RB39'un NEK üzerine adsorpsiyonunun endotermik bir süreç olduğunu göstermektedir. Pozitif ΔS° değeri adsorpsiyon sırasında katı-sıvı ara yüzeyindeki rastgeleliğin arttığını göstermektedir [25].

3.4. Adsorpsiyon Süreci Üzerine NEK Dozunun Etkisi

NEK doz çalışmaları, 300 mg/L RB39 için 50°C'de, pH 9'da gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar, NEK dozunun artmasıyla adsorpsiyon kapasitesinin azaldığını, boyar madde giderim veriminin ise arttığını göstermiştir. 0,1 gram NEK

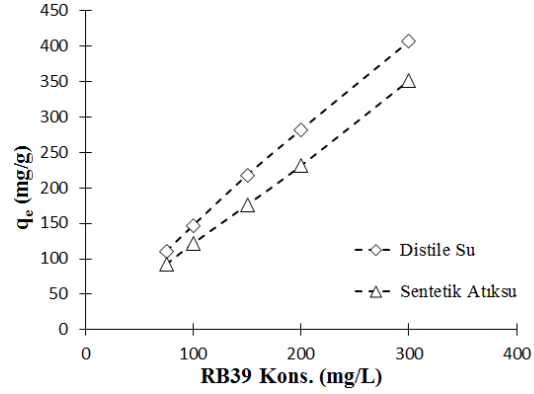
için distile su ve sentetik atıksuda adsorpsiyon kapasitesi sırasıyla 407,10 ve 351,60 mg/g bulunurken, 0,4 gram NEK için sırasıyla 112,08 ve 102,90 mg/g olarak tespit edilmiştir. Adsorpsiyon kapasitesinin NEK dozunun artmasıyla azalması; RB39'un NEK yüzeyi ve sıvı çözelti arasındaki konsantrasyon gradyanına bağlı olan bir durumdur [25]. 0,4 gram NEK ile RB39 distile sudan %99,6 verimle giderilirken, sentetik atıksudan %91,4 verimle giderilmiştir. Adsorpsiyon süreci üzerine NEK dozunun etkisini gösteren grafik, Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Adsorpsiyon süreci üzerine NEK dozu etkisi

3.5. Adsorpsiyon Süreci Üzerine RB39 Konsantrasyonunun Etkisi

Adsorpsiyon süreci üzerine RB39 konsantrasyonunun etkisini görmek için yapılan deneysel çalışma; 50°C'de, pH 9'da ve 0,1 g NEK dozu ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar, adsorpsiyon kapasitesinin, RB39 konsantrasyonunun artmasıyla arttığını ve RB39 konsantrasyonunun azalmasıyla azaldığını göstermiştir. Distile suda adsorpsiyon kapasiteleri 75 ve 300 mg/L boyar madde konsantrasyonları için sırasıyla; 110,92 ve 407,10 mg/g bulunmuştur. Sentetik atıksuda adsorpsiyon kapasiteleri ise 75 ve 300 mg/L boyar madde konsantrasyonları için sırasıyla; 92,25 ve 351,50 mg/g bulunmuştur. RB39 konsantrasyonunun etkisini gösteren grafik, Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Adsorpsiyon süreci üzerine RB39 konsantrasyonunun etkisi

3.6. Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon izotermi, adsorpsiyonun denge zamanına ulaştığında, adsorplanan moleküllerin katı ve sıvı faz arasında nasıl bir dağılım sergilediğini gösterir. Adsorpsiyon sürecinden elde edilen veri ile en iyi izoterm modellerinin elde edilmesi, adsorpsiyon süreçlerinin tasarımı için önemli bir adımdır [26]. Distile sudan farklı konsantrasyonlarda boyar madde gideriminin araştırılmasından elde edilen veri Langmuir ve Freundlich izotermi ile test edilmiştir. İzoterm parametreleri non-lineer yöntem ile kalıntı karelerin toplamının minimizasyonu metodu kullanılarak hesaplanmıştır.

3.6.1. Langmuir İzotermi

Bu izoterm, adsorbent yüzeyinde adsorplayıcı noktaların olduğunu farz eder. Her adsorplayıcı noktanın bir molekül adsorplayacağını kabul ederek oluşan tabakanın bir molekül kalınlığında bir tabaka olacağını söyler. Denge halinde maksimum adsorpsiyon kapasitesine ulaşılmış ve yüzey tek tabakayla kaplanmış olur [27]. İzoterm matematiksel ifadesi Eşitlik 5'de verilmiştir.

$$q_e = \frac{q_{maks} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (5)$$

C_e : Adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan maddenin konsantrasyonu (mg/L),

q_e : Birim adsorbent üzerine toplanan madde miktarı (mg/gr)
 K_L : İzoterm sabiti (L/mg),
 q_{maks} : Adsorbentın maksimum adsorplama kapasitesi (mg/g).

Langmuir izotermi 0,947 korelasyon katsayısı ile NEK'in RB39 için maksimum adsorpsiyon kapasitesini ve K_L değerini sırasıyla 432,12 mg/g ve 107,60 L/mg olarak hesaplamıştır. Modelin tahmin ettiği maksimum adsorpsiyon kapasitesi, deneysel veri ile uyum içerisinde olsa da elde edilen 0,947 korelasyon katsayısı bu izotermi RB39'un NEK tarafından distile sudan adsorpsiyonla giderim sürecini açıklamada orta derecede başarılı olduğunu göstermektedir.

3.6.2. Freundlich İzotermi

Freundlich, adsorpsiyon prosesini ifade eden ampirik bir denklem geliştirmiştir. Freundlich'e göre; bir adsorbentın yüzeyi üzerinde bulunan adsorpsiyon alanları heterojendir yani farklı türdeki adsorpsiyon alanlarından teşkil edilmiştir. [28]. Freundlich izotermi matematiksel ifadesi Eşitlik 6'da verilmiştir.

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (6)$$

K_F : izoterm sabiti (L/mg), $1/n$: Adsorpsiyon heterojenitesinin yoğunluğunu gösterir ve 0 ile 1 arasında değerler almaktadır (birimsiz).

Freundlich izotermi 0,993 korelasyon katsayısı ile adsorpsiyon sürecini Langmuir izotermine göre oldukça başarılı bir şekilde açıklamıştır. Freundlich izotermi non-lineer olarak çözümlenmesiyle K_F ve n değerleri sırasıyla 117,50 L/mg ve 0,368 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan n değeri, yüzey heterojenitesinin yoğun olduğunu göstermektedir.

3.7. Maliyet Analizi

Bir adsorbentın etkinliğinin araştırılmasında adsorpsiyon kapasitesi en önemli parametrelerden biridir. Ancak adsorpsiyon kapasitesinin yanında adsorbent maliyeti de oldukça önem arz

etmektedir. Düşük maliyetli alternatif adsorbentlerin arıtma performanslarının araştırıldığı çalışmalarda, adsorbentlerin maliyet analizlerine nadiren değinilmektedir. Oysa kullanılan adsorbentın maliyeti, endüstriyel ölçekte uygulanabilirliği açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada, kullanılan NEK'in basit bir maliyet analizi yapılmıştır. *Eucalyptus camaldulensis* kabukları dünya genelinde yenilenebilir ve oldukça yaygın bulunan bir karakterdedir. Buna ilaveten *Eucalyptus* türleri kağıt hamuru ve kağıt üretiminde uygun fiber yapısından dolayı sıklıkla hammaddede olarak tercih edilmektedir. Bu endüstrilerde kabuk sıyırma işlemleri sonucu bol miktarda kabuk elde edilmektedir [29]. Bu durumda *Eucalyptus* kabuklarının, düşük maliyetli adsorbent üretimi açısından önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Bir ton NEK'in üretimi için kullanılan hammaddede, kimyasal madde ve elektrik enerjisi açısından yaklaşık 200 dolar maliyet hesaplanmıştır. Adsorpsiyon süreçlerinde yaygın bir adsorbent olarak kullanılan aktif karbonun 1 tonunun maliyeti, kalitesine bağlı olarak 700 ile 5000 dolar arasında değişmektedir [30]. Bu durumda NEK düşük maliyetli ve etkili bir adsorbent karakteri sergilemektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, *Eucalyptus camaldulensis* kabuklarının yüzeyinin nano manyetit ile kaplanmasından elde edilen düşük maliyetli bir adsorbent ile RB39'un distile sudan ve sentetik atıksudan, değişen koşullar altında adsorpsiyonla giderimi araştırılmıştır. Elde edilen bulgular sentetik atıksudaki kirleticilerin, boyar madde giderimi sırasında, adsorbent yüzeyindeki adsorpsiyon sitlerini işgal ettiğini ve boyar madde için adsorbentın adsorpsiyon kapasitesini azalttığını göstermiştir. Yapılan çalışmalar, adsorpsiyon süreci üzerine pH'nın, sıcaklığın, adsorbent dozunun ve başlangıç RB39 konsantrasyonunun önemli derecede etki ettiğini göstermiştir. Adsorpsiyon süreci için optimum sıcaklığın ve pH'nın sırasıyla 50°C ve 9 olduğu tespit edilmiştir. 300 mg/L RB39, pH 10'da, 50°C'de ve 0,1 gram NEK ile distile sudan %90,50

verimle giderilirken aynı şartlar altında sentetik atıksudan %78,10 verimle giderilmiştir. Distile su için optimum şartlar altında 300 mg/L RB39 için 0,1 gram NEK kullanılarak 407,10 mg/g adsorpsiyon kapasitesi elde edilmiştir. Freundlich izotermi adsorpsiyon sürecini 0,993 korelasyon katsayısı ile başarılı bir şekilde açıklamıştır. Termodinamik parametreler, adsorpsiyon sürecinin endotermik reaksiyonlar ile gerçekleştiğini göstermiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, NEK'in, RB39'un atıksudan adsorpsiyon ile giderilmesinde başarı ile kullanılabilir bir adsorbent olduğunu göstermiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Senthilkumaar, S., Kalaamani, P., Porkodi, K., Varadarajan P.R., Subburaam, C.V., 2006. Adsorption of Dissolved Reactive Red Dye from Aqueous Phase onto Activated Carbon Prepared from Agricultural Waste, *Bioresource Technology*, 97(14), 1618–1622.
2. Ahmad, M.A., Alrozi, R., 2011. Optimization of Rambutan Peel Based Activated Carbon Preparation Conditions for Remazol Brilliant Blue Removal, *Chemical Engineering Journal*, 168(1), 280–85.
3. Ip, A.W.M., Barford, J.P., McKay, G., 2009. Reactive Black Dye Adsorption/desorption onto Different Adsorbents: Effect of Salt, Surface Chemistry, Pore Size and Surface Area, *Journal of Colloid and Interface Science*, 337(1), 32–38.
4. Walker, G.M., Weatherley, L.R., 1997. Adsorption of Acid Dyes onto Granular Activated Carbon in Fixed Beds, *Water Research*, 31(8), 2093–101.
5. Ngomsik, A.F., Bee, A., Draye, M., Cote, G., Cabuil V., 2005. Magnetic Nano-Microparticles for Metal Removal and Environmental Applications: a Review, *C. R. Chimie*, 8, 963–970.
6. Kaminski, M.D., Nunez, L., 1999. Extractant-Coated Magnetic Particles for Cobalt and Nickel Recovery from Acidic Solution, *J. Mag. Mat.*, 194, 31–36.
7. Nethaji, S., Sivasamy, A., Mandal, A.B., 2013. Preparation and Characterization of Corn Cob Activated Carbon Coated with Nano-Sized Magnetite Particles for the Removal of Cr (VI), *Bioresource Technology*, 134, 94–100.
8. Malik, P.K., 2003. Use of Activated Carbons Prepared from Saw Dust and Rice-Husk for Adsorption of Acid Dyes: a Case Study of Acid Yellow 36, *Dyes and Pigments*, 56, 239–249.
9. Nevine, K.A., 2008. Removal of Reactive Dye from Aqueous Solutions by Adsorption onto Activated Carbons Prepared from Sugarcane Bagasse Pith, *Desalination*, 223, 152–161.
10. Suhong, C., Jian, Z., Chenglu, Z., Qinyan, Y., Yan, L., Chao, L., 2010. Equilibrium and Kinetic Studies of Methylorange and Methylviolet Adsorption on Activated Carbon Derived from *Phragmites australis*, *Desalination*, 252, 149–156.
11. Taimur, K., Shamsul, R.M.K., Malay, C., 2010. Adsorptive Removal of Reactive Yellow 15 from Aqueous Solution by Coconut Coir Activated Carbon, *Adsorption Science and Technology*, 28 (7), 657–667.
12. Wang, L., 2012. Application of Activated Carbon Derived from 'Waste' Bamboo Culms for the Adsorption of Azo Disperse Dye: Kinetic, Equilibrium and thermodynamic Studies, *Journal of Environmental Management*, 102, 79–82.
13. Mohammad, R.S., Mahdi, H., Gordon, M., 2014. Breakthrough Curve Analysis for Fixed-bed Adsorption of azo Dyes Using Novel Pine Cone-Derived Active Carbon, *Adsorption Science and Technology* 32 (10), 791–806.
14. Kouassi, N.A., Yao, A.Y., Kouassi, B.Y., Droh, L.G., Albert, T., 2015. Investigation of Dye Adsorption onto Activated Carbon from the Shells of Macoré Fruit, *Journal of Environmental Management*, 156, 10–14.
15. Gabriela, G.S., Selene, M.A., Guelli, U.S., Debora, O., Antonio, A.U.S., 2016. The Application of Textile Sludge Adsorbents for the Removal of Reactive Red 2 Dye, *Journal of Environmental Management*, 168, 149–156.
16. Ipek, G., Gulerman, A.S., Filiz, B.D., 2006. Importance of H_2O_2/Fe^{2+} Ratio in Fenton's Treatment of a Carpet Dyeing Wastewater, *Journal of Hazardous Materials*, 136, 763–769.
17. Ilda, V., Yasemin, K.A., Unal, S.E., Zeren, B. G., Coskun, A., 2012. Techno-Economic

- Analysis of Textile Dye Bath Wastewater Treatment by Integrated Membrane Processes under the Zero Liquid Discharge Approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 58, 25–35.
18. Aksu, A., Sag, Y., Nourbakhsh, M., Kutsal, T., 1993. Atıksulardaki Bakır, Krom Ve Kurşun İyonlarının Çeşitli Mikroorganizmalarla Adsorplanarak Giderilmesinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences*, 19, 285-293.
 19. Gupta, S.S, Krishna, G.B., 2011. Kinetics of Adsorption of Metal Ions on Inorganic Materials: A Review, *Advances in Colloid and Interface Science*, 162(1–2), 39–58.
 20. Behzad, H., Susana, R.C., Mohammad, A.A., Mohammad, A., Inderjee, T.T., Shilpi, A., Vinod, K. G., 2015. Kinetics and Thermodynamics of Enhanced Adsorption of the Dye AR18 using Activated Carbons Prepared from Walnut and Poplar Woods, *J. Mol. Liq.*, 208, 99-105.
 21. Senthilkumaar, S., Varadarajan, P.R., Porkodi, K., Subbhuraam, C.V., 2005. Adsorption of Methylene Blue onto Jute Fiber Carbon: Kinetics and Equilibrium Studies, *J. Coll. Int. Sci.*, 284, 78-82.
 22. Almeida, C.A.P., Debacher, N.A., Downs, A.J., Cottet, L., Mello, C.A.D., 2009. Removal of Methylene Blue from Colored Effluents by Adsorption on Montmorillonite Clay, *Journal of Colloid and Int. Sci.*, 332, 46-53.
 23. Arias, F., Sen, T.K., 2009. Removal of Zinc Metal Ion (Zn^{2+}) from Its Aqueous Solution by Kaolin Clay Mineral: a Kinetic and Equilibrium Study, *Colloids and Surfaces* 348, 100–108.
 24. Upendra, K., 2011. Thermodynamics of the Adsorption of Cd (II) from Aqueous Solution on NCRH, *International Journal of Environmental Science and Development*, 2, 334–336.
 25. Sara, D., Tushar, K.S., 2012. Removal of Anionic Dye Congo Red from Aqueous Solution by Raw Pine and Acid-Treated Pine Cone Powder as Adsorbent: Equilibrium, Thermodynamic, Kinetics, Mechanism and Process Design, *Water Research*, 46, 1933–1946.
 26. Allen, S.J., Mckay, G., Porter, J.F., 2004. Adsorption Isotherm Models for Basic Dye Adsorption by Peat in Single and Binary Component Systems, *Journal of Colloid and Interface Science*, 280(2), 322-333.
 27. Benefield, L.D., Judkins, J.F., Weand, B.L., 1982. *Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment*, Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey.
 28. Chiou, M.S., Li, H.Y., 2002. Equilibrium and Kinetic Modeling of Adsorption of Reactive Dye on Cross-linked Chitosan Beads, *Journal of Hazardous Materials*, 93(2), 233-24.
 29. Marilia, P., Doahn, F., Vicelina, B.S., 2014. Evaluation on Paper Making Potential of Nine *Eucalyptus* Species Based on Wood Anatomical Features, *Industrial Crops and Products* 54, 327–334.
 30. Saygili, H., Guzel, F., Onal, Y., 2015. Conversion of Grape Industrial Processing Waste to Activated Carbon Sorbent and it's Performance in Cationic and Anionic Dyes Adsorption, *Journal of Cleaner Production*, 93, 84-93.

Mersin İli'nin 2023 Yılına Kadar Elektrik Enerjisi İhtiyacının Hesaplanması

İsmail TEKİN¹, Selma ERAT^{*1}, Yusuf ZEREN²

¹Toros Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin

²Toros Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mersin

Geliş tarihi: 18.01.2017

Kabul tarihi: 14.03.2017

Öz

Enerji; sanayi sektörünün, teknolojik gelişmelerin ve insan hayatının en temel girdilerinden biridir. Gerek dünyada gerekse ülkemizde nüfusun artışına, sanayi ve teknolojiye paralel olarak enerji tüketimi gün geçtikçe hızlı bir şekilde artmaktadır. Enerji sektöründeki temel amaç, artan nüfusun ve gelişen ekonominin enerji ihtiyaçlarının sürekli, kesintisiz ve mümkün olan en düşük maliyetle güvenilir bir şekilde giderilebilmesidir. Birincil enerji kaynakları kullanılarak elde edilen *elektrik enerjisi*, kullanımının kolay olması nedeniyle günlük yaşamımızda ve sanayi üretiminde en yaygın kullanılan enerji türüdür. Mersin İli'nin 2023'e kadar elektrik enerji tüketimini etkileyen faktörlerden başta nüfus artışı olmak üzere, sanayi kuruluşlarının, kurum ve kuruluşların artması ve daha birçok faktörün etkisi bu çalışmada incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında Mersin'in 2023'e kadar olan elektrik enerjisi ihtiyacı ARIMA algoritması kullanılarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik enerjisi, Yenilenebilir enerji, Mersin, ARIMA

Calculation of Electrical Energy Needs for Mersin Province until 2023

Abstract

Energy is the essence of input of industry, manufacturing, development of technology and human life. Energy consumption has been growing rapidly both in Turkey and the world in parallel with the increase in population and with developments in industry and technology. The main objective of energy sector is to be able to supply energy needs of increasing population and developing economy continual, uninterrupted, reliably and at the lowest possible cost. The electrical energy obtained by edusing the primary energy sources is the most widely used source of energy in daily lives and industrial production because of its ease of use. The impact of the several factors affecting the electrical energy use in Mersin province until 2023, such as primarily the effect of population, the increase in the number of industrial

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Selma ERAT, selmaerat33@gmail.com

firms, in housing sales, in corporation and companies and etc. is investigated. The electrical energy needs of Mersin until 2023 is calculated by using ARIMA program with the help of the results obtained.

Keywords: Electrical energy, Renewable energy, Mersin, ARIMA

1. GİRİŞ

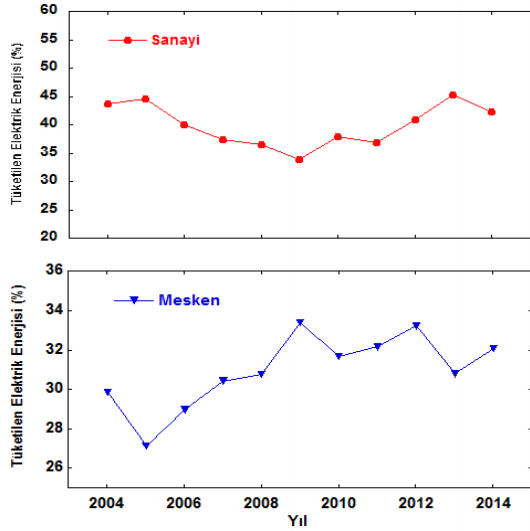
Mersin, ticaret, sanayi ve tarım yönünden sürekli gelişen ve göç alan bir şehir olduğu için nüfusu da paralel olarak günden güne artış göstermektedir. Nüfusun artması ve sanayinin gelişmesi elektrik enerjisi tüketimini arttıran en önemli faktörlerdir. Mersin'in birçok bölgesinde sürekli artan ve değişen enerji ihtiyaçlarına göre çözüm bulmak çoğu zaman yöneticileri geçici önlemlere yöneltmekte ve bu geçici uygulamalar teknik açıdan daha başka sorunlara yol açmaktadır. Oysa planlı ve programlı uygulamalar, oluşabilecek olumsuzlukları önceden tahmin edip önlemlerinin alındığı bir sistem oluşturulduğunda maddi açıdan, zaman açısından ve kullanıcı rahatlığı açısından önemli kazançlar sağlayacaktır. Mersin'in enerji ihtiyacı ve potansiyeli önceden bilinirse zaman içinde artan ihtiyaçlara göre enerji planlaması daha kolay yapılabilecektir.

Mersin'in mevcut potansiyeli incelendiğinde toplam kurulu gücü yaklaşık 1005 MW olan farklı türde 44 adet elektrik enerjisi santrali olduğu görülmektedir[1,2]. Bu elektrik santrallerinin kurulu güç dağılımları ise şu şekildedir; hidroelektrik santralleri (569 MW), doğalgaz santralleri (258 MW), rüzgar enerjisi santralleri (123 MW), güneş enerjisi santralleri (19 MW) ve biyogaz elektrik enerjisi santralleri (12 MW)' tır. Mersin'deki hidroelektrik santrallerinin kurulu gücü diğer tüm enerji santrallerinin kurulu gücü toplamından daha büyüktür. Bu nedenle Mersin ili için hidroelektrik santraller büyük önem taşımaktadır. Mersin'in yıllık elektrik üretimi yaklaşık 2835 GWh olduğu bilinmektedir[1,2]. Mersin İli elektrik üretiminin, TR62 Bölgesi (Mersin, Adana) ve Türkiye içindeki payı incelendiğinde, Mersin'in hem TR62 Bölgesi hem de Türkiye içindeki payının 2003-2012 döneminde azaldığı görülmektedir.

2003-2012 döneminde TR62 Bölgesi elektrik tüketimi %71 oranında artış gösterirken Türkiye

elektrik tüketimindeki artış %98 olmuştur. Elektrik tüketiminin abone grupları itibariyle dağılımına bakıldığında ise Mersin, TR62 Bölgesi ve Türkiye genelinde elektrik tüketiminin büyük bir çoğunluğunun sanayi kesiminde olduğu gözlemlenmektedir. Yeni sanayi kuruluşlarının açılması ve gelişen sanayi sektöründeki kapasitenin artmasıyla orantılı olarak ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi miktarı da artmaktadır. 2012 yılı itibarıyla il elektrik tüketiminin %38,7'si sanayi kesiminde kullanılırken, %32'si meskenlerde, %23'ü ticarethaneler ve resmi dairelerde, %3'ü tarımsal sulamada, %3'ü ise aydınlatmada kullanılmıştır. Sanayi gelişmişlik açısından bakıldığında TR62 Bölgesi ve Türkiye ortalaması Mersin'den daha yüksek görünmektedir. Mersin İli elektrik tüketiminde sanayi sektörünün payı yaklaşık %39 olup, bu pay Türkiye ve TR62 Bölgesi'nin altındadır. Bununla birlikte meskenlerde tüketilen elektriğin payı ise Türkiye genelinin oldukça üzerinde TR62 Bölgesi'nin ise yaklaşık %2 daha fazladır.

Mersin'de bulunan ticarethane ve resmi dairelerde kullanılan toplam elektrik enerjisi incelendiğinde bu değer Türkiye geneli ortalaması ve TR62 bölge ortalaması düzeyinde olduğu görülmektedir. Mersin elektrik tüketiminin Türkiye ve TR62 Bölgesi içindeki yeri ise 2012 yılı itibariyle, Mersin'in toplam elektrik tüketimi Türkiye elektrik tüketiminin %1,8'ini oluştururken TR62 Bölgesinin elektrik tüketiminin %40,9'unu oluşturmaktadır. Elektrik enerjisi tüketimi aboneler türüne göre değerlendirildiğinde Mersin İli sanayi sektöründe tüketilen elektrik miktarı Türkiye sanayi sektörü elektrik tüketiminin %1,5'ini, TR62 Bölgesi tüketiminin ise %38,3'ünü oluşturmaktadır. Diğer taraftan meskenlerde tüketilen elektrik miktarı incelendiğinde Mersin elektrik enerjisi Türkiye genelinin %2,5'ini, TR62 Bölgesi'nin %43,3'ünü oluşturmaktadır.



Şekil 1. Mersin’de Meskenlerde ve Sanayide Tüketilen Elektrik Enerjisi Yüzdesinin Yıllara Göre Değişimi [3]

2012 yılı itibariyle Türkiye geneline göre elektrik enerjisi kullanımı açısından Mersin İli’nin sıralaması Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Mersin İli’nin sıralaması [4]

	Sıralama
Kişi başı kullanılan elektrik enerjisi miktarı bakımından	38.
Sanayi sektöründe tüketilen elektrik enerjisi büyüklüğü bakımından	18.
Meskenlerde tüketilen elektrik enerjisi büyüklüğü bakımından	7.
Toplam tüketilen elektrik enerjisi bakımından	13.

Çizelge 1’de belirtildiği gibi Mersin 2012 yılı itibariyle toplam elektrik tüketimi açısından iller arası sıralamada 13. sırada yer alırken, kişi başına düşen elektrik enerjisi kullanımı büyüklüğü açısından 38. sırada yer almıştır. Mersin, sanayi sektöründe tüketilen elektrik miktarının büyüklüğü açısından bakıldığında Türkiye’de iller arası sıralamada 18. sırada yer alırken, meskenlere bakıldığında ise kullanılan elektrik enerji açısından Türkiye’de 7. sırada yer almaktadır [4]. Mersin’in 2015 yılına kadar üretilen, satılan ve kayıp kaçak

elektrik oranları Çizelge 2’de detaylı bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 2. Mersin’in 2015 yılına kadar üretilen, satılan ve kayıp kaçak elektrik oranları [5]

İl	Yıl	Dağıtılan (GWh)	Satılan (GWh)	Kayıp Kaçak Miktarı (GWh)	Kayıp Kaçak Oranı (%)
MERSİN	2010	2890	2563	327	11,33
	2011	3208	2772	436	13,60
	2012	3372	2937	435	12,89
	2013	3430	2984	445	12,98
	2014	3584	3552	333	9,28
	2015	4079	3720	359	8,90

Çizelge 2’de görüldüğü gibi Mersin’de 2010 yılından 2015 yılına kadar elektrik enerjisi tüketiminde sürekli bir artış olduğu görülmektedir. Kayıp kaçak elektrik kullanımında ise 2013 yılından itibaren bir azalış kaydedildiği ve bu azalışın 2015 yılına kadar devam ettiği görülmektedir. Bu kayıp kaçak elektrik kullanımının bundan sonraki yıllarda da azalmaya devam etmesi Mersin halkı açısından büyük önem taşımaktadır. Mersin’de kurulu tüm elektrik santrallerinin (44 adet) ortalama yıllık üretimi 2835 GWh olduğu dikkate alınır ve bu değer yıllık dağıtım miktarı ile karşılaştırılırsa, Mersin’in elektrik tüketiminin önemli bir kısmını komşu illerdeki santrallerden temin ettiği anlaşılmaktadır. Mersin, elektrik enerjisi üretimi açısından günümüz itibariyle kendine yeterli üretim yapan bir il değildir. Planlanan santraller devreye alındığında diğer illere enerji aktaran bir il olacaktır.

2. MERSİN NÜFUSU VE GELİŞİMİ

Göller hariç tutulduğunda 15,512 km² yüz ölçüme sahip olan Mersin’de 2013 senesi itibariyle nüfus yoğunluğu (kilometre kareye düşen insan sayısı) 110 kişi/km² olmuştur. Türkiye nüfus yoğunluğunun yaklaşık 100 kişi/km² olduğu dikkate alınır, Mersin’in nüfus yoğunluğu Türkiye ortalamasına göre daha fazladır. Mersin nüfusunun yıllara göre değişimi Çizelge 3’de gösterilmektedir.

