



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK MİMARLIK
FAKÜLTESİ
DERGİSİ

ÇUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

Cilt/Vol: 34

Sayı/Issue: 4

Aralık/December 2019

ISSN 1019-1011



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ



Çukurova University, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture

Sahibi (Owner)

Mesut BAŞIBÜYÜK
Ç.Ü. Mühendislik Fakültesi Dekanı

Editör (Editor)

Özen KILIÇ

EDİTÖR KURULU (Editorial Board)

Selma Ayşe ÖZEL (ÇÜ)	Ulvi Can ÜNLÜGENÇ (ÇÜ)
Mustafa GÜVEN (ÇÜ)	Özen KILIÇ (ÇÜ)
Ahmet Mahmut KILIÇ (ÇÜ)	Olcayto KESKİNKAN (ÇÜ)
Hüseyin AKILLI (ÇÜ)	Ali KESKİN (ÇÜ)
Ulus ÇEVİK (ÇÜ)	R. Tuğrul OĞULATA (ÇÜ)
Ali KOKANGÜL (ÇÜ)	F. Duygu SABAN (ÇÜ)
Mesut BAŞIBÜYÜK (ÇÜ)	Hüseyin R. YERLİ (ÇÜ)
İsmail Hakkı ÇAĞATAY (ÇÜ)	Nil YAPICI (ÇÜ)
Metin GÜRÜ (GÜ)	Serter ATABAY (AUS-BAE)
Mehmet Emin AYDIN (UWE-İngiltere)	Muammer KOÇ (HBKU-BAE)
Azra BİLGİN (UCB-ABD)	Tamio ENDO (MU-Japonya)

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

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

YAZIŞMA ADRESİ/CONTACT

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

AMAÇ ve KAPSAM

Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, yılda dört 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 quarterly. 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valuable, and useful research articles including original and current scientific research and applications, previously unpublished anywhere else, will be regarded.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

Sedimentary Evidences for the Depositional and Environmental Changes Regarding to Regression during Mid to Late Miocene in the Neogene Adana Basin (Southern Turkey).....	1
<i>Neojen Adana Havzasında Orta-Geç Miyosen Sırasında Meydana Gelen Regresyona Bağlı Olarak Gelişen Çökelim ve Ortamsal Değişiklikler ile İlgili Sedimanter Kanıtlar (Güney Türkiye)</i>	
Ulvi Can ÜNLÜGENÇ, Ahmet Can AKINCI ve Hatice KARAKILÇIK	
Kanonik Huffman Benzeri Kodlama için Kod Sözcüklerinin Uzunluklarını Cebirsel Olarak Hesaplayan Bir Algoritma	9
<i>An Algorithm that Calculates the Lengths of Codewords Algebraically for Canonical Huffman-like Encoding</i>	
Mustafa ORAL ve M. Mustafa AŞŞIK	
Birinci Mertebe Kayma Deformasyon Teorisine Dayalı FD Düz Eksenli Kirişlerin Serbest Titreşim Analizi	21
<i>Free Vibration Analysis of FG Straight-Axis Beams Based on the First-Order Shear Deformation Theory</i>	
Timuçin Alp ASLAN, Ahmad Reshad NOORI ve Beytullah TEMEL	
Farklı İklim Bölgelerindeki Seralarda Evaporatif Soğutma Olanaklarının Belirlenmesi	29
<i>Determination of Evaporative Cooling Possibilities in Greenhouses in Different Climate Regions</i>	
A. Nafi BAYTORUN ve Abbas Mahamed Abdalla MAKAY	
Katyonizasyon İşleminin Havlu Kumaş Ön Terbiyesinde Kullanılabilirliğinin ve Ürün Özelliklerine Etkisinin Araştırılması.....	39
<i>Investigation of the Usability of Cationization Process in Terry Fabric Pretreatment and Determination of the Effect on the Product Properties</i>	
Ece KALKANLI ve Belkis ZERVENT ÜNAL	
Farklı Hammaddeden Örme Çoraplar Üzerine Deneysel Bir Çalışma	49
<i>An Experimental Study on Knitted Socks from Different Raw Materials</i>	
Füsun DOBA KADEM ve Şehpal ÖZDEMİR	
Küçük Menderes Alt Havzası'nın SWAT ile Modellenmesi	55
<i>Modeling Kucuk Menderes Watershed with SWAT</i>	
Mohammad Matin SADDIQI ve Mahmut Ekrem KARPUZCU	

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Gürültü Seviyesi Ölçümlerinde Akıllı Telefon Uygulamaları..... 71**
Smart Phone Applications in Noise Level Measurements
Ümmükişüm ÖZEL AKDEMİR ve Andaç AKDEMİR
- Heat Flow Behaviours of Distaloy AE Alloys Produced by Powder Metallurgy..... 79**
Toz Metalurjisi Metoduyla Üretilen Distaloy AE Alaşımının Isı Akışı Davranışları
Ayşe Nur ACAR
- Design of Notched Rounded Bowtie Antenna for Ultra-Wideband Communication Systems..... 85**
Ultra Geniş Bantlı Haberleşme Sistemleri için Çentikli Yuvarlatılmış Kelebek Anten Tasarımı
Duygu Nazan GENÇOĞLAN ve Şule ÇOLAK
- Türkiye’de İller Arası Otomobil Yolculuklarının Çekim Yöntemi ile Modellenmesi ve CBS Ortamında İncelenmesi 91**
Modeling Intercity Car Travels in Turkey with the Gravity Method and Analyzing them in GIS Environment
Yaşar VİTOŞOĞLU, H. Canan GÜNGÖR ve Polat YALINIZ
- Micromeria Fruticosa L. Druce’un Süper Kritik Karbondioksit Kullanılarak Ekstraksiyonu ve Menton, İsomenton ve Pulegon Miktarı Üzerine Ekstraksiyon Koşullarının Optimizasyonu 105**
Extraction of Micromeria Fruticosa L. Druce by Using Super Critical Carbon Dioxide and Optimization of Extraction Conditions on Amount of Menthone, Isomenthone and Pulegone
Murat TÜRK
- Bakır Flotasyonu Prosesinde, Köpük Görüntüleri ile % Bakır Tenörü Arasındaki İlişkinin Görüntü Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi..... 117**
Determination of the Relationship Between Foam Images with % Copper Grade in Copper Flotation Process by Image Analysis Method
Mehmet TÜRKMEÑOĞLU, Ö. Faruk ÖZGÜVEN, Fatih Ş. ERKUŞ, Ayşe ÖZGÜVEN, Z. Funda TÜRKMEÑOĞLU ve O. Ozan VAROL

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- 1-Benzil-3-Metylimidazolyum Hekzaflorofosfat'ın Asidik Ortamda C1010 Çeliğin Korozyonuna Etkisi 129**
The Influence of 1-Benzyl-3-Methylimidazolium Hexafluorophosphate on Corrosion of C1010 Steel in Acidic Medium
Gökmen SİĞİRCİK
- Sulu Çözeltilerden Fosfor Gideriminde Demir ile Kaplanmış Aktif Karbonun Kullanılabilirliğinin Araştırılması 139**
Investigation of Usability of Iron Coated Activated Carbon for Phosphorus Removal from Aqueous Solutions
Hasan Kıvanç YEŞİLTAŞ ve Turan YILMAZ
- Kurumsal Sürdürülebilirlik Performans Analizinde CRITIC-EDAS Yaklaşımı 147**
CRITIC-EDAS Approach in Corporate Sustainability Performance Analysis
Neşe YALÇIN ve Esra KARAKAŞ
- İğne Çapı ve Besleme Hızının Elektro Çekim Tekniğiyle Üretilmiş Poliakrilonitril Nanoliflerinin Morfolojisine Etkisi..... 163**
Effect of Needle Diameter and Flow Rate on Electrospun Polyacrylonitrile Nanofiber Morphology
Halil İbrahim İÇOĞLU
- Kireç Katkısı ile Kil Bir Zeminin Dayanımının İyileştirilmesi 171**
Improving the Strength of a Clay Soil with Lime Additive
Tacettin GEÇKİL, Talha SARICI ve Ekrem Serdar YILDIRAN
- Mobilya Sektörü Özelinde Üç Boyutlu Yazıcılarla Tasarım ve Malzeme-Biçim-Üretim Yöntemi Üzerine İlişkisel Düşünme 181**
Design with Three Dimensional Printers in the Furniture Sector and Relationship on Material-Form-Manufacturing Method
Tülay CANBOLAT ve Kadir AYDIN
- Reaktör Türlerinin ve Parametrelerinin Steam Reforming Prosesiyle Etanolden Hidrojen Üretimine Etkisinin Aspen Plus ile İncelenmesi 193**
Effect of Reactor Types and Operating Parameters for the Hydrogen Production through Steam Reforming Process of Ethanol
Mesut BEKİROĞULLARI ve Mustafa KAYA

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Hastane Yapıları Teknik ve Destek Hizmet Birimlerinin Mekânsal Büyüklük Analizi: Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Balcalı Hastanesi Örneği..... 203**
Spatial Size Analysis of Technical and Support Service Units of Hospital Buildings: A Case of Çukurova University Medicine Faculty Balcalı Hospital
Yelda DURGUN ŞAHİN
- Çok Amaçlı Baraj Haznelerinin Genetik Algoritma ile Enerji Üretimi Amaçlı Optimizasyonu..... 217**
Optimization of Multi-Purpose Reservoirs for Energy Production Using Genetic Algorithm
Recep YURTAL
- Investigation of Asymmetric Transmission Properties of 2D Metallic Photonic Crystal for Optical Diode Application..... 225**
2 Boyutlu Metal Fotonik Kristallerin Asimetrik Özelliklerinin Optik Diyot Uygulaması için Araştırılması
Fulya KARAÇORA NANE ve Turgut İKİZ
- Kazı Arını Tasarımında Ampirik Yaklaşımların Kullanımı 231**
Using Empirical Approaches in Stope Design
Gamze ERDOĞAN ERTEN ve Mahmut YAVUZ
- Üretim Parametrelerinin Hidroksiapatit Tozlarının Özellikleri ve Kaplama Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi..... 243**
Investigation of the Effects of Production Parameters on the Hydroxyapatite Powder Properties and Coating Quality
Önder ALBAYRAK, Mehmet İPEKOĞLU ve Sabri ALTINTAŞ

Sedimentary Evidences for the Depositional and Environmental Changes Regarding to Regression during Mid to Late Miocene in the Neogene Adana Basin (Southern Turkey)

Ulvi Can ÜNLÜGENÇ^{*1}, Ahmet Can AKINCI¹, Hatice KARAKILÇIK¹

¹*Çukurova University, Faculty of Engineering, Geological Engineering Department, Adana*

Geliş tarihi: 09.10.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Abstract

In this study we investigate sedimentary and stratigraphic characteristics of the Mid to Late Miocene deposits to better understanding of the Tertiary evolution of the Adana Basin (Southern Turkey). For this purpose, detailed mapping, sedimentary survey and interpretations were made considering the stratigraphic relations in the Middle-Late Miocene units in the region. The depositional evolution of the Adana Basin starts during the Early Miocene as a foreland basin within the Çukurova region. An extensive marine transgression during the Early Miocene commenced the filling of the basin. The pre-Miocene deposition area was a large platform with an adjacent depression area. This depositional environment widely controlled the Miocene sedimentation after the Aquitanian-Burdigalian transgression. The Miocene sequences in the Adana Basin were deposited due to the northward transgression. The northerly sourced deltaic and littoral-brackish Kaplankaya Formation and a slightly deeper reefal Karaisalı Formation were deposited in the areas close to the shore. Documented by shallow to deeper marine sedimentation, the marine inundation of the region occurred during Aquitanian-Burdigalian and continued into the Serravallian causing the former coastline to migrate north. Synchronously tectonic subsidence further south cause southward progressive deepening. Therefore, various facies types, ranging from deep marine turbidites to terrestrial, deposited in the basin. The northern margin of the basin was experienced normal faulting in consequence of progressive tectonic and subsidence events during this marine transgression in the Langhian-Serravallian.

Mapped and interpreted within three facies types, Güvenç Formation include; i) deep marine sediments, ii) offshore sediments and iii) shallow marine sediments. Deep sea deposits were accumulated in the early stages of the Early-Middle Serravallian period in the deeper part of the basin. During the Mid-to Late Serravallian offshore sediments were deposited in the southern parts of the basin. Further south, due to the continued regression, the shallow marine sediments were deposited in the basin during the Serravallian. Related to the neotectonic period of Anatolia, the transgressive sequences deposited within the basin were tilted during Late Serravallian to Early Tortonian period. The marine regression towards the south was accompanied by tectonic re-organisation in the Early Tortonian. Consequently, regressive sequences of the Tortonian age, the Kuzgun member of Kuzgun Formation, which involve shallow marine (beach) sediments and meandering river deposits are resting on the tilted Güvenç Formation with low angle unconformity.

Keywords: Adana basin, Neogene sediments, Transgression, Regression

^{*}Sorumlu yazar (Corresponding author): Ulvi Can ÜNLÜGENÇ, ulvican@cu.edu.tr

Neojen Adana Havzasında Orta-Geç Miyosen Sırasında Meydana Gelen Regresyona Bağlı Olarak Gelişen Çökelim ve Ortamsal Değişiklikler ile İlgili Sedimanter Kanıtlar (Güney Türkiye)

Öz

Bu çalışmada, Adana havzasının (Güney Anadolu) Tersiyer evriminin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlamak amacıyla Orta-Geç Miyosen çökellerinin detay sedimanter ve stratigrafik özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla, bölgede Orta-Geç Miyosen birimlerinin stratigrafik ilişkileri gözetilerek detay haritalama ve sedimanter log alımı ve yorumlaması yapılmıştır. Adana Havzasının sedimanter evrimi, Erken Miyosen döneminde Çukurova bölgesinde bir ön havza olarak başlamaktadır. Havzanın oluşumu, Erken Miyosen sırasında büyük ölçekli bir denizel transgresyon ile başlamaktadır. Miyosen öncesi sedimantasyon alanı, Akitaniyen-Burdigaliyen transgresyonundan sonra Miyosen sedimantasyonunun gelişimini önemli ölçüde etkileyen, komşu bir çöküntü alanına sahip büyük bir platform konumundaydı. Bu çökeltme ortamı, transgresyon sonrasında Miyosen dönemindeki sedimantasyonu önemli ölçüde kontrol etmiştir. Havzadaki Miyosen çökelleri, kuzeye doğru ilerleyen bu transgresyon sonucunda gelişmiştir. Kıyıya yakın bölgelerde kuzey kaynaklı litoral-acı su ve deltayık karakterli Kaplankaya Formasyonu ve biraz daha derinde resifal Karaisalı Formasyonu depolanmıştır. Bölgeye zaman zaman ilerleyen su basmaları sonucu ortamın derinleşmesi Akitaniyen-Burdigaliyen dönemlerinde meydana gelmiş olup, Serravaliyen'e kadar devam etmiştir. Bu durum, eski sahil şeridinin havza sınırının kuzeye doğru ilerlemesine neden olmuştur. Daha güneyde eş zamanlı tektonik çökme, havzada güneye doğru ilerleyen bir derinleşmeye yol açmıştır. Sonuç olarak, havzada karasaldan derin deniz türbiditlerine kadar uzanan çok çeşitli fasiyes türleri çökelmiştir. Langiyen-Serravalliye'deki bu geçiş sırasında, Havzanın kuzey kenar kesimleri, ilerleyen tektonik, sedimantasyon ve çökme olaylarının bir sonucu olarak normal faylanma ile deforme olmuştur.

Güvenç Formasyonu; i) derin deniz sedimanları, ii) deniz kenarındaki sedimanlar ve iii) sığ deniz sedimanları olmak üzere 3 fasiyes tipine ayrılmış ve haritalanmıştır. Derin deniz sedimanları, Erken-Orta Serravaliyen döneminin erken evrelerinde havzanın derin kesimlerinde çökelmiştir. Orta-Geç Serravaliyen döneminde kıyı ötesi tortullar havzanın güney bölgelerinde depolanmıştır. Daha güneyde, devam eden regresyon nedeniyle, Serravaliyen'deki sığ deniz sedimentleri havzada çökelmiştir. Türkiye'nin neotektonik dönemi ile ilişkili olarak, havza içinde biriken transgresif birimler Geç Serravalliye-Erken Tortoniye döneminde eğim kazanmıştır. Erken Tortoniye döneminde, güneye doğru denizin geri çekilmesine yeni tektonik düzen eşlik etti. Böylelikle, menderesli nehir ve sığ deniz (plaj) çökellerini içeren Kuzgun Formasyonu'nun Kuzgun üyesi olan Tortoniye regresif istifleri, Güvenç Formasyonu üzerine düşük açılı uyumsuzlukla gelmektedir.

Anahtar Kelimeler: Adana havzası, Neojen çökelleri, Transgresyon, Regresyon

1. INTRODUCTION AND GEOLOGICAL FRAMEWORK

The Adana Basin occupies a structurally complex region in southern Anatolia, to the north of the Antioch triple junction, where the Afro-Arabian, Mediterranean and Anatolian plates meet, and is currently bounded by the sinistral Ecemiş Fault

zone in the west, the Taurus orogenic belt in the north, the Amanos Mountains and East Anatolian Fault Zone in the east. The Cenozoic evolution of the Eastern Mediterranean region is very complicated. Two major sedimentary basins (the Antalya and Çukurova basins) record the main events in southern Turkey during the later part of this epoch [1-3]. The major Çukurova Basin

comprises the Adana and İskenderun Basins, separated by the Misis structural high [2,4]. However, the Adana Basin probably extends to Cyprus underneath the Mediterranean in the south and has an approximate area of 10,000 square kilometres while main depocentre of the basin is between the Taurides and Adana City.

The Adana Basin originated as a peripheral foreland basin. This transition suggest that the sea had retreated south in the region by the late Oligocene. Evidenced by an angular unconformity between the Early Miocene terrestrial and shallow marine deposits of the Adana Basin and earlier formed Karsantı Basin deposits, region was displaying an irregular paleotopography at this

stage. Marine inundation of the region occurred during the mid Burdigalian evidenced by shallow to deeper marine deposition and continued into the Serravallian, causing the former coastline to migrate north. Simultaneous tectonic subsidence further south led to progressive deepening towards the south. Consequently, a great variety of facies types, ranging from terrestrial to deep marine turbidites, formed within the basin. During this marine transgression in the Langhian-Serravallian the northern margin of the basin was deformed by normal faulting as a result of progressive tectonic and subsidence events. The basin fill is both marine and non-marine in character, which shows a gradual transition at the northern margin of the basin one into another.

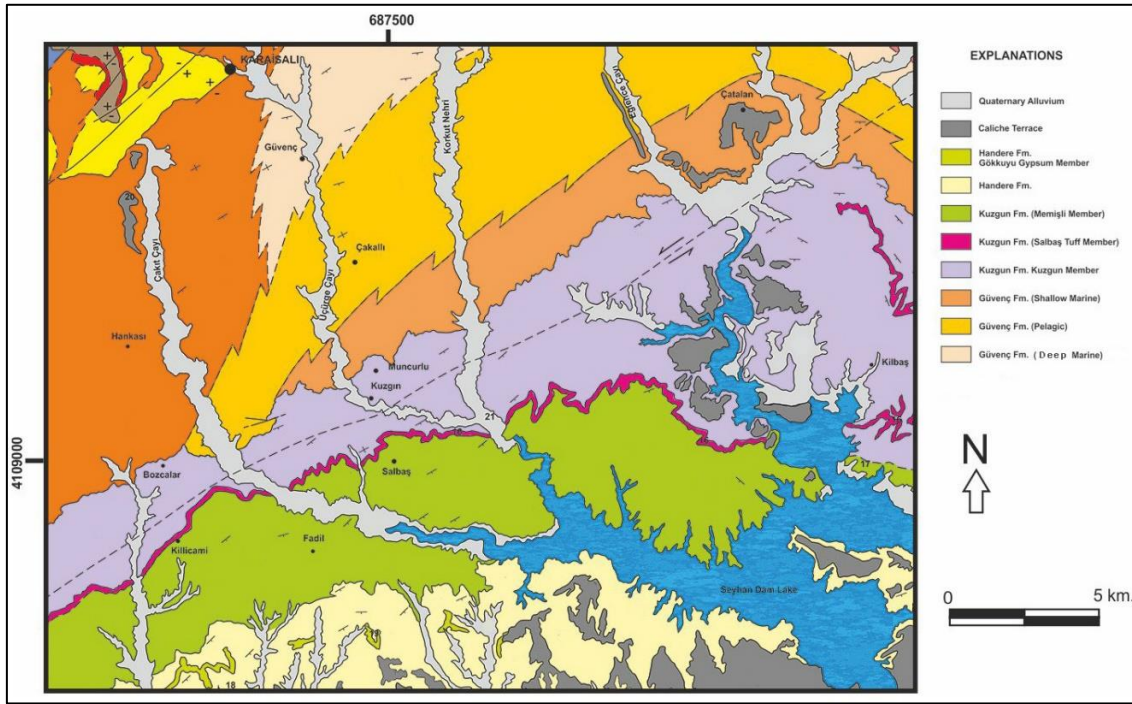


Figure 1. Geological map of southern part of the Karaisalı district of Adana including Neogene units of Adana basin mentioned in text

Gradual infilling of this deep basin ensued, with distinct shallowing upward character seen in the upper part of the Serravallian. During the Early Tortonian, southward marine retreat was accompanied by tectonic re-organisation. Thus, late Neogene regressive sequences succeeded the

marine sediments with a low angle unconformity. The sedimentary cycle associated with the major transgression of the Miocene sea includes the Kaplankaya, Karaisalı, Cingöz and Güvenç Formations, deposited during Aquitanian and Serravallian times (Figures 1, 2). The boundary

between Güvenç and overlying Kuzgun Formation represents a transition from transgressive to regressive deposition and has a low angle

unconformity in between that can be distinctly observed on the seismic profile (Figure 3).

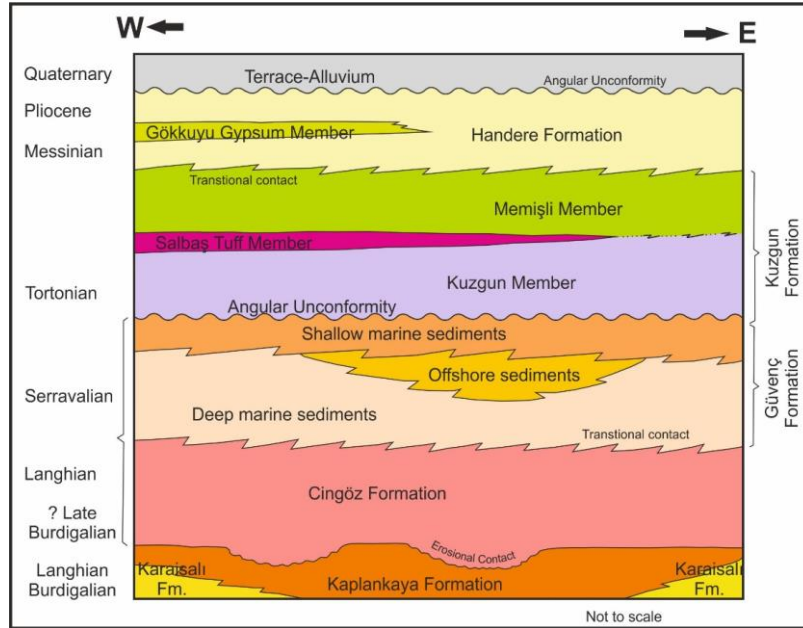


Figure 2. Schematized section showing contact relationships of Neogene formations of Adana Basin (redrawn from Ünlügenç, 1993 [3])

2. END OF TRANSGRESSIONAL CYCLE (GÜVENÇ FORMATION)

The last transgressive unit of Neogene Adana Basin, the Güvenç Formation is extensively developed at the east and southeast of Karaisali

district. According to the sedimentological and palaeontological attributes three informal members can be distinguished from bottom to top in the Güvenç Formation: (i) deep marine deposits cropping out around Güvenç village, east of Karaisali town, south of Nuhlu village.

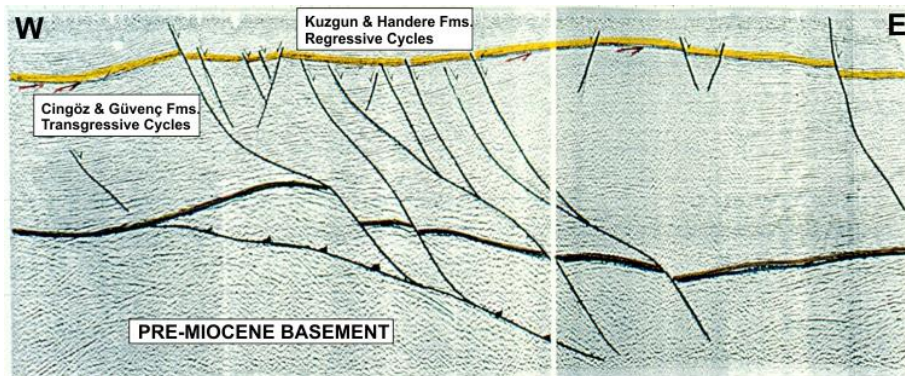


Figure 3. Interpreted W-E seismic profile showing stratigraphic relationships of Neogene units of Adana Basin

This unit is dominated by bluish gray-greenish gray, thin parallel bedded and convolute laminated carbonaceous shales, calcareous siltstones, marls, and very thin fine sandstones with abundant microfauna. The shale layers contain abundant pelagic and benthic foraminifera and some ostracoda. (ii) an offshore type cycle is best seen further south around Çakallı village north of Çatalan village. This unit is characterized by yellowish gray, medium and partly thick bedded,

relatively massive sandstones and siltstones with some shale intercalations. The sandstones are petrographically calcareous feldspathic arenites and appear similar in composition to the sandstones of the Cingöz Formation [5]. (iii) a shallow marine sediments unit is seen south of units (i) and (ii) around Çatalan village, north of Kuzgun and Mucurlu villages. This member dominantly comprising bluish shales and siltstones with some reworked sandstones (Figure 4).

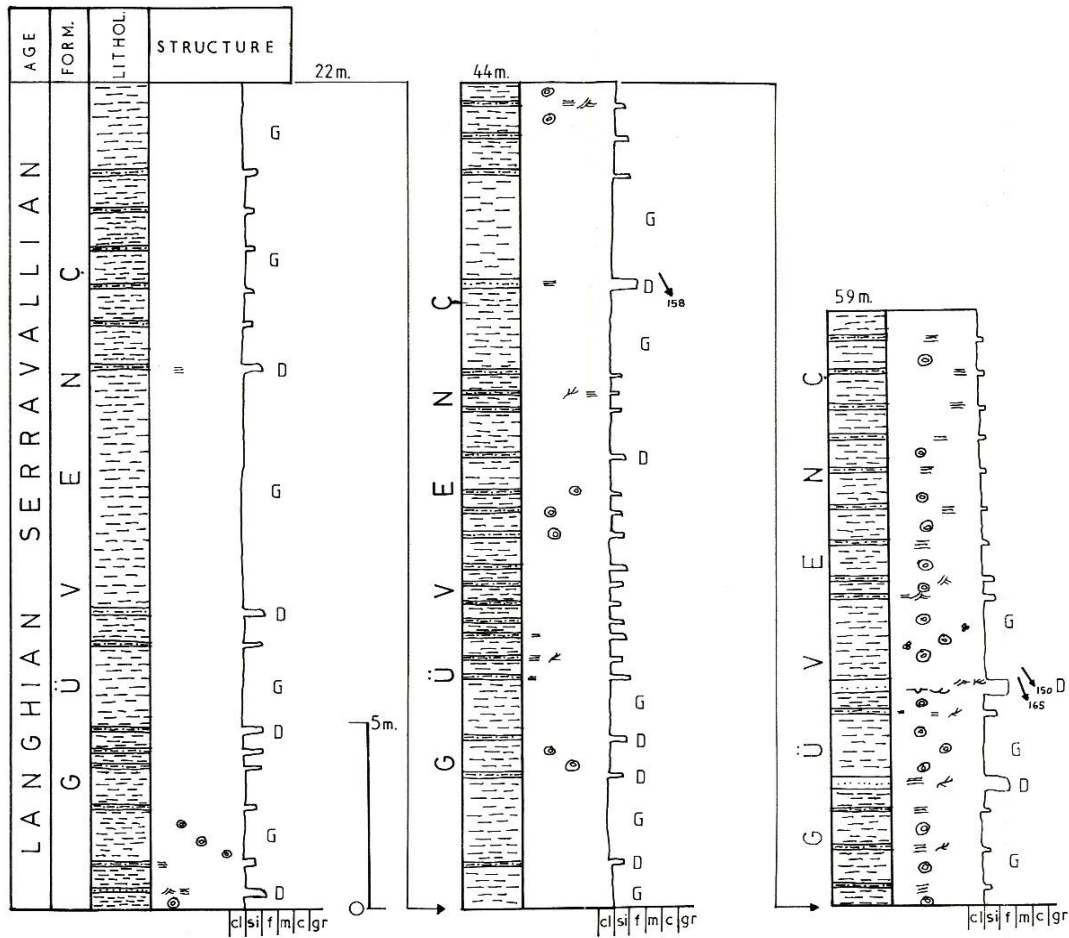


Figure 4. Sedimentological log through the middle part of the Güvenç Formation (measured on a roadcut nearly 1.5 km south of Güvenç village)

Also in the upper part of this member, close to the contact with the Kuzgun Formation, yellowish, medium to thick bedded sandstones interpreted as storm deposits [6], and some large burrows have

been observed. The shallow marine member of the Güvenç Formation is overlain by the major regressive sequence of the Adana Basin, the Kuzgun Formation above a low angle

unconformity. According to the benthic and planktonic foraminifera faunas recovered from the Güvenç Formation, a Langhian-Serravallian age is indicated, with deep marine environmental faunal characteristics, together with some possible shallow marine characteristics has been suggested for this unit by Nazik and Tokar [7].

3. KUZGUN FORMATION

The major regressive sequence of the Adana Basin is represented by the post Middle and Upper Miocene age sediments that constitute the Kuzgun and Handere Formations. Briefly, the Kuzgun Formation in the study area is divided into three members. The lower part of the formation which consists of channelized conglomerates, cross

bedded sandy conglomerates, sandstones and mudstones is named the Kuzgun Member, while the alternation of marls, sandy siltstones and tuffites which forms the middle part of the formation is named the Salbaş Tuff Member. The upper part, which mainly comprises conglomerates, sandstones, siltstones and shales is named the Memişli Member. The rock assemblages of the Kuzgun member show significant lateral differences on a basinal scale. However, the basal unit is usually represented by deeply eroded channels filled with gray-yellowish gray or brown, thick-very thick beds of cross bedded conglomeratic and sandy conglomeratic sediment, succeeded by yellowish-gray-beige, thick beds of moderately cemented, cross bedded, (laterally accreted) pebbly sandstones (Figure 5).

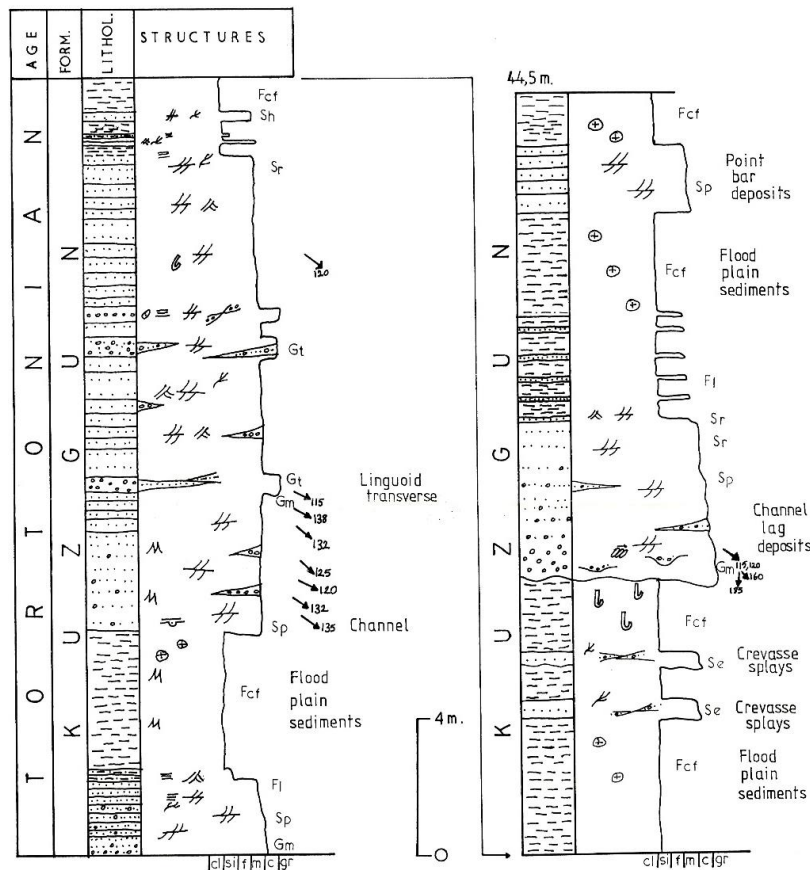


Figure 5. Sedimentological log of lower part of the Kuzgun Formation, measured on a roadcut-cliff approx. 4 km northwest of Kilbaş village

This unit displays characteristics of meandering river deposits and passes upwards into brownish mudstones and white-light gray, poorly cemented sandstone alternations (flood plain). The uppermost levels of this member are characterized by gray-dark gray, thick channelized, cross bedded, moderately well cemented, fine grained pebbly sandstones. In the fluvial deposits, a mammalian skull, teeth and bones were found at a locality Çatalan Dam excavation approximately 4 km south of Çatalan village. The gray fine grained pebbly sandstones is succeeded by gray, medium to thick bedded sandstones including some calcrete nodules. The uppermost part of the Kuzgun Member comprises yellow-brown, medium-thick bedded, hard sandstones with minor shale intercalations and includes a few silty sandstones rich in *Ostrea* shells (lagoonal-shallow marine environment). The Kuzgun Member succeeds the shales of the Güvenç Formation abruptly and with low-angle discordant contact seen around Kuzgun and Mucurlu villages.

The Memişli member of Kuzgun formation separated from Kuzgun member by earlier mentioned key level of Salbaş tuff member. The Memişli Member is mainly composed of conglomerates, sandstones and siltstones of probable terrestrial, shallow marine and fluvio-deltaic origin and displaying marked lateral facies changes. Therefore, the member shows somewhat different vertical successions at different localities. Notwithstanding, the lowermost part of the member starts with channelized conglomerates and is succeeded by pebbly conglomerates and fining upward cycles of sandstones and siltstones. This passes upwards into moderately consolidated siltstones, sandstones and mudstones of probable shallow marine and/or deltaic character. The succeeding part generally is represented by a thickening upward silty-sandy sequence including parallel and cross lamination, load casts and burrows. The uppermost levels are mainly represented by siltstone intercalated with shales including some marine fossils.

According to the molluscan faunas determined by Tanar [8], a broadly Tortonian age can be given to the Kuzgun Formation. The determined fossil

assemblages evidence actually shows that the age of this member could range between the middle and upper Miocene. This period also represents the timing of the last marine inundation in the basin.

4. CONCLUSIONS

The Cenozoic deposits in the Adana Basin may be assigned to pre-transgressive, transgressive and regressive sequences. The earliest Cenozoic formations, forming the pre-transgressive sequence, crop out in the N and NW part of the basin, and comprise the ?Upper Oligocene-early Miocene Gildirli Formation. The cycle associated with the last major transgression of the Miocene sea includes the Kaplankaya, Karaisalı, Cingöz and Güvenç Formations, deposited during Aquitanian and Serravallian times. The boundary between Güvenç and overlying Kuzgun Formation represents a transition from transgressional to regressional deposition which is documenting the ending of the last marine inundation in the region. Eventually, Tortonian age regressive sequences of the Kuzgun member of Kuzgun Formation comprising shallow marine (beach) sediments and meandering river deposits are resting on the Serravallian age transgressive Güvenç Formation with a low angle unconformity. In accordance with general shallowing of the Adana Basin during the Late Serravallian to Messinian interval, the deltaic and paralic Kuzgun and Handere Formations represent a major regressive cycle, leading to emergence of the western part of the basin by the late Tortonian.

4. REFERENCES

1. Brinkmann, R., 1976. The Geology of Turkey. Elsevier, Amsterdam, 158.
2. Kelling, G., Gökçen, S.L., Floyd, P.A., Gökçen, N., 1987. Neogene Tectonics and Plate Convergence in the Eastern Mediterranean: New Data from Southern Turkey. *Geology*, 15, 425-429.
3. Ünlügenç, U. C., 1993. Controls on Cenozoic Sedimentation in the Adana Basin, Southern Turkey (Ph.D. Thesis), Keele University, UK. Two Volumes, 229.

4. Ünlügenç U.C., Akıncı, A.C., 2017. Kızıldere-Güveloğlu (Ceyhan-Adana) Civarının Tektono-stratigrafisi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(2), 85-99.
5. Yalçın, N.M., Görür, N., 1983. Sedimentological Evolution of the Adana Basin. In: O. Tekeli and M.C. Göncüoğlu (Eds), Proceedings of the International Symposium on the Geology of the Taurus Belt. Ankara, 165-172.
6. Gürbüz, K., Ünlügenç, U.C., 2000. Kumca Zengin Fırtına Sedimanları ile Türbiditler Arasındaki Farklılıklara Adana Baseni'nden Bir Örnek. Yerbilimleri (Geosound), Adana, 36, 15-28.
7. Nazik, A., Toker, V., 1986. Karaisalı Yöresi Orta Miyosen İstifinin Foraminifer Biyostratigrafisi. M.T.A. Derg., 103/104, 139-150.
8. Tanar, Ü., 1985. Körlü (Tarsus-Mersin) Bölgesi Karaisalı, Kuzgun, Memişli Formasyonlarının Molluska Faunası. Jeoloji Müh. Dergisi, Ankara, 24, 17-20.

Kanonik Huffman Benzeri Kodlama için Kod Sözcüklerinin Uzunluklarını Cebirsel Olarak Hesaplayan Bir Algoritma

Mustafa ORAL^{*1}, M. Mustafa AŞŞIK¹

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

Geliş tarihi: 16.10.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Kanonik Huffman kodları için gerekli olan kod uzunlukları iki aşamada üretilir. Bu makalede “prefix-free” özelliğine sahip değişken uzunluklu kanonik kodların üretilmesine temel olacak uzunlukları cebirsel yöntemle tek aşamada hesaplayacak bir algoritma önerilmektedir. Ancak, elde edilen kodların “sembol başına ortalama bit uzunluğu” genellikle optimum olmayıp, optimuma benzerlerinden daha yakındır. Kod uzunlukları, ağırlık dizisinin sıralı olması şartıyla, en sık kullanılan sembolden başlayarak hesaplanır. Önerilen algoritma; p_i , i . sembolün olasılığı ve e_i de kalan olasılıkların toplamı olmak üzere, kod uzunluklarını $l_i = \text{round}(\log(e_i/p_i))$ formülüne göre hesaplar. Son olarak, kanonik formdaki kodlar hesaplanan uzunluklardan elde edilir. Tüm süreç $\Theta(n)$ zamanda tamamlanır ve $\Theta(n)$ kelime uzunluğunda hafıza kullanılır.

Anahtar Kelimeler: Veri sıkıştırma, Kodlama, Huffman, Kanonik form, Prefix-free kodlar

An Algorithm that Calculates the Lengths of Codewords Algebraically for Canonical Huffman-like Encoding

Abstract

The lengths of codewords required for canonical Huffman codes are produced in two stages. An algorithm that calculate the lengths required for the production of prefix-free canonical codes in single stage by algebraic method is proposed in this paper. The “average bit length per symbol” of the resulting code is usually not optimal, but it is closer to optimal than similar ones. The lengths of the codewords are calculated starting from the most frequently used symbol, provided that the weight array is ordered. The proposed algorithm calculates the lengths of the codewords using the formula $l_i = \text{round}(\log(e_i/p_i))$ where p_i is the probability of i -th symbol and e_i is the sum of the remaining probabilities. Finally, the codes in the canonical form are obtained from the calculated lengths. The whole process is completed in $\Theta(n)$ time and uses $\Theta(n)$ words memory, where n is the number of symbols.

Keywords: Data compression, Encoding, Huffman algorithm, Canonical form, Prefix free codes

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mustafa ORAL, moral@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

D. Huffman tarafından tasarlandığından beri, popülerliğini kaybetmeden birçok yıldır kullanımda olan Huffman Kodlama [1] farklı araştırmacıların üzerinde hala çalıştığı önemli bir algoritmadır. Huffman Kodlamanın performansını iyileştirmek ve geleneksel yoldan farklı bir şekilde kodları üretmek için değişik çalışmalar yürütülmektedir [2-6].

Basitliği ve hızı nedeniyle, Huffman kodlayıcılar birçok sıkıştırma alanında hala kullanılmaktadır. Görüntü sıkıştırması (JPEG), metin sıkıştırma (DEFLATE, GZIP gibi), ses sıkıştırması (MP3) Huffman kodlamanın önemli uygulama alanlarındandır [7]. Ayrıca, sıkışık veriyi çözmeden kod sözcüklerine rastgele erişebilme yeteneği, sıkışık veri yapıları ve sıkışık metin veri tabanları gibi birçok senaryo bu kodlamayı çekici kılmaktadır [8].

Kanonik Huffman kodları, Huffman kodlarının farklı bir yapısıdır. Aynı ortalama bit uzunluğuna sahip olmalarına rağmen Kanonik Huffman kodlarının, Huffman kodlara göre bazı avantajları vardır. Bu iki kodlama yapısından 2. Başlıkta bahsedilecektir.

Aritmetik kodlama, entropi tabanlı kodlayıcıların başka bir çeşididir. Aritmetik kodlayıcının sıkıştırma oranı Huffman kodlayıcıdan daha iyi olmasına rağmen, Huffman kodlayıcının hızı Aritmetik kodlayıcıdan daha iyidir. Ek olarak Huffman kodlamanın uygulanması Aritmetik kodlamadan daha kolaydır [9]. Bu nedenlerden dolayı, yerine göre, Huffman kodlayıcı Aritmetik kodlayıcıya göre tercih edilebilmektedir.

Huffman kodlarının yaygınlığı, hızı ve kolaylığı gibi nedenlerden dolayı, araştırmacılar farklı teknikler kullanarak Huffman kodlarını veya Huffman benzeri kodları üretmek için çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Burada Huffman kodları ifadesi optimum “prefix free” özellikli kodlar anlamına gelirken, Huffman benzeri ifadesi optimuma yakın “prefix free” özellikli kodlar anlamına gelmektedir. “Prefix-free” ifadesi ise kullanılan kod sözcükleri kümesinde herhangi bir

kod sözcüğünün başka bir kod sözcüğünün öneki olmadığı anlamına gelmektedir [10].

Moffat ve Katajainen, 1995 yılında, büyük alfabeler için optimal “prefix free” kodların uzunluklarını üretecek bir algoritma önermişlerdir [2]. Bu algoritma ile uzunluklar, iki aşamada üretilmektedir. Öncelikle, optimum Huffman ağacı için, iç düğümlerin derinlikleri ve daha sonra, bu derinlikler kullanılarak kod sözcüklerinin uzunlukları hesaplanır. Bu algoritmanın amacı “in-place” tekniği kullanarak hafızadan tasarruf etmektir. Sonuç olarak, ağırlık dizisinin sıralı olması şartıyla, Huffman kodlarını $O(n)$ zamanında üretmek için $O(n)$ yer kullanılır.

1997’de, Moffat ve Turpin sembol olasılıklarının tekrarına dayalı bir minimum artıklı kod (minimum redundancy code) tekniği önermişlerdir. Büyük alfabeler için önerilen bu algoritma $O(r+r \log n/r)$ zamanına ve hafıza yerine sahiptir. Burada r farklı frekans değerine sahip sembollerin sayısını, n ise sembol sayısını göstermektedir [3]. Bu çalışmayla ilgili olarak bir iyileştirmeden söz edilebilmesi için r değerinin $n/2$ ’den küçük olması gerektiği açıktır. Bu gereklilik büyük alfabeler için sağlanabilse bile küçük alfabeler için, r genellikle $n/2$ ’den büyüktür. Örneğin, Calgary Külliyesi için “paper2” dosyasında $r=72$ ve $n=91$, “bib” dosyasında $r=79$ ve $n=81$ ’dir.

Optimal “prefix free” kodlar için başka çalışmalar da yapılmıştır [8,11,12]. Ancak, bunlar veri sıkıştırmadan daha çok veri yapıları ve veri depolama alanlarında kullanılan alfabetik ikili ağaç yapılarıdır. Bu çalışmalarda, Kanonik Huffman kod sözcüklerinin uzunluklarını elde etmek için önce optimal Huffman ağacı tasarlanır ve daha sonra uzunluklar bu ağaçtan elde edilir. Bunlardan başka bir ağaç oluşturmadan da kod uzunluklarını hesaplayan algoritmalar önerilmiştir. Bununla birlikte, bu algoritmalar Huffman benzeri kodlar üretmektedir.

1999’da Graham Fyfe, Fyfe Kodlar olarak isimlendirdiği optimuma yakın ikili “prefix free” özellikli kodları [4], 2010’da Andrew Polar, Polar Kodlar olarak ta bilinen “Huffman olmayan ikili

ağaç” olarak isimlendirdiği başka bir optimuma yakın ikili “prefix free” özellikli kodları geliştirmişlerdir [5]. Polar kodların bağlam (context) tabanlı adaptif versiyonunun Google tarafından kullanıldığı iddia edilmektedir [5]. Fyfee ve Polar kodların yapım zamanı, 2. ve 3. Başlıklarda da anlatıldığı üzere, n adımdan sonra ayarlama gerektirmesi nedeniyle $O(kn)$ 'dir. Burada $k \geq 1$ 'dir.

2008 yılında ise, Dube ve Beaudoin, “atık önek kodları” (Disposal prefix Codes) olarak isimlendirdikleri bir başka algoritma ile optimal olmaktan ziyade “prefix free” kodların hızlı bir şekilde yapımını amaçlamışlardır. F herhangi bir sembolün frekansı ve $\Delta = F_{\max} - F_{\min}$ olmak üzere, kod ağacının yapım zamanı $O(\Delta + n)$ 'dir. Söz konusu ağaçta, herhangi bir düğümde tek çocuğa da izin verildiğinden sembol başına ortalama bit uzunluğu benzerlerine göre optimumdan daha büyüktür [6].

Bu makalede ise, Kanonik “prefix free” özellikli kodlar için bir alfabedeki sembollerle ilişkili kod sözcüklerinin uzunluklarını cebirsel hesaplama yoluyla bulan bir algoritma önerilmektedir. Elde edilen ortalama bit uzunluğu çoğunlukla optimal değildir, ancak 6. Başlıkta da görüleceği üzere optimal değere, benzer algoritmalarından daha yakındır. Uzunlukları hesaplama zamanı ve kullanılan hafıza miktarı, ağırlık dizisinin sıralı olması şartıyla, $\Theta(n)$ 'dir.

Bu makale şu şekilde düzenlenmiştir: Kanonik Huffman kodları 2. Başlıkta tanıtılmıştır. 3. Başlık Fyfee Kodları ve 4. Başlıkta Polar Kodları tanımlar. 5. Başlıkta, Huffman benzeri “prefix free” özellikli kod sözcüğü uzunluklarını cebirsel olarak hesaplayan algoritma sunulmaktadır. 6. Başlıkta test sonuçları analiz edilmekte, 7. Başlıkta da sonuçlar tartışılmaktadır. Makale boyunca “log” deyimini taban 2 logaritma olarak düşünülmelidir.

2. KANONİK HUFFMAN KODLAMA

Huffman Kodlama, en olası sembole en kısa kod sözcüğünü atama prensibine dayanmakta ve değişken uzunluklu “prefix free” özellikli kodlar

sınıfına girmektedir. Huffman Kodlama ile elde edilen sembol başına ortalama bit uzunluğu, Aritmetik Kodlayıcıdan sonra entropiye en yakın ortalama değerdedir.

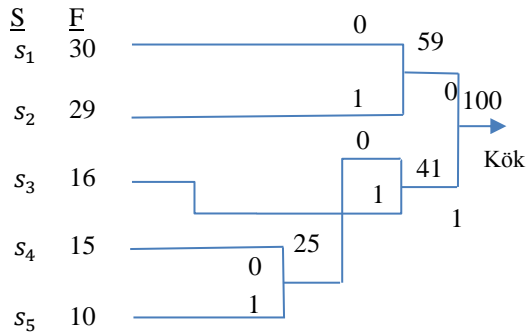
Bir mesaja ait sıralı bir frekans tablosu (veya olasılık dağılımı) verildiğinde, Huffman kodlama en düşük ağırlığa sahip iki sembolü birleştirerek kodlama sürecine başlar (Şekil 1). Böylece, oluşan yeni sembol tabloya eklenir. Tablo yeniden düzenlenir. Tekrar, tablodaki en düşük ağırlıklı iki sembol birleştirilir. Bu süreç, tablodaki tüm semboller tek sembol olarak birleştirilinceye kadar devam eder. Sürecin sonunda Huffman ağacı elde edilir. Huffman ağacının yapraklarında yer alan sembollerle ilişkili kod sözcükleri, kökten yapraklara doğru gidilerek bulunur.

Kanonik Huffman Kodları, Huffman kodlarının bir alt kümesidir. “Sayısal sıra özelliği” ne sahiptir. Sayısal sıra özelliği, aynı uzunluğa sahip kod sözcüklerini gösteren ikili değerlerin ardışık olduğu anlamına gelmektedir. Örneğin; “000”, “001”, “010”, “011” gibi. Kanonik kodların bazı avantajları vardır: Uzunluk değerlerinin ardışık olmasından dolayı sıkıştırılmış dosya ile birlikte kod çözücüye gönderilmesi gereken “başlığın” boyutu önemli ölçüde azaltılır ve kullanılan alfabe ile birlikte uzunluk değerlerinin kod çözücüye gönderilmesi yeterlidir. Böylece kodlama ve kod çözme hızı artar ve kullanılan bellek miktarı da azalır [10,13,17].

Şekil 1 Huffman kodlarının ve Kanonik Huffman kodlarının elde edilmesini göstermektedir. Kanonik Huffman kod sözcükleri Huffman ağacından kod sözcüklerin uzunluklarına göre oluşturulur. Önce Huffman ağacı, sembol ağırlıklarına göre tasarlanır. Daha sonra ağaç, kökten sembollerini temsil eden yapraklara doğru gezilerek her sembole ait kod sözcüklerinin uzunlukları (başka bir ifade ile derinlik veya bit sayısı) tespit edilir. En küçük uzunluğa denk gelen kod sözcüğü her zaman bit olarak “0” dır. Eğer uzunluk 1'den büyükse, uzunluk değeri kadar sağ tarafa “0” ilave edilir (sola kaydırma). Örneğin uzunluk değeri 2 ise kod sözcüğü “00” dır. Bir sonraki kod sözcüğü, önceki kod sözcüğüne ikili düzende “1” ilave edilerek bulunur. Eğer

belirlenen kod sözcüğünün uzunluğu, karşı gelen uzunluk değerinden daha kısa ise fark değeri kadar kod sözcüğünün sağına “0” ilave edilir (sola kaydırma). Örneğin, uzunluk değeri 3 ise ve önceki kod sözcüğüne “1” ilave edilerek belirlenen kod sözcüğü “11” ise, “0” bit değeri kod sözcüğünün sağına ilave edilerek kod uzunluğu 3 yapılır ve yeni kod sözcüğü “110” olur. Şekil 1’de yer alan tabloda beş sembole sahip örnek bir dosya için kanonik kodlar yer almaktadır.

Semboller	Kod Sözcükleri	Uzunluklar	Kanonik Sözcükler
s_1	00	2	00
s_2	01	2	01
s_3	11	2	10
s_4	100	3	110
s_5	101	3	111



S: Semboller, F: Frekanslar

Şekil 1. Huffman ağacında kod sözcükleri ve uzunlukların belirlenmesi

Huffman kodlarının verimliliği, sembol başına ortalama bit uzunluğu ile ölçülür (A_v). Herhangi bir mesaj için A_v , $1 \leq i \leq n$ ve n kullanılan sembol sayısı olmak üzere, eğer i . sembolün kod uzunluğu l_i ve olasılığı p_i ise, sembol başına ortalama bit uzunluğu Eşitlik 1 ile tanımlanmaktadır [1].

$$A_v = \sum_{i=1}^n p_i l_i \quad (1)$$

Huffman kodlamanın zaman karmaşıklığı; eğer ağırlık dizisi sıralı değilse $O(n \log n)$, ağırlık dizisi sıralı ise $O(n)$ dir. Yer karmaşıklığı ise $O(5n)$ dir [2].

3. FYFEE KODLAR

Fyfee Kodların amacı, Huffman algoritması ile üretilen kod sözcüğü uzunluklarını hızlı bir şekilde tahmin etmektir. Herhangi bir mesaj için n sembolden oluşan bir alfabe $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$, sembollerin olasılık dağılımı $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ ve $c_i \in \{0, 1\}$ olmak üzere kod sözcükleri kümesi $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ olsun. l_i , c_i 'nin uzunluğu ya da içerdiği bitlerin sayısıdır. L uzunluk kümesi ve $l_i \in L$ dir. Herhangi bir kod sözcüğünün uzunluğu Eşitlik 2’de verilmiştir [18].

$$l_i = -\log(p_i) \quad (2)$$

Ancak, l_i tamsayı olmak zorunda olduğundan Eşitlik 2 aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\lceil -\log(p_i) \rceil \leq l_i \leq \lfloor -\log(p_i) \rfloor$$

Ana fikir, başlangıçta her bir kod sözcüğünün uzunluğunu $\lceil -\log(p_i) \rceil$ ’ye ayarlamak ve

$$\sum_{i=1}^n 2^{-l_i} = 1 \quad (3)$$

oluncaya kadar uzunluk değerini sırayla bir derece azaltmaktır. Burada Eşitlik 3 kod sözcüklerini temsil eden ikili kod ağacının tam bir ağaç olduğunu, yani iç düğümlerin ikişer çocukları olduğunu gösterir. Aynı zamanda kod sözcüklerinin tek olduğunu, diğer bir deyişle “prefix-free” özelliğine sahip olduğunu da ifade eder (Kraft-MacMillan eşitsizliği: $\sum_{i=1}^n 2^{-l_i} \leq 1$).

Hangi l_i değerinin azaltılacağını belirlemek için bir R (artık değer) değişkeni tanımlanır (Eşitlik 4):

$$R = 1 - \sum_{i=1}^n 2^{-l_i} \quad (4)$$

$R < 0$ olması; kod ağacında eksik çocuklu düğüm olduğunu, $R > 0$ olması da fazla çocuklu düğüm olduğunu gösterir. $R = 0$ olduğu zaman tam bir kod sözcükleri kümesi elde ederiz. Hangi uzunluk değerini azaltacağımıza karar vermek için 2^{-l_i} ve R karşılaştırılır. Eğer $2^{-l_i} > R$ ise, herhangi bir işlem yapılmaz. Eğer $2^{-l_i} \leq R$ ise, l_i 1 eksiltilir.

S	P	L	2^{-l_i}
A	0,6	1	0,5
B	0,25	2	0,25
C	0,1	4	0,0625
D	0,05	5	0,03125

R= 0,15625

L	2^{-l_i}
1	0,5
2	0,25
3	0,125
5	0,03125

R= 0,09375

L	2^{-l_i}
1	0,5
2	0,25
3	0,125
4	0,0625

R= 0,0625

L	2^{-l_i}
1	0,5
2	0,25
3	0,125
3	0,125

R= 0

Şekil 2. Fyfee kod örneği

Basit bir örnekle işlemi anlatabiliriz. Sembol kümemiz (alfabe) $S=\{A, B, C, D\}$ ve olasılık dağılımı $P=\{0,6, 0,25, 0,1, 0,05\}$ olsun. Her bir s_i için l_i , 2^{-l_i} ve R hesaplanır. İşlem adımları Şekil 2’de gösterilmiştir. 1. adımda, her bir yukarı yuvarlanmış l_i değeri bulunur ve R , Eşitlik 3’e göre hesaplanır. En sık ağırlıklı sembolden başlayarak her 2^{-l_i} terimi R ile sırayla karşılaştırılır. 2^{-l_1} ve 2^{-l_2} değerleri $R=0,15625$ ’den büyüktür. 2^{-l_3} ise R ’den küçük olduğu için $l_3, 1$ azaltılır. Yeni değerler 2. tabloda gösterilmiştir. 2. adımda 2^{-l_4} değeri güncellenmiş R ’den küçüktür ve $l_4, 1$ azaltılır. Sonraki adımda 2^{-l_4} değeri R ’ye eşit olduğundan tekrar 1 azaltılır. Artık $R=0$ olduğundan süreç sonlandırılır. Son L değerleri “prefix free” özellikli kod sözcüklerinin uzunluklarıdır. Sonraki işlem bu uzunluklardan kod sözcüklerinin kanonik formda elde edilmesidir.

4. POLAR KODLAR

Polar kodlar, Huffman kodlayıcı gibi veri sıkıştırma amacıyla kullanılan değişken uzunluklu ve “prefix-free” özellikli kodlardır. Polar kodların hesaplanması Fyfee kodları gibi basittir. Uzunlukları elde etmek için olasılıklar yerine

S	F	Yuvarlama
A	60	32
B	25	16
C	10	8
D	5	4
Total	100 (T)	128 (T1)

Katlama 1	Katlama 2	Ayar 1	Uzunluk
64	128	64	1
32	64	32	2
16	32	16	3
8	16	16	3
120 (Tn)	240 (Tn)	128 (Tn)	

Şekil 3. Polar kod örneği

sembol frekansları kullanılır. Polar yöntemi şu şekilde çalışır: Alfabe ve frekansları $S=\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ ve $F=\{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ olsun.

Frekansların toplamı $T=\sum_{i=1}^n f_i$, l_i de kod sözcükleri kümesi $C=\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ den herhangi bir c_i kod sözcüğünün uzunluğu olsun. Tüm semboller, hâlihazırda frekanslarına göre sıralıdır. Önce frekanslar toplanır ve toplam T_1 , 2’nin en yakın kuvvetine yukarı yuvarlanır. Her frekans değeri ise 2’nin en yakın kuvvetine aşağıya doğru yuvarlanır. Sıralanmış listede yukarıdan aşağıya doğru gidilerek ikinin kuvveti olarak yazılan frekans değerleri ikiyle çarpılır (katlama). İkiyle çarpma işlemi, frekansların toplam T_n değeri T_1 değerine eşit veya daha büyük oluncaya kadar devam eder. Eğer $T_1 = T_n$ ise, katlama işlemi durdurulur. Eğer T_n, T_1 den daha büyükse, $T_n = T_1$ oluncaya kadar ilk satırdan başlayarak tüm frekans değerleri sırayla ikiye bölünür. $T_n = T_1$ olduğu zaman işlem sonlandırılır. Bu durumda uzunluk Eşitlik 5’teki gibi hesaplanır:

$$l_i = \log T_n - \log F_i \quad (5)$$

F_i , son adımdaki i . frekans değeridir. 2. Başlıktaki örnekle Polar kodların oluşturulmasını açıklayalım. Alfabemiz $S=\{A, B, C, D\}$ ve frekansları $F=\{60, 25, 10, 5\}$ kümesidir. İşlem adımları Şekil 3’de gösterilmiştir. Öncelikle, frekanslar aşağıya doğru ikinin en yakın kuvvetine

yuvarlanır. Frekansların ilk toplamı ise yukarı doğru ikinin en yakın kuvvetine ($T_1 = 128$) yuvarlanır. Sonra yuvarlanmış frekans değerleri

ikiyle çarpılarak katlanır ve toplamları (T_n) hesaplanır. $T_n=120 < T_1$ olduğu için katlama devam eder. Sonraki adımda $T_n=240$ olur ve katlama durdurulur. T_n, T_1 'den daha büyük olduğu için $T_n=T_1$ oluncaya kadar son frekans değerleri sırayla ikiye bölünerek düşürülür. Gerekirse bölünme işlemi baştan başlayarak tekrar edilebilir. $T_n=T_1$ olduğu zaman kod sözcüklerinin uzunlukları Eşitlik 5'e göre hesaplanır. Sonraki adım uzunluklar kullanılarak kod sözcüklerinin bulunmasıdır.

Gerçekte, Polar kodlar ve Fyfee kodlar çok farklı algoritmalar değildir. Tek fark; Polar kodlar ağırlıkların logaritmasını aşağıya yuvarlarken, Fyfee kodlar yukarıya doğru yuvarlar. Ayar aşamasından önce, uzunluklardan R değeri hesaplandığında görülecektir ki, Fyfee kodlar için $R > 0$ ve Polar kodlar için $R < 0$ 'dır. Her ikisinde de amaç R değerini sıfırlamaktır.

5. KANONİK HUFFMAN KOD UZUNLUKLARININ CEBİRSEL YOLLA ELDESİ

Bu makalede önerilen algoritma, geleneksel Huffman algoritmasının aksine, Fyffe ve Polar kodlar gibi yukarıdan aşağıya bir tasarıma sahiptir. Bununla birlikte, sembol başına ortalama bit uzunluğu optimum değere Fyffe ve Polar kodların sembol başına ortalama uzunluklarından daha yakındır.

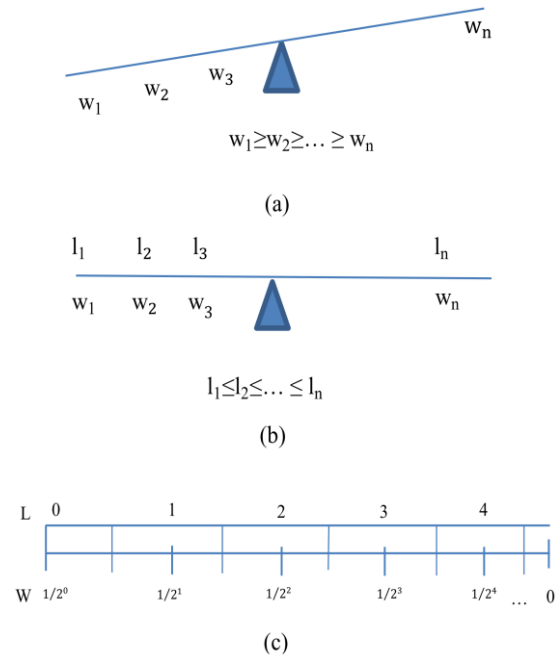
Bu algoritmanın amacı optimum veya optimuma yakın "prefix free" özellikli kod uzunluklarını basit ve hızlı şekilde elde etmektir. Kullanılan ağırlık dizisinin sıralı olması şartı ile tüm süreç $\Theta(n)$ zamanda tamamlanır ve hafıza gereksinimi $\Theta(n)$ kelimedir. Burada n sembol sayısıdır. Bu noktadan sonra önerilen algoritma CKHK (Cebirsel Kanonik Huffman Kodlama) kısaltması ile anılacaktır.

5.1. CKHK Algoritması

Bir tahterevallimiz olduğunu var sayalım. Elimizdeki ağırlıkları, bu tahterevalliyeye sırayla bir

uçtan bir uca yerleştirelim. Doğal olarak en ağır kısım aşağıya gelecektir (Şekil 4a). Amacımız bu tahterevalliyi dengeye veya dengeye en yakın konuma getirmektir. Bunu yapmak için, tahterevallinin en hafif ucuna daha ağır ve en ağır ucuna da daha hafif olmak üzere karşıt ağırlıklar yerleştiririz. Tahterevallimizdeki ağırlıklar, bir mesajdaki sembollerin frekansı veya olasılıklarıdır. Bu ağırlıkları dengelemek için kullanılan karşıt ağırlıklar ise kullanılan sembolere karşılık gelen kod sözcüklerin uzunluklarıdır (veya bit sayıları).

Bu durumda, en ağır kısma en kısa ve en hafif kısma en uzun uzunluk değeri karşılık gelmesi için uzunluk değerleri tahterevalli üzerinde sıralanmış olmalıdır (Şekil 4b). Problemimiz, tahterevalliyi dengeye veya dengeye en yakın konuma getirmek için kod sözcüklerinin uzunluklarının belirlenerek ağırlıklarla eşleştirilmesidir.



Şekil 4. Ağırlık ve uzunlukların eşleştirilmesi

Shannon'un Bilgi Teorisi (Information Theory) ve gözlemler bize ağırlıklar ve uzunluklar arasındaki ilişkiyi vermektedir (Şekil 4c). Elimizde bir alfabe ve sembollerin olasılık dağılımı olsun:

$S=\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$, $P=\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$. Burada n sembol sayısıdır ve P tahterevallimizdeki ağırlıklardır. Shannon, p_i olasılığına sahip s_i sembolü ile ilişkili kod sözcüğünün uzunluğunun, $1 \leq i \leq n$ olmak üzere, Eşitlik 2 ile hesaplanacağını belirtmiştir [18]. Ancak, uzunluk değeri olarak, l_i kesirli sayı olamayacağı için formül en yakın tamsayıya yuvarlanır. Bununla birlikte $p_i \geq 0,7$ değerleri için Eşitlik 1, $l_i \leq 0,51$ değerlerini üretir. Bu durumda l_i değeri, en yakın tamsayıya yuvarlanacağı için sıfır olmaması için doğrudan 1 alınır. Böylece aşağıdaki formül elde edilir (Y , en yakın tamsayıya yuvarlama fonksiyonu olmak üzere):

$$l_i = \begin{cases} 1 & \text{eğer } p_i \geq 0,7 \text{ ise} \\ Y(-\log(p_i)) & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (6)$$

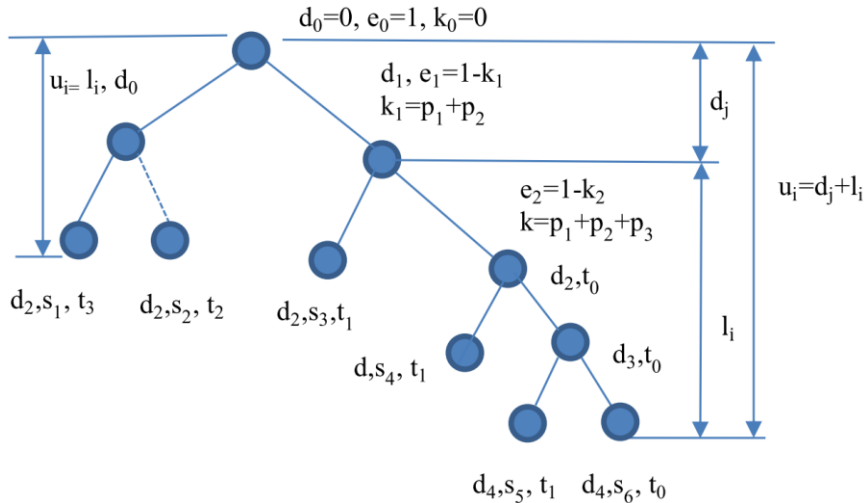
Gerçekte, kod uzunluklarını içeren uzunluk dizisi, ikili “prefix free” özellikli bir ağaca karşılık gelir. Tam bir ağaç yapısı elde etmek için Eşitlik 3’ün sağlanması gereklidir. Bundan dolayı bazı parametrelere ihtiyacımız olacaktır.

Süreç boyunca, p_i küçüldükçe, l_i ’nin hesaplanmasında hata oluşur. Bu nedenle ölçeklendirme gerekli olur. Ölçeklendirme iki parametre kullanılarak yapılır: e_i ve k_i . k_i , işlem anına kadar hesaplanan olasılık değerlerinin

kümülatif toplamıdır: $k_i = \sum_{x=1}^{i-1} p_x$. e_i ise, kalan olasılıkların toplamıdır: $e_i = 1 - k_i$. Böylece ölçeklendirilmiş Eşitlik 6 aşağıdaki gibi formüle dönüşür:

$$l_i = \begin{cases} 1 & \text{eğer } p_i \geq 0,7 \text{ ise} \\ Y(\log(e_i / p_i)) & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (7)$$

Parametreleri bir hayali ağaç üzerinde ele alırsak, işlem anında, e_i ’nin ait olduğu düğüm, referans düğümdür. l_i , referans düğümden i . sembole olan uzaklıktır. Kökten i . sembole olan uzaklık ise u_i ’dir. Kökten referans düğüme olan uzunluğa d_j diyelim. Eğer $d_j = 0$ ise, referans düğüm köktür. Eğer $d_j \neq 0$ ise, $1 \leq j \leq n - 1$ ve u_i , i . sembole karşılık gelen kod sözcüğünün gerçek uzunluğu olmak üzere, i . kod sözcüğünün uzunluğu, $u_i = d_j + l_i$ formülü ile verilir. N_j , d_j uzaklığındaki düğümlerin ve yaprakların sayısı olsun. Herhangi bir referans düğüme göre d_j uzaklığındaki yaprakların ve düğümlerin sayısı $N_j = 2^{d_j}$ formülü ile verilir. d_j uzaklığındaki a_i sembolünün konumu, $0 \leq m \leq N_j - 1$ olmak üzere, $t_m = (2^{u_i - u_{i-1}} * t_{m-1}) - 1$ eşitliği ile tanımlanır. Tüm parametreler, “prefix free” özellikli hayali bir ağaç yardımı ile Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. “prefix free” özellikli hayali bir ağaç üzerinde parametreler

e_i ve d_j parametrelerinin değerleri, d_m parametresinin önceki değerine göre değişir:

$$e_i = \begin{cases} e_i = 1 - k_{i-1} & \text{eğer } d_{m-1} \leq \frac{N_j}{2} \text{ ise} \\ e_i = e_{i-1} & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

$$d_j = \begin{cases} d_j = d_{j-1} + 1 & \text{eğer } d_{m-1} \leq \frac{N_j}{2} \text{ ise} \\ d_j = d_{j-1} & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

s_n için, $e_n = 1 - k_{n-1}$ ve $e_n = p_n$ olması nedeni ile Eşitlik 7 sıfıra eşit olur. Bundan dolayı, u_n doğrudan d_j olarak alınabilir.

Böylece herhangi bir kod sözcüğünün uzunluğunu hesaplamak için gerekli tüm parametreler tanımlanmıştır. Uzunluklar elde edildikten sonra kod sözcükleri de kanonik formda kolaylıkla elde edilir. Örneğin, $U=(1,2,3,3)$ ise, kod sözcükleri $C=(0, 10, 110, 111)$ olur.

5.2. CKHK Sözde Kodu

Ağırlıkları verilen semboller ile ilişkilendirilmiş kod sözcüklerinin uzunluklarını hesaplayan algoritma aşağıda verilmiştir. Giriş verileri ağırlık dizisi ve toplam ağırlık değeridir. Ağırlık, olasılık dağılımı olarak verilirse toplam ağırlık değeri 1'dir. i . uzunluk hesaplandıktan sonra, ağırlık dizisinin i . pozisyonuna yazılır. Bu sayede, uzunlukları hesaplamak için n boyutlu bir dizi yeterlidir.

Girdi:

Sıralı ağırlık dizisi W , $T_w =$ Toplam Ağırlık Parametreler:

// $U_$ ifadesi önceki değeri gösterir.

$E = T_w$, $K = 0$, $D = 0$, $U_ = 0$, $d = 1$, $N = 1$, $L = 0$, $i = 1$;

Başla

Yap, $W_i < n$ iken, // n alfabedeki sembol sayısı

```
{
    Eğer  $d \leq N/2$  ise
     $E = T_w - K$ ,  $D = D + 1$ ;
    Eğer  $(W_i/E \geq 0,7$  ve  $i < n)$  ise  $L = 1$ 
    Yoksa  $L = \text{yuvarla}(\log(E/W_i))$ ;
     $W_i = D + L$ ;
```

```
// ^ kuvvet işareti
 $d = [2^L (W_i - U_)] - 1$ ;
 $N = 2^L$ ;
 $K = K + W_i$ 
 $i++$ ;
```

}

Son

Çıktı:

W Uzunluk dizisi

Algoritma her durum için n adımda tamamlanır. Bu nedenle algoritmanın zaman karmaşıklığı $\Theta(n)$ 'dir. Nadiren, algoritmanın çıktısının sırası bozulabilir. Herhangi bir 1 değerinden sonra 1-1 gelebilir. Bu durumda, 1 ve 1-1 yer değiştirilir. Bu değişikliğin ortalama bit uzunluğunda olumlu etkisi gözlenmiştir ve zaman karmaşıklığı üzerindeki etkisi ihmal edilebilir. Ağırlık dizisi kod sözcüklerinin uzunlukları için de kullanıldığı için yer karmaşıklığı $\Theta(n)$ kelimedir.

6. TEST SONUÇLARI

Fyffe kodlar, Polar kodlar, standart Huffman algoritması (SHA) ve CKHK sembol başına ortalama bit uzunluğu cinsinden karşılaştırılarak test edilmiştir. Her bir algoritma için, önce kod sözcükleri uzunlukları bulunmuş, sonrada Eşitlik 1 kullanılarak sembol başına ortalama bit uzunlukları hesaplanmıştır. Tüm hesaplamalar sıfır dereceli entropiye göre yapılır.

Farklı tipte dosyalar içerdiği ve herkes tarafından kolayca erişilebildiği için Calgary Corpus test için seçilmiştir (<http://corpus.canterbury.ac.nz/resources/calgary.tar.gz>, Son erişim: 20.05.2019). Test sonuçları Çizelge 1'de gösterilmektedir.

Çizelge 1. Algoritmaların sembol başına bit uzunlukları

Calgary	Alphabet Size	Size (Byte)	Entropy	SHA	CKHK	Fyffe Codes	Polar Codes
Bib	82	111,261	5,200793	5,231822	5,232128	5,301720	5,327920
Book1	83	768,771	4,527168	4,561832	4,562575	4,647248	4,642746
Book2	97	610,856	4,792659	4,823421	4,828855	4,942489	4,893130
Paper1	96	53,161	4,983211	5,016911	5,017023	5,100655	5,112035
Paper2	92	82,199	4,601595	4,634246	4,637324	4,737263	4,679051
Paper3	85	46,526	4,665368	4,689986	4,691942	4,781030	4,740753
Paper4	81	13,286	4,700514	4,733350	4,733725	4,838865	4,826597
Paper5	92	11,954	4,936995	4,973651	4,974822	5,025094	4,979841
Paper6	94	38,105	5,009809	5,043799	5,045925	5,110586	5,131869
News	99	377,109	5,189671	5,227024	5,229750	5,303068	5,239286
Geo	257	102,400	5,646497	5,668656	5,669730	5,739534	5,679359
Obj1	257	21,504	5,948630	5,971774	5,973076	6,028924	5,984329
Obj2	257	246,814	6,260434	6,291299	6,293139	6,378133	6,363673
Pic	160	513,216	1,210213	1,660945	1,661574	1,668616	1,667565
Progc	93	39,611	5,199307	5,233919	5,234348	5,316975	5,282642
Progl	88	71,646	4,770264	4,799545	4,799601	4,828409	4,856616
Progp	90	49,379	4,869019	4,895200	4,896861	4,967477	4,943175
Trans	100	93,695	5,532914	5,568616	5,569352	5,632642	5,586194

SHA ile üretilen kodlar optimum kodlar olduğu için karşılaştırmalar, optimuma yakın kodlar üreten CKHK, Fyffe ve Polar kodlar arasında yapılmıştır. Sonuçlar, tüm dosyalar için optimum olan SHA değerlerine en yakın değerlerin CKHK olduğunu göstermektedir. Ayrıca SHA'dan sapma yüzdeleri

(hata yüzdeleri) Çizelge 2'de gösterilmektedir. SHA ve CKHK arasındaki fark çok az olduğundan, bu algoritmaların hangisinin kullanılacağı kullanıcının seçimine bağlıdır (optimumluk, hız ve basitlik tercihi).

Çizelge 2. Algoritmaların SHA'ya göre hata yüzdeleri (%)

Calgary	CKHK-SHA	Fyffe-SHA	Polar-SHA
Bib	0,03	6,99	9,61
Book1	0,07	8,54	8,09
Book2	0,54	11,91	6,97
Paper1	0,01	8,37	9,51
Paper2	0,31	10,30	4,48
Paper3	0,20	9,10	5,08
Paper4	0,04	10,55	9,32
Paper5	0,12	5,14	0,62
Paper6	0,21	6,68	8,81
News	0,27	7,60	1,23
Geo	0,11	7,09	1,07
Obj1	0,13	5,72	1,26
Obj2	0,18	8,68	7,24
Pic	0,06	0,77	0,66
Progc	0,04	8,31	4,87
Progl	0,01	2,89	5,71
Progp	0,17	7,23	4,80
Trans	0,07	6,40	1,76

Polar kodlar ile bazı dosyalar sıkıştırılırken bazı sorunlarla karşılaşmıştır. Örneğin, “book2” ve “news” dosyalarında $S_n \gg S_{n-1}$ durumu oluşmuştur. Burada s , kullanılan alfabe-deki herhangi bir sembol ve n , sembol sayısıdır. Bu durumda algoritma çözümsüz kalmakta, döngüye girmektedir. Diğer bir de-ğişle R , sıfır olamamaktadır. Bu sorun, $S_n = S_{n-1}$ alınarak çözülmüştür. Çünkü tam bir ikili ağaç yapısında son iki eleman her zaman aynı olmak zorundadır. Diğer bir sorunla “pic” dosyasının sıkıştırılmasında karşılaşmıştır. Alfabe-deki bir sembol, örneğin s olsun, %87 olasılığa sahiptir. Bu durumda da, s ile ilişkili kod sözcüğünün uzunluğu sıfır olmaktadır. Dolayısı ile algoritma uygulanırken $R=0$ eşitliği sağlanamamaktadır. Bu sorunun çözümü s 'ye ait kod sözcüğünün uzunluğu 1 alınarak bulunmuştur. Bu durumda olması gerekenin aksine $R>0$ olmuştur. Yani problem Fyffe algoritması ile çözülecek duruma dönüştürülmüştür. Söz konusu bahsedilen problemler ve çözümlerinden ilgi linkte [5] bahsedilmemektedir.

7. SONUÇ

Bu makalede, kanonik “prefix free” özellikli kodların yapımı için hızlı bir algoritma önerilmiştir. Bu algoritma ile “prefix-free” özellikli kanonik kod sözcüklerinin uzunlukları ağırlıklarına göre cebirsel hesaplama yoluyla bulunur. Daha sonra kod sözcükleri, bu uzunluklar kullanılarak kanonik formda elde edilir. Süreç $\Theta(n)$ zamanda tamamlanır ve $\Theta(n)$ kelime-lik hafıza kullanır. Bununla birlikte, elde edilen sonuçlar genellikle optimum de-ğil, optimuma çok yakındır. Çalışma sonuçları SHA ve CKHK arasındaki farkın benzerleri ile karşılaştırıldığında oldukça küçük olduğunu göstermiştir.

CKHK algoritması çok basittir ve uygulaması kolaydır. Hızı, basitliği ve kullandığı hafıza miktarı düşünül-duğünde, HTML sayfaları ve çevrim içi oyunlar gibi birçok uygulamada tercih edilebilir. CKHK, ayrıca hızın sıkıştırma oranından daha önemli olabileceği daha büyük alfabelerde de tercih edilebilir. Bu durumda, SHA ve CKHK arasındaki fark, sıkıştırılmış akış boyutu açısından ihmal edilebilir.

Bir sonraki çalışma olarak CKHK'nin adaptif versiyonunun geliştirilmesi planlanmaktadır. Bağlam (context) tabanlı adaptif CKHK uygulamasının hız ve sıkıştırma oranı açısından benzerlerine göre daha iyi sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir.

8. KAYNAKLAR

1. Huffman, D., 1952. A Method for the Construction of Minimum Redundancy Codes, Proceedings of the IRE, 40(9), 1098-1101.
2. Moffat, A., Katajainen, J., 1995. In-place Calculation of Minimum-redundancy Codes, In: Akl S.G., Dehne F., Sack JR., Santoro N. (eds) Algorithms and Data Structures. WADS 1995. Lecture Notes in Computer Science, 955. Springer, Berlin, Heidelberg.
3. Moffat, A., Turpin, A., 1998. Efficient Construction of Minimum-redundancy Codes for Large Alphabets, in IEEE Transactions on Information Theory, 44(4), 1650-1657.
4. Geldreich, R., Izhm-Fyffe Codes.wiki, <https://code.google.com/archive/p/Izhm/wikis/FyffeCodes.wiki>, Son Erişim: 25.04.2019.
5. Polar, A., Non-Huffman Binary Tree, http://www.ezcodesample.com/prefixer/prefixer_article.html, Last Access 25.04.2019.
6. Dubé, D., Beaudoin, V., 2008. Fast Construction of Disposable Prefix-Free Codes, Comptes-rendus du International Colloquium on Signal Processing and its Applications, Kuala Lumpur, Malaisie, 49-54.
7. Hosseini, M., 2012. A Survey of Data Compression Algorithms and their Applications, 10.13140/2.1.4360.9924.
8. Navarro, G., Ordóñez, A., 2013. Compressing Huffman Models on Large Alphabets, In Proc. 23rd Data Compression Conference (DCC), 381-390.
9. Shahbahrami, A., Bahrampour, R., Rostami, M.S., Mobarhan, M.A., 2011. Evaluation of Huffman and Arithmetic Algorithms for Multimedia Compression Standards,

- International Journal of Computer Science, Engineering and Applications (IJCSEA), 1(4),
10. Moffat, A., Turpin, A., 1997. On the Implementation of Minimum Redundancy Prefix Codes, in IEEE Transactions on Communications, 45(10), 1200-1207.
 11. Leeuwen, J.Van., 1976. On the Construction of Huffman Trees, ICALP, 382-410.
 12. Barbay, J., 2016. Optimal Prefix Free Codes with Partial Sorting, 27th Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching (CPM 2016) 29, 1-13.
 13. Chen, Y., Wan, G.C., Xia, Z.W., Tong, M.S., 2017. A Hardware Design Method for Canonical Huffman Code, 2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium-Fall (PIERS - FALL), Singapore, 2212-2215.
 14. Moffat, A., Witten, I.H., Bell, T.C., 1999. Managing Gigabytes: Compressing and Indexing Documents and Images, Second Edition, Academic Press, 36.
 15. Connell, J.B., 1973. A Huffman-Shannon-Fano Code, in Proceedings of the IEEE, 61(7), 1046-1047.
 16. Nekritch, Y., 2000. Byte-oriented Decoding of Canonical Huffman Codes, 2000 IEEE International Symposium on Information Theory (Cat. No.00CH37060), Sorrento, 371.
 17. Chen, Y., Wan, G.C., Xia, Z.W., Tong, M.S., 2017. A Hardware Design Method for Canonical Huffman Code, Progress in Electromagnetics Research Symposium-Fall (PIERS - FALL), Singapore, 2212-2215.
 18. Shannon, C.E., 1948. A Mathematical Theory of Communication, in the Bell System Technical Journal, 27(4), 623-656.

Birinci Mertebe Kayma Deformasyon Teorisine Dayalı FD Düz Eksenli Kirişlerin Serbest Titreşim Analizi

Timuçin Alp ASLAN^{*1}, Ahmad Reshad NOORI², Beytullah TEMEL¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana
²İstanbul Gelişim Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Geliş tarihi: 19.09.2019 Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Bu çalışmada, birinci mertebe kayma deformasyon teorisine dayalı doğru eksenli fonksiyonel derecelenmiş (FD) malzemeli kirişlerin serbest titreşim özellikleri incelenmiştir. Malzeme özelliklerinin sadece kiriş kalınlığı boyunca değiştiği kabulü yapılmıştır. Malzeme değişim katsayısının, uzunluk/kalınlık oranlarının ve sınır koşullarının kirişlerin serbest titreşim davranışı üzerindeki etkileri de parametrik olarak incelenmiştir. Bu kirişlerin serbest titreşim davranışını idare eden hareket denklemleri, Timoshenko kiriş varsayımına dayalı minimum toplam enerji ilkesi kullanılarak elde edilmiştir. Kanonik halde elde edilen bu adi diferansiyel denklemler Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi (TFY) ile sayısal olarak çözülmüştür. Hesaplanan doğal titreşim frekansları, literatürdeki mevcut çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmış ve bunlarla uyum içerisinde olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fonksiyonel derecelenmiş malzeme, Tamamlayıcı fonksiyonlar yöntemi, Serbest titreşim analizi

Free Vibration Analysis of FG Straight-Axis Beams Based on the First-Order Shear Deformation Theory

Abstract

In this work, the free vibration characteristics of functionally graded (FG) beams with straight-axis are investigated based on the first-order shear deformation theory (FSDT). It is assumed that the material properties change only through the thickness of the beam. The effects of the coefficient of variation, length/thickness ratios and boundary conditions on the free vibration behavior of the beams are also examined in a parametric manner. The equations of motion, governing the free vibration behavior of these beams are obtained using the principle of minimum total energy based on the Timoshenko's beam assumption. These ordinary differential equations (ODEs) obtained in the canonical form are solved numerically by the Complementary Functions Method (CFM). The calculated natural vibration frequencies are compared with the results of the existing studies in the literature and shown to be in agreement with them.

Keywords: Functionally graded materials, Complementary functions method, Free vibration analysis

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

1. GİRİŞ

FD kirişlerde malzeme özellikleri, belli bir fonksiyona bağlı olarak kirişin kalınlığı veya eksenini boyunca, yavaşça veya kademeli olarak değiştirilmesiyle elde edilmektedir. Bu tür kirişler çeşitli mühendislik uygulamalarında yapısal elemanlar olarak kullanılmaktadır. Servis ömrü boyunca çeşitli statik ve dinamik yüklerin etkisinde kalabilmektedir. Bu nedenle FD malzemeli kirişlerin statik ve dinamik davranışlarının incelenmesi yapı mekaniğinin en önemli araştırma konularından biridir.

Aydoğdu ve Taşkın [1], basit mesnetli FD malzemeli kirişin serbest titreşimini çeşitli yüksek mertebe ve klasik kiriş teorilerini kullanarak incelemiştir. Hareket denklemlerini Hamilton prensibi ile elde edip, Navier yöntemi yardımıyla kirişin doğal frekanslarını bulmuşlardır. Li [2], FD kirişlerin statik ve dinamik davranışlarını analiz etmek için yeni bir birleşik yaklaşım ileri sürmüştür. Dördüncü dereceden kısmi diferansiyel denklemi türetmiş ve problemin fiziksel niceliklerini bu denklemin çözümüyle elde etmiştir. Kirişin frekans denklemini belirleyerek serbest titreşim analizini yapmıştır. Sina ve arkadaşları [3], birinci mertebe kayma deformasyon yaklaşımından farklı yeni bir kiriş teorisi kullanarak, FD kirişlerin serbest titreşim frekanslarını elde etmiştir. Kirişte yanal normal gerilmelerin sıfır olduğunu varsayarak Hamilton prensipleri yardımıyla hareket denklemlerini türetmiştir. Analitik yöntemden faydalanarak serbest titreşim analizini idare eden diferansiyel denklemi çözmüştür. Çeşitli sınır koşulları ve farklı kiriş teorileri arasında karşılaştırılmalar yapmıştır. Şimşek [4], hareketli bir kütle ile yüklenebilir basit mesnetli FD kirişin titreşim davranışını Euler-Bernoulli, Timoshenko ve üçüncü mertebe kayma deformasyon teorilerinden faydalanarak incelemiştir. Kirişin malzeme özelliklerinin kalınlık boyunca sürekli olarak değiştiğini varsaymıştır.

Alshorbagy ve ark. [5], malzeme değişim katsayısına dayalı olarak, FD kirişin dinamik karakteristiği üzerine çalışmışlardır. Farklı malzeme dağılımları, çeşitli kalınlık oranları ve

sınır şartlarının kirişin dinamik karakteristiği üzerindeki etkilerine ait sayısal sonuçları çizelge ve grafik formunda sunmuşlardır. Ayrıca bu etkilerin kirişin dinamik davranışı üzerinde çok önemli rol oynadığını vurgulamışlardır. Sanjay ve arkadaşları [6], kirişlerin serbest titreşim analizini araştırmak için biri Euler-Bernoulli kiriş teorisine dayanan, diğeri Timoshenko kiriş teorisine dayanan iki ayrı sonlu eleman formülasyonu geliştirmişlerdir. Sonlu elemanlar yönteminin denklemlerini elde etmek için Virtüel iş prensibini kullanmışlardır. Thai ve Vo [7], literatürde bulunan çeşitli yüksek mertebe kayma deformasyonu teorilerini FD kirişlerin serbest titreşim analizlerinde kullanmışlardır. Göz önüne alınan teorilerde, kiriş yüksekliği boyunca kayma şekil değiştirmesinin yüksek mertebe değişimi dikkate alınmaktadır. Pradhan ve Chakraverty [8], analizlerini klasik ve birinci mertebeden kayma deformasyon kiriş teorilerine dayandırmaktadırlar. Kalınlık boyunca malzeme özellikleri değişen kiriş kesitlerinin yer değiştirme bileşenlerini gösteren deneme fonksiyonları, basit cebirsel polinom formlarında ifade edilmiştir. Temel denklemleri Rayleigh-Ritz metodu ile elde etmişlerdir.

Nguyen ve arkadaşları [9], eksenel yüklü kirişlerin statik ve serbest titreşimleri için birinci mertebe kayma deformasyon teorisini geliştirmişlerdir. Bu teoride, geliştirilen enine kayma rijitliğini, düzlem içi gerilme ve denge denklemlerinden elde etmiş ve böylece ilişkili kayma düzeltme faktörünü daha sonra analitik olarak elde etmişlerdir. Hareket denklemleri Hamilton ilkesinden türetilmiştir. Analitik çözümlerini, basit mesnetli FD kirişler için sunmuşlardır. Su ve arkadaşları [10] ise, FD kirişlerin serbest titreşim davranışını araştırmak için dinamik rijitlik matrisini geliştirmişlerdir. Serbest titreşimler için, Hamilton ilkesi yardımıyla hareket ve doğal sınır koşullarının temel denklemlerini türetmişler ve harmonik salınım için diferansiyel denklemleri kapalı formda çözmüşlerdir. Pradhan ve Chakraverty [11], kirişlerin farklı sınır şartları için farklı kayma deformasyon teorilerinin, serbest titreşim değerleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Su ve Banerjee [12], FD Timoshenko kirişlerin serbest titreşim frekanslarını, problemin dinamik rijitlik matrisini elde ederek araştırmışlardır. Hareketin

diferansiyel denklemleri çözülmüş ve eksenel kuvvet, kayma kuvveti ve eğilme momenti için ifadeler türetilmiştir. Jing ve arkadaşları [13], FD malzemeli kirişlerin statik ve serbest titreşim davranışını analiz etmek için merkezi sonlu hacim yöntemi ve Timoshenko kiriş teorisi kombinasyonuna dayanan yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Düzgün yayılı yük altında FD kiriş için, Hamilton prensibi kullanılarak, genel dinamik denklemleri türetilmiştir. Bu denklemler, statik eğilme problemi veya serbest titreşim problemi için basitleştirilmiştir. Avcar ve Alwan [14], Rayleigh kiriş teorisini kullanarak sabit mesnetli FD kirişin serbest titreşim analizini yapmışlardır. Lee ve Lee [15], Euler-Bernoulli kirişlerinin serbest titreşim davranışlarını transfer matrisi metoduyla incelemiştir. Yazarlar, kirişin iki ucunda sınır şartları arasında bir ilişki kurarak FD malzemeli kiriş için kesin transfer matrisini elde etmişlerdir. Malzeme özelliklerinin yükseklik boyunca kuvvet fonksiyonu şeklinde değiştiği durumlarda, problemin doğal frekansları ve mod şekillerinin hesabında bu metodun gayet kullanışlı olduğunu ifade etmişlerdir. Kahya ve Turan [16], FD kirişlerin serbest titreşim ve burkulma analizleri için birinci mertbe kiriş teorisine dayanan, beş düğüm noktalı ve on serbestlik dereceli bir sonlu eleman önermişlerdir. Turan ve Kahya [17] çalışmalarında, birinci mertbe kayma deformasyonu teorisine dayalı olarak FD kirişlerin doğal frekanslarını Navier çözüm yöntemi ile elde etmişlerdir. Hareket denklemlerini Lagrange eşitlikleri ile türetmiş, problemin çözümünde ise trigonometrik fonksiyonları kullanmışlardır.

Banerjee ve Ananthapurajah [18], FD kirişlerin veya çerçevelerin serbest titreşim analizi için dinamik rijitlik matrisi yöntemini uygulamıştır. Dinamik rijitlik matrisinde kuvvetlerin genliklerini kirişin iki ucundaki yer değiştirmeler ile ilişkilendirilerek formüle etmişler ve çözüm için Wittrick-Williams algoritmasını kullanmışlardır. Çelebi ve arkadaşları [19], düzlemsel elastisite teorisine ait hareket denklemlerini kullanarak, basit mesnetli FD yüksek kirişlerin serbest titreşim frekanslarını hesaplamışlardır. Çalışmada, denklemleri daha basit hale getirmek için değişkenlere ayırmışlar ve hareket denklemlerinin TFY yardımıyla çözümüne olanak sağlamışlardır.

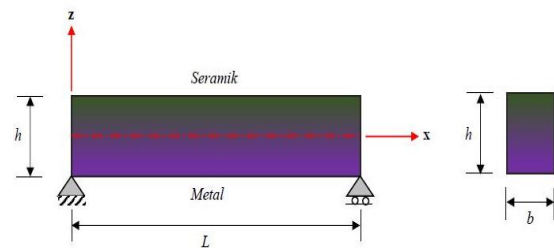
Yapılan araştırmalara göre, doğru eksenli kirişlerin çeşitli statik ve dinamik yüklemeler altındaki çözümlerinin birçok farklı yöntemle ele alındığı görülmüştür. Yazarların bilgisine göre, kalınlık boyunca FD malzemeli, doğru eksenli Timoshenko kirişlerinin serbest titreşim davranışını TFY ile inceleyen herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu tür kirişlerin serbest titreşim davranışları, ilk defa bu çalışmada TFY ile analiz edilmiştir. FD çubukların serbest titreşim davranışını idare eden kanonik denklemler birinci mertbe kayma deformasyon teorisine dayalı minimum toplam enerji prensibi ile elde edilmiştir. Timoshenko kirişlerinin doğal titreşim frekanslarını hesaplamak için Fortran dilinde bir bilgisayar programı yazılmıştır. Bu çalışmada malzeme değişim katsayısının, farklı sınır koşullarının ve kiriş boy-kalınlık oranlarının serbest titreşim frekansları üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde araştırılmıştır.

Bu çalışmanın temel amacı, kalınlık boyunca FD malzemeli Timoshenko kirişlerinin beklenen davranışını belirlemekle birlikte, bu metodun etkin ve kolayca uygulanabilirliğini de göstermektir.

2. MATERYAL VE METOT

Şekil 1’de görülen düz eksenli FD kirişin elastisite modülü, $E(z)$ ve kütleli yoğunluğu, $\rho(z)$ ’nin kiriş kalınlığı boyunca üstel olarak değiştiği kabulü yapılmıştır. Dolayısıyla malzeme özellikleri, z koordinatının fonksiyonlarıdır. Malzeme değişim fonksiyonu Eşitlik 1’de verilmektedir.

$$P(z) = (P_t - P_b) \left(\frac{z}{h} + \frac{1}{2} \right)^{nz} - P_b \quad (1)$$



Şekil 1. FD malzemeli kiriş ve enkesiti

Burada $P(z)$, malzeme özelliklerini ifade etmektedir. n_z ise, malzemeye ait hacim oranının kiriş kalınlığı boyunca dağılımını belirleyen malzeme değişim katsayısıdır. Timoshenko kiriş teorisine göre U_x ve U_z eksenel ve düşey yer değiştirmeleri, ε_x , x doğrultusundaki eksenel, γ_{xz} ise açılma şekli değiştirmeleri göstermekte olup, Eşitlik 2, 3, ve 4'te verilmektedir.

$$U_x = u(x, t) + z \theta(x, t) ; U_z = w(x, t) \quad (2)$$

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

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

İç kuvvetler ve gerilmeler arasındaki ilişki Eşitlik 5, 6 ve 7'deki gibi verilmektedir.

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

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

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

Yukarıdaki denklemlerde verilen kesit tesirlerinin açılımı ise Eşitlik 8, 9 ve 10'da gösterilmiştir.

$$N_x = b (A_{11} u' + A_{12} \theta') \quad (8)$$

$$Q_z = b A_{33} (\theta + w') \quad (9)$$

$$M_x = b (A_{12} u' + A_{22} \theta') \quad (10)$$

Burada A_{11} , A_{12} , A_{22} ve A_{33} kesit rijitlik sabitlerini ifade etmekte olup, aşağıda verilmiştir.

$$A_{11} = \int_{-h/2}^{+h/2} E(x, z) dz \quad (11)$$

$$A_{12} = \int_{-h/2}^{+h/2} E(x, z) z dz \quad (12)$$

$$A_{22} = \int_{-h/2}^{+h/2} E(x, z) z^2 dz \quad (13)$$

$$A_{33} = k_s \int_{-h/2}^{+h/2} \frac{E(x, z)}{2(1+\nu)} dz \quad (14)$$

FD çubuklar için kinetik enerji ve toplam potansiyel enerji ifadeleri, 15 ve 16 integralleri ile bulunmaktadır.

$$\Pi_t = \int_0^l \int_A \frac{1}{2} (\sigma_x \varepsilon_x + \tau_{xz} \gamma_{xz}) dA dx \quad (15)$$

$$T = \frac{1}{2} \int_0^l \int_A \rho(x, z) (\dot{U}_x^2 + \dot{U}_z^2) dA dx \quad (16)$$

Burada ρ , kütleli yoğunluğu, \dot{U}_x ve \dot{U}_z ise sırasıyla, kiriş üzerindeki bir noktanın hızının x (boyuna) ve z (düşey) bileşenleridir.

Kinetik enerjiden ve potansiyel enerjiyi çıkararak Sistemin Lagrangian'ı elde edilmektedir.

$$L = T - \Pi_t$$

$$L = l b \int_{-h/2}^{+h/2} \frac{1}{2} \rho(x, z) (\dot{u}^2 + 2 z \dot{u} \dot{\theta} + \dot{\theta}^2 z^2 + \dot{w}^2) - \left[\frac{1}{2} (\sigma_x \varepsilon_x + \tau_{xz} \gamma_{xz}) \right] dz \quad (17)$$

Hamilton Prensipleri ise, Lagrangian'ın zamana göre integralinin varyasyonunu sıfır yapan varsayımdır.

$$\delta \int_{t_0}^{t_1} L dt = 0 \quad (18)$$

Gerekli büyüklüklerin impulsif bileşenleri ve türevleri teşkil edilerek, FD malzemeli doğru eksenli kirişlere ait kısmi diferansiyel denklemler (19-24) elde edilmiştir. Burada I_0 , I_1 ve I_2 , kütleli atalet momentleridir.

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{A_{12}M_x - A_{22}N_x}{b(A_{12}^2 - A_{11}A_{22})}$$

(19) parametresi olup, kompleks bir sayıdır. Serbest titreşim analizleri için Laplace parametresi ‘s’, serbest titreşim parametresi “iω” ile değiştirilmiştir. (25-30) eşitlikleri aşağıdaki gibi matris formunda yazılabilir.

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \frac{Q_z}{b k_s A_{33}} - \theta$$

(20)

$$\frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{-A_{11}M_x + A_{12}N_x}{b(A_{12}^2 - A_{11}A_{22})}$$

(21) $\frac{d\{Y(x, \omega)\}}{dx} = F(x, \omega)Y^*(x)$ (31)

$$\frac{\partial N_x}{\partial x} = I_0 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + I_1 \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2}$$

(22)

$$\frac{\partial Q_z}{\partial x} = I_0 \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$$

(23)

$$\frac{\partial M_x}{\partial x} = Q_z + I_1 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + I_2 \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2}$$

(24)

$$\{Y(x, \omega)\} = \sum_{m=1}^6 C_m [U^{(m)}(x, \omega)] \quad (32)$$

Sistem hareket eşitliklerinin (19-24) Laplace dönüşümü alınrsa, kısmi diferansiyel denklemler dönüşmüş uzayda adi diferansiyel denklem takımı haline dönüşmektedir. Böylece, Laplace uzayında FD çubukların davranışını idare eden adi diferansiyel denklem takımı, kanonik formda aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$\frac{d\bar{u}}{dx} = \frac{A_{12}\bar{M}_x - A_{22}\bar{N}_x}{b(A_{12}^2 - A_{11}A_{22})}$$

(25)

$$\frac{d\bar{w}}{dx} = \frac{\bar{Q}_z}{b k_s A_{33}} - \bar{\theta}$$

(26)

$$\frac{d\bar{\theta}}{dx} = \frac{-A_{11}\bar{M}_x + A_{12}\bar{N}_x}{b(A_{12}^2 - A_{11}A_{22})}$$

(27)

$$\frac{d\bar{N}_x}{dx} = I_0 s^2 \bar{u} + I_1 s^2 \bar{\theta}$$

(28)

$$\frac{d\bar{Q}_z}{dx} = I_0 s^2 \bar{w}$$

(29)

$$\frac{d\bar{M}_x}{dx} = \bar{Q}_z + I_1 s^2 \bar{u} + I_2 s^2 \bar{\theta}$$

(30)

Burada (̄) ile gösterilen ifadeler büyüklüklerin Laplace Dönüşümünü göstermektedir. s, Laplace

Burada C_m , integrasyon sabitleri sınır şartlarından elde edilmektedir. Bu sabitler elde edilirken sınır şartları kullanılarak bir takım denklemler oluşturulur ve katsayılar matris formunda yazılır. Böylece katsayılar matrisinin determinantını sıfır yapan değerler serbest titreşim frekanslarını vermektedir. TFY ile sistemin kütle ve rijitlik matrisleri ayrı ayrı elde edilemediğinden, problemin öz vektörleri hesaplanmamaktadır.

Bunun yanı sıra, bu çalışmada önerilen yaklaşım Eşitlik 1 ile verilen malzeme değişim fonksiyonu ile sınırlı olmayıp, çeşitli malzeme değişim modelleri için de kolayca uygulanabilmektedir.

3. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu çalışmada, çeşitli malzeme derecelenme indisi ve farklı boy-kalınlık (L/h) oranları için farklı sınır şartlarına sahip FD kirişlerin boyutsuz serbest titreşim frekansları hesaplanmıştır. Çözümler için Fortran dilinde bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. TFY'ne dayalı başlangıç değer probleminin çözümü için 5. Mertebe Runge-Kutta (RK5) algoritması kullanılmıştır [20-21].

Çözümlerde Çizelge 1'de verilen malzeme sabitleri kullanılmıştır.

Çizelge 1. Malzemelerin mekanik özellikleri

Malzeme	E (Gpa)	ρ (kg/m ³)
Alüminyum (P_b)	70	2702
Seramik (P_r)	380	3960

Ele alınan FD kirişe ait geometrik özellikler şöyledir: kesit genişliği 0,1 m, yüksekliği 0,1 m ve kayma düzeltme faktörü 5/6 olarak alınmıştır.

Hesaplanan frekans değeri aşağıdaki ifade ile boyutsuz hale getirilmiştir.

$$\lambda = \frac{\omega L^2}{h} \sqrt{\frac{\rho_b}{E_b}} \quad (33)$$

Bu çalışmada, ilk olarak farklı boy/kalınlık oranları için ankastre-ankastre sınır şartlarına sahip FD kirişin boyutsuz frekansları elde edilmiştir. Bu çalışmada bulunan sonuçlar ve literatürde verilen değerler Çizelge 2’de karşılaştırılmıştır. Çizelge incelendiğinde, FD malzemeli kirişler için bu çalışmada elde edilen boyutsuz serbest titreşim frekanslarının literatürde verilen boyutsuz frekanslar ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Çizelge 2. Boyutsuz frekans değerleri

n_z	Mod	$L/h=5$		$L/h=20$	
		Li [2]	Bu çalışma	Li [2]	Bu çalışma
		1	4,266	4,255	4,517
5	3,754	3,744	4,023	4,009	

Farklı sınır şartlarının ve farklı boy-kalınlık (L/h) oranlarının FD kirişlerin frekansları üzerindeki etkilerini araştırmak için parametrik çalışmalar yapılmıştır. Ankastre-Ankastre (A-A), Sabit-Sabit (S-S), Ankastre-Sabit (A-S), ve Ankastre-Serbest (A-Se) sınır şartlarına sahip kirişler için ilk beş boyutsuz frekans değerleri hesaplanmış ve sırasıyla Çizelge (3-6)’da verilmektedir.

Çizelge 3. Ankastre-Ankastre sınır şartlarına ait boyutsuz frekans değerleri

L/h	Mod	n_z			
		0 (Seramik)	1	5	(Metal)
5	1	9,9975	7,9001	6,6425	5,1946
	2	22,8843	18,3024	15,0799	11,8905
	3	30,2314	25,2962	19,8529	15,7080
	4	38,1387	30,7064	25,0468	19,8165
	5	54,4934	44,0746	35,7270	28,3143

20	1	12,2201	9,4297	8,1682	6,3495
	2	32,9705	25,5056	22,0119	17,1312
	3	62,8988	48,7987	41,9286	32,6817
	4	100,6726	78,3502	66,9873	52,3086
	5	120,9255	101,4368	79,8102	62,8319

Çizelge 4. Sabit-sabit sınır şartlarına ait boyutsuz frekans değerleri

L/h	Mod	n_z			
		0 (Seramik)	1	5	(Metal)
5	1	5,1525	4,2550	3,7443	2,6772
	2	17,8711	13,7665	11,4730	9,2857
	3	30,2314	24,8023	19,4259	15,7080
	4	34,1449	27,0207	22,3860	17,7414
	5	51,8131	41,6357	34,1676	26,9217
20	1	5,4603	4,5024	4,0092	2,8371
	2	21,5732	16,6140	14,3803	11,2092
	3	47,5921	37,0334	32,0637	24,7285
	4	82,4397	63,4079	54,1806	42,8350
	5	120,9255	97,0143	78,6711	62,8319

Çizelge 5. Ankastre-sabit sınır şartlarına ait boyutsuz frekans değerleri

L/h	Mod	n_z			
		0 (Seramik)	1	5	(Metal)
5	1	7,4652	5,9047	5,0414	3,8788
	2	20,4884	16,1541	13,3985	10,6456
	3	30,2314	24,9074	19,5371	15,7080
	4	36,2214	29,0911	23,8821	18,8203
	5	53,2075	42,8104	34,8866	27,6462
20	1	8,4814	6,6185	5,7693	4,4068
	2	27,0276	20,9361	18,1251	14,0433
	3	55,0737	42,6640	36,7500	28,6159
	4	91,4633	70,8796	60,6328	47,5236
	5	120,9255	99,7341	78,8275	62,8319

Çizelge 6. Ankastre-Serbest sınır şartlarına ait boyutsuz frekans değerleri

L/h	Mod	n_z			
		0 (Seramik)	1	5	(Metal)
5	1	1,8944	1,4628	1,2643	0,9843
	2	10,2025	7,9720	6,7245	5,3011
	3	15,1157	12,7061	10,0311	7,8540
	4	24,2839	19,1882	15,9506	12,6177
	5	40,3168	32,1235	26,3757	20,9483
20	1	1,9495	1,5011	1,3039	1,0130
	2	12,0753	9,3087	8,0687	6,2742
	3	33,2016	25,6401	22,1548	17,2513
	4	60,4627	49,0520	39,8691	31,4159
	5	63,4443	50,7989	42,3371	32,9651

Çizelgeler incelendiğinde, en büyük doğal frekanslarının, $n_z = 0$ için, yani kirişin seramik olması durumunda ortaya çıktığı, n_z arttıkça doğal frekansların azaldığı görülmektedir. Farklı sınır

şartlarına ait çizelgeler incelendiğinde, ilk olarak tüm mesnet türlerinde L/h oranı arttıkça frekans değerlerinin arttığı görülmüştür. En büyük boyutsuz doğal titreşim frekans değeri A-A mesnet türünde, en küçük frekans değeri ise A-Se girişinde görülmüştür.

4. SONUÇLAR

Bu araştırmada, kalınlık boyunca FD malzemeli çubukların birinci mertebeye kayma deformasyon teorisine dayalı serbest titreşim analizleri yapılmıştır. Frekans uzayında elde edilen adi diferansiyel denklemler, TFY'ne dayalı başlangıç değer probleminin çözümleri için RK5 algoritması kullanılmıştır. Ele alınan problem, önerilen yöntem ile çözülmüş ve sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen değerlerin bir birleri ile uyum içerisinde oldukları görülmüştür. Ayrıca, malzeme değişim katsayısının, farklı sınır şartlarının ve farklı boy-kalınlık oranlarının probleminin doğal titreşim frekanslarını önemli ölçüde etkilediği gözlemlenmiştir.

Tekrar belirtmek gerekirse sunulan yaklaşımda, bu çalışmada kullanılan malzeme modeli yerine, istenirse farklı malzeme modelleri de kolayca uygulanabilmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, kalınlık boyunca FD malzemeli düz eksenli Timoshenko girişlerinin beklenen davranışını teyit etmekle beraber, bu metodun etkin ve kolayca uygulanabilirliğini de göstermektir.

5. KAYNAKLAR

1. Aydoğdu, M., Taşkın, V., 2007. Free Vibration Analysis of Functionally Graded Beams with Simply Supported Edges. *Materials & Design*, 28(5), 1651-1656.
2. Li, X.F., 2008. A Unified Approach for Analyzing Static and Dynamic Behaviors of Functionally Graded Timoshenko and Euler-bernoulli Beams. *Journal of Sound and Vibrations*, 318, 1210-1229.
3. Sina, S.A., Navazi, H.M., Haddadpour, H., 2009. An Analytical Method for Free Vibration Analysis of Functionally Graded Beams. *Materials and Design*, 30(3), 741-747.
4. Şimşek, M., 2010. Vibration Analysis of a Functionally Graded Beam Under a Moving Mass by Using Different Beam Theories. *Composite Structures*, 92, 904-917.
5. Alshorbagy, A.E., Eltahir, M.A., ve Mahmoud, F.F., 2011. Free Vibration Characteristics of a Functionally Graded Beam by Finite Element Method. *Applied Mathematical Modelling*, 35, 412-425.
6. Anandrao, K.S., Gupta, R.K., Ramachandran, P., Rao, G.V., 2012. Free Vibration Analysis of Functionally Graded Beams. *Defence Science Journal*, 62(3), 139-146.
7. Thai, H.T., Vo, T.P., 2012. Bending and Free Vibration of Functionally Graded Beams Using Various Higher-order Shear Deformation Beam Theories. *International Journal of Mechanical Sciences*, 62(1), 57-66.
8. Pradhan, K.K., Chakraverty, S., 2013. Free Vibration of Euler and Timoshenko Functionally Graded Beams by Rayleigh-ritz Method. *Composites: Part B*, 51, 175-184.
9. Nguyen, T.K., Vo, T.P., Thai, H.T., 2013. Static and Free Vibration of Axially Loaded Functionally Graded Beams Based on the First-order Shear Deformation Theory. *Composites: Part B*, 55, 147-157.
10. Su, H., Banerjee, J.R., Cheung, C.W., 2013. Dynamic Stiffness Formulation and Free Vibration Analysis of Functionally Graded Beams. *Composite Structures* 106, 854-862.
11. Pradhan, K.K., Chakraverty, S., 2014. Effects of Different Shear Deformation Theories on Free Vibration of Functionally Graded Beams. *International Journal of Mechanical Sciences*, 82, 149-160.
12. Su, H., Banerjee, J.R., 2015. Development of Dynamic Stiffness Method for Free Vibration of Functionally Graded Timoshenko Beams. *Computers and Structures* 147, 107-116.
13. Jing, L.L., Ming, P.J., Zhang, W.P., Fu, L.R., Cao, Y.P., 2016. Static and Free Vibration Analysis of Functionally Graded Beams by Combination Timoshenko Theory and Finite Volume Method. *Composite Structures*, 138, 192-213.
14. Avcar, M., Alwan, H.H.A., 2017. Free Vibration of Functionally Graded Rayleigh

- Beam. *International Journal of Engineering & Applied Sciences (IJEAS)*, 9(2), 127-137.
15. Lee, J.W., Lee, J.Y., 2017. Free Vibration Analysis of Functionally Graded Bernoulli-euler Beams Using an Exact Transfer Matrix Expression. *International Journal of Mechanical Sciences*, 122, 1-17.
 16. Kahya, V., Turan, M., 2017. Finite Element Model for Vibration and Buckling of Functionally Graded Beams Based on the First-order Shear Deformation Theory. *Composites Part B: Engineering*, 109, 108-115.
 17. Turan, M., Kahya, V., 2018. Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişlerin Serbest Titreşim Analizi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 119-130, DOI: 10.31466/kfbd.453833
 18. Banerjee, J.R., Ananthapuvirajah, A., 2018. Free Vibration of Functionally Graded Beams and Frameworks Using the Dynamic Stiffness Method. *Journal of Sound and Vibration*, 422, 34-47.
 19. Çelebi, K., Yarım pabuç, D., Tütüncü, N., 2018. Free Vibration Analysis of Functionally Graded Beams Using Complementary Functions Method. *Arch. Appl. Mech.*, 88(5), 729-739.
 20. Aslan, T.A., Noori, A.R., Temel, B., 2018. Dynamic Response of Viscoelastic Tapered Cycloidal Rods. *Mechanics Research Communications*, 92, 8-14.
 21. Noori, A.R., Aslan, T.A., Temel B., 2018. An Efficient Approach for In-plane Free and Forced Vibrations of Axially Functionally Graded Parabolic Arches With Nonuniform Cross Section. *Composite Structures*, 200(15), 701-710.

Farklı İklim Bölgelerindeki Seralarda Evaporatif Soğutma Olanaklarının Belirlenmesi

A. Nafi BAYTORUN*¹, Abbas Mahamed Abdalla MAKAY¹

¹Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 23.07.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Seralarda yetiştirilen bitkiler 17-27 °C'ye adapte olmuşlardır. Günlük ortalama sıcaklığın 22 °C'nin üstüne yükselmesi durumunda seralarda soğutma önlemlerinin alınması zorunludur. Seralarda yapılan evaporatif soğutmanın etkinliği dış iklim koşullarına ve sistemin randımına bağlı olarak değişmektedir.

Seralarda yapılan evaporatif soğutma duyulur ısının gizli ısıya transferi ile havanın soğutulması esasına dayanır. Havaya eklenen su, havanın tüm fiziksel özelliklerinin değişmesine neden olmaktadır. Oluşan havanın yeni özellikleri psikrometrik eşitliklerden gidilerek belirlenmelidir.

Yapılan bu çalışmada Türkiye'de seracılığın yoğun olarak yapıldığı farklı iklim bölgelerindeki yüksek teknolojiye sahip seralarda yapılacak evaporatif soğutma ile bölge iklimine ve kullanılan pedlerin randımanlarına bağlı olarak ulaşılabilen sıcaklık değerleri teorik olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlardan Adana iklim koşullarında %90 ped randımında bile serada sıcaklığın 27 °C'ye çekilemediği, Mersin'de %90, Şanlıurfa'da %70 ped randımının yeterli olabileceği, Afyonkarahisar koşullarında evaporatif soğutma yerine, serada öğlen saatlerinde çok kısa aralıklarla suyun yüksek basınçla püskürtülmesi ile sıcaklığın bitkilerin arzuladıkları değerlerde tutulabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sera soğutma, Evaporatif soğutma, Gölgeleme, Soğutma etkinliği

Determination of Evaporative Cooling Possibilities in Greenhouses in Different Climate Regions

Abstract

Plants grown in greenhouses were adapted to 17-27 °C. If the daily average temperature rises above 22 °C, cooling measures must be taken in greenhouses. The efficiency of evaporative cooling in greenhouses varies depending on the external climatic conditions and the efficiency of the system.

Evaporative cooling in greenhouses is based on cooling of air by transfer of sensible heat to latent heat. water added to the air causes all physical properties of the air to change. The new characteristics of the resulting air should be determined from psychrometric equations.

Made of greenhouses in Turkey in this study with intensive structures that will be held in greenhouses with high technology in different climatic zones evaporative cooling of the climate and temperature can be reached depending airports in efficiency of pads used values are calculated theoretically.

*Sorumlu yazar (Corresponding author): A. Nafi BAYTORUN, baytorun@cu.edu.tr

In the climatic conditions of Adana, 90% pad efficiency cannot be drawn to 27 °C in the greenhouse, 90% pad efficiency in Mersin, 70% pad efficiency in Şanlıurfa, and evaporative cooling in Afyonkarahisar conditions. It was determined that the temperature can be kept at the desired values of the plants.

Keywords: Greenhouse cooling, Evaporative cooling, Shading, Cooling efficiency

1. GİRİŞ

Sıcaklık, örtü altı tarımında bitki gelişimini etkileyen en önemli çevresel faktörlerden biridir. Seralarda en fazla üretilen domates (*Solanum lycopersicum* L.) maksimum büyümesini 24 °C'lik gündüz ve gece sıcaklığında gerçekleştirir [1]. Serada hava sıcaklığının bu değerin üzerine çıkması durumunda optimum bir gelişim için seranın soğutulması gereklidir. Seralarda sıcaklığın düzenlenmesi havalandırma, gölgeleme ve evaporatif soğutma ile yapılmaktadır. Doğal havalandırma ile seralarda sıcaklık en iyi koşullarda dış sıcaklık değerlerinin 1-2 °C üzerine kadar çekilebilmektedir [2-5], Doğal havalandırmanın etkinliği rüzgâr hızına, havalandırma kapaklarının konumlarına ve büyüklüklerine bağlı olarak değişmektedir [6,7]. Son yıllarda kurulan seralarda havalandırma açıklıklarına yerleştirilen böcek tülleri hava girişlerinde direncin yükselmesine, dolayısı ile havalandırma etkinliğinin azalmasına neden olmaktadır [8-11].

Serada sıcaklığın düzenlenmesinde en fazla kullanılan iklimlendirme önlemi havalandırma dır. İyi bir havalandırma ile sera sıcaklığını dış sıcaklığın 1-2 °C üstüne kadar düşürebilmek mümkündür [2]. Ancak bu koşullarda direk güneş ışınımı etkisiyle bitki sıcaklığı çok yüksek değerlere ulaşabilmektedir.

Gölgeleme, seraya ulaşan güneş ışınımını azaltarak bitki yaprak sıcaklığını düşürür. Gölgeleme sistemleri hava değişimini olumsuz etkilediğinde sera sıcaklığı gölgeleme sistemi olmayan, ancak havalandırılan seradan daha yüksek olmaktadır. Sera içi ve bitki yaprak sıcaklığının havalandırma ve gölgeleme ile birlikte dış sıcaklığın altına düşürülmesi mümkün değildir. Bu durumda başka iklimlendirme önlemlerine başvurmak gereklidir.

Yazın güneş ışınımının yüksek olduğu günlerde iyi bir havalandırma sistemine sahip seralarda bile bitki yaprak sıcaklıkları sera sıcaklığının 5-15 °C üstüne kadar çıkabilmektedir [2]. Bu durum iyi bir havalandırmanın bile bitki sıcaklığını düşürmede yeterli soğutmayı sağlamadığını göstermektedir. Serada sıcaklığın ve su bütçesinin optimum veya optimuma yakın bir değerde tutulabilmesi için seranın soğutulması gereklidir.

Sıcak dönemlerde serada sıcaklığın düzenlenmesi soğutma makineleri ile gerçekleştirilebilir. Güneş ışınımının yüksek olduğu dönemlerde serada ortaya çıkan yüksek sıcaklığın soğutucu makinelerle düzenlenmesi, güneş enerjisinin geniş bir yüzeyden seraya girmesi nedeniyle, üretim seralarında kullanılmaz. Bu sistemler çoğunlukla araştırma seralarında kullanılırlar. Makineli soğutma sistemleri gölgelenen ve çift kat örtü ile kaplı araştırma seraları için uygundur [2].

Sıcak dönemlerde havalandırma ve gölgeleme ile serada sıcaklığın denetlenemediği koşullarda evaporatif soğutma ile sıcaklığın düzenlenmesi mümkündür. Evaporatif soğutma seralarda ışık miktarını azaltmadan, hava ve bitki yaprak sıcaklığını düşürmek amacıyla, havalandırma girişinde havanın nemlendirilmesi, serada suyun doğrudan püskürtülmesi veya bitkilerin doğrudan ıslatılması ile sağlanır. Evaporatif soğutma, havadaki duyulur ısının gizli ısıya dönüştürülmesi esasına dayanmaktadır [2,5,7,12].

Seralarda sıcaklığın dış sıcaklık değerinin altına düşürülmesi, havadan duyulur ısı çekme veya doymayan sera havasına su ekleme ile gerçekleştirilir [2,5]. Havadan ısı enerjisinin çekilmesi zordur. Belirtilen nedenle seralarda havanın soğutulması, tercihen havaya su eklenerek yapılmaktadır.

Günlük ortalama sıcaklığın 22 °C'nin veya maksimum sıcaklığın 27 °C'nin üstüne çıkması

durumunda, seralarda aktif soğutma yapılmalıdır [13]. Türkiye’de seracılığın yaygın olarak yapıldığı Akdeniz iklim kuşağında ve seracılığın yapıldığı jeotermal alanlarda yılın belirli dönemlerinde günlük maksimum sıcaklık 27 °C’nin üstüne yükselmektedir [5]. Bu illerde yapılacak seracılıkta üretimin sıcak dönemlerde sürdürülebilmesi için seraların soğutulması gereklidir.

Seralarda evaporatif soğutmanın etkinliği, dış hava nemine, hava değişim sayısına, soğutmada kullanılan sistemin randımanına ve seraya ulaşan güneş ışınımına bağlıdır [2,5,14]. Dış ortam havasının doyum açığı evaporatif soğutmaya etkileyen en önemli faktördür. Dış hava neminin düşük olması diğer bir ifade ile havanın doyum açığının büyük olması evaporatif soğutmanın etkinlik derecesini yükseltmektedir.

Tekinel ve arkadaşları [14] Akdeniz iklim koşullarında (Adana) evaporatif sistemle soğutulan içten gölgelemeli cam serada yaptıkları ölçümlerde, dış sıcaklığın 35,2 °C olduğu koşullarda serada sıcaklığın 29,1 °C’ye düşürülebileceğini ve artan hava değişimine bağlı olarak ulaşılan sıcaklık farkının arttığını belirlemiştir.

Evaporatif soğutma sistemlerinin etkinliği kullanılan pedlerin randımanına bağlı olarak değişir. Ped randımanının yükselmesi ulaşılabilecek sıcaklık farkını artırır [5]. Jamal ve arkadaşları [15] Kuveyt iklim koşullarında serada yaptıkları soğutma çalışmalarında, soğutma odacığında yüksek basınç altında püskürtülen su damlacıklarına paralel ve karşı yöndeki hava akımı koşullarında sistem randımanını belirlemiştir. Soğutma odasında püskürtülen suya karşı oluşturdukları hava akımında sistemin randımanını %75 olarak belirlerken su damlacıklarına paralel hava akımında sistem randımanını %61 olarak belirlemiştir.

Seralarda yapılan evaporatif soğutmada kullanılan su ve elektrik enerjisi tüketimi üretim maliyetini etkiler. Evaporatif soğutmada kullanılan su miktarı pedin randımanına ve birim alana tekabül eden hava değişim katsayısının büyüklüğüne bağlıdır [5].

Yapılan bu çalışmada; Türkiye’de seracılığın yaygın olarak yapıldığı Adana, Mersin ve jeotermal seracılığın artış gösterdiği Afyonkarahisar ve Şanlıurfa illerinin günlük maksimum sıcaklık ve minimum nem değerlerinden gidilerek farklı ped randımanlarında ulaşılabilecek sıcaklık değerlerinin belirlenmesi ve üretim periyodu boyunca gerekli olan soğutma süresinin ve gerekli su miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Yapılan çalışmada çatısı tek kat PE plastik, yan duvarları çift kat PC ile kaplı yüksek hacimli sera esas alınmıştır. Seranın yan duvar yüksekliği 5 m, mahya yüksekliği 7,5 m’dir. Sera 21 bölmeden oluşup, bölme genişliği 9,6 m ve bölme uzunluğu 50 m’dir. Seranın havalandırması çatı bölgesinde kelebek kanatlı olup havalandırma açıklığının sera taban alanına oranı %40 olarak alınmıştır.

Hesaplamalarda serada %50 oranında gölgelemenin yapıldığı kabul edilerek, birim alana tekabül eden hava değişim katsayısı $200 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ($Z=30 \text{ h}^{-1}$) olarak alınmıştır [2].

Çalışmada hesaplama yapılan Adana, Mersin, Afyonkarahisar ve Şanlıurfa illerinin saatlik ortalama sıcaklık, oransal nem, güneş ışınımı ve günlük maksimum sıcaklık ve minimum nem değerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğünden sağlanmıştır. Bu illerin günlük maksimum sıcaklık ve minimum nem değerlerinden gidilerek farklı ped randımanlarında evaporatif soğutma ile ulaşılabilecek sıcaklık değerleri psikrometrik eşitliklerden yararlanılarak hesaplanmıştır [16,17].

Hesaplamalarda hava basıncı her ilin deniz seviyesinden yüksekliğine bağlı olarak Eşitlik 1’den yararlanılarak hesaplanmıştır [16,17].

$$P=101,325 * \left(1 - 2,25577 * 10^{-5} * h\right)^{5,2559} \quad (1)$$

Eşitlikte; P Atmosfer basıncı (kPa), h yerin denizden olan yüksekliğidir (m).

Dış ortam havasının sıcaklık ve nem değerlerinden gidilerek havanın doymuş buhar basıncı, nem

içeriği ve entalpi değerleri aşağıdaki eşitliklerden yararlanılarak hesaplanmıştır [18].

Havanın doymuş buhar basıncı;

$$p_{ws} = 1,4097 \cdot 10^7 \cdot e^{(-3928,5/(\theta+231,6))} \quad (2)$$

Eşitlikte; p_{ws} doymuş buhar basıncı (kPa), θ kuru termometre sıcaklığıdır (°C).

Havanın nem İçeriği;

$$x = 0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot p_{ws}}{P - (\varphi \cdot p_{ws})} \quad (3)$$

Eşitlikte; x havanın nem içeriği (kg.kg⁻¹KH), φ havanın oransal nemidir (%).

Havanın entalpi değeri;

$$h = c_{pL} \cdot \theta + x \cdot (r_0 + (c_{pd} \cdot \theta)) \quad (4)$$

Eşitlikte; h havanın entalpisi (kJ.kg⁻¹), c_{pL} havanın özgül ısı (kJ.kg⁻¹K⁻¹), c_{pd} su buharı özgül ısı (kJ.kg⁻¹K⁻¹), r_0 buharlaşma ısıdır (kJ.kg⁻¹).

Havanın yaş termometre sıcaklığı iterasyonla belirlenmiştir. Soğutmada kullanılan pedlerin randımanı %60-90 kabul edilmiştir. Evaporatif soğutmada pedlerin hemen çıkışında ulaşılabilecek sıcaklık değeri Eşitlik 5'ten hesaplanmıştır [2].

$$\theta_L = \theta - \eta \cdot (\theta - \theta_{FK}) \quad (5)$$

Eşitlikte; θ_L ped çıkışında kuru termometre sıcaklığı (°C), η ped randımanı (%), θ_{FK} ıslak termometre sıcaklığıdır (°C).

Evaporatif soğutmada havaya herhangi bir ısı eklenip çekilmediği için seraya giren havanın entalpi değeri sabit kalır. Sabit entalpi değerinde seraya nemlendirilerek giren havanın yeni nem içeriği (x_i) Eşitlik 4'ten x 'in çekilmesiyle elde edilen Eşitlik 6'dan hesaplanmıştır.

$$x_i = \frac{h - (c_{pL} \cdot \theta_L^*)}{r_0 + (c_{pd} \cdot \theta_L^*)} \quad (6)$$

Seraya giren yeni havanın sıcaklığına (θ_L^*) ve nem içeriğine (x_i) bağlı oransal nem, Eşitlik 3'ten φ 'nin çekilmesiyle elde edilen Eşitlik 7'den hesaplanmıştır. Hesaplama gerekliliği olan doymuş buhar basıncı pedin hemen çıkışındaki sıcaklık (θ_L^*) esas alınarak Eşitlik 2'den hesaplanmıştır.

$$\varphi_i = \frac{P \cdot x_i}{(0,622 + x_i) \cdot p_{ws}} \quad (7)$$

Serada yeni özelliklere sahip olan havanın yoğunluğu havanın nem içeriğine, sıcaklığına bağlı olarak Eşitlik 8'den hesaplanmıştır [18].

$$\rho_i = \frac{1 + x_i}{0,622 + x_i} \cdot \frac{P}{R_w \cdot (\theta_L^* + 273,15)} \quad (8)$$

Eşitlikte; havanın yoğunluğu (kg.m⁻³), R_w havanın gaz sabitesidir (kJ.kg⁻¹K⁻¹)

Hesaplamalarda PE plastik örtü malzemesinin geçirgenliği %60 olarak kabul edilmiştir [2]. Seraya ulaşan güneş ışınımı, örtü malzemesinin geçirgenliğine bağlı Eşitlik 9'dan hesaplanmıştır [2].

$$q_{s,i} = q_{s,o} \cdot \tau \quad (9)$$

Eşitlikte; $q_{s,i}$ seraya ulaşan güneş ışınımı (W.m⁻²), $q_{s,o}$ dış ortam güneş ışınımı (W.m⁻²), τ örtü malzemesinin geçirgenliği (%)

Yapılan hesaplamalarda seraya ulaşan güneş ışınımının %35'inin transmisyon ve transpirasyonda kullanıldığı kabul edilmiştir [2]. Havalandırma ile dışarı atılması gereken atık ısı Eşitlik 10'dan hesaplanmıştır.

$$q_{s,v} = q_{s,i} \cdot \Psi \quad (10)$$

Eşitlikte; $q_{s,v}$ havalandırma ile dışarı atılacak ısı (W.m⁻²), Ψ ışınımın transmisyon ve transpirasyonda kullanılma oranı (%).

Seradan vantilatörlerle atılan ısının geri kalan kısmı havanın entalpi değerinin yükselmesine neden olmaktadır. Seradaki havanın yeni entalpi değeri Eşitlik 11 ile hesaplanmıştır [2].

$$h_i = h_o + \frac{q_{s,v}}{V_A \cdot \rho_i} \quad (11)$$

Eşitlik 11’de, V_A birim alana tekabül eden hava değişim sayısı ($m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)

Seradaki havanın yeni entalpi değerine ve nem içeriğine bağlı olarak serada ulaşılan sıcaklık değeri Eşitlik 12 ile belirlenmiştir.

$$\theta_i = \frac{h_i - x_i \cdot r_0}{c_{pL} + c_{pw} \cdot x_i} \quad (12)$$

3. BULGULAR

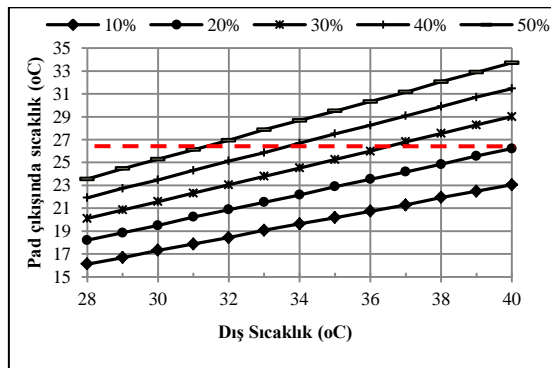
Seralarda evaporatif soğutmada ped çıkışında ulaşılabilir sıcaklık değerleri, birim alana tekabül

eden hava değişim katsayısına, güneş ışınımına ve sistemde kullanılan pedin randımına bağlı olarak değişir. Çizelge 1’de birim alana tekabül eden hava değişim sayısının $200 m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, güneş ışınımının gölgeleme ile $450 W \cdot m^{-2}$ ’ye düşürüldüğü ve ped randımının %90 olduğu koşullarda, farklı dış sıcaklık ve oransal nem değerlerine bağlı olarak ped çıkışında ulaşılabilen sıcaklık değerleri verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi dış ortam sıcaklığının $35^\circ C$ ve oransal nemin %20 olduğu koşullarda serada ulaşılan sıcaklık $22,9^\circ C$ olmaktadır. Bu değer serada bitkisel üretime olanak sağlarken, aynı koşullarda dış ortam neminin %40’a ulaşması durumunda serada üretim, sıcaklık açısından riske girmektedir.

Çizelge 1. Dış sıcaklık ve bağıl neme bağlı serada ulaşılabilen sıcaklık değerleri

Nem %	Dış ortam hava sıcaklığı ($^\circ C$)												
	28,0	29,0	30,0	31,0	32,0	33,0	34,0	35,0	36,0	37,0	38,0	39,0	40,0
	Serada ulaşılabilir sıcaklık değerleri ($^\circ C$)												
10	16,1	16,7	17,3	17,9	18,4	19,1	19,6	20,2	20,7	21,3	21,9	22,5	23,0
15	17,1	17,8	18,4	19,1	19,7	20,3	20,9	21,5	22,2	22,8	23,4	24,0	24,7
20	18,2	18,9	19,5	20,2	20,9	21,5	22,2	22,9	23,5	24,2	24,8	25,6	26,2
25	19,2	19,8	20,6	21,3	22,0	22,7	23,4	24,1	24,8	25,5	26,2	26,9	27,7
30	20,1	20,8	21,6	22,3	23,0	23,8	24,5	25,3	26,0	26,8	27,5	28,3	29,0
35	21,0	21,8	22,6	23,3	24,1	24,9	25,6	26,4	27,2	28,0	28,7	29,5	30,3
40	21,9	22,7	23,5	24,3	25,1	25,9	26,7	27,5	28,2	29,1	29,9	30,7	31,5
45	22,7	23,6	24,4	25,2	26,0	26,9	27,7	28,5	29,3	30,2	31,0	31,8	32,6
50	23,5	24,5	25,3	26,1	26,9	27,9	28,7	29,5	30,3	31,1	32,1	32,9	33,7

($I=450 W \cdot m^{-2}$, $V_A=200 m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, $\eta = \%90$)

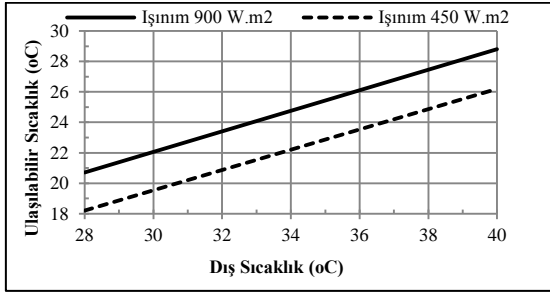


Şekil 1. Dış ortam sıcaklığı ve oransal neme bağlı serada ulaşılabilir sıcaklık (V_A $200 m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, ışınım $450 W \cdot m^{-2}$, Ped randımanı %90)

Güneş ışınımının gölgeleme ile $450 W \cdot m^{-2}$, ped randımının %90 ve birim alana tekabül eden hava değişim katsayısının $200 m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ olduğu koşullarda farklı dış sıcaklık ve oransal nem değerlerine bağlı olarak serada ulaşılan sıcaklık değerleri Şekil 1’de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi dış ortam sıcaklığının $35^\circ C$ olduğu koşullarda serada sıcaklığın $27^\circ C$ ’de tutulabilmesi için müsaade edilebilir dış ortam hava nemi en fazla %37 olmalıdır. Hava neminin %40 olması durumunda serada ulaşılacak sıcaklık $27,5^\circ C$ ’ye yükselecektir.

Evaporatif olarak soğutulan seraya ulaşan güneş ışınımının azaltılması serada ulaşılan sıcaklık değerine olumlu yönde etki eder. Şekil 2’de ped randımının %90 ve oransal nemin %20 olduğu

koşullarda gölgelemeye bağlı serada ulaşılan sıcaklık değerleri verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi dış sıcaklığın 35 °C olduğu koşullarda, gölgelemenin yapılmadığı (900 W.m⁻²) serada ulaşılan sıcaklık 25,5 °C olurken gölgelenen serada bu değer 22,9 °C'ye düşmektedir.



Şekil 2. Gölgeleme ve dış ortam sıcaklığına bağlı ped çıkışında ulaşılabilir sıcaklık (V_A 200 m³.m⁻².h⁻¹, Nem %20, Pad randımanı %90)

Evaporatif soğutmada serada ulaşılabilen sıcaklık kullanılan pedin randımına bağlı olarak değişir. Ped randımanı, pedin ıslanma oranına, pedte ortaya çıkan sürtünme kayıplarına ve pedlerde kullanılan malzemeye bağlı olarak değişir. Çizelge 2'de gölgeleme ile dış ışınının %50 oranında azaltıldığı ve ped randımının %70 olduğu soğutma sisteminde dış ortam sıcaklığı ve oransal neme bağlı ped çıkışında ulaşılan sıcaklıklar verilmiştir.

Dış sıcaklığın 35 °C, oransal nemin %20 ve ped randımının %90 olduğu koşullarda gölgelenen serada ulaşılan sıcaklık 22,9 °C olurken (Çizelge 1), aynı koşullarda ped randımının %70 olması durumunda serada ulaşılan sıcaklık 26,2 °C'ye yükselmektedir (Çizelge 2).

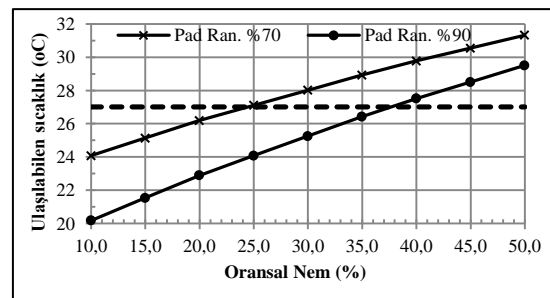
Çizelge 2. Dış sıcaklık ve bağlı neme bağlı serada ulaşılabilen sıcaklık değerleri

Nem %	Dış ortam hava sıcaklığı (°C)												
	28,0	29,0	30,0	31,0	32,0	33,0	34,0	35,0	36,0	37,0	38,0	39,0	40,0
	Serada ulaşılabilir sıcaklık değerleri (°C)												
10	19,4	20,0	20,7	21,4	22,0	22,8	23,4	24,1	24,7	25,4	26,1	26,8	27,4
15	20,1	20,9	21,6	22,3	23,0	23,8	24,4	25,1	25,9	26,6	27,2	28,0	28,7
20	21,0	21,7	22,4	23,2	23,9	24,7	25,4	26,2	26,9	27,6	28,4	29,2	29,9
25	21,8	22,5	23,3	24,1	24,8	25,6	26,4	27,1	27,9	28,7	29,4	30,2	31,0
30	22,5	23,2	24,0	24,8	25,6	26,4	27,2	28,0	28,8	29,7	30,5	31,3	32,1
35	23,2	24,0	24,8	25,6	26,5	27,3	28,1	28,9	29,7	30,6	31,4	32,3	33,0
40	23,9	24,7	25,5	26,4	27,3	28,0	28,9	29,8	30,6	31,4	32,3	33,2	34,0
45	24,5	25,4	26,2	27,1	28,0	28,8	29,7	30,5	31,4	32,3	33,1	34,0	34,9
50	25,1	26,1	26,9	27,8	28,7	29,6	30,5	31,3	32,2	33,0	34,0	34,8	35,7

($I=450 \text{ Wm}^{-2}$, $V_A=200 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, $\eta = \%70$)

Güneş ışınının %50 oranında azaltıldığı ve dış sıcaklığın 35 °C olduğu koşullarda farklı ped randımanlarında dış havanın oransal nemine bağlı olarak serada ulaşılan sıcaklık değerleri Şekil 3'te verilmiştir.

Şekilden de görüleceği gibi dış sıcaklığın 35 °C olduğu koşullarda serada sıcaklığın 27 °C'de tutulabilmesi için, ped randımının %90 olduğu sistemde, dış nem değeri %38'den, ped randımanı %70 olduğunda %25'ten büyük olmamalıdır.



Şekil 3. Ped randımanı ve dış ortam nemine bağlı ulaşılabilir sıcaklık değerleri (V_A 200 m³.m⁻².h⁻¹, Sıcaklık 35 °C, Işınım 450 W.m⁻²)

Türkiye’de seracılığın yaygın olarak yapıldığı Adana, Mersin, Şanlıurfa ve Afyonkarahisar illerinin aylara bağlı maksimum sıcaklık ve minimum oransal nem değerleri Çizelge 3’te verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi Adana ve Şanlıurfa illerinde günlük maksimum sıcaklık

Mayıs-Ekim döneminde 27 °C’nin üzerinde seyrederken, Mersin ilinde Haziran–Eylül, Afyonkarahisar’da ise sadece Temmuz ve Ağustos aylarında 27 °C’ye geçmektedir. Bu illerimizde belirtilen aylarda üretimin devam edebilmesi için seraların soğutulması zorunlu olmaktadır.

Çizelge 3. Farklı illerin aylara bağlı maksimum sıcaklık ve minimum nem değerleri (°C)

Yer	AYLAR											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Maksimum Sıcaklık (°C)											
Adana	14,8	16,1	19,4	23,7	28,2	31,7	33,9	34,7	33,1	29,0	22,6	16,7
Mersin	14,6	15,5	18,1	21,6	24,9	28,1	30,7	31,5	30,0	26,7	21,5	16,5
Ş. Urfa	9,9	11,9	16,4	22,3	28,6	34,6	38,7	38,3	33,9	27,0	18,7	12,0
Afyon	4,5	6,4	10,9	16,4	21,3	25,7	29,5	29,6	25,3	19,3	12,7	6,5
	Minimum Oransal Nem (%)											
Adana	43	37	34	34	39	41	42	41	35	31	30	38
Mersin	42	39	39	43	49	51	51	48	43	36	31	41
Ş. Urfa	48	40	31	23	21	14	11	15	17	27	34	48
Afyon	60	51	40	33	33	30	22	22	26	39	45	57

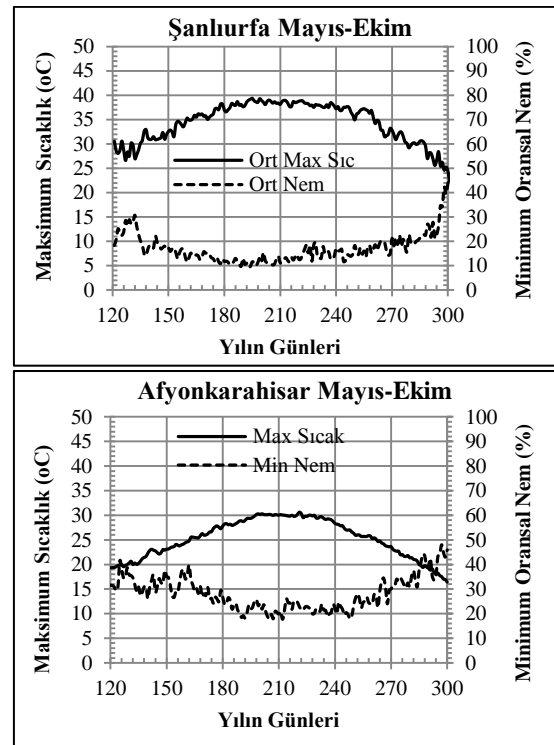
Seralarda evaporatif soğutmanın etkinliği dış hava nemine bağlıdır. Çizelge 3’ten de görüleceği gibi en düşük oransal nem değerlerine sahip il Şanlıurfa olup, bunu Afyon, Adana ve Mersin takip etmektedir.

Şanlıurfa’da soğutmaya ihtiyaç duyulan aylarda hava nemi %11-27 arasında değişirken, Afyon’da %22 olmaktadır.

Akdeniz iklim kuşağında yer alan Adana ilinde soğutma ihtiyacının ortaya çıktığı dönemlerde minimum nem değerleri %31-42 arasında değişirken, denize daha yakın olan Mersin’de %43-51 arasındadır.

Türkiye’nin farklı iklim bölgelerinde yer alan Afyonkarahisar ve Şanlıurfa illerinin günlük maksimum sıcaklık ve minimum nem değerleri Şekil 4’te verilmiştir.

Şekilden de görüleceği gibi Afyonkarahisar’da günlük maksimum sıcaklık 30 °C’ye kadar yükselirken günlük minimum oransal nem değerleri %12’ye kadar düşmektedir. Şanlıurfa’da günlük maksimum sıcaklık 39 °C’ye yükselirken minimum nem %10’a kadar düşmektedir.



Şekil 4. Şanlıurfa ve Afyonkarahisar’ın maksimum sıcaklık ve minimum oransal nem değerleri

İklim özellikleri bakımından birbirinden farklı dört ilimizde sıcaklığın 27 °C'nin üzerinde seyrettiği süreler saat olarak Çizelge 4'te verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi Adana'da Mayıs ayında 27 °C'den yüksek sıcaklık 77 saat olurken, Ağustos ayında 419 saat ile en yüksek değere

ulaşmaktadır. Diğer bir ifade ile Ağustos ayının %56'sında soğutma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Adana'da yılın 1579 saatinde sıcaklık 27 °C'nin üzerinde seyrederken, bu değer Mersin'de 1380 saat'tir.

Çizelge 4. Farklı illerde dış sıcaklığın 27 °C'nin üzerinde seyrettiği süreler (h)

Şehir	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Toplam
Adana	77	276	402	419	280	125	1579
Mersin	0	121	459	480	299	21	1380
Afyon	0	0	151	153	0	0	304
Şanlıurfa	115	392	605	577	338	65	2092

Şanlıurfa İli'nde sıcaklık değerleri Adana İli'ne göre daha yüksektir. Çizelge 4'ten görüleceği gibi Mayıs ayının 115 saatinde sıcaklık 27 °C'nin üzerinde seyrederken, Temmuz ayında 605 saat ile en yüksek değere ulaşmaktadır. Bu süre Temmuz ayının %81'ini oluşturmaktadır. Diğer bir ifade ile Şanlıurfa koşullarında serada sıcaklığın 27 °C'de tutulmak istenmesi durumunda tüm gündüz saatlerinde seranın soğutulması zorunlu hale gelmektedir.

değerleri incelendiğinde yılın sadece 26 saatinde sıcaklık 29 °C'nin üzerine yükselmektedir. Bu ilimizde gölgelemeyle birlikte yapılacak iyi bir havalandırma, serada sıcaklığın bitkilerin dayanabileceği bir değere çekilmesini mümkün kılacağı gibi, serada sisteme sisteminin kurulması durumunda kısa aralıklarla yapılacak sisleme ile sıcaklık bitkilerin arzu ettiği sınırlarda tutulabilecektir [2].