Çizelge 3. Mersin nüfusunun yıllara göre değişimi [6-10]

Yıllar	Toplam Nüfus	Yıllık Nüfus Artışı (%)
2008	1.602.908	14,5
2009	1.640.888	23,42
2010	1.647.899	4,26
2011	1.667.939	12,09
2012	1.682.848	8,90
2013	1.705.774	13,53
2014	1.727.255	12,5
2015	1.745.221	10,4

Nüfus yoğunluğunun ülke ortalamasına göre yüksek olması, Mersin İli'nin coğrafi konumunun öneminden ve/veya ekonomik potansiyelinin ülke geneline göre daha yüksek olmasından kaynaklanabilir. Bu nüfus yoğunluğuyla Mersin, iller arası nüfus yoğunluğun büyüklüğü sıralamasında 20. sırada yer almaktadır. Net göç ve net göç hızı verilerine bakıldığında, Mersin İli'nin yıllar itibariyle göç veren iller arasında yer almaya başladığı ve net göç hızının azalarak devam ettiği görülmektedir. Nitekim 2008- 2009 döneminde ‰ (-)0,51 olan net göç hızının yıllar itibariyle gitgide azalarak 2012-2013 döneminde ‰ (-)2,35'e kadar gerilediği görülmektedir. 2011-2012 döneminde ‰ (-)4,03 net göç hızı ile en çok göç veren iller arasında Mersin 34. sırada yer almıştır. Mersin 2012-2013 döneminde en çok göç veren iller sıralamasında da 36. sırada yer almıştır [10].

2013 yılında Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi'nin yapmış olduğu çalışma sonuçları değerlendirildiğinde 1.705.773 kişi nüfusa sahip Mersin İli'nin nüfusuna bakıldığında 2014 yılında nüfusun yıllık ‰12,5'lik bir artış ile 1.727.254 kişiye yükseldiği görülmektedir. Türkiye nüfusunun ‰2,2'si Mersin'de yaşamaktadır. Bu dönemde Mersin'in toplam nüfusu Türkiye iller sıralamasında 10. sırada yerini almıştır. Nüfus yoğunluğu (bilinen bir kilometrekareye düşen insan sayısı), bu dönemde Türkiye geneline bakıldığında 101 kişi iken nüfus yoğunluğu en çok olan iller arasında Mersin İli 112 kişi ile 20. sıraya yerleşmiştir. Mersin'de nüfusun yıllık artış hızı incelendiğinde Türkiye'de sıralamada 2013 yılında

28. sırada iken, 2014 yılına bakıldığında 30. sırada yerini almıştır [11].

2013-2014 dönemi incelenirse Türkiye genelinde 2.681.275 kişi ikamet ettiği yeri değiştirmiştir. Bu bağlamda ülkemizde 28 il diğer illerden göç alırken, 58 il ise göç vermiştir. Aynı dönemde, Mersin İli'in verdiği göçün önceki yıla göre azalış kaydetmesi ve göç alışının devam etmesi sonucunda ilimiz göç almaya devam eden iller sıralamasında 24. sıradadır. 2013-2014 yıllarına bakıldığında ‰0,44 göç hızı olan Mersin bu bağlamda Türkiye genelinde 27. sırada yer almaktadır [11]. 2015 yılında Mersin İli nüfusu ‰10,4'e karşılık gelen 17.966 kişi artarak toplamda 1.745.221 kişi olmuştur.

3. ENERJİ TAHMİNLEMESİNDE KULLANILAN YÖNTEM

Zaman serileri artarda zaman artışları boyunca bir değişkenin değerlerinin bir kümesi olarak ifade edilebilir. Zaman serileri saatlik, günlük, haftalık, aylık ya da yıllık olabilmektedir. Hatta bu zaman dilimlerinin dışında isteğe bağlı farklı bir zaman diliminden de meydana gelebilmektedir [12]. Zaman serisi genel olarak geleceğe yönelik öngörüler yapmak için kullanılmaktadır. Zaman serisi ile gelecek hakkında bir öngörü ya da bir tahmin yapılmak istenirse, geçmişteki durumların gelecekte de aynı durum içinde olacağı kabul edilir. Zaman serisi tahminlerinde bilinen en yaygın istatistiksel yöntemlerin en kapsamlısı Box-Jenkis yöntemleridir. Box-Jenkis yöntemlerindeki tahmin modellerinden biri olan Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (Autoregressive Integrated Moving Average, ARIMA) bir değişkenin gelecekteki durumunun geçmişteki birkaç değeri ile rasgelen hatalarının doğrusal bir eğilimde olduğunu varsaymaktadır [12-15]. ARIMA (p, d, q) durağan olmayan değişken serilerde kullanılır ve modelin matematiksel ifadesi Eşitlik 1'de verilmiştir:

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)(1 - B)^d Y_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q) e^t \quad (1)$$

T Burada Y_t t zamanında gerçek değerini; e_t t zamanında rastsal hatayı; ϕ_i ($i=1, 2, \dots, p$) otoregresif parametrelerini; θ_j ($j=0, 1, 2, \dots, q$) hareketli ortalama parametrelerini göstermektedir. $(1-B)^d$ ise d . dereceden fark alma işlemini göstermektedir. “ARIMA (p, d, q) tekrarı olan dört kademedden meydana gelmektedir:

- i. Modeli tanımlanma
- ii. Bilinmeyen parametrelerin tahmini
- iii. Artıkları kontrol etme
- iv. Gelecekteki değerleri tahmin etme

gibi dört basamaktan oluşmaktadır” [12-15]. Yapılacak bir tahmin süreci için bir model oluşturulmaktadır. Bu süreç içinde modelin yeterli olup olmadığı kontrol edilmelidir. Eğer oluşturulan model uygun olmazsa yeni bir model oluşturulur ve parametrelerin tahminleri ile modeli doğrulama basamakları tekrar edilir. Uygun model bulunduğu oluşturulan model ile gelecek değerlerinin tahminleri yapılabilir [12-15].

Bu çalışma kapsamında ARIMA algoritması şu şekilde kullanılmıştır: öncelikle Mersin İli'nin 2007-2015 yılları arasında tükettiği elektrik enerjisi miktarı veri olarak programa tanıtılmıştır ve algoritma kullanılarak 2023 yılına kadar Mersin'in tükettiği elektrik enerjisi miktarı tahmin edilmiştir. Ayrıca Mersin İli'nin 2007-2015 yılları arasındaki nüfus değerleri veri olarak programa tanıtılmıştır ve bu veriler kullanılarak 2023 yılına kadar Mersin İli'nin nüfusu tahmin edilmiştir. Son olarak ARIMA algoritması yardımıyla Mersin İli'nin tükettiği elektrik enerjisi miktarı ile nüfusu arasındaki regresyon ilişkisi hesaplanmıştır ve tüketilen elektrik enerjisi miktarı ile nüfus arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür.

4. SONUÇ VE ELDE EDİLEN VERİLER

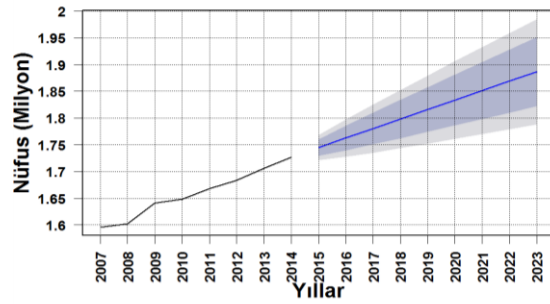
ARIMA Algoritması kullanılarak aşağıda belirtilen konularda tahminleri yapılmıştır.

- Mersin Nüfusunun 2023 Yılına Kadar Değişim Tahmini

- Mersin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2023 Yılına Kadar Değişim Tahmini
- Mersin'in Kişi Başına Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2023 Yılına Kadar Değişim Tahmini
- Mersin'in Nüfusu İle Elektrik Enerjisi Arasındaki Regresyon İlişkisi

4.1. Mersin Nüfusunun 2023 Yılına Kadar Tahmin Edilmesi

Mersin İli'nin nüfusu Türkiye genelinde olduğu gibi düzenli bir artış göstermektedir. Nüfus sayısı artarken artış oranlarında da küçük dalgalanmalar görülmektedir. Mersin nüfusunun yıllara göre artışı ve 2023 yılına kadar tahmin grafiği Şekil 2'de verilmiştir.



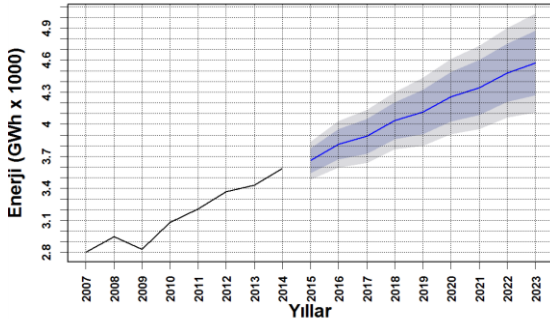
Şekil 2. Mersin nüfusunun yıllara göre artışı ve 2023 yılına kadar tahmini

2008 yılında %14,5 artan Mersin nüfusu 2009 yılında %23,42 artarak devam etmiştir. 2010 yılında artış oranında ciddi bir azalma olmuştur ve sadece %4,26'lık bir artış göstermiştir. Bu oran 2011 yılında %12,09; 2012 yılında %8,90; 2013 yılında %13,53 ve 2014 yılında ise %12,5 artış göstermiştir [16]. Mersin'in nüfusu 2008 yılından bu yana ortalama olarak %12 civarında bir artış göstermektedir. Bu bilgiler doğrultusunda Mersin İlinin 2023 yılına kadar nüfus tahmini yapılmıştır. Yapılan tahmine göre 2023 yılında Mersin'in nüfusu yüksek senaryoya göre 1.890.000 civarında olacaktır. Düşük senaryoya göre ise 1.800.000 ile 1.950.000 arasında değişeceği tahmin edilmiştir. Düşük senaryoya baktığımızda bize geniş bir aralık sunmaktadır. Bu tahmini yapmamızdaki amaç Mersin'in enerji ihtiyacını planlarken nüfusun çok

etkili olmasıdır. Çünkü nüfus miktarı arttıkça şebekeden kullanılan elektrik enerjisi miktarında da nüfusa paralel olarak bir artış olacaktır. Bu sebeple kullanılan enerji miktarı ile nüfusun artış oranını kıyaslamak amacıyla Mersin'in 2023'e kadar nüfus miktarındaki artış tahmini yapılmıştır.

4.2. Mersin Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2023 Yılına Kadar Değişim Tahmini

Mersin'in elektrik enerjisi tüketimi Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketimine paralel bir artış göstermektedir. Mersin'in enerji santrallerinin büyük bir bölümünü hidroelektrik santralleri oluşturmaktadır. Türkiye elektrik tüketimini incelerken ekonomik krizin yaşandığı 2009 senesinde üretimde ve tüketimde bir düşüş yaşandığı gözlemlenmiştir. Aynı durum Mersin elektrik tüketiminde de fark edilmektedir. 2009 senesi haricinde elektrik enerjisi tüketiminde sürekli artış olduğu gözlemlenmektedir. Mersin'in yıllık elektrik enerjisi tüketimi ve 2023 yılına kadar tahmin grafiği Şekil 3'de gösterilmiştir.



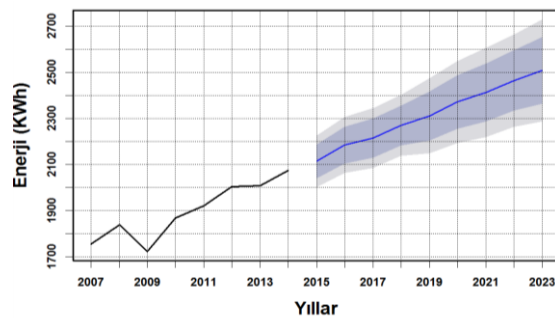
Şekil 3. Mersin'in yıllık elektrik enerjisi tüketimi ve 2023 yılına kadar tahmini

Mersin İli elektrik tüketiminin gelişimi incelendiğinde, 2000 yılında yaklaşık 2000 GWh olan il elektrik tüketiminin 2000-2012 dönemini kapsayan 12 yıllık süre içerisinde %72 oranında artarak, 2012 yılında 3300 GWh düzeyine yükseldiği görülmektedir. Yine aynı dönemde TR62 Bölgesi elektrik tüketimi %71 oranında artış gösterirken, Türkiye elektrik tüketimindeki artış %98 olarak gerçekleşmiştir. Mersin'in elektrik enerjisi tüketiminin Türkiye ve TR62 Bölgesi içindeki yeri incelendiğinde ise; 2012 yılı

itibariyle, Mersin toplam elektrik tüketimi Türkiye elektrik tüketiminin %1,8'ini oluşturmaktadır. TR62 Bölgesi elektrik tüketiminin ise %40,9'unu oluşturduğu görülür. Mersin elektrik enerjisi tüketimi 2013 yılında 3430 GWh düzeyinde gerçekleşirken 2014 yılında 3584 GWh ve 2015 yılında 4079 GWh olarak gerçekleşmiştir.^[5] Mersin elektrik enerjisi tüketimi daha önceden edinilen bilgiler doğrultusunda ARIMA algoritması kullanılarak 2023 yılına kadar tahmin edilmiştir. Yapılan tahminler sonucunda 2023 yılında yüksek senaryoya göre 4600 GWh ile 5100 GWh civarında olacağı tahmin edilmiştir. Düşük senaryoya göre ise 4300 GWh ile 5300 GWh arasında olacağı tahmin edilmiştir. Grafikte oluşturulan alternatif senaryo bize daha geniş bir enerji aralığı göstermektedir. Yapılan tahminlerden yola çıkarak 2023 yılında Mersin'in ortalama 5000 GWh civarında olacağı tahmin edilen elektrik enerjisi tüketimini karşılamak için gerekli yatırımlar yapılmalı ve enerji açığı oluşmaması için gerekli önlemler alınmalıdır [1].

4.3. Mersin'in Kişi Başına Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2023 Yılına Kadar Değişim Tahmini

İçinde bulunduğumuz dönemde ülkelerin gelişmişlik seviyeleri, kişi başına kullandıkları elektrik enerjisi miktarını ölçülmektedir. Mersin'in kişi başı elektrik enerjisi tüketimi ve 2023 yılına kadar tahmin grafiği Şekil 4'de gösterilmektedir.



Şekil 4. Mersin'in kişi başı elektrik enerjisi tüketimi ve 2023 yılına kadar tahmini

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, enerjiyi daha verimli bir şekilde kullanmışlar, enerji

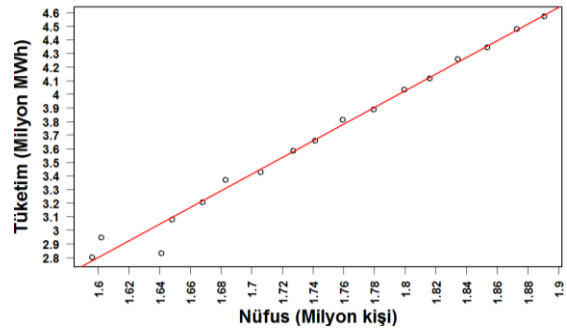
kullanımında tasarruf yaparak güvenli bir şekilde, çevreye zarar vermeyerek kişi başı elektrik enerjisi tüketimini arttırmaya çalışmışlardır. Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD)'ne üye olan, 33 ülkenin kişi başı elektrik enerjisi kullanımları; ilk sırada İzlanda 51219 kWh, ardından Norveç 24990 kWh, sonra Kanada 16337 kWh, Finlandiya 15206 kWh, ve İsveç'in 14643 kWh' tir. 2009 yılı içerisinde, OECD'ye üye ülkelerin kişi başı tüketimi ortalamaları yaklaşık 8085 kWh olmuştur. Bu değere karşılık ülkemizin kişi başı elektrik enerjisi tüketimi ortalaması 2562 kWh olmuştur. Toplam 33 ülkenin üye olduğu OECD'de Türkiye, 2562 kWh olan kişi başı elektrik tüketimi ile ancak 32. sıraya yerleşebilmiştir. Diğer taraftan bakıldığında, ülkemizin kişi başı elektrik tüketimi, OECD'ye üye ülkelerin ortalamasının sadece üçte biri kadar olmuştur [17]. Bu sonuçlar önümüzdeki yıllarda Türkiye'nin, dolayısıyla Mersin'in elektrik tüketiminde önemli artışlar olacağını göstermektedir. Mersin'de 2011 yılı itibariyle kişi başına düşen elektrik tüketimi 1984 kWh iken, 2012 yılında bir önceki yıla oranla %6,6 oranında artarak 2115 kWh düzeyinde gerçekleşmiştir. Kişi başına tüketilen elektrik enerjisi miktarı TR62 Bölgesi ve Türkiye genelinde incelendiğinde ise 2012 yılında kişi başı elektrik enerjisi tüketim miktarının TR62 Bölgesi'nde 2287 kWh olduğu görülmektedir. Türkiye geneline bakıldığında ise kişi başı elektrik enerjisi miktarı 2577 kWh düzeyinde olduğu görülmüştür [18].

Mersin'de kişi başına düşen elektrik enerjisi tüketiminde geçtiğimiz yıllardaki bilgiler referans alınarak 2023 yılına kadar ARIMA algoritması kullanılarak tahmin yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında 2023 yılında Mersin'de kişi başına tüketilen elektrik enerjisi miktarı yüksek senaryoya göre 2400 kWh ile 2600 kWh civarında olacağı görülmektedir. Düşük senaryoya göre ise 2300 kWh ile 2700 kWh arasında bir değer olduğu görülmektedir. Yapılan tahmine göre 2023 yılına bakıldığında çokta yüksek bir artış olmadığı görülmektedir. Kişi başı elektrik enerjisi kullanımı bir ülkenin veya bir bölgenin gelişmişlik seviyesi hakkında bilgi verdiği için grafikten de anlaşılacağı gibi Mersin'in 2023 yılında hala enerji sektöründe çok iyi bir yere gelemeyeceği görülmektedir. Gelişmiş ülkelerdeki kişi başı

elektrik enerjisi tüketimine bakıldığında Türkiye ve Mersin'den oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Yapılan bu tahminlerden yola çıkarak bir an önce enerji kullanımı ile ilgili önlemler alınmalı yatırımlar hızlandırılıp kişi başı elektrik tüketim miktarı artırılmalıdır.

4.4. Mersin Nüfusu ile Mersin Elektrik Enerjisi Arasındaki Regresyon İlişkisi

Regresyon, birden fazla (iki ya da daha çok) değişkenin arasında doğrusal bir ilişkinin fonksiyonel şeklini gösteren bir yöntemdir. Verileri doğrusal bir denklem olarak göstermekle kalmaz, değişkenlerin birinin değeri bilirse diğeri hakkında çıkarım yapılmasını sağlar. Mersin nüfusu ile Mersin elektrik enerjisi üretimi arasındaki regresyon grafiği Şekil 5'de gösterilmektedir.



Şekil 5. Mersin nüfusu ile mersin elektrik enerjisi tüketimi arasındaki regresyon

Bir toplulukta birey sayısı arttıkça o topluluk içerisinde tüketim miktarı da birey sayısına paralel olarak artış göstermektedir. Bu tüketim yiyecek içecek olabileceği gibi o toplum içerisinde tüketilen enerji miktarı da birey sayısına paralel olarak değişme gösterir. Nüfus artışına paralel olarak tüketilen enerji miktarına bakıldığında yine doğrusal bir grafik elde etmek tesadüf değildir. Çünkü artan nüfus sayısına paralel olarak tüketilen enerji miktarı da artmak zorundadır. Birkaç değer örnek vermek gerekirse 2007 yılında Mersin İli'nin nüfusu 1.595.938 kişi olarak gösterilmiştir. Aynı sene içerisinde Mersin İli'nin tükettiği elektrik enerjisi miktarı 2803 GWh olarak ölçülmüştür.

2010 senesinde Mersin nüfusu 1.647.899 kişiye yükselmiştir. Bu artışa paralel olarak aynı sene içerisinde tüketilen elektrik enerjisi miktarı da 3080 GWh'e yükselmiştir. 2014 yılında ise Mersin nüfusu 1.727.255 kişi olurken tüketilen elektrik enerjisi miktarı 3584 GWh olmuştur. Görüldüğü gibi yıllar geçtikçe her yıl Mersin'in nüfusundaki artışa paralel olarak tüketilen elektrik enerjisi miktarı da artmıştır. Elde edilen veriler ışığında oluşturulmuş regresyon grafiğine (Şekil 5) bakıldığında Mersin'in nüfusu ile tüketilen elektrik enerjisi miktarı arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir.

5. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Enerji ihtiyacı vazgeçilmez ihtiyaçlar arasında yer almaktadır. Sanayinin ve yaşam kalitesinin gelişmekte olduğu günümüzde enerji ihtiyacımız da paralel olarak artmaktadır. İhtiyaç duyulan enerji güvenli bir şekilde karşılanamadığı takdirde bir sorun var demektir. Bu yüzden geçmişteki veriler ışığında gerekli çalışmalar yapılarak gelecekte enerji açığı olmaması için gerekli önlemler önceden alınması artık zorunlu hale gelmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda Mersin İli'nin 2023 yılında 4600 GWh ile 5100 GWh civarında enerji tüketimi olacağı tahmin edilmektedir.

Yenilenebilir enerji potansiyeli açısından oldukça verimli bir bölgede bulunan Mersin, bu avantajını iyi bir şekilde kullanmalı ve gerekli yatırımlar yapılmalıdır. Devletin bu tür enerji yatırımlarına verdiği teşvikleri arttırmalı ve yatırımcılar bu alanlara yönlendirilmelidir. Enerji açığının giderilmesi için sadece yeni kaynaklar bulmak yeterli olmayacaktır. Toplumun da enerji tüketimi konusunda bilinçli davranarak gereksiz enerji tüketimini en aza indirmesi ve enerjiyi bilinçli kullanması gerekmektedir. Bireysel olarak küçük bir enerji kaybı önemsiz görünse de nüfusun tamamı dikkate alındığında bu enerji kayıplarının toplamının oldukça büyük rakamlara ulaşacağı görülmektedir. Verimli enerji kullanımı topluma küçük yaşlardan itibaren (ilköğretimden) öğretilmelidir.

Mersin'deki 44 elektrik santrali yıllık ortalama 2835 GWh elektrik üretimi yapmaktadır. 2015 yılında Mersin İli'nin elektrik enerjisi tüketimi yaklaşık 4079 GWh olarak ölçülmüştür. Bu bilgiden yola çıkılırsa Mersin'in ürettiği enerji tükettiği enerjiyi karşılamamaktadır. Mersin'in yaklaşık 1244 GWh daha elektrik enerjisi üretimine ihtiyacı vardır. Mersin'de kurulması planlanan ve yapım çalışmasına başlanan Akkuyu Nükleer Enerji Santrali'nin devreye girmesi durumunda toplam kurulu gücü 4800 MW olan santral dezavantajları bir kenara bırakıldığında, Mersin'i elektrik enerjisi üretim fazlası olan iller arasına girmesini sağlayacaktır. Mersin uzun bir sahil şeridinde sahiptir. Güneş ve rüzgar potansiyeli açısından oldukça verimli bir bölgede bulunan Mersin'de denizde derin olmayan kıyılarda kurulacak olan Offshore rüzgar enerji santralleri diğer önemli bir alternatifi oluşturacaktır. Yukarıda çözüm önerisi olarak sunulan güneş, rüzgar gibi yenilenebilir enerji santrallerinin sayısının artırılması artık kaçınılmaz bir zorunluluk haline gelmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Tekin, İ., Toros Üniversitesi, Mersin İli'nin 2015-2023 Elektrik Enerjisi İhtiyacının Planlanması, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mersin, 2016, p. 50, 56, 58-60.
2. Mersin Elektrik Santralleri 2016, <http://www.enerjiatlası.com/sehir/mersin/>
3. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), *Bölgesel İstatistikler*, Mersin (2004-2015).
4. Çukurova Kalkınma Ajansı, *Mersin Potansiyel Yatırım Konuları Araştırması*, 2014, p. 290-294.
5. Mersin Toroslar EDAŞ, *Mersin Elektrik Enerjisi Kullanım Bilgileri*, 2016.
6. Mersin Ticaret Sanayi Odası, *Mersin Ekonomik Raporu*, 2009, p. 23-25.
7. Mersin Ticaret Sanayi Odası, *Mersin Ekonomik Raporu*, 2010, p. 23-25.
8. Mersin Ticaret Sanayi Odası, *Mersin Ekonomik Raporu*, 2011, p. 23-25.
9. Mersin Ticaret Sanayi Odası, *Mersin Ekonomik Raporu*, 2012, p. 23-25.

10. Çukurova Kalkınma Ajansı, *Mersin Potansiyel Yatırım Konuları Araştırması*, 2014, p. 10-12.
11. Mersin Ticaret Sanayi Odası, 2014. *Mersin Ekonomik Raporu*, p. 28-29.
12. Ateşongun, A. A., 2015, Başkent Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.
13. Özmen, A., Şıklar, E., Durucasu, H., Atlas, M., Er, F., 2013. Açık Öğretim Anadolu Üniversitesi Yayınları, *İstatistik II*, 1. Baskı, p. 141-142.
14. Zhang, G. P., 2003. Time Series Forecasting using a Hybrid ARIMA and Neural Network Model, *Neurocomputing*, p. 159–175.
15. Khashei, M., Bijari M., 2010. An Artificial Neural Network (p, d, q) Model for Time Series Forecasting, *Expert Systems with Applications*, p. 479–489.
16. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2008-2014.
17. Elektrik Üreticiler Derneği (2012) Enerjide Devrim Yeni HES'ler <http://www.eud.org.tr/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFA79D6F5E6C1B43FFA7C2563442DA77E3>
18. Çukurova Kalkınma Ajansı, 2014. *Mersin Potansiyel Yatırım Konuları Araştırması*, p. 293.

Absorbsiyonlu (LiBr-su) Nem Alma Sisteminin Isıl Performans Değerlerinin Deneysel Olarak Araştırılması

Ertuğrul CİHAN*¹

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

Geliş tarihi: 23.01.2017

Kabul tarihi: 14.03.2017

Öz

Bu çalışmada, mekanik nem alma sistemlerinin yerine kullanılacak, nem alma ve rejenerasyon kolonlarında, daha önce kullanılmamış, polikarbonat dolgu malzemesi kullanılan bir açık sıvı nem alma sisteminin deneysel olarak araştırılmıştır. Sıvı desikant olarak kütlece %45'lik LiBr-su (Lityum bromür-su) çözeltisi kullanılan sistemde dolgu malzemeleri, 6 mm kalınlıklarındaki polikarbonat levhaların 30°, 45° ve 60° kanal açısı oluşturacak şekilde kesilmesiyle oluşturulmuştur. Sözü geçen kanal açılarının, hava hızının ve sıvı desikant debisinin sistemin nem alma verimine, elektriksel ve ısıl performans katsayısına etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sıvı desikant, Sıvı desikant nem alma sistemi, Polikarbonat dolgu

Experimental Investigation of Thermal Performance Values of Absorption (LiBr-aq) Dehumidification System

Abstract

In this study, an open liquid desiccant dehumidification system, using polycarbonate packing material in dehumidification and regenerator columns, has not been used previously, which can be used instead of mechanical dehumidification systems, was experimentally investigated. The packing material of the system, using 45 mass percent LiBr-aq (Lithium bromide-water) solution as desiccant, was formed by cutting polycarbonate sheets 6 mm thickness to form 30°, 45° and 60° channel angles. The effect of these channel angles, air velocity and liquid desiccant flow rate on dehumidification efficiency, electrical and thermal coefficient of performance were investigated.

Keywords: Liquid desiccant, Liquid desiccant dehumidification system, Polycarbonate packing

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ertuğrul CİHAN, ertugrul.cihan@osmaniye.edu.tr

1. GİRİŞ

Artan yaşam standartlarıyla beraber insanların enerji tüketimi de günden güne artmaktadır. Tüketilen enerjinin büyük bir kısmı (yaklaşık %75) fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtların pek uzak olmayan bir gelecekte tükenmesi, insanları alternatif enerji kaynaklarına ve enerji tasarrufu arayışlarına yönlendirmektedir. Tüketilen toplam enerjinin büyük bir kısmının iklimlendirme (alan ısıtması/soğutması) uygulamalarına harcanması, araştırmacıları bu alanda çalışmaya yönlendirmektedir. Günümüzde yaygın olarak iklimlendirme uygulamalarında kullanılan konvansiyonel buhar sıkıştırma soğutma sistemleri enerji tüketimi açısından dezavantajlı sistemlerdir. Bu sistemlerin kullanımı yüksek enerji tüketiminin yanında, bulundurduğu ozon delici ve yüksek oranda sera etkisi içeren CFC/HCFC (kloroflorokarbonlar) gazları sebebiyle çevresel tartışmaları da beraberinde getirmektedir. Bu sebeple bu sistemlere alternatif olabilecek iklimlendirme sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmış ve hala yapılmaktadır [1-2].

Bağıl nemin fazla olduğu bölgelerde, özellikle soğutmada, iç hava konforunun iyileştirilmesinde soğutma işlemi kadar havanın neminin kabul edilebilir bir düzeye getirilmesi yani havadaki gizli ısıya da giderilmesi önem taşımaktadır. Konvansiyonel buhar sıkıştırma soğutma sistemlerinde havanın gizli ısıya, hava buharlaştırıcıda çığ noktasına kadar soğutulmuş olarak giderilebilmektedir. Bu uygulama, hem gizli ısıya giderilmesine harcanan enerjinin yüksek olmasına, hem de sistem performansının (COP) düşmesine sebep olmaktadır. Bu durum sıcaklık kontrolünden bağımsız nem kontrolünün yapılmasını gerekli kılmaktadır. Havanın gizli ısıya daha az enerji harcanarak giderilebilmesi ve bağıl nem oranının gerekli düzeye getirilebilmesi için sıvı desikant nem alma sistemleri geliştirilmiştir.

Sıvı desikant nem alma sistemlerinin çalışma prensibi, yüzey buhar basıncı havadan düşük olan bir malzeme kullanılarak, havadaki su buharının soğutulup gizli ısıya duyulur ısıya

dönüştürülmesine dayanır. Bu şekilde, havadaki gizli ısı herhangi bir mekanik enerji harcanmadan ya da çok az miktarda mekanik enerji harcanarak duyulur ısıya çevrilmiş olur. Sıvı desikant nem alma sistemlerinin konvansiyonel buhar sıkıştırma soğutma sistemleriyle beraber kullanılması durumunda, %35'e varan enerji tasarrufu sağlanabileceği [3], sistem performans katsayısının (COP) ise %50 artırılacağı belirtilmiştir [4].

Sıvı desikant nem alma sistemlerinin konvansiyonel buhar sıkıştırma soğutma sistemlerine göre oldukça önemli avantajları bulunmaktadır. Birincisi, bu sistemlerin kullanımıyla daha düşük enerji tüketimiyle nem kontrolü sağlanır ve nemi alınmış hava ile iç hava kalitesi önemli ölçüde artırılır. Bir diğer avantajı ise, daha iyi nem kontrolü yapılarak, nemden dolayı yapılarda meydana gelebilecek küf, mantar ve çürüme gibi olumsuzlukların önüne geçilebilir. Son olarak, sıvı desikant nem alma sistemleri evaporatif soğutma sistemleri ile kullanıldığında CFC gazlarının kullanımı tamamen giderilebilecek, konvansiyonel soğutma sistemleri ile kullanılması durumunda ise CFC kullanımı önemli ölçüde azaltılabilecektir [5]. Bu ve buna benzer diğer avantajlar sıvı desikant nem alma sistemlerinin kullanımını cazip hale getirmektedir.

Bu çalışmada, mekanik nem alma sistemleri yerine kullanılabilecek, nem alma ve rejeneratör kolonlarında dolgu malzemesi olarak, daha önce kullanılmamış, polikarbonat levhalar kullanılan bir sıvı desikant nem alma sisteminin tasarımı ve performans analizi yapılmıştır. Sıvı desikant olarak LiBr-su çözeltisi kullanılan sistemde dolgu kanal açılarının ve akış hızlarının sistemin nem alma verimine, elektriksel ve ısı performans katsayılarına (COP) etkisi incelenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sıvı desikant nem alma sistemleri üzerine yapılan çalışmalarda genellikle, nem alma veriminin artırılması, nem alma miktarının artırılması ve kütle ve ısı transferi performansının iyileştirilmesi üzerinde durulmuştur.

Sıvı desikant nem alma sistemleriyle ilgili bilinen en erken çalışmalardan biri Lof [6] tarafından yapılmıştır. Çalışmada, sıvı desikant olarak trietilen-glikol kullanılan ve güneş enerjisi ile rejenere edilen nem alma sisteminin tasarımı yapılmış ve deneysel olarak test edilmiştir. Daha sonra yapılan bir başka çalışmada Factor ve Grossman [7], güneş enerjili iklimlendirme sisteminde havadaki nemin alınması ve rejenerasyon için dolgu kolonu tasarlamışlardır. Çalışmada, sistemin farklı çalışma koşulları altında teorik analizini yapmışlardır.

Longo ve Gasparella [8] dolgu kolonda sıvı desikantın rejenerasyonu sırasında kolonda kullanılan biçimlendirilmiş (structured) ve rastgele (random) dolgu malzemelerini deneysel olarak karşılaştırmıştır. Çalışmada, rastgele dolgu malzemeleri ile dolu kolonun rejenerasyon performansının biçimlendirilmiş dolgulara oranla %20-25 daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Fakat kolondaki basınç kayıplarına bakıldığında, biçimlendirilmiş dolgu malzemeleri ile dolu kolondaki basınç kaybı diğerine oranla %65-75 civarında daha düşüktür.

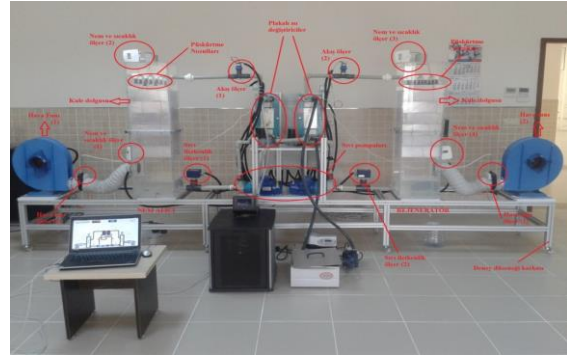
Diğer bir çalışmada Öberg ve Goswami [9], sıvı desikant olarak trietilen glikol kullanılan bir sıvı desikant nem alma sisteminde gerçekleşen ısı ve kütle transferini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada nem alıcı olarak yine dolgu kolonu kullanmışlar ve iyi bir dolgu kolonunda ısı ve kütle transferi performanslarının iyi olduğunu ve hatta kolondaki basınç kaybının az olduğunu ortaya koymuşlardır.

Salarian ve arkadaşları [10] ise yaptıkları sayısal çalışmada kolon yüksekliğinin artmasıyla nem alma miktarının arttığını ortaya koymuşlardır. Çalışmada, MATLAB yazılımı yardımıyla sayısal modeller geliştirilmiş ve bu modellerin kabul edilebilirliği deneysel verilerle ispatlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, nem alma miktarının nem alma kolonuna giren havanın ve desikant çözeltisinin kütleli debisinin artmasıyla arttığını fakat giriş havasının sıcaklığının artmasıyla azaldığını göstermiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Çalışmada önerilen sıvı desikant nem alma sistemi, temel olarak, Şekil 1’de görüldüğü gibi hava fanlarından, nem alma ve rejeneratör kolonlarından, sıvı pompalarından ve plakalı ısı değiştiricilerden oluşmaktadır. Sistemde ölçüm yapabilmek için çeşitli noktalara hız, sıcaklık ve bağıl nem sensörleri yerleştirilmiştir.

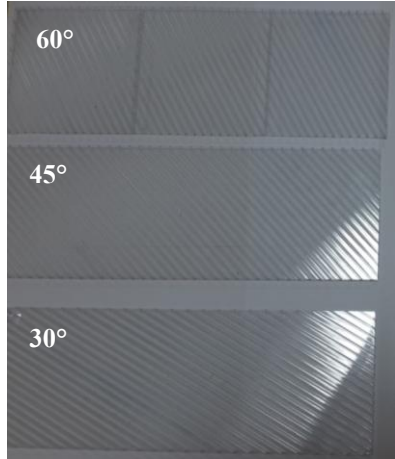


Şekil 1. Sıvı desikant nem alma sistemi ve üzerindeki sensörler

Deney düzeneğinde nem alma ve rejeneratör kolonları şeffaf pleksiglas levhaların, kolon boyutları 30x30x120 cm olacak şekilde yapılandırılmasıyla imal edilmiştir. Kolonlarda kullanılan polikarbonat dolgu malzemesi ise 2x6 m boyutlarındaki büyük polikarbonat levhaların 30°, 45° ve 60° kanal açısı oluşturacak şekilde, 30x30 cm boyutlarında kesilmesiyle oluşturulmuştur. Polikarbonat dolgu malzemesinin oluşturulma aşamaları ve kolonların içindeki görünümü Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Polikarbonat levhaların hazırlanması ve kolonlara yerleştirilmesi



Şekil 3. 30°, 45° ve 60° kanal açılı polikarbonat levhalar

30°, 45° ve 60° kanal açılı 6 mm kalınlığındaki polikarbonat levhalar Şekil 3'te gösterilmiştir.

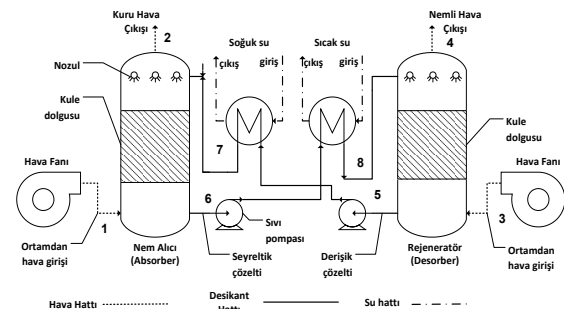
Hazırlanan polikarbonat levhaların yüzey alanları ve gözeneklilik değerleri üç açıdan farklı üçer numune alınıp ölçülmüştür. Polikarbonat dolgu malzemelerinin birim hacimdeki ortalama yüzey alanları ve gözeneklilik değerleri standart sapmalarıyla beraber Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Polikarbonat dolgu malzemesi ortalama yüzey alanı yoğunluğu ve gözeneklilik değerleri

Kalınlık	6 mm		
Kanal Açısı	30°	45°	60°
Yüzey alanı yoğunluğu (m ² /m ³)	637±9	650±3	648±2
Gözeneklilik (%)	88±1,3	89±0,4	89±0,6

Şekil 4'te sistem şematik olarak gösterilmiştir. Sistemde nemi alınacak hava nem alma kolonuna hava fanı (1) ile gönderilmektedir. Nem alma kolonuna (Absorber) gönderilen nemli havanın nem alma kolonunda derişik sıvı desikant çözeltisiyle bir miktar nemi alınmaktadır. Havadan bir miktar su buharı alan desikant çözeltisi seyreltik hale geçer. Seyreltik sıvı desikant çözeltisi, (6) noktasındaki sıvı pompası yardımıyla ısıtılmak üzere ısı değiştiriciye gönderilir. Sıvı desikant çözeltisi sıcaklığı bir miktar artırılarak rejeneratör (Desorber) kolonuna gelir ve burada (3)

noktasından hava fanı yardımıyla kolona gönderilen hava ile çözeltiden bir miktar su buharı giderilir. İçerisinden su buharı alınan fakat hala yüzey buhar basıncı yüksek olan çözelti, yüzey buhar basıncının düşürülebilmesi için (5) noktasındaki sıvı pompası ile soğutulmak üzere ısı değiştiriciye gönderilir. Isı değiştiriciden çıkan çözelti tekrar kullanılmak üzere nem alma kolonuna gönderilir ve bu şekilde çevrim tamamlanır.



Şekil 4. Sıvı desikant nem alma sistemi şematik görünümü

3.2. Metot

Sistemde kolon girişleri ve çıkışlarında havadaki su buharının doyma basıncı Antonie denklemi ile bulunmuştur:

$$\ln P_w^{sat} = A - \frac{B}{T+C} \quad (1)$$

Burada, A=16,3872, B=3885,7 ve C=230,17 sabit katsayılar olup su buharı için Antonie parametreleridir [11]. Havanın mutlak nemi ise aşağıdaki eşitlik ile tanımlanmıştır:

$$\omega = 0,622 \frac{P_w^{sat}}{P_T - P_w^{sat}} \quad (2)$$

Burada P_T (kPa), havanın toplam basıncını göstermektedir. Nem alma kolonunun nem alma verimi ise Eşitlik 3 ile hesaplanmıştır [12]:

$$\eta_{ab} = 100 \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1 - \omega_{sat}} \quad (3)$$

Eşitlik 3'te ω_1 (kg/kg) ve ω_2 (kg/kg) sırasıyla havanın nem alma kolonu girişindeki ve çıkışındaki mutlak nemini göstermektedir. ω_{sat} (kg/kg) ise LiBr-su desikant çözeltisi ile dengede olan havanın mutlak nemi olup, desikant çözeltisinin bulunduğu sıcaklıktaki buhar basıncı kullanılarak Eşitlik 2 ile hesaplanmıştır. Birim zamanda kazanılan buharlaşma ısı enerjisi ise Eşitlik 4 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_b = \dot{m}_a (\omega_1 - \omega_2) (h_1 - h_2) \quad (4)$$

Eşitlik 4'te \dot{m}_a (kg/s) havanın nem alma kolonu içindeki kütleli debisini, h_1 (kJ/kg) ve h_2 (kJ/kg) ise sırasıyla havanın nem alma kolonu girişindeki ve çıkışındaki entalpilerini göstermektedir. Sistemde birim zamanda harcanan ısı enerjisi ise Eşitlik 5 ile belirlenmiştir:

$$\dot{Q}_h = \dot{m}_{hw} * c_{p_{hw}} * (T_{hw,g} - T_{hw,\zeta}) \quad (5)$$

Burada, \dot{m}_{hw} (kg/s) ısıtma suyunun ısı değiştiricideki kütleli debisini, $c_{p_{hw}}$ (kJ/kg.K) ısıtma suyunun ortalama özgül ısısını, $T_{hw,g}$ (°K) ve $T_{hw,\zeta}$ (°K) ise sırasıyla ısıtma suyunun ısı değiştiriciye giriş ve çıkış sıcaklıklarını göstermektedir.

Sistemin ısı performans katsayısı Eşitlik 6 ile hesaplanmıştır:

$$COP_{th} = \frac{\dot{Q}_b}{\dot{Q}_h} \quad (6)$$

Elektriksel performans katsayısı ise Eşitlik 7 ile bulunmuştur:

$$COP_e = \frac{\dot{Q}_b}{\dot{W}_e} \quad (7)$$

Eşitlik 7'de \dot{W}_e (kW) birim zamanda harcanan elektrik enerjisini göstermektedir.

Önerilen sıvı desikant nem alma sisteminde nem alma verimi, ısı ve elektriksel performans katsayıları deneysel veriler temel alınarak

hesaplandığından sistemde belirsizlik analizi yapılması gerekmektedir.

Çizelge 2'de ölçüm aletlerinin ölçüm hassasiyeti değerleri verilmiştir. Bu hassasiyet değerlerine göre nem alma veriminin belirsizliği Eşitlik 8 ile hesaplanmıştır [13]:

Çizelge 2. Sistemdeki ölçüm aletleri ve hassasiyet değerleri

Tip	Hassasiyet
VAISALA HMT120	±%1,5 Bağıl Nem, ±0,2°C Sıcaklık
KIMO-CTV210	±%0,3
CF Signet Capteur 515	±%0,5
K tipi ısı çift	%0,4°C

$$\frac{\delta \eta_{Ab}}{\eta_{Ab}} = \sqrt{\left(\frac{\delta \omega_1}{\omega_1}\right)^2 + \left(\frac{\delta \omega_2}{\omega_2}\right)^2 + \left(\frac{\delta \omega_{sat}}{\omega_{sat}}\right)^2} \quad (8)$$

Burada ω_1 ve ω_2 değerleri ölçülen sıcaklık, bağıl nem ve basınç değerlerine bağlı oldukları için $\delta \omega_1$ ve $\delta \omega_2$ belirsizlik değerleri, Çizelge 2'de 1. satırda bulunan hassasiyet değerleri temel alınarak hesaplanmıştır. ω_{sat} değeri ise K tipi ısı çift ile ölçülen sıvı desikant çözeltisi sıcaklığına ve çözelti konsantrasyonuna bağlı olduğundan $\delta \omega_{sat}$ belirsizlik değeri, Çizelge 2'de 4. satırdaki hassasiyet değeri kullanılarak hesaplanmıştır.

Aynı şekilde \dot{Q}_b ve \dot{Q}_h değerlerinin belirsizlikleri sırasıyla Eşitlik 9 ve 10 ile hesaplanmıştır.

$$\frac{\delta \dot{Q}_b}{\dot{Q}_b} = \sqrt{\left(\frac{\delta \omega_1}{\omega_1}\right)^2 + \left(\frac{\delta \omega_2}{\omega_2}\right)^2 + \left(\frac{\delta h_1}{h_1}\right)^2 + \left(\frac{\delta h_2}{h_2}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_a}{m_a}\right)^2} \quad (9)$$

$$\frac{\delta \dot{Q}_h}{\dot{Q}_h} = \sqrt{\left(\frac{\delta T}{T_{hw,g}}\right)^2 + \left(\frac{\delta T}{T_{hw,\zeta}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m_{hw}}{m_{hw}}\right)^2} \quad (10)$$

Isıl ve elektriksel performans katsayılarının belirsizliği Eşitlik 9 ve 10'da hesaplanan \dot{Q}_b ve \dot{Q}_h değerlerinin belirsizliğinden yola çıkılarak aşağıdaki eşitliklerle belirlenmiştir.

$$\frac{\delta COP_{th}}{COP_{th}} = \sqrt{\left(\frac{\delta \dot{Q}_{ev}}{\dot{Q}_{ev}}\right)^2 + \left(\frac{\delta \dot{Q}_h}{\dot{Q}_h}\right)^2} \quad (11)$$

$$\frac{\delta COP_e}{COP_e} = \sqrt{\left(\frac{\delta \dot{Q}_{ev}}{\dot{Q}_{ev}}\right)^2} \quad (12)$$

Absorber nem alma verimi (η_{ab}) bağıl hatası %3,7, \dot{Q}_b ve \dot{Q}_h ısı transferi değerlerinin bağıl hataları sırasıyla %2,3, %3,7, COP_{th} ve COP_e ısı performans katsayılarının bağıl hataları ise sırasıyla %4,8, %3,4 olarak hesaplanmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

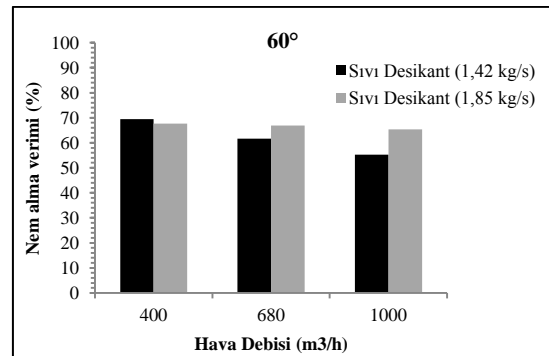
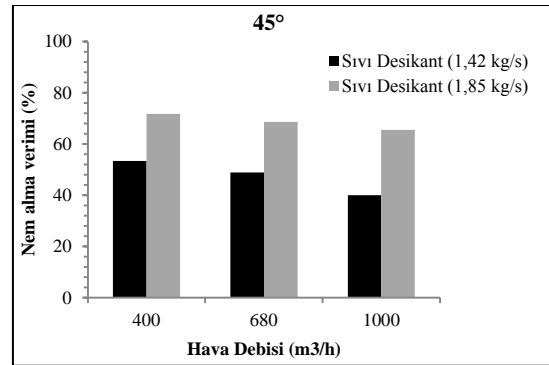
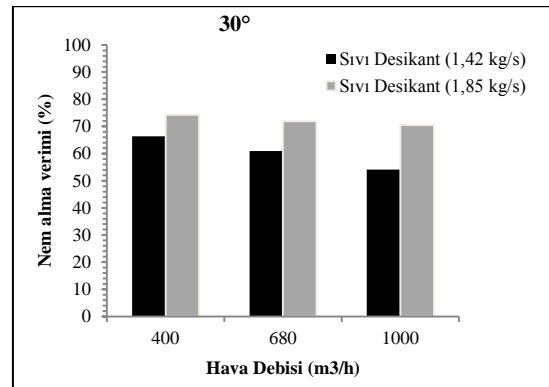
Önerilen LiBr-su sıvı nem alma sisteminde, 6 mm kalınlığındaki 30°, 45° ve 60° üç ayrı kanal açılı polikarbonat levhalar kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylere ait bazı parametreler Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Deneysel parametreler

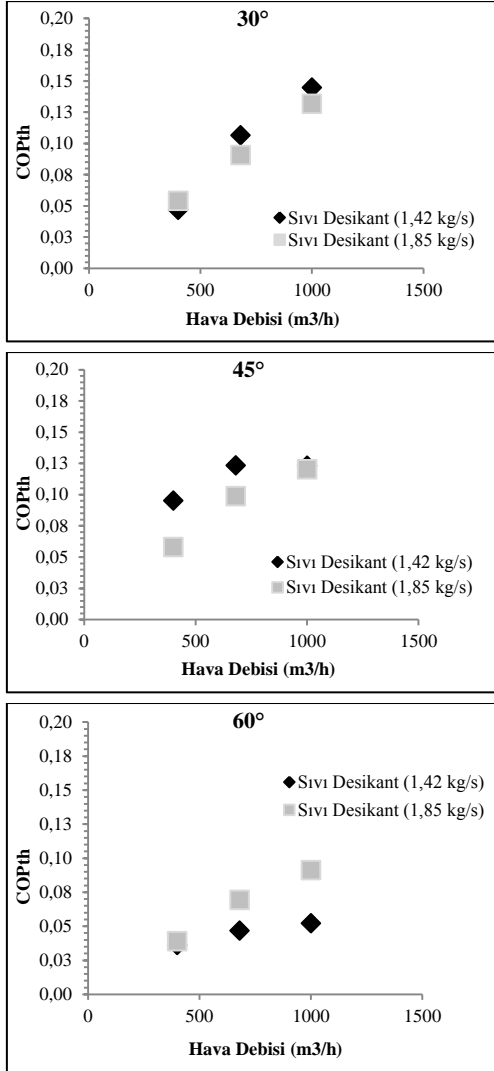
Parametre adı	Ölçülen/Belirlenen Değer
Sıvı desikant	Kütlece %45 LiBr Çözeltisi
Dolgu yüksekliği, cm	60
Ortalama hava kütleli debisi, m ³ /h	400, 680, 1000
Ortalama desikant kütleli debisi, kg/s	1,42, 1,85
Hava fanı dönme frekansı, Hz	20, 34, 50
Sıvı pompası dönme frekansı, Hz	20, 26
Soğutma suyu ortalama giriş/çıkış sıcaklıkları	14 / 22°C
Isıtma suyu ortalama giriş/çıkış sıcaklıkları	59,1/50,2°C
Ortalama çözelti sıcaklığı (nem alma kolonu)	28,7°C
Ortalama çözelti sıcaklığı (rejeneratör)	45,8°C

Nem alma verimine 30°, 45° ve 60° kanal açılı polikarbonat dolgu malzemeleri için hava ve sıvı debilerinin etkisi Şekil 5'te gösterilmiştir. 30° ve 45° kanal açılarında LiBr-Su çözeltisinin hızının artışının nem alma verimi üzerine etkisi belirgin olmasına rağmen 60°'lik kanal açılı dolgu malzemesinde bu gözlenememiştir. Buna neden

olarak 60°'lik kanal açısının hava-sıvı temas yolu ya da temas süresi diğer açılara göre az olması gösterilebilir. 30° kanal açısının sağladığı, hava ile sıvının temas yolunun dolayısıyla sürenin uzunluğu sistemin nem alma verimini olumlu bir şekilde etkilemiştir. En yüksek nem alma verimi %74,3 ile 30° kanal açılı dolgu malzemesinde gözlemlenmiştir.



Şekil 5. Nem alma veriminin kanal açılarıyla, sıvı ve hava hızlarıyla değişimi

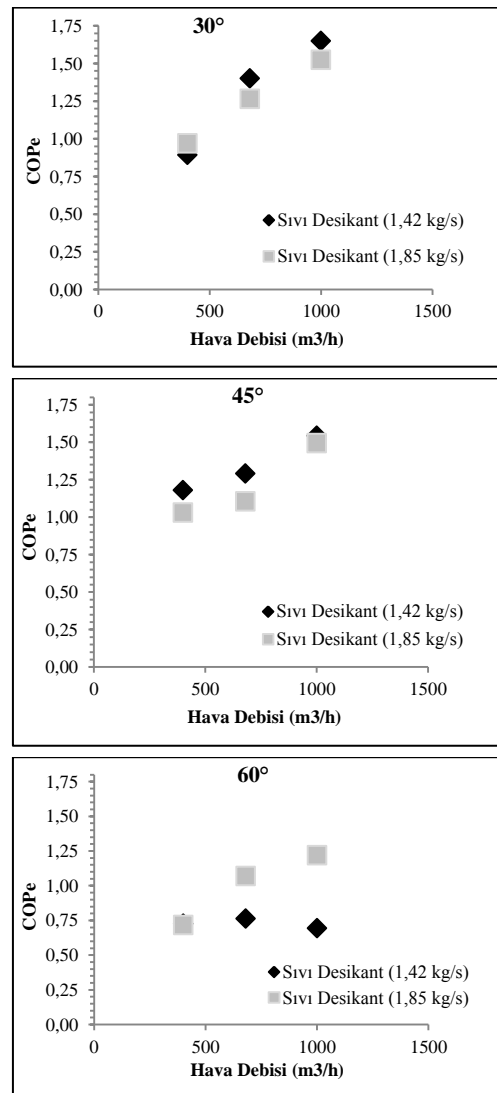


Şekil 6. Isıl COP değerlerinin kanal açılarıyla, sıvı ve hava hızlarıyla değişimi

Şekil (6), 30°, 45° ve 60° kanal açılı dolgu malzemeleri için hesaplanan ısı performans katsayısı değerlerinin, hava ve sıvı hızlarıyla değişimini göstermektedir. Maksimum ısı COP değeri 0,14 olarak 30° kanal açısında, 1000 (m³/s) hava debisi ve 1,85 (kg/s) sıvı debisi ile elde edilmiştir.

6 mm'lik polikarbonat dolgu malzemesi için hava akış hızı, sıvı akış hızı ve dolgu malzemesinin

kanal açılarının elektriksel performans katsayısı değerlerine olan etkisi Şekil 7'de gösterilmektedir. Maksimum elektriksel COP değeri 1,52 olarak, ısı COP değerinde olduğu gibi 30° kanal açısında, 1000 (m³/s) hava debisi ve 1,85 (kg/s) sıvı debisi ile elde edilmiştir. 60° kanal açısı için ise elektriksel COP değeri genelde 1,0 altında elde edilmiştir. Elektriksel COP değerinin 1,0 üzerinde olması, sistemin birincil enerji kaynaklarını verimli bir şekilde kullandığını göstermektedir.



Şekil 7. Elektriksel COP değerlerinin kanal açılarıyla, hava ve sıvı hızlarıyla değişimi

5. SONUÇ

Bu çalışmada, kolonlarda dolgu malzemesi olarak, daha önce kullanılmamış, polikarbonat dolgu malzemesi kullanılan bir LiBr-su açık sıvı desikant nem alma sisteminin tasarımı yapılarak, hava ve sıvı desikant çözeltisi akış hızlarının ve dolgu kanal açılarının sistem performansına etkisi incelenmiştir.

Grafiklerden de anlaşılacağı gibi sistem için belirlenen performans kriterleri, yüzey alanları birbirine yakın olması sebebiyle dolgu kanal açılarından çok fazla etkilenmemektedir. Buna karşın sıvı desikantın hızının artması kütle transferi katsayısını arttırdığından özellikle ısı COP ve elektriksel COP değerlerinde önemli derecede artış sağlamıştır. Sıvı hızının artması 30° ve 60° kanal açılı dolgu malzemelerinde nem alma verimini de iyileştirmiştir. Hava hızının artması ise nem alma veriminde, hava-sıvı desikant temas süresinin azalmasından dolayı, bir azalışa sebep olmuştur. Buna karşın elektriksel COP ve ısı COP değerlerinde, hava hızının artması, önemli bir iyileşme sağlamıştır.

Elde edilen sonuçlara bakıldığında açık sıvı desikant nem alma sisteminin performansının, sıvı hızlarından ve hava hızlarından yüksek oranda etkilendiği görülebilmektedir. Bu sebeple sayısal analizlerle ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) analizleriyle optimum hava ve sıvı akış hızları belirlenip sistem performansı daha da artırılabilir. Bunun yanında daha yüksek yüzey alanlarına sahip polikarbonat levhalar kullanılarak, sistemin teorik analizleriyle optimum dolgu yüksekliği ve kanal açısı belirlenerek sistem performansı daha da iyileştirilebilir.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 1001-Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı kapsamında TÜBİTAK tarafından 114M151 no'lu proje ile desteklenmektedir.

7. KAYNAKLAR

1. Xu, M., Duan, Y., Xin, F., Huai, X., Li, X., 2014. Design of an Isopropanol-acetone-Hydrogen Chemical Heat Pump with Exothermic Reactors in Series, Applied Thermal Engineering, 71, p. 445-449.
2. Zhai, X. Q., Wang, R. Z., 2009. A Review for Absorbtion and Adsorbtion Solar Cooling Systems in China, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, p. 1523-1531.
3. Yadav, Y. K., Kaushik, S. C., 1991. Psychrometric Techno-economics Assessment and Parametric Studies of Vapor-Compression and Solid/liquid Desiccant Hybrid Solar Space Conditioning System, Heat Recovery Systems & CHP, 11, p. 563-572.
4. Khalid Ahmed, C. S., Gandhidasan, P., Al-Farayedhi, A. A., 1997. Simulation of a Hybrid Liquid Desiccant Based Air-conditioning System, Applied Thermal Engineering, 17, p. 125-134,
5. Desiccant Cooling: State-of-the-Art Assesment” Erişim adresi: http://web.ornl.gov/sci/ees/etsd/btrc/eere_research_reports/thermally_activated_technologies/desiccant_systems/performance_evaluations/nrel_tp_254_4147/nrel_tp_254_4147.pdf Erişim Tarihi: 22.11.2016.
6. Lof, G. O. G., 1955. Cooling with solar energy, Congress on solar energy, p. 171-189, Tucson-Arizona.
7. Factor, H. M., Grossman, G. A., 1980. Packed Bed Dehumidifier/regenerator for Solar Air Conditioning with Liquid Desiccants, Solar Energy, 24, p. 541-550.
8. Longo, A. G., Gasparella A., 2009. Experimental Analysis on Desiccant Regeneration in a Packed Column with Structure and Random Packing, Solar energy, 83, p. 511-521.
9. Öberg, V., Goswami, D. Y., 1998. A Review of Liquid Desiccant Cooling, Advances in Solar Energy, 12, p. 431-470.
10. Salarian, H., Ghadamian, H., Assadi K. M., Ataei, A., 2011. An Experimental and Modeling Study of a Dehumidification Tower,

- International Journal of the Physical Sciences, 6, 12, p. 2852-2860.
11. Poling, B. E., Prausnitz, J. M., O'Connell, J. P., 2001. The Properties of Gases and Liquids, 5th Edition, Appendix A, McGraw-Hill, New York.
 12. Koronaki, I. P., Christodoulaki, R. I., Papaefthimiou, V. D., Rogdakis, E. D., 2013. Thermodynamic Analysis of a Counter Flow Adiabatic Dehumidifier with Different Liquid Desiccant Materials, Applied Thermal Engineering, 50, p. 361-373.
 13. ASME PTC 19.1-2013, 2014. Test Uncertainty: Performance Test Codes, The American Society of Mechanical Engineers, New York.