Batı bölgemizde bulunan Afyonkarahisar soğutma açısından Şanlıurfa, Adana ve Mersin'e göre daha şanslıdır. Çizelge 4'ten görüleceği gibi bu ilimizde yılın sadece 304 saatinde dış sıcaklık 27 °C'nin üzerindedir. Afyonkarahisar'ın saatlik sıcaklık

Farklı iklim özelliklerine sahip Adana, Mersin, Şanlıurfa ve Afyonkarahisar illerinde evaporatif olarak soğutulan seralarda ulaşılabilir sıcaklık değerleri Eşitlik 12'ye göre hesaplanarak Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Farklı ped randımanlarında maksimum sıcaklık ve minimum nem değerlerine bağlı olarak %50 oranında gölgelenen serada 200 m³.m⁻².h⁻¹ hava değişiminin sağlandığı sıcaklık değerleri (°C)

Şehir	Randıman (%)	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
Adana	90	21,9	25,0	27,0	27,5	25,0	21,0
	80	22,9	26,0	28,1	28,6	26,2	22,2
	70	23,9	27,1	29,2	29,7	27,4	23,4
	60	24,9	28,1	30,2	30,8	28,6	24,6
Mersin	90	-	23,8	26,1	26,2	24,0	20,2
	80	-	24,6	26,9	27,1	25,0	21,2
	70	-	25,4	27,7	27,9	25,9	22,2
	60	-	26,1	28,5	28,8	26,9	23,2
Afyon	90	-	-	19,6	19,7	-	-
	80	-	-	21,0	21,1	-	-
	70	-	-	22,4	22,5	-	-
	60	-	-	23,8	23,9	-	-
Şanlıurfa	90	18,8	21,0	22,6	23,6	21,3	18,8
	80	20,2	22,9	24,7	25,5	23,0	20,0
	70	21,6	24,7	26,8	27,5	24,7	21,2
	60	23,0	26,5	28,9	29,4	26,4	22,4

Buna göre Adana iklim koşullarında gölgelendirilmiş seralarda yapılacak evaporatif soğutmada Temmuz ve Ağustos aylarında serada sıcaklığın 27 °C ve altında tutulabilmesi ped randımanının %90 olması bile yeterli olmamaktadır.

Mersin iklim koşullarında maksimum sıcaklık değerleri Adana İli'ne göre daha düşük, ancak minimum nem değerleri daha yüksektir. Mersin'de gölgelendirilen seralarda yapılacak evaporatif soğutmada sıcaklığın 27 °C ve altında tutulabilmesi için ped randımanı en az %90 olması gereklidir.

Şanlıurfa'da maksimum sıcaklık 40 °C'ye yaklaşırken, minimum hava nemi %10'lara kadar düşmektedir. Şanlıurfa'da hava neminin düşük olması evaporatif soğutmanın etkinliğini yükseltmektedir. Çizelge 5'ten de görüleceği gibi Şanlıurfa'da serada sıcaklığın 27 °C ve altında tutulabilmesi için ped randımanının %70 olması yeterlidir.

Karasal iklime sahip Afyonkarahisar iklim koşullarında serada evaporatif soğutmaya ihtiyaç duyulan süre Temmuz ve Ağustos aylarında toplam 304 saattir. Bu ilimizdeki seralarda sıcaklık saat 11.00-16.00 arasında maksimum 29 °C'ye ulaşmaktadır. Afyonkarahisar koşullarında evaporatif soğutma yerine serada öğlen saatlerinde çok kısa aralıklarla suyun yüksek basınçla püskürtülmesi sıcaklığı bitkilerin arzuladıkları değerlere ulaştıracaktır.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Seralarda tüm yıl üretimin yapılabilmesi için bölge iklimine bağlı olarak yılın belli dönemlerinde soğutma önleminin alınması gerekli olabilmektedir. Günlük ortalama sıcaklığın 22 °C'nin üzerine yükselmesi durumunda seralarda soğutma önlemlerinin alınması zorunlu olmaktadır.

Seralarda soğutma amacıyla alınabilecek en ucuz iklimlendirme önlemi havalandırma ve gölgelemenin birlikte yapılmasıdır. Ancak bu iklimlendirme önlemi ile sera ortam sıcaklığı dış sıcaklık değerinin 1-2 °C üstüne çekilebilmektedir.

Serada sıcaklığın dış sıcaklık değerinin altında tutulabilmesi evaporatif soğutma ile mümkün olmaktadır. Ancak evaporatif soğutmanın etkinliği dış iklim koşullarına ve sistemde kullanılan pedlerin randımanına bağlı olarak değişmektedir.

Seralarda evaporatif soğutmanın etkinliğini arttırmak için seraya ulaşan güneş ışınımı gölgeleme ile azaltılmalıdır. Güneş ışınımının gölgeleme ile %50 azaltılması soğutma sisteminin etkinliğini %23 oranında arttırılabilmektedir.

Hava neminin evaporatif soğutma ile ulaşılabilen sıcaklık farkına etkisi büyüktür. Dış sıcaklığın 35 °C'den yüksek olduğu koşullarda, serada sıcaklığın 27 °C'de tutulabilmesi için hava neminin %20'lerde olması gereklidir.

İklim etmenleri yanında evaporatif soğutmada kullanılan pedlerin randımanı serada ulaşılan sıcaklık farkına etki eder. Sistemde kullanılan pedlerin randımanı pedin ıslanma düzeyine ve pedlerde ortaya çıkan dirence bağlı olarak değişmektedir. Uygulamada kullanılan pedlerin dirençleri %60-80 arasında değişmektedir. Yapılan çalışmada bölge iklimine bağlı olarak serada sıcaklığın 27 °C'de tutulabilmesi için gerekli ped randımanları farklı iklim koşulları için hesaplanmıştır.

Yapılan çalışmada evaporatif soğutmanın Adana, Mersin illerinde etkili bir soğutma sağlamayacağı, Şanlıurfa'da kurulacak sistemde %70 ped randımanının yeterli olabileceği, Afyonkarahisar'da üretimin kısa bir dönemde sisleme ile bitkiler için uygun yetiştirme ortamının sağlanabileceği belirlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Krug, H., Lederle, E., Liebig, H.P., 1985. Modelle zur Kultur und Kostengünstigen Temperaturführung Während der Auflaufphase. Gartenbauwissenschaft, 50, 54-59.
2. von Zabeltitz, Chr., 1986. Gewächshäuser. Verlag Eugen-Ulmer 1986.
3. Baytorun, N.A., Abak, K., Tokgöz, H., Güler, Y., Üstün, S. 1995. Seraların Kışın

- İklimlendirilmesi ve Denetimi Üzerinde Araştırmalar. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu. Proje No TOAG-993.
4. Baytorun, N.A., Abak, K., Daşgan, H.Y., Topçu, S., 1997. Climatic Problems of the Plastic Greenhouses in Turkey. CIPA Proceedings. International Congress for Plastics in Agriculture.
 5. Baytorun, A.N., 2016. Seralar, Nobel Yayınevi.
 6. Baytorun, A.N., 1986. Bestimmung des Luftwechsels bei Gelüfteten Gewächshäusern. Diss. Universität Hannover. ITG Hannover Heft 27.
 7. Kittas, C., Draoui, B., Boulard, T., 1995. Quantification of the Ventilation of a Greenhouse With a Roof Oppening. Agric for Meteorol, 77, 95-111.
 8. Bethke, J.A., Redak, A., Paine, T.D., 1994. Screens Deny Specific Pests Entry to Greenhouses. Calif Agric 48(3), 37-40.
 9. Antignus, Y., Lapidat, M., Hadar, D., Messika, Y., Cohen, S.H., 1998. UV-absorbing Screens Serve as Optical Barriers to Protect Crops from Virus and Insect Pests. J Econ Entomol, 91(6), 1401-1403.
 10. Harmanto, M., Tantau, H.J., Salokhe, V.M. 2006a. Optimization of Ventilation Opening Area of Naturally Ventilated Net Greenhouse in Humid Tropical Environment. Acta Horti, 717, 165-171.
 11. Harmanto, M., Tantau, H.J., Salokhe, V.M. 2006b. Microclimate and Air Exchange Rates in Greenhouses Covered With Different Nets in the Humid Tropics. Biosystems Eng., 94(2), 239-253.
 12. Zabeltitz, Chr.von. 2011. Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates. Springer -Verlag Berlin Heidelberg.
 13. Kittas, C., Katsoulas, N., Bartzanas, T., Bakker, S., 2013. Greenhouse Climate Control and Energy Use. Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops. Principles for Mediterranean Climate Areas FAO, Rome.
 14. Tekinel, O., Baytorun, A.N., Demir, Y., 1989. Çukurova Koşullarında Seralarda Islak Yastıklarla Soğutma Olanakları. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 13(3b), 1284-1293.
 15. Jamal, M., Al-Harbi, M., Fouad, J., 2002. Comparison of Different New Cooling Systems in Greenhouses of Kuwait. ICARDA-APRP Annual Report 2001-2002, 50-54.
 16. ASHRAE 1981a. Fundamentals Handbook, Psychrometrics, Chapter 5, 1-10.
 17. ASHRAE 1981b. Fundamentals Handbook, Psychrometric tables, Chapter 6, 1-16.
 18. Müller, K., 1989. Die Gesetze der Feuchten Luft und Ihre Anwendung. Handbuch der Klimatechnik. Band 1: Grundlagen. Verlag C.F.Müller GmbH Karlsruhe, 567.

Katyonizasyon İşleminin Havlu Kumaş Ön Terbiyesinde Kullanılabilirliğinin ve Ürün Özelliklerine Etkisinin Araştırılması

Ece KALKANLI¹, Belkıs ZERVENT ÜNAL^{*2}

¹ABECOTTON, Mersin

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

Geliş tarihi: 03.10.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Çalışma kapsamında, farklı hav çözgü hammadde tipine ve farklı gramaja sahip havlu kumaşlar ağartma işleminin uygulanıp uygulanmama durumuna göre de gruplandırıldıktan sonra farklı konsantrasyonlarda katyonize edilmiştir. İşlem görmüş kumaşların yumuşaklık ve hidrofilite değerleri tespit edilmeye çalışılırken ağartma prosesinin yerine çevreci katyonizasyon işleminin uygulanabilirliği de araştırılmıştır. Uygulanan tüm proseslerin ardından yumuşaklık ve hidrofilite değerleri standartlara uygun olarak test edilmiştir. Sonuç olarak, ağartma işlemi yerine katyonizasyon işleminin uygulanmasının havlu kumaşlara yumuşaklık açısından olumlu katkı sağladığı, hidrofilite açısından da kabul edilebilir seviyelerde sonuçlar elde edildiği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Katyonizasyon, Havlu, Hidrofilite, Yumuşaklık

Investigation of the Usability of Cationization Process in Terry Fabric Pretreatment and Determination of the Effect on the Product Properties

Abstract

The scope of this study, terry fabrics having different pile warp raw material type and different grammage were categorized in different concentrations after grouping according to the application of bleaching process. While trying to determine the softness and hydrophilicity values of treated fabrics, the applicability of environmental cationization process instead of bleaching process was investigated. After all processes, softness and hydrophilicity values were tested according to the standards. As a result, it was found that the application of cationization instead of bleaching process contributed positively to the softness of towel fabrics and acceptable levels were obtained in terms of hydrophilicity.

Keywords: Cationization, Towel, Hydrophilicity, Softness

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

1. GİRİŞ

Türkiye tekstil sektörü, yoğun ve nitelikli işgücü, standartları yakalayan kaliteli üretim prosesleri, gelişmeleri yakından takip eden tasarımcıları, donanımlı ve modern işletmeleri, çevreci üretim anlayışı sayesinde her geçen gün büyümektedir. Entegre üretim, hızlı teslimat ve jeopolitik konum avantajı ile Türkiye, dünyada en çok tercih edilen tekstil ülkeleri listesinde sürekli yükselmektedir. Tekstil ithalat ve ihracatı açısından önemli bir yere sahip ev tekstili grubunun önemi de gün geçtikçe artarken, bu grubun en önemli ürününü havlular ve havlu kumaşlardan elde edilen ürünler oluşturmaktadır.

Türkiye Ev Tekstili Sanayicileri ve İşadamları Derneği'nin (TETSİAD) güncel verilerini içeren raporuna bakıldığında 2017-2018 Ocak-Haziran döneminde toplam ev tekstili grubunda düşüş tespit edilmesine rağmen havlu ve bornozlar toplam ev tekstili ihracatında %30'dan fazla payla açık ara birincidir [1].

Havlu kumaşların kullanım yeri nedeniyle sahip olmaları gereken en temel özellikler; yüksek hidrofilite, yumuşaklık, kuruma süresinin kısalığı, kolay ve sık temizlemeye uygunluk, antibakteriyellik ve yüksek renk haslıklarıdır.

Pamuk liflerinin doğal yapılarından kaynaklanan veya üretim esnasında bulaşan safsızlıklar kumaşa hidrofob ve sarımtırak bir renk kazandırdığından bu safsızlıklar ağartma işlemi ile uzaklaştırılmaktadır.

Katyonizasyon işlemi selülozik tekstil elyaflarına ve özellikle pamuklu mamüllere yüzey yükünü değiştirip boyama işlemini kolaylaştırmak için uygulanan bir ön terbiye prosesidir. Katyonizasyon işleminin uygulanmasıyla pamuklu mamullerin boyama verimi artmakta ve boyarmadde banyosundaki atık su daha az kimyasal ve boyarmadde molekülü içermektedir. Çevre dostu ürün ve üretim proseslerinin önem kazandığı günümüz rekabet koşullarında katyonizasyon işleminin prosesleri kısaltması ve maliyetleri düşürmesi yanında atık su problemini de azaltacak

olması bu işlemin üretim süreci açısından önemini göstermektedir [2].

Çalışma kapsamında havlu kumaş üretiminde ağartma işlemi yerine katyonizasyon işleminin kullanılabilirliği ve ağartma işlemiyle birlikte yada ağartma işlemi olmadan sadece farklı konsantrasyonlarda uygulanan katyonizasyon işleminin havlu kumaşların önemli özelliklerinden olan yumuşaklık ve hidrofilite değerlerine etkisi araştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Chattopadhyay, 2001 yılında pamuğun sulu ortamda negatif yük kazandığından yola çıkarak, boyama esnasında boyarmadde-lif etkileşimini irdelemiştir. Chattopadhyay'a göre sulu ortamda negatif yük kazanan pamuk, boyama esnasında negatif yüklü boyarmadde anyonunu püskürtmekte bu nedenle özellikle reaktif boyamalarda fiksajı azaltmakta ve renkli atık suları da çevre sorunu oluşturmaktadır. Chattopadhyay çalışmasında tuz kullanmadan ya da az miktarda tuz kullanılarak pamuğun boyarmadde substantivitesini geliştirme katyonizasyon işlemiyle mümkün olduğunu belirtmiştir. Aynı zamanda pamuk içerisinde katyonik alan elde etmek için çevre dostu katyonik ajanların geliştirilmesine ihtiyaç duyulduğunu belirtmiş ve kitin polimerinden elde edilen kitosanı bu yöntem için önermiştir [3].

Srikulkit ve Larpsuriyakul, 2002 yılında çeşitli metotlarla elde ettikleri katyonik ajanları tek bir banyo içerisinde selüloz liflerinin ağartma prosesinde uygulamışlardır. Araştırmacılara göre kullanılan katyonik bileşen ağartma performansını az derecede de olsa olumsuz etkilemiştir. Katyonize edilen ağartılmış pamuklu kumaşlar tuz kullanmadan reaktif boyarmaddeyle boyanmıştır. Katyonize maddesinin konsantrasyonu arttıkça boyarmadde alımı ve renk kuvveti artmıştır. Ayrıca katyonizasyon işlemiyle geleneksel boyamalara göre daha düşük boyarmadde konsantrasyonu kullanılmakta ve daha iyi renk verimi elde edilmektedir. Bunun yanısıra katyonizasyon işlemi ağartma prosesleriyle birlikte uygulandığından su ve enerji tasarrufu sağlarken,

işlemede tuz kullanılmadığı için tuzu uzaklaştırma gereksinimi de bulunmamaktadır [4].

Onar, 2006'daki çalışmasında katyonizasyon ön işleminin enerji ve kimyasal maddeden tasarruf sağlayarak çevre dostu bir uygulama olmasının önemini vurgulamış ve literatürdeki çalışmaları incelemiştir. Çalışmasında katyonize edilmiş pamukların boyanması, baskı prosesi ve bitim işlemlerini ayrı ayrı incelemiştir. Pamuklu kumaşların katyonizasyonunda kullanılan kimyasalları, katyonizasyon işleminin uygulama yöntemlerini ve katyonizasyon işlemi için optimum koşulları araştırmıştır [2].

Oktav ve Dayıoğlu, 2008'de yapmış oldukları çalışmada katyonik pamuklu kumaşların bakım özellikleri üzerinde durmuşlardır. Katyonizasyon işleminin buruşmazlık ve boyut değişimi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Katyonikleştirme işleminde karşılaştıkları mukavemet düşmelerinden dolayı prosesteki kurutma işlemi yerine buharlamayı tercih etmişlerdir. Katyonizasyon işlemi gören numuneler asit boyarmaddeleriyle boyanabilmiştir. Araştırma sonucunda; katyonizasyon işlemiyle pamuklu kumaşlar asit boyarmaddeleriyle boyanabilmiş, boyutsal stabilite ve buruşmazlık derecesinde artış sağlamışlardır. Ürünlerin ışık haslığı değerleri yeterli görülmüş bu noktada yapılan önceki çalışmalardan daha farklı bir sonuç elde edilmiştir [5].

Nakpathom ve ark, 2018'de yürüttükleri deneysel çalışmada pamuklu kumaşı öncelikle katyonize edip daha sonra doğal boyarmaddeler ile boyamışlardır. En iyi renk verimi elde ettikleri kimyasal bileşeni ve bu bileşeni uyguladıkları koşulları belirtmişlerdir. Çeşitli kimyasallarla işleme aldıkları pamuklu kumaşların renk ve yıkama haslık değerlerini işlem görmemiş pamuklu kumaşlarla kıyaslamışlardır. İşleme alınan dört farklı kimyasal iki farklı yöntemle uygulanmıştır. Hangi uygulamanın K/S değerini geliştirip ışık haslığı değerini artırdığını saptarken, her iki yöntemin yıkama haslığı değerini düşürdüğünü fakat bu değerlerin kabul edilebilir seviyelerde olduğunu bildirmişlerdir [6].

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Çalışma kapsamında, katyonizasyon işleminin havlu kumaşların ön terbiye prosesinde ağartma işlemi yerine kullanılabilirliği ve katyonizasyon işleminin ve bu işlem parametrelerinin kumaş performans özelliklerinden yumuşaklık ve hidrofilitate değerleri üzerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla iki farklı gramaj ve iki farklı hav hammaddesine (%100 pamuk ve %100 modal) sahip, diğer tüm özellikleri sabit 4 farklı havlu kumaş üretimi gerçekleştirilmiştir. Ardından aynı kumaşların bir kısmı ağartma işleminden sonra bir kısmı da ağartmasız halde farklı konsantrasyonda katyonizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Çalışmada kullanılan tüm havlu kumaşların fiziksel özellikleri aynı olup (hav çözgü iplik numarası Ne16/1, zemin çözgü iplik numarası Ne 20/2, atkı iplik numarası Ne 12/1), gramaj farklılığı sadece atkı sıklığı değiştirilerek elde edilmiştir [7].

Çizelge 1. Ham havlu numunelerinin fiziksel özellikleri

Numune Kodu	Hav Tipi	Gramaj (g/m ²)	Çözgü Sıklığı (tel/cm)	Atkı Sıklığı (tel/cm)
M1	%100 Modal	340	14	14
M2	%100 Modal	430	14	19
P1	%100 Pamuk	340	14	14
P2	%100 Pamuk	430	14	19

Çalışma kapsamında, dokunmuş ve haşıl sökümlü işlemleri uygulanmış olan numunelerin birer parçasına ağartma işlemi uygulanmıştır. Katyonizasyon işleminin ve farklı katyonizasyon oranlarının havlu özelliklerine etkisini belirlemek için hem ağartılmış hem de ağartılmamış kumaşlara katyonizasyon işlemi uygulanmıştır. Çizelge 2'de ağartma ve/veya katyonizasyon işlemi uygulanmış numunelerin dağılımı görülmektedir. Katyonizasyon oranı %0 görünen numunelere söz konusu işlem uygulanmamıştır.

Böylelikle farklı yapıdaki 4 ham havlu numunesinden farklı terbiye işlemleri uygulanarak 20 farklı numune türetilmiştir.

Çizelge 2. Numunelere uygulanan ön terbiye işlemleri deney planı

Numune Kodu	Ağartma Durumu	Katyonize Oranı (%)
M1	Ağartmasız	3
		9
	Ağartmalı	0
		3
M2	Ağartmasız	3
		9
	Ağartmalı	0
		3
P1	Ağartmasız	3
		9
	Ağartmalı	0
		3
P2	Ağartmasız	3
		9
	Ağartmalı	0
		3

Ağartma işlemi uygulanmamış kumaşlar %3 ve %9 oranlarında katyonize işlemine tabi tutulmuş olup çalışma kapsamında ağartma ve katyonize işlemleri uygulanmamış numune kumaş grubu bulunmamaktadır. Ancak ağartma işlemi uygulanmış fakat katyonize edilmemiş kumaşlar çalışmaya dahil edilmiştir.

Katyonizasyon ajanı olarak Affinitas ALK kullanılmıştır. Katyonizasyon prosesi ağartma işlemi ile aynı flote oranında, aynı metot ve aynı makinede gerçekleştirilmiştir. 25 °C’de 10 dakika işlem gören kumaşların sıcaklığı 60 °C’ye kadar yükseltilmiş ve 30 dakika beklenmiştir. Katyonizasyon oranına göre belirlenen katyonizasyon ajanı banyoya 25 °C’de verilirken, banyo sıcaklığı 60 °C’ye ulaştığında kostik ilave edilmiştir. İşlem tamamlandığında 25 °C’de 10 dakika boyunca soğuk durulama işlemi uygulanmış ve banyo boşaltılmıştır.

3.2. Metod

3.2.1. Yumuşaklık Derecesinin Tayini

Numune havlu kumaşların yumuşaklık derecesini belirlemek için Dijital Pnömatik Stiffnes Tester cihazı kullanılmıştır. ASTM (American Society for Testing and Materials) D 4032-94 Dairesel Eğme Test Metodu esas alınmıştır [8].

3.2.2. Hidrofilite Derecesinin Tayini

Havlu kumaşların hidrofilite derecelerini belirlemek amacıyla TS EN 14697 standardına göre belirlenen sayıda ve ölçüde alt numuneler hazırlanmış ve batma testi uygulanmıştır [9]. Ölçümü yapılan numune havlu kumaşların batma süreleri saniye cinsinden kaydedilmiştir.

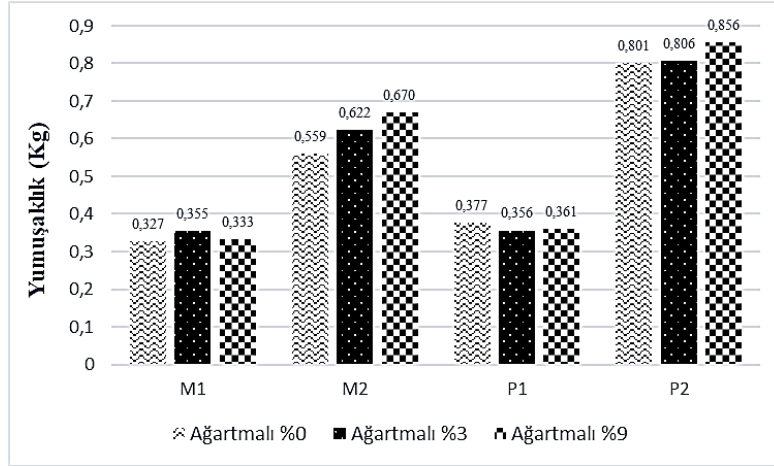
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Yumuşaklık Testi Sonuçları

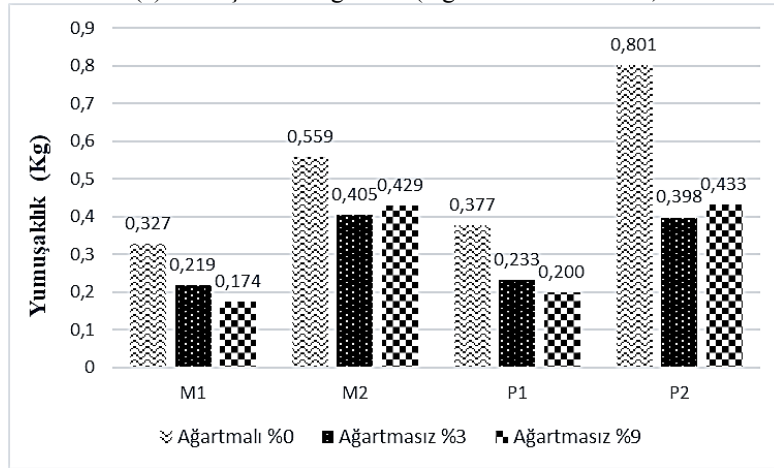
Stiffness test cihazı ile yapılan yumuşaklık testinin ölçüm sonuçları Çizelge 3’de verilmiştir. Deneysel olarak tespit edilen yumuşaklık değerlerinin seçilmiş parametrelere göre irdelenmesi amacıyla oluşturulan grafikler Şekil 1’de görülmektedir.

Çizelge 3. Yumuşaklık testi sonuçları

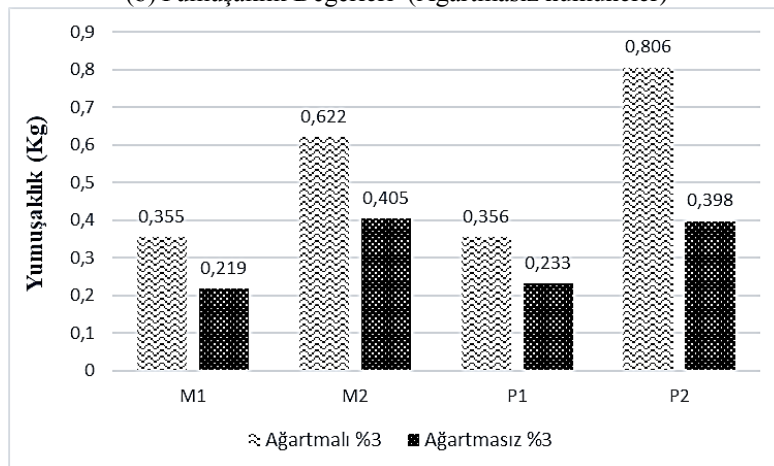
Numune Kodu	Ağartma Durumu	Katyonize Oranı (%)	Yumuşaklık Değeri (kg)
M1	Ağartmasız	3	0,219
		9	0,174
	Ağartmalı	0	0,327
		3	0,355
M2	Ağartmasız	9	0,333
		3	0,405
	Ağartmalı	9	0,429
		0	0,559
P1	Ağartmasız	3	0,622
		9	0,670
	Ağartmalı	3	0,233
		9	0,200
P2	Ağartmasız	0	0,377
		3	0,356
	Ağartmalı	9	0,361
		3	0,398
P2	Ağartmasız	9	0,433
		0	0,801
	Ağartmalı	3	0,806
		9	0,856



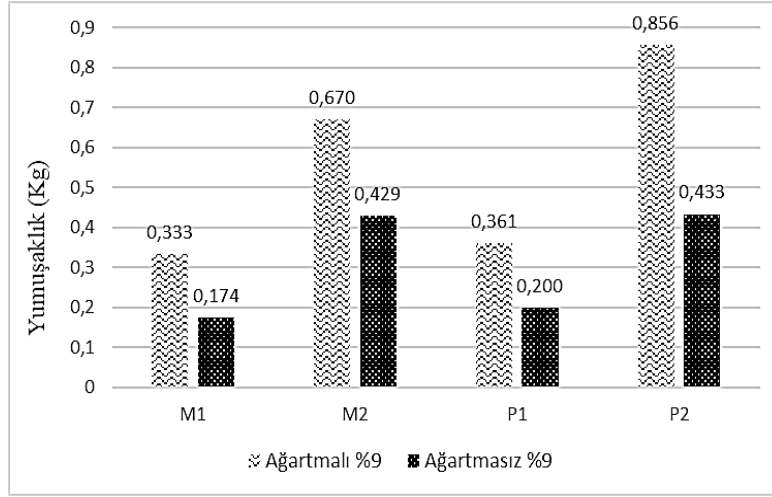
(a) Yumuşaklık Değerleri-(Ağartmalı numuneler)



(b) Yumuşaklık Değerleri-(Ağartmasız numuneler)



(c) Yumuşaklık Değerleri-(%3 Katyonizasyon oranı)



(d) Yumuşaklık Değerleri—(%9 Katyonizasyon oranı)
Şekil 1. Ağartma durumu ve katyonizasyon oranının yumuşaklık değerlerine etkisi

Şekil 1(a) da görüldüğü gibi ağartma uygulanmış kumaşlarda katyonizasyon işleminin uygulanması yumuşaklık üzerinde önemli bir etkiye sahip olmamıştır. Ancak Şekil 1(b) incelendiğinde sadece ağartma uygulanmış kumaşların yumuşaklık değerlerinin ağartmasız kumaşların yumuşaklık değerlerinden daha yüksek olduğu başka bir ifadeyle kumaşın daha sert olduğu görülmektedir. Bu nedenle yumuşaklık açısından değerlendirildiğinde ağartma işlemi yerine katyonizasyon işleminin havlu kumaş üretiminde uygulanması kumaş performansı açısından daha avantajlı görünmektedir.

Ancak katyonizasyon oranının havlu yumuşaklığı üzerinde anlamlı bir etkisinin olduğu söylenememektedir. Şekil 1(c) ve (d)'de görüldüğü gibi katyonizasyon işlemi uygulanmış olan havlularda ağartma işlemi hem %3 hem de %9 konsantrasyonda yumuşaklık değerinin yükselmesine başka bir ifadeyle numunenin sertleşmesine yol açmıştır. Bu durum hem pamuk hem de modal hammaddeli numuneler için geçerli olmuştur.

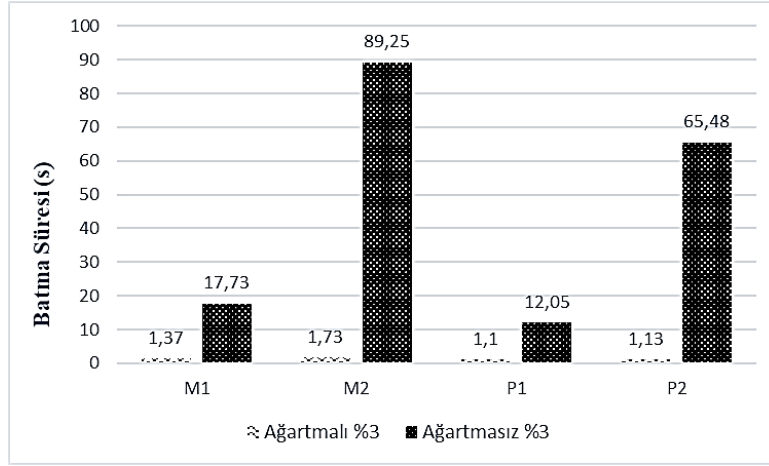
4.2. Hidrofilite Testi Sonuçları

Çalışma kapsamında numune kumaşlara uygulanan hidrofilite testi sonuçları Çizelge 4'te

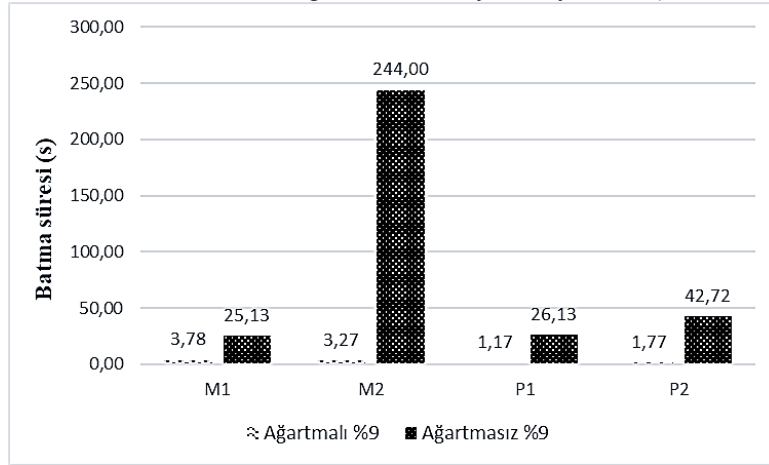
verilmiştir. Bu sonuçlar kullanılarak oluşturulan grafikler ise Şekil 2'de verilmiştir. Batma testi sonucu elde edilen değer arttıkça kumaşın hidrofilitesinin düştüğü/azaldığı (suyun daha geç emildiği) anlaşılmaktadır.

Çizelge 4. Hidrofilite testi sonuçları

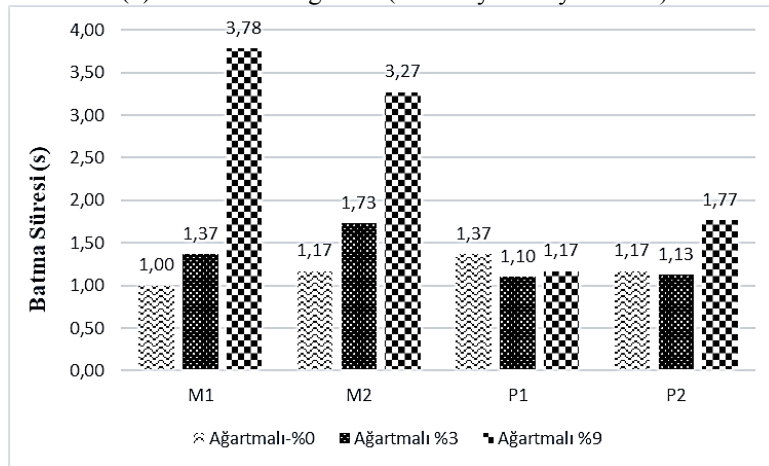
Numune Kodu	Ağartma Durumu	Katyonize Oranı (%)	Hidrofilite Değeri (sn)
M1	Ağartmasız	3	17,73
		9	25,13
	Ağartmalı	0	1,00
		3	1,37
M2	Ağartmasız	3	89,25
		9	244,00
	Ağartmalı	0	1,17
		3	1,73
P1	Ağartmasız	3	12,05
		9	26,13
	Ağartmalı	0	1,37
		3	1,10
P2	Ağartmasız	3	65,48
		9	42,72
	Ağartmalı	0	1,17
		3	1,13
		9	1,77



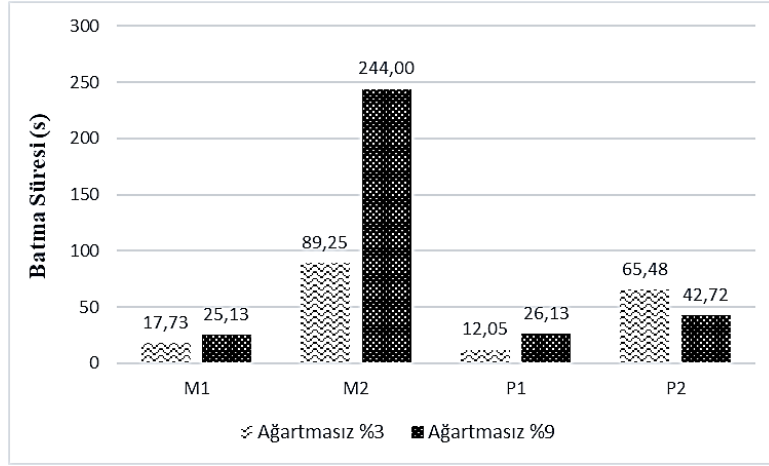
(a) Hidrofilite Değerleri-(%3 Katyonizasyon oranı)



(b) Hidrofilite Değerleri-(%9 Katyonizasyon oranı)



(c) Hidrofilite Değerleri-(Ağartmalı numuneler)



(d) Hidrofilite Değerleri-(Ağartmasız numuneler)

Şekil 2. Ağartma durumu ve katyonizasyon oranının hidrofilite değerlerine etkisi

Çizelge ve grafiklerden görüldüğü üzere ağartmalı numunelerin hidrofilite değerleri katyonizasyon işlemi uygulansa da uygulanmasa da ağartmasız kumaşlarda oldukça düşük çıkmıştır. Başka bir ifadeyle bu kumaşların hidrofilitelerinin daha iyi olduğu söylenebilmektedir. Bu durumda ağartma işleminin hidrofilite açısından katyonizasyon işlemine göre daha avantajlı olduğu söylenebilmektedir. Ancak ağartmasız numunelere katyonizasyon uygulandığında elde edilen hidrofilite değerlerinin, M2 kodlu numune dışında kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu görülmektedir. Havlu kumaşlarda batma testi sonucu hidrofilite değerinin işletme şartlarında ve kullanımda en fazla 100 saniye olması istenmektedir. Bu nedenle havlu üretim prosesinde ağartma yerine katyonizasyon işleminin kullanılmasının yumuşaklığın aksine hidrofiliteyi bir miktar düşürdüğü ancak elde edilen değerlerin kullanım yerine göre kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu söylenebilmektedir.

5. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında pamuk ve modal havlu hammaddeli havlu kumaşların ön terbiyesinde katyonizasyon işleminin uygulanabilirliği ve katyonizasyon oranının havlu performansına

etkisinin irdelenmesi amaçlanmış olup, elde edilen sonuçlardan seçilmiş olanlar aşağıda özetlenmiştir.

- Havlu kumaşlarda ağartma işlemi yerine katyonizasyon işleminin uygulanabildiği ve katyonizasyon görmüş kumaşlarda tuz ve soda kullanmadan boyama işlemi gerçekleştirilebildiği görülmüştür.
- Açık ve parlak renkler dışında kalan boyamalar için ağartma mutlaka olması gereken bir adım değildir. Fakat iyi bir hidrofiliteye sahip olunması ve boyama prosesinin başarısı açısından oldukça önemlidir. Açık renklerin boyanması için iyi bir ağartma yapılması gereklidir. Bu durumda sadece katyonizasyon işleminin uygulanmasıyla yeterli hidrofilite elde edildiğinde koyu renk boyamalarda ağartma uygulanmadan sadece katyonizasyon işlemiyle yeterli bir boyama işlemi gerçekleştirilebilir.
- Ağartma işlemi yerine katyonizasyon işleminin havlu kumaşa uygulanmasının yumuşaklık değerini iyileştirdiği tespit edilmiştir.
- Ağartma işlemi uygulanmış kumaşlara hangi oranda katyonizasyon işlemi uygulanırsa uygulansın yumuşaklık değerini yükselttiği (kumaşın sertleştiği) tespit edilmiştir.
- Katyonizasyon konsantrasyonunun

yumuşaklık değeri üzerinde anlamlı bir etkisi saptanmamıştır.

- Ağartma işlemi yerine katyonizasyon işleminin uygulanması hidrofilitiyi bir miktar düşürse de bu değer kullanım yerine göre kabul edilebilir seviyede olduğu saptanmıştır.
- Katyonizasyon işleminden bağımsız olarak ağartma işlemi uygulanmasının batma süresini kısalttığı saptanmıştır.
- Katyonizasyon oranının değişmesinin hidrofilitte üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak havlu kumaş üretiminde hav çözgüsü, atkı ve zemin çözgüsü hammaddesi olarak %100 pamuk kullanılması durumunda ön terbiye prosesinde ağartma yerine daha çevreci ve daha düşük maliyetli katyonizasyon işleminin kullanılabilceği görülmüştür. Ancak aynı durum, hidrofilitteki kötüleşme nedeniyle hav hammaddesi %100 modal olan ağır gramajlı numune grubu için sözkonusu olamamıştır.

6. TEŞEKKÜR

Çalışma kapsamında numune kumaşların üretimi ile ilgili olarak gösterdikleri katkı ve yardımlar için Hateks Hatay Tekstil İşletmelerine ve Türk Tekstil Vakfı Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezi'ne teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR

1. http://www.tetsiad.org/files/raporlar/ocak_haziran.pdf, (Erişim tarihi: Mayıs 2019)
2. Onar, N., 2006. Katyonik Pamuk Eldesi ve Uygulamaları. The Journal of Textiles and Engineer, İzmir, 61, 33-40.
3. Chattopadhy, D.P., 2001. Cationization of Cotton for Low-Salt or Salt-Free Dyeing. Indian Journal of Fibre & Textile Research, India, 26, 108-115.
4. Srikulkit, K., Larpsuriyakul, P., 2002. Process of Dyeability Modification and Bleaching of Cotton in a Single Bath. Coloration Technology, Colume, 118(2), 79-84.
5. Oktav, M., Dayıoğlu, H., 2008. Pamuklu Mamullerin İyonik Modifikasyon Yardımıyla

Kolay Bakım Özelliklerinin İncelenmesi. Tekstil ve Mühendis, 70-71, 17-31.

6. Nakpathom, M., Somboon, B., Narumol, N., Mongkholrattanasit R., 2018. Dyeing of Cationized Cotton with Natural Colorant from Purple Corncob, Journal of Natural Fibers, 15(5), 668-679.
7. Kalkanlı, E., 2019. Havlu Kumaşlara Katyonizasyon İşleminin Uygulanması ve Söz Konusu İşlemin Ürün Performansına Etkisinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
8. ASTM D 4032: 1994 Standard Test Method for Stiffness of Fabric by the Circular Bend Procedure (Dairesel Eğme Test Metodu).
9. TS EN 14697-Tekstil-Havlular ve Havlu Kumaşlar-Özellikler ve Deney Metodları, 2007.

Farklı Hammaddeden Örmeye Çoraplar Üzerine Deneysel Bir Çalışma

Füsun DOBA KADEM^{*1}, Şehpal ÖZDEMİR¹

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

Geliş tarihi: 23.08.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Temel giyim ihtiyaç maddelerinden biri olan çorap, yalnızca bir örtme malzemesi olmayıp insan sağlığı açısından da son derece önemli bir giysidir. Çoraplarda kullanım performansı açısından bakıldığında hammadde önemli bir kriterdir. Bu kapsamda bu çalışmada polyamid, bambu, modal ve pamuk içeren çorapların hava geçirgenliği, boncuklanma ve aşınma gibi özellikleri deneysel olarak değerlendirilmiş ve hammadde türüne bağlı olarak çalışmada elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Örmeye çorap, Boncuklanma, Aşınma, Hava geçirgenliği

An Experimental Study on Knitted Socks from Different Raw Materials

Abstract

Socks, which is one of the basic necessities of clothing, is not only a cover material but also an extremely important garment for human health. Raw material is an important criterion when it comes to the performance of socks. In this context, in this study, experimental measurements on air permeability, pilling and abrasion properties of socks containing polyamide, bamboo, modal and cotton were made and the results obtained in the study were interpreted depending on the type of raw material.

Keywords: Knitted socks, Pilling, Abrasion, Air permeability

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Füsun DOBA KADEM, fusundobakadem@gmail.com

1. GİRİŞ

İnsanların temel ihtiyaçlarından birisi olan çoraplar sağlık açısından giysi olarak önemini korumakla birlikte, farklı renk ve desenleri ile bir aksesuar malzemesi olarak günümüz modasında fonksiyonellik de kazandırılarak önemli yol kat etmiştir. Çok eski zamanlara gidip çorap tarihine baktığımızda, ilk yazılı kaynaklarda Yunanlı şair Heseidos'un (M.Ö. 8. yy) hayvan kılından örülen bir ayakkabı astarından (Pilo) bahsettiği görülür. Romalılar ve eski mısırlılar ile devam eden bu süreçte el örgüsü çorapların bugünkü şekline 17. yy'da ulaştığı bilgileri ile karşılaşılmaktadır [1].

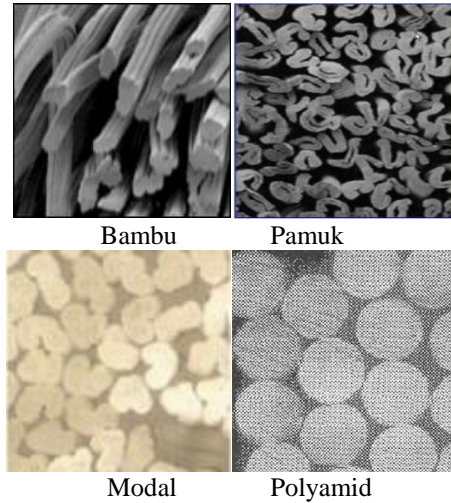
Ülkemiz çorap sektörüne bakıldığında, 1923 yılından itibaren faaliyet gösterilerek, günümüzde ürettiğimiz çorapların hem iç piyasaya yeterli geldiği, hem de %90'ını ihraç eder duruma geldiği memnun edici bir sonuçtur.

Bir çorabı oluşturan kısımlar, lastik, gövde (konç), topuk, ayak-taban ve burun olarak beş kısımdır. Kısa, normal ve diz boyu olmak üzere üç boyda üretilen çorapların burun ve topuklar takviyeli (çift kat) veya takviyesiz (tek kat) olmak üzere, iki şekilde kullanımı söz konusudur [1]. Genel olarak çorap üretimi aşağıdaki adımlarla gerçekleşir;

- Çorabın örülmesi: Lastik, konç, topuk, ayak, taban ve son olarak da burun örülür. Burun kısmı açık olan çoraplar burun kapama işlemine gönderilirler.
- Burun dikişi: Örmeye ya da dikiş ile burun kapama işlemi yapılır.
- Ön forma (ütüleme): Boyama öncesi, ilmeklerin sıcaklık etkisiyle açılarak boyanın örgüye daha iyi nüfuz etmesi sağlanır.
- Boyama: Örmeye işlemi boyasız ipliklerle yapıldığında, örmeye çoraplar ön forma sonrası boyama işlemine tabi tutulur.
- Forma: Çorabın görünüşünü iyileştirmek ve çorap üzerindeki nemi almak için el üteleri veya otomatik ütüler ile yapılan bir işlemdir. Otomatik ütü makinelerinde çoraplar alüminyum ayaklara takılarak buharlama, fiksaj, presleme ve kurutma işlemlerine tabi tutulur.

- Çiftleme: Çorapların formadan sonra ikişerli gruplar haline getirilmesidir. Sonrasında da etiketleme ve jelatinleme işlemi yapılır.
- Ambalaj: Çiftlenen çoraplar, belirli büyüklükte kutulara belirli sayılarda yerleştirilerek sevkiyata gönderilir [1].

Çorap imalatında kullanılan başlıca lifler pamuk (her türlü çorapta kullanılır), yün (kalın kadın-erkek çoraplarında), Tencel, polyamid, polyester, akrilik, modal, bambu şeklinde sıralanabilir [2]. Bahsedilen liflerden bir kısmı geleneksel olarak bilinmekle birlikte, son yıllarda farklı lif kullanımı ile çoraplardaki konforun artırılmasına yönelik çalışmalar da yoğunlaşmaktadır. Şekil 1'de bu liflerden bazılarının enine kesit görüntüleri verilmiştir.



Şekil 1. Lif kesiti [2]

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tüketici beğeni ve taleplerindeki hızlı değişim, giysilerde olduğu gibi çorap sektöründe de gelişme göstermiş ve araştırmacıları bu alanda konfor sağlayacak çalışmalar yapmaya sevk etmiştir. Bu kapsamda, deneysel olarak yürütülmüş çalışmalardan bir grubu aşağıda verilmiştir.

Avcı [3], modal, viloft, bambu, seacell ve soya lifleri ile geleneksel lifler olarak tabir edilen pamuk ve viskon gibi liflerden elde edilen

ipliklerle çorap formunda örme yüzeyi oluşturmuş ve bunların çeşitli konfor ve fiziksel performansını incelemiştir. Modal, viloft ve bambu ile pamuk arasında yapılan %50-50 karışımli ipliklerden elde edilen çorapların gerek konfor özellikleri gerekse fiziksel özellikleri bakımından sunduğu performansların, bu liflerin %100 olarak kullanıldığı halinden çok daha iyi netice verdiği görülmüştür. Çalışmanın sonucunda modal, viloft ve bambu liflerinden optimum verim alabilmek için pamuk ile karışım halinde kullanılmasının daha uygun olacağı tespit edilmiştir.

Özdil [4], yün, akrilik ve pamuk, PA içeren çorapların ısı konfor özellikleri hakkında deneysel çalışmalar yapmış ve sonuçlarını yorumlamıştır. Çalışmanın neticesinde, yün çorapların ısı iletkenlik değerlerinin akrilik çoraplardan daha düşük olduğu sonucu elde edilmiştir.

Doba Kadem [5], çalışmasında farklı hammaddeden polyamid karışımli örme çoraplarda performans özelliklerini deneysel olarak incelemiştir.

Ala ve arkadaşları [6], aynı pamuk harmanından üretilmiş Ne 12/1, Ne 16/1 ve Ne 20/1 iplikler kullanarak elde edilen örme kumaşların performans özelliklerini karşılaştırmışlardır. Süprem örme kumaşların seçilmiş konstrüksiyon özelliklerinin kalınlık, hava geçirgenliği ve boncuklanma özelliklerine etkisini değerlendirmişlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada seçilmiş bir çorap işletmesinden temin edilen polyamid, bambu, modal ve pamuk gibi farklı ham maddeden materyalleri içeren çorapların bir kısım fiziksel özellikleri ile hava geçirgenliği, boncuklanma ve aşınma gibi performans özellikleri standartlara göre deneysel olarak ölçülmüş, elde edilen sonuçlar hammadde türüne bağlı olarak yorumlanmıştır.

Farklı hammaddeden üretilen süprem çorapların (Colosio XP marka çorap örme makinesi), üretim sonrası makineden burunları açık olarak çıktığından burun kapama makinesinde (Conti

Complett) burunları dikilmiştir. Sonrasında çoraplar, forma (buharlı makine forması), çiftleme ve paketlenme işlemine tabi tutulmuştur.

Çalışmada üretilen çorapların örme makinesinde, silindirdeki iğne sayısı 200 makine çapı 3¾" olup, makine inceliği 18 Fayn, iğne kalınlığı 0,60 mm'dir. Şekil 2'de kullanılan örme makinesi Şekil 3'te ise burun kapama makinesi görülmektedir [7].



a)



b)

Şekil 2. Colosio XP çorap örme makinesi [7]



Şekil 3. ContiComplett burun kapama makinesi [7]

Üretimi yapılan çoraplar, Çizelge 1’de standartları ile birlikte verilen analizlere tabi tutulmuştur.

Çizelge 1. Çorap numunelerine uygulanan analizler ve standartları

Analiz İsmi	Standartlar
Hava Geçirgenliği (mm/sn)	TS 391 EN ISO 9237:1999 [8]
Patlama Mukavemeti (kPa)	TS EN ISO 13938-2:2003 [9]
Kalınlık (mm)	TS 7128 EN ISO 5084:1998 [10]
Aşınma Dayanımı (Devir)	TS EN ISO 12947-2:2017 [11]
Boncuklanma Tayini	TS EN ISO 12945-2:2002 [12]
İlmeğin iplik uzunluğu (cm/50 ilmek)	TS EN 14970:2006 [13]
Çubuk sıklığı (adet/cm)	TS EN 14971:2006 [14]
Gramaj (g/m ²)	TS 251:1991 [15]

4. BULGULAR

Polyamid, bambu, modal ve pamuk gibi farklı hammaddeden materyalleri içeren çorapların deneysel olarak test edilen fiziksel özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir [16].

Çizelge 2. Çorap numunelerinin test edilen fiziksel özellikleri

Materyal	Çubuk sıklığı	Kalınlık	Gramaj
bambu/polyamid (%82-%18) Ne 30/1 bambu (Z büküm) Ne 40/1 polyamid (S büküm)	11,53	0,88	157,5
modal/polyamid (%82-%18) Ne 30/1 modal (Z büküm) Ne 40/1 polyamid (S büküm)	11,77	0,88	161,5
pamuk/polyamid (%70-%30) Ne 30/1 penye pamuk (Z büküm) Ne 70/1 polyamid (S büküm)	10,71	1,15	160
pamuk/polyamid/elastan (%88-%11-%1) Ne 24/1 penye pamuk, (Z büküm) Ne 40/1 polyamid (S büküm)	7,28	2,28	190,5

Çizelge 3. Çorap numunelerinin test edilen performans özellikleri

Analiz İsmi	Bambu/PA	Modal/PA	Pamuk/PA	Pamuk/PA/EA
Hava Geçirgenliği (mm/sn)	>835	>835	>835	253,84
Patlama Mukavemeti (kPa)	513	498	500	633
Boncuklanma	4-5	4-5	4-5	2
Aşınma Dayanımı	16000	16000	>20000	>20000
İlmeğin İplik Uzunluğu (cm/50 ilmek)	32,3	27,7	21,8	21

Çizelge 3’den de görüleceği üzere, karışımdaki hammadde türü üretilen çorapların fiziksel ve

performans özelliklerini önemli ölçüde etkilemiştir.

Boncuklanma ve aşınma performans özelliği daha çok, terbiye işlemi görmüş (mamul) kumaşlara uygulanan bir analiz olup, lif türü, iplik özellikleri, iplik eğirme yöntemi, örme kumaş özellikleri (örgü türü gibi), malzemenin gördüğü terbiye işlemleri (ön terbiye, boyama, apre gibi) olarak birçok faktörden etkilenebilen bir performans özelliğidir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde hammadde olarak polyamid/pamuk karışımının kullanımının aşınma dayanımını artırdığı, kullanılan hammaddelerin boncuklanma değerleri incelendiğinde birbirine benzer değerler elde edildiği görülmektedir. Fakat elastan kullanılan pamuk/polyamid karışımında pamuk oranının fazla olmasının yüzeydeki boncuklanma/tüylene görünümünü belirgin bir biçimde arttırdığı düşünülmektedir. Bu da beklenen bir durumdur.

Patlama mukavemeti değerlendirildiğinde bambu ve modal karışimli çoraplarda pamuk karışimli olanlardan daha düşük çıkmış, pamuk oranının daha fazla olduğu elastanlı karışım ise elastanında dayanım özelliği kazandırması nedeniyle, patlama mukavemetinin yüksek olmasını sağlamıştır. Ancak bir konfor özelliği olan hava geçirgenliğinde bu durum olumsuz yönde etki etmiştir. Konfor lifleri olarak bilinen bambu ve modal liflerinin kullanıldığı çorap numunelerinde hava geçirgenliği yüksek bulunurken, pamuk/elastan karışimli çorap numunesinde diğer numunelerden oldukça düşük bulunmuştur. Hava geçirgenliğine örme yüzeyinin yapısal parametreleri, bu yapının içinden geçen havanın özellikleri ve örme yüzeyin gördüğü son işlemler gibi faktörlerin etki ettiği dikkate alındığında, pamuk/elastan karışimli çorap numunesi iyi bir hava geçirgenliğine ulaşmamıştır.

5. SONUÇLAR

Çoraplar, farklı hammadde, renk ve desenleri ile bir aksesuar malzemesi olmanın yanında, geçmişten günümüze insanların temel ihtiyaç malzemelerinden de birisidir. Çorapların kullanım performansı açısından hammadde önemli bir etken olup bu çalışmada, farklı hammaddeden örme çorapların aynı örgü türünde boncuklanma,

aşınma, patlama mukavemeti ve hava geçirgenliği gibi performans özellikleri deneysel olarak değerlendirilmiştir. Bambu, modal, pamuk ve polyamid karışimli ipliklerden üretilen çorap numunelerinin boncuklanma, aşınma, patlama mukavemeti ve hava geçirgenliği özellikleri test edilmiş olup söz konusu performans değerlerine bakıldığında, polyamid ile birlikte kullanılan selüloz/rejenere selüloz ham maddeden çorapların performans özelliklerinde birbirine yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Modal, bambu, pamuk, selüloz esaslı lifler olduğundan, aşınma dayanımı yüksek bir materyal olan polyamid ile birlikte kullanılması durumunda çorapların tespit edilen patlama mukavemeti, aşınma dayanımı ve boncuklanma performans özelliklerinde genel olarak iyi sonuçlara ulaşılmıştır.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışmada Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'nden (Proje No: FBA-2014-2912) destek alınmıştır.

Çalışmada kullanılan materyallerin temini ve üretiminde verdiği destekten dolayı Gözde Giyim A.Ş'den (İstanbul) Makine Mühendisi Özer YILMAZ'a teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR

1. Candan, C., 2004.Çorap Örme Teknolojisi Mega Basım, İstanbul, 183.
2. Cimilli, S., Nergis, B., Candan, C., Özdemir, M., 2010. A Comparative Study of Some Comfort-Related Properties of Socks of Different Fiber Types, Textile Research Journal, 10(80), 948-957.
3. Avcı, H., 2007. Yeni Liflerden Mamul Çorapların Konfor Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi FBE, İstanbul, 92.
4. Özdil, N., 2008. Çoraplarda Isıl Konfor Özellikleri Üzerine Bir Çalışma, Tekstil ve Konfeksiyon, 18(2), 154-158.
5. Doba Kadem, F., 2016. Farklı Hammaddeden Örme Çoraplarda Bazı Performans Özelliklerinin Araştırılması, Poster Bildiri, 1.

- Uluslararası Akdeniz Bilim ve Mühendislik Kongresi, Adana, 26-28 Ekim 2016.
6. Ala, D.M., Gülşen Bakıcı, G., Abdulvahitoğlu, A., 2017. Süprem Örmeye Kumaşlarda Kalınlık, Hava Geçirgenliği ve Boncuklanma Özelliklerinin İncelenmesi Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(3), 103-109.
 7. www.google.com/Colosio XP Çorap Örmeye Makinesi ve Conti Complett Burun Kapama Makinesi, (Erişim Tarihi: 2018).
 8. TS 391 EN ISO 9237 Tekstil-Kumaşlarda Hava Geçirgenliğinin Tayini, Nisan 1999.
 9. TS EN ISO 13938-2 Tekstil-Kumaşların Patlama Özellikleri-Bölüm 2: Patlama Mukavemetinin ve Patlama Gerilmesinin Tayini için Pnömatik Metot, 2003.
 10. TS 7128 EN ISO 5084 Tekstil-Tekstil ve Tekstil Mamullerinin Kalınlık Tayini, 1998.
 11. TS EN ISO 12947-2 Tekstil-Martindale Metoduyla Kumaşların Aşınmaya Karşı Dayanımının Tayini-Bölüm 2: Numune Kopmasının Tayini, 2017.
 12. TS EN ISO 12945-2 Tekstil- Kumaşlarda Yüzey Tüylenmesi ve Boncuklanma Yatınlığının Tayini-Bölüm 2: Geliştirilmiş Martindale Metodu, 2002.
 13. TS EN 14970 Tekstil- Örülmüş Kumaş-Tek İplikli Örmeye Kumaşlarda Örgü İlmeği ve İplik Doğrusal Yoğunluğunun Tayini, 2006.
 14. TSE - TS EN 14971 Textiles - Knitted fabrics - Determination of Number of Stitches Per Unit Length and Unit Area, 1991.
 15. TS 251 Dokunmuş Kumaşlar-Birim Uzunluk ve Birim Alan Kütlesinin Tayini.
 16. Gözde Giyim A.Ş. Teknik Doneleri, 2018, İstanbul.

Küçük Menderes Alt Havzası'nın SWAT ile Modellenmesi

Mohammad Matin SADDIQI¹, Mahmut Ekrem KARPUZCU^{*1}

¹*İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

Geliş tarihi: 26.09.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Antropojenik aktiviteler ve iklim değişikliği Küçük Menderes Havzası'nın su kaynaklarını olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Nüfus artışı ve kontrolsüz su kullanımları havzayı su fakiri haline getirmiştir. Havzadaki problemlere çözüm sunabilecek modelleme çalışmaları gereklidir. Bu çalışmada, SWAT (Toprak ve Su Değerlendirme Aracı) yazılımı kullanılarak Küçük Menderes Alt Havzası için hidrolojik model oluşturulmuştur. Modelin kalibrasyonu ve duyarlılık analizi SUFI-2 (Sıralı Belirsizlik Uygunluğu) metodu kullanılarak SWAT-CUP (SWAT-Kalibrasyon Belirsizlik Programları) ile yapılmıştır. Model en çok CN2, SOL_BD (katman#), RCHRG_DP ve SOL_K (katman#) parametrelerine duyarlı olmuştur. Modelin performansı P-faktör, R-faktör ve objektif fonksiyonlarla değerlendirilmiştir. P-faktör değeri %61 ile %80 aralığında izlemeleri eşlemiştir. Objektif fonksiyonlara göre model performansının yeterli seviyede olduğu değerlendirilmiştir. Bu çalışma, havzada iklim değişikliğinin ve en iyi yönetim uygulamalarının etkisini anlamak için yapılan çalışmalar için ve su kalitesi modellemesi çalışmalarını için bir altlık oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Küçük Menderes Havzası, Havza yönetimi, Hidrolojik modelleme, SWAT Modeli, SUFI-2

Modeling Kucuk Menderes Watershed with SWAT

Abstract

Water resources in Kucuk Menderes Watershed have been adversely affected by anthropogenic activities and climate change. Increasing population and uncontrolled water uses have transformed the watershed into a water-stressed watershed. Modeling studies in water resources are required to solve these problems in the watershed. In this study, a hydrological model for the watershed was established using SWAT (Soil and Water Assessment Tool). The model calibration and sensitivity analysis were performed by SWAT-CUP (SWAT-Calibration Uncertainty Programs) using Sequential Uncertainty Fitting (SUFI-2) method. The model was mostly sensitive to CN2, SOL_BD (layer#), RCHRG_DP and SOL_K (layer#) parameters. The performance of the model was evaluated with P-factor, R-factor and objective functions. P-factor values were in the range of 61-80%, meaning that the monitoring data were matched by the model within this range. According to the objective functions, the model performance was evaluated as satisfactory. The results of this study could serve as a base for a wide range of studies in the watershed such as effects of climate change, the effectiveness of Best Management Practices (BMPs) on water resources and water quality modeling.

Key Words: Kucuk Menderes Watershed, Watershed management, Hydrological models, SWAT, SUFI-2

* Sorumlu yazar (Corresponding author): M. Ekrem KARPUZCU, karpuzcu@itu.edu.tr

1. GİRİŞ

Su hayatın ana unsurudur. Nüfus artışı, artan şehirleşme ve sanayileşme, küresel ısınma ve antropojenik aktiviteler dünyanın her yerinde hem miktar hem de kalite açısından su sıkıntısı yaşanmasına sebep olmaktadır [1]. Bu faktörlerin etkilerini belirlemek için havza ölçeğinde hidrolojik süreçleri birleştiren bütünsel bir yaklaşım kullanılması gereklidir. Havza modellenmesi, bu bütünsel yaklaşım kapsamında, yüzey ve yer altı su hareketlerini ve bu su kütleleri arasındaki etkileşimi daha iyi anlamak ve insan müdahalelerinin ve iklim değişikliğinin kaçınılmaz etkilerinin havza hidrolojisi üzerindeki etkilerini tahmin etmek için bir araç olarak kullanılmaktadır [2,3].

En yaygın kullanılan simülasyon modelleme araçları arasında SWAT (Soil and Water Assessment Tool-Toprak ve Su Değerlendirme Aracı) yazılımı bulunmaktadır [4,5]. Türkiye'de SWAT modeli uygulamaları yaygınlaşmaktadır. Literatür araştırması sonucu Türkiye genelinde SWAT modeli uygulamalarıyla ilgili 17 adet akademik makale tespit edilmiştir [6-22].

Türkiye'de yapılan çalışmalar kapsamında, Bucak ve arkadaşları [8], Beyşehir gölünde gelecekteki su mevcudiyetinin risk altında olduğunu SWAT simülasyonları ile kanıtlamıştır [8]. Başka bir çalışmada Ertürk ve arkadaşları [18] SWAT modelini kullanarak Dalyan bölgesi için yeraltı suyunun dış etkilere karşı hassasiyetini değerlendirmiştir [18]. 2017 yılında yapılan diğer bir çalışmada SWAT modeli kullanılarak İstanbul'un Su Kaynakları Potansiyeli değerlendirilmiştir [12].

Bir diğer çalışmada ise, Melen Havzası'nda SWAT kullanılarak akış tahmini ve modellenmesi yapılmıştır [6]. Küçük Menderes Havzası'nda ise şu ana kadar herhangi bir SWAT uygulaması bulunmamaktadır. Bunun en büyük sebebi, havzanın ileri derecede yönetilen bir havza olması ve bu durumun modellemede yarattığı zorluklar olabilir. İleri derecede yönetilen havzadan kasıt, insan müdahalesinin aşırı derecede olmasıdır. Küçük Menderes Havzası'nda, su kütlelerin

doğallığı çeşitli müdahalelerle sürekli değiştirilmektedir. Havzada işletmede olan çok sayıda baraj ve göletin yanısıra, birçok baraj ve gölet de ya inşaat ya da planlama aşamasındadır. Bunlara ek olarak, havza içerisinde su transferi için kullanılmak üzere yapılmış regülatörler bulunmaktadır. Havzada 10000'i aşkın kayıtlı yeraltı suyu kuyusu mevcuttur [23]. Kayıtlı kuyulardan başka çok sayıda kaçak kuyu mevcuttur ve bu kuyularla yapılan aşırı su çekimleri havzadaki hidrolojik süreçleri olumsuz şekilde etkilemektedir. Kuyuların işletilmesi ile ilgili veri eksikliği model kurulumunu ve kalibrasyon işlemini daha da zorlaştırmaktadır. Küçük Menderes Alt Havzası, Türkiye'nin batısında Gediz ve Büyük Menderes Havzalarının arasında ve Küçük Menderes Havzası'nın doğusunda yer almaktadır (Şekil 1). Havzadaki su kaynakları iklim değişikliği, yoğun tarım, hayvancılık ve düzensiz yapılaşma nedeniyle hem kalite hem de miktar açısından ciddi risk altındadır [23].

Küçük Menderes Havzası'nda iklim değişikliği sonucu gelecekte ortalama sıcaklığın 3-5 °C artacağı ve yağışların ise %10-20 aralığında azalacağı beklenmektedir [24]. Bunun yanı sıra, havzanın su fakiri olduğu ortaya konmuştur [25].

Havzadaki su kaynakları, havzada yapılan yoğun tarım sonucu en çok sulama suyu olarak kullanılmaktadır. Havzada DSİ, sulama kooperatifleri, özel işletmeler ve halk sulamaları olmak üzere dört kesim tarafından sulama yapılmaktadır. Tarımsal sulamanın %92,7'si yeraltı suyu ile yapılmaktadır. Son yıllarda aşırı su çekiminden dolayı kuyulardaki su seviyeleri ciddi anlamda düşmüştür [23].

Havzadaki mevcut problemler hem hidrolojik modelleme hem de su kalitesi modellenmesi çalışmalarının yapılmasını gerektirmektedir. Gelecekte hem miktar hem de kalite açısından su durumunun tahmini, yapılacak su tahsisleri ve suyun hem miktar hem de kalite açısından korunması için alınacak önlemlerin belirlenmesi açısından çok önemlidir. Bu çalışmanın ana amacı, Küçük Menderes Alt Havzası için SWAT ile bir hidrolojik modelin kurulması ve bölgenin

hidrolojisini etkileyen faktörlerin ortaya konmasıdır. Ortaya konulan model, havzadaki su miktarının korunması ve dengeli bir şekilde tahsisi için alınması gereken önlemlerin belirlenmesinde kullanılabilir, bunun yanı sıra gelecekte yapılacak su kalitesi modelleme çalışmaları için de altlık olacaktır.

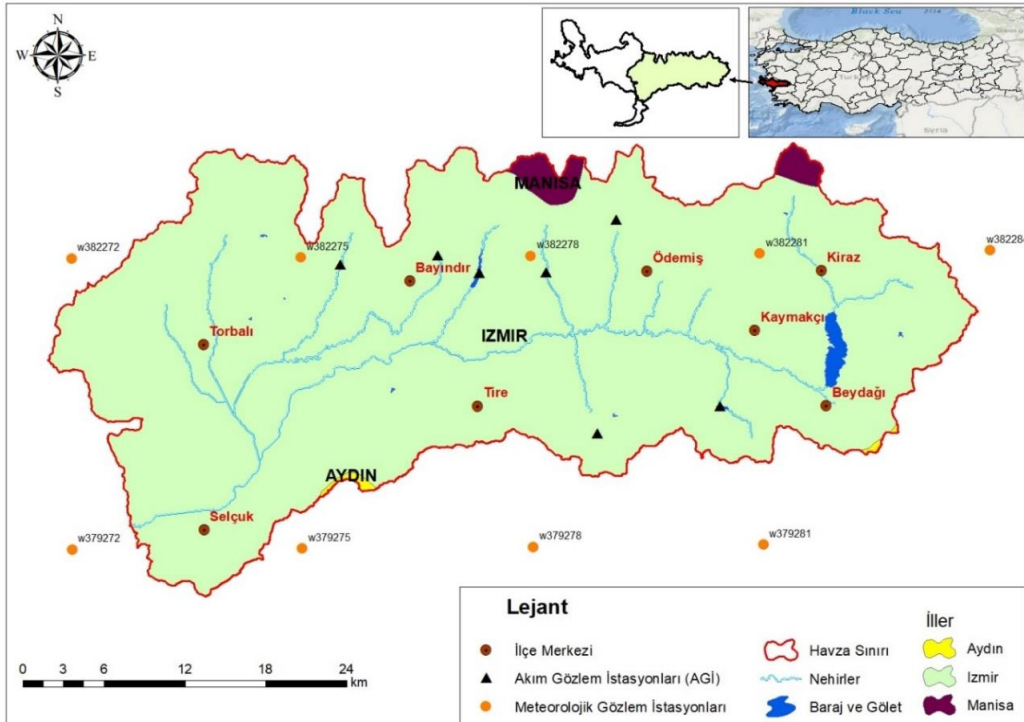
2. MATERYAL VE METOT

2.1. Çalışma Bölgesi

Çalışma bölgesi olarak, Küçük Menderes Havzası'nın doğusunda $37^{\circ} 53' 4.07''$ ve $38^{\circ} 21' 56.24''$ kuzey enlemleri ile $27^{\circ} 8' 51.9''$ ve $28^{\circ} 25' 12.02''$ doğu boylamları arasında yer alan Küçük Menderes Alt Havzası seçilmiştir (Şekil 1). Havzanın drenaj alanı Küçük Menderes Nehri'nin drenaj alanından oluşmaktadır. Havzada İzmir İli'nin yanı sıra Aydın ve Manisa illerinin de bir bölümü yer almaktadır, ancak İzmir İli havza alanının yaklaşık %98'lik kısmını kapsamaktadır.

Küçük Menderes Alt Havzası'nın alanı 345,701 ha olup, bu alan Türkiye'nin yüzölçümünün %0,44'üne karşılık gelmektedir. Havzanın nüfusu 2016 yılı itibarıyla 480,656'dır. Küçük Menderes Nehri havzanın en önemli akarsuyudur ve onu besleyen kollar Fetrek Çayı, Uladı Deresi, Ilıca Deresi, Değirmen Dere, Aktaş Deresi, Rahmanlar Deresi, Pirinççi Deresi, Yuvalı Dere, Ceriközkaya Deresi, Eğridere, Birgi Çayı, Çevlik Çayı ve Keles Çayı'dır [23].

Bozdağ, Karadağ ve Gediktepelerden akan derelerden beslenen ve menbasını Kiraz ovasından alan Küçük Menderes Nehri, kuzey-güney istikametinde devam ettikten sonra Beydağ ilçesinden itibaren doğu-batı yönünde akıp, Torbalı'nın doğusunu geçtikten sonra tekrar kuzey-güney istikametinde Belevi Boğazı'ndan Selçuk Ovası'na kavuşur ve doğu-batı yönünde devam ettikten sonra Ege Denizi'ne delta oluşturarak dökülür. Ege Denizi'ne ulaşmaya kadar 129 km yol kat eder [26].



Şekil 1. Çalışma bölgesi olarak seçilen Küçük Menderes Alt Havzası

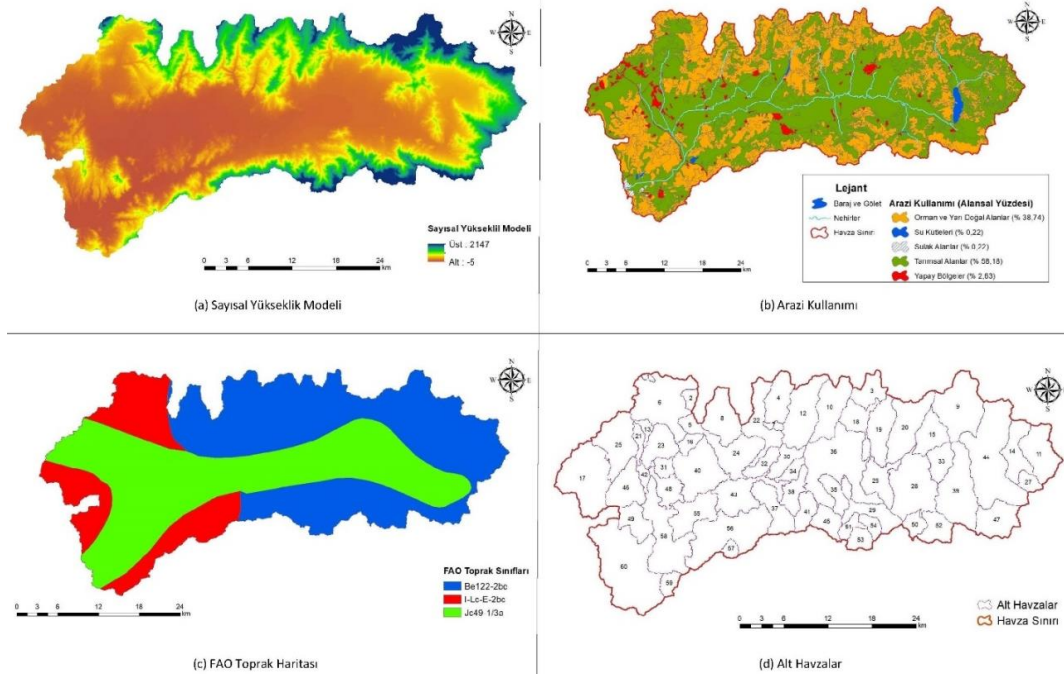
Havzanın arazi kullanımı incelendiğinde, arazinin büyük kısmını tarım alanlarının teşkil ettiği görülmektedir. Tarım alanlarını orman ve yarı doğal alanlar takip etmektedir. Tarım arazilerinin %52'si kuru ve %48'i sulu tarım alanı olarak kullanılmaktadır. Kuru tarım alanları Tire çevresinde, sulu tarım alanları ise eğimin az olduğu havza tabanında ve vadi boylarında yayılış göstermektedir. Küçük Menderes Nehri etrafındaki bölgelerde yapılan tarımın Türkiye ortalamasının üzerinde olduğu görülmektedir. Küçük Menderes Nehri etrafındaki Bayındır, Beydağ, Kiraz, Ödemiş, Selçuk, Tire ve Torbalı ilçelerinde tarım arazisi dağılımına bakıldığında, toplam tarım alanı %49, tarla alanı %22, zeytin alanı %12, sebze alanı %9, meyve alanı %4, tarıma elverişli boş arazi %2, bağ ve kavaklık alan %1 oranında dağılmaktadır. Havzada bağ ve bahçe tarımının önemini meyve ve sebze bahçeleriyle birlikte zeytinliklerin geniş yer tutması göstermektedir [27].

Havzada Akdeniz iklim özelliklerine rastlanmaktadır. Kurak ve sıcak yazlara, ılık ve yağışlı kışlara sahip olan havzada yıllık toplam yağışın yaklaşık yarısı kışın düşmektedir. Yüksek

kesimlerde kışlar karlı ve soğuk geçerken, kıyıya doğru kar yağışı ve don olayları azalır. Küçük Menderes Alt Havzası'nda kuraklık fazla değildir. Yarı nemli kuşakta bulunan Küçük Menderes Alt Havzası'nda İzmir'in doğusunda Torbalı-Bayındır'dan itibaren Küçük Menderes Ovası'na içine alan bölümde toplam yağış miktarı bölgenin diğer kısımlarına göre fazlalık göstermektedir. Havzanın en az yağış aldığı ay Ağustos ayı, en fazla yağış aldığı ay ise Aralık ayıdır [24,26].

2.2. Verilerin Toplanması ve Değerlendirilmesi

Sayısal yükseklik modeli (DEM), arazi kullanımı haritası, toprak haritası, günlük iklim verisi, kalibrasyon ve validasyon için gerekli olan akım gözlem verisi, bu çalışma için gerekli verilerdir. Gerekli veriler farklı kaynaklardan elde edilmiştir. Havzanın topoğrafik karakterizasyonu ile ilgili bilgi edinmek üzere kullanılan sayısal yükseklik modeli (DEM) (Şekil 2c) açık kaynak olan USGS Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) web sitesinden elde edilmiştir.



Şekil 2. (a) Sayısal yükseklik modeli, (b) Arazi kullanımı, (c) FAO toprak haritası, (d) Alt havzalar

SWAT modeli DEM verisini kullanarak havza sınırını, havzanın jeomorfolojik parametrelerini ve alt havzaları oluşturmaktadır. Havzanın arazi kullanımı durumunun belirlenmesinde CORINE-2012 veri tabanı dikkate alınmıştır. CORINE (Coordination of Information on the Environment - Çevresel Bilginin Koordinasyonu) verisi, görsel yorumlama yöntemiyle uydu görüntüleri üzerinden üretilen sınıflandırılmış arazi örtüsü/kullanımı verisidir.

Bu sınıflandırma, Avrupa Çevre Ajansı tarafından belirlenen Arazi Örtüsü/Kullanımı Sınıflandırmasına göre yapılmaktadır [28]. Veri tabanında 4 düzey sınıflandırma bulunmaktadır. 1. düzey sınıflandırmasına göre arazi örtüsü/kullanımı yapay alanlar, tarımsal alanlar, orman ve yarı doğal alanlar, sulak alanlar ve su kütleleri sınıflarına ayrılmaktadır. 2. düzey sınıflandırmasına göre arazi örtüsü/kullanımı 15 sınıfa, 3. düzey sınıflandırmasına göre 44 sınıfa ve 4. düzey sınıflandırmasına göre ise 164 sınıfa ayrılmaktadır [28].

CORINE arazi kullanımı kodları, SWAT veri tabanında bulunan arazi kullanımı kodları ile uyumlu hale getirilmiştir. Şekil 2 (b)'de çalışma bölgesinin arazi örtüsü/kullanımı verilmektedir.

Toprak verisi ise Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu (FAO/UNESCO) dünya toprak haritasından elde edilmiştir [29]. Toprak verisi de SWAT veri tabanı ile uyumlu hale getirilmiştir. Şekil 2 (d)'de çalışma bölgesinin toprak haritası verilmektedir.

Meteorolojik veriler, SWAT için küresel iklim verisi web sitesinden (<https://globalweather.tamu.edu/>) elde edilmiştir [30]. Elde edilen veriler günlük bazdadır ve 1979 ile 2013 yıllarını kapsamaktadır. Model simülasyon için günlük yağış, maksimum ve minimum sıcaklık, solar radyasyon, rüzgar hızı ve bağıl nem verilerine de ihtiyaç duymaktadır. Çalışma alanı içerisinde ve etrafında SWAT kapsamında kullanılacak CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) tarafından belirlenen 9 tane istasyon bulunmaktadır. Bu istasyonlar gerçekte mevcut olmayıp son derece gelişmiş veri asimilasyon teknikleri ile hem yersel meteorolojik gözlem istasyonlarından elde edilen veriler hem de uydu radyasyonları ile üretilen veriler kullanılarak üretilmektedir [31]. Akım gözlem istasyonu verisi de Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan temin edilmiştir. Meteorolojik gözlem istasyonları ve akım gözlem istasyonları Şekil 2'de görülmektedir. Şekil 2'de ise istasyonlara ait bilgiler verilmektedir.

Çizelge 1. Akım ve meteorolojik gözlem istasyonları

İstasyon	İl	İlçe	Kot (m)	X (m)	Y (m)
Akım Gözlem İstasyonları					
D06-A042	İzmir	Tire	380	578969,81	4212510,76
D06-A026	İzmir	Ödemiş	250	593649,93	4215772,32
D06-A013	İzmir	Bayındır	130	564960,54	4231603,69
D06-A012	İzmir	Ödemiş	130	572935,52	4231692,44
D06-A025	İzmir	Bayındır	120	548424,73	4232629,98
D06-A027	İzmir	Bayındır	140	559978,42	4233731,47
D06-A011	İzmir	Ödemiş	220	581220,79	4237941,20
Meteorolojik Gözlem İstasyonları					
w379275	Aydın	Germencik	330	543978,29	4199017,80
w379278	Aydın	İncirliova	797	571483,35	4199211,53
w379281	Aydın	Köşk	1154	598901,06	4199496,60
w382272	İzmir	Menderes	162	516491,40	4233534,50
w382275	İzmir	Bayındır	559	543791,95	4233635,94
w382278	İzmir	Ödemiş	478	571180,32	4233830,19
w382281	İzmir	Kiraz	583	598481,68	4234116,02
w382284	İzmir	Kiraz	1108	625871,24	4234495,30

2.3. Model Kurulumu ve Yaklaşımı

SWAT yazılımı, Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) büyük ve karmaşık su havzalarında arazi kullanımı ve yönetiminin su miktarı ve kalitesi üzerindeki uzun vadeli etkisini değerlendirmek üzere geliştirilmiştir [32]. Model, sayısal yükseklik modeli (DEM) kullanarak havza sınırını çizdikten sonra havzayı birbirleriyle bağlantılı alt havzalara bölmektedir. Daha sonra bu alt havzalar toplu, etkileşimli olmayan Hidrolojik İşlem Birimlerine (HİB) bölünmektedir. Alt havzalar, topoğrafyaya göre oluşturulur, böylece aynı akış segmentine akan alanları temsil ederler.

HİB'ler, bir alt havza içindeki benzersiz arazi kullanımı, toprak ve eğim kombinasyonlarını temsil eder. Şöyle ki, model aynı arazi kullanımına, toprak sınıfına ve eğime sahip olup alt havza içerisinde dağılmış bölgeleri homojen, uzamsal olarak açık olmayan bir HİB'de toplamaktadır. Akış ağı, en az bir ana kanal ve alt havza başına bir yan kanal ile temsil edilmektedir. Ek olarak, göletler, sulak alanlar ve rezervuarlar tanımlanabilir. SWAT'taki simülasyonlar iki ana bölümden oluşur: toprak aşaması ve yönlendirme aşaması. Toprak aşamasındaki simülasyonlar, her HİB için günlük olarak hesaplanan su dengesi denkleminde göre yapılır (Eşitlik 1).

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (P - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

SW_t toprağın nihai su içeriğini [mm], SW_0 toprağın başlangıç su içeriğini [mm], t zamanı [gün], P yağış miktarını [mm], Q_{surf} yüzeysel akışı [mm], E_a evapotranspirasyonu [mm], W_{seep} toplam sızıntı suyunu [mm], Q_{gw} ise baz akışı [mm] göstermektedir. Yönlendirme aşaması olan ikinci aşamada, bu yükler ana kanal ağı üzerinden havzanın çıkışına yönlendirilir. Bu arada, suyun buharlaşması, partiküllerin çökmesi, kirleticilerin bozulması gibi prosesler göz önünde bulundurularak, kütlelerin korunumu ilkesi uygulanır [33]. Yüzeysel akış, USDA Doğal Kaynakların Korunması Hizmeti eğrisi sayısı yöntemi [34] veya Green ve Ampt infiltrasyon modeli [35] kullanılarak simüle edilebilir.

Evapotranspirasyon Hargreaves, Priestly-Taylor ve/veya Penman-Monteith yöntemi kullanılarak tahmin edilebilir [36,37].

Gerekli veriler modelin formatına uyumlu şekilde getirildikten sonra, model ara yüzü olarak ArcSWAT 2012 [38] versiyonu kullanılmıştır. Havza ileri derecede yönetilen bir havza olduğu için bazı akarsular kanala çevrilmiş ve hatta Küçük Menderes Nehri yatağı da büyük ölçüde değiştirilmiştir. Bu değişikliklerin modele tanıtılması gerekmektedir. Havza sınırının belirlenmesi aşamasında ArcSWAT programının "burn-in" (var olan verileri DEM verisine gömmek) özelliği kullanılmıştır. Bu özellik sayesinde Google Earth programı [39] ile belirlenen değişiklikler modele tanıtılabilmektedir. Buna ek olarak, akarsu ağının yüksek doğrulukta belirlenmesi için drenaj alanın eşik değeri 200 ha olarak belirlenmiştir. Alt havza çıkışı belirlenirken izleme istasyonları ve mevcut baraj ve göletler dikkate alınmıştır. Toplamda 60 alt havza (Şekil 2) ve 208 HİB oluşturulmuştur. Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan elde edilen verilere göre baraj ve gölet verisi girilmiştir. Baraj ve göletlere ek olarak, halk sulamaları için çekilen su miktarları da modele tanıtılmıştır. İklim verisi 1979 ile 2013 yılları arasında kapsamaktadır. Ancak Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan elde edilen akım gözlem verisi 1987 ile 2013 yılları arasında olduğundan, ısınma süresi olarak modele 8 yıl girilmiştir ve simülasyonlar ay bazında yapılmıştır.

2.4. Model Kalibrasyonu ve Doğrulaması

SWAT modeli, SWAT-CUP (SWAT Calibration Uncertainty Procedures) [40] yazılımında SUFI-2 algoritması kullanılarak kalibre edilmiştir. SWAT-CUP duyarlılık analizi, çok alanlı kalibrasyon ve belirsizlik analizi için kullanılabilir. SUFI-2 tekrarlamalı (iteratif) bir algoritmadır ve tüm model belirsizliklerini parametre aralıklarına eşler. Sonuçtaki toplam belirsizlik, bir çıktı değişkeninin kümülatif dağılımının %2,5 ve %97,5 seviyesinde hesaplanan %95 öngörü belirsizliği (95PPU) ile belirlenir [41]. SWAT girdi parametreleri süreç tabanlıdır ve gerçekçi bir belirsizlik aralığında tutulmalıdır. SWAT programında kalibrasyon ve doğrulama işleminde ilk adım, belirli bir havza için

en hassas parametrelerin belirlenmesidir. Kullanıcı, uzman görüşüne veya duyarlılık analizine göre hangi değişkenlerin ayarlanacağını belirler. Duyarlılık analizi, model girdilerindeki (parametreler) değişikliklere göre model çıktısındaki değişim oranını belirleme işlemidir. SUFI-2 algoritmasında duyarlılık analizi t-testi vasıtasıyla yapılmaktadır. Buna göre, t-testi değeri ne kadar büyük olursa, parametre o kadar hassas olur; p-değeri t-değerinin önemini gösterirken, p-değeri ne kadar küçük olursa, bir parametrenin yanlışlıkla hassas olarak atanması o kadar az olur.

Bu çalışma kapsamında, p-değeri analizine göre herhangi bir parametrenin p-değeri değeri 0,05 değerinden küçük olduğu sürece model sonuçlarını etkilemektedir ve sıfıra yaklaştıkça etkileme derecesi artmaktadır. İkinci adım kalibrasyon işlemidir. Kalibrasyon işlemi tüm istasyonlar için tek seferde veya ayrı ayrı yapılabilir.

Bu çalışma kapsamında her istasyon için kalibrasyon ayrı bir şekilde yapılmıştır. Son adım, doğrulama (validasyon) işlemidir. Doğrulama, belirli bir sahaya özgü modelin yeterince doğru simülasyonlar yapabildiğini gösterme işlemidir, ancak "yeterince doğru" kavramı projenin hedeflerine göre değişebilir. Doğrulama işleme, kalibrasyon işlemi sırasında belirlenen

parametreleri kullanarak modeli çalıştırmayı ve kalibrasyonda kullanılmayan gözlemlenen veriler ile tahminleri karşılaştırmayı içerir [42]. Literatürde SUFI-2 uygulanması adım adım farklı çalışmalarda anlatılmaktadır [41-45].

SUFI-2 algoritması kapsamında ilk olarak SWAT modeli kurulmasının simülasyonu kontrol edilir. Model başlangıç parametreleriyle çalıştırılır ve 95PPU grafiği çizilir ve böylelikle genel olarak modelin doğru kurulup kurulmadığı anlaşılır. Daha sonra tüm süre kalibrasyon ve validasyon sürelerine ayrılır ve duyarlılık analizi yapılır. Bir sonraki adımda model her iterasyonda 500 ile 1000 kez olacak şekilde iterasyonlar yapılır.

Son olarak, modelin performansı objektif fonksiyonlar, P-faktör ve R-faktör ile belirlenir. P-faktör ve R-faktör endeksleri modelin uyum iyiliğini ve belirsizlik durumunu belirler. P-faktör, 95PPU tarafından sarılmış izleme verilerinin yüzdesidir. R-faktör ise 95PPU bandının ortalama kalınlığının izleme verisinin standart sapmasına bölünmesiyle elde edilir. Simülasyonun izleme verileriyle tam olarak eşleştiği ideal durumda, P-faktör ve R-faktör sırasıyla %1 ve 0 olma eğilimindedir, ancak farklı kaynaklardan gelen hatalardan dolayı gerçek durumlar için bu değerler elde edilemez [45].

Çizelge 2. Objektif fonksiyonlar

(Q: değişken, m: ölçülmüş, s: simüle edilmiş, -: ortalama, r: doğrusal regresyon katsayısı, α simülasyon ve ölçülmüş değerlerinin standart sapmalarının oranını ve β ise simülasyon ve ölçülmüş ortalamasının oranını göstermektedir)

1) R ²	Determinasyon katsayısı	$R^2 = \frac{[\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)(Q_{s,i} - \bar{Q}_s)]^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2 \sum_i (Q_{s,i} - \bar{Q}_s)^2}$
2) NSE	Nash-Sutcliffe Yeterliliği	$NSE = 1 - \frac{\sum_i (Q_m - Q_s)_i^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2}$
3) PBIAS	Mevcut Sapma	$PBIAS = 100 * \frac{\sum_{i=1}^n (Q_m - Q_s)_i}{\sum_{i=1}^n Q_{m,i}}$
4) KGE	Kling- Gupta Yeterliliği	$KGE = 1 - \sqrt{(r-1)^2 - (\alpha-1)^2 - (\beta-1)^2}$

Debi için P-faktör değerinin 0,6-0,8 aralığında olması, R-faktör için ise 1 değeri önerilmektedir. Ancak çalışma alanına ve parametre girdilerine bağlı olarak P-faktörü için 0,5'ten büyük ve R-faktör için 1,5'ten küçük değerler yeterli olacaktır [46].

Bu indislere ek olarak, simülasyon ile izleme verilerin arasındaki uyum iyiliğini belirlemek için objektif fonksiyonlar kullanılabilir. SWAT kalibrasyon ve validasyonunu değerlendirmek için SWAT-CUP programı kapsamında farklı objektif fonksiyonlar mevcuttur. Objektif fonksiyonlara ait

bilgiler SWAT-CUP kullanım kılavuzunda ve farklı çalışmalarda bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında kullanılan ve SWAT-CUP kullanım kılavuzunda anlatılan objektif fonksiyonlar Çizelge 2'de verilmektedir [45].

Şimdiye kadar, kalibrasyon ve validasyon için bildirilen en yaygın kullanılan objektif fonksiyonlar R^2 ve NSE'dir [42] Kalibrasyon sonuçlarının uygunluğunu farklı kaynaktan elde edilen literatür değerleriyle karşılaştırmak için Çizelge 3'deki değerler kullanılmıştır.

Çizelge 3. Model sonuçlarının değerlendirilmesi [47-49]

Performans Derecelendirilmesi	Çok iyi	İyi	Yeterli	Yetersiz
R^2	$0,75 < R^2 \leq 1$	$0,65 < R^2 \leq 0,75$	$0,5 < R^2 \leq 0,65$	$R^2 \leq 0,5$
NSE	$0,75 < NSE \leq 1$	$0,65 < NSE \leq 0,75$	$0,5 < NSE \leq 0,65$	$NSE \leq 0,5$
PBIAS	$PBIAS < +10$	$+10 \leq PBIAS < +15$	$+15 \leq PBIAS < +25$	$PBIAS \geq +25$
KGE	$0,9 \leq KGE \leq 1$	$0,75 \leq KGE < 0,9$	$0,5 \leq KGE < 0,75$	$KGE < 0,5$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Her istasyon için yapılan ayrı ayrı kalibrasyon işleminde aynı parametreler ve başlangıç aralıkları girilmiştir. Kalibrasyon işlemi için 21 parametre kullanılmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 5'te her istasyon için duyarlılık analizi yapılmış ve parametrelerin hassasiyeti derecelendirilmiştir. P-değeri duyarlılık analizine göre havzanın kuzeyinde kalan istasyonlar toplam 7 parametreye duyarlı iken, güneydoğuda kalan istasyonlar (D06-A026 ve D06-A042) toplam 9 parametreye duyarlıdır. Modelin en çok duyarlı olduğu parametre CN2 parametresini (istasyon D06-A042 hariç), SOL_BD(katman#), RCHRG_DP ve SOL_K(katman#) parametreleri takip etmektedir. CN2, SCS eğrisi numarası, toprağın geçirgenliğinin, arazi kullanımının ve

topraktaki mevcut su miktarının bir fonksiyonudur. CN2 değeri 35 ile 98 aralığındadır. SOL_BD (katman#), nemli kütle yoğunluğu, katı partiküllerin kütlelerinin toplam hacime oranını ifade eder. SOL_BD (katman#) değeri $0,9 \text{ g/cm}^3$ ile $2,5 \text{ g/cm}^3$ arasında olması gerekiyor.

RCHRG_DP, Derin akifer perkolasyon oranı, derin akiferleri yeniden beslemek üzere kök bölgesinden sızma oranını ifade etmektedir. RCHRG_DP değeri 0,0 ile 1,0 aralığında tutulmalıdır. SOL_K(katman#), Doymuş hidrolik iletkenlik, topraktaki su akış hızını (akış yoğunluğunu) hidrolik gradyanla ilişkilendirir ve toprağın içindeki su hareketinin kolaylığının bir ölçüsüdür. SOL_K(katman#) değeri 0,0 ile 2000 aralığında olabilir. Parametreler ile ilgili aralıklara SWAT girdi/çıktı dokümantasyonlarında ve SWAT-CUP programı ara yüzünde erişilebilir.

Çizelge 4. Kalibrasyon ve validasyon için kullanılan parametreler ve kalibrasyon için başlangıç aralıkları

İlgili Parametre ve Tanımı (İngilizce)	İlgili Parametre ve Tanımı	Parametre İşlemi	Başlangıç Aralığı	
			Alt Sınır	Üst Sınır
CN2: initial SCS runoff curve number for moisture condition II	CN2: Nem durumu II için başlangıç SCS akış eğrisi numarası	a_CN2.mgt	-30	15
SOL_AWC: Available water capacity of the soil layer (mm H ₂ O/mm soil)	SOL_AWC: Toprak tabakasının mevcut su kapasitesi	r_SOL_AWC(katman #).sol	-0,4	0,4
ESCO: Soil evaporation compensation factor	ESCO: Toprak buharlaşma kompanzasyon faktörü	v_ESCO.hru	0,8	1
EPCO: Plant uptake compensation factor	EPCO: Bitki alımı kompanzasyon faktörü	v_EPCO.hru	0,01	1
OV_N: Manning's "n" value for overland flow	OV_N: Yüzeysel akışı için Manning "n" katsayısı	r_OV_N.hru	-0,2	0,6
SURLAG: Surface runoff lag time	SURLAG: Yüzeysel akış gecikme süresi	v_SURLAG.bsn	0,05	20
ALPHA_BF: Baseflow alpha factor (1/days)	ALPHA_BF: Baz akış alfa faktörü (1/gün)	v_ALPHA_BF.gw	0	1
GW_REVAP: Groundwater "revap" coefficient	GW_REVAP: Yeraltı suyu "revap" katsayısı	v_GW_REVAP.gw	0,02	0,1
REVAPMN: Threshold depth of water in the shallow aquifer for "revap" to occur (mm H ₂ O)	REVAPMN: Sığ akiferdeki "revap" durumunun meydana gelmesi için suyun eşik derinliği (mm H ₂ O)	a_REVAPMN.gw	-30	30
GW_DELAY: Groundwater delay (days)	GW_DELAY: Yeraltı suyu gecikmesi (gün)	v_GW_DELAY.gw	20	400
GWQMN: Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur (mm H ₂ O)	GWQMN: Geri dönüşün gerçekleşmesi için gereken sığ akiferdeki su eşik derinliği (mm H ₂ O)	v_GWQMN.gw	500	1500
RCHRG_DP: Deep aquifer percolation fraction	RCHRG_DP: Derin akifer perkolasyon oranı	v_RCHRG_DP.gw	0	1
CH_N2: Manning's "n" value for the main channel	CH_N2: Ana kanal için Manning "n" katsayısı	v_CH_N2.rte	0	0,3
CH_K2: Effective hydraulic conductivity in main channel alluvium (mm/hr)	CH_K2: Ana kanal alüvyonunda etkin hidrolik iletkenlik (mm/sa)	v_CH_K2.rte	0	50
CH_L2: Length of main channel (km)	CH_L2: Ana kanalın uzunluğu (km)	v_CH_L2.rte	0	200
CH_D: depth of main channel from top of bank to bottom (m)	CH_D: Ana kanalın bankın tepesinden dibe kadar derinliği (m)	v_CH_D.rte	0,1	10
SOL_K: Saturated hydraulic conductivity (mm/hr)	SOL_K: Doymuş hidrolik iletkenlik (mm/sa)	r_SOL_K(katman#).sol	-0,8	0,8
SOL_BD: Moist bulk density (g/cm ³)	SOL_BD: Nemli kütle yoğunluğu (g/cm ³)	r_SOL_BD(katman#).sol	-0,5	0,6
SOL_Z: Depth from soil surface to bottom of layer (mm)	SOL_Z: Yüzey topraktan alt katmana kadar derinlik (mm)	r_SOL_Z(katman#).sol	-0,3	0,3
HRU_SLP: Average slope steepness (m/m)	HRU_SLP: Ortalama eğim dikliği (m/m)	r_HRU_SLP.hru	-0,2	0,2
SLSUBBSN: Average slope length (m)	SLSUBBSN: Ortalama eğim uzunluğu (m)	r_SLSUBBSN.hru	-0,2	0,2

Not: v__: mevcut parametre değerinin belirli bir sayı ile değiştirileceği anlamına gelir, a__: belirli bir değer için mevcut parametre değerine ekleneceği anlamına gelir, r__: mevcut bir parametre değerinin (1 + verilen değer) ile çarpımını göstermektedir.

Çizelge 5. Duyarlılık ve belirsizlik analizi

İstasyon Parametre	D06-A011	D06-A012	D06-A013	D06-A025	D06-A026	D06-A027	D06-A042
	İstasyon Bazlı Belirsizlik Derecelendirmesi						
a_CN2.mgt	1	1	1	1	2	1	20
r_SOL_AWC().sol	5	7	5	4	7	5	8
v_ESCO.hru	8	5	6	6	6	6	5
v_EPCO.hru	19	20	14	19	13	14	13
r_OV_N.hru	17	16	20	21	17	18	14
v_SURLAG.bsn	16	18	9	9	19	9	16
v_ALPHA_BF.gw	15	13	12	10	11	10	11
v_GW_REVAP.gw	14	12	10	11	5	21	4
a_REVAPMN.gw	11	14	16	12	18	12	19
v_GW_DELAY.gw	3	21	11	17	4	15	2
v_GWQMN.gw	20	9	13	13	12	16	10
v_RCHRG_DP.gw	2	3	3	5	8	4	6
v_CH_N2.rte	12	19	19	18	16	20	12
v_CH_K2.rte	9	10	15	14	21	11	18
v_CH_L2.rte	10	8	8	8	14	8	15
v_CH_D.rte	18	11	17	15	15	13	17
r_SOL_K().sol	7	4	4	3	3	3	3
r_SOL_BD().sol	4	2	2	2	1	2	1
r_SOL_Z().sol	6	6	7	7	9	7	7
r_HRU_SLP.hru	13	15	18	16	10	17	9
r_SLSUBBSN.hru	21	17	21	20	20	19	21

Çizelge 6 ve Şekil 3 ise her istasyon için kalibrasyon sonuçlarını göstermektedir. D06-A013 istasyonu hariç diğer istasyonlarda olmak üzere 2 iterasyon yapılmıştır. D06-A013 istasyonu için 3 iterasyon yapılmıştır. Her iterasyon, modelin 500 kere çalıştırılmasını kapsamaktadır. Hangi istasyonda kaç kez iterasyon yapılması gerektiğini P-faktör değerine göre karar verildi. Validasyon süresi için kalibre edilmiş bir modelin alt ve üst sınırlarının uygun olabilmesi için P-faktör değeri 0,6'dan olması gerekmektedir. Validasyon işlemi, kalibre edilmiş modelin validasyon süresi için ayrılmış izleme verileri kullanılarak 500 kez çalıştırılmak üzere bir iterasyon ile yapılmıştır. Çizelge 7 modelin performansını göstermektedir.

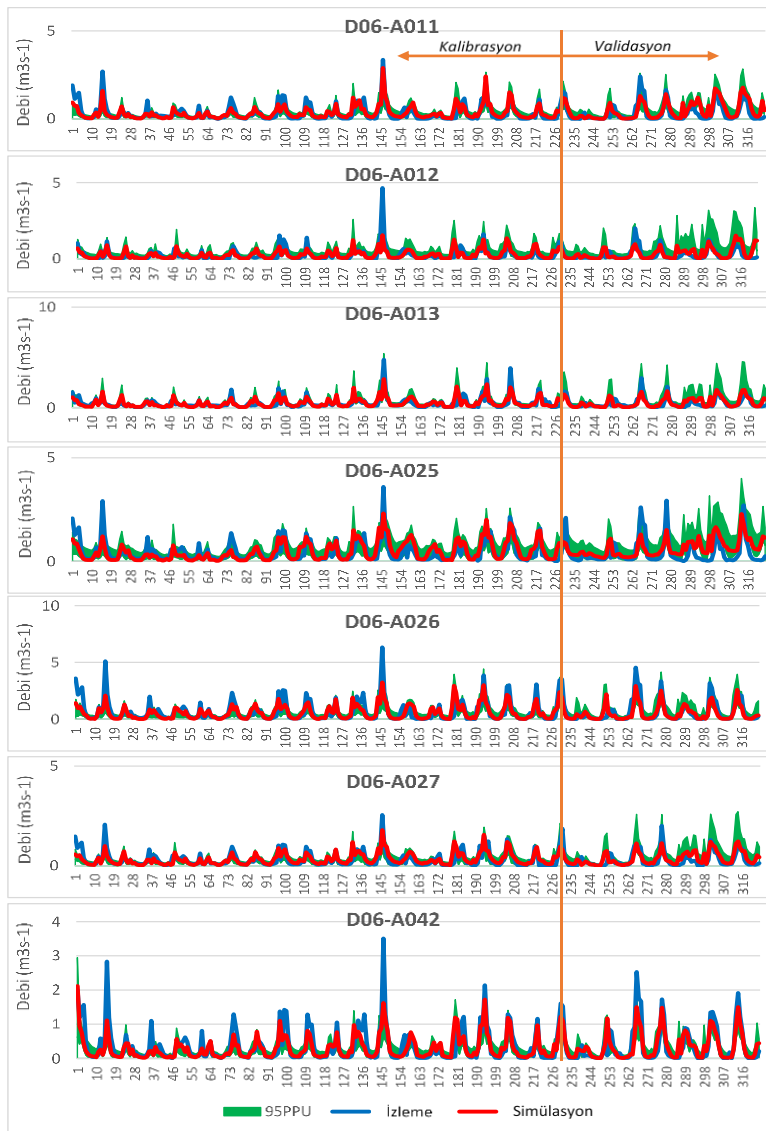
Modelin performansı P-faktör, R-faktör ve Çizelge 2'de verilen objektif fonksiyonlarla belirlenmiştir. R² değerleri kalibrasyon için 0,45 ile 0,69 aralığında iken, validasyon için 0,36 ile 0,79 aralığındadır. NSE değerleri ise kalibrasyon için 0,44 ile 0,69 aralığında değişiklik gösterirken, validasyon için 0,18 ile 0,76 aralığındadır. PBIAS değerleri kalibrasyon için D06-A026 istasyonu hariç 10'un altındadır. D06-A026 istasyonunda ise PBIAS değeri 14'tür. Validasyon için PBIAS değerleri 5,8 ile -43,6 aralığında değişmektedir. KGE değerleri kalibrasyon için 0,52 ile 0,73 aralığında iken, validasyon için 0,33 ile 0,69 aralığındadır.

Çizelge 6. Kalibre edilmiş modelin alt ve üst sınır aralıkları

İstasyon Parametre	D06-A011		D06-A012		D06-A013		D06-A025		D06-A026		D06-A027		D06-A042	
	Alt Sınır	Üst Sınır	Alt Sınır	Üst Sınır	Alt Sınır	Üst Sınır	Alt Sınır	Üst Sınır	Alt Sınır	Üst Sınır	Alt Sınır	Üst Sınır	Alt Sınır	Üst Sınır
a_CN2.mgt	-44,07	-4,68	-43,93	-4,64	-47,16	-16,62	-41,91	-3,96	-44,07	-4,68	-50,14	-6,71	-44,07	-4,68
r_SOL_AWC().sol	0,35	0,25	-0,06	-0,29	0,14	0,57	-0,11	0,48	-0,65	0,05	-0,04	0,67	-0,65	0,05
v_ESCO.hru	0,89	1,00	0,86	0,97	0,74	0,87	0,86	0,97	0,89	1,00	0,89	1,00	0,89	1,00
v_EPCO.hru	0,30	0,89	0,35	1,04	0,25	0,76	0,16	0,89	0,30	0,89	0,37	1,00	0,30	0,89
r_OV_N.hru	0,03	0,50	-0,51	0,23	0,08	0,48	0,37	1,10	0,03	0,50	0,03	0,50	0,03	0,50
v_SURLAG.bsn	9,71	29,05	0,00	12,15	7,31	15,52	0,00	12,19	9,71	29,05	0,00	12,87	9,71	29,05
v_ALPHA_BF.gw	0,47	1,00	0,27	0,80	0,00	0,36	0,00	0,65	0,47	1,00	0,00	0,66	0,47	1,00
v_GW_REVAP.gw	0,04	0,09	0,06	0,13	0,09	0,16	0,05	0,11	0,04	0,09	0,03	0,08	0,04	0,09
a_REVAPMN.gw	-1,30	56,14	-13,54	19,42	11,51	52,27	-17,08	14,32	-1,30	56,14	-11,50	25,54	-1,30	56,14

Çizelge 6. (Devam)

v_GW_DELAY.gw	0,00	216,69	147,83	403,65	199,30	363,87	181,27	503,97	0,00	216,69	0,00	240,25	0,00	216,69
v_GWQMN.gw	13,40	1004,6	934,40	1803,6	1110,9	1546,4	67,40	1022,6	13,40	1004,6	960,40	1881,6	13,40	1004,6
v_RCHRG_DP.gw	0,00	0,61	0,00	0,52	0,02	0,41	0,10	0,70	0,00	0,61	0,00	0,60	0,00	0,61
v_CH_N2.rte	0,03	0,21	0,00	0,16	0,00	0,11	0,11	0,32	0,03	0,21	0,00	0,18	0,03	0,21
v_CH_K2.rte	0,00	33,28	0,00	26,48	13,03	47,60	18,22	54,68	0,00	33,28	23,47	70,43	0,00	33,28
v_CH_L2.rte	0,00	118,72	83,08	249,32	38,41	106,90	21,48	140,52	0,00	118,72	0,00	114,12	0,00	118,72
v_CH_D.rte	3,86	11,37	0,78	6,93	3,69	6,64	4,04	11,94	3,86	11,37	4,56	13,48	3,86	11,37
r_SOL_K().sol	-0,27	0,80	-0,64	0,32	0,21	0,14	-0,90	0,23	-0,27	0,80	-0,38	0,45	-0,27	0,80
r_SOL_BD().sol	-0,53	0,22	-0,22	0,35	-0,08	0,38	-0,40	0,27	-0,53	0,22	-0,49	0,24	-0,53	0,22
r_SOL_Z().sol	-0,04	0,49	-0,02	0,54	0,04	0,38	-0,05	0,45	-0,04	0,49	-0,14	0,19	-0,04	0,49
r_HRU_SLP.hru	-0,23	0,06	-0,08	0,15	-0,16	0,09	-0,36	0,01	-0,23	0,06	-0,13	0,09	-0,23	0,06
r_SLSUBSN.hru	-0,21	0,06	-0,03	0,33	-0,08	0,11	-0,08	0,16	-0,21	0,06	-0,13	0,09	-0,21	0,06



Şekil 3. Her istasyon için kalibrasyon ve validasyon sonuçları

Çizelge 3'de verilen kriterlere göre modelin performansı değerlendirildiğinde, kalibrasyon sonuçları için D06-A012, D06-A013, D06-A025, D06-A026 ve D06-A027 istasyonlarında R^2 , NSE ve KGE objektif fonksiyonlarına göre model iyi seviyede iken, PBIAS'e göre, D06-A026 hariç, model çok iyi seviyededir. D06-A026 istasyonunda PBIAS'e göre model iyi seviyededir. D06-A011 ve D06-A042 istasyonunda ise modelin performansını belirleyen istatistiklere dayalı model performansı iyi ve çok iyi seviyeleri arasında değişmektedir. Validasyon için değerlendirmeler yapıldığında, D06-A011, D06-A013, D06-A026, D06-A027 ve D06-A042 istasyonlarında modelin performansı çok iyi, iyi ve yeterli olarak derecelendirilmektedir. D06-A011 istasyonunda PBIAS'e göre model yetersiz kalmış olsa da genel olarak performansı etkilememektedir. D06-A012 istasyonunda KGE'e göre model yeterli seviyede olsa bile, D06-A012 ve D06-A025 istasyonlarında model sonuçları yetersiz seviyededir. Bu iki istasyonda modelin yetersiz kalmasına mevcut model belirsizlikleri sebep olmaktadır. Bu belirsizliklerden en önemlisi bölgede inşaat edilmekte olan barajlardan ötürü kaynaklanan belirsizliklerdir. Su çekimlerinden kaynaklanan belirsizlikler de tüm istasyonlarda modelin performansını olumsuz şekilde etkilemektedir. P-faktör ve R-faktör değerleri kalibrasyon ve

validasyon için literatürde verilen kabul edilebilir değerler aralığındadır [50]. Model sonuçları genel olarak literatürde verilen kabul edilebilir değerler ile karşılaştırıldığında kabul edilebilir seviyededir. Modelin D06-A012 ve D06-A025 istasyonlarında validasyon için yeterli sonuç vermemesinin sebebi istasyonlarda artış gösteren belirsizliklerdir. R-faktör değeri kalibrasyon için 0,57 ile 1,23 arasında değişmektedir ve validasyon için R-faktör değeri artış göstermektedir (0,58-2,23). Yüksek bir R-faktör değeri belirsizliğin arttığının bir göstergesidir. Havzada son yıllarda yapılan baraj ve göletler, regülatörler ve dere islahları, validasyon sürecindeki belirsizliklerin artmasına sebep olmuştur.

Genel olarak, model belirsizlikleri şu faktörlerden kaynaklanmaktadır: (i) kavramsal basitleştirmeler (örneğin, akış partiyonu için SCS eğrisi numarası yöntemi), (ii) havzada gerçekleşen, ancak programa dahil edilmeyen süreçler (örneğin rüzgar erozyonu) (iii) programa dahil edilen, ancak su havzasındaki durumları, veri sınırlandırması nedeniyle modelci tarafından bilinmeyen veya hesaplanamayan bileşenler (örneğin, barajlar ve rezervuarlar, su transferleri, su kalitesini etkileyen hayvan çiftliklerinin yönetimi vb.) ve (iv) girdi veri kalitesi [50].

Çizelge 7. Modelin performansını belirleyen istatistiklere ait sonuçlar

İstasyon	Kalibrasyon						Validasyon					
	P-Faktör	R-Faktör	R^2	NSE	PBIAS	KGE	P-Faktör	R-Faktör	R^2	NSE	PBIAS	KGE
D06-A011	0,68	0,9	0,69	0,69	0,4	0,73	0,49	1,2	0,59	0,51	-31,9	0,6
D06-A012	0,68	1,23	0,45	0,44	-7,6	0,52	0,56	2,23	0,36	0,18	-24,6	0,53
D06-A013	0,66	0,93	0,56	0,56	-5,7	0,68	0,58	1,63	0,53	0,47	-14,4	0,69
D06-A025	0,8	1,36	0,57	0,56	-4,4	0,72	0,44	1,58	0,39	0,29	-43,6	0,33
D06-A026	0,61	0,57	0,61	0,58	14	0,55	0,55	0,59	0,78	0,71	21,7	0,59
D06-A027	0,62	0,93	0,62	0,61	-7,4	0,71	0,39	1,36	0,56	0,52	-23,9	0,6
D06-A042	0,64	0,58	0,67	0,65	4,8	0,62	0,42	0,59	0,79	0,76	5,8	0,69

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada SWAT modeli kullanılarak Küçük Menderes Alt Havzası için hidrolojik modelleme yapılmıştır. Model SWAT-CUP programı kullanılarak her istasyon için ayrı ayrı kalibre

edilmiştir. SUFI-2 metodu ile kalibre edilen model en çok CN2, SOL_BD(katman#), RCHRG_DP ve SOL_K(katman#) parametrelerine duyarlı olduğu saptanmıştır. SUFI-2 izleme verilerini iyi bir şekilde yakaladığını P-faktör değeri kanıtlamaktadır. Kalibrasyon için P-faktör değeri 0,61 ile 0,8 aralığında değişmektedir. Objektif

fonksiyonlara göre kalibrasyon işlemi değerlendirildiğinde, modelin genel olarak yeterli seviyede olduğu tespit edilmiştir. Havzanın ileri derecede yönetilen bir havza olması çalışmadaki belirsizliklerin de artmasına sebep olmaktadır. Programa dahil edilen, ancak su havzasındaki durumları, veri sınırlandırması nedeniyle modelci tarafından bilinmeyen veya hesaplanamayan bileşenler havzada en çok belirsizliklere sebep olan faktörlerdir ve bunun neticesinde modelin sonuçları olumsuz şekilde etkilenmektedir. Küçük Menderes Havzası'nda nüfusun artışı, tarım faaliyetlerin yoğun olması, hayvancılık faaliyetlerin bulunması gibi faktörler su ihtiyacını artırmaktadır. Su ihtiyacının fazla olmasına rağmen havzada kişi başına düşen su miktarı yıllık 500 m³ 'ün altındadır. Su fakiri olan havzada iklim değişikliği ve kontrolsüz su çekimleri bu durumu daha da zorlaştırmaktadır. Su sıkıntısı yaşayan Küçük menderes gibi bir havzada su kaynaklarının yönetiminin en uygun şekilde yapılması gerekmektedir. Su kaynakları hem miktar hem de kalite açısından yönetilmelidir. Bu çalışma, havzada iklim değişikliğinin ve en iyi yönetim uygulamalarının etkisini anlamak için yapılan çalışmalarda ve su kalitesi modellemesi gibi farklı çalışmada kullanılabilir. Bu çalışma havza için ilk modelleme çalışmalarından olduğu için su kaynakları yönetiminde yapılacak farklı çalışmalara katkı sağlayacaktır. Bu çalışmanın devamı olarak SWAT modeli kullanılarak besi maddesi taşınımı ve akıbeti için su kalitesi modellemesi yapılacaktır.

4. KAYNAKLAR

1. Daniel, E.B., Camp, J.V., LeBoeuf, E.J., Penrod, J.R., Dobbins, J.P., Abkowitz, M.D., 2011. Watershed Modeling and its Applications: A State-of-the-Art Review, The Open Hydrology Journal, 5(1), 26-50.
2. Singh, V.P., Frevert, D.K., 2010. Watershed Models. NY: CRC Press. 28, 678-678.
3. Arceo, M.G.A.S., Cruz, R.V.O., Tiburan Jr, C.L., Balatibat, J.B., 2018. Modeling the Hydrologic Responses to Land Cover and Climate Changes of Selected Watersheds in the Philippines Using Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Model, DLSU Business & Economics Review, 28, 84-101.
4. Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., Williams, J.R., 1998. Large area Hydrologic Modeling and Assessment Part I: Model Development "Basin Scale Model Called SWAT (Soil and Water Speed and Storage, Advanced Software Debugging Policy to Meet the Needs, and the Management to the Tank Model).", American Water Resources Association, 34, 73-89.
5. USDA ve Texas A. M., U. SWAT | Soil & Water Assessment Tool. Available from: <https://swat.tamu.edu/>. 16, 11, 2018.
6. Akiner, M.E., Akkoyunlu, A., 2012. Modeling and Forecasting River Flow Rate from the Melen Watershed, Journal of Hydrology, Turkey, 456-457:121-129.
7. Başkan, O., Özcan, Z., Düzgün, H.Ş., Kentel, E., Alp, E., 2017. A Pollution Fate and Transport Model Application in a Semi-arid Region: Is Some Number Better Than no Number?, Science of The Total Environment, 595: 425-440.
8. Bucak, T., Trolle, D., Andersen, H.E., Thodsen, H., Erdoğan, Ş., Levi, E.E., Filiz, N., Jeppesen, E., Beklioğlu, M., 2017. Future Water Availability in the Largest Freshwater Mediterranean Lake is at Great Risk as Evidenced from Simulations with the SWAT Model, Science of The Total Environment, 581-582: 413-425.
9. Bucak, T., Trolle, D., Tavşanoğlu, N., Akıroğlu, A.İ., Zen, A., Jeppesen, E., Beklioğlu, M., 2018. Modeling the Effects of Climatic and Land Use Changes on Phytoplankton and Water Quality of the Largest Turkish Freshwater Lake: Lake Beyşehir, Science of The Total Environment, 621(802-816 Contents): 802-816.
10. Bulut, E., Aksoy, A., 2008. Impact of Fertilizer Usage on Phosphorus Loads to Lake Uluabat, Desalination, 226(1-3), 289-297.
11. Coppens, J., Zen, A., Tavşanoğlu, N., Erdoğan, Ş., Levi, E.E., Yozgatlıgil, C., Jeppesen, E., Beklioğlu, M., 2016. Impact of Alternating Wet and Dry Periods on Long-term Seasonal Phosphorus and Nitrogen Budgets of Two

- Shallow Mediterranean Lakes, *Science of the Total Environment*, 563-564: 456-467.
12. Cuceloglu, G., Abbaspour, K.C., Ozturk, I., 2017. Assessing the Water-Resources Potential of Istanbul by Using a Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Hydrological Model, *Water*, 9(10), 814.
 13. Duru, U., Wohl, E., Ahmadi, M., 2017. Factors Controlling Sediment Load in the Central Anatolia Region of Turkey: Ankara River Basin, *Environmental Management*, 59(5), 826-841.
 14. Duru, U., Arabi, M., Wohl, E.E., 2018. Modeling Stream Flow and Sediment Yield Using the SWAT Model: A Case Study of Ankara River basin, Turkey, *Physical Geography*, 39(3), 264-289.
 15. El-Sadek, A., Irvem, A., 2014. Evaluating the Impact of Land Use Uncertainty on the Simulated Streamflow and Sediment Yield of the Seyhan River Basin Using the SWAT Model, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(4), 515-530.
 16. Irvem, A., El-Sadek, A., 2018. Evaluation of Streamflow Simulation By SWAT Model for The Seyhan River Basin Seyhan, Çukurova J. Agric. Food Sci., 33(2), 99-110.
 17. Ertürk, A., Ekdal, A., Gürel, M., Karakaya, N., Guzel, C., Gönenç, E., 2014. Evaluating the Impact of Climate Change on Groundwater Resources in a Small Mediterranean Watershed, *Science of the Total Environment*, 499, 437-447.
 18. Ertürk, A., Ekdal, A., Gurel, M., Karakaya, N., Cuceloglu, G., Gönenç, E., 2017. Model-based Assessment of Groundwater Vulnerability for the Dalyan Region of Southwestern Mediterranean Turkey, *Regional Environmental Change*, 17(4), 1193-1203.
 19. Güngör, Ö., Göncü, S., 2013. Application of the Soil and Water Assessment Tool Model on the Lower Porsuk Stream Watershed, *Hydrological Processes*, 27(3), 453-466.
 20. Gungor, K., Karakaya, N., Evrendilek, F., Akgul, S., Baskan, O., Cebel, H., Farhoud, H.J., Turkecan, O., Yasar, S., Gumus, O., 2016. Spatiotemporal Modeling of Watershed Nutrient Transport Dynamics: Implications for Eutrophication Abatement, *Ecological Informatics*, 34, 52-69.
 21. Özcan, Z., Kentel, E., Alp, E., 2017. Evaluation of the Best Management Practices in a Semi-arid Region With High Agricultural Activity, *Agricultural Water Management*, 194, 160-171.
 22. Tufekcioglu, M., Yavuz, M., Zaimes, G.N., Dinc, M., Koutalakis, P., Tufekcioglu, A., 2017. Application of Soil Water Assessment Tool (SWAT) to Suppress Wildfire at Bayam Forest, Turkey, *Journal of Environmental Biology*, 38(5), 719-726.
 23. Şahin, Y., Baba, A., Tayfur, G., 2018. Küçük Menderes Havzası Su Kaynaklarının Sürdürülebilirliği, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 2, 955-962.
 24. Akyüz, Y., Atış, E., 2018. Küçük Menderes Havzasında İklim Değişikliğinin Olası Etkileri ve Üreticilerin Konuya İlişkin Farkındalıkları, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21, 109-115.
 25. Muluk, Ç.B., Kurt, B., Turak, A., Türker, A., Çalışkan, M.A., Balkız, Ö., Gümrükçü, S., Sarıgül, G., Zeydanlı, U., 2013. Türkiye'de Suyun Durumu ve Su Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar: Çevresel Perspektif: İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği-Doğa Koruma Merkezi.
 26. S.Y.G.M., 2019. Küçük Menderes Havzası Taslak Nihai Nehir Havza Yönetim Planı, Ankara: Tarım ve Orman Bakanlığı.
 27. Ç.Y.G.M., 2016. Küçük Menderes Havza Kirlilik Önleme Eylem Planı, Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
 28. Çivi, A., Akgündüz, E., Kalaycı, K., İnan, Ç., Sarıca, E., Toru, E., 2009. Corine (Coordination of Information on the Environment) Projesi, in TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, TMMOB.
 29. FAO ve UNESCO. Soil Map of the World (Europe). Available from: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/faunesco-soil-map-of-the-world/en/>. 16, 04, 2003.
 30. CFSR. Global Weather Data for SWAT. Available from: <https://globalweather.tamu.edu/>. 17, 04, 2019.

31. Dile, Y.T., Srinivasan, R., 2014. Evaluation of CFSR Climate Data for Hydrologic Prediction in Data-scarce Watersheds: An Application in the Blue Nile River Basin, *Journal of the American Water Resources Association*, 50(5), 1226-1241.
32. Arnold, J.G., Moriasi, D.N., Gassman, P.W., Abbaspour, K.C., White, M.J., 2012. SWAT: Model Use, Calibration, and Validation, *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1509-1522.
33. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R., 2011. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009: Texas Water Resources Institute Technical Report.
34. Mockus, V., 2004. Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall, in *Hydrology National Engineering Handbook*, W.J. Gburek, et al., Editors. United States Department of Agriculture: Washington DC, USA, 79.
35. Heber Green, W., Ampt, G.A., 1911. Studies on Soil Physics, *The Journal of Agricultural Science*, 4(1), 1-24.
36. Howell, T.A., Evett, S., 2004. The Penman-Monteith Method, *USDA-Agricultural Research Service Conservation & Production Research Laboratory*, 806.
37. Priestley, C.H.B., Taylor, R.J., 1972. On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters, *Monthly Weather Review*, 100(2), 81-92.
38. Winchell, M., Srinivasan, R.A., 2013. ArcSWAT Interface for SWAT2012: User's Guide, Texas Agricultural Experiment Station and United States Department of Agriculture, Temple, TX.: 464.
39. Google, Google Earth. 2001: USA.
40. Abbaspour, K.C., 2011. SWAT-CUP4: SWAT Calibration and Uncertainty Programs-a User Manual, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag: 106.
41. Abbaspour, K.C., Johnson, C.A., Van Genuchten, M.T., 2010. Estimating Uncertain Flow and Transport Parameters Using a Sequential Uncertainty Fitting Procedure, *Vadose Zone Journal*, 3(4), 1340-1352.
42. Arnold, J.G., Moriasi, D.N., Gassman, P.W., Abbaspour, K.C., White, M.J., 2012. SWAT: Model Use, Calibration, and Validation, *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1509-1522.
43. Yang, J., Reichert, P., Abbaspour, K.C., Xia, J., Yang, H., 2008. Comparing Uncertainty Analysis Techniques for a SWAT Application to The Chaohe Basin in China, *Journal of Hydrology*, 358(1-2), 1-23.
44. Abbaspour, K.C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J., Srinivasan, R., 2007. Modelling Hydrology and Water Quality in the Pre-alpine/alpine Thur Watershed Using SWAT, *Journal of Hydrology*, 333(2-4), 413-430.
45. Abbaspour, K.C. SWAT-CUP4: SWAT Calibration and Uncertainty Programs-A User Manual. Available from: http://swat.tamu.edu/media/114860/usermanual_swatcup.pdf. 20, 11, 2011.
46. Kamali, B., Abbaspour, K.C., Yang, H., 2017. Assessing the Uncertainty of Multiple Input Datasets in the Prediction of Water Resource Components, *Water (Switzerland)*, 9(9).
47. Kouchi, D.H., Esmaili, K., Faridhosseini, A., Sanaeinejad, S.H., Khalili, D., Abbaspour, K.C., 2017. Sensitivity of Calibrated Parameters and Water Resource Estimates on Different Objective Functions and Optimization Algorithms, *Water (Switzerland)*, 9(6), 1-16.
48. Moriasi, D.N., Arnold, J.G.A., 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations, *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.
49. Thiemi, V., Rojas, R., Zambrano-Bigiarini, M.A., 2013. Hydrological Evaluation of Satellite-based Rainfall Estimates Over the Volta and Baro-Akobo Basin, *Journal of Hydrology*, 499, 324-338.
50. Abbaspour, K.C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H., Kløve, B., 2015. A Continental-scale Hydrology and Water Quality Model for Europe: Calibration and Uncertainty of a High-resolution Large-scale SWAT Model, *Journal of Hydrology*, 524, 733-752.

Gürültü Seviyesi Ölçümlerinde Akıllı Telefon Uygulamaları

Ümmükülsüm ÖZEL AKDEMİR^{*1}, Andaç AKDEMİR²

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

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Samsun

Geliş tarihi: 24.07.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Gürültü kirliliğinin insan sağlığı için son derece önemli olması ve her geçen gün trafik kaynaklı gürültü kirliliğinin artması şehirlerde gürültü kirliliğinin ölçülmesini ve gürültü haritalarının oluşturulmasını zorunlu kılmıştır. Gürültü kirliliği ölçümlerinde kullanılan gürültü cihazlarının maliyetleri dikkate alındığında, daha fazla ölçüm noktasında veri alabilmek ve ölçüm maliyetlerini düşürebilmek için, son yıllarda akıllı telefonlarda kullanılan gürültü ölçüm yazılımları kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, laboratuvar ortamında gürültü ölçüm cihazı ile farklı telefon ve yazılımların gürültü ölçüm hassasiyetleri araştırılmıştır. Çalışmada Android ve iOS işletim sistemleri ve farklı model telefonlar kullanılmıştır. Gürültü ölçümlerinde Noise Meter ve Sound Meter Pro yazılımlarının performansları değerlendirilmiştir. Telefonlardaki mikrofon sistemlerine ve Android ve iOS sistemlerine bağlı olarak yazılımların trafik gürültüsü ölçümleri, sürekli ölçüm cihazı sonuçları ile değişiklik göstermektedir. Yazılımların hassasiyetlerinin geliştirilmesi ile sürekli ölçüm cihazlarının verdiği sonuçlara ulaşılabileceği, daha fazla noktada düşük maliyetle hassas ve doğru ölçüm yapılabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Gürültü, Android, iOS, Sound meter pro, Noise meter

Smart Phone Applications in Noise Level Measurements

Abstract

The fact that noise pollution is extremely important for human health and the noise pollution caused by traffic in every passing day increases the noise pollution in cities and the creation of noise maps. Considering the cost of noise equipment used in noise pollution measurements, noise measurement software used in smart phones has been used in recent years in order to receive data at more measurement points and to reduce measurement costs. In this study, noise measurement sensitivities of different telephones and software were investigated with laboratory noise measurement device. In the study, Android and iOS operating systems and different model phones were used. Noise Meter and Sound Meter Pro Software performances were evaluated for noise measurements. Depending on the microphone systems in the phones and the Android and iOS systems, the traffic noise measurements of the software vary with the results of the continuous measurement device. By improving the sensitivity of the software, it is thought that the results of the continuous measurement devices can be reached, and accurate and accurate measurement can be made at low cost with more points.

Keywords: Noise, Android, iOS, Sound meter pro, Noise meter

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ümmükülsüm ÖZEL AKDEMİR, ummukulsum.akdemir@giresun.edu.tr

1. GİRİŞ

Gürültü problemi insanın sağlığını, verimliliğini ve davranışları ile birlikte hayvanların da alışkanlıklarını etkileyen kentlerin temel problemlerinden biridir.

Son 50 yılda, Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre; bir kişi gündüz 55 dBA'nın, gece 50 dBA'nın ve iç ortamda da 40 dBA'nın üzerinde gürültüye maruz kalmaktadır [2]. Avrupa Çevre Koruma Ajansının araştırmalarına göre trafik kaynaklı olan insanlar gürültü kirliliğine çok fazla maruz kalmaktadırlar [4]. Bu nedenle Avrupa Birliği'nin 2002/49/EC direktifine göre nüfusu 100000'in üzerindeki şehirlerin gürültü haritası oluşturması gerektiği bildirilmiştir. Ancak gürültü haritaları hazırlamaya yönelik gürültü kirliliği ölçümleri pahalı ve komple sistemlerdir [1]. Bu nedenle gürültü ölçümlerinde ekonomik çözümler üretmek son derece önemlidir. Hatta gürültü ölçümlerinde mobil yazılımların kullanıldığı birçok resmi kuruluştadır bulunmaktadır [7]. Google playstore da Android yazılımı olarak yaklaşık 250 yazılım gürültü seviyesi ölçümü yapmaktadır [1].

Eşdeğer sürekli ses düzeyi verilen bir zaman aralığında, ses ile aynı enerjiye sahip sabit düzeydeki ses düzeyi olarak tanımlanır. Bu ses düzeyi A ağırlıklı ses basıncının rms değerinin düzeyidir ve Eşitlik 1'deki şekilde hesaplanır [5];

$$L_{eq}=10 \cdot \log \left[\frac{1}{T} \cdot \int_0^T \frac{P^2(t)}{P^2(0)} dt \right] \quad (1)$$

Burada;

T: Ölçüm süresi,

P(t): Ölçülen sesin A ağırlıklı ses basıncı (SLP),

P(0): Referans ses basıncı,

L_{eq} : A ağırlıklı ses düzeyini verir ve dBA ile ölçülür.

Kapalı ortamlarda durağan dalgalar ortaya çıkar. Bu dalgalar oda duvarlarının yapı malzemesine ve bu malzemelerin ses yalıtım katsayısına göre değişir. Eğer bu ortamlar çok küçük ise ve yalıtım malzemesi ile ses dalgalarının kapalı mekan içinde devamlı yankılanması söz konusu ise oda içindeki ölçümlerde yansıyan ses dalgalarını da ölçümlerde

dikkate almak gerekir. Trafik kaynaklı gürültüler hareketli nokta kaynaklar olup, alıcıya yaklaşım uzaklaşmasına göre ses frekansında ani değişimlere neden olurlar. Bu değişim doppler eşik kayması olarak ifade edilir ve ses düzeyini etkiler [6].

Çeşitli araştırmacılar akıllı telefonlar ile gürültü seviyesi ölçümü konusunda çalışmalar yapmıştır. Üç farklı Samsung akıllı telefonun NoiseExplorer android yazılımı ile kalibrasyon testleri yapılan bir çalışmada 0,7 dB hassasiyetle %99,7'lik bir benzerlik belirlenmiştir. Telefonlar arasında hata payının en fazla 12 dB olduğu bulunmuştur [10]. Fransa'da gürültü kirliliği haritası çıkarılması için yapılan saha çalışmasında NoiseCapture yazılımı Android telefonlarda başarılı şekilde uygulanmış ve gürültü haritası oluşturulmuştur [11]. Arazi çalışmalarında Class 1 sınıfı RION NL52 gürültü ölçüm cihazı ile HTC ve Samsung android telefonlarda Cart-Asur Noise Tube gürültü ölçüm yazılımı sonuçları karşılaştırıldığında $r \geq 0.90$ gibi güçlü bir korelasyonla cihaz ile yazılım arasındaki ortalama karesel hata 3 db(A) nın altında ölçülmüştür [1]. Bu çalışmaların dışında trafik kaynaklı gürültü kirliliğine ait gürültü haritalarının hazırlanmasında birçok yazılımın kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur [9,12].

Ülkemizde Gümrük ve Ticaret Bakanlığı'nın hazırladığı en son israf raporuna göre %83,8 oranında akıllı telefon kullanımı söz konusudur [8]. Bu kadar yüksek bir oranla akıllı telefonlarda gürültü ölçüm yazılımlarının kullanımı ileriye dönük olarak gürültü kirliliği haritalarının çıkarılmasına olumlu katkı sağlayacaktır.

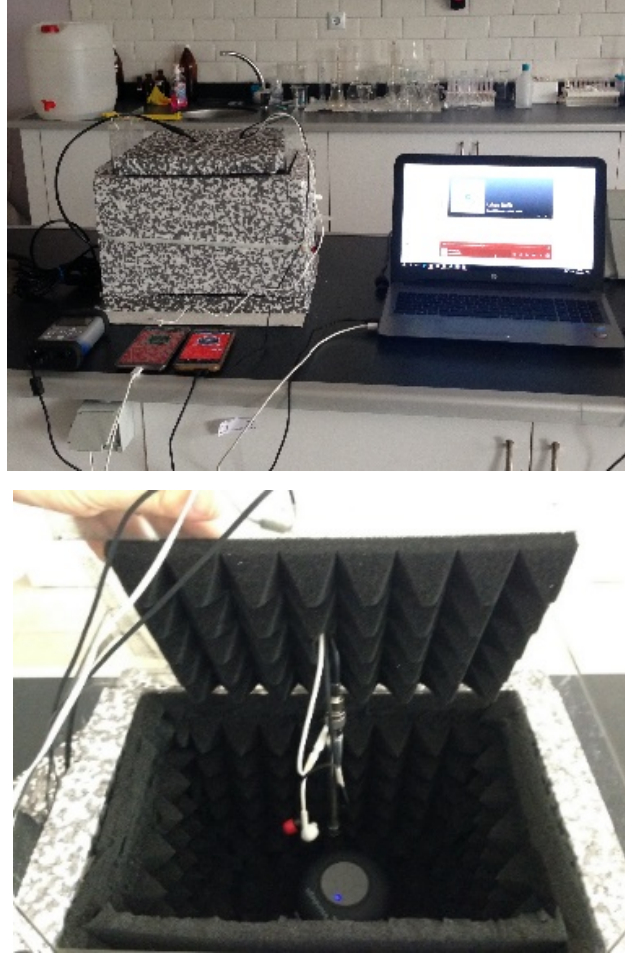
2. MATERYAL VE METOT

Deneyler esnasında kullanılan gürültü ölçüm cihazı; Polonya menşeli Svantek marka Svan 955'dir. Cihaz ISO 1996-1 standartlarına uygun A frekans ağırlığında Tip 1 ölçüm cihazıdır. Cihaz her ölçümde SV 35A akustik kalibratör ile 94 dBA için 1 kHz frekansta kalibre edilmiştir.

Deneyler laboratuvar ortamında hazırlanan deney düzeneğinde yapılmaktadır. Düzenek

297 mm x 210 mm x 210 mm (LxWxH) boyutlarında 2 mm kalınlığında pleksiglass malzemedan tasarlanmıştır. Ölçüm hücresinin dış duvarı 3 cm kalınlığında strafor ses yalıtım

malzemesi ile kaplanmıştır. İç duvarı 3 cm kalınlığında yüzey yapısı piramit formuna dönüştürülmüş akustik yanmaz sünger ile kaplanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Gürültü ölçüm hücresi ve deney düzeneği

Gürültü ölçümleri ölçüm hücresinin üst kısmından hücre içine gürültü cihazı ölçüm probu ve akıllı telefon kulaklıkları yerleştirilerek yapılmıştır. Hücre içerisine yerleştirilen bluetooth hoparlör yardımıyla ölçüm hücresine 5 dakika'lık trafik gürültüsü kaydı verilmiştir.

Gürültü ölçümü için Sound Meter Pro v2.5.3 ve Noise Meter v3.8.7 yazılımları kullanılmıştır. Sound Meter Pro Smart Tools Co. Firması

tarafından geliştirilmiş bir yazılımdır. Bu yazılım Amerikan Odyoloji Akademisi tarafından desteklenen $\pm 2,5$ dBA lık hassasiyetle kalibre edilmiş bir android yazılımıdır [2]. Noise Meter ücretsiz olarak kullanılan bir yazılım olup geliştiricisi JINASYs dir [3]. Her iki cihaz debisel cinsinde Leq değerini vermektedir. Yazılımların kullanılmasında Samsung Galaxy Note 4, HTC M10 ve Iphone 6S akıllı telefonlar kullanılmıştır.

Telefonların kulaklıklarına ait bilgiler Çizelge 1’de verilmiştir.

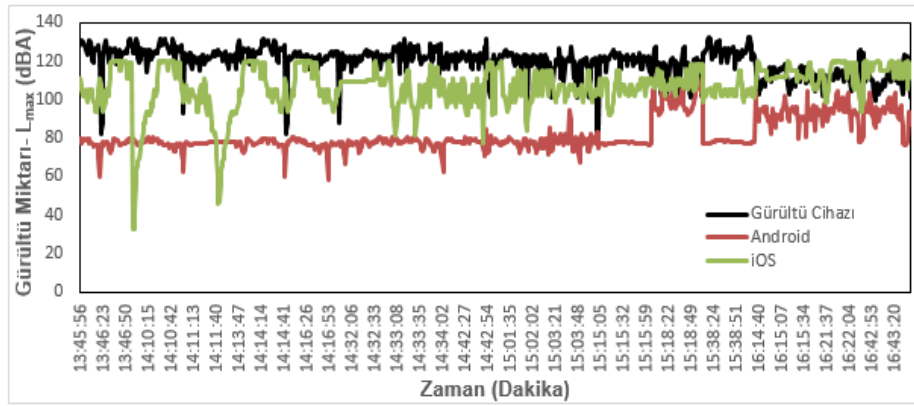
Çizelge 1. Akıllı telefon kulaklık özellikleri

Ölçümlerde Kullanılan Telefonlar	Frekans Aralığı (Hz)	Hassasiyet (dBA)
Samsun Galaxy Note 4	8-25000	123
Iphone 6S	20-20000	103
HTC M10	20-20000	101

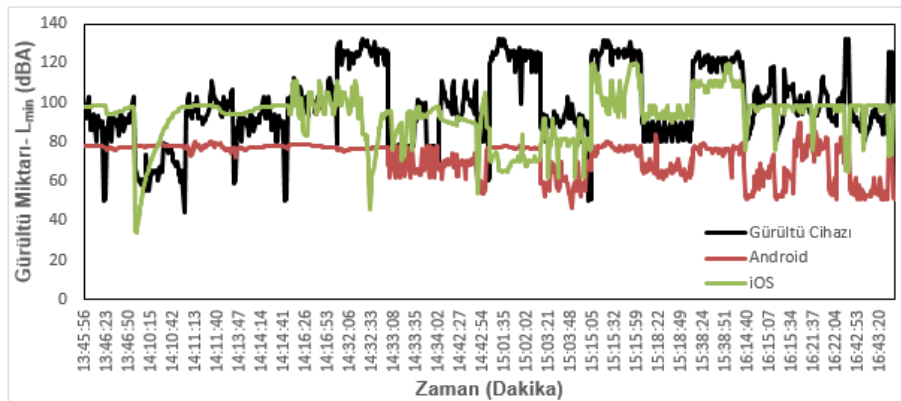
Ölçümler 5 dakikalık olarak aynı anda telefon ve gürültü cihazı ile yapılmıştır. Ölçüm hassasiyetini yakalamak için deneyler 40 kez tekrar edilmiştir. Ölçümlerde maksimum, minimum ve pik ölçüm sonuçları kaydedilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Ölçüm hassasiyetini yakalamak için 40 kez tekrar edilen deneylerin maksimum, minimum ve pik ölçüm sonuçları kaydedilmiştir. Bağıl nem ve sıcaklık ölçümü de yapılmış ancak sonuçlarında değişiklik olmadığı fark edilmiştir.



Şekil 2. Maksimum gürültü ölçüm seviyelerinin karşılaştırılması



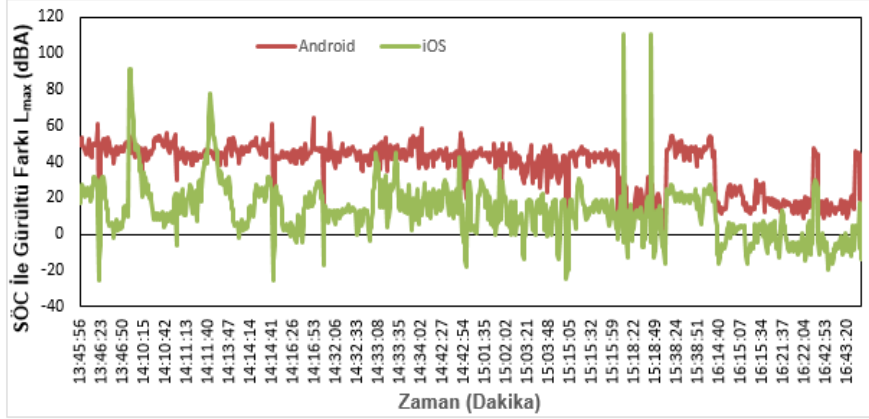
Şekil 3. Minimum gürültü ölçüm seviyelerinin karşılaştırılması

Şekil 2 ve 3’de gürültü ölçüm cihazı ile hem maksimum hem de minimum ölçümlerde iOS (Apple) işletim sistemli iPhone 6S telefonu sonuçlarının daha tutarlı olduğu görülmektedir.

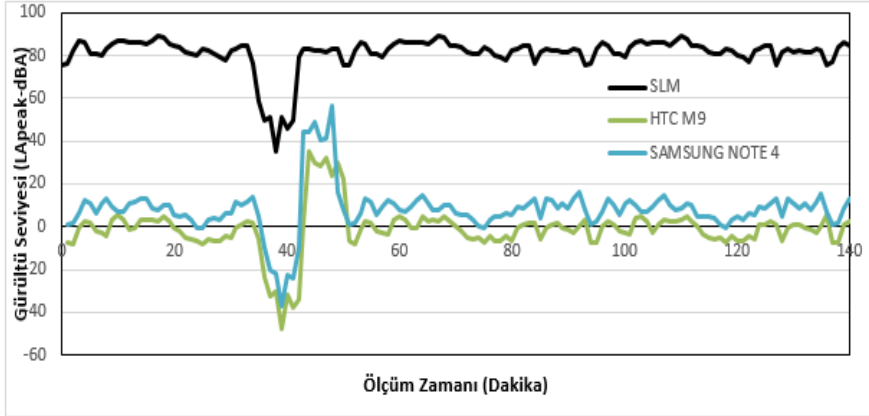
Bunda önemli etkilere biri apple telefonlardaki ses özelliklerinin android telefonlara göre daha gelişmiş olmasıdır. Kullanılan mikrofon ve ses sistemi ölçüm farklılıklarını belirleyen bir

unsurdur. Şekil 4’de sürekli ölçüm sistemlerine göre Android ve iOS işletim sistemleri arasındaki ölçüm farkı da incelenmiş ve iPhone 6S telefonun gürültü seviyelerinin sürekli ölçüm sistemine daha yakın olduğu görülmüştür. Şekil 5’de görüldüğü

gibi android telefon ölçümlerinde maksimum gürültü ölçüm farkı 48,9 dBA, iOS işletim sisteminde maksimum gürültü ölçüm farkı 17,5 dBA olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Maksimum gürültü ölçüm seviyelerinin gürültü ölçüm cihazı sonuçları arasındaki fark



Şekil 5. Maksimum gürültü ölçüm seviyelerinin karşılaştırılması

Gürültü ölçüm değerleri ortalamasının sürekli ölçüm cihazı, iOS ve Android cihazlar için farklı olup olmadığı Çizelge 2’de Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) ile gerçekleştirilmiştir. P değerinin 0,0001’den küçük olmasından dolayı değişkenler arasında yüksek derece önem vardır.

Ancak Çizelge 2’ye göre $0,000 < P(0,05)$ olduğundan ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık bulunmuştur. Hangi cihazların

ortalamaları arasında farklılık olduğunu görmek için Tukey Testi yapılmıştır.

Çizelge 2. Ölçüm cihazı (SLM) ile akıllı telefonların varyans analizi karşılaştırmaları (ANOVA)

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-değeri	P-değeri
Faktör	2	7360	3680,18	56,72	0,000
Hata	420	27249	64,88		
Toplam	422	34609			

Gürültü ölçüm cihazı ile yazılım ölçümlerinin karşılaştırıldığı gruplar arasında hangisinin daha önemli olduğunu belirlemek için yapılan Tukey testleri Çizelge 3, Çizelge 4 ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Android sistemlerin karşılaştırıldığı durumda Galaxy Note 4 telefonunun gürültü ölçüm cihazına daha yakın ölçüm sonuçları verdiği

ve anlamlı bir grup oluşturduğu ancak HTC M10 telefonunda bu durumun söz konusu olmadığı anlaşılmıştır. Tukey testinde belirlendiği şekilde gürültü ölçüm cihazı (SLM) ile HTC M10 akıllı telefon arasında olup, Samsung Note 4 ile ilgili değildir.