Bastnazit Kompleks Cevherinden (Eskişehir, Türkiye) Bazı Nadir Toprak Elementlerinin (Ce, Nd, La) Asit Liçi ile Çözünürlüklerinin Araştırılması

**İlgin KURŞUN¹, Orhan ÖZDEMİR¹, Tuğba Deniz TOMBAL¹, Mert TERZİ*¹,
Hasan HACİFAZLIOĞLU¹**

¹*İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

Geliş tarihi: 19.01.2017

Kabul tarihi: 14.03.2017

Öz

Bu çalışmada, Eskişehir Kızılcaören bölgesindeki bastnazit cevherinde bulunan Ce, Nd ve La gibi nadir toprak elementlerinin (NTE) sülfürik asit (H₂SO₄) ve nitrik asit (HNO₃) ile çözünürlükleri araştırılmıştır. Bu kapsamda, Eskişehir-Kızılcaören yöresindeki farklı bölgelerden bastnazit içeren numuneler alınmış ve bu numuneler harmanlanarak temsili numune elde edilmiştir. Deneysel çalışmalarda; pülp katı oranı, asit dozajı, liç süresi ve liç sıcaklığının NTE çözünme verimi üzerine etkisi araştırılmıştır. En yüksek NTE çözünme verimi %35 pülp katı oranında, 400 kg/ton HNO₃ dozajında, 120 dak. liç süresi ve 60°C'lık liç sıcaklığında elde edilmiş olup Ce, Nd ve La çözünme verimleri sırasıyla %82,35, %77,43 ve %70,21 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Nadir toprak elementleri, Liç, Bastnazit, Sülfürik asit, Nitrik asit, Çözünme verimi

Investigation of Dissolution of Some Rare Earth Elements (Ce, Nd, La) from Eskişehir (Turkey) Bastnaesite Complex Ore by Acid Leaching

Abstract

In this study, dissolution of some rare earth elements (REE) such as Ce, Nd, and La from Eskişehir bastnaesite complex ore using sulphuric acid and nitric acid were investigated. For this, samples containing bastnaesite were taken from different areas of Eskişehir-Kızılcaören region, and the blend of these samples was used for the experiments. The dissolution efficiency of the representative sample was investigated with the parameters of solid in the pulp, acid dosage, leaching time, and leaching temperature. The highest dissolution yield of REE was obtained with HNO₃ at 35% solids in the pulp, 400 kg/ton HNO₃ dosage, 120 min. leaching time, and 60°C leaching temperature. The dissolution yields of Ce, Nd and La were obtained as 82.35%, 77.43%, and 70.21%, respectively.

Keywords: Rare earth elements, Leaching, Bastnaesite, Sulphuric acid, Nitric acid, Dissolution yield

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mert TERZİ, mert.terzi@istanbul.edu.tr

1. GİRİŞ

Nadir Toprak Elementleri (NTE) periyodik tabloda kimyasal açıdan benzer özellikte olan ve lantanitler olarak da adlandırılan, atom numarası 57 olan lantanyumdan (La), 71 olan lutesyuma (Lu) kadar olan elementler ayrı bir grubun birleşiminden oluşmaktadır. Periyodik tabloda lantanyumun hemen üzerinde olan 21 atom numaralı skandiyum ve 39 atom numaralı itriyum da NTE olarak nitelendirilmektedir. NTE'ler itriyum [Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, (Y)] ve lantanit (seryum) [(La), Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu] alt gruplarına ayrılmaktadırlar [1-5]. Bileşiminde %0,01'den fazla NTE bulunduran yaklaşık 200 adet nadir toprak minerali bilinmekle birlikte, bunlardan sadece üç tanesinin cevher minerali olarak önemi bulunmaktadır. Dünya nadir toprak mineralleri üretiminin (oksit olarak) yaklaşık %80'i bastnazit, %4'ü monazit ve ksenotim, geriye kalanı da diğer kaynaklardan üretilmektedir [2,4,6-14].

NTE'lerin önemli bir kısmı, nispeten düşük maliyetli karışık bileşikler şeklinde kullanılmaktadırlar. Üretilmiş ve birbirinden ayrılmamış tüm NTE'lerin %25 kadarı ayrılmış saf metal üretimi için kullanılmaktadır. Tekil NTE'lerden en yaygın olarak kullanılanlar seryum lantanitler (Ce ve Nd) ile bazı itriyum lantanitlerdir (Sm, Eu, Gd, Tb). NTE'ler günümüzde ileri teknolojinin ve yeşil enerji üretiminin en önemli hammaddelerindedir. Kullanıldıkları ürünlerin kararlılığını, yüksek sıcaklık ve korozyona karşı dirençlerini artırmaktadır. Elektronik cihazlarda, modern tıp uygulamalarında, cam ve seramik üretiminde, petrolün rafine edilmesinde ve daha birçok alanda nadir toprak elementleri kullanılmaktadır [2,6,12,15-19].

Nadir toprak oksitleri (NT_2O_3) bastnazit mineralinin %75'ini oluşturmaktadır. Günümüzde endüstriyel bastnazit zenginleştirme prosesleri genellikle oksitleyici kavurma, HCl liçi ve solvent ekstraksiyonu kademelerini içermektedir [10-11,13].

Eskişehir-Sivrihisar-Beylikahır kompleks cevher yatağında 20 milyon ton'u görünür olmak üzere toplam 31 milyon ton'luk rezerv tespit edilmiştir.

Cevher yatağının aynı zamanda %3,52 (La+Ce+Nd) tenörlü 1,3 milyon ton nadir toprak elementleri içerdiği de bilinmektedir [16].

Bu çalışmada, Türkiye'nin önemli NTE yataklarından olan Eskişehir Kızılcaören yöresinde bulunan üç farklı bölgeden (Şekil 1) alınan bastnazit cevheri için sülfürik asit ve nitrik asit ile kimyasal liç yapılarak nadir toprak elementlerinden Ce, Nd ve La'nın çözünme verimleri incelenmiştir.



Şekil 1. Çalışma sahası yer bulduru haritası

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Materyal

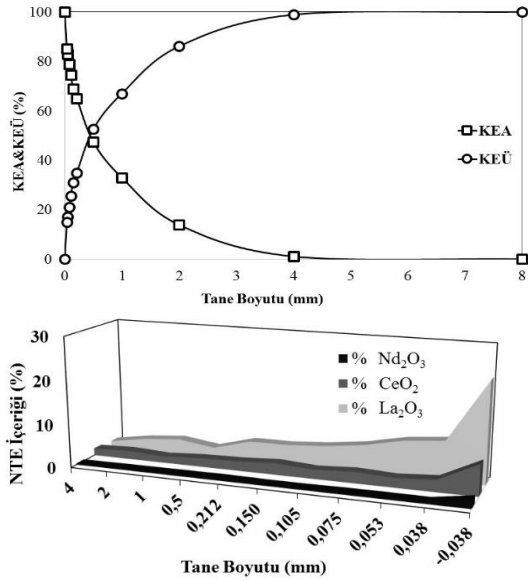
Deneylerde Eskişehir-Kızılcaören yöresindeki üç farklı bölgeden temsili olarak alınan numunelerin eşit miktarda sistematik olarak harmanlanıp, akabinde de konileme-dörtleme gibi işlemlerle azaltılıp çalışmalara hazır hale getirilen numune kullanılmıştır. Numunenin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerinin belirlenebilmesi için detaylı karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır.

Numune hazırlama ve boyut küçültme işlemlerinde; çeneli kırıcı (Denver, ABD; maksimum besleme boyutu 10 cm, minimum çıkış boyutu 1 cm ve 50 kg/sa kapasiteli); numunede baskın mineral fazları olan barit, florit ve kalsit minerallerinin kırılabilir yapıları nedeniyle ikincil kırıcı olarak merdaneli kırıcı (Ünal Mühendislik, Türkiye; maksimum besleme boyutu 2 cm, minimum çıkış boyutu 0,1 cm ve 500 kg/sa kapasiteli) ve bilyalı değirmen (maksimum besleme boyutu 0,5 cm ve 5 kg/sa kapasiteli) kullanılmıştır.

Liç deneylerine esas olan numuneye etüv (Memmert ULM500, Almanya) kullanılarak 105°C'de nem analizi yapılmış ve numunenin toplam %0,14 nem içerdiği belirlenmiştir.

Liç öncesi yapılacak öğütmeye uygun tane boyutu dağılımına sahip malzeme elde edebilmek için sırasıyla çeneli kırıcı ve merdaneli kırıcı kullanılarak boyut küçültme işlemine tabi tutulan deneylere esas olan numune, temsili olarak azaltılmış ve yaş eleme yöntemi ile elek serisi (Retsch, Almanya) kullanılarak tane boyut analizine tabi tutulmuştur. Merdaneli kırıcı çıkışı tane boyut dağılımı sonuçları ve elek fraksiyonlarında yer alan element içerikleri Şekil 2'de gösterilmiştir.

Şekil 2'deki elek altı-elek üstü grafiklerinden kırıcı çıkışı malzemenin $d_{50}= 0,45$ mm ve $d_{80}= 1,58$ mm olarak bulunmuştur.

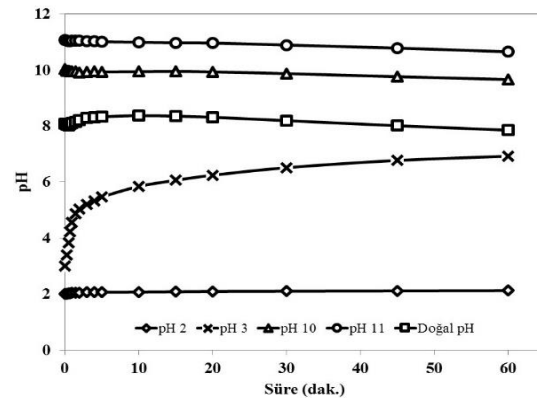


Şekil 2. (a) Merdaneli kırıcı çıkışı elek altı ve elek üstü eğrileri, (b) Numunenin elek fraksiyonlarına göre dağılımı

Numunenin yoğunluklarının belirlenmesi için 50 ml'lik piknometreler (Isolab, Almanya) ile yoğunluk tayini yapılmıştır. Deney sonucunda numunenin yoğunluğu $3,29$ g/cm³ olarak bulunmuştur.

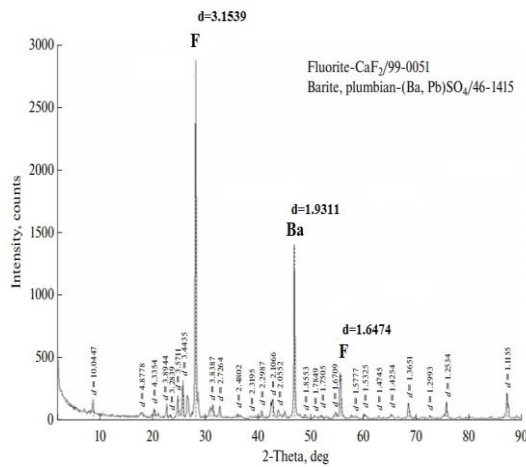
Thermo Elemental X Series cihazı (Thermo Fisher Scientific, ABD) ile ICP-MS kalitatif analiz yöntemi kullanılarak yapılan kimyasal analizler sonucunda numunenin %2,79 La, %2,27 Ce ve %0,29 Nd içerdiği belirlenmiştir. Numunenin %La₂O₃, %CeO₂ ve %Nd₂O₃ içeriği tane boyutu küçüldükçe artma eğilimi göstermektedir, -0,038 mm tane iriliğinde %23,11 La₂O₃, %7,17 CeO₂ ve %1,90 Nd₂O₃ seviyelerindedir ve en yüksek dağılım da -0,038 mm boyutunda görülmektedir. Bu sonuçlar numunedeki nadir toprak elementleri içeriklerinin kaynağı olan bastnazit mineralinin ince boyutlarda serbestleştiği ve buna bağlı olarak da ilgili içeriklerin ince fraksiyonlarda toplanma eğilimi gösterdiğine işaret etmektedir. Bunun nedeni de numunede bulunan fluorit ve barit taneciklerindeki bastnazit mineralinin gözenekler içinde dağılmış olup mikron boyutları mertebesinde olması ile açıklanabilir. Bu bulgular literatürle de desteklenmektedir [20].

Numunenin elektrokinetik özelliklerinin tespiti amacı ile numunenin saf su içerisinde süreye bağlı pH değişimi incelenmiştir (Şekil 3). Numunenin pH profili incelendiğinde pH değerlerinin belirli bir süre sonra bazik bölgede tampon bir pH değerine ulaşma eğilimi göstermeye başladığı görülmüştür. Deneylerde incelenen en yüksek asidik pH değeri olan pH 2'de ise zamana bağlı herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Bunun nedeni ise yüksek asidik ortamda numuneden çözünerek çözültüye geçen anyonların kısıtlı miktarda olması ile açıklanabilmektedir.



Şekil 3. Numunenin sudaki pH değişimi

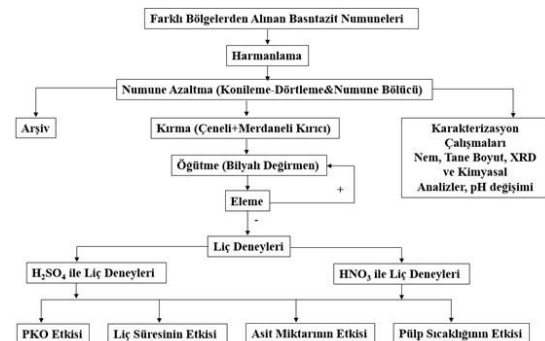
Bastnazitin mineralojik yapısı hakkında bilgi edinilmesi amacıyla X-ışını kırınımı analizi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). 200 Vac 3q 20 A/50 Hz güç kapasitesine sahip D/Max-2200/PC XRD cihazı (Rigaku, ABD) ile yapılan ölçümler sonucunda numunenin yüksek oranda fluorit-(CaF₂) ve plumbian-barit ((Ba, Pb)SO₄) içerdiği belirlenmiştir. Numunede bulunan nadir toprak ve toryum içeren bastnazit ve diğer minerallerin XRD’de görülmesi mümkün olmamıştır.



Şekil 4. Numunenin XRD grafiği

2.2. Metod

Deneylere esas olan bastnazit cevher numunelerinin İstanbul Üniversitesi Cevher Zenginleştirme Laboratuvarı’na getirildikten sonra yapılmış olan deneysel çalışmaların akış diyagramı Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Deneysel çalışmaların akış diyagramı

Kimyasal çözündürme (liç) işlemleri karıştırma hızı ve sıcaklık kontrollü olarak karıştırmalı su banyosunda erlenmayer içerisinde gerçekleştirilmiştir. Liç işlemlerinde karıştırmalı su banyosu (Wise Bath, Almanya) kullanılmıştır. Liç deneylerinde karıştırma hızı, pH ve liç sıcaklığı sürekli ölçülmüştür. Liç işlemi sonrasında ise çözeltilere 4 µm açıklığa sahip filtre kâğıtları (Whatman, ABD) ile filtre edilmiştir. Tüm deneylerde katı kalıntı %1’lik asit çözeltisi ile 2 defa yıkanmıştır. Liç verimleri ise aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır (L.V.: Liç Verimi, B: Besleme, K: Kalıntı).

$$\% L.V. = \frac{B(Ce, Nd, La) - K(Ce, Nd, La)}{B(Ce, Nd, La)} \cdot 100 \quad (1)$$

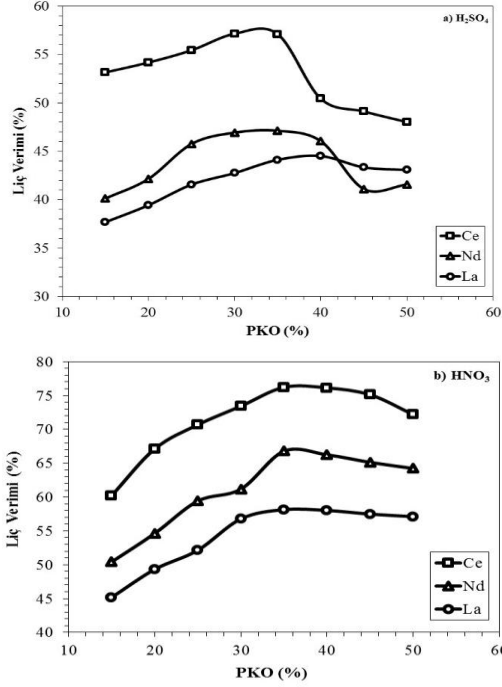
Liç deneylerinde NTE içeriklerinin yüksek tenör ve yüksek verimle kazanılması amaçlanmıştır. %98 analitik sınıfta H₂SO₄ (Tekkim, Türkiye) ve %55 analitik sınıfta HNO₃ (Tekkim, Türkiye) kullanılarak her iki asit için optimum pülp katı oranı (PKO), liç süresi, çözücü miktarı ve pülp sıcaklığının belirlenmesi için yapılan deneylerde elek ile kapalı devre halinde çalışılarak d₈₀ 38 µm tane boyutuna öğütülmüş numuneler kullanılmıştır. Her iki asitle yapılan liç deneylerinde; %15-50 PKO; 30-320 dk liç süresi; 25-800 kg/ton asit miktarı ve 25-90°C liç sıcaklığı koşullarında optimum PKO, liç süresi, asit miktarı ve liç sıcaklığı belirlenerek NTE çözünme verimleri üzerindeki etkileri gözlenmiştir.

Liç deneylerindeki olası deney hatasının tespit edilmesi amacıyla gerçekleştirilen 3 tekrarlı ön liç deneylerinden elde edilen sonuçlarda deney hatasının kabul edilebilir bir sınır olan ±0,1 seviyesinde olduğu görülmüş olup, buna bağlı olarak sonraki deneylerde deney tekrarı yapılmamıştır.

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Pülp Katı Oranının Etkisi

H₂SO₄ ve HNO₃ ile liç deneylerinde Ce, Nd ve La’nın çözünme verimlerinin PKO’ya göre değişim sonuçları Şekil 6’da görülmektedir.

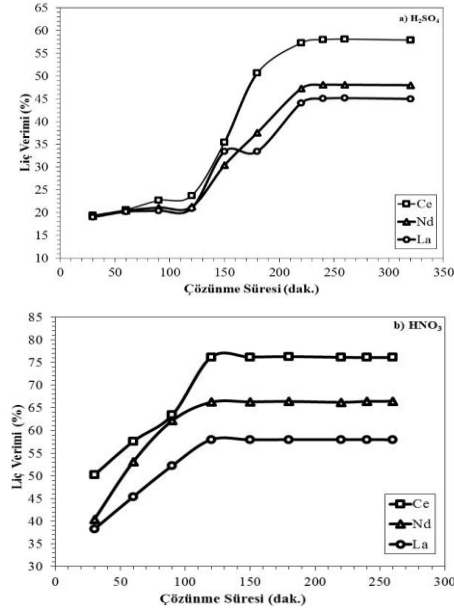


Şekil 6. H₂SO₄ (a) ve HNO₃ (b) liçinde NTE (Ce, Nd, La) çözünme verimlerinin PKO'ya göre değişim sonuçları (240 dk liç süresi, 400 kg/ton H₂SO₄/HNO₃ ve 25 °C pülp sıcaklığı)

H₂SO₄ ve HNO₃ ile liç deneyleri sonuçlarına göre NTE (Ce, Nd ve La) çözünme verimleri göz önünde bulundurularak optimum değer olarak %35 PKO uygun görülmüştür. H₂SO₄ ile yapılan deneylerde NTE (Ce, Nd, La) çözünme verimleri %35 PKO'ya kadar artma eğilimi göstermişse de bu noktadan sonra azalmaya başlamıştır. HNO₃ deneylerinde ise çözünme verimleri %35 PKO'ya kadar artış göstermiş ancak bu noktadan sonra önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Çözünme verimlerinde PKO artışına paralel olarak gözlenen bu artışın nedeni deneylerde katı faz miktarının ve ton başına reaktif miktarının sabit tutulması, buna bağlı olarak da çözelti derişiminin nispi olarak artış göstermesidir. Bununla beraber PKO artışı %35 değerinden sonra karıştırma ve difüzyon ile muhtemel zorlukları da beraberinde getirdiği için, bu sonuçlar ışığında belirli bir değerden sonra PKO artışının çözünme verimine olumlu bir etkisi olmayacağı söylenebilmektedir.

3.2. Liç Süresinin Etkisi

H₂SO₄ ve HNO₃ ile liç deneylerinde NTE (Ce, Nd, La) çözünme verimlerinin liç süresine göre değişim grafikleri Şekil 7'de verilmiştir.



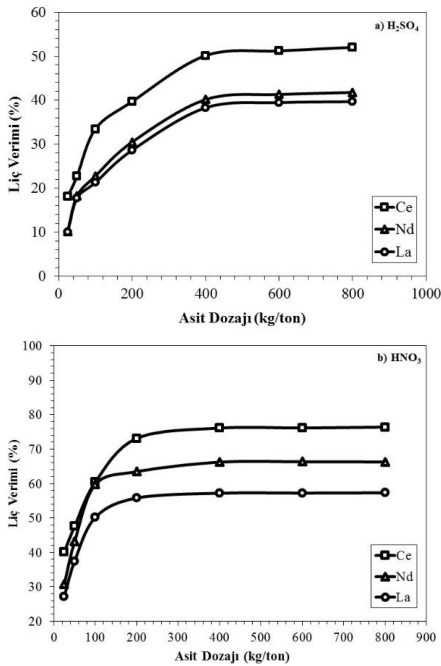
Şekil 7. H₂SO₄ (a) ve HNO₃ (b) liçinde NTE (Ce, Nd, La) çözünme verimlerinin liç süresine bağlı değişim sonuçları (liçinde (%35 PKO, 400 kg/ton H₂SO₄/HNO₃ ve 25°C pülp sıcaklığı)

Liç süresi, minerallerle birlikte çözülecek solventin reaksiyon olasılığını artırdığı ve uzun reaksiyonların tamamlanmasını sağladığı için önemli bir parametredir. H₂SO₄ ile liç deneyi sonuçlarına göre optimum liç süresi 220 dakika olarak alınmıştır. HNO₃ ile liç deneyi sonuçlarına göre ise optimum liç süresi 120 dakika olarak alınmıştır. H₂SO₄ deneylerinde 220 dakika'ya kadar doğrusal olarak olmasa da verimlerde artış söz konusudur ve bu noktadan sonra önemli bir artış gözlenmemiştir. HNO₃ deneylerinde çözünme verimleri 120 dk'ya kadar doğrusal bir artış göstermiş ancak bu noktadan sonra sabitleme eğilime girmiştir. Her iki deney sonucundan da görülmektedir ki süre faktörü belirli bir noktadan sonra çözünme verimleri üzerinde etkili olmamaktadır.

3.3. Asit Dozajının Etkisi

H₂SO₄ ve HNO₃ liç deneylerinde NTE (Ce, Nd, La) çözünme verimlerinin asit dozajına göre değişim sonuçları Şekil 8'de verilmiştir.

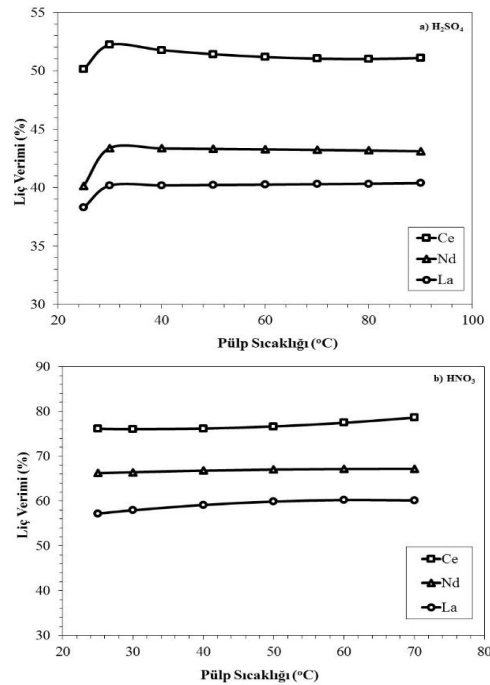
H₂SO₄ deneylerinde 400 kg/ton'a kadar çözünme verimlerinde bir artış görülüyorsa da bu noktadan sonra hemen hemen hiçbir değişiklik gözlenmemiştir. HNO₃ deneylerinde ise 200 kg/ton'a kadar efektif bir artış olmuş, daha sonra az miktarda da olsa 400 kg/ton'a kadar artış devam etmiş ancak bu noktadan sonra sabitlenme eğilimine girmiştir. Bu sonuçlara göre de, asit miktarı artışının H₂SO₄ ve HNO₃ için 400 kg/ton asit miktarından sonra çözünme verimine çok önemli bir etkisinin olmadığı söylenebilir. H₂SO₄ ve HNO₃ ile liç deneyleri sonuçlarına göre, optimum H₂SO₄ miktarı ve HNO₃ miktarı 400 kg/ton olarak alınmıştır.



Şekil 8. H₂SO₄ (%35 PKO, 220 dk liç süresi, ve 25°C pülp sıcaklığı) (a) ve HNO₃ (%35 PKO, 120 dk liç süresi, ve 25°C pülp sıcaklığı) (b) liçinde NTE çözünme verimlerinin asit dozajına göre değişim sonuçları

3.4. Pülp Sıcaklığının Etkisi

H₂SO₄ ve HNO₃ ile liç deneylerinde; NTE (Ce, Nd, La) çözünme verimlerinin pülp sıcaklığına göre değişim sonuçları Şekil 9'da görülmektedir. H₂SO₄ liç deneyi sonuçlarına göre, pülp sıcaklığı 70°C olarak belirlenmiştir. HNO₃ deneyi sonuçlarına göre 60°C ve 70°C sıcaklıklarda çözünme verimleri arasında önemli bir farkın bulunmadığı gözlemlendiğinden pülp sıcaklığı 60°C olarak alınmıştır. Her iki asitle yapılan deneylerde de NTE'ler için sıcaklığın çözünme verimlerinde çok da etkili olmadığı gözlenmiştir.



Şekil 9. H₂SO₄ (%35 PKO, 220 dk liç süresi ve 400 kg/ton H₂SO₄) (a) ve HNO₃ (%35 PKO, 120 dk liç süresi ve 400 kg/ton HNO₃) (b) liçinde NTE çözünme verimlerinin pülp sıcaklığına göre değişim sonuçları

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Eskişehir bölgesi bastnazit içeren kompleks cevherinde bulunan nadir toprak

elementleri içeriklerinin kazanılmasında sülfürik asit (H_2SO_4) ve nitrik asit (HNO_3) liçi kullanımı ve en uygun liç parametreleri araştırılarak numunelerin NTE içeriklerinin yüksek verimle çözeltilmeye alınması amaçlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda en yüksek Ce çözünme verimi HNO_3 asit liçi yöntemiyle elde edilmiştir. Ce çözünme verimleri H_2SO_4 asit liçinde %51,04 iken HNO_3 asit liçinde %82,35 bulunmuştur. Nd çözünme verimleri ise H_2SO_4 asit liçinde %43,22 ve HNO_3 asit liçinde %77,43 olarak bulunmuştur. La çözünme verimleri ise H_2SO_4 asit liçinde %40,29 ve HNO_3 asit liçinde %70,21 bulunmuştur.

Liç deneylerinde, iki farklı asit kullanımı ve bu asitlerle denenen tüm parametreler sonucunda, en iyi sonuç HNO_3 kullanımında ve %35 PKO, 400 kg/ton HNO_3 miktarı, 120 dk liç süresi ve $60^\circ C$ pülp sıcaklığı koşullarında elde edilmiş olup, %82,35 Ce çözünme verimi, %77,43 Nd çözünme verimi ve %70,21 La çözünme verimi elde edilmiştir (Çizelge 1). Nitrik asit, sülfürik aside nazaran daha etkili olmuş, yaklaşık 400 kg/ton nitrik asit kullanıldığında 2 saat çözündürme süresi sonunda Ce'nin çözeltilmeye geçiş verimi %80'leri geçmiştir.