Çizelge 3. Çoklu ikili Tukey karşılaştırması kullanılarak yapılan farklılıklar ortalamaları

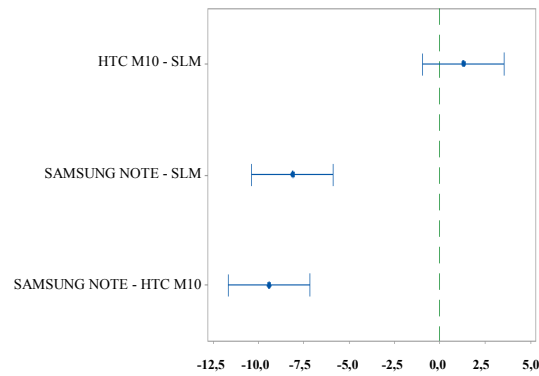
Cihaz	Yazılım	Ölçüm Sayısı (N)	Ortalama (dBA)	Standart Sapma	Gruplama
Svan 955	-	141	81,193	8,232	A
Galaxy Note 4 (Android)	Sound Meter Pro v2.5.3	141	82,489	7,044	A
HTC M10 (Android)	Sound Meter Pro v2.5.3	141	73,064	8,789	B

Çizelge 4. Çoklu ikili Tukey karşılaştırması kullanılarak yapılan farklılıklar ortalamaları

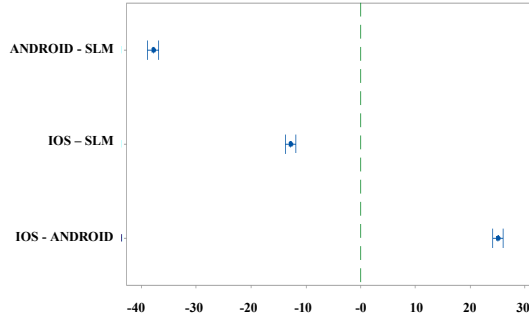
Cihaz	Yazılım	Ölçüm Sayısı (N)	Ortalama (dBA)	Standart Sapma	Gruplama
Svan 955	-	992	119,443	7,484	A
Android (HTCM10)	Sound Meter Pro v2.5.3	992	81,645	8,297	B
İos (Iphone 6S)	Sound Meter Pro v2.5.3	990	106,665	11,234	C

Şekil 7'de çoklu ikili gruplar arasındaki farklılıkların ortalamaları Tukey testi ile değerlendirildiğinde, gürültü ölçüm cihazı (SLM) ile HTC M10 akıllı telefonla Sound Level Meter yazılımının ölçüm sonuçları arasında önemli farklılıklar yoktur. Ancak Samsung Note 4 ile yapılan ölçüm sonuçlarında gürültü ölçüm cihazı (SLM) karşılaştırmaları arasında önemli bir fark olduğu görülmektedir.

Yapılan bazı çalışmalarda yeni telefonların zamanla mikrofon sistemlerinin bozulmasına bağlı olarak, eski telefonlara göre daha hassas sonuçlar verdiği ancak sonuçların daha kararsız olduğu görülmüştür [9].



Şekil 6. Ölçüm sonuçlarının ortalamalarına göre yapılan Tukey Testi sonuçları



Şekil 7. Ölçüm sonuçlarının ortalamalarına göre yapılan Tukey Testi sonuçları

4. SONUÇLAR

Taşıt gürültüsünün hesaplanmasında hareket halinde olmalarından dolayı sadece ses gücü belirlemek yeterli değildir. Taşıt türleri, taşıt hızları, taşıt sayıları, alıcı ortama olan uzaklıklar, yol malzemesinin türü gibi birçok faktör ölçümlerde etkilidir.

Gürültü ölçümlerinde önemli parametrelerden biri mikrofon olduğu için, iOS sistemleri ile Android sistemlerinin ses özellikleri farkı ölçümleri etkilemektedir. iOS platformunda Android sistemlerine göre daha gelişmiş ses özellikleri bulunmaktadır. Bu durum iPhone telefonun ölçüm verimliliğini HTC ve Samsung'a göre daha yüksek olduğunu deneylerde de göstermiştir.

Android telefonların kendi arasında karşılaştırmalarında HTC telefonun Samsung telefona göre gürültü ölçüm cihazına daha yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Telefonlarının yaşının da ölçümlerde önemli bir kısıt olduğu düşünülmektedir. Android cihazlarda donanım özelliklerindeki değişiklikler ölçümlerdeki değişimin en önemli kısıtlarından biridir.

Bu nedenle özellikle ses özelliklerinin değişken olmasından dolayı daha fazla telefon modeli ile test yapılması gerekir. Gelecekte yazılım dünyasındaki gelişmeler ile birçok yazılımın daha hassas şekilde yüksek maliyetli gürültü ölçüm cihazlarının yerini alması beklenmektedir.

4. KAYNAKLAR

1. Aumond, P., Lavandier, C., Riberio, C., Boix, E.G., Kambona, K.D' Hondt, Delaitre, P.A., 2017. Study of the Accuracy of Mobile Technology for Measuring Urban Noise Pollution in Large Scale Participatory Sensing Campaigns, *Applied Acoustics*, 115, 219-226.
2. Smart Tools. Sound Meter Pro. <http://androidboy1.blogspot.com/2015/12/sound-meter-pro-v25.html> (Erişim tarihi 22.01.2019).
3. JINASY. Noise Meter. <http://jinasys.com/nm.html> (Erişim tarihi 22.01.2019).
4. The European Environment Agency (EEA), 2017. The European Environment Agency (EEA) Road Traffic Remains Biggest Source of Noise Pollution in Europe http://www.eea.europa.eu/highlights/road-traffic-remains-biggest-source/?utm_medium=email&utm_campaign=NoisePollution&utm_content=NoisePollution+CID_24a9ddf571cad239903cb68f54679281&utm_source=EEA%20Newsletter&utm_term=Read%20more (erişim tarihi 30.4.2019).
5. Özgüven, H.N., 2008. Gürültü Kontrolü Endüstriyel ve Çevresel Gürültü, Türk Akustik Derneği, Teknik Yayınları.
6. Kurra, S., 2009. Çevre Gürültüsü ve Yönetimi, Bahçeşehir Üniversitesi Yayını.
7. Kardous, C.A., Shaw, P.B., 2014. Evaluation of Smartphone Sound Measurement Applications, *J. Acoust. Soc. Am.* 135(4), 186-192.
8. Anonim., Türkiye İsrar Raporu, Gümrük ve Ticaret Bakanlığı, Ankara.
9. Murpy, E., King, E.A., 2016. Testing the Accuracy of Smartphones and Sound Level Meter Applications for Measuring Environmental Noise, *Applied Acoustics*, 106, 16-22.
10. Garg, S., Lim, M.K., Lee, H.P., 2019. An Averaging Method for Accurately Calibrating Smartphone Microphones for Environmental Noise Measurement, *Applied Acoustics*, 143, 222-228.
11. Picauta, J., Fortina, N., Bocherb, E., Petitc, G., Aumonda, P., Guillaumed, G., 2018. An Open-

- science Crowdsourcing Approach for Producing Community Noise Maps Using Smartphones. *Building and Environment*, 148, 20-23.
- 12.** Leo, S., Zhou, W., 2014. Monitoring Exposure to Traffic Noise with Phone in China: A Review of Content, *International Journal of Information and Computer Science (IJICS)*, 3, 52-63.

Heat Flow Behaviours of Distaloy AE Alloys Produced by Powder Metallurgy

Ayşe Nur ACAR*¹

¹Çukurova University, Faculty of Ceyhan Engineering, Department of Mechanical Engineering,
Adana

Geliş tarihi: 15.11.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Abstract

The alloying techniques are classified with pre-alloyed, pre-mixed and diffusion-bonded powders. Distaloy AE alloy used in this study is type of diffusion-bonded alloy including of Fe, Ni and Mo alloying elements and has high strengthening microstructures. In this study; hardness, density and heat flows distaloy AE samples prepared by powder metallurgy method performed. As hardness and density measurements of these samples, Brinell hardness measurements and Archimedes water displacement technique performed and heat flows of these alloys determined using Differential Scanning Calorimetry (DSC) device. These results supported by SEM images, EDS spectrums of alloys and also, crystal structures of these alloys determined by XRD patterns.

Keywords: Distaloy AE, Powder metallurgy, Heat flow, Surface characterization

Toz Metalurjisi Metoduyla Üretilen Distaloy AE Alaşımlarının Isı Akışı Davranışları

Öz

Alaşımları teknikleri ön alaşımlı, önkarişimli ve difüzyon-bağlı tozla olmak üzere sınıflandırılır. Bu çalışmada kullanılan Distaloy AE alaşımı Fe, Ni ve Mo alaşım elementleri içeren bir difüzyon-bağlı alaşım çeşididir ve yüksek dayanımlı mikroyapıya sahiptir. Bu çalışmada toz metalürjisi metoduyla üretilen Distaloy AE alaşımlarının sertlik, yoğunluk ve ısı akışları çalışılmıştır. Bu malzemelerin sertlik ve yoğunluk ölçümleri Brinell sertlik ölçümleri ve Archimedes suyun kaldırma tekniği kullanılmıştır ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) cihazı kullanılarak alaşımların ısı akışları saptanmıştır. Sonuçlar alaşımların SEM fotoğrafları, EDS spektrumlarıyla desteklenmiştir ve ayrıca alaşımların kristal yapıları XRD desenleriyle saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Distaloy AE, Toz metalürjisi, Isıl akışı, Yüzey karakterizasyonu

*Corresponding Author (Sorumlu Yazar): Ayşe Nur ACAR, anacar@cu.edu.tr

1. INTRODUCTION

Powder metallurgy method that is one of producing of iron and iron derived alloys includes of three main stages powder/powder mixture preparation, shaping of prepared powder mixture in order to obtain green bulk product and densifying of shaping of green bulk products for acquiring densely bulk products from green products. This sintered product has more more densely structure compared to green bulk products [1-5].

Pre-alloyed or diffusion bonded alloys includes of Fe, Ni alloying elements and shows high strengthening structure [6-8]. Distaloy AE alloy used in this study has a diffusion bonding powder structure and on the structure of Distaloy AE alloy, between Fe and dispersed alloying element into Fe-matrix, metallurgical binding structure happens. This situation provides high strengthening to structure [8-10].

Heat flow occurs always from a region having high temperature to a region having lower temperature and happens by conduction, convection and radiation [11,12]. On the solids, heat flow comes true via conduction. In this study; heat flows and hardness of distaloy AE produced by powder metallurgy method have been investigated and relationship between heat flow and mechanical property of these alloys has been determined.

2. MATERIAL AND METHOD

In this study; Distaloy AE alloy powder that is obtained from Höganäs in Sweden utilized. The chemical composition of this powder includes of 0.01 of C%, 4.00 of Ni%, 1.50 of %Cu 0.50 of Mo% and Fe in balance.

Distaloy AE powder mixed with lubricant pressed on the 400 and 600 MPa pressures using traditional pressing technique on the 10×15×70 mm molds. Pressed these green bulk products annealed at 600 and 600 °C temperature for 30 min in order to debond of grains in the alloy and provide uniform temperature distribution

according to literature [13-15]. After then, samples sintered at 1200 °C, for 2 hours under N₂ atmosphere. Heating and cooling rate selected as 5 °C/min. In this work; as hardness test. Brinell hardness measurements of these alloys performed and calculated following Equation (1).

$$HB = \frac{2P}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (1)$$

In this Equation (1) P and d are referred as ball load and ball diameter of indentator that is contacted to surface of alloys. D is referred as diameter of indentation on the surfaces of these alloys. HB gives Brinell hardness values of these alloys. Ball load and ball diameter have been given as 31.25N and 2.5 mm, respectively. Brinell hardness test performed using BMS Digirock Hardness Tester.

The density measurements of Distaloy AE samples prepared on the 400 and 600 MPa pressures performed via Archimedes water displacement technique; pure water as medium was utilized. Samples cut to small prismatic samples in order to put chamber of assay balance with with 0.0001 sensitivity and Samples firstly dry weighted on assay balance, after, weighted samples were taken in pure water and were boiled to boiling point of water (100 °C) and also waited for 4 hours at this temperature due to homogeneous dispersing of water into pores in the microstructures of samples. After then, samples cooled in water to room temperature and cooled samples dried with clear dishtowel and were individually weighted in air and suspended in pure water. Density and porosity measurements of Distaloy AE alloy samples were calculated with acquiring weighting values of these samples. Equations (2-5) of density and porosity measurements of these samples were given in below,

$$\text{Bulk Density } (\rho_{\text{bulk}}) \quad (\text{g/cm}^3) = \frac{W_K}{W_D - W_A} \times \rho_{\text{liquid}} \quad (2)$$

$$\text{Apparent solid density } (\rho_{\text{apparent}}) \quad (\text{g/cm}^3) = \frac{W_K}{W_K - W_A} \times \rho_{\text{liquid}} \quad (3)$$

$$\text{Apparent porosity (\%)} = \frac{W_D - W_K}{W_D - W_A} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Water adsorption (\%)} = \frac{W_D - W_K}{W_K} \times 100 \quad (5)$$

From equations; W_K , W_A and W_D are defined as dried weight, suspended weight in pure water, weighted in air, respectively. Density measurements performed using Scaltec Sec31 with precision of 0.0001g

Heat flows of sintered Distaloy AE samples and powder Distaloy AE have been investigated using DSC (Differential Scanning Calorimetry). These heat flows of alloys supported via SEM images, EDS spectrums and XRD patterns of alloys.

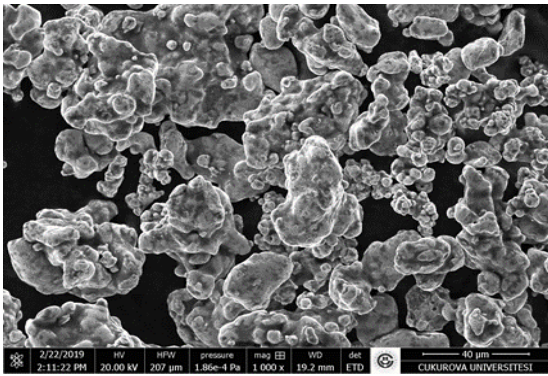


Figure 1. The SEM image of Distaloy AE powder (40 μm)

3. RESULTS AND DISCUSSION

For Brinell hardness values of Distaloy AE alloys, it was obtained that distaloy AE prepared on the low pressure has 106.25 N/mm^2 , whereas other Distaloy AE sample has 177.32 N/mm^2 . When pressure increased, Brinell hardness values of these samples increased. With pressure increasing, porosity closed, grain bonding occurred and Distaloy AE samples have more strengthening microstructure.

On the Table 2; bulk and apparent solid density (g/cm^3), apparent solid porosity (%) and also water adsorption (%) values of Distaloy AE alloy

samples prepared on the 400 and 600 MPa pressures were given. It was observed that bulk and apparent solid density of samples increased when pressure increased. Apparent porosity and water adsorption (%) of samples decreased. With increasing of pressure; pores closes, grain bonding occurs, therefore microstructures of samples gain dense and strenghtening structures. Maximum bulk and apparents solid density are obtained on the sample prepared on the high pressure (6.38 and 6.55 g/cm^3 , respectively) and Minimum apparent and water adsorption are recorded as 2.60 and 0.41 %, respectively.

Table 1. The density measurements of Distaloy AE samples prepared on the 400 and 600 MPa pressures

	400 MPa	600 MPa
Bulk density (g/cm^3)	6.18	6.38
Apparent solid density (g/cm^3)	6.41	6.55
Apparent porosity (%)	3.67	2.60
Water adsorption (%)	2.2	0.41

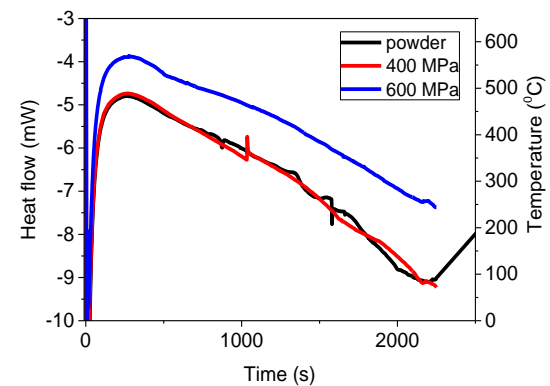


Figure 2. The heat flows of powder and sintered Distaloy AE alloys

In Figure 2; the heat flows of powder and sintered Distaloy AE alloys are given. The heat flows of powder and Distaloy AE prepared on the 400 MPa pressure were recorded close to each other. On the austenitic stainless steel prepared on the 600 MPa pressure; heat flow has higher values than that of Distaloy AE powder and prepared on the 400 MPa pressure. Heat values of these alloys were given according to literature [16]. In this study; for all

samples; first, all heat flow plates were arranged to at temperature of approximately 25 °C, after, at the temperature range of approximately 550-450 °C, values of all heat flow plates decreased at time range from 15 to 40 sec, after then, at medium temperature of approximately 450 °C for Distaloy AE powder and prepared on the 400 MPa pressure and at temperature range from 550 to 450 °C for distaloy AE prepared on the 600 MPa pressure; on the values of heat flows decreasing occur at time of 275 sec. On the heat flow of Distaloy AE powder; values of heat flows firstly decreases at temperature of 350 °C and then, increases at temperature of 325 °C, at temperature range from 300°C to 200°C and at time range from 1265 to 1690 sec, on the values of heat flow, frustating occurred. For Distaloy AE alloy prepared on 400MPa pressure; at temperature range from 205 to 108 °C and at time range from approximately 990 to 1065 sec., values of heat flow of this sample, decreasing occurs. Maximum heat flow was recorded on the distaloy AE alloy prepared on the 600MPa pressure. (-3.86279 mW at 277 sec at temperature of 57.667 °C)

In Figure 3 and Table 2, the SEM images and EDS spectrums of sintered Distaloy AE alloys are given. Surface appearances of both of distaloy AE samples have smooth. With pressure effect and heat treatment, porosity into alloy structure closes and more grain binding happens. Via heat treatment; increasing of atomic vibration causes to diffusion and more atoms acts in the contact area and hence, bonding surface happens. Occurred bonding surface extends, therefore, sintering necks occurs [17,18]. this situation observed that surface of Distaloy AE alloy prepared on the 600 MPa pressure has smoother appearance than that of other alloy sample and recommended that this situation has a role on the higher heat flows of this samples according to the other samples.

From EDS spectrums in Table 2; ratios of C, Ni, Cu alloying elements decreased, but ratios of Fe and Mo alloying elements increased. This situation is observed o the XRD patterns. Sintering at high temperature, liquid phase that is caused to densification occurs between alloying elements and carbon atoms [6,19]. More carbon atoms on

the structure of alloys lead to transformation martensite structure that is Cu-rich network. In addition, Ni-rich causes to austenitic structure. Cu melts down at almost 1085 °C temperature. Diffusion of Ni atoms happens into the melting of Cu. Martensitic structure having of both of Cu and Ni rich have a significant a role on the reinforcing of alloys [6].

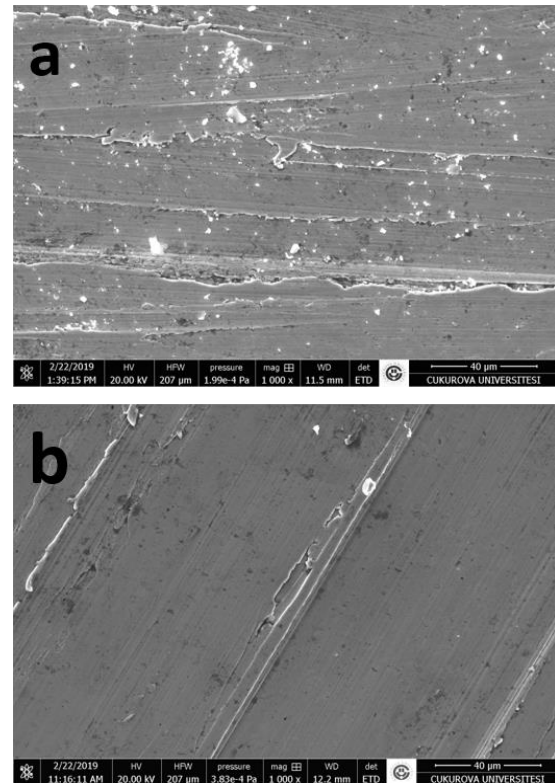


Figure 3. The SEM images of Distaloy AE prepared on the 400 and 600 mPa pressures (40 µm)

Table 2. EDS spectrums of Distaloy AE prepared on the 400 and 600 mPa pressures (all surface of both of samples)

	400 MPa	600 MPa
C	4.11	3.7
Ni	4.21	4.09
Cu	1.56	1.28
Mo	0.3	0.34
Fe	89.82	90.59

In Figure 4, the XRD patterns of powder and sintered Distaloy AE samples are observed. On the all XRD patterns of these alloy; it was seen that Fe and Ni alloying elements in microstructures of alloys were preponderated to Cu alloying element. XRD pattern of this alloy powder; (111) cubic crystal structure (at 43.4°) varied to (011) crystal structure on the both of sintered Distaloy AE alloys and at $50.59-51.85^\circ$ range. It was also observed that (020) cubic crystal structure (Cu, Ni) on the distaloy powder was not seen on both sintered Distaloy AE alloys [20,21].

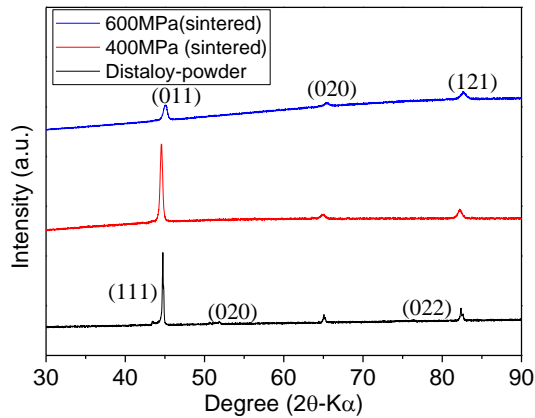


Figure 4. The XRD patterns of powder and Distaloy AE alloy samples

4. CONCLUSION

In this study; the Brinell Hardness values and Heat flows of Distaloy Ae alloys prepared by powder metallurgy method have been examined. Following experimental results are given;

- As pressure increases; Brinell hardness, bulk and apparent solid density values of these values increased. Water adsorption and apparent porosity of these alloys decreased.

- As pressure increased, increasing of heat flows of these alloys occurred.

- Maximum heat flow occurred on the distaloy AE alloy prepared on the high pressure.

- On the SEM images of these alloys; decreasing porosity and therefore grain bonding occurs with increasing of pressures and XRD patterns of these alloys; Fe and Ni alloying elements in the structures of samples were dominated according to Cu alloying element.

5. ACKNOWLEDGEMENT

Author thanks to Prof. Dr. Abdul Kadir EKŞİ and Assoc. Prof. Dr. Ahmet EKİCİBİL.

6. REFERENCES

1. Panda, S.S., Singh, V., Upadhyaya, A., Agrawal, D., 2006. Sintering Response of Austenitic (316L) and Ferritic (434L) Stainless Steel Consolidated in Conventional and Microwave Furnaces, *Scripta Materialia*, 54, 2179–2183.
2. Giménez, S., Vagnon, A., Bouvard, D., Van der Biest, O., 2006. Influence of the Green Density on the Dewaxing Behaviour of Uniaxially Pressed Powder Compacts, *Materials Science and Engineering A* 430, 277–284.
3. Yılmaz, R., Ekici, M.R., 2015. Üretim Parametrelerinin Düşük Alaşımli TM Çeliklerin Sertlik ve Aşınma Özelliklerine Etkisi 3rd International Symposium on Innovative Technologies In Engineering and Science (ITES2015) Valencia-Spain, 2545-2554.
4. Zarebski, K., Putyra, P., 2015. Iron Powder-based Graded Products Sintered by Conventional Method and by SPS, *Advanced Powder Technology*, 26, 401–408.
5. Al-Qureshi, H.A., Galietto, A., Klein, A.N., 2005. On the Mechanics of Cold Die Compaction for Powder Metallurgy, *Journal of Materials Processing Technology*, 166, 135–143.
6. Abdoos, H., Khorsand, H., Shahani, A.R., 2009. Fatigue Behavior of Diffusion Bonded Powder Metallurgy Steel with Heterogeneous Microstructure, *Materials and Design*, 30, 026-1031.
7. James, W.B., O'Brien, R.C., 1986. High Performance Ferrous PM Materials: The Effect

- of Alloying Method on Dynamic Properties. Progress in powder Metallurgy. Princeton NJ: MPIF.
8. Alzati, L., Bergmark, A., Andersson, J., 2005. Fatigue Performance of PM Steel in Assintered State. Presented at PMAI Vonference, Mumbai, India, 9.
 9. Lindskog, P., 2013. The History of Distaloy, Powder Metallurgy, 56:5, 351-361.
 10. Öksüz, K.E., Kumruoğlu, L.C., Tur, O., 2015, Effect of Sic_p on the Microstructure and Mechanical Properties of Sintered Distaloy DC Composites, 5th International Biennial Conference on Ultrafin Grained and Nanostructured Materials (UFGNSM15), Tehran-Iran, Procedia Materials Science 11, 49-54.
 11. <http://labman.phys.utk.edu/phys221core/modules/m9/regulation.html>
 12. <https://study.com/academy/lesson/heat-flow-in-solids-fluids.html>
 13. Pandya, S., Ramakrishna, K.S., Annamalai A.R., Upadhyaya, A., 2012, Effect of Sintering Temperature on the Mechanical and Electrochemical Properties of Austenitic Stainless Steel, Materials Science and Engineering A, 556, 271–277.
 14. Butković, S., Oruč, M., Šarić, E., Mehmedović, M., 2012. Effect of Sintering Parameters on the Density, Microstructure and Mechanical Properties of the Niobium-Modified Heat-Resistant Stainless Steel GX40CrNiSi25-20 Produced by MIM Technology, Materiali in tehnologije/Materials and Technology 46, 2, 185–190.
 15. Butković, S., 2013. Sinterability And Tensile Properties of Nickel Free Austenitic Stainless Steel X15CrMnMoN 17 11 3, Technical Gazette 20, 2, 269-274.
 16. Göbel, A., Vidi, S., Klinker, F., Hemberger, F., Brütting, M., Ebert, H.P., Mehling, H., 2017 Method for the Thermal Characterization of PCM Systems in the Volume Range from 100 ml to 1000 ml, International Journal of Thermophysic 38(67), 12.
 17. Yao, B., Zhou, Z., Duan, L., Xiao, Z., 2016. Compressibility of 304 Stainless Steel Powder Metallurgy Materials Reinforced with 304 Short Stainless Steel Fibers, Materials, 9(161), 1-11.
 18. Yıldızlı, K., 2015. Investigation on the Microstructure and Toughness Properties of Austenitic and Duplex Stainless Steels Weldments Under Cryogenic Conditions, Materials and Design, 77, 83–94.
 19. Karwan-Baczewska, J., 2015. Processing and Properties of Distaloy SA Sintered Alloys with Boron and Carbon, Archives of Metallurgy and Materials, 60(1), 41-45.
 20. Acar, A.N., Ekşi, A.K., Ekicibil, A., 2019. Structural and Physical Properties of Sintered Distaloy AE Alloy Compacts, UDCS'19 Fourth International Iron and Steel Symposium, 4-6 April, Karabuk, 231-233.
 21. Acar, A.N., Ekşi, A.K., Ekicibil, A., 2019. Specific Heat Capacity Behaviours of P/M Distaloy AE Alloy Compacts, International Conference on Condensed Matter and Materials Science ICCMMS-2019 14-19 October 2019 Adana, 7-13.

Design of Notched Rounded Bowtie Antenna for Ultra-Wideband Communication Systems

Duygu Nazan GENÇOĞLAN¹, Şule ÇOLAK^{*1}

¹Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 02.10.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Abstract

In this paper, a modified bowtie antenna structure is proposed for Ultra-Wideband communication systems. This antenna is obtained by rounding and notching the edges of antenna arms. Antenna parameters for the designed structure are examined according to the restrictions specified by Federal Communications Commission. Thus, Return Loss (S_{11}), Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), gain, radiation pattern and impedance are observed in the 3.1 GHz - 10.6 GHz frequency range. Additionally, the effect of arm length and dielectric material on antenna performance are interpreted in the same range. According to obtained results, the proposed structure satisfies the bandwidth requirements for Ultra-Wideband systems. Gain and impedance variations are also in acceptable limits for Ultra-Wideband applications. The proposed antenna is analyzed through CST Microwave Studio program.

Keywords: Antenna design, Notched bowtie antenna, Ultra-wideband

Ultra Geniş Bantlı Haberleşme Sistemleri için Çentikli Yuvarlatılmış Kelebek Anten Tasarımı

Öz

Bu çalışmada, Ultra-Geniş Bant haberleşme sistemleri için modifiye edilmiş kelebek anten yapısı önerilmiştir. Bu anten kelebek antenin kollarının yuvarlatılması ve çentik atılması ile oluşturulmuştur. Tasarlanan yapının anten parametreleri, Federal İletişim Komisyonu tarafından belirlenen kısıtlamalara göre incelenmiştir. Böylece, Geri Dönüş Kaybı (S_{11}), Duran Dalga Oranı (VSWR), kazanç, ışıma örüntüsü ve anten empedansı 3,1 GHz -10,6 GHz frekans aralığında gözlenmiştir. Ayrıca, anten kol uzunluğunun ve dielektrik malzemenin anten performansına etkisi aynı frekans aralığında yorumlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, önerilen yapı Ultra-Geniş Bant sistemleri için bant genişliği gereksinimlerini karşılamaktadır. Kazanç ve empedans değişimleri de Ultra-Geniş Bant uygulamaları için kabul edilebilir sınırlardadır. Önerilen anten CST Microwave Studio programı ile analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Anten tasarımı, Çentikli kelebek anten, Ultra-geniş bant

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Şule ÇOLAK, scolak@atu.edu.tr

1. INTRODUCTION

As it is well known, antenna is a significant component in communication systems for transmitting and receiving the signals effectively. Especially in Ultra-Wideband (UWB) systems, antenna design is a crucial task due to broadband system characteristics. The challenging issue in the modelling of UWB antennas is to maintain the desired performance throughout the UWB frequency range. According to the regulations specified by Federal Communications Commission (FCC) for UWB communications, Return Loss (S_{11}) should be below -10 dB and Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) should be less than 2 over the 3.1 GHz - 10.6 GHz frequency range [1]. Arm length, feed gap, substrate length, substrate width, and flare angle are important for obtaining the required bandwidth and directional characteristics in UWB systems. Moreover, thickness and dielectric constant of the substrate have considerable effect on antenna performance.

Bowtie antenna is a commonly used structure in many applications including wireless communication, Ground Penetrating Radar (GPR), Ultra-Wideband (UWB) systems and medical imaging. This antenna type has advantageous properties such as small size, low weight, low cost and ease of implementation. There are several bowtie antenna structures designed for different applications in the literature [2-14]. In general, most studies focus on improving antenna performance by using simulation programs. Some of these studies additionally include experiments to verify simulation results.

This study proposes a modified bowtie antenna structure for Ultra-Wideband communications. The modification is performed by rounding and notching the edges of antenna arms. The proposed antenna is examined in the 3.1 GHz -10.6 GHz frequency range according to the restrictions specified by FCC regulations. Antenna performance is analysed by observing Return Loss (S_{11}), Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), gain, radiation pattern and impedance in the frequency range of interest. Additionally, the effect of arm length and substrate material are examined

on the antenna performance. The proposed structure is simulated by using CST Microwave Studio program.

2. ANTENNA DESIGN

Antenna configuration is composed of a modified bowtie structure printed on a dielectric substrate. The modification is carried out by rounding and notching the arm edges of a classical bowtie antenna. The geometry of the proposed antenna is depicted in Figure 1. Designed antenna lies in the xy plane. Notched bowtie is made of copper and the substrate material is Rogers RT5870 with relative permittivity of 2.33. Substrate dimensions are 137.5 mm \times 137.5 mm with $h = 0.5$ mm thickness. Flare angle is 60° and the notch radius is 10 mm.

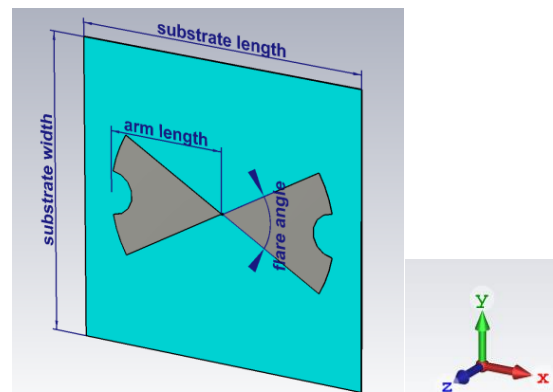


Figure 1. Notched rounded bowtie antenna configuration

3. ARM LENGTH EFFECT

The proposed antenna is designed with three different arm lengths to see the effect of arm length on antenna performance. All of the other physical parameters are kept constant in the structure. Figure 2 shows Return Loss plots for arm lengths of 35 mm, 45 mm, and 55 mm. According to the figure, when the arm length is 35 mm, S_{11} is not below -10 dB in the ranges of 4.2-5.4 GHz and 7.5-9.03 GHz. Therefore, this antenna has triple-band characteristics in the 3.1-10.6 GHz frequency range. However, as the

arm length increases to 55 mm, the bandwidth improves significantly since S_{11} is below -10 dB throughout the whole frequency range. Additionally, when the arm length is 55 mm, the best resonance occurs at 6.62 GHz with Return Loss value of -27.79 dB. Similarly, in Figure 3,

when the arm length is 55 mm, VSWR is smaller than 2 for the whole UWB range. Here, the minimum VSWR is 1.09 at 6.62 GHz. Then, it can be concluded that, 55 mm arm length yields the best bandwidth performance for UWB applications.

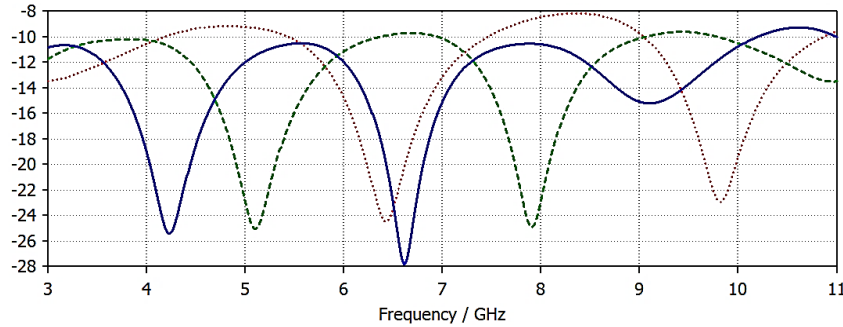


Figure 2. Return Loss (S_{11}) of the antenna for different arm lengths; 35 mm, --- 45 mm, — 55 mm

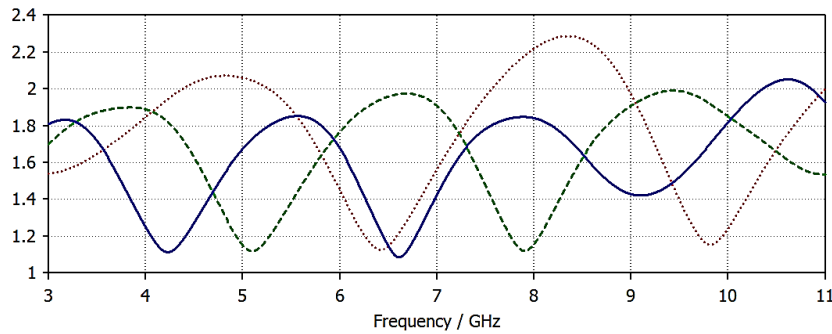


Figure 3. VSWR of the antenna for different arm lengths; 35 mm, --- 45 mm, — 55 mm

4. EFFECT OF DIELECTRIC MATERIAL

In order to observe the effect of dielectric material, antenna performance is compared for Rogers RT5870 and FR4 substrates. The dielectric constant for FR4 material is 4.3. Arm length is selected as 55 mm for both antennas since it gives the best Return Loss and bandwidth characteristic. All the other dimensions of the antennas are selected the same as in the previous section. Figure 4 shows Return Loss plots for both substrates. According to figure, the structure with Rogers RT5870 substrate has Return Loss below -10 dB throughout the UWB frequency range.

However, the antenna with FR4 substrate does not satisfy -10 dB bandwidth requirement. Rather, it shows triple-band characteristics in this range.

Similarly, VSWR graphs for the antennas with Rogers RT5870 and FR4 substrates are illustrated in Figure 5. Although the structure with Rogers RT5870 substrate has VSWR below 2, the structure with FR4 substrate does not satisfy this condition at all frequencies throughout the UWB range. Hence, RT5870 is appropriate to be used for UWB applications. On the other hand, it is not as cost effective as FR4 material. This is a compromise that should be considered in the design of UWB antennas.

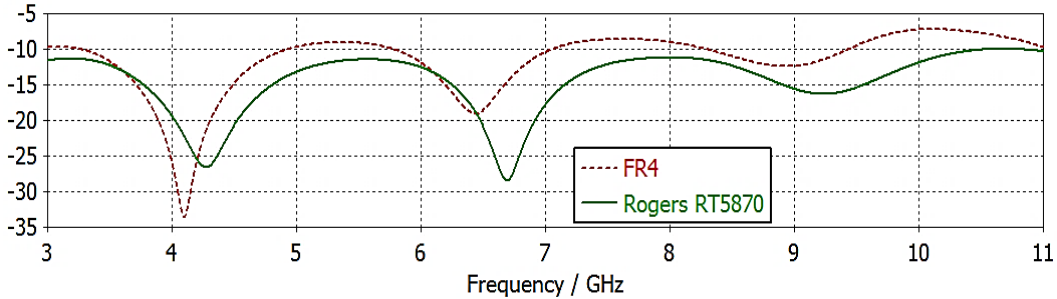


Figure 4. S_{11} Return Loss for the proposed antenna with substrates ----- FR4 and — Rogers RT5870

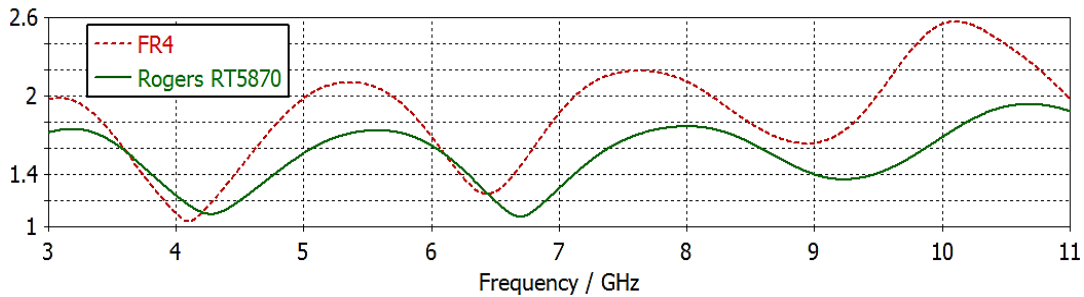


Figure 5. VSWR for the proposed antenna with substrates ----- FR4 and — Rogers RT5870

5. RADIATION PATTERN AND GAIN

One of the main concerns for antenna design in UWB communications is the radiation pattern. It is not an easy task to control the radiation pattern at all frequencies since the pattern deteriorates with

increasing frequency. Figure 6 illustrates the radiation pattern at three different frequencies with Rogers RT5870 substrate. According to the figure, the radiation pattern is omnidirectional at 3.1 GHz. However, as the frequency increases, more lobes start to appear and deteriorations occur in the omnidirectional pattern characteristic.

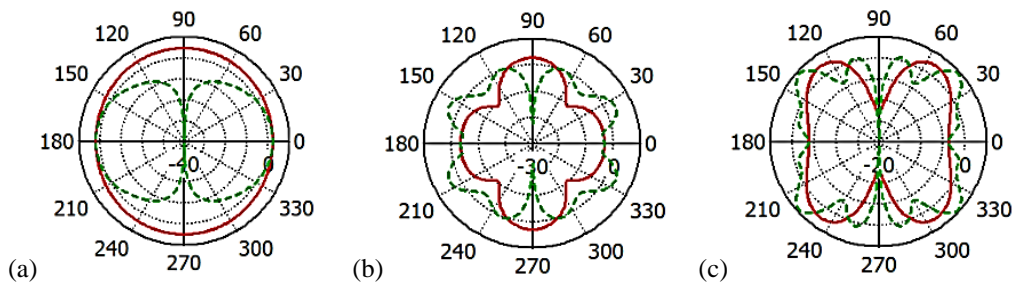


Figure 6. Radiation pattern for — Phi=90°, ----- Theta=90° at a) 3.1 GHz, b) 6.85 GHz, c) 10 GHz.

The gain over the frequency range is illustrated in Figure 7. According to the graph, the gain is almost uniform from 3.1 GHz to 5 GHz. It increases after 5 GHz until it reaches the maximum value of 4.96 dB at 7 GHz. The gain starts to

decrease again after this frequency until it reaches the minimum, that is, 3.36 dB at 8.73 GHz. The gain variation is only 1.6 dB over the entire frequency range, which is tolerable and therefore quite reasonable for UWB systems.

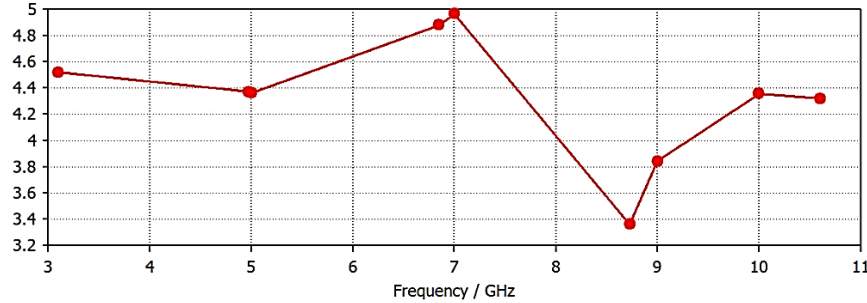


Figure 7. Gain over the range 3.1 GHz - 10.6 GHz

6. ANTENNA IMPEDANCE

Antenna impedance with respect to frequency is examined in Figure 8. The magnitude Z_{11} does not change significantly throughout the frequency

range. Additionally, the imaginary part is considerably small as compared to the real part. Thus, it appears that the proposed antenna has an appropriate impedance characteristic for UWB applications.

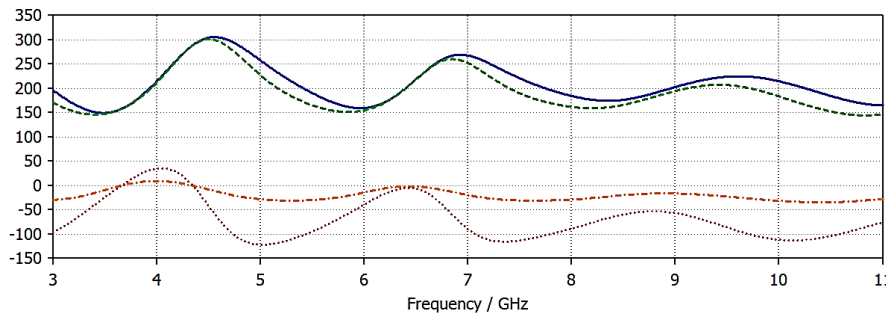


Figure 8. Impedance of the proposed antenna with frequency for Rogers RT5870 substrate, — $\text{Mag}(Z_{11})$, ---- $\text{Re}(Z_{11})$, $\text{Im}(Z_{11})$, - · - · - $\text{Arg}(Z_{11})$

7. CONCLUSION

In this paper, a notched rounded bowtie antenna is proposed for Ultra-Wideband communication systems. The structure is obtained by rounding and notching the arm edges of classical bowtie antenna. Antenna performance is analysed by observing Return Loss (S_{11}), Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), gain, radiation pattern and impedance in the 3.1 GHz - 10.6 GHz frequency range. The effect of arm length and dielectric material are examined on antenna performance. CST Microwave Studio is used for designing and analyzing the antenna. According to obtained results, the structure designed with RT5870 substrate satisfies the bandwidth requirements for UWB systems. In fact, Return Loss is below - 10

dB and $\text{VSWR} < 2$ over the UWB frequency range. Additionally, gain and impedance variations are relatively small and these variations are in acceptable limits for UWB applications. Although the radiation pattern is omnidirectional at the lowest frequency, it tends to deteriorate as the frequency increases. It is aimed to improve the radiation pattern also at higher frequencies by further modifying the proposed structure in the future work.

8. ACKNOWLEDGEMENT

This paper is supported by the Scientific Research Projects Unit (BAP) in Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University. Project No: Mühdbf.Eem.2015-18, Project Title: Investigation

and Improvement of Ultra Wideband Antenna Characteristics.

9. REFERENCES

1. Federal Communications Commission (FCC), First Report and Order in The Matter of Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems. ET-Docket 98-153, FCC 02-48, released April 2002.
2. Sayidmarie, K.H., Fadhel, Y.A., 2013. A Planar Self-Complementary Bow-Tie Antenna for UWB Applications. *Progress in Electromagnetics Research C*, 35, 253-267.
3. Sharma, C., Rana, S.B., Singh, H., 2015. Design and Analysis of Modified Bowtie Antenna. *International Journal of Technology Enhancements and Emerging Engineering Research*, 3, 119-121.
4. George, D. M., Rajan, R., 2015. Design and Analysis of Different Bow-Tie Configurations for Submarines. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 3(9), 8590-8596.
5. Çolak, Ş., Gençoğlan, D.N., 2016. Improvement of Bowtie Antenna Parameters for Ultra-Wide Band Applications. 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), 1797-1800.
6. Gonzáles, F., Boreman, G., 2005. Comparison of Dipole, Bowtie, Spiral and Log-Periodic IR Antennas. *Infrared Physics & Technology*, 46(5), 418-428.
7. Wiesbeck, W., Adamiuk, G., Sturn, C., 2009. Basic Properties and Design Principles of UWB Antennas. *Proceedings of IEEE*, 97(2), 372-385.
8. Dao, T.D., Hoang, C.V., Nishio, N., Yamamoto, N., Ohi, A., Nabatame, T., Aono, M., Nagao, T., 2019. Dark-Field Scattering and Local SERS Mapping from Plasmonic Aluminum Bowtie Antenna Array. *Micromachines*, 10(7), 468.
9. Jeong, S.H., Tassoudji, M.A., Mohammadian, A., Sanchez, J.F., Taesik, Y.A.N.G., 2019. Multilayer bowtie antenna structure. U.S. Patent Application No. 16/163, 310.
10. Kumar, R., Tripathy, M.R., Ronnow, D., 2019. An Approach to Improve Gain and Bandwidth in Bowtie Antenna Using Frequency Selective Surface. *Smart Innovations in Communication and Computational Sciences*, 219-227.
11. Rycroft, S., Shaw, A., Fergus, P., Kot, P., Hashim, K., Moody, A., Conway, L., 2019. A First Implementation of Underwater Communications in Raw Water Using the 433 MHz Frequency Combined with a Bowtie Antenna. *Sensors*, 19(8), 1813.
12. Alibakhshikenari, M., Moghaddam, S.M., Zaman, A.U., Yang, J., Virdee, B.S., Limiti, E., 2019. Wideband Sub-6 GHz Self-Grounded Bow-Tie Antenna with New Feeding Mechanism for 5G Communication Systems. 13th European Conference on Antennas and Propagation, 1-4.
13. Jiang, H., Si, L. M., Hu, W., Lv, X., 2019. A Symmetrical Dual-Beam Bowtie Antenna with Gain Enhancement Using Metamaterial for 5G MIMO Applications. *IEEE Photonics Journal*, 11(1), 1-9.
14. Dayo, Z.A., Cao, Q., Soothar, P., Lodro, M. M., Li, Y., 2019. A Compact Coplanar Waveguide Feed Bow-Tie Slot Antenna for WIMAX, C and X Band Applications. *IEEE International Conference on Computational Electromagnetics*, 1-3.

Türkiye’de İller Arası Otomobil Yolculuklarının Çekim Yöntemi ile Modellenmesi ve CBS Ortamında İncelenmesi

Yaşar VİTOŞOĞLU*¹, H. Canan GÜNGÖR², Polat YALINIZ¹

¹Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Kütahya

²Necmettin Erbakan Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uzay ve Uydu
Bilimleri Bölümü, Konya

Geliş tarihi: 15.02.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Literatürde başlangıç-son (O-D) matrislerini elde etmek için birçok model olmasına rağmen, ev anketlerini veya yol kenarı görüşmelerini esas alan yaklaşımların kullanılması pahalıdır. Bu nedenle, O-D matrislerini elde etmek için daha ucuz olan yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden birisi Bell tarafından geliştirilmiş olup, yolculuk matrislerini taşıt sayımlarından elde etmektedir. İller arası otomobil yolculuk matrisini bulmak için bu model kullanıldıktan sonra, çekim esaslı bir yolculuk dağıtım modeli geliştirilmiştir. Elde edilen matris, daha sonra mekânsal analizleri gerçekleştirmek için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamına aktarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: O-D matris tahmini, Coğrafi Bilgi Sistemleri, İller arası otomobil yolculukları

Modeling Intercity Car Travels in Turkey with the Gravity Method and Analyzing them in GIS Environment

Abstract

Although there are many models for obtaining origin-destination (O-D) matrices in the literature, using approaches based on home surveys or roadside conversations is expensive. Thus, various methods that are cheaper have been developed to obtain O-D matrices. One of these methods has been developed by Bell, and obtains travel matrices from vehicle counts. After this model was used for finding the intercity car travel matrix, a gravity based travel distribution model was developed. The matrix obtained was then transferred to Geographic Information Systems (GIS) environment for realizing spatial analyses.

Keywords: O-D matrix estimation, Geographic Information Systems, Intercity car travels

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Yaşar VİTOŞOĞLU, yasar.vitosoglu@dpu.edu.tr

1. GİRİŞ

Mevcut verilerin miktarı ve tutarlılığı, ulaştırma ile ilgili doğru ve sağlıklı kararların alınmasında oldukça önemlidir. Ayrıca, bu bilgilerin uygun bilgi sistemleri kullanılarak depolanması, değerlendirilmesi ve analiz edilmesi, karar vericilerin etkin politikalar oluşturmasında önemli bir rol oynar. Bu bağlamda, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), mekânsal analizlerin gerçekleştirilmesi için kullanılan etkili araçlardan biridir. Dolayısıyla, Türkiye’de gerçekleştirilen iller arası otomobil yolculuklarına ilişkin bilgilerin değerlendirilmesi için bu çalışmada da CBS’den yararlanılmıştır. Bu amaçla iller arası otomobil yolculuğu matrisi CBS ortamına aktarılmıştır. Böylece karşılaştırma ve sorgulamaları yapmak için bu matrisi görsel bir ortamda değerlendirmek mümkün olmuştur.

Başlangıç-son (O-D) matrisleri, birçok yolculuk analizi için temel girdilerden biri olup bu matrisleri tahmin etmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Ancak, ev anketlerini ya da yol kenarında gerçekleştirilen görüşmeleri esas alan yöntemlerin kullanılması pahalı ve zaman alıcı olmaktadır. Bu yüzden, O-D matrislerini teşkil etmek için pahalı ve zaman alıcı olmayan çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

Karayollarındaki taşıtların sayısı, yolculuk matrisi ile araç kullananların güzergâh seçimine ilişkin verdikleri kararların bir bileşkesi olup sayım yapılan karayolu bağlantılarını kullanan tüm O-D çiftleri hakkında bilgi verirler.

Ayrıca, trafiği aksatmadan ve kolay bir şekilde elde edildiklerinden oldukça cazip bir veri kaynağıdır. Dolayısıyla, 1980’li yılların başından itibaren taşıt sayımlarından yolculuk matrislerinin oluşturulması düşüncesi, araştırmacıların dikkatini çekmiş ve bu konuda çeşitli metotlar ileri sürülmüştür. Türkiye’de iller arası otomobil yolculuklarına dair O-D matrisinin elde edilmesinde yararlanılan model, M. G. H. Bell tarafından 1983 yılında geliştirilmiş olup bu metotlardan birisidir [1,2].

2. M. G. H. BELL TARAFINDAN GELİŞTİRİLEN MODEL

N tane bölgenin bir karayolu ağıyla birbirine bağlı olduğu kabul edilirse, yolculuk matrisi N^2 öğeden meydana gelir. Şayet bölge içindeki yolculuklar göz ardı edilirse, yolculuk matrisindeki öğe sayısı $N^2 - N$ olur. Taşıt sayımlarından bir O-D matrisini oluşturan bu N^2 sayıdaki öğenin bulunabilmesi için, her bir başlangıç noktasından her bir son noktaya gerçekleştirilen yolculukların takip ettikleri güzergâhlar önceden belirlenmelidir. Eğer i bölgesinden j bölgesine gerçekleştirilen yolculukların a bağlantısını kullanma ihtimali ya da oranı p_{ij}^a ile belirtilirse, bu bağlantı üzerinde meydana gelen trafik akımı (V_a), bölgeler arasında gerçekleştirilen tüm yolculukların o bağlantıyı kullanan kısımlarının toplamı olacaktır. Bu, matematiksel olarak Eşitlik 1 ile ifade edilebilir:

$$V_a = \sum_{ij} T_{ij} p_{ij}^a \quad 0 \leq p_{ij}^a \leq 1 \quad (1)$$

p_{ij}^a olasılıkları, karmaşıklık seviyeleri birbirinden farklı olan çeşitli yolculuk ataması yöntemlerinden biri ile elde edilebilir. Bu atama yöntemlerinin karmaşıklık seviyeleri ise, hep-ya da-hiç atamasından denge atamasına doğru gidildikçe artar. Sonuç olarak, bütün p_{ij}^a oranları ve gözlenmiş taşıt sayımları (V_a) verildiğinde, problemin L tane simültane doğrusal denklem takımından belirlenecek N^2 sayıda T_{ij} bilinmeyeni olacaktır. Burada L, taşıt sayımlarının yapıldığı karayolu bağlantılarının toplam sayısını belirtmektedir.

Trafik sayımlarından yolculuk matrisini elde etmek için yararlanılan atama yöntemleri, iki ana grupta sınıflandırılabilir. Birinci gruba dâhil olan atama yöntemleri, her bir güzergâhı seçen sürücülerin sayısının veya oranının bağlantılar üzerindeki akım düzeylerine bağlı olmadığını varsayar. Bu gruba dâhil olan atama yöntemlerinin çok bilinen örneği, hep-ya da-hiç atamasıdır ve bu yaklaşımda p_{ij}^a olasılıkları Eşitlik 2’de verildiği gibi tanımlanır:

$$p_{ij}^a = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } i \text{ başlangıç noktasından} \\ & j \text{ son noktasına yapılan} \\ & \text{yolculuklar a bağlantısını} \\ & \text{kullanıyorsa} \\ 0 & \text{Kullanılmıyorsa} \end{cases} \quad (2)$$

Salt stokastik olan atama yöntemleri de birinci grupta yer alırlar. Ancak, p_{ij}^a olasılıkları bu durumda 0 ile 1 arasında çeşitli değerler alabilir. Diğer taraftan, ikinci gruba dâhil olan atama yöntemleri tıkanıklık etkisini dikkate alırlar. Bu nedenle, her bir O-D çifti arasında gerçekleştirilen yolculukların herhangi bir bağlantıdan geçme ihtimali, aynı zamanda o bağlantı üzerindeki araç miktarına bağlıdır. Denge ve stokastik kullanıcı dengesi atama yaklaşımları, bu grupta yer alırlar.

Prensipite, N^2 sayıda birbirinden bağımsız ve birbiriyle uyumlu taşıt sayımı, tek bir T yolculuk matrisini belirlemek için gereklidir. Bununla birlikte, uygulamada, taşıt sayımlarının sayısı T_{ij} bilinmeyenlerinin sayısından çok daha azdır. Bu yüzden, ağa atandıkları zaman, genellikle gözlenen taşıt sayımlarıyla tutarlı sonuçlar veren birden çok sayıda yolculuk matrisi elde edilecektir. Bu durum, bir O-D matrisini elde etme problemi için tek bir çözümün bulunamayacağı anlamına gelir. Bu problemi çözmek için, iki farklı yaklaşımdan yararlanılabilir. İlk yaklaşımda, belirlenecek matris için elverişli olan çözümlerin kümesi, bir çekim veya doğrudan talep modeli tarafından sağlanan belirli bir yapının probleme ilave edilmesiyle kısıtlanır. İkinci yaklaşımda ise, bir O-D matrisini belirlemek için gerekli olan minimum düzeydeki ek bilgiyi sağlamak üzere, maksimum olasılık ya da entropi maksimizasyonu gibi temel prensiplerden istifade edilir [3].

Robillard [4], Hogberg [5] ve LeBlanc [6] tarafından gerçekleştirilen çalışmalar ilk yaklaşımı izlemiştir. Öte yandan, Wilson [7], Van Zuylen ve Willumsen [8] ile McNeil ve Hendrickson [9] O-D matrislerini oluşturmak için entropi maksimizasyonu yöntemlerini benimsemiştir. Diğer taraftan, bilgi minimizasyonu modeli [8], genelleştirilmiş en küçük kareler modeli [10] ve Bayes modeli [11] gibi diğer yöntemler de bu amaç için kullanılmaktadır. Bu modellerin uygulanan teoriye dayalı kendi karakteristik

özellikleri ve uygulama koşulları vardır. Bundan başka, Yang [12], son yıllarda gözlenmiş bağlantı akımlarından O-D matrislerinin tahmin edilmesi için iki seviyeli bir formülasyon geliştirmiştir. Ayrıca, etkili algoritmalar kullanılarak dinamik O-D matrislerini tahmin etmek için çeşitli araştırmacılar tarafından başka çalışmalar da gerçekleştirilmiştir [13-16].

Bell tarafından geliştirilen model, esasında modifiye edilmiş bilgi minimizasyonu modeline benzemektedir. Eğer güzergâh seçimi oranları ya da olasılıkları tam olarak bilinmiyorsa, bilgi minimizasyonu modeli, tahmin sonuçları istikrarlı olmadığından uygun değildir. Bu yüzden, Van Zuylen ve Willumsen [8], geçmiş yolculukların toplam sayısı ile gerçek yolculuklar arasındaki farkı düzeltmek için bilgi minimizasyonu modelini modifiye etmişlerdir. Bell tarafından kullanılan modifiye edilmiş bilgi minimizasyonu modelinin yapısı, Eşitlik 3'te verilmektedir:

$$V_a = \sum_{ij} t_{ij}^o \tau \left(\prod_a X_a^{p_{ij}^a} \right) p_{ij}^a \quad (3)$$

Burada;

V_a = sayım yapılan a bağlantısı üzerinde gözlenen taşıt sayısı,

t_{ij}^o = i ve j bölgeleri arasında gerçekleştirilen yolculukların başlangıç için kabul edilen değeri,

τ = bir kalibrasyon sabiti,

X_a = tahmin edilecek parametrelerin vektörü,

p_{ij}^a = i ve j bölgeleri arasında gerçekleştirilen yolculukların sayım yapılan a bağlantısını kullanma ihtimalidir.

Daha sonra τ ve X_a parametreleri, yinelemeli bir süreçte bağlantı akımı kısıtlarını sağlamak suretiyle çözülebilir. τ Değeri için kullanıcı tarafından başka değerler tanımlanmadığı sürece, X_a parametreleri başlangıç olarak 1'e eşitlenerek bu değer Eşitlik 4'te verilen denklem yardımıyla belirlenebilir:

$$\tau = \frac{\sum V_a}{\sum_a \sum_{ij} p_{ij}^a} \quad (4)$$

Sonraki aşamalarda, τ değeri, tanımlanan veya yukarıdaki eşitlik yardımıyla belirlenen değerinde sabit tutulur. Diğer taraftan, X_a ’ların başlangıç için tahmin edilen değerlerinin çok sayıda iterasyon gerçekleştirilerek düzeltilmesi, çözüm prosedürünü oluşturur. Sayım yapılan bütün bağlantılar için her bir iterasyonda, bir h_a düzeltme faktörü hesaplanır. Daha sonra, bu düzeltme faktörü, aşağıda verilen formülde gösterildiği gibi, X_a değerini elde etmek için X_a teriminin başlangıçtaki tahmini değerine ilave edilir: (Eşitlik 5)

$$X'_a = X_a + h_a \quad (5)$$

h_a değerlerinin belirlenmesinde yararlanılan formül ise aşağıda verilmektedir: (Eşitlik 6)

$$h_a = \frac{V_a - \sum_{ij} t_{ij}^o \tau \left(\prod_a X_a^{p_{ij}^a} \right) p_{ij}^a}{\sum_{ij} t_{ij}^o p_{ij}^a \left(\prod_{b \neq a} X_b^{p_{ij}^b} \right) X_a^{(p_{ij}^a - 1)}} \quad (6)$$

Sayım yapılan bütün bağlantılar için h_a değerlerini yinelemeli olarak belirleme işlemi, bütün bağlantılar üzerinde gözlenen ve tahmin edilen taşıt sayımları arasındaki fark kullanıcı tarafından belirtilen sınırlar içinde kalıncaya kadar sürer. X_a Terimlerinin sonuncu değerleri tüm bağlantılar için belirlendikten sonra, yolculuk matrisinin öğeleri aşağıdaki eşitlikten bulunur: (Eşitlik 7)

$$T_{ij} = \pi_{ij}^o \prod_a (X_a)^{p_{ij}^a} \quad (7)$$

En sonunda, yolculuk matrisinin bütün T_{ij} öğeleri belirlenmiş ve O-D matrisi elde edilmiş olur [1,2].

3. TÜRKİYE’DE İLLER ARASI OTOMOBİL YOLCULUĞU MATRİSİNİN BELİRLENMESİ

Türkiye, Asya ile Avrupa arasında uzanan stratejik bir konuma sahip olup 783.356 km²’lik yüzey alanıyla oldukça büyük bir ülkedir. 2015 Yılında gerçekleştirilen nüfus sayımına göre Türkiye’nin nüfusu 78.741.053’tür ve bu nüfusun %73,4’ü kentsel alanlarda yaşamaktadır [17].

Türkiye, idari amaçlar için 81 ile bölünmüştür. Her il ilçelere bölünmüş olup, ilçelerin sayısı 923’tür. Bu ilçeler, 66.774 km uzunluğunda bir karayolu ağıyla birbirine bağlıdır. Bu karayolu ağı, otoyollar, devlet yolları ve il yollarından oluşmaktadır. Devlet yollarının, il yollarının ve otoyolların uzunlukları, sırasıyla 31.106 km, 33.513 km ve 2.155 km’dir. Buna ilave olarak, Türkiye’de karayolu yolcu taşımacılığının payı, yaklaşık %92’dir [18].

Çalışmanın gerçekleştirilmesi için illere dayalı bölgeleme yapılmış ve 2015 yılı için iller arası otomobil yolculukları matrisinin belirlenmesinde 81 ilin tümü göz önüne alınmıştır. Bu amaçla teşkil olunan ve Transport Programındaki Bhnet Alt Programı kullanılarak kodlanan karayolu ağı epeyce ayrıntılı olup, 716 bağlantı, 269 düğüm noktası ve 81 bölgeden meydana gelmektedir [19]. Bu ağ, Şekil 1’de gösterilmektedir. Atama yöntemi olarak, hep-ya da-hiç algoritması kullanılmıştır. İl merkezleri olan şehirlerin arasındaki uzaklıklar, en kısa güzergâhları belirlemede maliyet parametreleri olarak alınmıştır. Böylece, hep-ya da-hiç ağaçları ve en kısa yollar bu maliyet parametreleri dikkate alınmak suretiyle Bhtree Alt Programı kullanılarak teşkil edilmiştir. Sonuç olarak, p_{ij}^a olasılıkları, bu hep-ya da-hiç ağaçlarından elde edilmiştir. Buna ek olarak, hızların tüm bağlantılar için aynı olduğu varsayılmış ve 90 km/s değeri kullanılmıştır.

İller arasında gerçekleştirilen otomobil yolculuklarının tahmin edilmesi için, eksenler bazında verilen otomobil ya da taşıt sayımlarından O-D matrisleri teşkil edebilen ve Transport Programında bulunan Vmat Altprogramından

faidalanılmıştır [19]. Bu altprogramın çalışma prensibi Bell tarafından geliştirilen modele dayanmaktadır.

Transport Programı, Fortran dilinde yazılmış olup Halcrow Fox Firması tarafından geliştirilmiştir. Bu program, kullanıcıların yüksek kapasiteli ve hızlı bilgisayarlara başvurma gereği duymaksızın etkili analitik yöntemleri uygulamalarına olanak tanımaktadır. Bu yöntemlerden bazıları şu şekilde özetlenebilir: yolculuk dağıtım modellerinin otomatik kalibrasyonu, logit model türel dağılım analizi, trafik sayımlarından yolculuk matrisi tahmini ve denge ataması. Program, ortak dosyalar aracılığıyla birbirine bağlanan birbirinden bağımsız modüller olarak tasarlanmıştır. Dolayısıyla program, kullanıcının uygulamasına uygun bir model oluşturmasını sağlamak için bir dizi bağımsız alt dosyalar oluşturmasına imkân verir. Programın dosya biçimi basit olduğundan, bu dosyalara diğer programlardan erişmek kolaydır. Ayrıca program, daha başka programların ilave edilmesine de imkân vermektedir.

Daha önce de bahsedildiği gibi, trafik sayımlarından matrislerin tahmin edilmesinde, Vmat Altprogramı kullanılır. Bu program, üç altprogramdan oluşur. Vmat1 Altprogramı, Vmat3 Altprogramına girdi olacak veri dosyalarını üretmek için kullanılan iki programdan birincisidir. Vmat1 Programının temel amacı, her bir başlangıç-son çifti arasındaki yolculukların her bir sayım noktasından geçme olasılığını tanımlamaktır. Vmat2 Altprogramı, Vmat3 Altprogramına girdi olacak veri dosyalarını üretmek için kullanılan iki programdan ikincisidir. Bu ikinci programın amacı, trafik sayımları için bir veri dosyası oluşturmaktır. Vmat3 Altprogramı, girilen trafik sayımları ve güzergâh olasılıklarının yanında, eğer gerekli ise girilen yolculuk uzunluğu dağılımı ile uyumlu yolculuk matrisini meydana getirir. Bu programın temel amacı, Newton-Raphson tekniğini kullanarak ayrı ya da grup sayım yerlerindeki trafik sayımlarının girdi dosyalarından ve güzergâh olasılıklarından en muhtemel yolculuk matrisini oluşturmaktır [19].

Bilindiği gibi, Vmat Altprogramı, başlangıç matrisinin iyi tanımlanmış olması durumunda daha iyi sonuçlar verir. Başlangıç matrisi, genel olarak daha önceki çalışmalardan elde edilen matrisler kullanılarak oluşturulabilir. Öte yandan, Türkiye’de önceki yıllarda 81 il için ev anketlerini veya yol kenarı görüşmelerini esas alan böyle bir çalışma gerçekleştirilmediğinden iller arası otomobil yolculuklarına dair başlangıç matrisinin teşkil edilmesi için Çekim Modelinin prensiplerinden istifade edilmiştir. Bunun için, bir i ilinden bir j iline gerçekleştirilen otomobil yolculuklarının, i ile j illerinin nüfuslarının üstel fonksiyonlarının çarpımları ile doğru orantılı ve bu iki ilin arasındaki mesafenin üstel bir fonksiyonu ile ters orantılı olduğu kabul edilmiştir. Bu ifade, Eşitlik 8’de daha açık bir şekilde özetlenebilir:

$$t_{ij}^o = k \frac{P_i^\alpha P_j^\beta}{d_{ij}^\gamma} \quad (8)$$

Burada;

t_{ij}^o : i ilinden j iline gerçekleştirilen günlük otomobil yolculuklarının başlangıç için kabul edilen değeri (otomobil/gün),

P_i : i ilinin nüfusu (kişi),

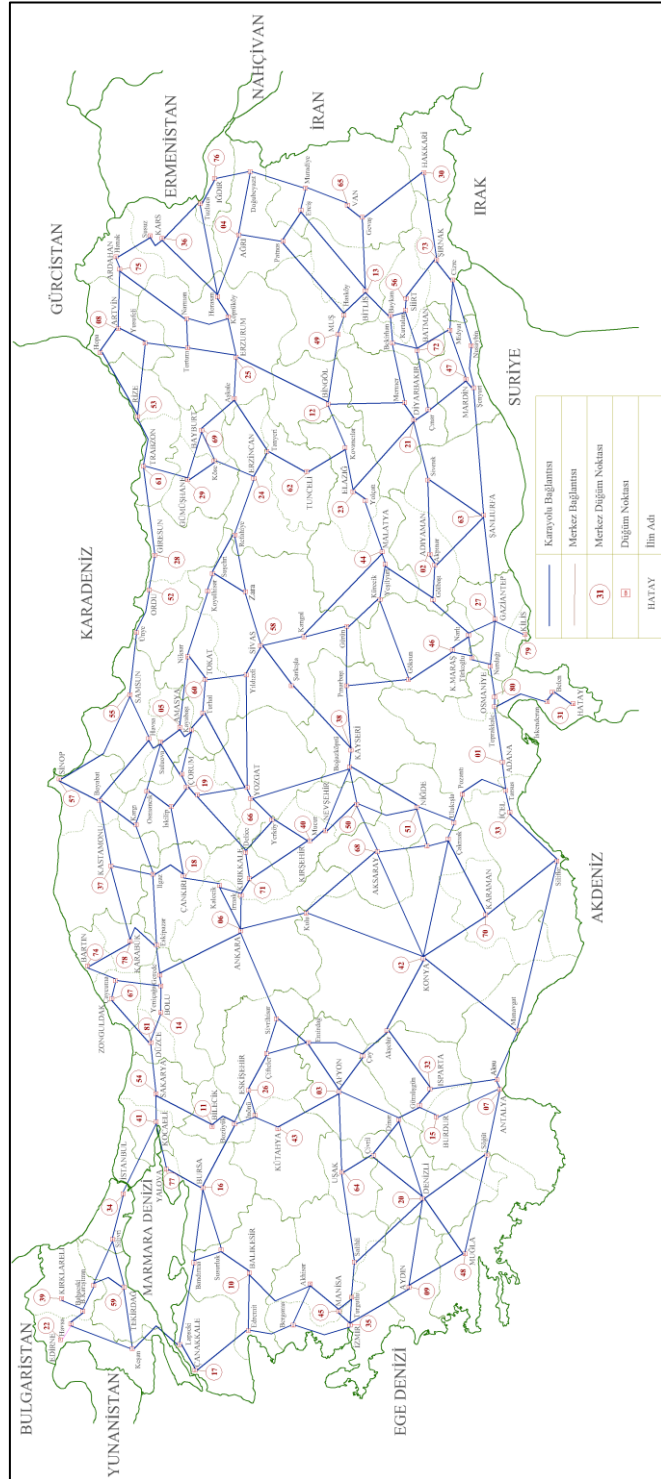
P_j : j ilinin nüfusu (kişi),

k : bir katsayı,

d_{ij} : i ve j illeri arasındaki mesafe (km),

α , β ve γ : kalibrasyon sabitleridir.

Çalışmada Çekim Modelinin en eski ve sade biçimi temel alınarak α , β ve γ kalibrasyon sabitlerinin sırasıyla 1, 1 ve 2 değerlerini aldığı varsayılmıştır. Çalışmaya konu olan 81 ilin 2015 yılı nüfusları, Türkiye İstatistik Kurumu tarafından 2015 yılında gerçekleştirilen sayımların sonuçlarından elde edilmiş olup trafik kodlarıyla beraber Çizelge 1’de verilmektedir. İller arasındaki uzaklıklar, karayolu uzaklık matrisinden elde edilmiştir.



Şekil 1. 716 Bağlantı, 269 düğüm noktası ve 81 bölgeden oluşan karayolu ağı

Bu matris, Transport Programı kullanılarak teşkil edilen karayolu ağı esas alınarak suretiyle belirlenmiştir. Böylece, yukarıda değinilen çekim modeliyle teşkil edilen başlangıç matrisi ile karayolu bağlantıları üzerindeki Yıllık Ortalama

Günlük Trafik (YOGT) cinsinden verilen 2015 yılına ait otomobil sayıları Vmat Altprogramına girilerek 2015 yılı için iller arası günlük otomobil yolculuğu O-D matrisi bulunmuştur.

Çizelge 1. İllerin 2015 yılına göre nüfusları

İlin Trafik Kodu	İlin İsmi	İlin Nüfusu	İlin Trafik Kodu	İlin İsmi	İlin Nüfusu	İlin Trafik Kodu	İlin İsmi	İlin Nüfusu
1	Adana	2.183.167	28	Giresun	426.686	55	Samsun	1.279.884
2	Adıyaman	602.774	29	Gümüşhane	151.449	56	Siirt	320.351
3	Afyonkarahisar	709.015	30	Hakkari	278.775	57	Sinop	204.133
4	Ağrı	547.210	31	Hatay	1.533.507	58	Sivas	618.617
5	Amasya	322.167	32	Isparta	421.766	59	Tekirdağ	937.910
6	Ankara	5.270.575	33	Mersin	1.745.221	60	Tokat	593.990
7	Antalya	2.288.456	34	İstanbul	14.657.434	61	Trabzon	768.417
8	Artvin	168.370	35	İzmir	4.168.415	62	Tunceli	86.076
9	Aydın	1.053.506	36	Kars	292.660	63	Şanlıurfa	1.892.320
10	Balıkesir	1.186.688	37	Kastamonu	372.633	64	Uşak	353.048
11	Bilecik	212.361	38	Kayseri	1.341.056	65	Van	1.096.397
12	Bingöl	267.184	39	Kırklareli	346.973	66	Yozgat	419.440
13	Bitlis	340.449	40	Kırşehir	225.562	67	Zonguldak	595.907
14	Bolu	291.095	41	Kocaeli	1.780.055	68	Aksaray	386.514
15	Burdur	258.339	42	Konya	2.130.544	69	Bayburt	78.550
16	Bursa	2.842.547	43	Kütahya	571.463	70	Karaman	242.196
17	Çanakkale	513.341	44	Malatya	772.904	71	Kırıkkale	270.271
18	Çankırı	180.945	45	Manisa	1.380.366	72	Batman	566.633
19	Çorum	525.180	46	Kahramanmaraş	1.096.610	73	Şırnak	490.184
20	Denizli	993.442	47	Mardin	796.591	74	Bartın	190.708
21	Diyarbakır	1.654.196	48	Muğla	908.877	75	Ardahan	99.265
22	Edirne	402.537	49	Muş	408.728	76	Iğdır	192.435
23	Elazığ	574.304	50	Nevşehir	286.767	77	Yalova	233.009
24	Erzincan	222.918	51	Niğde	346.114	78	Karabük	236.978
25	Erzurum	762.321	52	Ordu	728.949	79	Kilis	130.655
26	Eskişehir	826.716	53	Rize	328.979	80	Osmaniye	512.873
27	Gaziantep	1.931.836	54	Sakarya	953.181	81	Düzce	360.388

2015 Yılı Trafik ve Ulaşım Bilgileri İstatistiklerinde otomobil için YOGT değerleri, iki yönün toplamı olarak verildiğinden ve iller arası günlük otomobil yolculuğu matrisinin simetrik olması gerektiği varsayıldığından, bu değerlerin yarısı Vmat Alt Programında kullanılmıştır [20]. İllerin birbirlerine hem karayolu hem de otoyolu ile bağlanması durumunda, iller arasındaki yol kesimlerinin otomobil YOGT değeri olarak, karayolu ve otoyolu kesimlerindeki otomobil YOGT değerlerinin toplamı alınmıştır. Otoyol kesimlerinde taşıtlar ağır ve hafif araçlar olarak iki sınıfa bölüdüğünden, otoyollar üzerindeki otomobil YOGT değerlerinin belirlenmesinde, hafif araçların tamamının otomobil olduğu kabul edilmiştir. O-D matrisini elde etmek için kullanılmış olan karayolu bağlantıları üzerindeki

2015 yılına ait otomobil sayıları Çizelge 2'de gösterilmektedir [20]. Elde edilen 2015 yılına ait 81x81 boyutundaki iller arası otomobil yolculukları matrisinin trafik plakası numarasına göre sıralanmış ilk 12 il arasında gerçekleştirilen otomobil yolculuklarını gösteren 12x12 boyutundaki ilk kısmı, Çizelge 3'te verilmektedir. Çizelgede birinci satırdaki numaralar ile birinci sütunda parantez içinde verilen numaralar illerin trafik plakası numarasını belirtmektedir. Yine elde edilen iller arası otomobil yolculukları matrisinin bir kısmı da, bazı il çiftleri için Çizelge 4'te gösterilmektedir. Bu çizelgede de birinci satırdaki numaralar ile birinci sütunda parantez içinde verilen numaralar illerin trafik kodunu belirtmektedir.

Çizelge 2. Karayolu bağlantıları üzerindeki yıllık ortalama günlük trafik cinsinden otomobil sayıları

Kesim No.	Karayolu Kesimi	Otomobil Sayısı	Kesim No.	Karayolu Kesimi	Otomobil Sayısı	Kesim No.	Karayolu Kesimi	Otomobil Sayısı
1	Burdur-İsparta Ayrımı	8.762	43	Erzurum-Tortum	2.033	85	Antalya-Burdur	8.043
2	İstanbul-Silivri	45.483	44	Ordu-Samsun	13.551	86	Antalya-İsparta	4.167
3	Babaeski-Lüleburgaz	21.113	45	Ağrı-Patnos	1.601	87	Konya-Manavgat	3.518
4	Gelibolu-Keşan	5.995	46	İğdir-D.Beyazıt	1.500	88	Havsa-Babaeski	10.595
5	Lapseki-Bandırma	3.537	47	Kovancılar-Bingöl	2.369	89	Tarsus-Adana	34.889
6	İzmit-İstanbul	134.833	48	Akşehir-İsparta	2.499	90	Adana-Toprakkale	21.999
7	İzmir-Manisa	35.692	49	Bayburt-Gümüşhane	1.773	91	T.Kale-İskenderun	18.229
8	İzmit-Adapazarı	55.704	50	Gümüşhane-Trabzon	4.930	92	Osmaniye-Nurdağı	18.515
9	Düzce-Bolu	27.819	51	Uşak-Salihli	6.371	93	Bingöl-Mermer	1.176
10	Düzce-Zonguldak	6.382	52	Afyon-Uşak	9.352	94	Narlı-K.Maraş	8.814
11	Düzce-Adapazarı	32.422	53	Afyon-Kütahya	11.356	95	Horasan-Ağrı	1.683
12	Narlı-Gölbashi	6.394	54	Kütahya-Eskişehir Ayrımı	12.541	96	Mardin-Midyat	2.824
13	Karabük-Bartın	3.934	55	İnegöl-Bozüyük	11.995	97	Tanyeri-Tunceli	1.007
14	Çaycuma-Bartın	4.814	56	Çay-Akşehir	4.972	98	Ardahan-Kars	1.274
15	İlgaz-Kastamonu	2.147	57	Konya-Aksaray	3.470	99	Kalecik-Çankırı	4.013
16	Bayburt-Aşkale	1.125	58	Çakmak-Ulukışla	9.462	100	Çankırı-İskilip	2.102
17	Gerede-Eskipazar	9.073	59	Kovancılar-Tunceli	1.318	101	Merzifon-Çorum	7.555
18	Karabük-Kastamonu	3.169	60	Konya-Karaman	4.074	102	Tokat-Turhal	6.605
19	Kastamonu-Boyabat	3.289	61	Ulukışla-Pozantı	10.620	103	Kırıkkale-Kırşehir	7.595
20	Sinop-Samsun	2.425	62	Niğde-Kayseri	4.309	104	Aksaray-Çakmak	4.665
21	Havsa-Samsun	14.650	63	Aksaray-Nevşehir	4.807	105	Kayseri-Pınarbaşı	4.493
22	Ordu-Giresun	13.615	64	Niğde-Nevşehir	2.117	106	Muş-Hasköy	2.044
23	Giresun-Trabzon	10.063	65	Kayseri-Yozgat	2.728	107	Refahiye-Erzincan	1.836
24	Trabzon-Rize	10.264	66	Malatya-Doğuşehir	2.909	108	Uşak-Çivril	2.532
25	Rize-Hopa	3.913	67	Gaziantep-Şanlıurfa	13.401	109	Erzincan-Köse	1.177
26	Artvin-Ardahan	964	68	Adıyaman-Şanlıurfa	3.036	110	Tercan-Aşkale	1.839
27	İğdir-Tuzluca	932	69	Şanlıurfa-Şenyurt	2.714	111	Ankara-Kulu	11.975
28	Köprüköy-Horasan	2.885	70	Siverek-Diyarbakır	4.229	112	Denizli-Dinar	7.041
29	Çanakkale-Edremit	5.065	71	Mersin-Erdemli	5.094	113	Sivrihisar-Ankara	12.572
30	Akhisar-Balıkesir	9.196	72	Diyarbakır-Çınar	8.117	114	Dinar-Afyon	8.493
31	Balıkesir-Susurluk	10.440	73	Şırnak-Siirt	416	115	Gaziantep-Kilis	3.085
32	Bursa-Yalova	34.280	74	Batman-Kurtalan	2.726	116	Sivas-Yıldızeli	5.414
33	Bilecik-Adapazarı	9.424	75	Bitlis-Baykan	1.938	117	Delice-Ankara	25.485
34	Ankara-Gerede	17.101	76	Bitlis-Gevaş	1.519	118	Kırşehir-Mucur	7.793
35	Delice-Çorum	8.267	77	Gevaş-Hakkari	735	119	Bozüyük-Eskişehir	12.800
36	Kayseri-Şarkışla	3.972	78	İzmir-Aydın	32.223	120	Yerköy-Yozgat	4.733
37	Sivas-Kangal	1.249	79	Aydın-Denizli	9.699	121	Yalova-İzmit	32.254
38	Malatya-Elazığ	4.842	80	Denizli-Salihli	5.000	122	Hakkari-Şırnak	493
39	Elazığ-Diyarbakır	2.886	81	Boyabat-Havsa	2.599	123	Denizli-Muğla	2.773
40	Silvan-Mermer	2.329	82	Aydın-Muğla	11.843	124	Karabük-Eskipazar	3.776
41	Bingöl-Muş	2.162	83	Altınayla-Muğla	5.162	125	Nevşehir-Kayseri	4.974
42	Bingöl-Erzurum	2.348	84	Altınayla-Denizli	3.315			

Çizelge 3. 2015 Yılına ait 81x81 boyutundaki iller arası otomobil yolculukları matrisinin trafik plakası numarasına göre sıralanmış ilk 12 il arasında gerçekleştirilen otomobil yolculuklarını gösteren 12x12 boyutundaki ilk kısmı

İller	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Adana (1)	0	111	14	8	7	265	245	11	56	8	4	6
Adıyaman (2)	111	0	2	5	1	47	27	1	8	2	2	1
Afyonkarahisar (3)	14	2	0	1	3	344	281	13	118	55	47	1
Ağrı (4)	8	5	1	0	1	16	9	64	2	0	0	19
Amasya (5)	8	1	3	1	0	105	7	27	4	1	1	0
Ankara (6)	265	47	345	16	105	0	353	82	185	112	107	11
Antalya (7)	246	27	281	9	7	353	0	12	496	97	39	3
Artvin (8)	11	1	14	63	28	83	12	0	26	5	13	26
Aydın (9)	55	8	118	2	4	185	496	26	0	130	19	3
Balıkesir (10)	8	2	56	0	1	112	97	5	131	0	16	1
Bilecik (11)	4	2	47	0	1	107	39	13	19	16	0	1
Bingöl (12)	6	1	1	19	0	11	3	25	3	1	1	0

Çizelge 4. Bazı il çiftleri için regresyon analizine dayalı çekim esaslı yolculuk dağıtım modelinden elde edilen otomobil yolculukları ve gözlenmiş otomobil yolculukları

İller		1	6	16	21	34	35	38	42	44	55
Adana (1)	Gözlenmiş	0	265	38	50	159	43	174	223	48	28
	Regresyon Modeli	0	246	69	106	166	81	184	237	108	50
Ankara (6)	Gözlenmiş	265	0	871	52	2.785	495	765	2.128	65	329
	Regresyon Modeli	246	0	441	77	931	293	378	720	82	224
Bursa (16)	Gözlenmiş	38	868	0	12	8.313	179	72	179	12	22
	Regresyon Modeli	69	441	0	29	1.677	500	69	163	26	58
Diyarbakır (21)	Gözlenmiş	50	52	12	0	51	5	29	11	137	20
	Regresyon Modeli	106	77	29	0	76	32	63	45	167	34
İstanbul (34)	Gözlenmiş	157	2.757	8.373	50	0	393	278	266	48	265
	Regresyon Modeli	166	930	1.677	76	0	582	171	282	66	177
İzmir (35)	Gözlenmiş	43	496	179	5	391	0	42	189	8	35
	Regresyon Modeli	81	293	500	32	582	0	65	178	27	48
Kayseri (38)	Gözlenmiş	174	766	73	29	281	42	0	259	57	66
	Regresyon Modeli	184	378	70	63	171	65	0	222	99	83
Konya (42)	Gözlenmiş	223	2.130	180	11	266	189	259	0	21	64
	Regresyon Modeli	237	721	163	45	283	178	222	0	47	59
Malatya (44)	Gözlenmiş	48	65	12	137	48	8	57	21	0	25
	Regresyon Modeli	108	82	26	167	66	27	99	47	0	38
Samsun (55)	Gözlenmiş	28	325	22	20	261	35	65	63	25	0
	Regresyon Modeli	50	224	58	34	177	48	83	59	38	0

4. OTOMOBİL YOLCULUKLARININ ÇOKLU REGRESYON ANALİZİYLE MODELLENMESİ

İller arası otomobil yolculukları matrisinin bulunmasından sonra, bu matristen elde edilen O-D bilgileri için çoklu regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizin gerçekleştirilmesi için Excel programı kullanılmıştır. Pearson yöntemi, analizde değişkenler arasındaki korelasyon katsayısının belirlenmesinde kullanılmıştır. Parametrelerin anlamlılık düzeyleri için $p < 0,05$ olması gerektiği kabul edilmiştir. Burada iller arasında gerçekleştirilen otomobil yolculukları bağımlı değişken olarak alınırken, illerin nüfusları ve aralarındaki uzaklıklar ise bağımsız değişkenler olarak alınmıştır. Analizde, parametreler arasındaki ilişkinin, başlangıç matrisindeki gibi olduğu varsayılmıştır. Bu ilişki ise, aşağıda verilmektedir: (Eşitlik 9)

$$\overline{T}_{ij} = k \frac{P_i^\alpha P_j^\beta}{d_{ij}^\gamma} \quad (9)$$

Burada;

\overline{T}_{ij} : i ilinden j iline gerçekleştirilen günlük otomobil yolculukları (otomobil/gün),

P_i : i ilinin nüfusu (kişi),

P_j : j ilinin nüfusu (kişi),

k : bir katsayı,

d_{ij} : i ve j illeri arasındaki mesafe (km),

α , β ve γ : kalibrasyon sabitleridir.

Yukarıda verilen eşitlik, çoklu doğrusal regresyon analizini gerçekleştirmek için, eşitliğin her iki tarafının logaritması alınarak doğrusal hale getirilmiştir. Analizde kullanılan tüm parametreler sayısal olup, bağımlı değişken olarak iller arasında gerçekleştirilen otomobil yolculukları (otomobil/gün), bağımsız değişkenler olarak ise illerin nüfusları (kişi) ile aralarındaki mesafeler (km) alınmıştır. Bu işlem, Eşitlik 10, 11 ve 12'de gösterilmiştir:

$$\log(\overline{T}_{ij}) = \log \left(k \frac{P_i^\alpha P_j^\beta}{d_{ij}^\gamma} \right) \quad (10)$$

$$\log(\overline{T}_{ij}) = \log(k) + \alpha \cdot \log(P_i) + \beta \cdot \log(P_j) - \gamma \cdot \log(d_{ij}) \quad (11)$$

$$Y = A + \alpha.X_1 + \beta.X_2 - \gamma.X_3 \quad (12)$$

İller arasında gerçekleştirilen otomobil yolculuklarını belirlemek için yapılan çoklu regresyon analizinde, bağımsız değişkenlerin katsayıları belirlenmiştir. İlk olarak, varyans analizinin gerçekleştirilmesiyle, bağımlı değişkenin bağımsız değişkenler tarafından açıklanıp açıklanmadığı, başka bir deyişle, bağımlı değişkenle bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişkinin olup olmadığı test edilmiştir [21]. Bu analiz için F testi gerçekleştirilmiş ve sonucun anlamlı olduğu anlaşılmıştır. Parametrelerin anlamlılıkları ise, Student testi ile araştırılmış ve anlamlılık 0,05’den küçük bulunmuştur.

Gerçekleştirilen çoklu regresyon analizi, uygunluk değerini (r kare değeri) 0,667434 olarak vermiştir. Buna ek olarak, α , β ve γ kalibrasyon sabitleri sırasıyla 0,64409, 0,644288 ve 1,84626 olarak bulunmuştur. Bu analizden, k sabiti ise 0,021426932 olarak elde edilmiştir.

Daha sonra, bu regresyon analizinden elde edilen bağımsız değişkenlerin katsayıları, yolculuk dağıtım modelinin kalibrasyon sabitleri olarak kullanılmıştır. Bu sabitler, iller arasında gerçekleştirilen otomobil yolculuklarını illerin nüfuslarına ve aralarındaki uzaklığa bağlı olarak belirleyen yukarıdaki denklemde yerleştirilerek, çekim esaslı yolculuk dağıtım modeli geliştirilmiştir. Böylece, otomobil yolculukları için ikinci bir matris belirlenmiştir. Bu matrisin elemanları, çekim esaslı yolculuk dağıtım modelinin tahmin ettiği iller arası otomobil yolculuklarının sayısını göstermektedir. Bazı il çiftleri için, iller arasında gerçekleştirilen otomobil yolculuklarını tahmin etmek üzere çoklu regresyon yöntemi kullanılarak geliştirilen modelden elde edilen sonuçlar, Vmat Alt Programı tarafından bulunan günlük gözlenmiş otomobil yolculukları ile birlikte karşılaştırma yapmak amacıyla Çizelge 4’te verilmektedir. Çizelge 4’teki çoğu il çifti için, çoklu regresyon yöntemiyle geliştirilen modelin, iller arasında yapılan otomobil yolculuklarını gözlenmiş otomobil yolculuklarına oldukça yakın bir şekilde tahmin ettiği görülmektedir. Ancak, çekim esaslı bu model,

özellikle Türkiye’nin batısındaki büyük nüfuslu iller arasında gerçekleştirilen çok sayıda otomobil yolculuklarını iyi tahmin edememektedir.

4. İLLER ARASI OTOMOBİL YOLCULUKLARI MATRİSİNİN CBS ORTAMINA AKTARILMASI

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), konuma dayalı gözlemlerden elde edilen grafiksel ve grafiksel olmayan bilgilerin toplanması, depolanması, işlenmesi, gösterilmesi ve analizi için kullanılan bilgisayar tabanlı sistemlerdir. CBS tarafından sağlanan çok yönlü fonksiyonellik, bu teknolojiyi eski teknolojilerden ayırmaktadır. Çok yönlü fonksiyonelliğin bir ortamda sağlanması, kullanıcıların birbirinden tamamen farklı ve özelleşmiş teknolojilerin hepsine birden hâkim olmaları ihtiyacını ortadan kaldırır. Sahip olduğu bu özellikler sayesinde de, pek çok disiplinler arası araştırma ve uygulama çalışmalarında uygun bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Günümüzde bu yöntem, sağlık, jeoloji, çevre, ziraat, sosyoloji ve ulaşım gibi pek çok bilim dalında kendine uygulama alanı bulmuştur. Sonuç olarak, birçok organizasyon, benzersiz özelliklerinden dolayı CBS teknolojisini benimsemiştir [22].

Son yıllarda CBS teknolojisinin ulaşım alanında kullanımıyla ilgili olmak üzere, ülkelerin ulaşım politikalarını iyileştirmek ve geliştirmek amacıyla karar destek aracı olarak kullanımına yönelik örneklere rastlanmaktadır. Ulaşım ağlarındaki kapasite miktarlarının ve ağların günlük kullanımlarının tespit edilip kapasite kullanım oranlarının çıkarılması, CBS teknolojisi ile karar vericilere hızlı ve doğru kararlar aldırılmaktadır.

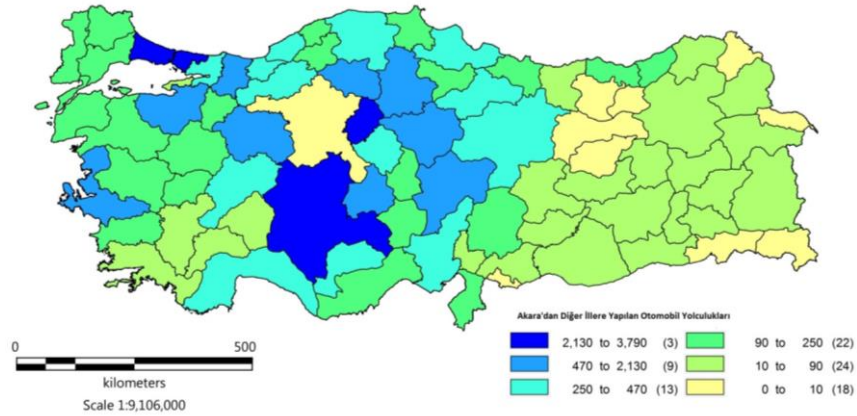
Başka bir deyişle, mekânsal sorgulamalar sonucu oluşturulan tematik haritalarla yol ağlarının kapasite kullanım oranları tespit edilebilmektedir. Ayrıca, mekânsal veriyle oluşturulan haritalar, şehir veya devlet yolları üzerinde oluşabilecek yıpranmalarla ilgili olarak, karar vericilere önemli bilgiler verebilmektedir. 2005 Yılında Ulaştırma Bakanlığı’nın isteğiyle İstanbul Teknik Üniversitesi tarafından hazırlanan “Ulaştırma Ana Planı Stratejisi” Sonuç Raporu’nda, CBS

teknolojisi, veri tabanları ve proje bazlı çözümler gibi diğer teknolojiler ile karşılaştırıldığında, ulaştırma alanında faaliyet gösteren kurumlar tarafından geri dönüşüm potansiyeli en yüksek olan bilgi teknolojisi olarak tanımlanmıştır [23].

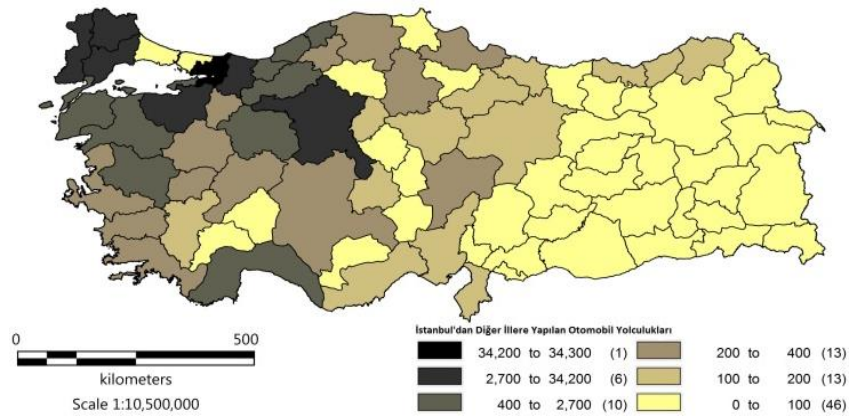
Elde edilen verilerin daha sağlıklı ve uygun bir şekilde analiz edilmesi için, iller arası otomobil yolculukları matrisi, CBS ortamına aktarılmıştır. Bunun için, ileri düzeydeki programlama dilleri kullanılarak yazılmış bir program olan MapInfo yazılımından yararlanılmıştır. Bu amaçla, öncelikle dijitalleştirilmiş bir Türkiye haritası kullanılmıştır. Bu harita üzerinde Türkiye'deki 81 ilin tamamı oluşturulmuştur. Ayrıca, her ile aynı zamanda o ilin plaka numarası olan bir kod numarası verilmiştir. Daha sonra, 2015 yılına ait iller arası

otomobil yolculuğu matrisi, CBS analizlerini gerçekleştirmek için MapInfo yazılımına uygun bir formata dönüştürülmüştür. Böylece, O-D matrisini görsel bir ortamda görmek ve bu iller arasında karşılaştırma ve sorgulama analizlerini gerçekleştirmek mümkün olmuştur.

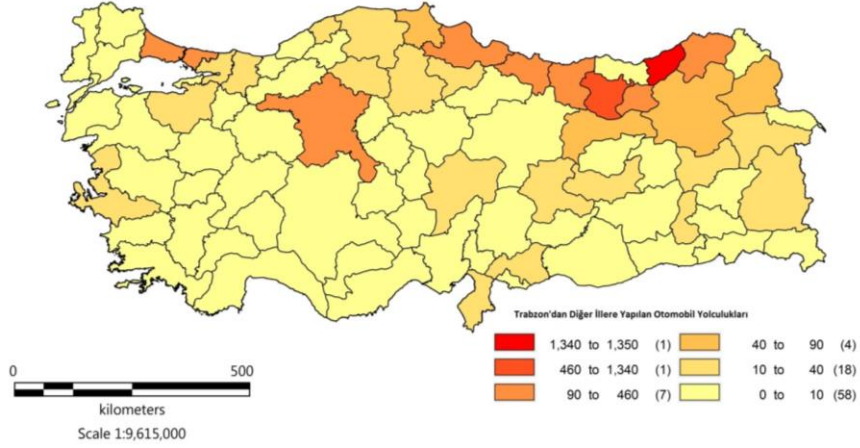
Hazırlanan tematik haritalardan biri, Şekil 2'de verilmektedir. Bu şekil, Ankara'dan diğer illere yapılan günlük otomobil yolculuklarının sayısını tematik olarak göstermektedir. Benzer şekilde, Şekil 3 ve Şekil 4'te İstanbul ve Trabzon'dan diğer illere gerçekleştirilen günlük otomobil yolculuklarını gösteren haritalar verilmektedir. Şekillerden de görülebileceği gibi, renkler koyudan açığa doğru gittikçe, diğer illere yapılan günlük otomobil yolculuklarının sayısı azalmaktadır.



Şekil 2. Ankara'dan diğer illere yapılan otomobil yolculukları



Şekil 3. İstanbul'dan diğer illere yapılan günlük otomobil yolculukları



Şekil 4. Trabzon'dan diğer illere yapılan otomobil yolculukları

5. SONUÇLAR

O-D matrislerini tahmin etmek için birçok yöntem kullanılmasına rağmen, trafik bilgilerini, nüfusları ve mesafeleri kullanmakta olan önerilen yöntem, pahalı ve zaman alıcı değildir. Buna ek olarak, elde edilen O-D matrisleri, ilgili trafik bilgilerini, nüfusları ve mesafeleri kullanmak suretiyle, herhangi bir planlama aşaması için, bu yöntemle kolaylıkla güncellenebilir. Önerilen yöntem, iller arası otomobil yolculuklarını tahmin etme hususunda oldukça iyi bir performansa sahip olduğunu kanıtlamıştır. Bu çalışmada, iller arası otomobil yolculukları için uygunluk değeri (r kare değeri) 0,667434 olarak bulunmuş olup, oldukça kabul edilebilir bir düzeydedir. Bu çalışmanın bir diğer önemli katkısı, uygulamada çalışan mühendislerin O-D matrislerinin elde ediliş şeklini anlamalarına yardımcı olmasıdır. Bu çalışma, aynı zamanda onlara, daha iyi planlar yapmaları için kullanabilecekleri yararlı verileri vermektedir. Bundan başka, geliştirilen yöntem, iller arası otomobil taşımasıyla ilgili uzun vadeli politikaları belirlemek için kullanılabilir. Karar vericiler, planlama ve etkin politikaların oluşturulması aşamalarında, uygun bir bilgi sistemine ihtiyaç duyarlar. CBS, bu amaçla kullanılacak etkili bir araçtır. Verileri, tablolar şeklinde dikkate almak yerine, bilgisayar üzerinde coğrafi koordinatlarıyla göz önüne almak ve analiz etmek, kesinlikle daha faydalı ve etkilidir. Bu yüzden, iller arası otomobil yolculukları matrisi, analizleri daha etkin bir

şekilde gerçekleştirmek amacıyla CBS ortamına aktarılmıştır.

6. KAYNAKLAR

1. Bell, M.G.H., 1983. The Estimation of Origin-Destination Flows and their Confidence Intervals from Measurements of Link Volumes: a Computer Program, Traffic Engineering and Control 24, 202-205.
2. Bell, M.G.H., 1983. The Estimation of an Origin-Destination Matrix from Traffic Counts, Transportation Science 17, 198-217.
3. Ortuzar, J. de D., Willumsen, L.G., 2011. Modelling Transport (Third Edition), John Wiley and Sons Inc., New York, 607.
4. Robillard, P., 1975. Estimating the O-D Matrix from Observed Link Volumes, Transportation Research 9, 123-128.
5. Hogberg, P., 1976. Estimation of Parameters in Models for Traffic Prediction: a Non-linear Approach, Transportation Research 10, 263-265.
6. LeBlanc, L.J., 1982. Selection of a Trip Table Which Reproduces Observed Link Flows, Transportation Research (B) 16, 83-88.
7. Wilson, A.G., 1970. Interregional Commodity Flows: Entropy Maximizing Procedures, Geographical Analysis 2, 255-282.
8. Van Zuylen, H.J., Willumsen, L.G., 1980. The Most Likely Trip Matrix Estimated from

- Traffic Counts, Transportation Research (B) 14, 281-293.
9. McNeil, S., Hendrickson, C., 1985. A Note on Alternative Matrix Entry Estimation Techniques, Transportation Research (B) 19, 509-519.
 10. Cascetta, E., 1984. Estimation of Trip Matrices from Traffic Counts and Survey Data: A Generalized Least Squares Estimator, Transportation Research (B) 18, 289-299.
 11. Mahmassani, H.S., Sinha, K., 1981. A Bayesian Updating of Trip Generation Parameters, Journal of Transportation Engineering 107, 581-589.
 12. Yang, H., 1995. Heuristic Algorithms for the Bi-Level Origin-Destination Matrix Estimation Problem, Transportation Research (B) 29, 231-242.
 13. Ashok, K., Ben-Akiva, M.E., 2000. Alternative Approaches for Real-Time Estimation and Prediction of Time-Dependent Origin-Destination Flows, Transportation Science 34(1), 21-36.
 14. Zhou, X., Qin, X., Mahmassani, H.S., 2003. Dynamic Origin-Destination Demand Estimation Using Multi-Day Link Traffic Counts for Planning Applications, Transportation Research Record 1831, 30-38.
 15. Cheung, W.M., Wong, S.C., Tong, C. O., 2006. Estimation of a Time-Dependent Origin-Destination Matrix for Congested Highway Networks, Journal of Advanced Transportation 40, 95-117.
 16. Lu, Z., Rao, W., Wu, Y.J., Guo, L., Xia, J., 2015. A Kalman Filter Approach to Dynamic of Flow Estimation for Urban Road Networks Using Multi-Sensor Data, Journal of Advanced Transportation 49, 210-227.
 17. <http://www.tuik.gov.tr>
 18. <http://www.kgm.gov.tr>
 19. Transport User Guide, 1986. Micro Computer Transportation Planning Package, Halcrow Fox and Associates, London, England.
 20. 2015 Trafik ve Ulaşım Bilgileri, 2016. Ulaşım Etütleri Şubesi Müdürlüğü, Türkiye Cumhuriyeti Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), Ankara, Türkiye.
 21. Özdamar, K., 1999. Paket Programlarla İstatistiksel Veri Analizi (İkinci Baskı), Kaan Yayın Evi, Eskişehir, 423-446.
 22. Yomralıoğlu, T., 2000. Coğrafi Bilgi Sistemleri (İkinci Baskı), Secil Ofset, İstanbul, 45-58.
 23. Ulaştırma Ana Planı Stratejisi Sonuç Raporu, 2005. T.C. Ulaştırma Bakanlığı ve İstanbul Teknik Üniversitesi Ulaştırma ve Ulaşım Araçları Uyg-Ar Merkezi, Türkiye.

***Micromeria Fruticosa* L. Druce'un Süper Kritik Karbondioksit Kullanılarak Ekstraksiyonu ve Menton, İsomenton ve Pulegon Miktarı Üzerine Ekstraksiyon Koşullarının Optimizasyonu**

Murat TÜRK^{*1}

¹Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Meslek Yüksekokulu, Ceyhan, Adana

Geliş tarihi: 10.10.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Taşnanesi olarak da adlandırılan *Micromeria fruticosa* L. Druce, tıbbi özelliklere sahip bir Akdeniz bitkisidir. Bu çalışmada, *Micromeria fruticosa* L. Druce' un süper kritik CO₂ ekstraksiyonunda menton, isomenton ve pulegon derişimlerine etki eden parametre değerlerini optimize etmek için yanıt yüzey yöntemi (RSM) kullanılmıştır. Bu amaçla 3-faktör ve 3-düzey Box–Behnken dizaynı uygulanarak ve sıcaklık, basınç ve zaman parametreleri bağımsız değişkenler olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi Design-Expert yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yanıt ve bağımsız değişkenler arasındaki matematiksel ilişki quadratik denklem ile açıklanmıştır. Süper kritik CO₂ ekstraksiyonu için deneysel sonuçlar ile tahminlenen sonuçlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki elde edilmiştir. Maksimum menton, isomenton ve pulegon derişimlerine ulaşmak için optimum deney koşulları 47,16 °C, 216,99 atm ve 22,45 dk olarak bulunmuştur. *Micromeria fruticosa* L. Druce'un temel bileşenleri açısından, süper kritik CO₂ kullanılarak ekstraksiyon koşullarının optimizasyonu ile ilgili bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu çalışmanın ilk kez çalışılmış olması hem literatüre katkısı açısından hem de elde edilen sonuçların farmakoloji, gıda ve nutrosotik endüstrisine katkı sağlaması açısından önemli olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Süper kritik karbondioksit, *Micromeria fruticosa* L., Yanıt yüzey yöntemi

Extraction of *Micromeria Fruticosa* L. Druce by Using Super Critical Carbon Dioxide and Optimization of Extraction Conditions on Amount of Menthone, Isomenthone and Pulegone

Abstract

Micromeria fruticosa L. Druce, also called “taşnanesi”, is a Mediterranean plant with medicinal properties. In this study, response surface methodology (RSM) was used to optimize parameter values that have an effect on the concentration of menthone, isomenthone and pulegone in the supercritical CO₂ extraction of *Micromeria fruticosa* L. Druce. For this purpose, 3-factor and 3-level Box-Behnken design was applied and temperature, pressure and time were chosen as independent variables. The assessment of results obtained were carried out by using Design-Expert software. The mathematical relationship between the responses and independent parameters were explained by quadratic equation. For

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Murat TÜRK, murturk@cu.edu.tr

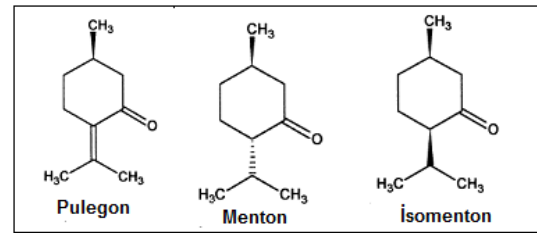
supercritical CO₂ extraction, the statistically significant relationship was obtained between the experimental results and predicted results. To reach the maximum concentration of menthone, isomenthone and pulegone, the optimum experimental conditions were found to be 47.16 °C, 216.99 atm ve 22.45 min. In terms of the major components of *Micromeria fruticosa* L. Druce, a study on the optimization of extraction conditions using supercritical CO₂ has not been found in the literature. The fact that this study has been studied for the first time is considered to be important both in terms of its contribution to the literature and in terms of contributing to the pharmacology, food and nutraceuticals industries.

Keywords: Supercritical carbon dioxide, *Micromeria fruticosa* L, Response surface methodology

1. GİRİŞ

Lamiaceae ailesine ait aromatik bitkiler, 220 cins ve 4000 tür tarafından temsil edilmektedir. Hoş kokulu ve tıbbi özelliklere sahip olduklarından her zaman büyük ilgi görmüşlerdir. Diğer birçok Lamiaceae türleri gibi *Micromeria* cinsinin üyeleri tipik Akdeniz bitkileridir. Bu cins Türkiye'de 12'si endemik olan 14 tür ve 22 taksonla temsil etmektedir. Taşnanesi olarak da adlandırılan, *Micromeria fruticosa*, Türkiye'nin güney ve doğu Anadolu bölgesinin kayalık bölgelerinde, 20-60 cm yüksekliğe kadar büyüyen ve ezildiğinde nane kokan, çok yıllık bir bitkidir. *Micromeria* türleri, genellikle bitki çayı olarak ve geleneksel tıpta nane yerine kullanılmıştır. *Micromeria* türlerinin kalp hastalıklarında, baş ağrısında, yaralarda ve deri enfeksiyonlarında kullanıldığı, ayrıca bu türlerin anti mikrobiyal, anti bakteriyel, anti fungal ve antioksidan gibi biyolojik aktivitelere sahip olduğu, yatıştırıcı, anestetik, antiseptik, düşük ilacı, antiromatik, CNS-Uyarıcı ve soğuk algınlığı tedavisinde kullanıldığı bildirilmiştir [1-8]. *Micromeria fruticosa* türlerinin kimyasal kompozisyonu birçok çalışmada kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. *Micromeria fruticosa*'ın ana bileşeni tüm çalışmalarda pulegon olarak belirlenmiştir. *Micromeria fruticosa* türlerinde menton, piperitenon, isomenton, mentol ve linalol gibi ikincil ana bileşenlerde gözlenmiştir. *Micromeria fruticosa* L.'un bu çalışmadaki temel bileşenlerinin yapıları Şekil 1'de gösterilmiştir. *Micromeria fruticosa* L. Druce'un temel bileşenlerinden Pulegon'un antifungal, antimikrobiyal ve antioksidan aktivite gösterdiği bildirilmiştir. Ayrıca menton ve pulegon'un

indirgenmesi ile ekonomik değeri çok yüksek olan mentol elde edilebilmektedir (dünya genelinde yılda 4500 ton üretimi). Bu bileşenleri elde etmek için kullanılan ekstraksiyon yöntemleri hidro destilasyon ve maserasyon yöntemidir [9-12].



Şekil 1. *Micromeria fruticosa* L. Druce'dan elde edilen temel bileşenlerinin yapıları

Dünyada, bitkisel tıbbi ilaçlara, doğal gıda takviyelerine gösterilen ilginin artmasıyla, tıbbi bitki ekstraktı üreticileri ve uçucu yağ üreticileri, belirli bir kalitede, tekrarlanabilir ekstraksiyon yöntemleri kullanmaya başlamışlardır. Bu amaçla kullanılan yaygın yöntemler; hidro destilasyon (su, buhar ve su-buhar destilasyonları), maserasyon (ıslatma), demleme, sızdırma, parçalama, Soxhlet ekstraksiyonu, organik çözücülerle ekstraksiyon, mikro dalga yardımıyla ekstraksiyon, süper kritik akışkan ekstraksiyonu, ultrasonik ekstraksiyon ve hidroflorokarbon çözücülerle ekstraksiyondur. Aromatik bitkiler için hidro destilasyon (su, buhar ve su-buhar destilasyonları), ve maserasyon (ıslatma) en yaygın uygulanan yöntemlerdir. Bu yöntemlerden, doğal bileşiklerden doğal biyoaktif moleküllerin ekstraksiyonu için süper kritik akışkan ekstraksiyonu, 20. yy'ın ikinci yarısında alternatif bir yöntem olmuştur. Bunun en önemli sebepleri ise, çalışma sıcaklığının ve ekstraksiyon sürelerinin düşük olması ve dolayısıyla ısı olarak bozulabilecek doğal

bileşenlerin zarar görmesinin engellenmiş olmasıdır. Özellikle 1980'lerden itibaren yapılan yoğun araştırmalar ile günümüzde süper kritik akışkanlarla ekstraksiyona ait tüm teknik ve ekonomik sorunlar yanıtlanmıştır [13]. Süper kritik akışkan, aynı zamanda "yoğun gaz" olarak da tanımlanabilir. Sıcaklığı kritik sıcaklığın üzerinde ve basıncı da kritik basıncın üzerinde olan akışkanlardır. Bir akışkanın süper kritik akışkan olarak adlandırılması için indirgenmiş sıcaklığın T_r 1,2-1,3 arasında olması ($T_r = T/T_c$) gerekir. İndirgenmiş basınç P_r ise kullanılan sistemin teknik olarak elverdiği ölçüde olması yeterlidir ($P_r = P/P_c$). Uygun koşullar sağlandığında herhangi bir sıvı süper kritik koşullarına ulaşabilir. Ancak sadece kritik sıcaklığı oda sıcaklığının çok üzerinde olmayan sıvılar, tıbbi aromatik bitkilerin ekstraksiyonunda alternatif bir çözücü olabilirler. Karbon dioksit, düşük kritik sıcaklığı ve basıncı nedeniyle en çok uygulanan çözücü olmuştur ($T_c = 31,06$ °C ve $P_c = 73,81$ bar). Süper kritik karbondioksit aynı zamanda toksik ve alev alıcı olmayışı, ucuz ve kolay temin edilebilir olması nedeniyle de alternatif bir çözücüdür. Ayrıca, süper kritik akışkanın yoğunluğu da önemli bir parametredir. Süper kritik akışkanların ekstraksiyon çözücüsü olabilmesi yoğunluğu ile doğrudan ilişkilidir. Chrastil, yoğunluk ve çözünürlük arasındaki ilişkiyi Eşitlik 1'de verildiği gibi ifade etmiştir [14].

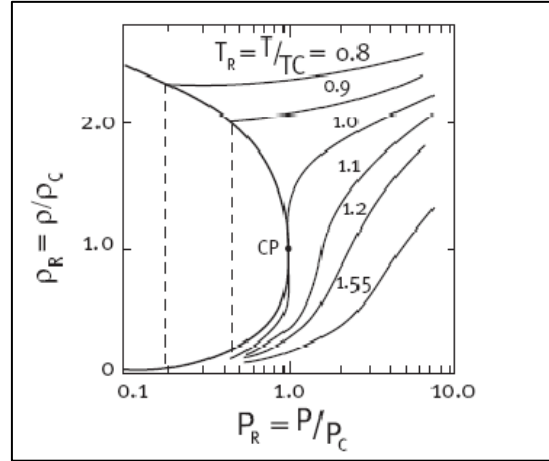
$$s = \rho^a \exp (b/T + c) \quad (1)$$

s çözünürlük; ρ çözücünün yoğunluğu; T mutlak çalışma sıcaklığı; a, b ve c düzeltme sabitleridir.

Bir akışkan kritik şartlara yaklaştıkça yoğunluğu bir sıvının yoğunluğuna yaklaşır. Şekil 2'de CO₂ için yoğunluk izotermi indirgenmiş basınca karşı grafiğe geçirilmiştir. Buradan T=35°C ve P=200 bar da $\rho=866$ kg/m³ olduğu görülebilir. Çözücü yoğunluğu başarılı bir süper kritik akışkan ekstraksiyonunda anahtar faktördür.

Süper kritik akışkanların ekstraksiyon çözücüsü olarak kullanımı, kendilerine özgü solvasyon özellikleri ve düşük viskoziteleri nedeniyle tercih edilmektedir. Yüksek difüzyon hızı, hızlı kütle transferi dolayısıyla hızlı ekstraksiyon sunar [15]. Süper kritik akışkan ekstraksiyonunun bitkisel

matris içinde uçucu yağlar üzerinde etkili olan, kütle transfer mekanizmaları çoğunlukla difüzyon işlemleriyle ilişkilidir [16].



Şekil 2. CO₂ için yoğunluk/basınç diyagramı

Günümüzde bitki ekstraksiyonlarında çalışılan koşulların matematiksel ve istatistiksel olarak optimizasyonu da incelenmektedir. Bu amaçla en sık kullanılan yöntem Yanıt Yüzey Yöntemidir (Response Surface Methodology, RSM). Yanıt yüzey yöntemi (RSM) sahip olduğu avantajlardan dolayı günümüzde uygulamalı bilim ve mühendislik dallarında kullanılan matematiksel ve istatistiksel bir yöntemdir [17]. Bu yöntem teknolojik proseslerin matematiksel modellemelerinde ve optimizasyonunda sıkça kullanılmaktadır. Box ve Wilson en az sayıda gözlem değeri ile yanıt yüzeyi üzerinde yanıt değişkeninin maksimum değerini aldığı noktaya erişilmesi amaçlanan deneme düzenlerini ortaya koymuşlardır. Bu yöntem birçok deney türü için ortaya çıkan problemleri eş zamanlı olarak çözmek ve cevapları da eş zamanlı olarak optimize etmekte faydalanılan kullanışlı ve etkili bir metottur [18]. Yanıt yüzey yöntemi model regresyon analizi yardımıyla oluşturulur. Bir faktörün temel etkisinin veya diğer faktörlerle etkileşiminin yanıt değişkeninin değerinde ne derece önemli etkiye sahip olduğuna regresyon katsayıları yardımıyla karar verilir. Yanıt yüzey yöntemi kullanılarak birden fazla değişkenin örneğin pH,

konsantrasyon, zaman, sıcaklık gibi yanıt üzerindeki etkileri araştırılıp optimum değerleri tespit edilebilir. Sonuçlar üç boyutlu grafik ve kontur haritası olarak verilebilir. Az sayıda deneysel kombinasyon kullanılarak test edilmeyen faktör değeri ve bunların kombinasyonları hakkında tahmin yapılabilir [19]. Yanıt yüzey oluşturmada amaç deneysel bir çalışmada sonuç üzerinde etkili olan çok sayıda parametreden oluşan bir tasarım düzleminde belirli özellikleri sağlayan bir bölgeyi ve bu bölgeye ait optimum noktayı tahmin etmektir. Elde edilen fonksiyon deneysel verileri temsil etmekle birlikte, model uyumunun fazla olması büyük önem taşımaktadır. Bu amaçlı çalışmalarda;

$$Y=f(X_1, X_2, \dots, X_n) + \varepsilon \quad (2)$$

Eşitlik 2 esas alınır. Burada Y bağımlı yanıt değişkeni, f bağımsız değişkenler olarak bilinen kantitatif değişkenler olan X_1, X_2, \dots, X_n 'in fonksiyonu ve ε ise tesadüfi hata terimidir.

Deneysel tasarım yani istatistiksel tasarım en az sayıda deneyle maksimum bilgiyi elde etmek için deneylerin nasıl planlanacağı ve yapılacağına metodudur. Tasarım uygulanmadan önce literatürler taranarak ve ön deneyler yapılarak yanıtı etkileyen bağımsız değişkenlerin minimum ve maksimum değerleri belirlenmelidir [20]. Deneysel tasarım seçimi yapılmadan önce ise aşağıdaki aşamalar tespit edilmelidir [21].

- Problemin durumu ve tanımlanması,
- Faktörler, seviye ve aralıklarının seçilmesi,
- Cevap değişkeninin seçilmesi,
- Deneysel tasarım matrisi oluşturulması,
- Deneylerin gerçekleştirilmesi,
- Verilerin istatistiksel analizinin yapılması,
- Sonuçların değerlendirilmesi

Deneysel tasarım birkaç faktörün eş zamanlı değiştirilebilmesi ve her bir faktörün bağımsızca değerlendirilmesini mümkün hale getirdiğinden geleneksel deney yöntemlerini göre daha az deney yapılarak daha kısa sürede daha doğru sonuç alınmasını sağlar [22].

Bu çalışmanın amacı, Kadirli-Osmaniye bölgesinden toplanan *Micromeria fruticosa L.* Druce yapraklarından süper kritik karbondioksit ekstraksiyonu ile maksimum düzeyde pulegon, menton ve isomenton elde etmek için ekstraksiyon verimine etki eden parametre değerlerinin optimizasyonunu RSM metodunu uygulayarak belirlemektir.

Literatürde, *Micromeria fruticosa L.* Druce ile ilgili böyle bir çalışmaya rastlanmamış olması, literatüre katkı sağlayacağı gibi aynı zamanda elde edilen bulguların gıda, farmakoloji ve gıda takviye sektörüne de faydalı olabileceği düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

2.1.1. Bitki Kaynağı

Micromeria fruticosa L. Druce 2011 yılı haziran ayında, Kadirli-Osmaniye bölgesinden toplanmıştır. Bitkinin tanımlanması, Ç.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü öğretim üyelerinden Prof. Dr. Necattin TÜRKMEN tarafından yapılmıştır.

Micromeria fruticosa L. Druce yaprakları, saf su ile yıkandıktan sonra oda koşullarında karanlıkta 2 hafta boyunca kurutulmuştur. Kurutulmuş örnekler, 5 mm'lik iç çapa sahip huni boynundan geçecek şekilde elle öğütülmüştür (Şekil 4'de kullanılan kolonun iç çapı 7 mm'dir). Kurutulmuş ve öğütülmüş bitki örnekleri, analizden önce plastik şişelerde buzdolabında 4 °C'de saklanmıştır.

2.1.2. Kimyasallar

Hekzan (Merck Analitik saflıkta), diklorometan (Merck Analitik saflıkta), CO_{2(s)} (Linde %99,999), p-menton (Sigma-Aldrich analitik standart %98,5), isomenton (Sigma-Aldrich analitik standart %90,0) ve pulegon (Sigma-Aldrich analitik standart %98,5).

2.2. Metot

2.2.1. Süper Kritik CO₂ Yöntemiyle Bitki Ekstraktlarının Hazırlanması

Ekstraksiyon işlemi Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Organik Kimya Araştırma Laboratuvarında oluşturulan sistemin kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 3).



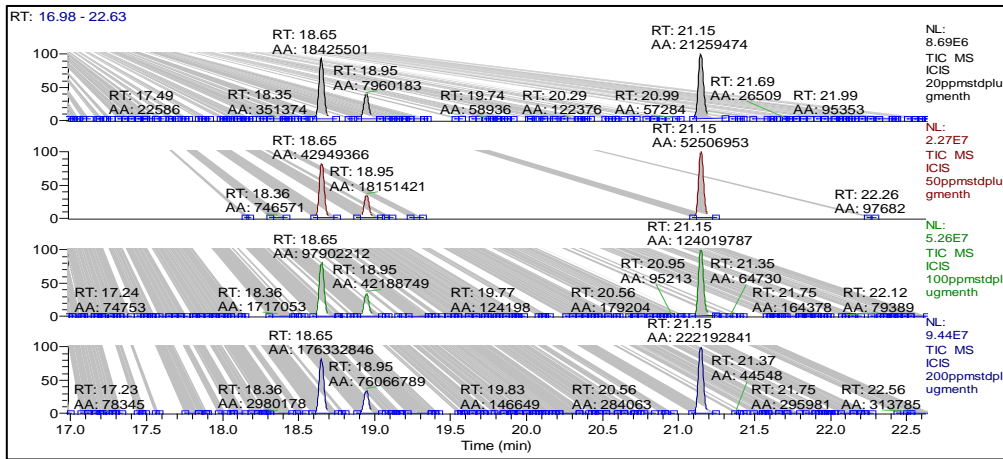
Şekil 3. Süper kritik akışkan ekstraksiyon sistemi
A: ISCO pompa; B: Fırın C: Ekstraksiyon hücresi

Çalışmada kullanılan parametreler ve aralıkları ön denemeler yapılarak belirlenmiştir. Ekstraksiyon hücresi 2,0 g örnekle doldurulduktan sonra istenilen ekstraksiyon sıcaklığında çalışmak için fırın içine yerleştirilmiştir. Bir ISCO pompası yardımıyla istenilen basınçta süper kritik CO₂ hücreye gönderilerek, Çizelge 2’de verilen deneysel

koşullarla 30 dk statik ve 20 dk dinamik ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Ekstrakte edilen bileşenleri toplamak için, yaklaşık 2 mL dk⁻¹ akış hızında bir restriktör (Suprex marka) kullanılmıştır.

2.2.2. Kromatografik Ayırma ve Tanımlama

Tüm deneylerden elde edilen ekstraktlar, 2 mL’lik vialle alınmış, 50 split oranı kullanılarak, 1 µL örnek analiz için kolona enjekte edilmiştir. Analizlerde helyum taşıyıcı gaz olarak kullanılmış ve akış hızı 1.0 mL dk⁻¹ olarak ayarlanmıştır. Kolon sıcaklığı, 50 °C’den 240 °C’ye dakikada 3 °C’lik artışlarla yükseltilmiştir. Enjeksiyon portunun sıcaklığı 250 °C olarak ayarlandı. GC-MS analizleri bir otosampler yardımıyla Thermo-Finnigan Trace marka kütle spektrometresinde elektron impakt (70 eV) ile yapılmıştır. Kromatografik ayırma TR-MS-5 (60 m x 0,25 mm x 0,25 µm, %5 fenil polisiloksan) kolonda gerçekleştirilmiştir. Her bir bileşen, kütle spektrumlarının Wiley07 ve NIST(2005) kütüphanesinden yararlanılarak karşılaştırma ile tanımlanmıştır. Menton, isomenton ve pulegonun kantitatif analizi iç standart yöntemiyle yapılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Menton, isomenton ve pulegon standartlarının 20-50-100-200 ppm derişimlerinde kromatogramları

Menton, isomenton ve pulegon standartlarının 21,15’dir (Şekil 5). alıkonma zamanları sırasıyla, 18,65, 18,95,

2.2.3. Süper Kritik CO₂ Ortamında *Micromeria fruticosa L. Druce'un* Ekstraksiyonu İçin Box-Behnken Dizaynı Uygulanması

Bu çalışmada, *Micromeria fruticosa L. Druce'un* süper kritik CO₂ ekstraksiyonu ile menton, isomenton ve pulegon temel bileşenleri için yanıt yüzey yöntemi kullanılarak optimizasyonu incelenmiştir. Bağımsız değişkenler sıcaklık, basınç ve ekstraksiyon süresi olarak seçilmiş ve 3-faktör 3-Düzye Box-Behnken dizaynı uygulanmış ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi Design-Expert yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bağımsız değişkenler ve düzeyleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Deney parametreleri ve değerleri

Bağımsız Değişken	Kod	Düzye		
		-1	0	1
Sıcaklık (°C)	X ₁	35	45	55
Basınç (atm)	X ₂	80	190	300
Süre (dk)	X ₃	5	25	45

Çizelge 1'de Regresyon ve varyans analizleri (ANOVA) Design Expert Yazılımı (Version 10.0.6.0) ile yapılmıştır. X₁, X₂, ve X₃ sırasıyla sıcaklık, basınç ve ekstraksiyon süresini göstermektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. *Micromeria fruticosa L. Druce'un* Süper Kritik CO₂ Ekstraksiyonunun Yanıt Yüzey Yöntemi ile İncelenmesi

Box-Behnken dizaynı ile oluşturulan deneysel setin yanıtları (menton, isomenton ve pulegon derişimleri) Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2'den görüleceği üzere en yüksek ve en düşük bileşen derişimleri (mg/g bitki) sırasıyla 4,58-0,10 (mg menton/g bitki); 10,87-0,24 (mg isomenton/g bitki) ve 27,07-0,90 (mg pulegon/g bitki) olarak belirlenmiştir. ANOVA analizleri sonucunda, menton isomenton ve pulegon için önerilen ikinci dereceden eşitliğin regresyon katsayıları aşağıda Eşitlik 1, 2 ve 3'de verildiği şekilde belirlenmiştir.

Çizelge 2. Deneysel ve tahminlenen menton, isomenton ve pulegon derişimleri

Sıcaklık (°C)	Basınç (atm)	zaman (dakika)	Menton deneysel mg/g bitki	Menton tahmini mg/g bitki	Isomenton deneysel mg/g bitki	Isomenton tahmini mg/g bitki	Pulegon deneysel mg/g bitki	Pulegon tahmini mg/g bitki
35	80	25	1,14	1,64	2,03	2,85	4,02	5,40
35	190	5	3,09	2,77	5,45	5,24	13,51	14,68
35	190	45	0,10	0,51	2,89	3,16	19,69	15,06
35	300	25	2,57	1,94	6,30	5,45	13,96	16,00
45	80	45	0,01	-0,93	0,24	-0,83	0,90	4,12
45	190	25	4,18	4,38	9,70	9,60	23,26	24,91
45	190	25	4,39	4,38	8,24	9,60	24,40	24,91
45	190	25	4,58	4,38	10,87	9,60	27,07	24,91
45	300	5	0,10	1,03	3,09	4,17	25,42	22,20
45	300	45	0,22	0,39	1,28	1,87	7,29	9,84
55	80	25	0,97	1,58	1,99	2,83	3,56	1,52
55	190	5	2,54	2,11	5,80	5,54	14,07	18,66
55	190	45	2,23	2,53	3,84	4,06	11,93	10,76
55	300	25	3,87	3,36	7,48	6,67	20,95	19,56
45	80	5	0,47	0,27	1,03	0,43	1,83	-0,72

$$Y_{\text{menton}} = +4,38 + 0,34X_1 + 0,52X_2 - 0,46X_3 + 0,37X_1X_2 + 0,67X_1X_3 + 0,14X_2X_3 - 0,23X_1^2 - 2,02X_2^2 - 2,17X_3^2 \text{ (Eşitlik 1)}$$

$$Y_{\text{isomenton}} = +9,60 + 0,30X_1 + 1,61X_2 - 0,89X_3 + 0,31X_1X_2 + 0,15X_1X_3 - 0,26X_2X_3 - 1,03X_1^2 - 4,12X_2^2 - 4,07X_3^2 \text{ (Eşitlik 2)}$$

Ypulegon= $+24,91 - 0,079X_1 + 7,16X_2 - 1,88X_3 + 1,86X_1X_2 - 2,07X_1X_3 - 4,30X_2X_3 - 4,18X_1^2 - 10,11X_2^2 - 5,94X_3^2$ (Eşitlik 3)

Eşitlikte Y; menton, isomenton ve pulegon derişimini (mg/g bitki), X_1 , X_2 , ve X_3 sırasıyla sıcaklık, basınç ve ekstraksiyon süresini göstermektedir.

Çizelge 3. Menton için önerilen kuadratik modelin Anova sonuçları

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Değeri	p-değeri Prob > F
Model	37,23	9	4,14	5,56	0,0367
X_1	0,92	1	0,92	1,23	0,3172
X_2	2,17	1	2,17	2,92	0,1481
X_3	1,66	1	1,66	2,23	0,1959
X_1X_2	0,54	1	0,54	0,73	0,4331
X_1X_3	1,80	1	1,80	2,41	0,1810
X_2X_3	0,084	1	0,084	0,11	0,7504
X_1^2	0,19	1	0,19	0,26	0,6333
X_2^2	15,04	1	15,04	20,21	0,0064
X_3^2	17,31	1	17,31	23,27	0,0048
Residual	3,72	5	0,74		
Lack of Fit R^2 0,91	3,64	3	1,21	30,31	0,0321

Önerilen kuadratik eşitliklerin ANOVA sonuçları çizelge 3, çizelge 4 ve çizelge 5 de verilmiştir. p-değeri 0,05'ten küçük olan model terimlerindeki değişimler anlamlı değişimler olarak kabul edilmiştir. Bu durumda menton için X_2^2 ve X_3^2 deki değişimler, isomenton için X_2 , X_2^2 ve X_3^2 deki değişimler ve pulegon için X_2 , X_2^2 ve X_3^2

değişimler anlamlıdır. Menton için önerilen model için belirleme katsayısı (R^2) 0,91, isomenton için R^2 , 0,94 ve pulegon için R^2 , 0,91 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlarla elde edilen eşitliklerde menton ve pulegon için önerilen kuadratik modeldeki değişimleri %91 oranında, isomenton için ise %94 başarı ile tahminlemektedir.

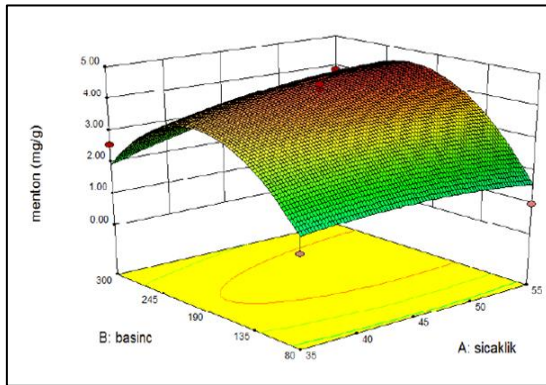
Çizelge 4. İomenton için önerilen kuadratik modelin Anova sonuçları

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	f Değeri	p-değeri Prob > F
Model	144,31	9	16,03	8,46	0,0150
X_1	0,74	1	0,74	0,39	0,5585
X_2	20,67	1	20,67	70,90	0,0214
X_3	6,34	1	6,34	3,34	0,1271
X_1X_2	0,37	1	0,37	0,20	0,6763
X_1X_3	0,090	1	0,090	0,047	0,8361
X_2X_3	0,26	1	0,26	0,14	0,7263
X_1^2	3,95	1	3,95	2,08	0,2086
X_2^2	62,65	1	62,65	33,04	0,0022
X_3^2	61,29	1	61,29	32,32	0,0023
Residual	9,48	5	1,90		
Lack of Fit R^2 0,94	6,01	3	2,00	1,15	0,4955

Çizelge 5. Pulegon için önerilen kuadratik modelin Anova sonuçları

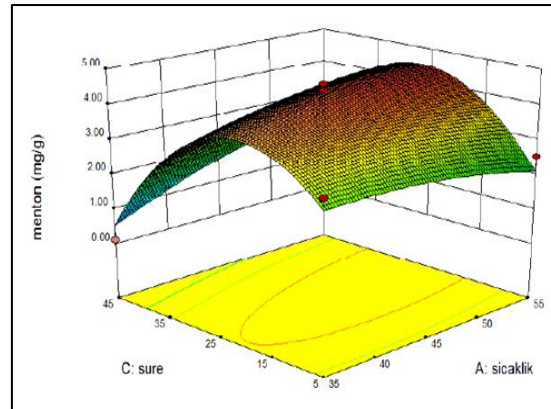
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	f Değeri	p-değeri Prob > F
Model	1054,60	9	117,18	5,95	0,0319
X ₁	0,050	1	0,05	2,520E-03	0,9619
X ₂	410,55	1	410,55	20,86	0,0060
X ₃	28,35	1	28,35	1,44	0,2839
X ₁ X ₂	13,88	1	13,88	0,7	0,4394
X ₁ X ₃	17,14	1	17,14	0,87	0,3936
X ₂ X ₃	73,96	1	73,96	3,76	0,1103
X ₁ ²	64,47	1	64,47	3,28	0,1301
X ₂ ²	377,31	1	377,31	19,17	0,0072
X ₃ ²	130,33	1	130,33	6,62	0,0498
Residual	98,42	5	19,68		
Lack of Fit R ² 0,91	90,78	3	30,26	7,91	0,1143

Şekil 5’de sabit ekstraksiyon süresi için (25 dk) basınç ve sıcaklık değişimlerinin menton derişimi üzerine etkisini göstermektedir. Şekil 5’de görüldüğü gibi basınç artışıyla yaklaşık 245 atm’ye kadar menton derişimi artmakta ve sonra bir miktar azalmaktadır. Sıcaklığın artışı ile menton derişimi fazla değişmemektedir.



Şekil 5. Basınç ve sıcaklık değişimlerinin menton derişimi üzerine etkisi

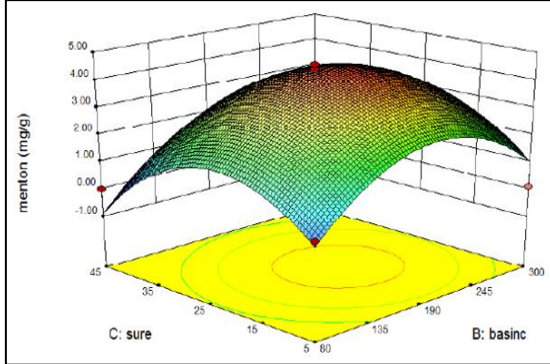
Şekil 6’da sabit basınç için (190 atm), süper kritik ekstraksiyon süresi ve sıcaklık değişimlerinin menton derişimi üzerine etkisini göstermektedir. Ekstraksiyon süresinin yaklaşık ilk 25 dakika artmasıyla menton derişiminin arttığı ve daha sonraki dakikalarda ciddi bir şekilde azaldığı görülmektedir.



Şekil 6. Süre ve sıcaklık değişimlerinin menton derişimi üzerine etkisi

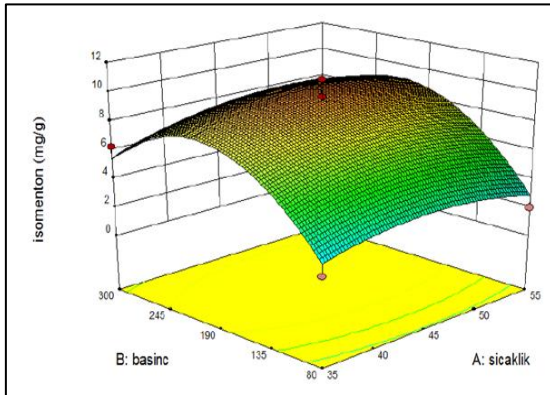
Şekil 7’de sabit sıcaklık (45 °C), süper kritik ekstraksiyon süresi ve basınç değişimlerinin menton derişimi üzerine etkisini göstermektedir. Ekstraksiyon süresinin artmasıyla önce menton derişiminin arttığı (yaklaşık ilk 25 dakika) ve daha sonra menton derişiminin azaldığı görülmektedir. Şekil 7’de görüldüğü gibi basınç artışıyla yaklaşık 245 atm ye kadar menton derişimi artmakta ve sonra bir miktar azalmaktadır.

Maksimum menton derişimi için yanıt yüzey yöntemi sonucunda en uygun sıcaklık 52,93 °C, basınç 208,48 atm ve süre 26,58 dakika olarak belirlenmiştir.



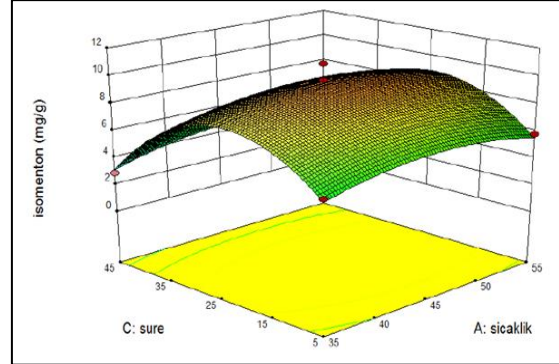
Şekil 7. Süre ve basınç değişiminin mentol derişimi üzerine etkisi

Şekil 8’de sabit süper kritik CO₂ ekstraksiyon süresi için (25 dk) basınç ve sıcaklık değişimlerinin isomenton derişimi üzerine etkisini göstermektedir. Şekil 8’den görüldüğü gibi basınç artışıyla isomenton derişimi artmakta yaklaşık 300 atm ye yakın basınçlarda bir miktar azalmaktadır. Sıcaklığın artışı ile isomenton derişimi fazla değişmemektedir.



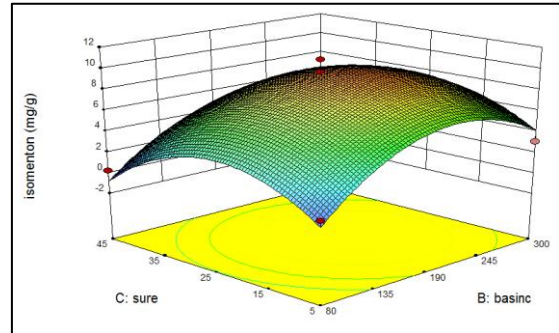
Şekil 8. Basınç ve sıcaklık değişimlerinin isomenton derişimi üzerine etkisi

Şekil 9’da sabit basınç için (190 atm), süper kritik ekstraksiyon süresi ve sıcaklık değişimlerinin isomenton derişimi üzerine etkisini göstermektedir. Ekstraksiyon süresinin yaklaşık ilk 30 dakika artmasıyla isomenton derişiminin arttığı ve daha sonra ki dakikalarda ciddi bir şekilde azaldığı görülmektedir. Sıcaklıktaki değişim isomenton derişimi değişimini fazla etkilemediği tespit edilmiştir.



Şekil 9. Süre ve sıcaklık değişimlerinin isomenton derişimi üzerine etkisi

Şekil 10’da sabit sıcaklık (45 °C), süper kritik ekstraksiyon süresi ve basınç değişimlerinin isomenton derişimi üzerine etkisini göstermektedir. Ekstraksiyon süresinin artmasıyla önce isomenton derişiminin arttığı (yaklaşık ilk 25 dakika) ve daha sonra isomenton derişiminin azaldığı görülmektedir. Şekil 11’de görüldüğü gibi basınç artışıyla yaklaşık 245 atm ye kadar isomenton derişimi artmakta ve sonra bir miktar azalmaktadır.

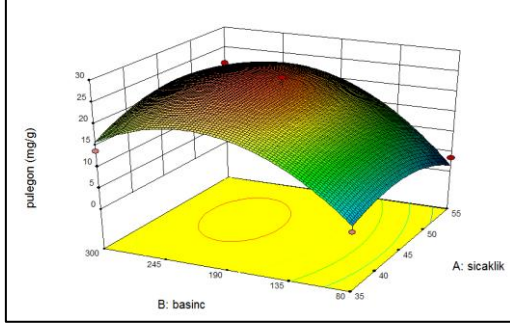


Şekil 10. Süre ve basınç değişimlerinin isomenton derişimi üzerine etkisi

Maksimum isomenton derişimi için yanıt yüzey yöntemi sonucunda en uygun sıcaklık 46,70 °C, basınç 212,49 atm ve süre 22,76 dakika olarak belirlenmiştir.

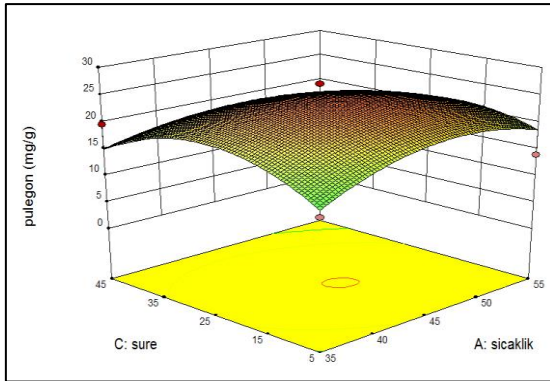
Şekil 11’de sabit süper kritik CO₂ ekstraksiyon süresi için (25 dk) basınç ve sıcaklık değişimlerinin pulegon derişimi üzerine etkisini göstermektedir. Şekil 11’de görüldüğü gibi basınç

artışıyla pulegon derişimi artmakta ve sonra bir miktar azalmaktadır. Sıcaklığın artışı ile pulegon derişimi fazla değişmemektedir.



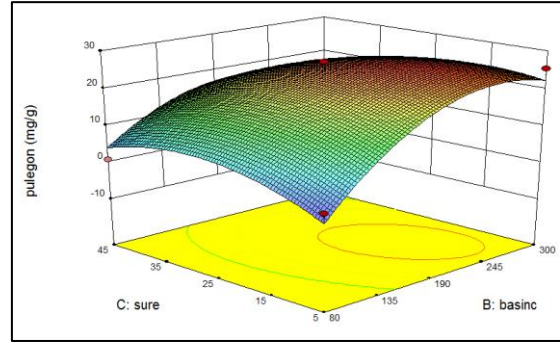
Şekil 11. Basınc ve sıcaklık değişimlerinin pulegon derişimi üzerine etkisi

Şekil 12’de sabit basınc için (190 atm), süper kritik ekstraksiyon süresi ve sıcaklık değişimlerinin pulegon derişimi üzerine etkisini göstermektedir. Ekstraksiyon süresinin artmasıyla pulegon derişiminin arttığı ve 35 dakika’dan sonra kısmen azaldığı görülmektedir. Sıcaklıktaki değişimin diğer bileşenlerin aksine pulegon derişimini artırdığı tespit edilmiştir.



Şekil 12. Süre ve sıcaklık değişimlerinin pulegon derişimi üzerine etkisi

Şekil 13’de sabit sıcaklık (45 °C), süper kritik ekstraksiyon süresi ve basınc değişimlerinin pulegon derişimi üzerine etkisini göstermektedir. Ekstraksiyon süresinin artmasıyla diğer bileşenlerden farklı olarak pulegon derişiminin arttığı görülmektedir. Şekil 11’de görüldüğü gibi basınc artışıyla pulegon derişimi artmıştır.



Şekil 13. Süre ve basınc değişimlerinin pulegon derişimi üzerine etkisi

Maksimum pulegon derişimi için yanıt yüzey yöntemi sonucunda en uygun sıcaklık 46,77 °C, basınc 238,92 atm ve süre 18,00 dakika olarak belirlenmiştir.

Süper kritik CO₂ akışkanının basıncının artması yoğunluğunu da artırmıştır. Ancak, basınc belli bir noktaya kadar ekstrakte etme gücünü artırabilmiştir. Çok yüksek basınçlarda bu güç bir miktar azalmıştır. Çok yüksek basınçlarda süper kritik akışkan yoğunluğu daha da yükseleceğinden kütle transferi, difüzyon ve ekstrakte etme gücünün bir miktar olumsuz etkilediği saptanmıştır [14-16].

Sıcaklık değişiminin genel olarak bileşenlerin derişimleri üzerinde fazla etkili olmadığı tespit edilmiştir. Fakat ekstraksiyon süresi ile birlikte sıcaklığın da artması süper kritik akışkanın yoğunluğunu düşürdüğünden, kütle transferi, difüzyon ve ekstraksiyon gücünün olumsuz etkilendiği gözlenmiştir [14-16].

Micromeria fruticosa L. Druce’un süper kritik CO₂ ekstraksiyonunda menton, isomenton ve pulegon maksimum derişimleri için tahminlenen en uygun sıcaklık 47,16 °C, basınc 216,99 atm ve süre 22,45 dakika olarak bulunmuştur.

Kullanılan bitkiler veya tohumların ekstraksiyonu için kullanılan parametreler ve değerleri ile uygulanan deneysel yöntem farklılık gösterse de bu çalışmadan elde edilen bulguların literatürdeki benzer çalışmalarla uyumlu olduğu gözlenmiştir. Literatürde Hindistan orjinli kurutulmuş *Syzygium*

aromaticum Linn'den eugenolun izole edilmesi süperkritik karbon dioksit kullanılarak ekstraksiyonu gerçekleştirilmiş ve optimum sıcaklık 60 °C, basınç 250 bar ve ekstraksiyon süresini 90 dakika olarak belirlemiştirler [21]. Süper kritik karbon dioksit kullanılarak *Echium vulgare* tohumlarının ekstraksiyonu ile yapılan bir başka çalışmada, yağın ekstraksiyon verimi üzerine test koşulları arasında anlamlı değişimler elde edilmiştir. Optimum deneysel koşulları ise 62 °C ve 400 bar olarak bulunmuştur [22]. Ekstraksiyon sıcaklığı, basınç ve akış hızının optimum değerlerinin 36 °C, 42 MPa ve 17 L/sa olarak belirlendiği Schisandra Chinensis (Turcz.) Baill'in süper kritik karbon dioksit kullanarak ekstraksiyonunu inceleyen bir başka çalışmada, yağ verimi %0,43 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, verilerin ikinci derece polinomial modelinin yeterli bir şekilde uygun olduğunu göstermiştir [23]. *Micromeria fruticosa* L. Druce'un subkritik su ekstraksiyonu olmuştur. *Micromeria fruticosa* L. Druce'un sub kritik su ekstraksiyonu ile temel bileşenlerin miktarları, 1,06-0,04 (mg menton/g bitki); 3,79-0,35 (mg isomenton/g bitki) ve 5,55-0,65 (mg pulegon/g bitki) olarak belirlenmiştir. Bu verilere göre süper kritik CO₂ ekstraksiyonunun daha etkin olduğu saptanmıştır. [24].