Çizelge 1. Çalışma sonucu belirlenen optimum koşullar ve bu koşullarda elde edilen NTE kazanma verimleri

PKO	%35
HNO_3 Miktarı	400 kg/ton
Liç Süresi	120 dk
Pülp Sıcaklığı	$60^\circ C$
Ce Kazanma Verimi	%82,35
Nd Kazanma Verimi	%77,43
La Kazanma Verimi	%70,21

Bu sonuçlardan, bastnazitin atmosfer koşullarında sülfürik ve nitrik asit çözeltileri ile yeterli düzeyde liç edilemeyeceği ve asit tüketimlerinin yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır. Liç verimlerinin düşük olmasında heksagonal yapılı bastnazit mineralinin asit çözeltilerinde çözünürlüğünün düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer taraftan çözündürme işlemlerinde kullanılan nitrik asit gibi kuvvetli ve difüzyon sabitleri yüksek asitler, katyonlarla çökecek bileşikler

vermediklerinden sülfürik asitten daha etkin bir şekilde NTE'yi çözmekte, aynı verim için asit sarfiyatı sülfürik asitten daha düşük olmaktadır. Yapılan bu çalışma kapsamında Eskişehir-Kızılcaören cevherindeki NTE içeriklerinin HNO_3 gibi asitlerin, uygulanabilir sınırlardaki kullanımı sonucunda çözeltilmeye alınarak kazanılabilirliği ortaya konmuştur. Ancak, bu çalışma sonucu elde edilmiş olan Ce, Nd ve La çözünme verimlerinin geliştirilebilme koşullarının araştırılması adına, sülfatlayıcı kavurma ve su liçi gibi işlemlerin çözünme verimlerine olan etkilerinin irdelenmesi önerilmektedir. Bununla beraber, Eskişehir bölgesi kompleks cevherindeki bastnazit minerallerinden Ce, Nd ve La'nın kimyasal çözündürme (liç) işlemleri esnasında meydana gelen çözünme modelinin ortaya konulması amacıyla liç kinetiklerinin incelenmesi de planlanmaktadır.

5. KAYNAKLAR

1. Zhang, L., Wang, Z., Tong, S., Lei, P., Zou, W., 2004. Rare Earth Extraction from Bastnaesite Concentrate by Stepwise Carbochlorination-Chemical Vapor Transport-Oxidation, Metallurgical and Materials Transactions 35B, p.217-221.
2. ETİ MADEN, 2006. Nadir Toprak Elementleri (NTE) Ön Ekonomik Değerlendirmesi, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Rapor No: ETİ.ARGE.400.02-2004.04.030
3. Castor, S. B., Hedrick, J. B., 2006. Rare Earth Elements, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Littleton, Colorado, p. 769-792.
4. Naumov, A.V., 2008. The Review of the World Market of Rare-Earth Metals, Russian Journal of Non-Ferrous Metals 49 (1), p.14-22.
5. Suzimagala, D., 2011. Rare Earth Elements – A Brief Overview of These Elements, Including Their Uses, Worldwide Resources and Known Occurrences in Alaska, Alaska Division of Geological & Geophysical Surveys.
6. İpekoğlu, B., 1983. Eskişehir-Beylikahır Toryum Cevherinin Değerlendirilmesi, İTÜ Fen Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
7. MTA, 1986. Kızılcaören Köyü (Sivrihisar ESKİŞEHİR) Civarındaki Kompleks Cevher

- Yatağına Ait (Fluorit+Barit+Nadir Toprak Elementleri) Maden Jeolojisi Sonuç Raporu, MTA Genel Müdürlüğü Maden Etüt ve Arama Daire Başkanlığı.
8. Kopuz, B., Bilge, A. N., 1997. Eskişehir Beylikahır Toryum Cevherinde Klorlama Yöntemiyle Toryum ve Nadir Toprak Elementlerinin Birbirinden Ayrılması, 1. Ulusal Nükleer Yakıt Teknolojisi Sempozyumu Bildiriler Kitabı Cilt 1, s.87-98.
 9. Zhang, Q., Saito, F., 1998. Non-thermal Process for Extracting Rare Earths from Bastnaesite by means of Mechanochemical Treatment, Hydrometallurgy 47, p.231-241.
 10. Özbayoğlu, G., Atalay, M. Ü., 2000. Beneficiation of Bastnaesite by a Multi-Gravity Separator, Journal of Alloys and Compounds 303-304, p. 520-523.
 11. Zhang, Z., Guo, F., Meng, S., Jia, Q., Li, H., Li, D., 2010. Simultaneous Recovery of Cerium and Fluorine from Bastnaesite Leach Liquor by Mixtures of Cyanex 923 and HEH(EHP), Industrial Engineering Chemistry Research 49, p.6184-6188.
 12. Jordens, A., Cheng, Y.P., Waters, K.E., 2013. A Review of the Beneficiation of Rare Earth Element Bearing Minerals, Minerals Engineering 41, p. 97-114.
 13. Wang, L., Yu Y., Huang, X., Long, Z., Cui, D., 2013. Toward Greener Comprehensive Utilization of Bastnaesite: Simultaneous Recovery of Cerium, Fluorine, and Thorium from Bastnaesite Leach Liquor Using HEH(EHP), Chemical Engineering Journal 215-216, p. 162-167.
 14. Huang, Y., Zhang, T., Dou, Z., Liu, J., Tang, F., 2014. Study on Leaching Rare Earths from Bastnaesite Treated by Calcification Transition, Journal of Rare Earths 32, 11, p. 1043-1047.
 15. ODTÜ, 1993. Beylikahır Nadir Toprak Elementlerinin Zenginleştirilmesi ve Metalurjik Yönden Kazanılması, Nihai Rapor, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Maden ve Metalurji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Araştırmalar Proje Kod No 91-03-05-01-06.
 16. Özbayoğlu, G., Atalay, Ü., Hiçyılmaz, C., 1995. Beylikahır Kompleks Cevherinin Zenginleştirilmesi, Türkiye 14. Madencilik Kongresi, s.431-436.
 17. Zararsız, S., Tanrıkuç A., 2003. Türkiye'nin Nadir Toprak Elementleri ve Toryum Kompleks Cevheri Üzerine Yapılan Çalışmalar ve İleriye Yönelik Öneriler, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, s. 50-51.
 18. Sert, Ş., 2005. Eskişehir-Beylikahır Cevher Konsantresinde Th ve Ce'un Diğer Nadir Toprak Elementlerinden Anyon Değiştirici Reçine ile Ayrılması, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nükleer Bilimler A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
 19. Tombal, T. D., 2015. Türkiye'deki Toryum Cevherlerinden Kimyasal Çözündürme Yöntemiyle Toryum Kazanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Programı, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
 20. Gültekin A. H., Örgün Y., 2000. Kızılcaören (Sivrihisar-Eskişehir) Yöresi Tersiyer Alkali Volkanitlerle İlişkili Nadir Toprak Elementli Fluorit-Barit Yatakları, Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Cilt 1, Sayı 1, s. 85-94.

Ağaç Ürünleri Üreten Bir İşletmede Malzeme Taşıma Sisteminin Simülasyon Yaklaşımıyla İyileştirilmesi

Yusuf KUVVETLİ*¹, Rızvan EROL¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 27.01.2017

Kabul tarihi: 14.03.2017

Öz

Üretim içi malzeme taşıma sistemleri, üretimin hem iş sağlığı ve güvenliğine uygun yürütülmesi hem de sürekliliğinin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle yüksek hacim ve ağırlıktaki nesnelere iş merkezleri arasında transferi oldukça sorunludur. Bu çalışmada, ağaç ürünleri üretimi yapan bir işletmede üretim sahasındaki iş merkezleri arasındaki malzeme taşıma sistemi ele alınmış ve taşıma alternatifleri kesikli olay simülasyonu yaklaşımıyla değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre, konveyör sistemlerinin kullanımının istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. Yatırım kararları göz önüne alındığında da konveyör sistemlerinin kullanımının uzun dönemde daha uygun olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Malzeme taşıma sistemleri, Sistem simülasyonu, İç lojistik, Taşıma alternatifleri

Improving Materials Handling Systems via Simulation Approach for a Woodworking Manufacture Company

Abstract

Ensuring both of the production sustainability and working with suitable conditions to occupational health and safety makes in-bound material handling systems critically important. Especially, transferring objects having high volume and weight between work centers causes a lot of problems. In this study, the material handling system between the work centers on a production site for a woodworking manufacturer is considered and the transportation alternatives are evaluated via discrete event simulation approach. According to results, using conveyor systems is found statistically significant. When investment costs are considered, using conveyor systems are more suitable in long term.

Keywords: Materials handling systems, System simulation, Inbound Logistics, Handling alternatives

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Yusuf KUVVETLİ, ykuvvetli@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Malzeme taşıma sistemleri ve lojistik; üretim, dağıtım, tüketim ve imha etme süreci boyunca malzemelerin ve ürünlerin hareketi, saklanması, korunması ve kontrolünü ifade eder [1].

İyi bir malzeme taşıma sistemi için gereklilikler şunlardır [2]:

- Malzemelerin istenilen yere etkin ve güvenli hareketi,
- Malzemeye ihtiyaç duyulan zamanda aktarımı,
- İstenilen miktarda malzeme sağlanması,
- Minimum alan kullanımı ile malzemelerin saklanması
- Ve bu aktivitelerin minimum maliyet ile gerçekleştirilmesidir.

Malzeme taşıma sektörü birliği (MHI) tarafından yayınlanan 2016 yılı sektör raporuna göre, malzeme taşıma sistemlerinde yeni kullanılan teknolojiler olarak robotik ve otomasyon, envanter ve ağ optimizasyon araçları ve sensorlar ve otomatik tanımlama sistemleri görülmektedir. Aynı zamanda bu sistemlerin en büyük uygulama zorluğunu ise kurulum ve bakım maliyetleri oluşturmaktadır [3].

Malzeme taşıma sistemleri bu nedenlerle bir üretim sisteminin düzenli işleyebilmesi için kritik bir öneme sahiptir. Malzeme taşıma sistemlerinin seçim kararları işletmeler için önem taşımaktadır. Bu çalışmada, ağaç işleri üretimi yapan bir işletmenin malzeme taşıma sisteminin kesikli olay simülasyonu yaklaşımıyla iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Kesikli olay simülasyonu yaklaşımı, durum değişkenlerinin zamanın ayrık noktalarındaki değişiminin gösterildiği bir sistemin zaman üzerindeki değişimidir [4]. Başka bir deyişle, incelenen sistemin zaman içerisindeki belirli noktalar (olaylar) arasındaki değişimiyle hesaplama yapılmasıdır.

Simülasyon yaklaşımının kullanımı aşağıdaki durumlarda uygundur [5]:

- Kompleks bir sistemin ilişkilerini göstermek ya da bir alt sisteme de uyarlamak,
- Farklı koşullarda sistemin nasıl etkileneceğini incelemek,
- Modelleme sırasındaki analizler ile sistemin iyileştirilmesini sağlamak,
- Yürüyen sistemin durdurulmasından kaynaklı zaman ve para kaybı oluşmadan öğrenmek,
- Analitik çözümlerin doğrulanmasını sağlamak.

Tüm bu sebeplerden dolayı, simülasyon yaklaşımı artan teknoloji ile birlikte test edilmesi güç olan alternatif senaryoların bilgisayar ortamında modellenmesine olanak tanır. Böylelikle karar vericiler, bilgisayar ortamında modellenen (benzetilen) sistem ile yatırım yapma veya yatırımdan vazgeçme gibi kararları verebilir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde, malzeme taşıma sistemlerinde simülasyon yaklaşımıyla karar verilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla, yapılan ilk çalışmalarda hangi metodolojilerin kullanılabileceği, bilgisayar simülasyonu uygulamaları gibi konular ele alınmıştır [6-10]. Bilgisayar uygulamalarının yanı sıra farklı simülasyon dilleri için malzeme taşıma elemanlarının simülasyonu ele alınmıştır [11].

Bir diğer konu ise malzeme taşıma sistemi tasarımının uygulama aşamalarıdır. Bu amaçla, malzeme taşıma sistemi tasarımındaki dört aşama olan kavramsal, detaylı tasarım, kurulum ve uygulama aşamalarında simülasyonun kullanımı incelenmiştir [12].

Farklı uygulama alanlarına bakıldığında inşaat sektöründe [13,14], esnek üretim sistemlerinde [15], yarı iletken üretiminde [16-18], madenlerdeki taşıma sistemlerinde [19-21] malzeme taşıma sistemlerinin tasarım aşamalarında simülasyon yaklaşımı kullanılmıştır. Bir diğer çalışmada, kanban türü taşıma yapılan montaj hatlarında simülasyon yardımıyla malzeme taşıma alternatifleri değerlendirilmiştir [22]. Otomatik yönlendirmeli araçların (AGV) olduğu bir üretim ortamının performans ölçümü için simülasyon ve

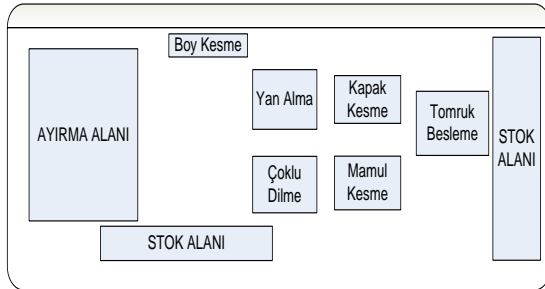
deney tasarımı yaklaşımları birlikte kullanılmıştır [23].

Önceki çalışmalar incelendiğinde, malzeme taşımının zor olduğu inşaat, maden gibi sektörlerde ve malzeme akışının hızlı ve esnek olduğu üretim sistemlerinde (yarı iletken üretimi gibi) malzeme taşıma kararları için simülasyon yaklaşımı etkin olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada ise taşıma ve depolaması zor olan ağaç ürünleri üretimi yapan bir firmada malzeme taşıma alternatifleri simülasyon yaklaşımıyla değerlendirilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmanın materyalini ağaç işleri üretimi yapan bir firmadan alınan veriler oluşturmaktadır. İncelenen işletmedeki üretim ortamının malzeme akışı Şekil 1’de görülmektedir. Buna göre tomruk halinde gelen ağaçlar sisteme beslenmekte, kapak kesimi ve yan alma işlemleri uygulanan tahtalar gerekli olursa boy kesimi yapılarak ayırma alanında paketlenmektedir.



Şekil 1. İncelenen üretim sisteminin yerleşim planı

Sistemde üretilen ürün sayısı çok fazla olduğu için benzer ürünler gruplandırılmış ve en sık üretilen beş ürün grubu için planlama yapılmıştır. Buna göre boy kesme sürecine sadece 4 ve 5 numaralı ürünler girmektedir. Mevcut sistemde taşımalar vinç yardımıyla yapılmaktadır. 50 adet malzeme biriktiğinde vinçle istasyonlar arası aktarım gerçekleşmektedir. İstasyonlar arası mesafeler Çizelge 1’de görülmektedir. Yalnızca taşıma yapılan istasyonlar çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 1. Kum için model parametreleri

İstasyon	İstasyon	Mesafe
Kapak Kesme	Yan Alma	10 m
Yan Alma	Boy Kesme	10 m
Yan Alma	Ayırma Alanı	30 m
Boy Kesme	Ayırma Alanı	20 m

3.2. Metot

3.2.1. Problemin Tanımı

Ağaç ürünlerinin büyük hacim ve ağırlığa sahip olmasından dolayı işletme içinde taşınması ve depolanması sorunludur.

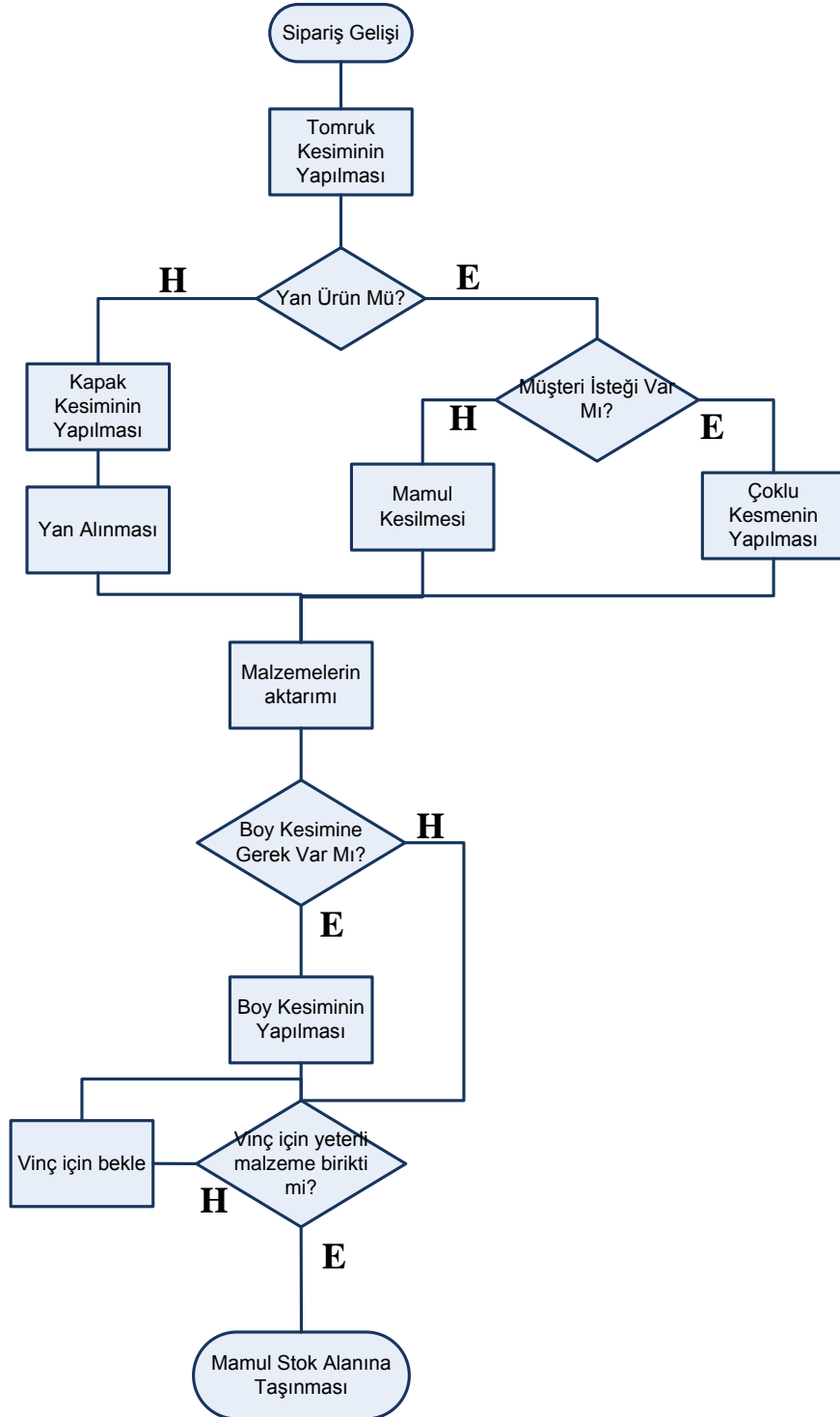
Ağaç ürünleri, canlı (yaş) ürün oldukları için ürünün güneşte ve nemli ortamlarda belirli bir süreden daha fazla depolanabilmelerinin zor olması stoklamayla ilgili en önemli sorundur.

Üretim içi stokların en önemli sebebi ise istasyonlar arası biriktirme ile malzemelerin aktarılmasıdır. Üretimdeki gereksiz beklemler, bazı siparişler için stok olduğu halde yeniden üretilmesi ve sistemdeki malzeme miktarının fazlalığı sorununa neden olmaktadır.

Taşıma ve depolama probleminin çözümü için üretim içerisindeki malzeme akışlarının düzenli hale getirilmesi amacıyla farklı malzeme taşıma alternatifleri değerlendirilmiştir. Oluşturulan simülasyon modelinin akış şeması Şekil 2’de görülmektedir. Buna göre sisteme siparişler, bir teorik istatistiksel dağılıma göre rastgele gelmekte ve ardından sırasıyla üretim süreçlerini tamamlamaktadır. Her bir prosesin ardından belirlenen sayıda malzeme stokta olduğu zaman taşıma vinçleri yardımıyla aktarım yapılmaktadır.

3.2.2. Veri Analizi

Sistemin modellenmesinde ARENA Simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Her bir proses ve gelişler arası sürelerin belirsiz olduğu kabul edilmiş ve



Şekil 2. Simülasyon modelinin akış şeması

teorik istatistiksel dağılımlara uydurulmuştur. Bu amaçla Ki-kare test istatistiği hesaplanmış ve p değeri α düzeyinden (0,05) yüksek olan teorik dağılımların verileri temsil edebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

3.2.3. Çıktı Analizi

Simülasyon çalışmasının sonuçlarının anlamlı olabilmesi için çıktı analizi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla,

- Isınma periyodunun belirlenmesi,
- Replikasyon (koşum) sayısının belirlenmesi,
- Gerçek sistemle validasyonun yapılması,
- Alternatifler arasında en iyisinin seçilmesi için çıktı analizi yapılmıştır.

Bir simülasyon modeli, başlangıç anında hiçbir varlığın bulunmadığı (boş) koşullarda başlar. Başlangıç koşullarının sonuçları etkilememesi için sistemin belirli bir zaman boyunca çalıştırılarak sonuçlardan bu periyodun (ısınma periyodu) atılması gereklidir. Isınma periyodunun belirlenmesinde Welch yöntemi kullanılmıştır [4]. Grafiksiz analiz yöntemi olan bu yöntemde, belirlenen bir w sayısı kadar kayan ortalama alınarak performans ölçütünün simülasyon uzunluğu boyunca grafiği çizilir. Ortalamaların düzgün bir doğrultuda ilerlemeye başladığı nokta ısınma periyodu olarak ele alınır. Bu çalışmada, performans ölçütü olarak ortalama sistemde kalma süresi alınmıştır.

Replikasyon sayısının belirlenmesinde bağıl hataya bağlı sabit örnek büyüklüğü yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde ilk başta n replikasyon alınır. Sonrasında n replikasyon için ortalama ve varyans hesaplanır ve i adet replikasyonun uygunluğu Eşitlik 1'deki gibi değerlendirilir [4].

$\bar{X}(n)$ =n replikasyon ortalaması

S^2 =n replikasyon varyansı

$t_{i,1-\alpha/2}$ =t dağılım değeri (i serbestlik dereceli, alfa güven düzeyine sahip)

γ =hata oranı

γ^l =bağıl hata ($\gamma/(1 + \gamma)$)

$$n_i^*(\gamma) = \left\{ i \geq n : \frac{t_{i,1-\alpha/2} \sqrt{S^2/i}}{|\bar{X}(n)|} \leq \gamma^l \right\} \quad (1)$$

Gerçek sistemle simülasyon sonuçlarının validasyonu için iki örneklemin aynı dağılımdan olup olmadığını ölçmek içinse Mann Whitney U testi kullanılmıştır.

3.2.4. Alternatif Sistemlerin Modellenmesi

Mevcut sistemde vinçlerle malzemelerin bekletilmesiyle taşımalar gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmanın ana amacı incelenen üretim sistemindeki malzeme taşıma sisteminin iyileştirilmesidir. Bu amaçla, konveyör sistemi alternatif sistem olarak önerilmiştir. Mevcut durumda vinçlerle yapılan taşımaların konveyörle yapılacağı durumda taşıma sisteminin nasıl olacağı incelenmiştir.

Konveyör kullanımıyla ilgili olarak iki alternatif değerlendirilmiştir. Öneri 1 olarak yalnızca ayırma alanı öncesi konveyör kullanımı düşünülmüştür. Öneri 2 olarak ise tüm üretim ortamında konveyör kullanımı incelenmiştir. Alternatif simülasyon modellerinin karşılaştırılmasında ise çift-t testi kullanılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Veri Analizi Sonuçları

Çizelge 2'de her bir belirsizlik kaynağına ait verilere uyan teorik istatistiksel dağılımlar ve parametreleri görülmektedir.

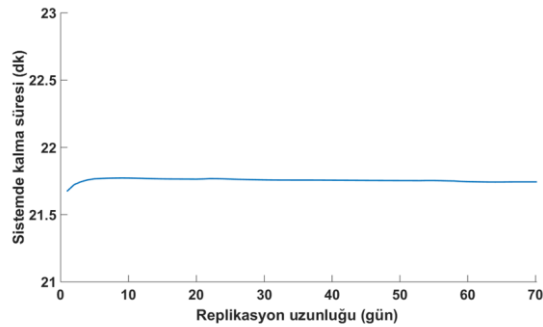
P değeri, istatistiksel bir hipotez testinin net kararının verilmesi için kullanılan bir ölçüttür. Çizelge 2'deki veri analiz sonuçları incelendiğinde, gelişler arası sürenin normal dağılıma, kapak kesme işleminin log-normal dağılıma ve yan alma işleminin normal dağılıma uyduğu görülmektedir ($p > 0,05$). Boy kesme işleminin yapısı gereği çok sık tekrarlanmayan bir iş olması sebebiyle uzman görüşüyle üçgen dağılıma uyduğu varsayılmıştır.

Çizelge 2. Veri analizi sonuçları

Veri Kaynağı	Ortalama (sn)	Std. Sapma	Dağılım	P değeri
Gelişler arası süre (sn)	90,5	5,4	Norm (90,5, 5,40)	0,38
Kapak Kesme (sn)	31,94	2,39	Logn (31,94, 2,39)	0,14
Yan Alma (sn)	23,80	2,6	Norm (23,8, 2,6)	0,23
Boy Kesme (sn)	TRIA(30,35,40)			

4.2. Çıktı Analizi Sonuçları

Isınma periyodunun belirlenmesinde $w=20$ için elde edilen sonuçlar Şekil 3'te sunulmuştur. Isınma periyodu bulguları incelendiğinde sistemin çok hızlı toparlandığı ve 10 gün sonra verilerin daha düzenli hareket ettiği görülmektedir. Bu nedenle ısınma periyodu 10 gün olarak seçilmiştir.



Şekil 3. Isınma periyodu sonuçları

Replikasyon sayısının belirlenmesi için ilk başta 10 replikasyon yapılmış ve 10 replikasyon ortalaması 21,75 dk ve varyans 1,1 dk olarak hesaplanmıştır. 30 replikasyon için ve $\gamma = 0,1$ için (1) formülü hesaplandığında $0,01 < 0,09$ olduğundan 30 replikasyon yeterli görülmüştür.

Simülasyon sonuçlarının gerçek sistemi yansıtmadığını ölçmek için validasyon yapılmıştır. Bu amaçla gerçek sistemden alınan gözlemlerle simülasyon sonuçları Mann Whitney U testi ile kıyaslanmış ve p değeri 0,5011 olarak hesaplanmıştır. Buna göre, gerçek sistemle

simülasyon sonuçlarının aynı dağılımdan geldiği sonucuna ulaşılır ($p > \alpha = 0,05$ olduğundan). Bunun sonucu olarak önerilen simülasyon modelinin gerçek sistemi yansıttığı söylenebilir.

4.3. Simülasyon Sonuçları

Çıktı analizi sonucunda çalışma koşullarına karar verilen simülasyon modeli bir yıllık süre için çalıştırılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre sistemde kalma süresi ortalaması 21,77 dakika olarak gerçekleşmiştir.

Sistemdeki kuyruklar incelendiğinde en çok bekleme vincin gelişinde olmaktadır. Sistemde, ortalama olarak 18 dk vincin aktarım yapması için beklemektedir. Bu durum sistemde kalma süresinin büyük çoğunluğunda vinç beklendiğini göstermektedir.

Kaynakların kullanım oranları incelendiğinde ise en çok kullanımın makinenin 0,53 ile yan alma makinesi olduğu görülmektedir. Sonrasında 0,34 ile boy kesme makinesi ve 0,1 ile kapak kesme makinesi gelmektedir.

Tüm bu veriler incelendiğinde mevcut durumdaki sistemde geçen sürenin büyük bir bölümünün taşımalar nedeniyle oluştuğu görülmektedir.

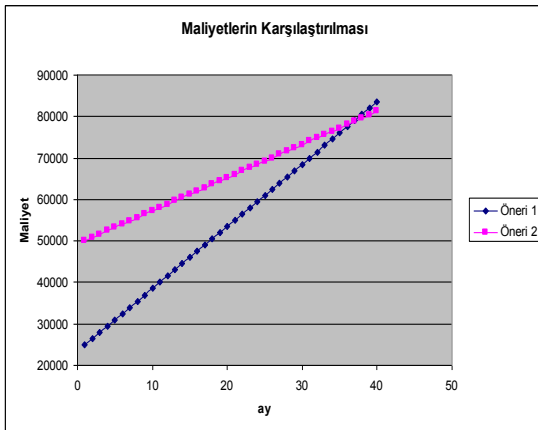
4.4. Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Mevcut sistemle alternatif sistemlerin kıyaslanması için kullanılan çift t-testi sonuçları Çizelge 3'te görülmektedir. Buna göre, hesaplanan aralık sonuçlarının hiç biri 0 değerini içermemektedir. Aralıkların 0 değerini içermemesi karşılaştırılan sistemler arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Ortalamalar arası farklar incelendiğinde mevcut sistemin her iki sisteme göre oldukça farklı olduğu görülmektedir. Sistemde kalma süresinin en küçüklenmesi istendiğinden en kötü sistem mevcut sistem olmaktadır. Alternatifler incelendiğinde ise Öneri 2 alternatifinin ortalama 0,64 dk daha kısa sürdüğü görülmektedir. Bu sonuçlar incelendiğinde en iyi sistemin tüm sistemde konveyör kullanımı (Öneri 2) olduğu görülmektedir.

Çizelge 3. Kıyaslama sonuçları

i-j	$\bar{X}_i - \bar{X}_j$	Orta Genişlik	Aralık	
Mevcut Sistem - Öneri 1	18,0553	0,0188	18,0364	18,0741
Mevcut Sistem - Öneri 2	18,7031	0,0068	18,6963	18,7098
Öneri 1- Öneri 2	0,6478	0,0183	0,6295	0,6661

Tüm sistemde konveyör kullanımı istatistiksel olarak anlamlı olsa da yatırım maliyetleri açısından anlamlı olmayabilir. Bu nedenle her iki alternatifin yatırım maliyetleri incelenmiş ve Şekil 4'te sunulmuştur. Her iki sistemin çalıştırılması için gerekli sabit (satın alma) ve değişken maliyetler (işletim ve işgücü) incelendiğinde 36 aydan uzun süreli bir yatırım düşünüldüğünde tüm sistemde konveyörlerin kullanımı (Öneri 2) mantıklı bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır.

**Şekil 4.** Alternatif sistemlerin maliyetlerinin karşılaştırılması

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Malzeme taşıma sistemleri üretimin sürecinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, malzeme taşıma sistemlerinin seçiminin üretimdeki beklentiler üzerine etkisi irdelenmiştir. Bu amaçla, ağaç işleri sektöründe faaliyet gösteren bir firmada alternatif taşıma sistemleri için simülasyon çalışması yapılmıştır.

Mevcut sistem için iki yeni alternatif sistem düşünülmüş ve modellenmiştir. Modelleme sonuçlarına göre her iki alternatifte mevcut duruma göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Alternatifler arasında seçim yapabilmek için maliyetler incelenmiş ve buna göre 2. alternatifin (Öneri 2) seçilmesinin firma için uzun dönemde maliyet avantajı sağlayacağı görülmüştür.

Sonuç olarak büyük hacim ve ağırlıktaki ürünlerin bulunduğu bir sektör olan ağaç işleri sektöründe konveyör gibi taşıma alternatifinin üretimdeki beklentileri azaltacağı ve sürekli akışı sağlayacağı görülmüştür.

Önerilen yaklaşımın benzer ürün tipleri üreten firmalarda da kullanılabilmesi ve farklı taşıma alternatiflerinin de değerlendirilmesi mümkündür.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, “Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi 30. Yıl Bitirme Ödevi Proje Yarışması” kapsamında 1.lik ödülüne layık görülmüştür. Yazarlar tüm seçici jüriye teşekkür ederler.

7. KAYNAKLAR

1. Industry, M.H., 2016 [27.12.2016]; Available from: <http://www.mhi.org/about>.
2. Ray, S., *Introduction to Materials Handling*. 2008: New Age International (P) Ltd. .
3. Industry, M.H., 2016. The 2016 MHI Annual Industry Report: Accelerating change: How innovation is driving digital, always-on supply chains.
4. Law, A.M., 2007. *Simulation Modeling & Analysis*. Fourth Edition ed. New York: McGraw-Hill.
5. Banks, J., 2005. *Discrete-Event System Simulation*. Fourth Edition ed. Pearson/Prentice Hall.
6. Phillips, D.T., 1980. Simulation of Material Handling Systems-When and Which Methodology. *Industrial Engineering*, 12(9): p. 64-&.

7. Diaz, I., Lezman, S. 1988. Material Handling Simulation - Minimizing Bottlenecks and Improving Product Flow using Lotus 1-2-3. *Industrial Engineering*, 20(6): p. 40-46.
8. Foote Bobbie L., Ravindran, A., Adedeji, B., Badiru Lawrence M., Leemis Larry, Williams, M., 1988. Facilities and Material Handling Systems Series. 2. Simulation and Network Analysis Pay off in Conveyor System-Design. *Industrial Engineering*, 20(6), p. 48-53.
9. Lueck, G.A., 1988. Computer-Simulation of a Material-Handling and Storage-System. *Tappi Journal*, 71(7), p. 103-105.
10. Tabibzadeh, K., 1989. Simulation System for Material Handling-System Design. *Computers & Industrial Engineering*, 17, p. 270-273.
11. Banks, J., 1990. The Simulation of Material Handling Systems. *Simulation*, 55(5), p. 261-270.
12. Ülgen, O.M., Upendram, S.S., 1995. The Role of Simulation Design of Material Handling Systems.
13. Wijesundera, D.A., Olomolaiye, P.O., Harris, F.C., 1991. Dynamic Simulation Applied to Materials Handling in High-Rise Construction. *Computers & Structures*, 41(6): p. 1133-1139.
14. Chan, W.H., Lu, M., 2008. Materials Handling System Simulation 'n Precast Viaduct Construction: Modeling, Analysis, and Implementation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(4): p. 300-310.
15. Devise, O., Pierreval, H., 1994. Simulation of the Motion of a Material Handling Mobile Robot in a Flexible Manufacturing System. *Ciss - First Joint Conference of International Simulation Societies Proceedings*, ed. J. Halin, W. Karplus, and R. Rimane. 483-487.
16. Nadoli, G., Pillai, D., 1994. Simulation in Automated Material Handling Systems Design for Semiconductor Manufacturing. 1994 Winter Simulation Conference Proceedings, ed. J.D. Tew, et al. 892-899.
17. Pierce, N.G., Stafford, R., 1994. Modeling and Simulation of Material Handling for Semiconductor Wafer Fabrication. 1994 Winter Simulation Conference Proceedings, ed. J.D. Tew, et al. 900-906.
18. Murray, S., Gerald, T., Mackulak, John W., Fowler, Theron C., Business, W.P., 2000. A Simulation-Based Cost Modeling Methodology for Evaluation of Interbay Material Handling in a Semiconductor Wafer Fab. *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, Vols 1 and 2, ed. J.A. Joines, et al. 1510-1517.
19. Lebedev, A.A., Staples, P. 1998. Simulation of Materials Handling Systems in the Mines: Two Case Studies. *Simulation*, 70(3): p. 183-196.
20. Meng, C., Nageshwaraniyer S.S., Maghsoudi, A., Jun Son, Y., Dessureault, S., 2013. Data-driven Modeling and Simulation Framework for Material Handling Systems in Coal Mines. *Computers & Industrial Engineering*, 64(3): p. 766-779.
21. Nageshwaraniyer, S.S., Son, Y.J., 2013. Dessureault, S. Simulation-based Optimal Planning for Material Handling Networks in Mining. *Simulation-Transactions of the Society for Modeling and Simulation International*, 89(3): p. 330-345.
22. Hao, Q., Shen, W.M., 2008. Implementing a Hybrid Simulation Model for a Kanban-based Material Handling System. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24(5): p. 635-646.
23. Subulan, K., Cakmakci, M., 2012. A Feasibility Study using Simulation-based Optimization and Taguchi Experimental Design Method for Material Handling-transfer System in the Automobile Industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 59(5-8): p. 433-443.

Karbon Lifi/Epoksi Tabakalı Kompozit Malzemelerin Farklı Ortam Şartlarındaki Mod I Kırılma Davranışı

Fatih DARICIK¹, Kerimcan ÇELEBİ^{*1}

¹Adana BTU, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 26.02.2017

Kabul tarihi: 14.03.2017

Öz

Tabakalar arası çatlak ve kırılma, tabakalı kompozit malzemelerde çokça karşılaşılan bir hasar türüdür. Ayrılma modu tabakalar arası kırılmanın en kolay gerçekleştiği ve tabakalar arası kırılma tokluğunun en düşük olduğu kırılma modudur. Bu çalışmada 140°C ile -160°C aralığındaki ortam sıcaklıklarının karbon lifi/epoksi kompozit malzemenin Mod I tabakalar arası kırılma tokluğuna ve kırılma mekaniğine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen bulgularda ortam sıcaklığı 0°C'nin altına düştüğünde tabakalar arası kırılma tokluğu, 23°C ortam sıcaklığındaki kırılma tokluğuna göre azalmıştır. Ancak düşük ortam sıcaklıklarındaki kırılma karakteristiği 23°C sıcaklıktaki kırılma karakteristiğine benzerdir. Yüksek ortam sıcaklıklarında ise matris malzemenin camısı geçiş sıcaklığı çatlak gelişimi için doğal bir limit oluşturmaktadır. Epoksi matrisin camısı geçiş sıcaklığına yakın sıcaklıklarda çatlak ilerlememiştir. Camısı geçiş sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda ise malzemenin kırılma davranışı tamamen değişmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karbon/epoksi, Mod I, Tabakalar arası kırılma, Sıcaklık etkisi

Mode I Interlaminar Fracture Behaviour of Carbon/Epoxy Laminated Composites under Different Temperatures

Abstract

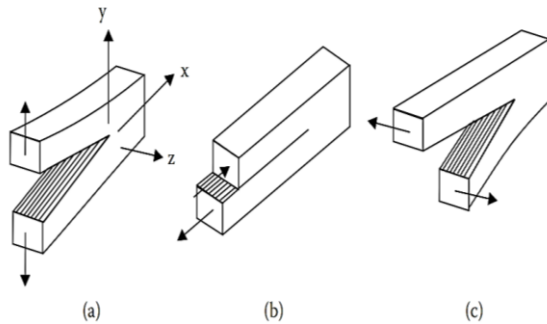
Interlaminar fracture of a laminated composite material is the damage resistance of the material to cracks located at interface. Mode I interlaminar fracture takes place and damages composites more easily than other modes since it is frictionless. In this study, the effect of ambient temperature to mod I interlaminar fracture toughness of carbon/epoxy laminate was studied. It is found out that if the ambient temperature decreases under 0°C, Mod I interlaminar fracture toughness decreases also. However fracture behavior doesn't change and R-curve behaviors of laminates are similar under the 23°C and below. For higher ambient temperatures than 23°C, it is concluded that glass transition temperature (T_g) of epoxy matrix is key parameter and the crack doesn't propagate if the temperature is close to T_g . Fracture characteristics of the laminate are so different under the temperatures higher than T_g .

Keywords: Carbon/epoksi, Mode I, Interlaminar fracture toughness, Effect of temperature

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Kerimcan ÇELEBİ, kcancelebi@adanabtu.edu.tr

1. GİRİŞ

Tabakalar arası ayrılma, delaminasyon hasarı, tabakalı kompozit malzemelerin servis ömürlerini kısıtlayan en önemli hasar türüdür [1,2]. Delaminasyon hasarının oluşumu ve malzemenin bu hasar ile kırılması, malzemeye etkiyen yüklere göre farklı biçimlerde gelişebilir. Tabakalı kompozit malzemenin maruz kaldığı yüklem türüne göre açılma modu (Mod I), kayma modu (Mod II), yırtılma modu (Mod III) veya bu kırılma modlarının bileşkeleri delaminasyon çatlağının gelişimine neden olabilir (Şekil 1). Malzemenin, tabakalar arası çatlağın başlamasına karşı göstermiş olduğu direnç ise malzeme özelliği kabul edilir ve tabakalar arası kırılma tokluğu olarak adlandırılan bu özellik, kritik şekil değiştirme enerjisi yayılım hızı (G_c) ile ifade edilir [3,4]. *European Structural Integrity Society (ESIS)*, *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, *Japan High Polymer Center (JHPC)* gibi uluslararası standart kuruluşları Mod I, Mod II ve karışık mod (Mod I&II) yüklemeleri altında tabakalar arası kırılma tokluğunu ölçmek için test metotları oluşturmuştur [5-9]. Son yıllarda ise ESIS ve ASTM yorulma yükü altında Mod I tabakalar arası kırılma tokluğu (G_{Ic}) testleri için standart test metodu geliştirme çalışmaları yapmaktadır [2,10]. Tabakalar arası kırılma 1980'lerin ortasından bugüne birçok araştırmacının ilgisini çekmiş ve bu kırılma türünün mekaniği literatürde birçok açıdan irdelenmiştir.



Şekil 1. Kırılma modları; (a) Mod I, ayrılma kırılması (b) Mod II, kesme kırılması (c) Mod III, yırtılma kırılması [1]

2. TABAKALAR ARASI KIRILMA İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Mod I yüklemesi altında tabakalar arası kırılma testleri çift konsol kiriş numune ile yapılır. Çift konsol kiriş numuneler test öncesinde ön çatlak içerecek şekilde üretilir. Tabakalar arası kırılma matris bakımından zengin bölgelerde başlar ve çatlak ilerlerken takviye liflere yapışan matris malzeme, liflerin tiftiklenmesine neden olur. Takviye liflerden sıyrılan bu mikro lifler kırılma yüzeyleri arasında köprü oluşturur [3]. Çatlaktan hemen sonra oluşan lif köprüsü delaminasyon gelişimine karşı gösterilen direnci ve şekil değiştirme enerjisi yayılım hızını (G_I) artırmaktadır [3]. Delaminasyon çatlağı gelişirken lif köprüleri oluşmaz ise tabakalar arası kırılma tokluğu sabit bir değere sahiptir [12]. Delaminasyon çatlağını takiben lif köprüleri oluşur ise çatlak ilerledikçe G_I değeri önce artmakta sonra sabit bir değere yaklaşmaktadır. Bu karakteristik davranış R-eğrisi davranışı olarak adlandırılır ve açılı katlı kompozit malzemelerin $0^\circ//0^\circ$ ara yüzünde oluşan lif köprüleri tek yönlü lif takviyeli veya çapraz katlı lif takviyeli tabakalı kompozit malzemelerde oluşan lif köprülerine göre daha yoğundur [13].

Takviye lif açısının G_{Ic} değeri üzerine etkisini çalışmış araştırmacılar, aralarında delaminasyon içeren ardışık iki tabakanın takviye lif yerleşim açısı ile çatlak ilerleme yönü arasındaki açısal fark arttıkça G_{Ic} değerinin arttığını belirtmişlerdir [14,15]. Açılı katlı tabakalı kompozit malzemelerde malzeme salt Mod I veya Mod II yüklemesine maruz kalsa da eğilme-burulma ve burulma-burulma kuvvet çiftlerinin etkisi ile çatlak ucunda hem Mod I hem de Mod II kırılması eş zamanlı olarak ortaya çıkmaktadır [16]. Açılı katlı tabakalı kompozit malzemelerde lif yerleşim açılarının neden olduğu *anticlastic* eğilme veya asimetrik eğilme ile çatlak ucunun çarpılmasına neden olan karışık mod yüklemeleri nümerik metotlar ile de incelenmiştir [17-23].

Yük uygulama hızı deneysel olarak ölçülen G_{Ic} değerini etkileyen diğer bir faktördür. Mod I yüklemesi altındaki çift konsol kiriş numuneye

etkiyen yük uygulama hızı arttıkça ölçülen G_c değeri düşmektedir. Bu nedenle standart test metodlarında tavsiye edilen yük uygulama hızı değeri 1-5 mm/dak ile sınırlandırılmıştır [24-28].

Frassine ve Pavan [29] ve Frassine ve arkadaşları [30] farklı ortam sıcaklıklarının (-50°C, 23°C, 75°C, 130°C ve 170°C) ve yük uygulama hızının politermid/karbon lifi ve PEEK/karbon lifi tabakalı kompozit malzemenin Mod I kırılma tokluğu üzerindeki viskoelastik etkilerini araştırmışlardır. Cowley ve Beaumont [31], tek yönlü ve çapraz katlı lif takviyeli tabakalı kompozit malzemenin yüksek sıcaklıklarda Mod I ve Mod II yükleri altında tabakalar arası kırılma tokluğunu araştırmışlardır. Araştırmacılar taramalı elektron mikroskobu ile termoset ve termoplastik matrikslerin kırılma yüzeylerini inceleyerek sıcaklığın tabakalar arası kırılma mekanizmasına etkisini açıklamaya çalışmışlardır. Kim ve arkadaşları [32] tek yönlü lif takviyeli ve açılı katlı lif takviyeli karbon lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemelerin düşük ve yüksek sıcaklıklarda Mod I tabakalar arası kırılma tokluğu değerlerini araştırmışlardır. Yapılan çalışmalarda tek yönlü lif takviyeli tabakalı kompozit malzemenin kırılma tokluğunun hem delaminasyon başlangıcı hem de delaminasyon gelişimi için ortam sıcaklığına bağlı olmadığı ancak açılı katlı kompozit malzemenin kırılma tokluğunun ortam sıcaklığına bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir. Yukarıda özeti verilen çalışmalarda, tabakalar arası kırılma tokluğunun (G_{Ic}) kompozit malzemeler için malzeme özelliği olarak kabul edildiği ve bu malzeme özelliğine etki eden değişkenler hakkında birçok çalışma yapıldığı görülmüştür. Literatürdeki ortam sıcaklığının tabakalar arası kırılma tokluğu üzerine etkisini araştıran çalışmalar ise hem sayıca azdır hem de bu çalışmalarda ortam sıcaklığı dar bir aralıkta tutulmuştur. Tabakalı kompozit malzemeler kullanım yerlerine göre çok düşük sıcaklıklar ve yüksek sıcaklıklar altında çalışmaktadır. Tabakalı kompozit malzemeler havacılık uygulamalarında ortalama -50°C ortam sıcaklığında, uzay uygulamalarında ise kriyojenik sıcaklıklarda kullanılmaktadır. Ayrıca epoksinin camsı geçiş sıcaklığı üzerinde ki sıcaklıklar sıklıkla görülmekte ve tabakalı kompozit malzemeler bu sıcaklıklarda kullanılmaktadır.

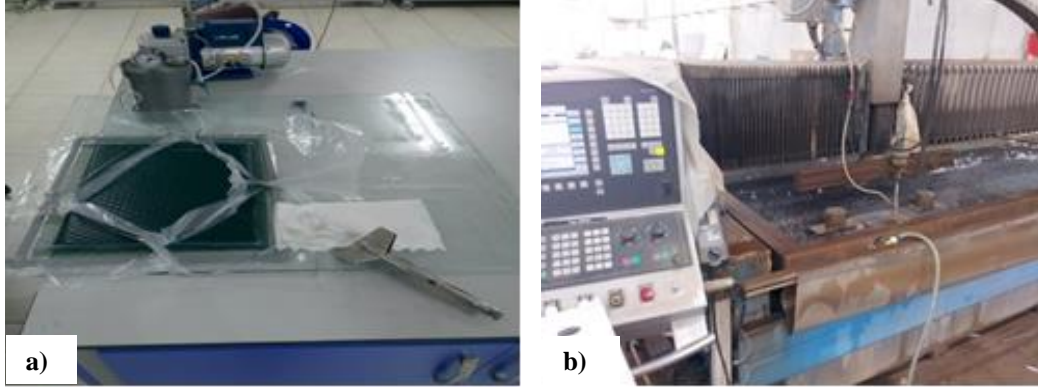
Örneğin ses hızına ulaşılan uygulamalarda hava direnci ile oluşan sürtünme, malzemelerin yüzey sıcaklığını 200°C'nin üzerine çıkarabilmektedir. Diğer taraftan tabakalar arası kırılma tokluğu değeri, kompozit malzeme bileşenlerinden daha çok matris malzemeye bağlı bir özelliktir. Bu çalışmada kullanılan malzeme bileşenlerinden epoksi matris malzeme, karbon lifine göre ortam sıcaklığından daha fazla etkilenmektedir. Bu nedenle bu çalışmada tek yönlü karbon lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemenin Mod I tabakalar arası kırılma tokluğu ve delaminasyon gelişimi, kriyojenik ortam sıcaklıklarını ve epoksinin camsı geçiş sıcaklığı üzerindeki ortam sıcaklıklarını da kapsayan geniş bir aralıkta (-160°C ile +140°C) araştırılmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada öncelikle Çizelge 1'de özellikleri verilen 300 gr/m² ağırlığa sahip tek yönlü karbon lifi kumaş ve Diglisidil Bisfenol A (DGBA) epoksi reçine kullanılarak karbon lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemenin üretimi yapılmıştır. Üretim için vakum torbalama tekniği kullanılmıştır (Şekil 2.a). Üretilen tabakalı kompozit malzemeler 24 saat oda sıcaklığında ve sonrasında 50°C etüv içerisinde kurutularak malzemenin tam mukavemetini kazanması sağlanmıştır. Elde edilen levhalardan CNC su jeti yardımıyla numuneler kesilmiştir (Şekil 2.b). Elde edilen karbon lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemenin mekanik özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri

Malzemeler	Karbon Lif	Epoksi
Çekme Dayanımı (MPa)	4900	70-80
Elastisite Modülü (GPa)	240	3,2-3,5
Yoğunluk (g/cm ³)	1,79	1,13-1,17
Çap (µm)	7	-

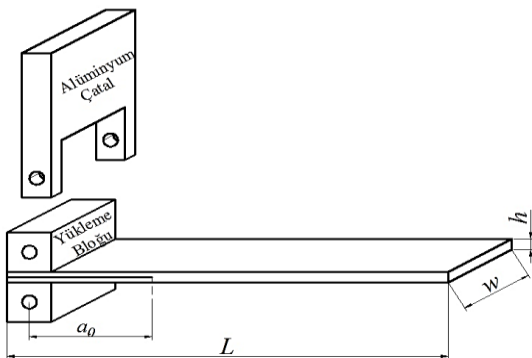


Şekil 2. Tabakalı kompozit test numunelerinin üretimi; a) Vakum torbalama tekniği, b) CNC su jeti ile numune kesimi

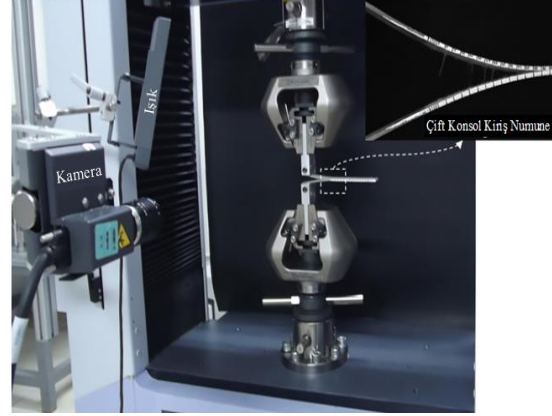
Çizelge 2. Karbon lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri [33]

Malzeme Özelliği	Sembol	Birim	Değer
Yoğunluk	ρ_c	g/cm ³	1,54
Hacimsel Lif Oranı	V_f	%	55
Lif Yönünde Elastik Modül	E_{11}	GPa	137
Lif Yönüne Dik Elastik Modül	E_{22}	GPa	10
Lif Yönünde Poisson Oranı	ν_{12}	-	0,30
Lif Yönüne Dik Poisson Oranı	ν_{21}	-	0,022
Lif Yönünde Çekme Dayanımı	X_t	MPa	1192
Lif Yönüne Dik Çekme Dayanımı	Y_t	MPa	21
Lif Yönünde Esneklik Dayanımı	σ_f^L	MPa	576,507
Lif Yönüne Dik Esneklik Dayanımı	σ_f^T	MPa	39,821
Lif Yönünde Esneklik Modülü	E_B^L	GPa	95,319
Lif Yönüne Dik Esneklik Modülü	E_B^T	GPa	6,539
Lif Yönünde Basma Dayanımı	X_c	MPa	305,28
Lif Yönüne Dik Basma Dayanımı	Y_c	MPa	64,7
Lif Yönünde Basma Modülü	E_{11}^C	MPa	-
Lif Yönüne Dik Basma Modülü	E_{22}^C	MPa	-
Kayma Dayanımı	S_{12}	MPa	59,45
Kayma Modülü	G_{12}	MPa	4705
Open hole Basma Dayanımı	F^{ohcu}	MPa	147

E-cam lifi/epoksi malzemenin Mod I tabakalar arası kırılma özelliklerinin tespiti için yapay delaminasyon içeren ve tek yönlü karbon kumaş dizlimi $[0_{12}]$ olan çift konsol kiriş numuneler kullanılmıştır. Üretimi yapılan çift konsol kiriş numunelerin ölçüleri (150x25x3,4), numune içerisindeki liflerin yerleşimi ve numunelerde bulunması gereken ön çatlaklar *ASTM D5528-01 Test Method for Mode I Interlaminar Fracture Toughness of Unidirectional Fiber-Reinforced Polymer Matrix Composites* test metoduna uygun olarak hazırlanmıştır [2]. Çift konsol kiriş numunelerin üretimi yapılırken orta ara yüze (6. Ara yüz) kalınlığı 12 μm olan PET film tabakası yerleştirilmiştir. Yapay delaminasyon görevi görecektir bu film tabakası, epoksi matrise yapışmaması için kalıp ayırıcı ile kaplanmıştır. Çift konsol kiriş numunesinin şematik görünümü Şekil 3'de verilmiştir. Elde edilen numuneler Shimadzu AGS-X 100 kN üniversal test cihazı ve bu cihazın termostatik kabini kullanılarak farklı ortam sıcaklıklarında 2 mm/dk yük uygulama hızı ile teste tabi tutulmuştur (Şekil 4). Yüksek ortam sıcaklıkları termostatik kabinin elektrikli ısıtma sistemi yardımıyla, düşük ortam sıcaklıkları ise termostatik kabin içerisine sıvı azot verilerek elde edilmiştir (Şekil 5). Bu sayede 0°C, 20°C, 60°C, 100°C, 140°C, ile -40°C, -80°C, -120°C, -160°C ortam sıcaklıklarında testler gerçekleştirilmiştir. 160°C ortam sıcaklığının üzerinde ise çift konsol kiriş numuneler sertliklerini tamamen kaybettikleri ve sahip oldukları formu koruyamadıkları için gerçekleştirilememiştir.