4. SONUÇLAR

Micromeria fruticosa L. Druce'un süper kritik CO₂ ortamında ekstraksiyonu ile menton, isomenton ve pulegon temel bileşenleri için yüzey yanıt yöntemi kullanılarak optimizasyonunda, istatistiksel olarak anlamlı bir model oluşturulmuştur.

Bu çalışmada, optimum basınç ve ekstraksiyon süresinin ekstraksiyon gücüne katkısının daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Temel bileşen miktarının verimliliği açısından süper kritik CO₂ ekstraksiyonun optimizasyonu literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmadan elde edilecek sonuçların özellikle farmakolojik çalışmalarda kullanılması, temel bileşenlerin biyolojik aktiviteye etkilerinin

incelenmesi açısından farklı bir yaklaşım sağlayacaktır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmada Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinasyonu Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje numarası: FEF2011BAP14).

6. KAYNAKLAR

1. Güllüce, M., Sökmen, M., Şahin, F., Sökmen, A., Adigüzel, A., Özer, H., 2004. Biological Activities of the Essential Oil and Methanolic Extract of *Micromeria fruticosa* (L) Druce ssp *Serpyllifolia* (bieb) PH Davis Plants from the Eastern Anatolia Region of Turkey, *J. Sci Food Agric* 84(7), 735-741.
2. Telci, I, Ceylan, M., 2007. Essential Oil Composition of *Micromeria fruticosa* Druce from Turkey, *Chemistry of Natural Compounds*, 43(5), 629-631.
3. Ietswaart, J.H., 1980. A Taxonomic Revision of the Genus *Origanum* (Labiatae), 4, Leiden.
4. Davis, P.H., 1985. Flora of Turkey and the East Aegan Island, 7, Edinburg.
5. Vera, R.R., Change-Ming, J., 1999. Chemical Composition of the Essential Oil of Marjoram (*Origanum majorana* L) form Reunion Island. *Food Chemistry*, 66, 143-145.
6. Guner, A., Ozhatay, N., Ekim, T., Baser, K.H.C., 2001. Flora of Turkey and the East Aegean Islands, University Press, Edinburg, Vol:11, (Suplement2)
7. Berger, G.R., Flavours and Fragrances. Springer, Germany.
8. Reidah, A.M.I., Roman, A.D., Nuri, A.M., Warad, I., Carretero, S.A., 2019. Untargeted Metabolite Profiling and Phytochemical Analysis of *Micromeria fruticosa* L. (Lamiaceae) leaves, *Food Chemistry*, 279, 12-143.
9. Gharbieh, A.E., Ahmed, G.N., 2016. Bioactive Content, Hepatoprotective and Antioxidant Activities of Whole Plant Extract of *Micromeria fruticosa* (L) Druce ssp *Serpyllifolia* F Lamiaceae Against Carbon Tetrachloride-induced Hepatotoxicity in Mice,

- Tropical Journal of Pharmaceutical Research, 15, 2099-2106.
10. Salameh, N., Shraim, N., Jaradat, N., 2018. Chemical Composition and Enzymatic Screening of *Micromeria fruticosa serpyllifolia* Volatile Oils Collected from Three Different Regions of West Bank, Palestine, Hindawi Biomed Research International, 1-8.
 11. Arslan, M., 2012. Effect of Intra-Row Spacing On Herbage Yield, Essential Oil Content and Composition of *Micromeria Fruticosa*, Farmacia, 60, 925-931.
 12. Vetere, V., Santori, F.G., Moglioni, A., Iglesias, M.Y.G., Casella, L.M., Ferretti, A.O., 2002. Hydrogenation of (-)- Menthone, (+)- Isomenthone, and (+)- Pulegon with Platinum/tin Catalysts, Catalysis Letters 84, 251-257.
 13. Türk, M., 2010. Bazı Önemli Tıbbi Bitkilerin Kimyasal Kompozisyonu ve Antioksidan Kapasitelerinin Belirlenmesinde Sub ve Süperkritik Akışkanların Etkisi, Ç.Ü. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Sayfa No: 1-3.
 14. Chrastil, J., 1982. Solubility of Solids and Liquids in Supercritical Gases, Journal of Physical Chemistry, 86, 3016-3021.
 15. Yamini, Y., Sedfidkon, F., Pourmortazavi, M. S., 2002. Comparison of Essential Oil Composition of Iranian Fennel (*Foeniculum vulgare*) Obtained by Supercritical Carbon Dioxide Extraction and Hydrodistillation Methods, Flavour and Fragrance Journal, 17, 345-348.
 16. Reverchon, E., 1992. Fractional Separation of SCF Extracts from Marjoram Leaves: Mass Transfer and Optimization, The Journal of Supercritical Fluids, 5, 256-261.
 17. Box, G.E.P., Wilson, K.B., 1951. On the Experimental Attainment of Optimum Conditions (with discussion). Journal of the Royal Statistical Society Series B, 13(1), 1-45.
 18. Chen, H., 1994. Response-surface Methodology for Optimizing Citric Acid Fermentation by *Aspergillus Foetidus*, Proses Biochem, 29, 399-405.
 19. Joglekar, A.M., May, A.T., 1987. Product Excellence Through Design of Experiments, Cereal Foods World. 32(12), 857-860.
 20. Türk, B., 2008. İmmobilize Lipaz Enzimi Kullanılarak Etil Bütirat Üretimi, A.Ü. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
 21. Montgomery, D.C., 1996. Design and Analysis of Experiments 4, John Wiley and Sons Ltd., USA.
 22. Anderson, M.J., Whitcomb, P.J., 2005. RSM Simplified-optimizing Processes Using Response Surface Methods for Design of Experiments, Productivity Inc., New York.
 21. Chatterjee, D., Bhattacharjee, P., 2013. Supercritical Carbon Dioxide Extraction of Eugenol from Clove Buds, Food Bioprocess Technol 6, 2587-2599.
 22. Keleş, B.S., Yeşilçubuk Ş.N., Demirköz, B.A., Karakaş, M., 2019. Response Surface Optimization and Modelling for Supercritical Carbon Dioxide Extraction of *Echium vulgare* Seed Oil, The Journal of Supercritical Fluids, 143, 365-369.
 23. Meng, X.L.B., Xue, X.L.Y., 2010. Use of Box-Behnken Design for the Optimization of Supercritical Carbon Dioxide Extraction of Oil from Schisandra Chinensis (Turcz) Bail, 3rd International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI), United States, 670-674.
 24. Türk, M., Ç.Ü. Bilimsel Araştırmaları Proje Birimi, FEF2011BAP14 Nolu Proje, Adana, 2014.

Bakır Flotasyonu Prosesinde, Köpük Görüntüleri ile % Bakır Tenörü Arasındaki İlişkinin Görüntü Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi

Mehmet TÜRK MENOĞLU^{*1}, Ö. Faruk ÖZGÜVEN², Fatih Ş. ERKUŞ³,
Ayşe ÖZGÜVEN⁴, Z. Funda TÜRK MENOĞLU¹, O. Ozan VAROL¹

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Van

²İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Malatya

³Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Van

⁴Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Van

Geliş tarihi: 04.11.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Bu çalışmada, Siirt Madenköy flotasyon tesisinden temin edilen bakır cevherinin laboratuvar ölçekli flotasyonu esnasında elde edilen köpük görüntüleri ile bakır zenginleştirme tenörü arasındaki korelasyon belirlenmiştir. Sadece hava akış hızı; 2 ile 8 l/dk arasında debimetre yardımı ile değiştirilmiş, diğer tüm flotasyon parametreleri tesis ile aynı tutulmuştur. Video kamera kullanılarak elde edilen köpük görüntüleri, MATLAB Havza Dönüşümü (MATLAB Watershed Transform) metoduyla işlenmiş ve hava kabarcıkları tanımlanmıştır. Kabarcık şekil ve büyüklük verileri, köpük görüntülerindeki kabarcık vadi sınırlarının tespiti ve bu sınırlarla görüntünün bölümlenmesi yoluyla elde edilmiştir. Bu çalışmada gerçekleştirilen 3 farklı flotasyon deney seti verileri kullanılarak flotasyon prosesinin otomasyonunda kullanılabilir görüntü işleme tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi tasarımı yapılmıştır. Ölçülen ve hesaplanan bakır zenginleştirme tenörü arasındaki korelasyon katsayısı $r = 0,96$ olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Flotasyon, Görüntü işleme, MATLAB, Bulanık mantık, Bakır cevheri

Determination of the Relationship Between Foam Images with % Copper Grade in Copper Flotation Process by Image Analysis Method

Abstract

In this study, the correlation between the grade of copper enrichment and the foam images obtained during laboratory scale flotation of copper ore obtained from Siirt Madenköy flotation plant was determined. Only air flow rate was changed between 2 and 8 l/min with a flowmeter, all other flotation parameters were kept the same with the flotation plant. Foam images captured by a video camera were processed by MATLAB Watershed Transform method and air bubbles were defined. Bubble shape and size data were obtained by detecting and segmenting bubble watershed borders in foam images. In this study, image processing based fuzzy logic inference system that can be used in the automation of flotation process was designed using 3 different flotation experiment data sets. The correlation coefficient between measured and calculated grade of copper enrichment is $r = 0,96$.

Keywords: Flotation, Image processing, MATLAB, Fuzzy logic, Copper ore

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mehmet TÜRK MENOĞLU, mehmetturkmenoglu@yyu.edu.tr

1. GİRİŞ

Flotasyon prosesinde; sıcaklık, karıştırma hızı, kimyasalların miktarı, pH, hava miktarı ve flotasyon makinesindeki sıvı seviyesi gibi bazı konvansiyonel ölçümler mevcuttur. Bu ölçümler çeşitli ölçüm aletleri ile ölçülebilmekte ve kontrol edilebilmektedir. Ancak, flotasyon köpüğü ölçümleri insan gözlemleriyle sınırlıdır. Şu anda işletilen birçok tesiste flotasyon prosesi kontrolü operatörlerin oluşan köpüğü gözlemlemesi yoluyla sağlanmaktadır. Bu tesislerde flotasyon köpüğünün fiziksel ve sayısal metotlarla ölçülmesi ve karakterizasyonu mümkün olmadığından verim kayıpları yaşanmakta ve flotasyon prosesi performansı operatörün deneyimine bağlı kalmaktadır. Ayrıca, flotasyonun başarı oranı kimyasal analiz sonuçları çıkıncaya kadar belirlenememektedir. Bu nedenle, kimyasal analiz sonuçlarına bağımlı olmayan daha hızlı başka kontrol metodlarının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, bakır cevherinin flotasyon prosesi ile zenginleştirilmesi esnasında, köpük görüntüleri ve bakır zenginleştirme verimleri arasındaki ilişki, bulanık mantık metoduyla tespit edilmiştir.

Dijital görüntü işleme alanında görülen hızlı gelişmeler, operatörler tarafından yapılan gözlemlerin yerini alabilecek düzeye gelmiş; gerçek zamanlı, güvenilir ve tutarlı otomatik görüntü verilerinin kullanımını mümkün hale getirmiştir. Flotasyon köpüğü oluşumunu sağlayan hava kabarcıklarının büyüklüğü ve şekli flotasyon süreci performansı hakkında önemli miktarda veri içermektedir. Görüntü işleme uygulamaları, endüstriyel alanda (Malzeme tane büyüklüğü analizi, gerçek zamanlı güvenlik uygulamaları, iki boyutlu cisimlerden grafik modeller için veri eldesi vb.) bir çok alanda yaygın olarak kullanılan [1] kendini ispatlamış bir kontrol tekniğidir.

Flotasyon prosesinin kontrolü ve optimizasyonu amacıyla kullanılan görüntü işleme teknikleri, fiziksel, statik ve dinamik özellikler olmak üzere başlıca üç temel kategoride sınıflandırılabilir [2]. Bu çalışmada ekonomik ve güvenilir şekilde eldesi mümkün olan köpük büyüklüğü verisi toplanmıştır.

Görüntü analiz sistemlerinin performansı, istatistik teknikleri [3], yapay sinir ağları [4] ve bulanık mantık [5] uygulamalarıyla entegre edilmiş, böylelikle verimi artırılmıştır. Literatürde mineral konsantrasyonlarının ve proses durumunun büyük ölçüde köpüğün rengi ve morfolojik özellikleriyle ilgili olduğu bildirilmiştir [6]. Köpük rengi, köpüğün taşıdığı mineral türü ve konsantrasyonu hakkında bilgi verebilmektedir. Köpüğün prosesdeki durumu özellikle köpük balonları büyüklüğüyle karakterize edilebilmekte ve böylece köpük miktarı, çarpışma ve tutunma verimi tespit edilebilmektedir. Balon büyüklüğü ve ayırma verimi arasındaki ilişkinin araştırıldığı çalışmalar kayda değer sonuçlar vermiştir. Hava balonları büyüklüğü ile ilgili çalışmalar; vadi bölümlenmesi (segmentasyonu) [7-8], doku (tekstür) spektrumu [3] ve Dalgacık dönüşümü (Wavelet transformation) [9] şeklinde sınıflandırılabilir. Bu çalışmada ise, köpük fotoğrafları MATLAB Vadi Dönüşümü (MATLAB Watershed Transform) fonksiyonuyla analiz edilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde çok çeşitli sayıda cevherin farklı kimyasallar kullanılarak flotasyon yöntemiyle zenginleştirilmesinin çalışıldığı birçok çalışma mevcuttur. Ancak, görüntü analiz sisteminin flotasyon ile birlikte kullanıldığı çok az çalışma vardır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda listelenmiştir.

Dijital kamera kullanılarak elde ettikleri köpük görüntüsü ile flotasyon performansı arasındaki ilişkiyi inceleyen Ekmekçi ve Şahin [10] (2006), Küre bakır cevheri üzerinde flotasyon deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde hava hızının, köpürtücü dozajının ve köpük yüksekliğinin flotasyon verimine olan etkisini incelemişlerdir. Hava hızının artmasıyla konsantrasyonun bakır veriminin arttığını ancak tenörünün düştüğünü, kabarcık hızının ve alanının ise arttığını bildirmişlerdir. Köpük yüksekliğinin artmasıyla birlikte bakır veriminin azaldığını ancak tenörünün arttığını, kabarcık hızı azalırken kabarcık alanının arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca, köpürtücü miktarı arttırıldığında bakır veriminin arttığını, kabarcık

alanı azalırken, kabarcık hızının arttığını bildirmişlerdir. Yazarlar, kabarcık alanı ile flotasyon performansı arasında saçınımlı bir ilişki olduğunu, bu nedenle görüntü analiz sistemi için bir kontrol parametresi olamayacağını, ancak kabarcık hızıyla flotasyon arasındaki uyumlu ilişki sayesinde flotasyon performansının kontrol edilebileceğini ileri sürmüşlerdir.

Köpük büyüklüğünün flotasyon kontrolünde kullanımında karşılaşılan başlıca sorunlar Aldrich ve arkadaşları [11] tarafından yüzeydeki görünür köpüklerin yüzeyaltı köpükleri temsil edememesi ve kullanılan segmentasyon algoritmalarının büyük köpükleri daha büyük, küçük köpükleri daha küçük boyutlandırdığını bildirmiştir. Bu çalışmada flotasyon işlemi sırasında elde edilen gerçek zamanlı görüntülerdeki köpük büyüklükleri bakır kazanım verimleri ile bulanık mantık kurallarıyla ifade edilerek optimum köpük büyüklüğü tahmininin yapılması sağlanmıştır.

Miskovic [12] yaptığı doktora çalışmasında, pilot ölçekli bir flotasyon devresinde gerçekleştirdiği hidrodinamik ve metalurjik testler ile kabarcık boyutunu belirlemeye çalışmıştır. Ayrıca flotasyon başlığının (rotor) tasarımının kabarcık oluşumu üzerindeki etkisini araştırmıştır. Deneyler sonucunda, görüntü analiz tekniği ile kabarcık sayısı ve büyüklüğünü modelleyen iki farklı yöntemi karşılaştırmıştır ve havalandırma hızının köpük oluşumu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ileri sürmüştür.

Altaş [13], “Sondaj köpükleri özneliklerinin görüntü işleme teknikleri ile çıkarımı ve yapay sinir ağları kullanarak veri analizi” başlıklı yüksek lisans tezinde, köpüklerin görsel özneliklerini görüntü işleme metodlarıyla algılayacak ve YSA kullanılarak veri analizi yapabilecek bir model geliştirmeyi amaçlamıştır. Sınırlarını belirlediği köpüklerin yarıçap, alan, çevre gibi boyut ve biçim özelliklerini çıkarmış, kimyasal veriler ile birleştirerek YSA (Yapay Sinir Ağları) kullanarak veri analizi yapmıştır. Yaptığı incelemeler sonucunda görüntü işleme metodu ile elde edilen köpük verilerinin YSA ile analizinin mümkün olduğunu göstermiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarındaki 1 lt hacimli, havalandırma ve karıştırma ünitesi içeren Denver D12 tipi flotasyon hücresinde, manometre ve debimetre ile hava akımı kontrol edilerek, kesikli flotasyon deneyleriyle gerçekleştirilmiştir.

Köpük görüntülerinin alımı, Logitech C920 marka webcam kullanılarak MATLAB programının gerçek zamanlı görüntü alma ve işleme fonksiyonları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 1’de flotasyon makinasına teşkil edilen kamera, 25W gücünde ışık kaynağı ve görüntülerin işlendiği bilgisayar görülmektedir. Görüntü işlemede kullanılan en iyi görüntü, köpüğe dik açıyla konumlandırılan kamerayla ve tek bir ışık kaynağı kullanılarak elde edilmiştir. İşlenen görüntülerden elde edilen verilerle oluşturulan model, Matlab 2010 programının ‘fuzzy’ editörüyle oluşturulmuştur.



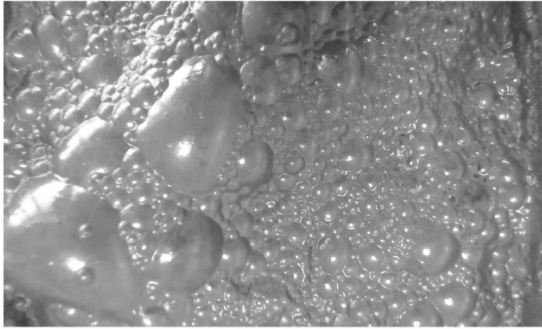
Şekil 1. Çalışmada kullanılan flotasyon makinesi ve kamera sistemi

3.2. Metot

Bakır cevheri laboratuvarında flotasyon prosesi ile zenginleştirilirken; bakır örneklerinin alındığı Siirt Madenköy flotasyon tesisinde kullanılan kimyasallar (Aerophine 3418 A, MIBC, Sodyum Silikat, Ca(OH)₂) ile diğer faktörler (pH, katı-sıvı oranı, cevher boyutu) tesis değerleriyle aynı tutulmuş, sadece kompresöre bağlanan hava

debimetre ile akış hızı; 2-8 l/dk arasında olacak şekilde değiştirilmiştir.

Köpük boyutunun belirlenmesi amacıyla flotasyon işlemi sırasında gerçek zamanlı video görüntülerinden 10 sn aralıklarla görüntü alınarak havza dönüşümü uygulanmıştır. Bu dönüşümde köpük görüntüsünün yoğun olduğu alanlar 'dağ', yoğun olmadığı alanlar 'vadi' olarak tanımlanarak vadiler tespit edilir. Görüntü işleme yönteminin izahı amacıyla alınan bir görüntüye uygulanan işlemler aşağıda sırasıyla anlatılmıştır. Çalışmada kullanılan flotasyon görüntülerinden biri Şekil 2'de verilmiştir.

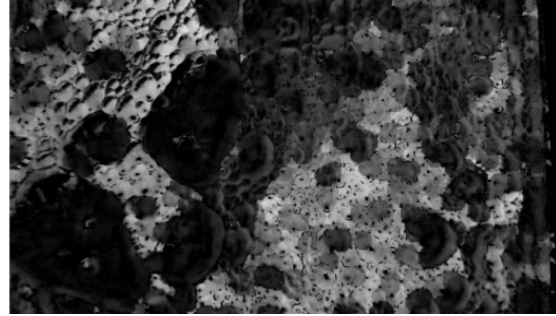


Şekil 2. Çalışmada kullanılan flotasyon görüntüsü

Havza dönüşümü işleminde vadi sayısını minimize etmek için ilgilenilen boyuttaki köpüklerin kontrastları maksimize edilir. Kontrast artırımı için kullanılan yaygın bir yöntem top-hat ve bottom-hat dönüşümlerinin birlikte kullanımınıdır. Şekil 3'de ve Şekil 4'de, orijinal görüntüye *imtophat* ve *imbothat* fonksiyonlarıyla top-hat ve bottom-hat dönüşümleri uygulanmış görüntü sunulmuştur.

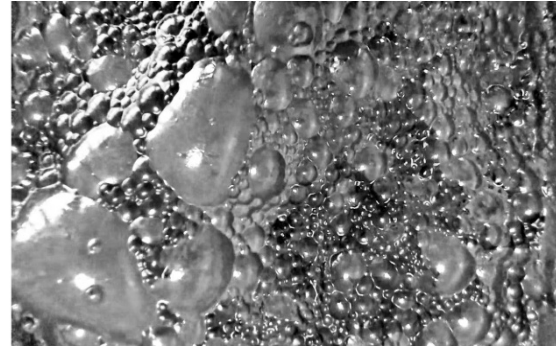


Şekil 3. Flotasyon görüntüsünde top-hat dönüşümü



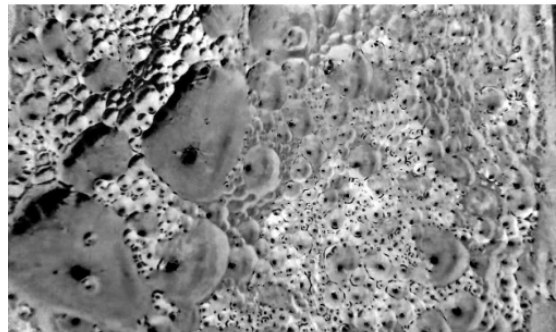
Şekil 4. Görüntüde bottom-hat dönüşümü

Şekil 5'de, elde edilen artırılmış tepe-çukur karşıtlığının hedeflenen yoğunluk vadilerine dönüştürülebilmesi amacıyla *incomplement* fonksiyonu kullanılır.



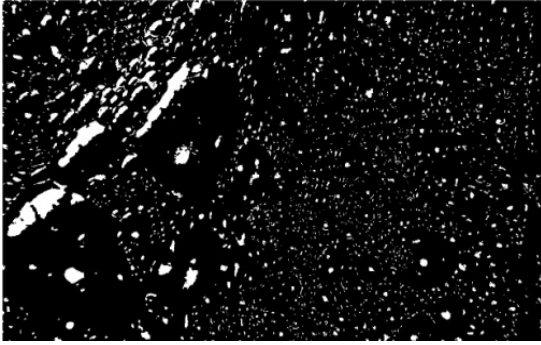
Şekil 5. Artırılmış tepe-çukur karşıtlığı

Şekil 6'da sunulan yoğunluk vadilerinin tümü *imextendedmin* fonksiyonuyla belirli bir eşik altında tespit edilir. Bu fonksiyonun çıktıları, 0 ve 1 kodlanmış piksellerden oluşan ikili görüntü (binary image) şeklindedir.

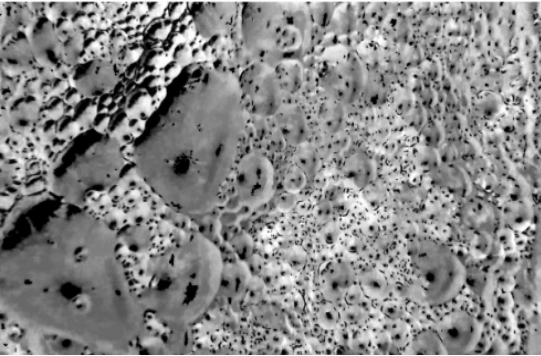


Şekil 6. Yoğunluk vadilerinin oluşturulması

Bu işlemten sonra, *imextendedmin* fonksiyonu görüntüsünde vadilerin büyüklüğü yerine konumu önemlidir. *Imimposemin* fonksiyonu ile görüntüde sadece *imextendedmin* fonksiyonuyla tespit edilen vadilerin bulunması sağlanır. Bu fonksiyonla ayrıca uint8 görüntülerinin ulaşabileceği en derin vadi değeri olan sıfır değerine ulaşması mümkün olur. Minimum değer uygulanan tüm bölgeler havza dönüşümü tarafından tespit edilecektir. Minimum eşiğe genişletilmiş vadiler Şekil 7’de ve minimum değer uygulanmış görüntü Şekil 8’de verilmiştir.

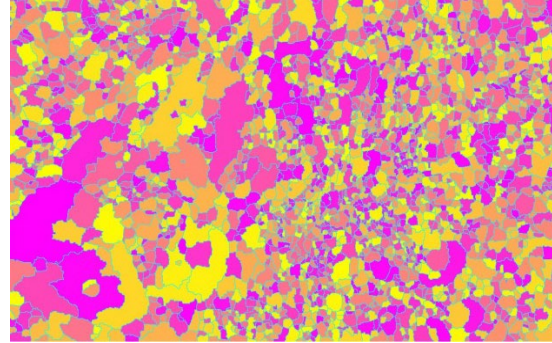


Şekil 7. Minimum eşiğe genişletilmiş vadiler



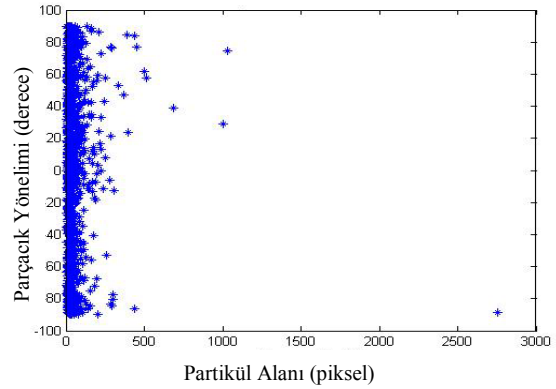
Şekil 8. Minimum değer uygulanmış görüntü

Minimum değer uygulanmış görüntünün havza bölümlenmesi *watershed* fonksiyonuyla sağlanır. Bu fonksiyon, görüntüyü vadi bölgeleriyle ilişkilendirilmiş negatif olmayan sayılar içeren matrise dönüştürür. Havza alanına girmeyen piksellere sıfır piksel değeri verilir. Şekil 9’da etiket matrisi, *label2rgb* fonksiyonu kullanılarak görüntü olarak gösterilmiştir.



Şekil 9. Havza bölümlenmesi

Etiket matrisinin özellikleri *regionprops* fonksiyonuyla çıkarılabilir. Bu fonksiyonla parçacık (köpük) alanları ve yönleri hesaplanır. Şekil 10’da köpük alanı ve yönü verilmiştir.



Şekil 10. Parçacık yöneliminin alanla ilişkisi

Elde edilen “köpük alanı (area)” değerleri, “köpük sayısı” ve flotasyonda hedeflenen büyüklükteki köpüğün oluşturduğu “alan ortalaması” değerleri kullanılarak, bulanık mantık modeli oluşturulmuştur. Şekil 2’deki görüntü için köpük alanı, köpük sayısı ve köpük alanı ortalama değerleri Çizelge 1’de sunulmuştur.

Çizelge 1. Bulanık mantık modelinin oluşturulmasında kullanılan giriş verileri

Toplam köpük alanı	Köpük sayısı	Ortalama köpük alanı
8050 piksel	1850 adet	2810 piksel

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Flotasyon, kaotik doğası ve ölçümlerinde kullanılan teknolojilerin yetersizliği nedenleriyle maden endüstrisinde modellenmesi ve kontrolü zor süreçlerden biridir. Flotasyon tesislerindeki işletme koşulları büyük ölçüde flotasyon köpüğü görünümüyle ilişkilendirilmektedir [11]. Bu çalışmada köpük boyutu tahmin yaklaşımının basit ve güvenilir şekilde uygulanabildiği gösterilmiştir. Çalışmada bakır flotasyonu sürecine uygulanan gerçek zamanlı bir görüntü analiz sistemi sunulmaktadır. Görüntü analiz sisteminde köpük boyutunun verimli bir şekilde tahmini yapılmıştır.

Flotasyon deney koşulları Çizelge 2’de verilmiştir. Hava akış hızı; 2-8 l/dk arasında olacak şekilde ayarlandıktan sonra; elde edilen konsantrelerin ve atıkların bakır tenörleri belirlenmiştir. Flotasyon deneyleri sonucunda elde edilen konsantre ve atıklara ait bakır yüzdeleri Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 2. Flotasyon deney koşulları

Kollektör	Aerophine 3418A	50 g/t
Köpürtücü	MIBC	20 g/t
Bastırıcı	Sodyum Silikat	45 g/t
pH düzenleyici	Sönmüş kireç	8 kg/t
Katı/sıvı oranı	%30	Sabit
pH	11,8 -12	Sabit
Karıştırma hızı	1250 d/d	Sabit
Karıştırma süresi	3 d	Sabit
Köpük alma süresi	3 d	Sabit
Numune boyutu	-75 μ	Sabit

Çizelge 3. Flotasyon deneylerinde elde edilen konsantre ve atıkların bakır yüzdeleri

	Konsantre (% Cu)	Atık (% Cu)
2 l/dk	6,60	0,99
3 l/dk	7,84	0,86
4 l/dk	7,78	0,89
5 l/dk	7,71	0,90
6 l/dk	7,52	0,90
7 l/dk	7,38	0,92
8 l/dk	7,05	0,93

Çalışma süresince 3 defa tekrarlanan ve akış hızının 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 l/d olarak değiştirildiği deney setlerinden online olarak elde edilebilen veri setleri ortalaması flotasyon süresinin birinci, ikinci ve üçüncü dakikaları için Çizelge 4’te sunulmuştur.

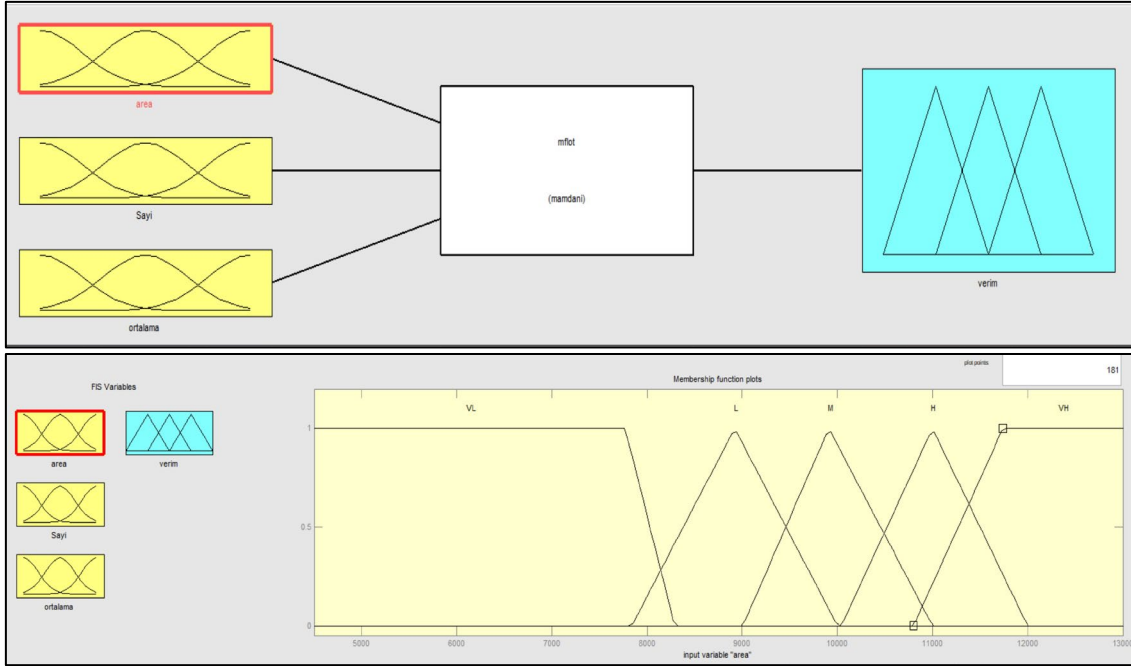
Çizelge 4. Bulanık mantık modelinin oluşturulmasında kullanılan giriş veri setleri

	Toplam köpük alanı (piksel)	Köpük sayısı (adet)	Ortalama köpük alanı (piksel)
S2-1	2693	533	1385
S2-2	8284	247	2238
S2-3	11267	194	2657
S3-1	3915	626	1515
S3-2	15523	276	2797
S3-3	19305	256	2794
S4-1	5563	688	2437
S4-2	13829	250	2531
S4-3	12120	193	2272
S5-1	16666	311	1921
S5-2	3611	395	2425
S5-3	4015	355	2605
S6-1	14342	410	2071
S6-2	2665	434	1474
S6-3	2190	448	1338
S7-1	8819	418	1915
S7-2	2885	515	1291
S7-3	1924	701	1358
S8-1	10996	416	2605
S8-2	6007	605	1824
S8-3	2817	640	1466

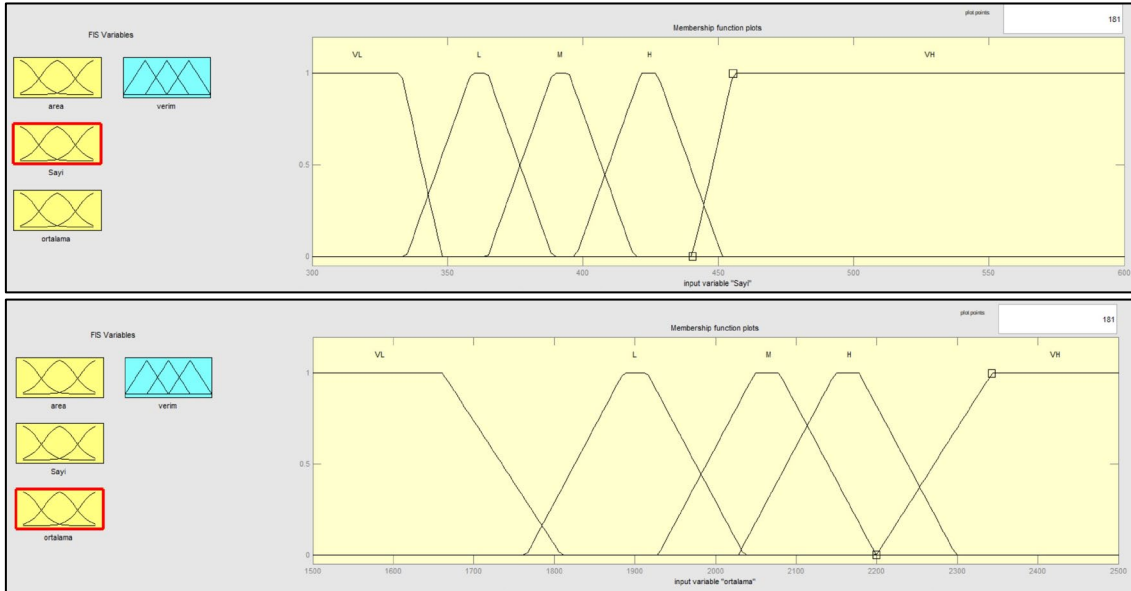
Bulanık sistemlerde genellikle dört temel aşama bulunur. Bunlar; üyelik fonksiyonları (bulanıklaştırma), bulanık kural tabanı, durulaştırma ve bulanık sistem çıktılarıdır. Bulanık çıkarım motoru, bulanık kural tabanındaki tüm bulanık kuralları değerlendirerek giriş verilerini ilgili çıkış verilerine dönüştürür.

Bu çalışmada giriş parametreleri, toplam köpük alanı “area”, köpük sayısı “Sayı” ve ortalama köpük alanı “ortalama” ve çıkış parametresi, % bakır zenginleştirme verimi “verim” parametrelerinden oluşan üyelik fonksiyonları ve

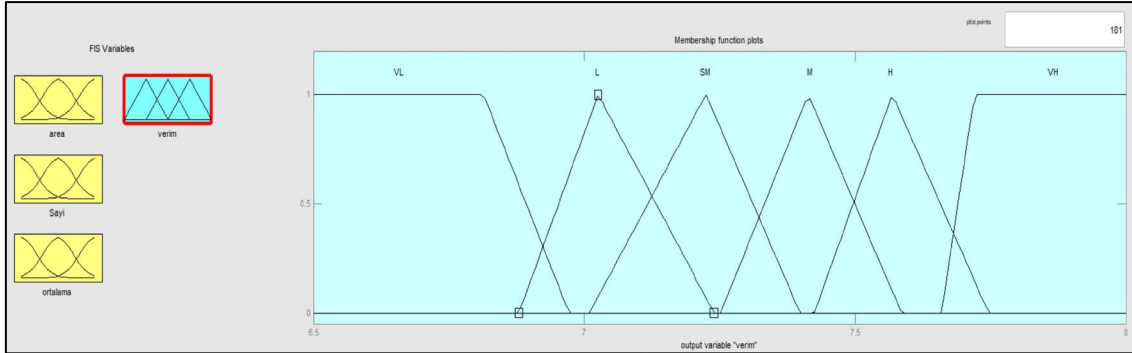
giriş-çıkış ilişkileri tasarımı Şekil 11’de sunulmuştur. Şekil 12 ve 13’de ise en uygun yazılım performansı sağlamak amacıyla giriş ve çıkış değişkenleri için seçilen üçgen ve yamuk fonksiyonları ile tanımlanan üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.



Şekil 11. Giriş ve çıkış parametreleri

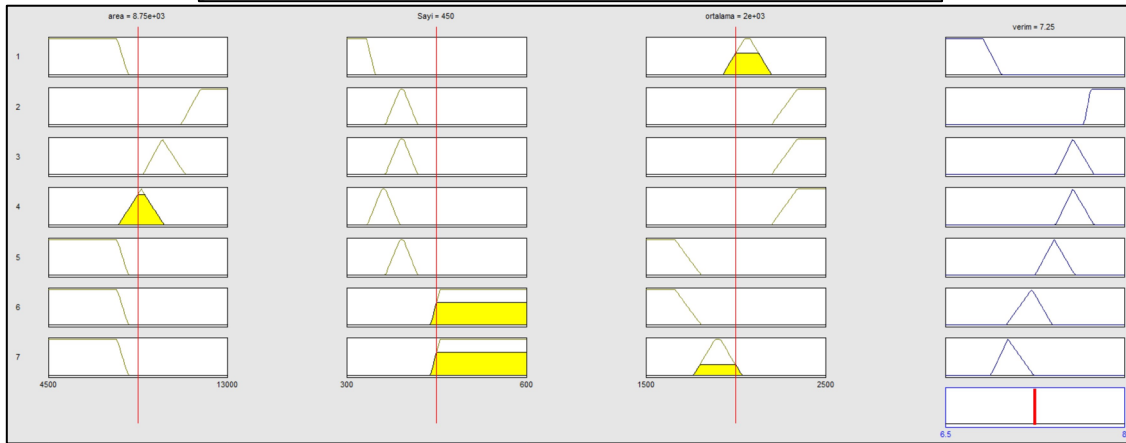


Şekil 12. Giriş parametreleri üyelik fonksiyonları



Şekil 13. Çıkış parametresi üyelik fonksiyonu

1. If (area is VL) and (Sayı is VL) and (ortalama is M) then (verim is VL) (1)
2. If (area is VH) and (Sayı is M) and (ortalama is VH) then (verim is VH) (1)
3. If (area is M) and (Sayı is M) and (ortalama is VH) then (verim is H) (1)
4. If (area is L) and (Sayı is L) and (ortalama is VH) then (verim is H) (1)
5. If (area is VL) and (Sayı is M) and (ortalama is VL) then (verim is M) (1)
6. If (area is VL) and (Sayı is VH) and (ortalama is VL) then (verim is SM) (1)
7. If (area is VL) and (Sayı is VH) and (ortalama is L) then (verim is L) (1)



Şekil 14. Kurallar ve durulaştırma kural ekranı

Durulaştırma basamağında uygulanan kurallar ise Şekil 14'teki kural gösterim ekranında verilmiştir.

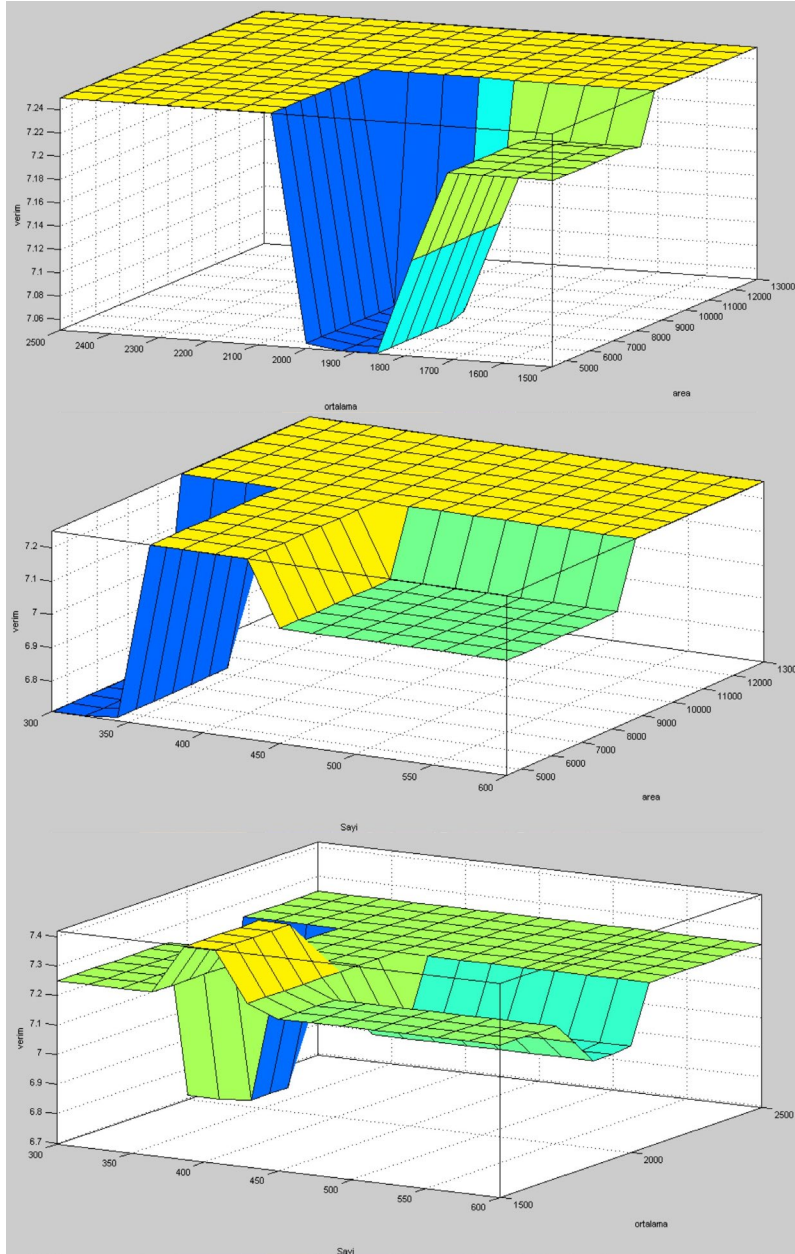
Bulanık kural tabanlı model tasarımı, deneysel veriler kullanılarak "Eğer-İse" kuralları ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada bulanık setleri "çok düşük, düşük, küçük orta, orta, yüksek ve çok yüksek" dil terimleri kullanılarak oluşturulmuştur. Bulanık kurallar oluşturulurken giriş ve çıkış verileri arasındaki muhtemel tüm ilişkiler model tasarımında dikkate alınmıştır. Üyelik fonksiyonları tanımlandıktan sonra kural tabanı

oluşturulmuştur. Kural tabanındaki kurallar, "Eğer X= A ve Y= B İse, Z= C'dir" formatında tanımlanmıştır. Bu çalışmada "Eğer alan Çok Yüksek ve Sayı Çok Yüksek ve Ortalama Orta İse; Verim Çok Düşük'tür" gibi farklı dil terimleriyle tanımlanan 7 kural kullanılmıştır. Modelin geçerli kılınması için deneysel giriş verileri kullanarak çıkış parametrelerinin tahmin edilmesi sağlanmıştır.

Şekil 15'te giriş verileriyle verim yüzdesi çıkış verilerinin model yüzey tahminleri verilmiştir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen 3 farklı flotasyon deney seti verileri kullanılarak bulanık mantık çıkarım sistemi ile flotasyon sisteminin görüntü işleme yöntemiyle modellenmesi sağlanmıştır. Flotasyon deneylerinde ölçülen % bakır tenörü

sonuçlarıyla model ile tahmin edilen değerler Çizelge 5’te sunulmuştur. Ölçülen ve hesaplanan % bakır zenginleştirme tenörü arasındaki korelasyon katsayısı $r = 0,96$ hesaplanmıştır.



Şekil 15. Bulanık mantık çıkarım modelinin verim tahminlerinin Ağırlık merkezini bulma, Sayı-area ve Sayı-ortalama parametreleri için yüzey gösterimi

Çizelge 5. Flotasyon deneylerinde ölçülen % bakır tenörleri ve model ile tahmin edilen bakır tenörleri

Hava Debisi	AAS ile ölçülen % bakır tenörü	Bulanık mantık ile tahmin edilen % bakır tenörü
2 l/dk	6,60	6,70
3 l/dk	7,84	7,85
4 l/dk	7,78	7,58
5 l/dk	7,71	7,58
6 l/dk	7,52	7,25
7 l/dk	7,38	7,21
8 l/dk	7,05	7,05

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda listelenmiştir;

- Bakır içeriği %2,97 olan orijinal numune üzerinde gerçekleştirilen kaba flotasyon deneyleri sonucunda, en yüksek tenörde bakır zenginleştirme 3 l/dk hava akış hızında elde edilen konsantrde gerçekleştirilmiştir.

- Kaba flotasyon deneyleri sonucunda elde edilen (3 l/dk hava akış hızı ile elde edilen) konsantrde kalkopirit miktarı artarken atıkta bu miktar azalmıştır. Kimyasal analiz sonuçlarına göre konsantrde bakır tenörü %7,84 iken bu oran atıkta %0,86 olarak belirlenmiştir.

- 1 l/dk hava akış hızında sağlıklı veriler elde edilememiştir. Hava akış hızı 3 l/dk'dan sonra artırıldığında konsantrdeki bakır tenöründe az da olsa düşüşler meydana gelmiştir.

- Bu çalışmada gerçekleştirilen 3 farklı flotasyon deney seti verileri kullanılarak bulanık mantık çıkarım sistemi ile flotasyon sisteminin görüntü işleme yöntemiyle modellenmesi sağlanmıştır. Flotasyon deneylerinde ölçülen % bakır tenörü sonuçlarıyla model ile tahmin edilen değerler birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Ölçülen ve hesaplanan % bakır zenginleştirme tenörleri

arasındaki korelasyon katsayısı $r = 0,96$ olarak hesaplanmıştır.

- Çalışma sonucunda flotasyon prosesi hava akış hızının optimum seviyede işletimini mümkün kılan görüntü işleme tabanlı bulanık mantık tahmin modeli geliştirilmiştir. Bu modelin flotasyon proseslerinin otomasyonunda kullanılabilecek faydalı bir araç olduğu online veri analizi ve sistem simülasyonu yapılarak gösterilmiştir.

7. TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmayı 2015-MİM-B090 proje numarası ile destekleyen Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine değerli katkılarından dolayı teşekkürlerini sunarlar.

8. KAYNAKLAR

1. Karakoç M., 2012. Görüntü İşleme Teknolojileri ve Uygulamaları. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Ders Notları, İzmir.
2. Shean B.J., Cilliers, J.J., 2011. A Review of Froth Flotation Control. International Journal of Mineral Processing, 100(3), 57-71.
3. Nguyen K.K., Thornton A.J., 1995. The Application of Texture-based Image Analysis Techniques in Froth Flotation. In: Conference Proceedings DICTA-95. Digital Image Computing: Techniques and Applications, Australian Pattern Recognition Society.
4. Moolman, D.W., Aldrich, C., Van Deventer, J.S.J., Bradshaw, D.J., 1995. The Interpretation of Flotation Froth Surfaces By Using Digital Image Analysis and Neural Networks. Chemical Engineering Science 50(22), 3501-3523.
5. Chuk, O.D., Ciribeni, V., Gutierrez, L.V., 2005. Froth Collapse in Column Flotation: a Prevention Method Using Froth Density Estimation and Fuzzy Expert Systems. Minerals Engineering 18(5), 495-504.
6. Moolman, D.W., Eksteen, J.J., Aldrich, C., van Deventer, J.S.J., 1996. The Significance of

- Flotation Froth Appearance for Machine Vision Control. *International Journal of Mineral Processing* 48(3–4), 135–158.
7. Sadr-kazemi, N., Cilliers, J., 1997. An Image Processing Algorithm for Measurement of Flotation Froth Bubble Size and Shape Distributions. *Minerals Engineering* 10(10), 1075–1083.
 8. Bonifazi, G., Serranti, S., Volpe, F., Zuco, R., 2001. Characterisation of Flotation Froth Colour and Structure by Machine Vision. *Computers & Geosciences* 27(9), 1111-1117.
 9. Liu, J.J., MacGregor, J.F., Duchesne, C., Bartolacci, G., 2005. Flotation Froth Monitoring Using Multiresolutional Multivariate Image Analysis. *Minerals Engineering* 18, 65–76.
 10. Ekmekçi, Z., Şahin, A.N., 2006. Köpük Görüntüsü ve Flotasyon Performansı Arasındaki İlişkinin Görüntü Analiz Sistemi ile İncelenmesi. *Madencilik Dergisi*, 45(2), 27-38.
 11. Aldrich, C., Moolman, D.W., Gouws, F.S., Schmitz, G.P.J., 1997. Machine Learning Strategies for Control of Flotation Plants. *Control Engineering Practice* 5(2), 263–269.
 12. Miskoviç, S., 2011. An Investigation of the Gas Dispersion Properties of Mechanical Flotation Cells: An in-situ Approach. Doctor of Philosophy, Mining and Minerals Engineering, Virginia Polytechnic Institute, State Uni., 183.
 13. Altaş, V.M., 2007. Sondaj Köpükleri Özniteliklerinin Görüntü İşleme Teknikleri ile Çıkarımı ve Yapay Sinir Ağları Kullanarak Veri Analizi. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 109.

1-Benzil-3-Metilimidazolyum Hekzaflorofosfat'ın Asidik Ortamda C1010 Çeliğin Korozyonuna Etkisi

Gökmen SİĞİRCİK*¹

¹Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 16.10.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Bu çalışmada, C1010 çeliğin 1 M HCl çözeltisindeki korozyonuna 1-benzil-3-metilimidazolyum hekzaflorofosfat'ın inhibisyon etkinliği çalışılmıştır. Elektrokimyasal impedans spektroskopisi (EIS) ve potansiyodinamik polarizasyon teknikleri kullanılmıştır. Potansiyodinamik polarizasyon sonuçları, anodik ve katodik akım yoğunluklarının inhibitör derişiminin artması ile azaldığını göstermiştir. EIS ölçümlerinden ise artan sıcaklıklarda dahi inhibisyon etkinliklerinin halen yüksek olduğu belirlenmiştir. İnhibitörün metal üzerindeki adsorpsiyon davranışı, Langmiur adsorpsiyon izotermine uymaktadır. Elde edilen tüm sonuçlar, kullanılan inhibitörün C1010 çeliğin asidik ortamdaki korozyonu üzerine %83,5 inhibisyon etkinliğine sahip olduğu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Korozyon, C1010 çeliği, 1-benzil-3-metilimidazolyum hekzaflorofosfat

The Influence of 1-Benzyl-3-Methylimidazolium Hexafluorophosphate on Corrosion of C1010 Steel in Acidic Medium

Abstract

In present study, inhibition efficiency of 1-benzyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate was examined in 1 M HCl solution on corrosion of C1010 steel. Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and potentiodynamic polarization methods were realized. Potentiodynamic polarization results revealed that anodic and cathodic current densities were reduced with increase of inhibitor concentration. It was also determined from EIS measurements inhibition efficiencies were still high even increased temperatures. Adsorption behavior of inhibitor on steel obeyed Langmuir adsorption isotherm. The obtained all results demonstrated that used inhibitor had 83.5% inhibition efficiency on corrosion of C1010 steel in acidic medium.

Keywords: Corrosion, C1010 Steel, 1-Benzyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Gökmen SİĞİRCİK, gsigircik@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Çelik alaşımları sahip oldukları fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle endüstri ve inşaat sektöründe büyük öneme sahiptirler. C1010 yapı ve makine parçalarında kullanılan önemli bir çelik alaşımıdır. Bu tür metalik malzemeler, endüstriyel uygulamalar öncesinde, yüzey temizleme işlemi sırasında asidik çözeltilere maruz kalmaktadırlar [1-3]. Bu durum, metalik yapıların korozyona uğramasına ve bunun sonucunda işlevselliğini yitirmesine neden olmaktadır. Yüzey temizleme işlemleri sırasında asit kullanımı kaçınılmaz olduğundan, korozyon inhibitörü kullanılması gereklidir. İnhibitörler, metal yüzeyine etkili bir biçimde adsorplanması sonucunda, metalin ortamda bulunan korozif türler ile etkileşimini azaltırlar. Korozyon inhibitörü olarak seçilen maddelerin molekül yapısı ve boyutu gösterecekleri inhibisyon etkinliği için büyük öneme sahiptir. Sergiledikleri güçlü adsorpsiyon davranışı nedeniyle yapısında kükürt, oksijen, azot gibi atomları, aromatik halka, ikili ve üçlü bağları içeren organik yapılar yüksek inhibisyon özelliği göstermektedirler [4-6]. İnhibitörlerin, metal yüzeyinde fiziksel ve/veya kimyasal adsorpsiyonu sonucunda koruyucu bir adsorpsiyon tabakası meydana gelir ve böylece korozif ortam ile etkileşimleri azalır.

Bu çalışmada, 1-benzil-3-metilimidazolyum hekzaflorofosfat bileşiğinin, korozyon inhibitörü olarak 1 M HCl çözeltisindeki etkinliği araştırılmıştır. Yapısında, hem katyonik hem de anyonik gruplar içeren bu bileşik elektronca zengin N atomu, imidazolyum halkası, aromatik benzil grubu ve hidrofobik hekzaflorofosfat anyonu itibarıyla korozyona karşı potansiyel bir inhibitördür. Adsorpsiyonu sağlayacak fonksiyonel grupların yanı sıra, yüzeyde adsorplandıktan sonra hidrofobik bir üst yüzey davranışı sergilemesi de beklenmektedir. İnhibisyon etkinliği potansiyodinamik polarizasyon ve elektrokimyasal impedans spektroskopisi ölçümleri yardımıyla çalışılmıştır. Elektrokimyasal ölçüm sonuçlarından, C1010 çeliğın asidik ortamdaki korozyonu için 1-benzil-3-metilimidazolyum hekzaflorofosfat yapısının, inhibitör etkisine sahip olduğu belirlenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İmidazolyum ve türevi yapılar metallerin korozyon olayına karşı korunmasında yaygın olarak çalışılmaktadırlar [7-10]. Yapıda bulunan iki tane N atomu, molekülün metal yüzeyine adsorpsiyonu için büyük önem taşımaktadır. Guo ve arkadaşları [7], yumuşak çeliğın 1 M HCl içindeki korozyonuna hidrofobik anyona sahip 1-hidroksietil-3-metilimidazolyum hekzaflorofosfat ($[(\text{HOC}_2)\text{MIm}]\text{PF}_6$) ve 1-hidroksietil-3-metilimidazolyum bis(triflorometilsülfonil)imid ($[(\text{HOC}_2)\text{MIm}]\text{NTF}_2$) yapılarının inhibisyon etkisini çalışmışlardır. Elektrokimyasal ölçüm ve taramalı elektron mikroskobu sonuçları ($[(\text{HOC}_2)\text{MIm}]\text{PF}_6$) yapısının daha yüksek inhibisyon etkinliğine sahip olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, elektrokimyasal impedans spektroskopisi ölçümlerinden ($[(\text{HOC}_2)\text{MIm}]\text{PF}_6$) ve ($[(\text{HOC}_2)\text{MIm}]\text{NTF}_2$) yapılarının inhibisyon etkinlikleri sırasıyla %75,13 ve %61,73 olarak belirlenmiştir. Termodinamik parametrelerden her iki inhibitörün de metal yüzeyine adsorpsiyonunun fiziksel olduğunu söylemişlerdir.

Murulona ve arkadaşları [8], 1-propil-3-metilimidazolyum bis(triflorometilsülfonil)imid, 1-bütül-3-metilimidazolyum bis(triflorometilsülfonil)imid, 1-hekzil-3-metilimidazolyum bis(triflorometilsülfonil)imid, ve 1-propil-2,3-metilimidazolyum bis(triflorometilsülfonil)imid olmak üzere dört farklı iyonik sıvının, 1 M HCl içinde yumuşak çeliğın korozyonuna inhibisyon etkisini çalışmışlardır. Elektrokimyasal olan ve elektrokimyasal olmayan teknikler kullanılmıştır. Potansiyodinamik polarizasyon sonuçları, kullanılan inhibitörlerin tamamının karma tip inhibitör olduğunu göstermiştir. Elektrokimyasal impedans spektroskopisi sonuçlarından, yukarıda verilen isim sırasına göre 500 ppm inhibitör varlığında inhibisyon etkinlikleri %69,9, %72,2, %78,0, %89,9 olarak belirlenmiştir. İnhibitörlerin adsorpsiyonunun metal yüzeyine, Langmuir adsorpsiyon izotermine göre olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, imidazolyum katyonundaki alkil zincirinin veya dallanmanın artmasıyla inhibisyon etkinliğinin arttığını söylemişlerdir.

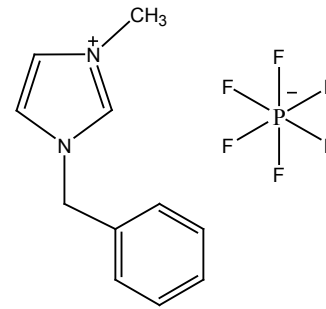
Ashassi-Sorkhabi ve arkadaşları [9] 1-bütül-3-metilimidazolyum bromid [BMIM]Br yapısının, yumuşak çeliğin 1 M HCl ortamındaki korozyonuna inhibisyon davranışını çalışmışlardır. Elektrokimyasal impedans spektroskopisi ölçümlerinden 10 mM [BMIM]Br varlığında inhibisyon etkinliği %80 olarak belirlenmiştir. Aynı derişimde potansiyodinamik polarizasyon sonuçlarından ise bu değer %82 olarak hesaplanmış ve inhibitörün karma tip inhibitör olduğu görülmüştür. Artan inhibitör derişimi ile birlikte inhibisyon etkinliği artmıştır. Yumuşak çelik üzerindeki inhibitörün adsorpsiyonu Langmuir izotermine uyduğu söylenmiştir.

Kowsari ve arkadaşları [10] 1-metil-3-(2-{2-(1-metil-1-H-imidazol-3-yum-3-il)etoksi}etoksi)-etil-1H-imidazol-3-yum diklorid (TSIL) yapısının çelik üzerine 1 M HCl çözeltisindeki inhibisyon etkinliğini çalışmışlardır. İnhibisyon etkinliğini, elektrokimyasal ve elektrokimyasal olmayan yöntemler kullanarak araştırmışlardır. Elektrokimyasal impedans spektroskopisi ölçümlerinden, TSIL içeren çözeltide en yüksek inhibisyon etkinliği %78,9 olarak hesaplanmıştır. İnhibitörün çelik yüzeyine adsorpsiyonunun hem fiziksel hem de kimyasal olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, inhibitörün çeliğin korozyonuna karşı asidik ortamda iyi bir inhibisyon etkinliğine sahip olduğunu söylemişlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

C1010 çeliği çalışma elektrotu olarak kullanılmıştır. Çeliğin kimyasal bileşimi (%); C (0,07-0,13), Mn (0,30-0,60), Si (0,40), S (0,045), P (0,045) ve geriye kalan kısmı Fe' dir. Çalışma elektrotlarının yüzeyi farklı kalınlıklardaki zımpara kağıtları (100-600 ve 1200 grid) ile parlatılmıştır. İnhibitör olarak 1-benzil-3-metilimidazolyum hekzaflorofosfat (BMIH) kullanılmıştır. Şekil 1'de inhibitörün açık yapısı verilmiştir. Değişik derişimlerde (0,5, 1, 5 ve 10 mM) olan inhibitör çözeltileri hazırlanmıştır. 1 M HCl çözeltisi, %37'lik HCl çözeltisi kullanılarak hazırlanmıştır. Elektrokimyasal ölçümler üç elektrot tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Burada, C1010 çalışma elektrotu, platin ve Ag/AgCl ise sırasıyla karşı ve referans elektrotlardır. C1010 çeliğin,

inhibitör içermeyen ve içeren ortamdaki korozyon davranışı, potansiyodinamik polarizasyon ve elektrokimyasal impedans spektroskopisi ölçümleri ile incelenmiştir. EIS tekniği açık devre potansiyelinde olmak üzere, frekans aralığı 10^5 Hz - 10^{-2} Hz ve uygulanan genlik 5 mV olacak şekilde yapılmıştır. Potansiyodinamik polarizasyon çalışmaları, ayrı ayrı yeni zımparalanmış elektrotta ve taze çözeltide açık devre potansiyelinden -1,0 V katodik tarafa ve açık devre potansiyelinden 0,0 V anodik yöne tarama hızı $1,0 \text{ mV s}^{-1}$ olacak biçimde yapılmıştır. Ayrıca, 1 M HCl çözeltisinde inhibitörsüz ve 10 mM inhibitör içeren ortamda 1 gün bekletilen C1010 örneklerin yüzeyleri, sıvı temas açısı ölçüm cihazı (KSV Attension ThetaLite TL 101) kullanılarak analiz edilmiştir.



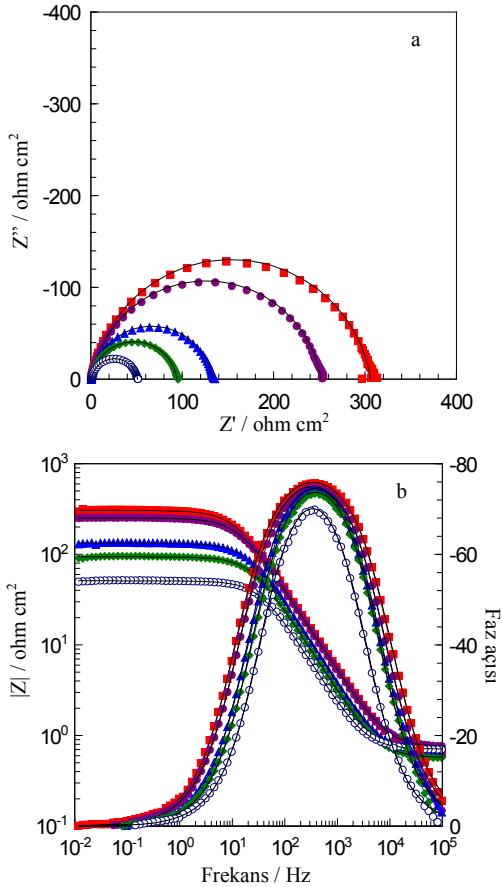
Şekil 1. 1-benzil-3-metilimidazolyum hekzaflorofosfat

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopisi

Metalik malzemelerin korozif ortamda nasıl bir davranış sergileyeceğini belirlemek için yapılan EIS çalışmaları Şekil 2'de verilmiştir. Her iki farklı koşul için tek bir kapasitif bölge olduğu Nyquist eğrilerinden açıkça görülmektedir. Meydana gelen tek kapasitif bölge, C1010 çeliğin asidik ortamdaki korozyonunun yük transferi kontrolünde gerçekleşmesinin bir sonucudur [11]. EIS tekniği, polarizasyon direncinin (R_p) belirlenmesinde kullanılan güvenilir yöntemlerden biridir. Nyquist eğrisinden belirlenen polarizasyon direnci, hem metal/çözelti ara yüzeyindeki yük transferine hem de difüz tabakaya karşılık gelen dirençlerin toplamıdır. Şekil 2'de görülmekte olduğu gibi inhibitörsüz ve inhibitörlü ortamda Nyquist eğrilerinin görünümü benzer olmakla

birlikte inhibitör içeren ortamda R_p değerleri önemli oranda artmıştır. Bu durum, inhibitörün metal yüzeyine adsorpsiyonu sonucunda, açık yüzeylerin korozif ortam ile etkileşiminin azalması ile ilişkilidir [12].



Şekil 2. C1010 elektrotun 1 M HCl çözeltisinde (○) ve farklı derişimlerde BMIH içeren ortamlarda 0,5 mM (◆), 1 mM (▲), 5 mM (●) ve 10 mM (■) elde edilen Nyquist (a) ve Bode (b) eğrileri, fit sonucu (—)

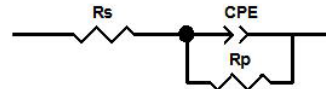
Bununla birlikte, artan inhibitör derişimi ile birlikte yüzeye adsorplanan inhibitör sayısının artmasına bağlı olarak korozyon hızı giderek azalmıştır. Bode eğrilerinden tek bir kapasitif bölge meydana geldiği de Şekil 2'den açıkça görülmektedir. Faz açısı değerleri, en yüksek derişimdeki inhibitör çözeltisinden inhibitörsüz ortama doğru sırasıyla 75,7°, 74,7°, 74,2°, 73,4° ve

69,9° olarak belirlenmiştir. Artan inhibitör derişimi ile birlikte faz açıları da artmıştır. Faz açılarında meydana gelen bu artış, inhibitörün elektrot yüzeyine adsorpsiyonu sonucu ara yüzeyin kapasitör davranışı üzerinde yol açtığı değişiklik ile ilişkilidir.

Şekil 3'de metal/çözelti ara yüzeyinin fit edilmesi ve modellenmesi için kullanılan elektriksel eşdeğer devre modeline verilmektedir. Bu devre modelinde, sırasıyla R_s ve R_p çözelti ve polarizasyon dirençlerini ifade etmektedir. Burada verilen CPE de sabit faz elemanı olarak adlandırılmaktadır. Gerçek bir korozyon olayında, metal/çözelti ara yüzeyi tam olarak ideal bir kapasitör özelliği göstermediğinden, modelde kapasitans (C) yerine CPE kullanılmıştır. CPE impedansı aşağıda verilen eşitlik ile tanımlanmaktadır [13] (Eşitlik 1).

$$Z_{CPE}=[Y_o(jw)^n]^{-1} \quad (1)$$

Bu eşitlikte, Y_o orantı katsayısı, w açısal frekans, $j^2=-1$ sanal sayı ve yüzey heterojenliğinin derecesi olan n ise faz kayması olarak tanımlanmaktadır. CPE ile birlikte metal/çözelti ara yüzeyine karşılık gelen kapasitans (C_{dl}) değerleri de hesaplanmış [14] ve Çizelge 1'de özetlenmiştir.



Şekil 3. Metal/çözelti ara yüzeyinin fit edilmesi ve modellenmesindeki elektriksel eşdeğer devre

Yüzde inhibisyon etkinlik (% İE) değerleri aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır. Burada, sırasıyla R_p' ve R_p inhibitör içeren ve içermeyen çözeltilerde Nyquist eğrilerinden belirlenen polarizasyon dirençleridir (Eşitlik 2).

$$\%İE=\left(\frac{R_p-R_p'}{R_p}\right) \times 100 \quad (2)$$

Çizelge 1'den görüldüğü gibi inhibitörsüz ortamda polarizasyon direncinin $50,4 \Omega \text{ cm}^2$ olduğu görülmektedir. R_p değerleri, inhibitör derişimi ile artmaktadır. İnhibitör, metal yüzeyine adsorplanarak yüzeyde koruyucu bir adsorpsiyon

tabakası meydana getirmiştir. 10 mM BMIH içeren ortamda R_p ise $305,5 \Omega \text{ cm}^2$ olarak belirlenmiştir. İnhibitörün yüzeye adsorplanmasına bağlı olarak elektriksel çift tabakanın değişmesi sonucunda, C_{dl} değerleri azalmıştır. İnhibitör derişiminin artması ile metal/çözeltili ara yüzeyinde adsorplanan inhibitör, korozif ortamla metalin doğrudan etkileşen yüzey alanını azaltmaktadır. Elektriksel

çift tabakada meydana gelen bu değişiklik ara yüzeyde heterojenliğe yol açtığından n değerleri de değişmektedir. Çizelge 1' de deneysel sonuç ile kullanılan eşdeğer devre arasındaki ilişkiye ait ki-kare değerleri verilmiştir. EIS tekniğiyle, 1 M HCl çözeltisinde inhibitörlü ortamda C1010 çeliğin korozyon hızının azaldığı sonucuna varılmıştır.

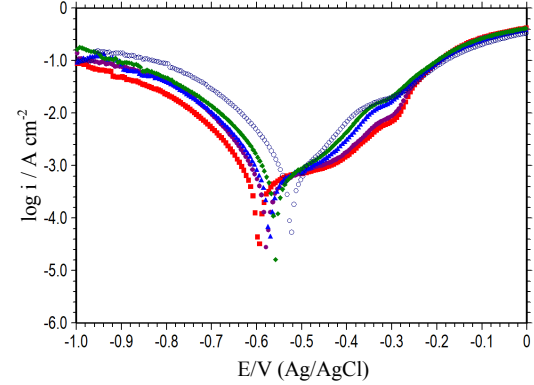
Çizelge 1. C1010 çeliğin inhibitör içermeyen ve içeren 1 M HCl çözeltisinde EIS ölçümlerinden bulunan parametreler

C_{inh} (mM)	R_p ($\Omega \text{ cm}^2$)	CPE Y_o ($\times 10^6 \text{ s}^n \Omega^{-1} \text{ cm}^{-2}$)	n	ki-kare değeri	C_{dl} ($\times 10^6 \text{ s} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-2}$)	% İE
0	50,4	139,2	0,93	$2,9 \times 10^{-3}$	95,0	-
0,5	93,6	108,9	0,92	$3,4 \times 10^{-3}$	72,5	46,2
1	132,4	91,1	0,91	$2,1 \times 10^{-3}$	58,7	61,9
5	251,1	73,6	0,90	$0,97 \times 10^{-3}$	46,9	79,9
10	305,5	69,6	0,90	$0,98 \times 10^{-3}$	45,2	83,5

4.2. Potansiyodinamik Polarizasyon Tekniği

C1010 çeliğin inhibitör içermeyen ve içeren asidik çözeltide alınan potansiyodinamik polarizasyon sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. C1010 çeliğin inhibitörsüz durumda akım değerlerinin, inhibitörlü ortama kıyasla yüksek olduğu belirlenmiştir. Anodik tarama sırasında, yüksek BMIH derişimlerinde belli bir potansiyel aralığında akım değerlerinde önemli bir değişim gözlenmemiştir. İnhibitör derişiminin artması ile birlikte katodik ve anodik akım yoğunluklarının düştüğü de Şekil 4'ten görülmektedir. Tafel bölgeleri doğrusal olmadığından, katodik bölgede $-0,650 \text{ V}$ potansiyeli seçilmiş olup, akım yoğunlukları karşılaştırılmıştır. İnhibitörsüz ve 10 mM inhibitör içeren çözeltide sırasıyla $13,5 \text{ mA cm}^{-2}$ ve $1,67 \text{ mA cm}^{-2}$ olarak belirlenmiştir. Anodik bölgede seçilen $-0,380 \text{ V}$ potansiyelde ise inhibitörsüz ve 10 mM inhibitör içeren çözeltide akım yoğunlukları sırasıyla $9,88 \text{ mA cm}^{-2}$ ve $2,12 \text{ mA cm}^{-2}$ 'dir. Bu verilerden, inhibitör adsorpsiyon tabakasının hem katodik hem de anodik reaksiyonları yavaşlattığı görülmüştür [15]. Diğer yandan, anodik tarama sırasında yaklaşık $-0,36 \text{ V}$ değerinden itibaren metal yüzeyinde artan desorpsiyon ve daha yüksek derişimli klorür iyonlarının yarışmalı

adsorpsiyonda avantajlı duruma geçmesine bağlı olarak akım değerleri artmıştır.



Şekil 4. C1010 çeliğin 1 M HCl çözeltisinde (○) ve farklı derişimlerde BMIH içeren ortamlarda 0,5 mM (◆), 1 mM (▲), 5 mM (●) ve 10 mM (■) elde edilen potansiyodinamik polarizasyon eğrileri

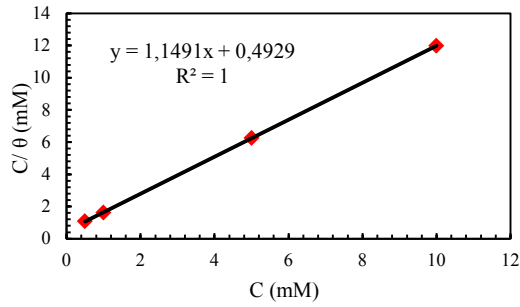
4.3. Adsorpsiyon İzotermi ve Termodinamik Parametreler

Metal yüzeyi ile inhibitör arasında meydana gelen etkileşimin ve adsorpsiyon türünün belirlenmesinde adsorpsiyon izotermi oldukça önemlidir. C1010

çelik yüzeyine inhibitörün adsorpsiyonunun belirlenmesi için adsorpsiyon izotermi uygulanmış ve Langmuir adsorpsiyon izotermi daha uygun olduğu belirlenmiştir. Langmuir izotermi aşağıda verilen Eşitlik 3 ile tanımlanmaktadır [16].

$$\frac{C_{inh}}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + C_{inh} \quad (3)$$

Bu eşitlikte, inhibitör derişimi C_{inh} , yüzey kaplanma kesri θ ve adsorpsiyon-desorpsiyon süreci için adsorpsiyon denge sabiti de K_{ads} ile ifade edilmektedir. Yüzey kaplanma kesirleri inhibisyon etkinliklerinden belirlenmiştir. Eşitlik 3 kullanılarak, Şekil 5' teki grafikten K_{ads} değeri $2,03 \times 10^3 M^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Genel olarak bu değerin büyüklüğü, metal yüzeyine inhibitörün ne derece güçlü adsorplandığının bir göstergesidir.