Şekil 3. Çift konsol kiriş numune



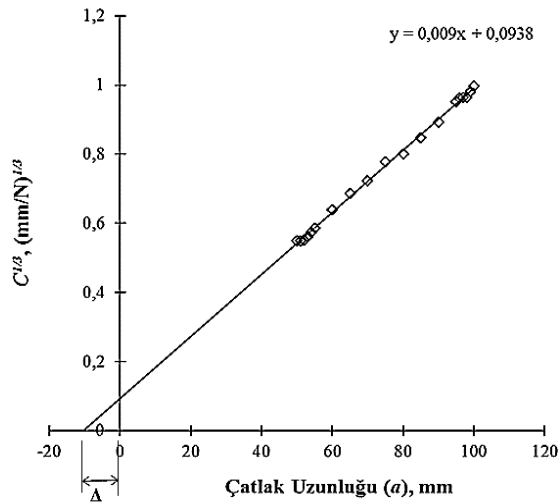
Şekil 4. Mod I kırılma testi



Şekil 5. Farklı ortam sıcaklıklarında yapılan mod I kırılma testleri

Kabin içerisinde ve ortam sıcaklığında yapılacak testler yüksek çözünürlüklü kamera ile 15 kat büyütülerek takip edilmiştir (Şekil 5). Bu sayede hem G_{Ic} değerlerini hesaplamamızı sağlayacak kritik yük (P_{cr}) ve yük uygulama noktaları arası açıklık (δ_{cr}) değerleri hem de şekil değiştirme enerjisi yayılım hızını (G_I) hesaplamamızı sağlayacak P ve δ değerleri belirlenmiştir. Çatlak boyu (a) da yine yüksek çözünürlüklü kamera ile takip edilmiştir. Bu sayede hem ortam sıcaklığında hem kabin içerisinde yapılan testler için hesaplamalar yapılabilmektedir. Kabin içerisinde gerçekleştirilen düşük sıcaklık içerisindeki testlerde kabin camında görüşü engelleyecek buğulanma oluşmamış ve tüm testler esnasında çatlak gelişimi kolaylıkla takip edilebilmiştir. Karbon lifi epoksi kompozit malzeme için Mod I tabakalar arası kırılma tokluğu ve şekil değiştirme enerjisi yayılım hızı *ASTM D 5528-01* metodunda

belirtilen Değiştirilmiş Kiriş Teorisi (*Modified Beam Theory - MBT*) kullanılarak hesaplanmıştır (Eşitlik 1). Eşitlik 1’de kullanılan düzeltme faktörü (Δ) çift konsol kiriş numunelerin hazırlanması ve cihaza bağlanması esnasında meydana gelebilecek çarpılmaların veya burulmaların etkisini gidermek için kullanılır. Δ düzeltme faktörünün belirlenmesi ile ilgili görsel Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Değiştirilmiş Kiriş Teorisi'ne göre düzeltme faktörünün bulunması

$$G_I = \frac{3P\delta}{2w(a + |\Delta|)} \quad (1)$$

- G_I : Birim şekil değiştirme enerjisi yayılım hızı, mJ/mm²
 P : Yük, N
 δ : Yük uygulama noktaları arası açıklık, mm
 w : Numune genişliği, mm
 a : Toplam delaminasyon çatlak uzunluğu, mm
 Δ : Düzeltme faktörü
 $C = \delta/P$: Kompliyans, mm/N

4. SONUÇLAR

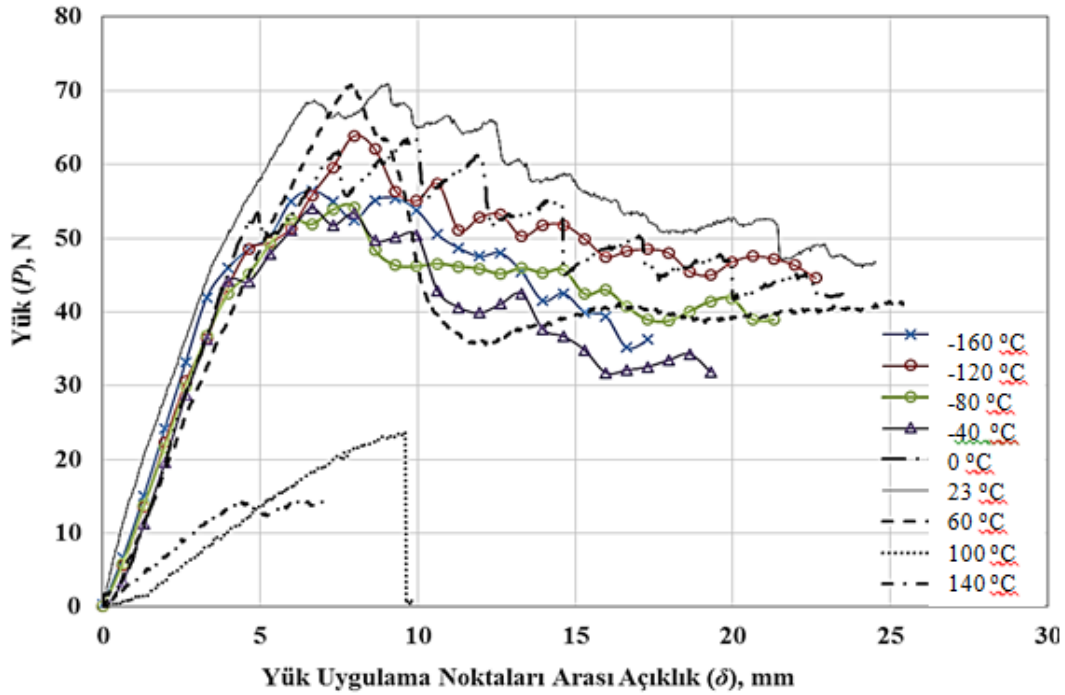
Statik yük altındaki Mod I kırılma testleri 140°C ile -160°C aralığında gerçekleştirmiştir. Test edilen karbon lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemelere

ait P - δ grafikleri Şekil 7’de gösterilmiştir. P - δ grafikleri incelendiğinde -160°C ve 60°C aralığında delaminasyon çatlak başlanana kadar malzemenin kompliyansının belirgin olarak değişmediği görülmüştür. Ancak 100°C ve 140°C ortam sıcaklıklarında epoksi malzemenin camsı geçiş sıcaklığı üzerine çıktığı ve malzeme rijitliğini kaybettiği için malzemenin kompliyansında gözle görülür değişim meydana geldiği görülmüştür. 60°C ortam sıcaklığı malzemenin farklı davranış göstermeye başladığı kritik sıcaklık değeri olarak ortaya çıkmıştır. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan Hexion MGS L160 epoksi reçine için camsı geçiş sıcaklığının 65°C–70°C aralığında olduğu düşünüldüğünde malzemenin bu ortam sıcaklıklarında mekanik davranışını değiştirmesi beklenen bir sonuçtur. Bu sıcaklık değerinde malzeme tam olarak rijitliğini kaybetmemiştir ancak çift konsol kiriş numunenin kolları yüksek esneklik kazanmıştır. Bu sayede δ_{cr} değeri ve P_{cr} değeri oldukça yükselmiş ve bu sayede tabakalar arası kırılma tokluğu da yükselmiştir. 60°C ortam sıcaklığında tespit edilen G_{Ic} değeri ortam sıcaklığındaki G_{Ic} değerine göre %58,81 daha yüksektir. Tüm sıcaklık değerleri için karbon lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemenin δ_{cr} , P_{cr} , G_{Ic} ve C değerleri Çizelge 3’te verilmiştir. 100°C ve 140°C ortam sıcaklıklarında yapılan testlerde ise epoksi matrisin rijitliğini kaybetmesi ile çift konsol kiriş numune kolları mukavemetini kaybetmiş ve esneklikleri oldukça artmıştır. Sonuç olarak 100°C ve 140°C ortam sıcaklıklarında numune kollarının yer değişimi için gerekli kuvvet değeri de düşmüş ve kompliyans değerleri artmıştır.

60°C ve 100°C ortam sıcaklığında yapılan birçok testte delaminasyon çatlak sadece 1–5 mm aralığında ilerlemiştir. Numune kollarına kuvvet uygulanmaya devam edildiğinde ise numune üst kolu çatlak kökünden kırılmıştır (Şekil 8). Bu durum özellikle malzemenin direncini tam olarak kaybetmediği ancak yumuşamaya başladığı 60°C ortam sıcaklığında çokça oluşmuştur. Bu durumun yine epoksi malzemenin camsı geçiş sıcaklığı ile ilgili olduğu değerlendirilmiştir. Ayrıca 100°C ve 140°C ortam sıcaklıklarında çift konsol kiriş

numune kollarının ayrılmaya karşı göstermiş olduğu direnç oldukça düşük iken yük uygulama noktaları arası açıklık oldukça fazladır. 100°C ortam sıcaklığında tespit edilen G_{Ic} değeri ortam

sıcaklığındaki G_{Ic} değerine göre %22, 140°C ortam sıcaklığında tespit edilen G_{Ic} değeri ise ortam sıcaklığındaki G_{Ic} değerine göre %78 daha düşüktür.



Şekil 7. Çok yüksek ve çok düşük ortam sıcaklıklarında elde edilen P - δ grafikleri

Çizelge 3. Farklı ortam sıcaklıklarında elde edilen kritik değerler

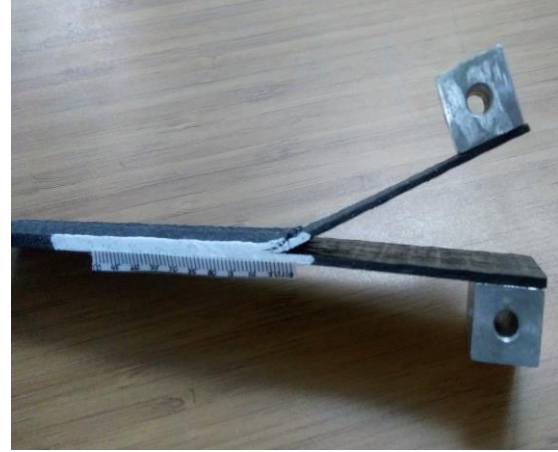
Ortam Sıcaklığı (°C)	δ_{cr} (mm)	P_{cr} (N)	C , (mm/N)	G_{Ic} (mJ/mm ²)
-160	1,7	20,20	0,08415	0,0368
-120	2,20	26,00	0,0847	0,0562
-80	2,31	26,93	0,0859	0,0632
-40	3,26	42,93	0,076	0,1458
0	4,46	46,81	0,0953	0,2648
23	4,20	46,62	0,09	0,2093
60	7,73	65,60	0,1178	0,3282
100	9,17	26,92	0,3405	0,1626
140	3,87	11,65	0,332	0,04496

Düşük ortam sıcaklıklarında (0°C ila -160°C aralığı) yapılan kırılma testlerinde herhangi bir olumsuzluk görülmemiş ve numune boyunca çatlak takibi kolaylıkla yapılmıştır. Düşük ortam sıcaklıklarında elde edilen P - δ grafiklerinin karakteristiği, malzemenin 23°C ortam sıcaklığında göstermiş olduğu P - δ karakteristiği ile oldukça benzerdir. Ancak -80°C ortam sıcaklıklarından itibaren çift konsol kiriş numunenin ayrılan kollarının yer değiştirmeye karşı göstermiş olduğu reaksiyon kuvvetinde azalma görülmüş ve dolayısıyla kırılma tokluğu değerinde düşüş gözlenmiştir. Sıcaklığın düşmesi ve kriyojenik sıcaklara ulaşması ile P_{cr} değerinde ve hatta δ_{cr} değerinde oluşan bu düşüş, G_{Ic} değerinin 23°C ortam sıcaklığında elde edilen G_{Ic} değerine göre %80'lere varan azalmaya neden olmuştur (Şekil 9). Tüm testler incelendiğinde ise karbon lifi/epoksi tabakalı kompozit malzeme

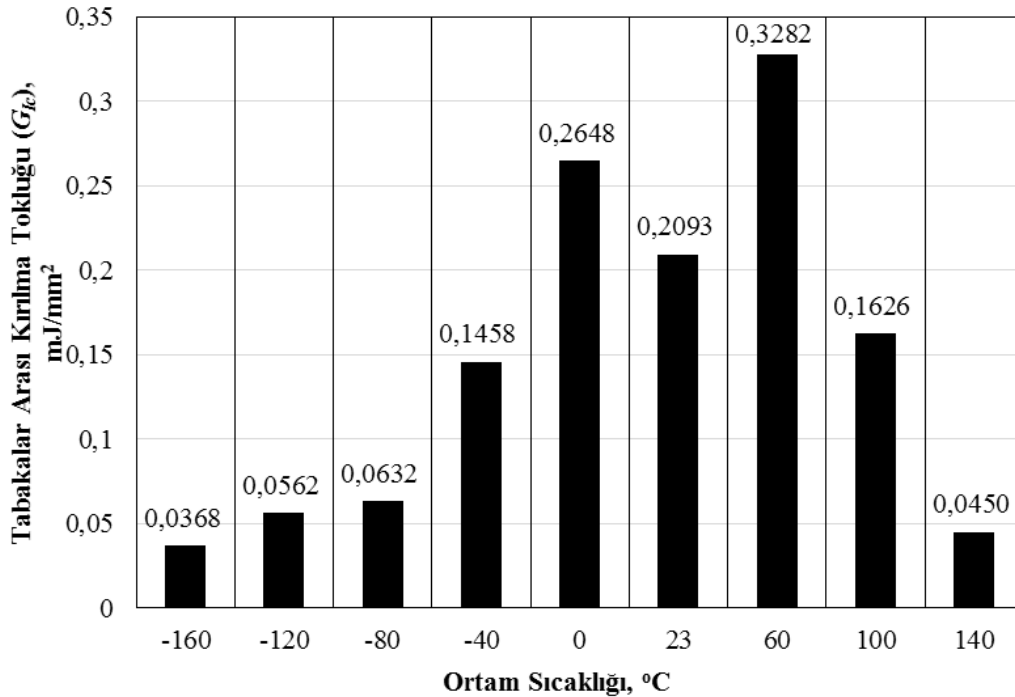
60°C ortam sıcaklığında maksimum kırılma tokluğunu (G_{Ic}) elde etmiştir. Hatta 60°C ortam sıcaklığında delaminasyon çatlak gelişmemiş çatlak kökünde oluşan gerilmeler karbon lifi/epoksi tabakalara dik yönde (*intralaminar*) kırılmaya neden olmuştur (Şekil 8). Delaminasyon çatlaklarının geliştiği ortam sıcaklıklarında ise en yüksek G_{Ic} değeri 0°C’de elde edilmiştir.

-160°C ila 140°C aralığındaki ortam sıcaklıklarında elde edilen birim şekil değiştirme enerjisi yayılım hızlarını gösteren R eğrileri Şekil 10’da verilmiştir. 60°C ve 100°C ortam sıcaklıklarında çatlak başlangıcından sonra çatlak ilerlemediği için R-eğrileri elde edilememiştir. R eğrileri incelendiğinde 23°C ve altındaki ortam sıcaklıklarında çatlak başlangıcından sonra G_I değerinin arttığı görülmüştür. Sonrasında G_I değeri sabit bir değere yaklaşmıştır. G_I değerinin bu şekilde artması ayrılan yüzeyler arasındaki lif köprülerinin sonucudur. 23°C ve altındaki ortam sıcaklıklarında bu etki belirgin olarak ortaya çıkmıştır. Düşük sıcaklık değerlerinde epoksi malzemenin kırılabilirliğinin artmasıyla çatlak

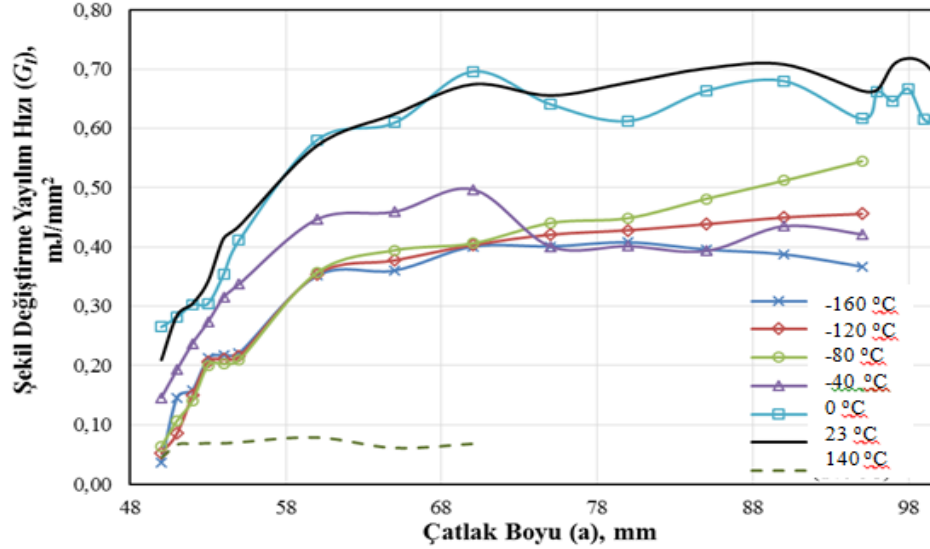
gelişimi daha kararlı hale gelmiş ve enerji yayılım hızı sabit değere daha çok yaklaşmıştır. 140°C ortam sıcaklığında ise sıcaklığın etkisi ile matris malzeme ile takviye lif arasındaki adhezyon ortadan kalkmış ve lif köprüleri oluşmamıştır.



Şekil 8. 60°C ve üzeri ortam sıcaklıklarında çatlak kökünden kırılan numune örneği



Şekil 9. Çok yüksek ve çok düşük ortam sıcaklıklarında elde edilen G_{Ic} grafikleri



Şekil 10. Çok yüksek ve çok düşük ortam sıcaklıklarında elde edilen R-egrileri

5. BULGULAR

Karbon lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemenin çok yüksek ve çok düşük ortam sıcaklıklarındaki Mod I kırılma mekanığı üzerine yapılan bu çalışma sonucunda;

- Vakum torbalama tekniği ile üretilen karbon lifi epoksi tabakalı kompozit malzemenin statik yük altında Mod I tabakalar arası kırılma tokluğunun (G_{Ic}) $0,2093 \text{ mJ/mm}^2$ olduğu,
- Yüksek sıcaklıklarda kompozit malzeme bileşenlerinden epoksi matrisin camsı geçiş sıcaklığının ($T_g=65^\circ\text{C}-70^\circ\text{C}$) bir limit oluşturduğu ve 60°C ortam sıcaklığında malzemenin tabakalar arası kırılma tokluğunun maksimum olduğu,
- Camsı geçiş sıcaklığının üzerinde ki ortam sıcaklıklarında (80°C , 100°C ve 140°C) ise tabakalı kompozit malzemenin rijitliğini kaybederek ayrılma yüküne direnç gösteremediği ve ortam sıcaklığı yükseldikçe kırılma tokluğunun düştüğü,
- 0°C ortam sıcaklığındaki G_{Ic} değerinin 23°C 'de tespit edilen G_{Ic} değerinden yüksek olduğu,

- Ortam sıcaklığı düştükçe ve kriyojenik sıcaklık değerlerine yaklaştıkça tabakalı kompozit malzemenin kırılma tokluğunun arttığı ve G_{Ic} değerinin düştüğü,
- Orta sıcaklığının kriyojenik sıcaklık değerlerine yaklaşması ile çatlak gelişiminin daha kararlı hale geldiği, bulgularına ulaşılmıştır.

Sonuç olarak vakum torbalama tekniği ile üretilen tek yönlü lif takviyeli karbon lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemenin, Mod I tabakalar arası kırılma tokluğu (G_{Ic}) malzemenin bulunduğu ortam sıcaklığına son derece bağlıdır. Bu sonuç farklı ortam sıcaklıklarındaki tabakalar arası kırılma tokluğunun, karbon lifinin mekanik özelliklerinden ziyade kompozit malzeme bileşenlerinden matris malzemenin termo-mekanik özelliklerine bağlı olduğunu göstermektedir.

6. TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmaya finansal destek sağlayan Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimine (Proje No: 16103006) teşekkür eder.

7. KAYNAKLAR

1. Argüelles, A., Vina, J., Canteli, A. F., Castrillo, M. A., Bonhomme, J., 2008. Interlaminar Crack Initiation and Growth Rate in a Carbon-Fibre Epoxy Composite under Mode-I Fatigue Loading. *Composites Science and Technology*, 68, 2325-2331.
2. Brunner, A. J., Murphy, N., Pinter, G., 2009. Development of a Standardized Procedure for the Characterization of Interlaminar Delamination Propagation in Advanced Composites under Fatigue Mode I Loading Conditions. *Engineering Fracture Mechanics*(76), 2678-2689.
3. O'Brien, T. K., 1998. Interlaminar Fracture Toughness: The Long and Winding Road to Standardization. *Composites Part B*, 29(1), 57-62.
4. Kenane, M., Azari, Z., Benmedakhene, S., Benzeggagh, M. L., 2011. Experimental Development of Fatigue Delamination Threshold Criterion. *Composites Part B: Engineering*, 42, 367-375.
5. Hojo, M., Kageyama, K., Tanaka, K., 1995. Prestandardization Study on Mode I Interlaminar Fracture Toughness Test for CFRP in Japan. *Composites*, 26, 243-255.
6. Davies, P., Blackman, B. K., Brunner, A. J., 1998. Standard Test Methods for Delamination Resistance of Composite Materials: Current Status. *Applied Composite Materials*, (5), 345-364.
7. JIS Standard K 7086, Testing Methods for Interlaminar Fracture Toughness of Carbon Fiber Reinforced Plastics, 1993.
8. ISO International Standard 15024, Fiber-reinforced Plastic Composites - Determination of Mode I Interlaminar Fracture Toughness, G_{Ic} , Unidirectionally Reinforced Materials, 2001.
9. ASTM D5528-13, 2013. Standard Test Method for Mode I Interlaminar Fracture Toughness of Unidirectional Continuous Fiber Reinforced Polymer Matrix Composites.
10. Stelzer, S., Brunner, A. J., Argüelles, A., Murphy, N., Pinter, G., 2012. Mode I Delamination Fatigue Crack Growth in Unidirectional Fiber Reinforced Composites: Development of a Standardized Test Procedure. *Composites Science and Technology* (72), 1102-1107.
11. Carlsson, L. A., Adams, D. F., Pipes, R. B., 2014. *Experimental Characterization of Advanced Composite Materials*. Boca Raton: CRC Press.
12. de Moura, M. S., Campilho, R. S., Amaro, A. M., Reis, P. B., 2010. Interlaminar and Intralaminar Fracture Characterization of Composites Under Mode I Loading. *Composite Structures*, 92, 144-149.
13. Shokrieh, M. M., Heidari-Rarani, M., 2011. Effect of Stacking Sequence on R-curve Behavior of Glass/Epoxy DCB Laminates with 0o//0o Crack Interface. *Materials Science and Engineering A*, 529, 265-269.
14. Chou, I., 1998. Effect of Fiber Orientation and Moisture Absorption on the Interlaminar Fracture Toughness of CFRP Laminates. 7(4), 377-394. *Advanced Composite Materials*.
15. Shetty, M. R., Vijay Kumar, K. R., Sudhir, S., Raghu, P., Madhuranath, A. D., Rao, R. M., 2000. Effect of Fibre Orientation on Mode-I Interlaminar Fracture Toughness of Glass Epoxy Composites. 19(8), 606-620.
16. Mathews, M. J., Swanson, S. R., 2007. Characterization of the Interlaminar Fracture Toughness of a Laminated Carbon/Epoxy Composite. *Composites Science and Technology* (67), 1489-1498.
17. Davidson, B. D., Krüger, R., König, M., 1996. Effect of Stacking Sequence on Energy Release Rate Distributions in Multidirectional DCB and ENF Specimens. *Engineering Fracture Mechanics*, 55(4), 557-569.
18. de Morais, A. B., de Moura, M. F., Marques, A. T., de Castro, P. T., 2002. Mode-I Interlaminar Fracture of Carbon/Epoxy Cross-ply Composites. *Composites Science and Technology*, 62 (5), 679-686.
19. de Morais, A. B., 2004. Analysis of Mode II Interlaminar Fracture of Multidirectional Laminates. (35), 51-57. *Composites: Part A*.
20. Pereira, A. B., de Morais, A. B., 2004. Mode I Interlaminar Fracture of Carbon/epoxy Multidirectional Laminates. *Composites Science and Technology*, 64, 2261-2270.

21. Pereira, A. M., 2004. Mode II Interlaminar Fracture of Glass/epoxy Multidirectional Laminates. (35), 265-272. Composites: Part A.
22. Prombut, P., Michel, L., Lachaud, F., Barrau, J. J., 2006. Delamination of Multidirectional Composite Laminates at 0/Ply Interfaces. Engineering Fracture Mechanics, 73(16), 2427-2442.
23. Sebaey, T. A., Blanco, N., Lopes, C. S., Costa, J., 2011. Numerical Investigation to Prevent Crack Jumping in Double Cantilever Beam Tests of Multidirectional Composite Laminates. Composites Science and Technology, 71(13), 1587-1592.
24. Smiley, A. J., Pipes, R. B., 1987. Rate Effects on Mode I Interlaminar Fracture Toughness in Composite Materials. Journal of Composite Materials, 21(7), 670-687.
25. Mall, S., Law, G. E., Katouzian, M., 1987. Loading Rate Effect on Interlaminar Fracture Toughness of a Thermoplastic Composite. Journal of Composite Materials, 21(6), 569-579.
26. Kusaka, T., Hojo, M., Mai, Y.-W., Kurokawa, T., Nojima, T., Ochiai, S., 1998. Rate Dependence of Mode I Fracture Behaviour in Carbon-Fibre/Epoxy Composite Laminates. Composites Science and Technology (58), 591-602.
27. Hug, G., Thevenet, P., Fitoussi, J., Baptiste, D., 2006. Effect of Loading Rate on Mode I Interlaminar Fracture Toughness of Laminated Composites. Engineering Fracture Mechanics (73), 2456-2462.
28. Zabala, H., Aretxabaleta, L., Castillo, G., Aurrokoetxea, J., 2015. Loading Rate Dependency on Mode I Interlaminar Fracture Toughness of Unidirectional and Woven Carbon Fibre Epoxy Composites. Composite Structures, 121, 75-82.
29. Frassine, R., Pavan, A., 1995. Viscoelastic Effects on the Interlaminar Fracture Behaviour of Thermoplastic Matrix Composites: I. Rate and Temperature Dependence in Unidirectional PEI/Carbon-Fibre Laminates. Composites Science and Technology, 54, 193-200.
30. Frassine, R., Rink, M., Pavan, A., 1996. Viscoelastic Effects on the Interlaminar Fracture Behaviour of Thermoplastic Matrix Composites: II. Rate and Temperature Dependence in Unidirectional PEEK/Carbon-Fibre Laminates. Composites Science and Technology, 1253-1260.
31. Cowley, K. D., Beaumont, P. W., 1997. The Interlaminar and Intralaminar Fracture Toughness of Carbon-Fibre/polymer Composites: The Effect of Temperature. Composite Science and Technology, 57, 1433-1444.
32. Kim, H. S., Wang, W.-X., Takao, Y., 1999. Effects of Temperature and Fiber Orientation on the Mode I Interlaminar Fracture Toughness of Carbon/epoxy Composites. ICCM12 Conference, s. 276-288. Paris.
33. Özarlan, H., Yavuz, H., Darıcık, F., 2016. Elektrikli Araç Uygulamaları için Kompozit Malzeme ile Hafif Şase Tasarımı ve Geliştirilmesi. International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC'16), s. 699-703. Nevşehir.

Veri Madenciliği Uygulamalarının ve Sezgisel Optimizasyon Algoritmalarının Yapım Yönetimindeki Yeri

Mümine KAYA KELEŞ¹, Abdullah Emre KELEŞ^{*2}

¹Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Adana

²Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 20.01.2017

Kabul tarihi: 14.03.2017

Öz

Günümüzde her türlü kaynaktan sayıca fazla verinin elde edilmesi, bu verilerin anlamlı bir şekilde kullanılması ve yönetilmesi sorunu ortaya çıkarmaktadır. Bu sorunun çözümü için; anlamsız veri yığınlarından işe yarar verinin elde edilmesine ve bunların kullanılmasına olanak sağlayan istatistikî yöntemler ve optimizasyon metotları kullanılmaya başlanmıştır. Bu metotlardan en çok kullanılanları da veri madenciliği ve sezgisel algoritmalarıdır. Farklı disiplinlerde sıklıkla kullanılan bu metotlar inşaat sektöründe de yapı, hidroloji, geoteknik, yapım yönetimi, yapı malzemesi, mekanik gibi alanlarda da verilerin analizi için tercih edilmeye başlanmıştır. Bu çalışmada, ülkemizde ve dünyada hızla gelişmekte olan inşaat sektörünün temelini oluşturan yapım yönetimi konusunda veri madenciliği ve sezgisel optimizasyon algoritmaları ile ilgili özellikle son 5 yıldaki literatür çalışmaları araştırılmış ve detaylı bir tablo üzerinde kronolojik olarak gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İnşaat sektörü, Sezgisel algoritmalar, Veri madenciliği, Yapım yönetimi

The Place of Data Mining Applications and Heuristic Optimization Algorithms in Construction Management

Abstract

In today's world, obtaining a lot of data from all kinds of sources reveals the problem of meaningful use and management of this data. Statistical methods and optimization methods are being used to obtain useful data from meaningless data stacks and to use them. The most common of these methods are data mining and heuristic algorithms. These methods, which are frequently used in different disciplines, have also begun to be preferred for the analysis of data in the construction sector in the fields of construction, hydrology, geotechnics, construction management, building materials, mechanics, ... etc. In this study, the literature studies, especially in the last 5 years, related to data mining and heuristic optimization algorithms on construction management which is the basis of rapidly developing construction industry in our country and world were examined and presented in chronological order on a table in detail.

Keywords: Construction sector, Heuristic algorithms, Data mining, Construction management

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Abdullah Emre KELEŞ, aekeles@adanabtu.edu.tr

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler her sektörde son yıllarda büyük bir hızla artmaktadır. İnşaat sektörü de, yapı üretim sürecinde bu gelişmelerin beraberinde getirdiği yeniliklerden en çok etkilenen sektörlerden birisidir. Sayıca çok fazla değişkeni içerisinde bulunduran ve farklı iş birlikteliklerini ortaya çıkaran inşaat üretim süreci, inşaat yapım yönetiminin rastgele davranışlardan ziyade; planlı, sistemli ve uyum içinde çalışılan bir ortam oluşturma ve sürdürme sanatı olması sonucunu doğurmaktadır. Bu sebeple de inşaat yapım sektöründe üretilen verilerin sistemli şekilde depolanıp, ihtiyaca uygun ve etkin kullanımının sağlanabilmesi için bilgi teknolojilerinden faydalanılmasının önemli bir yer tuttuğu özellikle son yıllardaki çalışmalar ışığında ortaya çıkmaktadır.

Veri Madenciliği; araştırılan konu ile alakalı, gözlem ve deneyler sonucunda elde edilen verilerden çok net olmayan ve önceden bilinmeyen ancak kullanışlı ve işe yarar olan bilginin çıkarılması işlemidir. Veri Madenciliği, genellikle veri içindeki gizli örüntüleri ortaya çıkarabilmek amacıyla kullanılmaktadır.

Veri Madenciliğinin uygulama alanlarına bakıldığında bankacılıktan pazarlamaya, eğitimden mühendislik uygulamalarına, inşaat sektöründen finans sektörüne, reklamcılıktan bilgisayar bilimlerine birçok sektörde ihtiyaç duyulan ve araştırılan bilgilere ulaşmak için kullanıldığı görülmektedir.

Sezgisel Algoritmalar, bilgisayar bilimlerinde sezgisel bir yaklaşımın problem çözümüne uygulandığı algoritmalar olup ilgili problemi çözmeye tekniğidir. Sonucun doğruluğunun kanıtlanabilir olması sezgisel optimizasyon algoritmaları için önem arz etmemektedir. Genelde sezgisel optimizasyon algoritmaları ile iyiye yakın çözüm yolları elde edilmektedir. Çünkü bu algoritmalar, büyük boyutlu optimizasyon problemleri için, kabul edilebilir sürede optimuma yakın çözümler verebilen algoritmalarlardır.

Sezgisel Optimizasyon Algoritmalarının kullanılmasının en büyük avantajı; problemin çözüm zamanını azaltmasıdır. Bunu da en iyi çözümü aramaktan vazgeçerek sağlamaktadır. Genetik Algoritma [1,2], Karınca Kolonisi Optimizasyonu [3], Parçacık Sürü (Kuş Sürücü) Optimizasyonu [4], Yapay Arı Kolonisi [5], Benzetimli Tavlama Algoritması [6], Ateş Böceği Algoritması [7] Sezgisel Optimizasyon Algoritmaları'nın başlıca örnekleridir.

Literatür incelendiğinde ise, veri madenciliği ve sezgisel optimizasyon algoritmaları özellikle son yıllarda inşaat sektöründe çalışanların da ilgi odağı haline gelmeye başlamıştır. Bilindiği üzere inşaat sektörü birçok disiplini içerisinde barındıran bir mühendislik bilimidir. Bu çalışma kapsamında, inşaat sektörünün temelini oluşturan yapım yönetimi alanında Türkiye'de ve dünya'da son 5 yılı kapsayan zaman diliminde gerçekleştirilmiş olan veri madenciliği ve sezgisel optimizasyon algoritmalarıyla ilgili literatürün taraması [8-31] yapılmış olup, detaylı bir şekilde sunumu gerçekleştirilmiştir. Bu vesileyle, bahsi geçen algoritma ve yöntemlerin inşaat proje yönetimindeki kullanım alanlarının geçmiş çalışmalarda hangi sorunu gidermeye yönelik araştırıldığının ortaya konularak gelecek çalışmalara ışık tutması amaçlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İnşaat Sektöründe veri madenciliği ve sezgisel optimizasyon algoritmalarının kullanılması ile ilgili çalışmalar, son yıllarda giderek artan bir hızla yaygınlaşmaya başlamıştır. Veri madenciliği ve bilgi teknolojileri inşaat sektöründe yeni kullanılmaya başlandığı için geçmiş yıllarda yapılan çok fazla çalışma bulunmamaktadır. İnşaat sektöründe son yıllarda yapılan çalışmalardan yapım yönetimi alanında yapılan çalışmalar bu bölümde incelenmektedir.

Bahadır ve Hanedaroğlu [8], çalışmalarında cam elyaf katkılı cephe kaplama elemanlarının

pazarlanmasında teklif fiyatının Yapay Sinir Ağları yardımıyla tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

Zhou [9] çalışmasında temel olarak, veri madenciliği ile bilgi yönetimi arasındaki ilişkiyi inceleyen bununla birlikte veri madenciliği algoritması üzerine araştırma yapan inşaat işletmelerinin kullandığı veri madenciliği uygulamalarına odaklanmıştır. İnşaat işletmelerinin veri madenciliği modeli ile birlikte Genelleştirilmiş Bulanıklaştırma Ağının (GFN) algoritmasını ve uygulamasını tasarlamış ve böylece veri madenciliği algoritmalarının en son araştırma sonuçlarına dayanan inşaat projesi verilerini karakterize etmiştir.

Haque ve Hasin [10] çalışmalarında, belirsiz koşullar altında bulanık zaman periyotları ile proje zaman-maliyet optimizasyonu problemini çözmek için daha gerçekçi bir yaklaşım geliştirmeyi amaçlamışlardır. Problemi modellemek için bulanık mantık teorisinde üçgensel bulanık sayılar ile bir kesme yöntemini ilgili çalışmada kullanmışlardır. Proje çizelgeleme probleminin NP (Nondeterministic Polynomial-time/Belirleyici Olmayan Karmaşıklık Zamanı) zorluğu nedeniyle, bir arama aracı olarak Genetik Algoritma (GA) kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda çözüm, genetik algoritma parametrelerinin farklı kombinasyonları altında gerçekleştirilmiş ve sonuç analizinden sonra bu parametrelerin en iyi tahmin değerleri en yakın veya sürdürülebilir çözüm için bulunmuştur.

Kaya ve arkadaşları [11] çalışmalarında, inşaat işletmelerinde çalışan seramik işçilerinden anket yoluyla elde ettikleri veriler yardımıyla verimlilik değerlerini tahmin etmeye çalışmışlardır. İlgili çalışmada kullanılan nitelik olarak da değerlendirilen bu değerler; ekip sayıları, ekipteki kişilerin o iş tecrübeleri ve yaş ortalamalarıdır. İlgili çalışmalarında, ölçme yöntemleri kullanılarak elde edilmiş olan seramik verileri verimliliğin sınıflandırılarak kurallar çıkarılması vasıtasıyla seramik işlerinde yüksek verimliliğin girdilere göre nasıl sağlanabileceği konusu üzerine eğilmişlerdir.

Ahiaga-Dagbui ve Smith [12] çalışmalarında, inşaat sektöründe tahmin güvenilirliğini ve doğruluğunu artırmak için mevcut verileri karar verme destek sistemlerine dönüştürmek amacıyla veri madenciliğini önemli bir iş aracı olarak sunmaktadırlar. İlgili çalışmalarında, İngiltere’de 2004 ile 2012 yılları arasında tamamlanan 1600 su altyapı projesi verilerini kullanarak, maliyet tahmini modellerini faktör analizi, optimal binning ve scree testleri gibi veri madenciliği yöntemlerinin bir kombinasyonu ile geliştirmişlerdir.

Zhou ve arkadaşları [13] çalışmalarında, inşaat iş programı optimizasyonunun alanını incelemek üzere geliştirilen yöntem ve algoritmaları ele almışlardır. İş programı optimizasyonu sorununu çözmek için geliştirilen algoritmaları üç yöntemle sınıflandırmışlardır: matematiksel, sezgisel ve meta-sezgisel. Bu yöntemlerin çeşitli çizelgeleme problemlerine uygulanması ilgili çalışmada tartışılmış ve gelecekteki araştırmalara etkileri yorumlanmıştır.

Aminbakhsh ve arkadaşları [14], çalışmalarında kesikli zaman-maliyet ödünleşim probleminin çözümünde yeni bir kuş sürüsü algoritması geliştirmişlerdir. Bu çalışma ile zaman ve maliyetin birlikte minimize edilmesini mümkün hale getirip optimum ve yakın-optimum zaman-maliyet çözümlemesini gerçekleştirerek sunmuşlardır.

Altun ve Akçamete [15], çalışmalarında inşaat projelerinin yönetiminde çok önemli bir yere sahip olan zaman ve maliyet problemlerinin sezgisel algoritmalarla modellenip çözümlenmesi üzerinde durmuşlardır. Zaman ve maliyet problemlerinin çözümünde sezgisel ve zeki algoritmalarından Yapay Arı Kolonisi Algoritmasını kullanmışlardır. Yapay Arı Kolonisi Algoritması kullanılarak elde edilen sonuçların gerçek değerlere daha yakın olduğu sonucuna varmışlardır.

Andaç ve Oral [16], çalışmalarında işçi verimliliklerinin tahmini için Yapay Arı Kolonisi

Algoritmasını kullanarak elde ettikleri sonuçları sunmuşlardır.

Ebesek ve Yaman [17] çalışmalarında, yapım projelerinde kaynak dengeleme yani kaynak kısıtları altında çizelgeleme probleminin çözümüne yönelik meta-sezgisel optimizasyon algoritmalarından; genetik algoritmanın, diferansiyel gelişim algoritmasının, benzetilmiş tavlama algoritmasının, parçacık sürü optimizasyonu algoritmasının ve karınca koloni optimizasyonu algoritmasının optimum çözümler üretmesi ile ilgili çalışmaları incelemiştir. Çalışma sonucunda, meta-sezgisel algoritmaların kaynak dengeleme probleminde sıklıkla ve artan bir şekilde çalışıldığı sonucuna varmışlardır.

Giran ve arkadaşları [18], çalışmalarında bir inşaat firması için örnek bir veri ambarı uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Eskiden yapılmış ve hala devam eden projelerden veriler elde edilmiştir. Çalışmanın amacı, etkili bir inşaat yönetiminin sağlanmasıdır.

Kasaplı ve Haznedaroğlu [19] çalışmalarında, içme suyu şebeke inşaatı maliyet tahminini Yapay Sinir Ağları tabanlı bir yöntem ve regresyon analizi yöntemini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Veri seti İller Bankası A.Ş. tarafından onaylanan 58 adet proje verisinden oluşmaktadır. MS Excel Çözücü programı yardımıyla elde edilen sonuca göre tek katmanlı, 4 nöronlu ve sigmoid aktivasyon fonksiyonlu YSA modeliyle en iyi sonuç bulunabilmektedir.

Keleş ve Kaya [20] çalışmalarında ise inşaat sektöründe duvar ustası olarak çalışan işçilerden elde edilen demografik bilgilerle, çalışan verimliliğinin yükseltilmesi adına bir Veri Madenciliği yöntemi olan Birliktelik Kuralları çıkarmışlardır.

Yavuz ve arkadaşları [21], çalışmalarında bir karar destek modeli üzerinde durmuşlardır. Bu karar destek modeli veri zarflama analizi ile yapılandırılmıştır. Çalışmanın amacını, yapıli çevrede tasarım başarımlı değerlendirmesinin

paydaşlar ile birlikte karar verme süreçlerini desteklemek oluşturmaktadır.

Yılmaz ve Dikbaş [22], kamu inşaat projelerinde yaşanan uyumsuzlıklara yönelik yazılı doküman arşivinin, bunlar dışında yargı kararları arşivinin hak talebi yönetiminde veri madenciliği ve metin madenciliği yöntemleri ile otomatik olarak sınıflandırılması konusunda çalışmışlardır. Dokümanlar sınıflandırıldıktan sonra bir karar destek modeli geliştirmişlerdir.

Durap ve Doğan [23] çalışmalarında, inşaat sektöründe kullanılan bilgilerin artması sebebiyle oluşan, belge takipsizliğini önlemek amacıyla elektronik bir sistemin oluşturulması gerektiği üzerinde durmuşlardır. Oluşturdukları belge takip sistemi ile en uygun malzeme ve yöntemin belirlenmesi ve kullanılması veri madenciliği yardımıyla sağlanmış, ilgili sistemin geri besleme ile eğitilmesi hedeflenmiştir.

Ahiaga-Dagbui ve Smith çalışmalarında [24], bir projenin ilk aşamalarında bütçesel karar vermede az bilgi ile doğru tahmini gerçekleştirmek için yapay sinir ağlarında parametrik olmayan topluluk modellemesi kullanarak 1600 tamamlanmış projeden aldığı veri ile nihai proje maliyet tahmin modelleri geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, 100 doğrulama öngörüsünün %92'sinin projenin fiili nihai maliyetinin $\pm\%10$ 'u dahilinde olduğu bulunurken, %77'sinin fiili nihai maliyetin $\pm\%5$ 'i dahilinde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Magalhães-Mendes [25] çalışmasında, bir proje için toplam maliyetin direkt ve dolaylı maliyetlerin toplamı olduğunu ve projenin en düşük maliyet ile tamamlanabilmesi için proje süresinin optimize edilmesi gerektiğini vurgulamıştır. İlgili çalışmada hem proje süresini hem de maliyetini objektif fonksiyona dahil etmeyi ve bir genetik algoritma kullanarak etkili bir sezgisel arama zamanlama kuralı geliştirmeyi amaçlamıştır.

Kaiafa ve arkadaşları [26], çalışmalarında, her bir etkinlik içinde birkaç kaynak-süre alternatifini değerlendiren, çok amaçlı kaynak kısıtlı

zamanlama için bir optimizasyon yöntemi geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri optimizasyon yöntemi, mevcut optimizasyon, kaynak dağılımı, proje süresinin aşılması ve günlük kaynak dalgalanmalarından kaynaklanan toplam maliyetin asgariye indirilmesini amaçlamaktadır. Optimizasyon için bir genetik algoritma kullanılmıştır. Algoritma birkaç test durumu ile test edilmiş ve sonuçlar Microsoft Project tarafından geliştirilenlerle karşılaştırılmıştır. Değerlendirme, önerilen algoritmanın üç amaçla ilgili olarak yeterli ve dengeli çözümler sağlayabileceğini ve bu çözümlerin ticari proje zamanlama yazılımı tarafından sağlananlardan daha iyi olduğunu göstermektedir.

Keleş [27] çalışmasında, Türkiye'deki inşaat işletmelerinde çalışan şantiye şefi konumundaki liderlerle ve bu kişilerle birlikte çalışan aslarına çift taraflı bir anket uygulamıştır. Uygulanan bu anket sonrasında liderlik iki farklı açıdan belirlenmiştir. Liderlik modelleri belirlendikten sonra ise veri madenciliği yöntemlerinden birliktelik kural çıkarım yöntemi ile şantiye şeflerinin liderlikleri ile birlikte çalıştığı aslarının motivasyonları arasındaki ilişkiler belirlenmiştir.

Bayram ve Al-Jibouri [28] çalışmalarında, bina projelerinin maliyetlerini tahmin etmede tahmin yöntemlerinin etkinliğini araştırmışlardır. Bunun için de maliyet tahmini konusunda geleneksel olmayan, sezgisel optimizasyon ve veri madenciliğinde de kullanılan beş farklı güncel yöntemi bir arada kullanmışlardır. Bu beş yöntem; Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP), Radyal Tabanlı Fonksiyon (RBF), Izgara Bölümleme Algoritması (GPA), Referans Sınıfı Öngörme (RCF) ve Regresyon Analizi (RA) yöntemleridir. Çalışmanın sonucunda Referans Sınıfı Öngörme (RCF) ve Regresyon Analizi (RA) yöntemlerinin diğer yöntemlere göre daha doğru ve gerçekçi tahminler ürettiği gözlenmiştir.

Atabay [29] çalışmasında, bir yapının Genetik Algoritma yöntemi kullanılarak optimizasyonunu yapmıştır. Optimizasyon sonucunda elde ettiği toplam maliyet ile geleneksel yöntem sonucunda

elde ettiği toplam maliyet değerini bir örnek üzerinde karşılaştırmıştır. Taşıyıcı sistem tasarımında bir optimizasyon yöntemi kullanımının toplam yapı maliyetine etkisini araştırmıştır.

Koç ve Yaman [30] çalışmalarında, e-ihale süreçlerinin etkinliğinin artırılmasına dair iş süreç modelleri oluşturulması ve bunların yapay zeka ve benzetim yöntemlerinden Petri Ağları yöntemi ile desteklenerek, işveren ve yüklenici açısından fayda optimizasyonunu gerçekleştirecek algoritmalara değinmişlerdir.

Bayram ve arkadaşları [31] çalışmalarında, yapay sinir ağı yöntemlerinden yaygın olarak kullanılan çok katmanlı algılayıcı (MLP) ve radyal tabanlı fonksiyon (RBF) ile elde edilen maliyet tahminlerini karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Çalışmada, MLP ve RBF'nin sonuçları Birim Alan Maliyet Yöntemi sonuçları ile karşılaştırılmış ve birim alan maliyet yönteminin geçerliliği yorumlanmıştır. Her iki yapay sinir ağı yönteminin de birim alan maliyet yönteminden daha iyi performans gösterdiği, ancak radyal tabanlı fonksiyonun da çok katmanlı algılayıcıdan daha başarılı olduğu çalışma sonucunda tespit edilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışma kapsamında Veri Madenciliği Algoritmaları ile Sezgisel Optimizasyon Algoritmalarının Türkiye'de yapılan yapılan yapılar aracılığı ile yapım yönetimindeki yeri incelenmiştir. Bu sayede, bahsi geçen inceleme yöntemleri kullanılarak yapım yönetimi alanında yapılan yapılar karşılaştırmalı olarak incelenerek gelecek çalışmalara ışık tutulması ve yön verilmesi amaçlanmıştır.

3.2. Metot

Türkiye'deki inşaat sektörünün özellikle yapım yönetimi bölümünün önemini vurgulamak amacıyla taranan literatürün detaylı bir şekilde gösterimi Çizelge 1'de sunulmaktadır.

Çizelge 1. Literatürün detaylı incelemesi

Yapım Yönetimindeki Çalışma	Yılı	VM/SA	Yöntem
Bahadır ve Hanedaroğlu	2012	VM	Yapay Sinir Ağları
Zhou	2012	VM	Genelleştirilmiş Bulamıklaştırma Ağı
Kaya ve arkadaşları	2013	VM	Birliktelik Kuralları
Ahiaga-Dagbui ve Smith	2013	VM	Yapay Sinir Ağları
Zhou ve arkadaşları	2013	SA	Fondahl Metodu, Yapısal Model, Genetik Algoritma, Kuş Sürüsü Algoritması, Karınca Kolonisi Algoritması
Aminbakhsh ve arkadaşları	2014	SA	Kuş Sürüsü Algoritması
Altun ve Akçamete	2014	SA	Yapay Arı Kolonisi Algoritması
Andaç ve Oral	2014	SA	Yapay Arı Kolonisi Algoritması
Ebesek ve Yaman	2014	SA	Meta-sezgisel Optimizasyon Algoritmaları
Giran ve ark.	2014	VM	Veri Ambarı
Kasaplı ve Haznedaroğlu	2014	VM	Yapay Sinir Ağları
Keleş ve Kaya	2014	VM	Birliktelik Kuralları
Yavuz ve arkadaşları	2014	VM	Veri Zarflama
Yılmaz ve Dikbaş	2014	VM	Sınıflandırma Algoritmaları
Durap ve Doğan	2014	VM	Yapay Sinir Ağları, Karar Ağaçları, En Yakın K Komşu Algoritması, K-Ortalama, Kendi Kendini Düzenleyen Haritalar
Ahiaga-Dagbui ve Smith	2014	VM	Yapay Sinir Ağları
Magalhães-Mendes	2015	SA	Genetik Algoritma
Kaiafa ve arkadaşları	2015	SA	Genetik Algoritma
Keleş	2016	VM	Birliktelik Kuralları
Bayram ve Al-Jibouri	2016	VM	Çok Katmanlı Algılayıcı, Radyal Tabanlı Fonksiyon, İzgara Bölümleme Algoritması, Referans Sınıfı Öngörme ve Regresyon Analizi
Atabay	2016	SA	Genetik Algoritma
Koğ ve Yaman	2016	SA	Yapay Zeka ve Petri Ağları yöntemi
Bayram ve arkadaşları	2016	VM	Çok katmanlı algılayıcı ve Radyal tabanlı fonksiyon

VM: Veri Madenciliği, SA: Sezgisel Algoritma

4. SONUÇLAR

Literatür incelemeleri sonucunda özellikle ülkemiz inşaat sektöründe elde edilen hacimce ve sayıca fazla olan verilerin anlamlı ifadelerle dönüştürülmesini sağlayan veri madenciliği uygulamalarına yönelik örneklerin azlığı dikkat çekmektedir. Oysaki bu çalışmada da vurgulandığı üzere, veri madenciliği ve sezgisel algoritmaların kullanılması ile inşaat sektörü gibi yeterince ham verinin elde edilebildiği bir sektörde ilgili çalışmaların yapılması vasıtasıyla daha yararlı sonuçlar elde edilebilecektir. Bu durum da, sektörde çoğu zaman farkında bile olunmayan pek

çok rastgeleliğin sistemli çalışmalara bağlanması sebebiyle zaman kaybı, verimsizlik, etkinliğin düşük olması gibi olumsuzlukların azaltılabileceği düşünülmektedir.

İnşaat işletmelerinin ham verileri anlamlı hale getirebilmeleri için öncelikle elde etmiş oldukları mevcut verilerden neye ulaşmak istedikleri belirlenmeli ardından bu amaç doğrultusunda sınıflandırma, kümeleme, regresyon, birliktelik kuralı çıkarımı veya sezgisel algoritmaların kullanımı gibi çalışmalarla işletme yararına sonuçlar elde edilebilmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda, bu verilerle inşaat ekonomisinden,

şantiye yönetimine; deneysel çıkarımlardan pratik tüm inşaat uygulamalarına kadar veri madenciliğinin uygulanmaları ile sezgisel algoritmaların kullanımının artmasının tüm dünyada olduğu gibi ülkemiz inşaat sektörüne de olumlu yansıtacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın diğer önemli sonucu, özellikle son yıllarda farklı disiplinlerde pek çok araştırmacı tarafından yaygın şekilde kullanılan veri madenciliği metotları ile sezgisel algoritmaların kullanımının inşaat sektöründeki verilere daha sıklıkla uygulanabileceği ve yararlı sonuçlar elde edilebileceğidir. Ulaşılmak istenen amacın net şekilde belirlenmesi doğrultusunda şantiye ve ofislerden gelen işe yarar verilerin sistematikle bağlanmasının ardından sektör temsilcileriyle paylaşılıp kullanılmasının inşaat ekonomisine de faydaları olacağı düşünülmektedir.

İnşaat sektörünün sayıca fazla ve çeşitli malzeme, işgücü, makine, donanım, gibi farklı kombinasyonlara sahip kaynaklarla yönetilmesi durumu, birbirinden farklı verilerin elde edilmesi sonucunu doğurmaktadır. Günümüz yoğun rekabet ortamında bu verilerin doğru analizlerinin sağlanması vasıtasıyla yönetilmesinin inşaat işletmelerinin yararına olacağı düşünülmektedir.

Tüm bunlarla birlikte, ülkemizde bugüne kadar yapılan ve bu çalışmayla sunulan yayınların inşaat sektöründe faaliyet gösteren işletmelere, çalışanlarına ve konuyla ilgili akademisyenlere ulaşmasının önemli olduğu düşünülmektedir. Veri madenciliği programları ile sistematikle bağlanan verileri inşaat işletmelerinin yönetebilmesinin ve geleceği öngörebilmelerinin daha kolay olacağı ve bunun sonucu olarak, Türk inşaat sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin daha isabetli yönetim stratejileri geliştirebileceği ve uzun vadeli fayda sağlayabileceği düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Beasley, D., Bull, D. R., Martin, R. R., 1993a. An Overview of Genetic Algorithms: Part 1, Fundamentals. University Computing, Vol.15(2), pp. 58–69, UK.
2. Beasley, D., Bull, D. R., Martin, R. R., 1993b. An Overview of Genetic Algorithms: Part 2, Research Topics .University Computing, Vol. 15(4), pp. 170–181, UK.
3. Colorni, A., Dorigo et V. Maniezzo, M., 1991. Distributed Optimization by Ant Colonies, actes de la première conférence européenne sur la vie artificielle, Paris, France, Elsevier Publishing, 134-142.
4. Kennedy, J., Eberhart, R., 1995. Particle Swarm Optimization. IV. s. 1942–1948.
5. Karaboga, D., 2005. An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization, Technical Report-TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department.
6. Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., Vecchi, M. P., 1983. Optimization by Simulated Annealing. Science, New Series, Vol. 220, pp. 671–680.
7. Yang, X. S., 2008. Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms. Luniver Press. ISBN 1-905986-10-6.
8. Bahadır, Y., Haznedaroğlu, F., 2012. Cephe Kaplama Elemanları Teklif Fiyatı Tahmininde Yapay Sinir Ağları (YSA) Kullanımı, 2. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi Bildiriler Kitabı, p. 146, İzmir.
9. Zhou, Y., 2012. Construction Knowledge Mining and Application of Generalized Fuzzy Network in Construction Decision Management, The Hong Kong Polytechnic University, Thesis.
10. Haque, K. M. A., Hasin, M. A. A., 2012. Genetic Algorithm for Project Time-cost Optimization in Fuzzy Environment. Journal of Industrial Engineering and Management, 5(2), 364-381.
11. Kaya, M., Keleş, A. E., Laptalı Oral, E., 2013. Construction Crew Productivity Prediction by Using Data Mining Methods, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 141, 1249–1253.
12. Ahiaga-Dagbui, D. D., Smith, S. D., 2013. My Cost Runneth Over: Data Mining to Reduce Construction Cost Overruns, Procs 29th Annual ARCOM Conference, 2-4 September 2013, Reading, UK, Association of Researchers in Construction Management, 559-568.
13. Zhou, J., Love, P. E. D., Wang, X., Teo, K. L., Irani, Z., 2013, A Review of Methods and

- Algorithms for Optimizing Construction Scheduling, Journal of the Operational Research Society, 64 (8), pp 1091–1105.
14. Aminbakhsh, S., Sönmez, R., Abbasi Iranagh, M., Rezvankhah, E., 2014. Kuş Sürüsü Optimizasyon Algoritması ile Kesikli Zaman-Maliyet Ödünleşim Probleminin Çözümü, 3. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi Bildiriler Kitabı, p.34, Antalya.
 15. Altun, M., Akçamete, A., 2014. Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının Zaman-Maliyet Ödünleşim Problemlerine Uygulanması, 3. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi Bildiriler Kitabı, p.82, Antalya.
 16. Andaç, M. S., Oral, E. L., 2014. Yapım İşlerinde Çalışan Verimliliğinin Yapay Arı Kolonisi Algoritması Kullanılarak Tahmini, 3. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi Bildiriler Kitabı, p.111, Antalya.
 17. Ebeseke, Ş., Yaman, H., 2014. Proje Ağlarında Kaynak Dengeleme Problemine Yönelik Meta-Sezgisel Optimizasyon Algoritmalarına Bakış, 3. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi Bildiriler Kitabı, p.61, Antalya.
 18. Giran, Ö., Anbarcı, M., Türkakın, O. H., 2014. İnşaat Yönetiminde Veri Ambarlama ve Örnek Bir Veri Ambarlama Uygulaması, 3. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi Bildiriler Kitabı, p.28, Antalya.
 19. Kasaplı, K., Haznedaroğlu, F., 2014. İçme Suyu Şebekelerinde Yapay Sinir Ağları Tabanlı Maliyet Tahmini Ön Çalışması, 3. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi Bildiriler Kitabı, p.117, Antalya.
 20. Keleş, A. E., Kaya, M., 2014, Duvar İnşaat Edilmesinde Verimliliği Etkileyen Faktörlerin Apriori Veri Madenciliği Yöntemi Kullanılarak Analizi, XVI. Akademik Bilişim Konferansı, AB2014 Bildiriler Kitapçığı, 831-836.
 21. Yavuz, M., Doğan, S. Z., Kale, S., 2014. Veri Zarflama Analizi ile Tasarım Başarım Değerlendirmesi, 3. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi Bildiriler Kitabı, p.46, Antalya.
 22. Yılmaz, İ. C., Dikbaş, A., 2014. İnşaat Sözleşmeleri Hak Talebi Yönetiminde Bir Veri Madenciliği Modeli, 3. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi Bildiriler Kitabı, p. 133, Antalya.
 23. Durap, A., Doğan, Y., 2014. İnşaat Mühendisliği'nde Bilişim Kavramı ve Veri Madenciliği Algoritmalarıyla Bir Sistemin Oluşturulması. Akademik Bilişim Konferansları, Mersin.
 24. Ahiaga-Dagbui, D. D., Smith, S. D., 2014. Dealing With Construction Cost Overruns using Data Mining, Journal Construction Management and Economics, Volume 32, 2014 - Issue 7-8: ARCOM Conference Issue.
 25. Magalhães-Mendes, J., 2015. Multiobjective Optimization: Time-Cost Application in Construction, Congresso de Métodos Numéricos em Engenharia 2015, Lizbon.
 26. Kaiifa, S., Chassiakos, A. P., A Genetic Algorithm for Optimal Resource-driven Project Scheduling, Procedia Engineering, Volume 123, 2015, Pages 260-267.
 27. Keleş, A. E., 2016. İnşaat Projelerinde Şantiye Şeflerinin Liderliği ve Çalışan Motivasyonu İlişkisinin Veri Madenciliği ile Belirlenmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Adana.
 28. Bayram, S., Al-Jibouri, S., 2016. Efficacy of Estimation Methods in Forecasting Building Projects' Costs, Journal of Construction Engineering And Management-ASCE, vol.142.
 29. Atabay, Ş., 2016, Yapım Maliyetinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonunun Değer Mühendisliği Açısından İrdelenmesi, 4. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, Eskişehir.
 28. Koğ, F., Yaman, H., 2016, E-İhale Süreçlerinin Yapay Zekâ ve Benzetim Yöntemleri ile Optimizasyonu, 4. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, Eskişehir.
 31. Bayram, S., Öcal, M.E., Laptalı Oral, E., Atış C.D., 2016. Comparison of Multi Layer Perceptron (MLP) and Radial Basis Function (RBF) for Construction Cost Estimation: The Case of Turkey, Journal of Civil Engineering And Management, Vol.22, pp.480-490.

Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi Yazım Kuralları

Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık 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-Mimarlık 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 yansıtılabilmelidir. **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: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, makalenin (bildirinin veya kitabın) tam başlığı; **Makale ise:**, derginin adı, cilt, sayı, başlama ve bitiş sayfaları, yıl. **Kitap ise:** cilt numarası, varsa editörü, yayımlandığı yer, yayımlandığı yıl. **Bildiri ise:** konferansın adı, yapıldığı yer, yıl. **Elektronik ortamdan alınmış ise:** Bildiri sadece CD/DVD'de yayınlanmış ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, bildirinin 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, tezin adı, derecesi, sunulduğu kurum, yıl. **Rapor ise:** Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, raporun adı, türü, numarası, kuruluşun adı, yayımlandığı yer, yıl. **Web Sitesi ise:** Yazar(lar) belli ise; yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), gün, ay, yıl olarak alıntı tarihi, varsa yayımlandığı yıl. **Kurum/Kuruluşlara ait ise:** Kurum adı, yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), gün, ay, yıl olarak alıntı tarihi, varsa yayımlandığı yıl. **Elektronik kitap/rapor ise:** Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi veya kitap/raporu yayımlayan kurum veya kuruluşun adı, gün, ay, yıl olarak alıntı tarihi, varsa yayımlandığı yıl.

Dergi İletişim Adresleri

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergi Yayın Kurulu Başkanlığı 01330 ADANA

E-posta: mmfdergi@cu.edu.tr
Tel: (322) 3387050

cu.mmfdergi@gmail.com
Faks: (322) 3386126