Şekil 5. C1010 çeliğin farklı derişimlerde BMIH içeren 1 M HCl çözeltisindeki Langmuir adsorpsiyon izotermi

Adsorpsiyon standart serbest enerjisi (ΔG_{ads}^0) de Eşitlik 4 kullanılarak hesaplanmıştır.

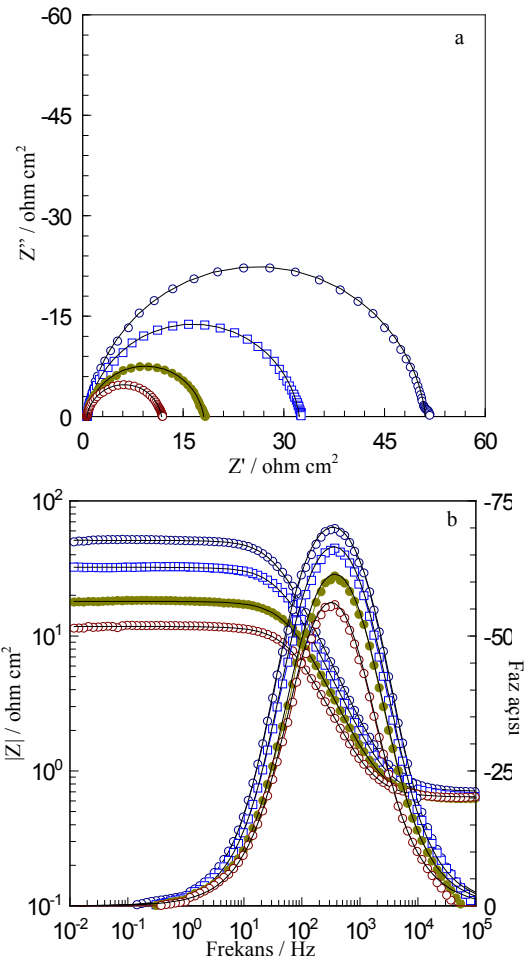
$$\Delta G_{ads}^0 = -RT \ln(55,5 K_{ads}) \quad (4)$$

ΔG_{ads}^0 değeri $-28,8 \text{ kJ mol}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Bu değerin büyüklüğü, metal yüzeyi ile inhibitör arasında meydana gelen etkileşimin daha çok fiziksel adsorpsiyonun bir sonucu olduğunu göstermektedir [17].

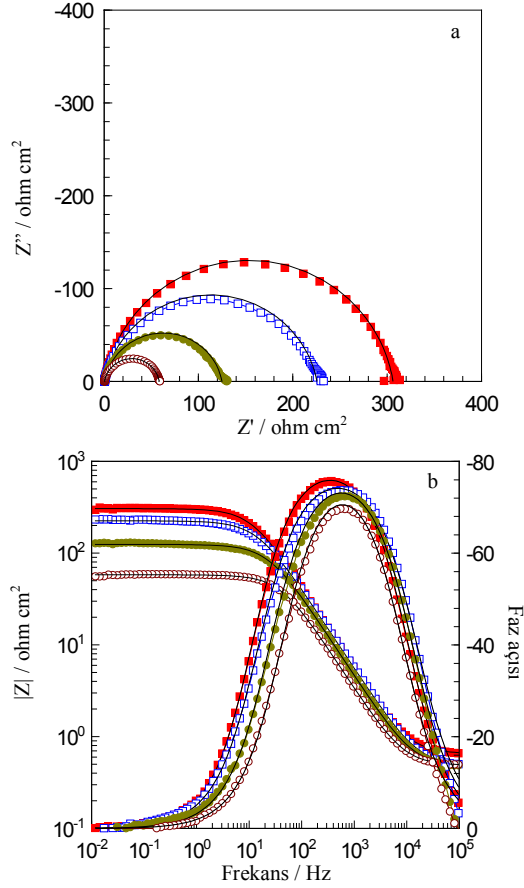
4.4. Sıcaklık Etkisi

C1010 çeliğin inhibisyonuna sıcaklığın etkisini araştırmak için farklı sıcaklıklarda (25-55 °C)

elektrokimyasal impedans spektroskopisi ölçümleri yapılmıştır. C1010 çeliğin 1 M HCl çözeltisinde inhibitörsüz ve 10 mM BMIH içinde belirlenen Nyquist ve Bode diyagramları sırasıyla Şekil 6 ve 7'de verilmektedir. Farklı sıcaklıklarda alınan Nyquist ve Bode eğrilerinden, inhibitörsüz ve inhibitörlü durumlarda tek bir kapasitif bölge olduğu açıkça görülmektedir. Nyquist eğrileri incelendiğinde, artan sıcaklıkla birlikte inhibitörün metal yüzeyinden ayrılmasına bağlı olarak polarizasyon direnci değerlerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 6. C1010 çeliğin farklı sıcaklıklarda 1M HCl çözeltisinde elde edilen Nyquist (a) ve Bode (b) eğrileri; 25 (○), 35 (□), 45 (●) ve 55 °C (◊), fit sonucu (-)



Şekil 7. C1010 çeliğin farklı sıcaklıklarda 1M HCl çözeltisinde 10 mM BMIH içeren koşuldaki Nyquist (a) ve Bode (b) eğrileri; 25 (■), 35 (□), 45 (●) ve 55 °C (○), fit sonucu (—)

Çizelge 2. C1010 çeliğin 1 M HCl çözeltisinde ve 10 mM BMIH içeren ortamda farklı sıcaklıklarda EIS sonuçlarından belirlenen parametreler

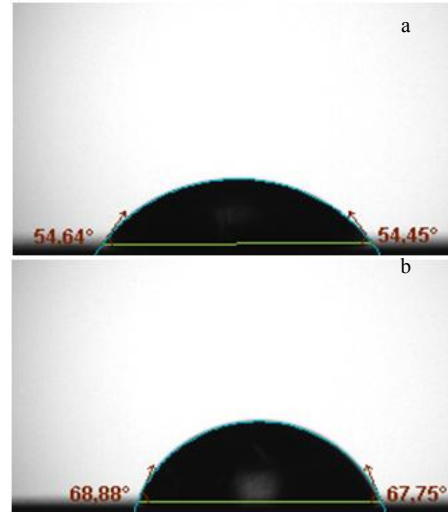
T (°C)	R _p (Ω cm ²)		% İE
	inhibitörsüz	BMIH	
25	50,4	305,5	83,5
35	31,6	225,1	86,0
45	17,4	124,4	86,0
55	11,1	57,9	80,8

Çizelge 2’de, Nyquist eğrileri kullanılarak belirlenen polarizasyon dirençleri ve yüzde

inhibisyon etkinlikleri görülmektedir. İnhibitörsüz ve inhibitörlü ortamlarda 45 °C sıcaklıkta polarizasyon direnci değerleri sırasıyla 17,4 Ω cm² ve 124,4 Ω cm² olarak belirlenmiştir. Bu sıcaklıkta yüzde inhibisyon etkinliği ise %86,0 olarak hesaplanmıştır. En yüksek sıcaklık olan 55 °C’de dahi inhibisyon etkinliğinin %80 dolaylarında olduğu görülmüştür.

4.5. Temas Açısı Ölçümü

Metal yüzeyine adsorplanan inhibitörün oluşturduğu tabakanın hidrofob/hidrofil karakterini belirlemek için sıvı temas açısı ölçümü yapılmıştır. 1 M HCl çözeltisinde inhibitörsüz ve inhibitörlü ortamlarda bekletilen metal yüzeylerinde elde edilen temas açısı görüntüleri Şekil 8’de verilmiştir. İnhibitörsüz koşullarda temas açısı 54° iken inhibitörlü yüzey için bu değer 68° dolaylarında ölçülmüştür. İnhibitör içermeyen ortamda temas açısının daha düşük olması yüzeyde bulunan ve koruyucu özelliği olmayan hidrofilik korozyon ürünleri ile ilişkilidir [18]. Temas açısının inhibitör varlığında daha yüksek olması, BMIH yapısında bulunan hidrofobik hekzaflorofosfat anyonu kaynaklı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 8. C1010 elektrotun 1 M HCl çözeltisinde (a) ve 10 mM BMIH içeren (b) ortamda 1 gün bekletildikten sonra elde edilen temas açısı görüntüleri

5. SONUÇLAR

Elde edilen tüm bulgular doğrultusunda şu sonuçlara ulaşılmıştır. EIS sonuçlarından, artan inhibitör derişimi ile beraber polarizasyon direnci değerlerinin arttığı ve bunun sonucunda korozyon hızının düştüğü görülmüştür. Asidik ortama inhibitör ilavesiyle birlikte katodik ve anodik reaksiyon hızlarının önemli ölçüde azaldığı potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinden görülmüştür. İnhibitörün çalışılan yüksek sıcaklıklarda halen iyi bir inhibisyon etkinliğine sahip olduğu EIS ölçümlerinden görülmüştür. İnhibitörün C1010 yüzeyine adsorpsiyonunun Langmiur adsorpsiyon izoterminde uyduğu belirlenmiştir. Termodinamik parametrelerden, inhibitörün metal yüzeyine adsorpsiyonunun hem fiziksel hem de kimyasal olduğu görülmüştür. Tüm bu sonuçlardan, 1-benzil-3-metilimidazolyum hekzaflorofosfat'ın 1 M HCl çözeltisindeki C1010 çeliğin korozyonu için etkili bir inhibisyon etkinliği sergilediği açıkça görülmüştür.

6. TEŞEKKÜR

Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR

1. Ahamad, I., Prasad, R., Quraishi, M.A., 2010. Thermodynamic, Electrochemical and Quantum Chemical Investigation of Some Schiff Bases as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in Hydrochloric Acid Solutions, *Corrosion Science* 52, 933-942.
2. Zhang, G.A., Hou, X.M., Hou, B.S., Liu, H.F., 2019. Benzimidazole Derivatives as Novel Inhibitors for the Corrosion of Mild Steel in Acidic Solution: Experimental and theoretical studies, *Journal of Molecular Liquids* 278, 413-427.
3. Vengatesh, G., Sundaravadivelu, M., 2019. Non-toxic Bisacodyl as an Effective Corrosion Inhibitor for Mild Steel in 1 M HCl: Thermodynamic, Electrochemical, SEM, EDX, AFM, FT-IR, DFT and Molecular Dynamics Simulation Studies, *Journal of Molecular Liquids* 287, 110906.
4. Ma, X., Jiang, X., Xia, S., Shan, M., Li, X., Yu, L., Tang, Q., 2016. New Corrosion Inhibitor Acrylamide Methyl Ether for Mild Steel in 1 M HCl, *Applied Surface Science* 371, 248-257.
5. Ramya, K., Mohan, R., Anupama, K.K., Joseph, A., 2015. Electrochemical and Theoretical Studies on the Synergistic Interaction and Corrosion Inhibition of Alkyl Benzimidazoles and Thiosemicarbazide Pair on Mild Steel in Hydrochloric Acid, *Materials Chemistry and Physics* 149-150, 632-647.
6. Li, X., Xie, X., Deng, S., Du, G., 2014. Two Phenylpyrimidine Derivatives as New Corrosion Inhibitors for Cold Rolled Steel in Hydrochloric Acid Solution, *Corrosion Science* 87, 27-39.
7. Guo, Y., Chen, Z., Zuo, Y., Chen, Y., Yang, W., Xu, B., 2018. Ionic Liquids With Two Typical Hydrophobic Anions as Acidic Corrosion Inhibitors, *Journal of Molecular Liquids* 269, 886-895.
8. Murulana, L.C., Singh, A.K., Shukla, S.K., Kabanda, M.M., Ebenso, E.E., 2012. Experimental and Quantum Chemical Studies of Some Bis(trifluoromethyl-sulfonyl) Imide Imidazolium-Based Ionic Liquids as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in Hydrochloric Acid Solution, *Ind. Eng. Chem. Res.* 51, 13282-13299.
9. Ashassi-Sorkhabi, H., Es'haghi, M., 2009. Corrosion Inhibition of Mild Steel in Acidic Media by [BMIm] Br Ionic liquid, *Materials Chemistry and Physics* 114, 267-271.
10. Kowsari, E., Payami, M., Amini, R., Ramezanzadeh, B., Javanbakht, M., 2014. Task-specific Ionic Liquid as a New Green Inhibitor of Mild Steel Corrosion, *Applied Surface Science* 289, 478-486.
11. Singh, D.K., Ebenso, E.E., Singh, M.K., Behera, D., Udayabhanu, G., John, R.P., 2018. Non-toxic Schiff Bases as Efficient Corrosion Inhibitors for Mild Steel in 1 M HCl: Electrochemical, AFM, FE-SEM and Theoretical Studies, *Journal of Molecular Liquids* 250, 88-99.
12. He, X., Mao, J., Ma, Q., Tang, Y., 2018. Corrosion Inhibition of Perimidine Derivatives

- for Mild Steel in Acidic Media: Electrochemical and Computational Studies, *Journal of Molecular Liquids* 269, 260-268.
13. Chen, W., Luo, H.Q., Li, N.B., 2011. Inhibition Effects of 2,5-dimercapto-1,3,4-thiadiazole on the Corrosion of Mild Steel in Sulphuric Acid Solution, *Corrosion Science* 53, 3356-3365.
 14. Hsu, C.H., Mansfeld, F., 2001. Technical Note: Concerning the Conversion of the Constant Phase Element Parameter Y_0 Into a Capacitance, *Corrosion Science* 57, 747-748.
 15. Fernandes, C.M., Alvarez, L.X., Escarpini dos Santos, N., Barrios, A.C.M., Ponzio, E.A., 2019. Green Synthesis of 1-benzyl-4-phenyl-1H-1,2,3-triazole, its Application as Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Acidic Medium and New Approach of Classical Electrochemical Analyses, *Corrosion Science* 149, 185-194.
 16. Bockris, J.O'M., Reddy, A.K.N., Gamboa-Aldeco, M., 2000. *Modern Electrochemistry (Second Edition)*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
 17. Qiang, Y., Zhang, S., Tan, B., Chen, S., 2018. Evaluation of Ginkgo Leaf Extract as an Eco-friendly Corrosion Inhibitor of X70 Steel in HCl Solution, *Corrosion Science* 133, 6-16.
 18. Murmu, M., Saha, S.Kr., Murmu, N.C., Banerjee, P., 2019. Effect of Stereochemical Conformation into the Corrosion Inhibitive Behaviour of Double Azomethine Based Schiff Bases on Mild Steel Surface in 1 mol L⁻¹ HCl Medium: An Experimental, Density Functional Theory and Molecular Dynamics Simulation Study, *Corrosion Science* 146, 134-151.

Sulu Çözeltilerden Fosfor Gideriminde Demir ile Kaplanmış Aktif Karbonun Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Hasan Kıvanç YEŞİLTAŞ¹, Turan YILMAZ^{*1}

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

Geliş tarihi: 13.07.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Fosfor canlılar için temel bir nütrient olmasının yanı sıra sucul ortamlarda çok düşük konsantrasyonlarda ötrofikasyon adı verilen çevresel bir probleme sebep olmaktadır. Bu araştırmada ticari olarak satışı olan aktif karbon malzemesi demir ile kaplanarak sentezlenen yeni malzeme (DKK) ile fosfor giderimi araştırılmıştır. Yapılan laboratuvar çalışmaları sonucunda DKK'nın sulu çözeltilerde fosfor gideriminde işlevsel olarak kullanılabilceği anlaşılmıştır. Ayrıca malzemenin fosfor tutma kapasitesinin 4,26 mg PO₄³⁻/g DKK olduğu tespit edilmiştir. Adsorpsiyonun Langmuir matematiksel modeline uyduğu ve üretim için uygun şartların sağlanması ile birlikte ticari olarak üretiminin gerçekleştirilerek fosfor gideriminde uygun olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fosfor giderimi, Aktif karbon, Adsorpsiyon izotermi, Karbon kaplama

Investigation of Usability of Iron Coated Activated Carbon for Phosphorus Removal from Aqueous Solutions

Abstract

Phosphorus is a basis nutrient for living organisms, but also causes an environmental problem called eutrophication at very low concentrations in aquatic environments. In this research, the commercially available activated carbon material was coating with iron and phosphorus removal was investigated with synthesized new material (DKK). As a result of laboratory studies, it was found that DKK can be used functionally in phosphorus removal in aqueous solutions. In addition, the phosphorus holding capacity of the material was found to be 4.26 mg PO₄³⁻/g DKK. It has been concluded that adsorption complies with the Langmuir mathematical model and can be used in phosphorus removal by commercially synthesizing with appropriate conditions for production.

Keywords: Phosphorus removal, Activated carbon, Adsorption isotherms, Carbon coating

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Turan YILMAZ, tyilmaz@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Fosfor, yaşam için vazgeçilmez bir element olma özelliğine sahiptir [1]. Canlıların hücre yapısında, aminoasitlerin ve proteinlerin yapısında bulunduğu gibi elektron taşıma sisteminde aktif olarak görev yapmaktadır [1-3]. Fotosentez için anahtar element görevi gören fosfor aynı zamanda hem zirai hem de endüstriyel faaliyetlerde yaygın olarak kullanılmaktadır [1,4]. Dünya'daki fosfor rezervleri sınırlı olup [5] nüfus artışı ile birlikte üretime paralel olarak fosfor ihtiyacı günden güne artmakta olup günümüzde geri kazanımı ve yeniden kullanılması önemli hale gelmiştir.

Fosfor içeren atıksular alıcı ortama deşarj edilmeleri ile birlikte sucul canlılar tarafından besin olarak tüketilmektedir. Bu tüketimin sonucunda sucul canlıların aşırı çoğalmakta ve ötrofikasyon adı verilen çevresel probleme sebep olmaktadır [6-8]. Sucul ortamlarda meydana gelen bu istenmeyen durum neticesinde estetik olarak uygun olmayan bir görüntü, koku oluşumu, sistemdeki oksijen miktarında azalma, canlı ölümleri ve ekolojik olarak sistemin dengesinde bozulmalar meydana gelebilmektedir [6-10].

Su ve atıksulardan fosfor gideriminde çeşitli yöntemler mevcuttur. Fosfor giderim metotlarının seçiminde temel olarak atıksuyun karakteristiği, deşarj standartları, kurulacak alanın halihazır durumu, yatırım ve işletme maliyeti etkili olmaktadır. Biyolojik metotlar arasında aktif çamur daha yerleşmiş durumdadır [11]. Fakat bu metot ile çamur oluşumu gerçekleşmekte ve düşük konsantrasyonlarda fosfor giderimi yapılması pek mümkün olmamaktadır [11,12]. Çeşitli kimyasal metotları arasında adsorpsiyon ve iyon değiştirme prosesleri yaygın olarak kullanılmakta olup daha az alana gereksinimi, çamur oluşturmaması ve işletme kolaylığı açısından biyolojik metotlara göre avantajlı olmaktadır [4,9,13]. Bu yöntemler ile ayrıca düşük konsantrasyonlarda fosfor giderimi gerçekleştirilebilirken [12] kullanılan materyale ve yönteme göre fosfor geri kazanımı da gerçekleştirilebilmektedir.

Adsorpsiyon metodunda yaygın olarak alüminyum oksit, demir oksit, zirkonyum oksit, çift tabakalı

hidroksitler, zeolit, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, kömürleştirme ile hazırlanmış adsorbantlar gibi doğal ya da yapay malzemeler kullanılmaktadır [4,11-14]. Kömürleştirme ile elde edilmiş olan malzemelerden yaygın olarak çeşitli kirleticilerin giderimleri ile çalışmalar yapılmıştır [13,15].

Aktif karbon kirletici gideriminde çeşitli alanlarda kullanımı mevcut olan ekonomik ve kullanışlı bir malzemedir. Ticari olarak satılan aktif karbonlar üretim tekniğinden kaynaklı olarak gözenekli ve geniş yüzey alanına sahiptir. Adsorpsiyon işleminde kullanılacak adsorbantın ise öncelikli olarak yüzey alanının fazla olması ve poröz bir yapıya sahip olması tercih edilmektedir. Doğal sularda ve atıksularda bulunan nitrat, fosfat, klorür, bromit ve iyot gibi anyonların aktif karbona adsorbe olma özellikleri zayıf olmaktadır [16]. Bu sebepten dolayı giderilmek istenilen parametreye göre kullanılacak malzemenin adsorpsiyon kapasitesinin uygun metotlar ile artırılarak fosfor gideriminin daha verimli gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada sentezlenmiş olan DKK'nın fosfor giderim verimliliği, su ve atıksularda kullanılabilirliği ve fosfor tutma kapasitesi incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

2.1.1. Sentezik Fosfor Çözeltileri

Bu çalışmada dihidrojen fosfat (KH_2PO_4) tuzundan hazırlanmış olan fosfor çözeltisi kullanılmıştır. Hazırlanmış olan çözeltide orto-fosfat analizi gerçekleştirilmiştir.

2.1.2. Kullanılan Cihazlar ve Reaktifler

Orto-fosfat ölçümleri Perkin Elmer TU-1880 UV-Spektrofotometre kullanılarak ölçülmüştür. Ayrıca sentezlenen numuneleri kurutma için Nüve FN500 etüv, fosfor giderim çalışmalarında kullanılmak üzere Optic Ivyman marka çalkalayıcı ve sentez esnasında kullanılmak üzere Wisd WiseStir MSH-20A manyetik karıştırıcı ve potasyum dihidrojen fosfat (Merck, %98-100, KH_2PO_4), demir(III) klorür (Sigma, %98'lik, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$), sülfürik asit

(Tekkim, %95-98, H₂SO₄) ve nitrit asit (İsolab, %65, HNO₃) reaktifleri kullanılmıştır.

2.1.3. Aktif Karbon

Bu çalışmada fosfor giderimi için sentezlenerek kullanılacak olan demir kaplamalı aktif karbon (DKK) için Merck marka granüler aktif karbon tercih edilmiştir. İlgili markadan temin edilen aktif karbon 1,5 mm tane çapına sahip olup katalog numarası ise 102514 olmaktadır.

2.2. Metot

2.2.1. Demir ile Kaplanmış Aktif Karbon Sentezi

Sentez iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama aktif karbonun oksidasyonu ile safsızlığın giderilmesi ve porozitenin artırılması aşaması olup ikinci aşama ise demir ile kaplama aşamasıdır.

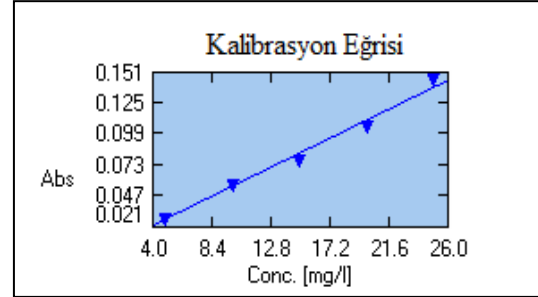
Senteze başlarken önceden çeker ocak içerisinde hazırlanmış olan 1:1 oranındaki nitrik asit ve sülfürik asit çözeltisine yavaş yavaş aktif karbon eklenerek manyetik karıştırıcı vasıtasıyla 30 dakika süresince karıştırma işlemi uygulanır. 30 dakikalık sürecin sonunda ilk adım olan oksidasyon işlemi tamamlanır. Süzülerek alınan malzemenin saf su ile yıkama işlemi gerçekleştirilerek kuruması için 60 dakika süresince etüvde 105 °C sıcaklıkta bekletilir.

İkinci aşamada ise FeCl₃ tuzundan hazırlanan 0,5 M demir çözeltisine kurutulmuş olan aktif karbon eklenerek 60 dakika bekletilir. Devamında süzülerek 105 °C'de 60 dakika kurutulur. Kurutma işleminin devamında ise saf su ile birkaç kez yıkılarak tekrar 60 dakika kurutma işlemine tabi tutulur. Kurutma işlemi takiben DKK'nin sentez aşaması tamamlanmıştır.

2.2.2. Analitik Metotlar

Fosfor analizleri Standart Methods [17], 4500-P C analiz yöntemine göre Perkin Elmer TU-1880 model UV-VIS spektrofotometre ile gerçekleştirilmiştir. Cihaza ait kalibrasyon grafiği

Şekil 1'de ve kalibrasyon denklemi ise ($R^2=0,9957$) Eşitlik 1'de yer almaktadır.



Şekil 1. Cihaza ait kalibrasyon eğrisi (conc: konsantrasyon, abs: absorpsan)

$$\text{Abs}=0,00559 \times (\text{Conc})-0,00194 \quad (1)$$

2.2.3. Demir ile Kaplanmış Aktif Karbon Kullanarak Fosfor Giderimi

Potasyum dihidrojen fosfat tuzundan hazırlanmış olan 20 mg PO₄³⁻/L konsantrasyona sahip stok çözelti kullanılarak fosfor giderimi incelenmiştir. Sentezi gerçekleştirilerek kullanıma hazır hale getirilen DKK'dan 5 g tartılarak 250 mL'lik reaktöre konulmuştur. Devamında 100 mL stok fosfat çözeltisinden alınarak reaktöre konulmuş ve 10 dakika süresince çalkalayıcı yardımıyla tam karışimli ortamda fosfor giderimi incelenmiştir. 10 dakikalık temas süresinin devamında çözelti selüloz asetat filtre (gözenek çapı, 0,45 µm) ile filtrasyon işlemine tabi tutularak orto-fosfat analizi yapılmıştır.

2.2.4. Demir ile Kaplanmış Aktif Karbon Kullanarak Fosfor Tutma Kapasitesinin Belirlenmesi

500 mL hacimli reaktöre 10 g DKK tartılarak aktarılmış ve devamında 25 mg PO₄³⁻/L içeren stok çözeltiden 200 mL eklenmiştir. Tutma kapasitesinin belirlenmesi için 10 dakika temas süresi boyunca çalkalama işlemine tabi tutulmuştur. 10 dakikalık süre sonunda çalkalama işlemi durdurulmuş ve reaktördeki çözelti bir behere aktarılarak orto-fosfat analizi için hazır hale getirilmiştir. DKK bulunan reaktöre yeniden stok fosfat çözeltisinden 200 mL fosfat çözelti

aktarılmış ve işlem tekrarlanmıştır. Bu işlem tekrarlanarak malzemenin fosfor tutma kapasitesi belirlenmiştir.

2.2.5. Adsorpsiyon Denge İzotermi

Sabit sıcaklıkta birim adsorban kütlesi ve adsorplanan madde miktarı arasındaki ilişkiyi açıklayan ampirik eşitliklere adsorpsiyon denge izotermi denir [18]. Kesikli deneysel çalışmalardan elde edilen veriler yaygın olarak Freundlich, Langmuir (Tip 1-4), Temkin, Dubinin-Radushkevich, Koble-Corrigan, Redlich-Peterson ve Fritz-Schlünder gibi izoterm modellerine uygulanır. Bu çalışmada 5 farklı DKK kütlesi (2, 4, 6, 8 ve 10 g) belirlenerek fosfor giderimi çalışılmış ve analiz verileri dört (Freundlich, Langmuir, Temkin ve Dubinin-Radushkevich) farklı matematiksel izoterm modeline uygulanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Aktif Karbon ve DKK Sentezi

Üretim mekanizmasından kaynaklı olarak yüzey alanı geniş olan aktif karbonun senteze başlamadan önce bünyesinde bulundurmuş olduğu safsızlıklardan uzaklaştırılması önem taşımaktadır. Bu amaç ile bu çalışmada Nitrik asit ve sülfürik asit, 1:1 oranında kullanılmış olup aynı zamanda malzemenin porozitesinin de artırılması hedeflenmiştir. Bu oran ve asitler değiştirilerek malzemenin tekrar sentezlenmesi ile malzemenin giderim kapasitesinin geliştirilmesi ileriki çalışmalarda amaçlanabilir. Aktif karbonun yüzeyinde yer alabilecek safsızlıkların uzaklaştırılması ile birlikte hali hazırda çeşitli giderim proseslerinde kullanılan aktif karbonun bu çalışmanın işlevine uygun olarak kullanılması gerçekleştirilebilir fakat doğal olarak suda mevcut fosfata (PO_4^{3-}) ilgisi az olan (Çizelge 1) aktif karbonun modifikasyonu ile amacına uygun kullanımı gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada aktif karbon demir ile kaplanmış olup sentezlenen yeni malzemenin fosfor giderimindeki etkisi araştırılmıştır.

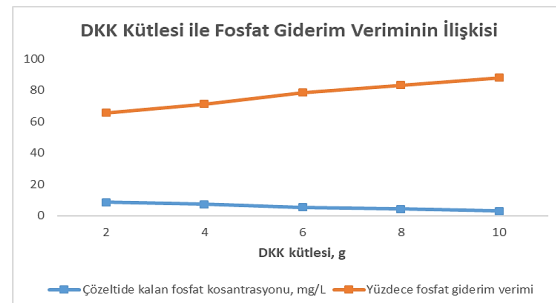
Çizelge 1. Sulu çözeltide bulunan anyonların adsorpsiyon potansiyeli [16]

Anyon	Adsorpsiyon Potansiyeli
NO_3^-	Düşük
PO_4^{3-}	Düşük
Cl^-	Düşük
Br^-	Düşük
I^-	Düşük
F^-	Yüksek

3.2. DKK ile Fosfor Giderimi

Bu çalışmada sentezlenmiş olan DKK ile oda sıcaklığında ($\cong 24^\circ C$) yapılmış olan fosfor giderimi çalışması Başlık 2.2.3'de yer alan metoda uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bu adımında %95,2 fosfor giderim verimi elde edilmiştir. Bu değer her ne kadar yüksek görünse de fosfat gideriminde kullanılan malzeme miktarı ve başlangıç fosfat miktarı gibi temel iki değişkene göre bile değişebilecek bir hesaplamadır. Kpennie ve arkadaşları [9], bünyesinde demirce zengin doğal kumtaşı, alüminyum içeriği zengin laterit ve şist ile yapmış oldukları fosfat giderim çalışmasında kumtaşı ve laterit ile %100'lük fosfor giderme verimi elde ederken şist ile bu orana ulaşamadıklarını bildirmişlerdir.

Fosfor gideriminde kullanılan malzemenin miktarının artması ile giderimin artacağı bilinmektedir. Verim verisinin malzemenin kullanılabilirliği açısından tek başına yeterli olmaması sebebiyle kullanılan malzeme miktarları artırılarak çalışma sürdürülmüştür. Reaktördeki DKK kütlesinin artırılması ile yapılan çalışma sonucunda Şekil 2 elde edilmiştir.



Şekil 2. DKK kütlesinin çözeltide kalan fosfat miktarı ve yüzdece fosfat giderimine etkisi

DKK kullanımının 2 g ve 10 g olması durumunda reaktör çıkışındaki orto-fosfat değerleri (yüzdece fosfor giderim değerleri) sırası ile 8,6 mg PO₄³⁻/L (%65,6) ve 3 mg PO₄³⁻/L (%88) olmaktadır. Şekil 2'de görüldüğü gibi reaktörde kullanılan DKK kütlesinin artışı ile tutulan fosfor miktarının arttığı ve bu değişimin fosfor giderim verimini olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir. Yeşiltas ve arkadaşları [14], FeCl₃ ve MgCl₂ tuzlarından sentezlenmiş oldukları Mg-Fe çift katmanlı hidroksitleri yaptıkları fosfor giderim çalışmasında 125-180 µm partikül çapı sınıfına ait ÇKH'dan 0,1 g ve 0,5 g kullanmış ve çözeltide kalan orto-fosfat konsantrasyonlarını (yüzdece fosfor giderim değerlerini) sırası ile 15,91 mg PO₄³⁻/L (%25) ve 3,39 mg PO₄³⁻/L (%84) olarak tespit etmişlerdir.

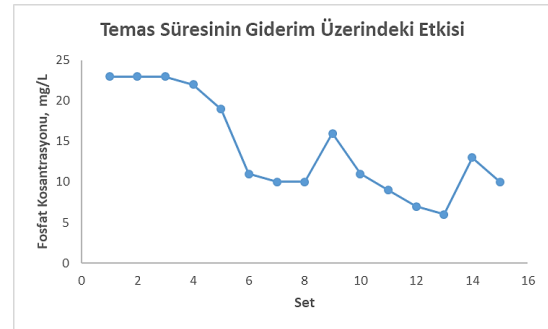
3.3. DKK'nın Fosfor Tutma Kapasitesinin Tespiti

Sentezlenmiş olan malzemenin fosfor tutma kapasitesinin belirlenmesi diğer malzemeler ile karşılaştırılması ve sentezlenen malzemeler arasındaki yerinin belirlenmesi için önem taşımaktadır. Başlık 2.2.4'de verilen yönteme bağlı olarak DKK'nın fosfor tutma kapasitesi çalışılmış olup kapasitesi 4,26 mg PO₄³⁻/g DKK (1,39 mg P/g DKK) olarak tespit edilmiştir. Barca ve arkadaşları [19], elektrikli ark ocağı cürufu (EAF-slugs) ve bazik oksijen ocağı cürufu (BOK-slugs) ile yaptıkları fosfor giderim çalışmasında sırası ile 0,09-0,28 mg P/g ve 0,03-2,49 mg P/g aralığında fosfor tutma kapasitesine ulaştıklarını bildirmişlerdir. Zhang ve arkadaşları [13], belediyeye ait atıksu arıtma tesisinden temin ettikleri çamurdan sentezlenmiş oldukları CSA, CSA-D-1 ve CSA-D-2 olarak kısaltılan malzemeleri ile sırası ile 2,99 mg PO₄³⁻/g, 1,48 mg PO₄³⁻/g ve 1,05 mg PO₄³⁻/g fosfor tutma kapasitesi, Yeşiltas ve arkadaşları [14], sentezlenmiş oldukları Mg-Fe ve Mg-Al ÇKH'ları ile en küçük partikül sınıflarını kullanarak, yaptıkları çalışmada malzemelerin fosfor tutma kapasitelerini sırası ile 3 mg PO₄³⁻/g ve 57,5 mg PO₄³⁻/g olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Değerler incelendiği zaman DKK'nın çeşitli materyallere göre fosfor tutma kapasitesinin avantajlı olduğu görülmektedir. Hali hazırda yapılan çalışmalar ile fosfor tutma kapasitesinin artırılacağı

düşünülmekte olup çeşitli kolon prosesleri için kullanılabilir olduğu yapılan bu araştırma esnasında fark edilmiştir.

3.4. Temas Süresinin Fosfor Giderimine Etkisi

DKK'nın fosfor tutma kapasitesi araştırılırken ayrıca temas süresinin etkisi de incelenmiştir. Kapasite tayini yapılırken DKK için temas süresi reaktörde 10 dakika olarak seçilmiştir. Fakat çalışma esnasında 15 setin ikisinde bekleme süresi olarak 8 saat seçilmiş olup bekleme süresinin fosfor giderimine etkisi de gözlenmiştir. Temas süresinin fosfat giderimine etkisi Şekil 3'de yer almaktadır.



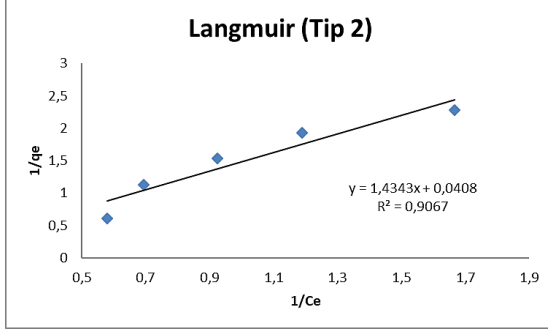
Şekil 3. Temas süresinin fosfor giderimine etkisi

Şekil 3'de yapılmış olan çalışmanın 9. ve 14. setlerde orto-fosfat analizleri neticesinde bekleme süresinin artışının fosfor giderimine olumlu etkisinin olduğu görülmektedir. Krishna ve arkadaşları [20], kalsine edilmiş kireç çamuru ile yapmış oldukları fosfor giderim çalışmasında 5 dakika süren temas süresi için %96 fosfor giderim verimi elde etmişlerdir, temas süresinin 30 dakikaya arttırılması ile ise %99 fosfor giderim verimi değerine ulaşmışlardır.

3.5. Adsorpsiyon İzotermeleri

DKK kütleleri (Başlık 2.2.5) değiştirilerek yapılmış olan fosfor giderimi çalışmasında, kullanılan DKK kütleleri ile birlikte çözeltide kalan orto-fosfat değerleri Freundlich, Langmuir (Tip 1-4), Temkin ve Dubinin-Radushkevich izoterm modellerinde veri olarak kullanılmıştır. Adsorpsiyon izoterm modellerinden elde edilen

çıktılar incelendikten sonra yapılan çalışmanın Langmuir Tip 2 izotermine daha uygun olduğu ($R^2=0,907$) tespit edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. İzoterm parametreleri kullanılarak oluşturulmuş olan Langmuir Tip 2 grafiği

Langmuir izotermi aynı enerji seviyelerine sahip belirli bir sayıda homojen girilebilir bölge olduğu kabulüne dayanan tek tabakalı bir izoterm modelidir. Adsorpsiyon izotermelerinin ampirik formülü Eşitlik 2'de çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilerek çeşitli şekillerde ifade edilmektedir. Bu çalışmada incelenen Langmuir izotermi matematiksel modelleri arasından Tip 2'ye ait matematiksel model Eşitlik 3'de yer almaktadır. Ayrıca Langmuir izotermi için temel bir öneme sahip olan ayırma faktörü R_L değerlerinin hesabı için kullanılan matematiksel eşitlik ise Eşitlik 4'te yer almaktadır.

$$q_e = \frac{x}{m} = \frac{C_0 - C_e}{m} \quad (2)$$

$$1/q_e = (1/K_L q_m C_e) + (1/q_m) \quad (3)$$

$$R_L = \frac{1}{(1 + K_L C_0)} \quad (4)$$

Eşitlik 2-4'de; q_e = Denge de birim adsorban kütlesi başına adsorblanan maddenin kütlesini (x/m), m = kullanılan adsorban kütlesini, C_0 = başlangıçtaki madde konsantrasyonunu, C_e = adsorpsiyondan sonra çözeltide kalan madde konsantrasyonunu, q_m = Tek tabaka sorpsiyon kapasitesini, K_L = Langmuir izoterm sabitini, R_L =

adsorpsiyonun geri dönüşümlü ya da geri dönüşümsüz olduğunu belirlemede kullanılan göstergiyi ifade etmektedir. R_L değeri 0 olması durumunda adsorpsiyonun geri dönüşümsüz olduğu kabul edilir, değer 0 ile 1 arasında olması istenmektedir. R_L değeri 1'den büyük olması durumu ise tercih edilmemektedir. Langmuir Tip 2 adsorpsiyon izotermine ait elde edilen ve hesaplanan değerler Çizelge 2'de yer almaktadır.

Çizelge 2. Langmuir Tip 2 izoterm modeli kullanılarak hesaplanan katsayılar

Parametre	Değer
q_m , mg/g	24,51
K_L , L/mg	0,03
R_L	0,88
Ortalama rölatif hata (ARE)	1,40
Standart sapma, (NSD)	0,26

Çizelge 4'de hesaplanan değerler incelendiği zaman DKK'nun tek tabaka fosfor tutma kapasitesinin 24,51 mg/g olduğu ve adsorpsiyonun geri dönüşümlü ($R_L=0,88$) olduğu anlaşılmaktadır. Zhang ve arkadaşları [13], sentezlemiş oldukları malzeme (CSA) ile üç farklı sıcaklık değerinde (30 °C, 45 °C ve 60 °C) fosfor giderim verileri elde etmiş ve elde ettikleri veriler ile yapmış oldukları adsorpsiyon izotermi uygulamasında izotermi Langmuir izotermine uyduğu, q_m ve K_L değerlerinin ise sırası ile 3,81 mg/g ve 0,82 L/mg (30 °C), 4,23 mg/g ve 0,64 L/mg (45 °C) ve 4,23 mg/g ve 0,51 L/mg (60 °C) olduğunu bildirmişlerdir. Koh ve arkadaşları [3], sentezlemiş oldukları gadolinium-1,4-benzenedicarboxylate ile fosfor giderimi çalışmışlardır. Yapmış oldukları izoterm çalışmasında ise adsorpsiyonun Langmuir izotermi ile açıklandığını, q_m değerinin 166,91 mg/g ve K_L değerlerinin ise 11 L/mg olduğunu tespit etmişlerdir. Yang ve arkadaşları [21], kömür ve cüruf ile fosfor giderimi çalışarak yaptıkları izoterm analizinde adsorpsiyonun Langmuir izotermine uyduğunu tespit etmişlerdir. İzoterm sabitlerinden olan q_m değerlerini kömür ve cüruf için sırası ile 0,398 mg P/g, 2,417 mg P/L olarak ve K_L değerlerini ise sırası ile 0,113 L mg P ve 0,266 L/mg P olarak tespit etmişlerdir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ticari olarak satışı bulunan aktif karbon materyali demir ile kaplanarak yeni bir malzeme sentezlenmiştir. Sentezlenmiş olan demir kaplanmış aktif karbon kullanılarak fosfor giderimi araştırılmış ve %95,2 fosfor giderimi tespit edilmiştir. Demir modifiyeli karbonun fosfor tutma kapasitesi ise 4,26 mg PO₄³⁻/g DKK belirlenmiştir. Analiz sonuçlarının adsorpsiyon izoterm modellerine veri olarak kullanılması ile birlikte adsorpsiyonun Langmuir Tip 2 izotermine uyduğu (q_m=24,51 mg/g ve K_L=0,03 L/mg) tespit edilmiştir.

Aktif karbonun maliyetinin düşük olması sebebiyle demir modifiyeli karbonun sentezinin uygun şartlar sağlandığı takdirde ekonomik anlamda uygulanabilir olduğu bu çalışmada kanıtlanmıştır. Bir sonraki aşamada ise sentezlenmiş olan malzemenin fosfor tutma kapasitesinin artırılması, uygun kolon proseslerinde kullanılabilirliği ve Dünya'da kaynakları sınırlı olan fosforun geri kazanımı ile ilgili çalışmalar yapılarak literatüre bu yönde çalışmaların eklenmesi mümkün görülmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Choi, J., Lee, S., Park, K., Lee, K., Kim, D., Lee, S., 2011. Investigation of Phosphorous Removal From Wastewater Through Ion Exchange of Mesoporous Based on Inorganic Material. *Desalination*, 266, 281-285.
2. Novillo, C., Guaya, D., Allen-Perkins Avedaño, A., Armijos, C., Cortina, J.L., Cota, I., 2014. Evaluation of Phosphate Removal Capacity of Mg/Al Layered Double Hydroxides from Aqueous Solutions. *Fuel*, 138, 72-79.
3. Koh, K.Y., Wang, C., Chen, J.P., 2019. A New Adsorbent of Gadolinium-1,4-benzenedicarboxylate Composite for Better Phosphorous Removal in Aqueous Solutions. *Journal of Colloidal and Interface Science*, 543, 343-351.
4. Das, J., Patra, B.S., Baliarsingh, N., Parida, K.M., 2006. Adsorption of Phosphate by Layered Double Hydroxides in Aqueous Solutions. *Applied Clay Science*, 32, 252-260.
5. Föllmi, K.B., 1996. The Phosphorus Cycle, Phosphogenesis and Marine Phosphate-rich Deposits. *Earth Science Reviews*, 40, 55-124.
6. Karageorgiu, K., Paschalis, M., Anastassakis, G.N., 2007. Removal of PHOSPHATE SPECIES from Solution by Adsorption onto Calcite Used as Natural Adsorbent. *Journal of Hazardous Materials*, 139, 447-452.
7. Nur, T., Johir, M.A.H., Loganathan, P., Nguyen, T., Vigneswaran, S., Kandasamy, J., 2014. Phosphate removal from Water Using and Iron Oxide Impregnated Strong Base Anion Exchange Resin. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 20, 1301-1307.
8. Caravelli, A.H., Contreras, E.M., Zaritzky, N.E., 2010. Phosphorous Removal in Batch Systems Using Ferric Chloride in the Presence of Activated Sludges. *Journal of Hazardous Materials*, 177, 199-208.
9. Kpannie, D.E., Mallet, M., Coulibaly, L., 2019. Phosphate Removal from Water by Naturally Occurring Shale, Sandstone and Laterite: The Role of Iron Oxides and of Soluble Species, 351, 37-47.
10. Yin, H., Yun, Y., Zhang, Y., Fan, C., 2011. Phosphate Removal From Wastewaters by a Naturally Occurring, Calcium-rich Sepiolite. *Journal of Hazardous Materials*, 198, 362-369.
11. Kuzawa, K., Jung, Y., Kiso, Y., Yamada, T., Nagai, M., Lee, T., 2006. Phosphate Removal and Recovery with a Synthetic Hydrotalcite as an Adsorbent. *Chemosphere*, 62, 45-52.
12. Zhong-Liang, S., Fu-Mei, L., Shu-Hua, Y., 2011. Adsorptive Removal of Phosphate from Aqueous Solutions Using Activated Carbon Loaded with Fe(III) Oxide. *New Carbon Material*, 26(4), 299-306.
13. Zhang, L., Liu, J., Guo, X., 2018. Investigation on Mechanism of Phosphate Removal on Carbonized Sludge Adsorbent, *Journal of Environmental Sciences*, 64, 335-344.
14. Yeşiltas, H.K., Yilmaz, T., 2018. Çift Katmanlı Hidroksitler ile Fosfor Gideriminin Araştırılması, *Ç.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 35-8, 106-115.
15. Gisi, S.D., Lofrano, G., Grassi, M., Notarnicola, M., 2016. Characteristics and

- Adsorption Capacities of Low-cost Sorbent for Wastewater Treatment: A Review, *Sustainable Materials and Technologies*, 9, 10-40.
16. Bottani, E.J., Tascón, J.M.D., 2008. Adsorption by Carbons, Elsevier Science, 776.
 17. Rice, E.W., Baird, R.B., Eaton, A.D., Clesceri, L.S., 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Washington, 1496.
 18. Behnamfard, A., Salarirad, M.M., 2009. Equilibrium and Kinetic Studies on Free Cyanide Adsorption from Aqueous Solution by Activated Carbon. *Journal of Hazardous Materials*, 170, 127-133.
 19. Barca, C., Gérente, C., Meyer, D., Chazarenc, F., Andrés, Y., 2012. Phosphate Removal from Synthetic and Real Wastewater Using Steel Slags Produced in Europe, *Water Research*, 40, 2376-2384.
 20. Krishna, K.C.B., Niaz, M.R., Sarker, D.C., Jansen, T., 2017. Phosphorous Removal from Aqueous Solution Can Be Enhanced Through the Calcination of Lime Sludge, *Journal of Environmental Management*, 200, 359-365.
 21. Yang, J., Wang, S., Lu, Z., Yang, J., Lou, S., 2009. Converter Slag-coal Cinder Columns for the Removal of Phosphorous and Other Pollutants, *Journal of Hazardous Materials*, 168, 331-337.

Kurumsal Sürdürülebilirlik Performans Analizinde CRITIC-EDAS Yaklaşımı

Neşe YALÇIN¹, Esra KARAKAŞ^{*2}

¹Adana, Aylarslan Türkes Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana

²Adana, Aylarslan Türkes Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 12.11.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Ülke ekonomisindeki rolleri ve stratejik önemleri nedeniyle enerji sektöründeki şirketler sadece ekonomik değerlerini artırmaya değil aynı zamanda kurumsal sürdürülebilirliklerini bütün boyutları ile geliştirmeye de odaklanmalıdır. Bu çalışmada, kurumsal sürdürülebilirlik performans değerlendirme için CRITIC ve EDAS yöntemlerinin entegre edildiği bütünleşik bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yöntemle bir enerji firmasının 2010-2018 yılları itibarıyla kurumsal sürdürülebilirlik performansı değerlendirilmiştir. Sürdürülebilirlik kriterlerinin ağırlıklarının hesaplanmasında kriterlerin gerçek değerinin kullanılmasına dayanan objektif ağırlıklandırma yöntemlerinden biri olan CRITIC yöntemi kullanılmıştır. Hesaplanan kriter ağırlıkları girdi olarak EDAS yönteminde kullanılmış ve firmanın yıllar itibarıyla kurumsal sürdürülebilirlik değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, firmanın kurumsal sürdürülebilirlik performansının istikrarlı bir durum sergilemediği ancak 2018 yılı itibarıyla tekrar yükselişe geçtiği görülmüştür. Ayrıca, farklı kriter ağırlıklandırma yöntemleriyle EDAS yöntemi entegre edilerek elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Mevcut yaklaşımın, kurumsal sürdürülebilirlik performansının değerlendirilmesinde uygun bir araç olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kurumsal sürdürülebilirlik, Enerji firmaları, ÇKKV, CRITIC, EDAS

CRITIC-EDAS Approach in Corporate Sustainability Performance Analysis

Abstract

Because of their role in the national economy and strategic importance, energy firms should focus not only on economic growth, but also on improving their corporate sustainability in all aspects. In this study, an integrated method, which integrates CRITIC and EDAS method, is proposed for corporate sustainability performance evaluation. Using the proposed method, the corporate sustainability performance of an energy company as of 2010-2018 was evaluated. The CRITIC method, one of the objective weighting methods based on the actual value of the criteria, was used to calculate the weights of the sustainability criteria. The calculated criteria weights were used as input in the EDAS method and the corporate sustainability assessment of the company was conducted over the years. According to the

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Esra KARAKAŞ, ekarakas@atu.edu.tr

results of the analysis, it is observed that the corporate sustainability performance of the company is not stable but it has started to increase as of 2018. In addition, the results obtained by integrating the EDAS method with different criteria weighting methods were compared. It has been demonstrated that the proposed approach is an appropriate tool for evaluating corporate sustainability performance.

Keywords: Corporate sustainability, Energy firms, MCDM, CRITIC, EDAS

1. GİRİŞ

Sanayi devrimi ile birlikte ortaya çıkan endüstriyelleşme, kaynakların hızlı bir şekilde tüketilmesine ek olarak çevre üzerinde de önemli tahribatlar yapmıştır. Bu sonuçlar, özellikle 20. yüzyılın başlarından itibaren dünya üzerinde çeşitli ülkelerin en önemli gündem maddelerinden biri haline gelmiştir ve mevcut kaynakların gelecek nesillere aktarılmasının, yani sürdürülebilir olmasının gerekliliği fark edilmeye başlanmıştır [1]. Sürdürülebilirlik kavramı ile ilgili ilk tanıma, 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Örgütü (WCED) tarafından hazırlanan Bruntland Raporu'nda yer verilmiştir. Brutland Raporu'nda sürdürülebilirlik, gelecek nesillerin refahında bir azalma olmaksızın şimdiki neslin ihtiyaçlarının karşılanması olarak tanımlanmıştır [2]. Sürdürülebilirlik kavramının işletmeler açısından karşılığı ise kurumsal sürdürülebilirlik olarak karşımıza çıkmaktadır. Kurumsal sürdürülebilirlik, işletmelerin finansal amaçlarına ulaşmak için çaba gösterirken ortaya çıkan ekonomik, çevresel ve sosyal sonuçlardan da sorumlu olması gerektiğini vurgulamaktadır [3] Diğer bir ifadeyle kurumsal sürdürülebilirlik; ekonomik, çevresel ve sosyal gelişmelerden kaynaklanan fırsatları değerlendirip yöneterek ve riskleri bertaraf ederek, uzun vadede değer yaratan bir yaklaşımdır. Bu nedenle kurumsal sürdürülebilirliğin, çevresel, sosyal ve ekonomik olmak üzere üç boyutu vardır [4]. Ekonomik sürdürülebilirlik, işletmenin kar etmesi ve sağlam bir finansal yapıya sahip olması ile gerçekleştirilirken, çevresel sürdürülebilirlik; işletmenin çevreye zarar vermeksizin ya da en az zarar vererek faaliyette bulunması ve doğal kaynakların gelecek nesiller için de korunmasını ifade etmektedir. Sosyal sürdürülebilirlik ise, işletme çalışanlarının çalışma ve yaşam şartlarının iyileştirilmesi, müşterilerinin, yerel toplumun ve gelecek nesillerin hayat kalitesinin göz önünde

bulundurulmasını ifade etmektedir [5]. Ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik çok sayıda gösterge (kriter) ile ifade edilmekte ve kurumsal sürdürülebilirlik performansının analiz edilmesinde bu göstergeler kullanılmaktadır.

Kurumsal sürdürülebilirlik performansının firma düzeyinde değerlendirilmesi ve uygun yöntemler kullanılarak analiz edilmesi son yıllarda çalışılan konular arasına girmiştir. Konu ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar incelendiğinde, kurumsal sürdürülebilirlik performansının değerlendirilmesi amacıyla çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinin sıklıkla kullanıldığı görülmüştür. Ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik boyutlarının, kendi içerisinde fazla sayıda gösterge ile ifade edilmesi nedeniyle sürdürülebilirlik performansının ölçülmesinde birçok zorlukla karşılaşmaktadır. ÇKKV, her bir gösterge için gerçek değerleri kullanarak veya uzman görüşleri ile göreceli önem değerlerini hesaplayabilmektedir. Diğer bir ifade ile kurumsal sürdürülebilirlik boyutlarına ait göstergeler kurumsal sürdürülebilirlik performans değerlendirmesi probleminin kriterleri olarak kabul edilmektedir. Bu açıdan ÇKKV yöntemlerinin sürdürülebilirliğin değerlendirilmesinde uygun bir çerçeve sunduğu ortaya konmuş ve sonrasında birçok araştırmacı tarafından farklı ÇKKV yöntemleri bu amaçla kullanılmıştır. Türkiye'de yapılan çalışmalar incelendiğinde; özellikle kimya, beyaz eşya, enerji vb. sektörler ile bankalar üzerine kurumsal sürdürülebilirlik performans değerlendirmesinin analizinde farklı ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Alp ve arkadaşları [6], ÇKKV yöntemlerinden MAUT (Multi-Attribute Utility Theory) ve Entropi yöntemlerini kullanarak kimya sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın kurumsal sürdürülebilirlik performansını değerlendirmişlerdir. Öncelikle, kriterlerin önem düzeyleri (ağırlıkları) Entropi objektif ağırlıklandırma yöntemiyle belirlenmiştir. Yıllar bazında kurumsal

sürdürülebilirlik performansının analizi ise MAUT yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarında, şirketin yayımladığı 2009-2012 dönemlerine ait beş yıllık sürdürülebilirlik raporlarından elde edilen veriler derlenerek kriterler belirlenmiştir. Ergüden ve Çathoğlu [7], enerji sektöründe faaliyet gösteren firmaların sürdürülebilirlik performansını TOPSIS (Techique for order preference by similarity to an ideal solution) yöntemi kullanılarak incelenmiş ve ele alınan dönem itibari ile kurumsal sürdürülebilirlik performansı en iyi olan firmanın Zorlu Enerji olduğunu tespit etmişlerdir. Aras ve arkadaşları [8], Garanti bankasının kurumsal sürdürülebilirlik performans değerlendirmesinde içerik analizi ile Entropi tabanlı TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Bankanın 2010-2014 döneminde yayımlanan sürdürülebilirlik raporları, içerik analizi ile değerlendirilerek uygun kriterler belirlenmiş ve sonrasında Entropi tabanlı TOPSIS yöntemi ile kurumsal sürdürülebilirlik performansı değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde, bankanın kurumsal sürdürülebilirlik performansının yükseliş eğiliminde olduğu ve ayrıca toplam sürdürülebilirlik performansı üzerinde; ekonomik boyutun en yüksek etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Ömürbek ve arkadaşları [9], aktif büyüklüklerine göre büyük ölçekli banka sınıflandırmasında yer alan yedi bankanın sürdürülebilirlik performanslarını, ENTROPI, ARAS, MOOSRA ve COPRAS gibi yöntemler ile değerlendirerek karşılaştırmışlardır. Bankaların sürdürülebilirlik raporları ve faaliyet raporlarındaki veriler dikkate alınarak, toplamda 13 adet kriter çerçevesinde değerlendirmeler yapılmıştır. Küçükbay ve Sürücü [10], Multimoora Sort adını verdikleri yeni bir ÇKKV metodu önermişler ve Fortune 500 listesinde yer alan 25 firmaya ait kurumsal sürdürülebilirlik analizini önerdikleri yöntem ile gerçekleştirmişlerdir. Belirtilen bu çalışma kapsamında, dört ekonomik ve sosyal, iki de çevresel olmak üzere toplam 10 kriter dikkate alınmıştır. Ersoy [11], beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın kurumsal sürdürülebilirlik performansı değerlendirmek için Entropi, Topsis ve Gri İlişkisel Analiz (GİA) yöntemlerinden oluşan bütünlük bir yaklaşım önermiştir. Kriterlerin ağırlıkları Entropi yöntemi ile hesaplanmış ve sonrasında TOPSIS ve Gri

İlişkisel Analiz yardımıyla yıllar bazında kurumsal sürdürülebilirlik performansı değerlendirilmiştir. Öztel ve arkadaşları [12], Topsis yöntemi ve Entropi yöntemini birlikte kullanılarak Akenerji firmasının kurumsal sürdürülebilirlik performansı değerlendirmiştir. İncelenen şirketin kurumsal sürdürülebilirlik performansı ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarıyla yıllara göre analiz edilmiştir. Ecer [13], Entropi-ARAS bütünlük modeli kullanarak Türkiye'deki özel sermayeli bankaların kurumsal sürdürülebilirlik performanslarını analiz etmiş ve sonrasında duyarlılık analizi yapmıştır. Çalışmanın önemli katkılarından birinin, bankaların kurumsal sürdürülebilirlik performanslarında etkili olan kriterlerin ağırlıklarının objektif olarak belirlenmesi olduğu vurgulanmıştır. Çalışmanın bulgularına göre, kurumsal sürdürülebilirlik bakımından yüksek performans hedefine ulaşmayı amaçlayan bankalar, öncelikle personel devir hızlarını düşürmeli, ardından doğrudan sera gazı tüketimini azaltmalıdırlar. Korzeb ve Medina [14], Polonya bankalarının sürdürülebilirlik performansını TOPSIS yöntemini kullanarak değerlendirmişlerdir. Sürdürülebilir alanında daha fazla ÇKKV uygulamalarına dair çalışmalara ulaşmak için Stojic ve arkadaşları[15] tarafından gerçekleştirilmiş olan literatür taraması incelenebilir.

Bu çalışmada, enerji sektöründe yer alan bir firmanın kurumsal performansının yıllar bazında değerlendirilmesinde ÇKKV yöntemleri olarak bilinen CRITIC ve EDAS yöntemlerinin bütünlük bir yaklaşımla kullanılarak analiz edilmesi amaçlanmıştır. Öncelikle, kurumsal sürdürülebilirlik performans ölçümü yapılacak enerji firmasının seçimi için BİST'de işlem gören firmalar tespit edilmiş ve analiz yapılacak uygun bir firma seçilmiştir. Enerji firmasına ait 2010-2018 yılları arası sürdürülebilirlik raporları ve faaliyet raporları incelenerek; sosyal, ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik göstergeleri ortaya konmuştur. Kurumsal sürdürülebilirlik kriterlerinin belirlenmesinde, kriterlerin raporlarda yer alması ve ölçülebilir olması dikkate alınmıştır. Sonrasında, kriterlerin ağırlıkları CRITIC yöntemi ile hesaplanmış ve EDAS yönteminin girdileri olarak kullanılmıştır. EDAS yönteminden elde

edilen veriler, firmanın ele alınan yıllar içerisinde sürdürülebilirliğin her üç boyutundaki durumunu ortaya koymuştur. Ayrıca, çalışmada farklı objektif ağırlıklandırma yöntemlerinin elde edilen sonuçlar üzerindeki etkisini görebilmek amacıyla, sürdürülebilirlik boyutlarına ait kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Farklı yöntemlerden elde edilen ağırlıklar aynı şekilde EDAS yönteminin girdisi olarak kullanılmıştır. Böylece, farklı ağırlıklandırma yöntemlerinden oluşan bütünsel yaklaşımına göre yıllar bazındaki performans skorları elde edilmiş ve elde edilen sonuçların kıyaslaması yapılmıştır.

2. METOT

Bu bölümde, çalışmada enerji firmasının kurumsal sürdürülebilirlik performans değerlendirmesi amacıyla önerilen CRITIC-EDAS bütünsel yaklaşımını içeren ÇKKV yöntemlerinin alt başlıklarda detaylı bir şekilde açıklaması yapılmıştır.

2.1. CRITIC Yöntemi

ÇKKV probleminde çok sayıda çelişen özellikteki kriterlerin ağırlıkları problemin sonucu üzerinde çok önemli olup, kriter ağırlıklarının hem subjektif hem de objektif ağırlıklandırma yöntemleri kullanılarak belirlenmesi söz konusudur. ÇKKV’de kriter ağırlıklarının belirlenmesi üç şekilde yapılabilmektedir. Bunlar; uzman temeline dayanan subjektif ağırlıklandırma yöntemleri, veri temeline dayalı olan objektif ağırlıklandırma yöntemleri ve her iki yöntemin birleştirilmesiyle elde edilen entegre ağırlıklandırma yöntemleri şeklindedir [16]. Literatürde yaygın kullanılan objektif ağırlıklandırma yöntemlerinden bazıları şunlardır: entropi yöntemi [17], kriterler arası korelasyon (CRITIC) yöntemi [18], standart sapma metodu [17,18], maksimize sapma metodu [19] ve Ma ve arkadaşları tarafından geliştirilen objektif yaklaşım yöntemi [20].

Bu çalışmada, kurumsal performans boyutlarına ait kriterlerin ağırlıklarının elde edilmesinde yıllar bazındaki verilerden yararlanıldığından, bir objektif ağırlıklandırma yöntemi olan Diakoulaki ve arkadaşları [18] tarafından geliştirilen CRITIC

yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem, ağırlıkları hesaplarken, kriterlerin gerçek verilerini içeren karar matrisinden faydalanmaktadır. Her bir kriterin standart sapması ve kriterler arası korelasyon değerleri, objektif ağırlıkların belirlenmesinde dikkate alınan değerlerdir. Bu yöntemden elde edilen kriter ağırlıkları alternatiflerin (yılların) nihai sıralaması için kullanılan EDAS yönteminin girdilerini oluşturmaktadır.

CRITIC yönteminin adımları sırasıyla şu şekilde açıklanabilir [18]:

Adım 1: Karar matrisinin oluşturulması.

Eşitlik 1 ile ifade edilen karar matrisinde; i indisi alternatifleri, j indisi ise kriterleri temsil etmektedir. x^{ij} , i . alternatifi j . kriter bakımından performans değerini ifade etmektedir.

$$X = \begin{bmatrix} A_1 \\ X_{ij} \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{bmatrix}_{m \times n} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \cdots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

Adım 2: Karar matrisinin normalize edilmesi.

Eşitliklerden fayda kriterleri için Eşitlik 2, maliyet kriterleri için Eşitlik 3 kullanılır. Bu durumda, karar matrisinin elemanları x_{ij} ’den, normalize edilmiş değerler olan r_{ij} ’ye dönüştürülmüş olur.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (3)$$

x_j^{\max} : j . kriterin alternatifler arasındaki en yüksek değeri

x_j^{\min} : j . kriterin alternatifler arasındaki en düşük değeri

Adım 3. Kriter çiftleri için korelasyonun hesaplanması. Eşitlik 4 ile gerçekleştirilir.

$$\rho_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)(r_{ik} - \bar{r}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2 \sum_{i=1}^m (r_{ik} - \bar{r}_k)^2}} \quad (4)$$

ρ_{jk} , j . ve k . kriterler arasındaki korelasyon katsayısıdır.

Adım 4. Kriter ağırlıklarının hesaplanması. Eşitlik 5-7 ile gerçekleştirilir.

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2}{m}} \quad (5)$$

$$c_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n (1 - \rho_{jk}) \quad (6)$$

$$w_j = c_j / \sum_{k=1}^n c_k \quad (7)$$

$j=1,2,\dots,n$ için, σ_j : j . kriterin standart sapma değeri, w_j : j . kriterin ağırlığını ifade eder.

2.2. EDAS Yöntemi

Bu çalışmada, Ghorabae ve arkadaşları [21] tarafından geliştirilen EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution-Ortalama Çözüm Uzaklığına Göre Değerlendirme) yöntemi kullanılmıştır. EDAS yöntemi, uzaklığa bağlı çözüm bulmaya çalışan bir ÇKKV yöntemidir. Bu yöntemde, alternatifler değerlendirilirken ideal çözümden olan uzaklık yerine ortalama çözümden olan uzaklık dikkate alınır. Bu yöntemde en iyi alternatif, alternatiflerin her bir kritere göre ortalama çözüm (average solution- AV_j) uzaklıkları hesaplanarak bulunur. Alternatiflerin kabul edilebilirliğinde ortalamadan pozitif uzaklık (positive distance from average- PDA_{ij}) ve ortalamadan negatif uzaklık (negative distance

from average- NDA_{ij}) olmak üzere iki ölçüt kullanılır. Alternatif değerlendirme aşamasında, PDA_{ij} 'nin daha yüksek değerleri ve/veya NDA_{ij} 'nin daha düşük değerleri, alternatifin ortalama çözümden daha iyi olduğunu ortaya koyar.

Literatürde geliştirilen ÇKKV yöntemleri arasında hemen hemen yeni sayılabilecek EDAS yöntemi ilk olarak Ghorabae ve arkadaşları [21] tarafından envanter kalemlerinin ABC sınıflandırmasında kullanılmıştır. Daha sonra bazı farklı alanlardaki çok kriterli karar probleminin çözümünde başarı ile uygulanmıştır. Örneğin; kimyasal malzeme üreten en uygun tedarikçi firma seçiminde [22], en uygun makinenin seçiminde [23], konut seçiminde [24], katı atık bertaraf sahasının belirlenmesinde [25], en uygun üçüncü parti lojistik (3PL) firma seçiminde [26], yerli bir firmanın bilgi teknolojileri sahasında uzman istihdamı için personel seçiminde [27], en uygun konveyör seçiminde [28], otomobillerde dişli ve tampon malzemesi seçiminde [29], lojistik firma web sitelerinin değerlendirilmesinde [30] EDAS yöntemi uygulanmıştır.

EDAS yönteminin adımları sırasıyla şu şekildedir [19]:

Adım 1: m adet alternatif ve n adet kriter dikkate alınarak karar matrisi oluşturulur. Karar matrisinin yapısı Eşitlik 1'de verildiği gibidir.

Adım 2: Tüm ölçütlere göre ortalama çözüm hesaplanır. Ortalama çözümün belirlenmesi için Eşitlik 8 ve 9 kullanılır:

$$AV = [AV_j]_{1 \times n} \quad (8)$$

$$AV_j = \frac{\sum_{i=1}^m x_{ij}}{m} \quad (9)$$

Adım 3: Her kriter için ortalamadan pozitif uzaklık (PDA) ve ortalamadan negatif uzaklık (NDA) matrisleri oluşturulur. Hesaplamalar yapılırken kriterler fayda cinsinden ise Eşitlik 12 ve 13, maliyet cinsinden ise Eşitlik 14 ve 15 kullanılır.

$$PDA = [PDA_{ij}]_{m \times n} \quad (10)$$

$$NDA = [NDA_{ij}]_{m \times n} \quad (11)$$

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (x_{ij} - AV_j))}{AV_j}, \quad (12)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - x_{ij}))}{AV_j}, \quad (13)$$

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - x_{ij}))}{AV_j}, \quad (14)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (x_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (15)$$

Adım 4: Her bir alternatif için ağırlıklandırılmış toplam PDA ve NDA (SP_i ve SN_i) hesaplanır.

$$SP_i = \sum_{j=1}^n w_j PDA_{ij} \quad (16)$$

$$SN_i = \sum_{j=1}^n w_j NDA_{ij} \quad (17)$$

w_j, j . kriterin ağırlığını göstermektedir.

Adım 5: Her alternatif için SP ve SN değerleri normalize edilir.

$$NSP_i = \frac{SP_i}{\max_i(SP_i)}, \quad (18)$$

$$NSN_i = 1 - \frac{SN_i}{\max_i(SN_i)}, \quad (19)$$

Adım 6: Bütün alternatifler için değerlendirme puanı ($AS_i, 0 \leq AS_i \leq 1$) hesaplanır.

$$AS_i = \frac{1}{2}(NSP_i + NSN_i), \quad (20)$$

Adım 7: Alternatifler, hesaplanan değerlendirme puanına (AS) göre azalan düzeyde sıralanır. İlk sıradaki alternatif, en iyi alternatif olarak kabul edilir.

3. UYGULAMA

Enerji sektörü, ulusal ekonomilerin büyüklüğü ve gücünü belirleyen önemli sektörlerden biridir. Sektörün ülke ekonomisi üzerindeki etkisi, yalnızca finansal yönden değil sosyal, refah ve çevresel yönleri dikkate alarak dengeli bir yaklaşımla değerlendirilmelidir. Bilindiği üzere, enerji sektörü, madencilik, ticaret, işleme, inşaat ve taşımacılık gibi diğer sanayilerin işleyişinde önemli bir etkiye sahiptir [31]. Ülke ekonomisindeki rolleri ve stratejik önemleri nedeniyle, enerji sektöründeki şirketler sadece ekonomik değerlerini artırmaya değil aynı zamanda kurumsal sürdürülebilirliklerini bütün boyutları ile ele alarak geliştirmeye de odaklanmalıdır. Bu açıdan, yıllar bazında kurumsal sürdürülebilirliklerinin değerlendirilmesi gereklidir.

Mevcut çalışmada, enerji sektörünün stratejik önemi dikkate alınarak, ülkemizde faaliyet gösteren bir enerji firması için kurumsal sürdürülebilirlik değerlendirmesi yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, öncelikle değerlendirme yapılacak enerji firmasının belirlenmiş ve sonrasında enerji firmasının sürdürülebilirlik raporlarının detaylı bir şekilde incelenip, her bir sürdürülebilirlik boyutuna ait kriterler ortaya konmuştur.

Uygulama yapılacak enerji firmasının belirlenebilmesi için öncelikle Borsa İstanbul'da (BİST) işlem gören enerji firmaları arasında sürdürülebilirlik raporu yayınlayan firmalar incelenmiştir. Uygulama yapılacak firma belirlenirken, daha uzun yıllar boyunca sürdürülebilirlik raporunun mevcut olması ve mevcut raporlar içerisinde yer alan sürdürülebilirlik göstergelerine ait değerlerin

mümkün olduğunca her yıl tutarlı bir şekilde vermiş olması göz önüne alınmıştır. Kurumsal sürdürülebilirlik performansına ait kriter belirlenirken ise sürdürülebilirlik raporunda verilere ulaşılabilirlik ve uzman görüşleri dikkate alınmıştır. Sürdürülebilirlik kriterleri alt bölümde açıklanmıştır.

3.1. Kurumsal Sürdürülebilirlik Performans Ölçütlerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada, BİST’de işlem gören bir enerji firmasının sürdürülebilirlik verileri dikkate alınmıştır. Firma, 2012 yılından bu yana sürdürülebilirlik raporlarını düzenli olarak yayınlayan enerji firmalarından biridir. Firmanın kurumsal sürdürülebilirlik performansının değerlendirilmesi için, çevresel sürdürülebilirlik boyutu (ÇSB), sosyal sürdürülebilirlik boyutu

(SSB) ve ekonomik sürdürülebilirlik boyutu (ESB) alanlarında ilgili kriterlerin belirlenmesi gerekmektedir.

Sosyal ve çevresel boyutlar altında yer alan kriterler, mevcut sürdürülebilirlik raporlarından ulaşılabilirlik esasına göre belirlenmiştir. Ekonomik göstergeler ise, finansman alanındaki uzmanların görüşleri alınarak belirlenmiş ve ilgili verilere firmanın yayımlanmış olduğu faaliyet raporlarından ulaşılmıştır. Bu açıdan mevcut çalışmada ele alınan kriterler, önceki çalışmalar bölümünde de bahsedilmiş olan Öztel ve arkadaşları [12] tarafından yapılan çalışmadan ele alınan kriterler açısından farklılık gösterebilmektedir. Bu çalışmada kurumsal sürdürülebilirlik performans açısından her bir boyuta ait kriterler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Kurumsal Sürdürülebilirlik Performans Kriterleri

ÇSB alt boyutları (kriterleri) (ÇSb)	ESB alt boyutları (kriterleri) (ESb)
ÇSb1: Yakıt tüketimi (gj) ÇSb2: Elektrik tüketimi (yenilenebilir kaynaklı) (GJ) ÇSb3: Elektrik tüketimi (yenilenebilir kaynaklı) (GJ) ÇSb4: Toplam su tüketimi (m ³) ÇSb5: Atık su (m ³) ÇSb6: Toplam sera gazı salınımı (tonCO ₂ -e) ÇSb7: Geri dönüştürülmüş tehlikesiz atık miktarı (kg) ÇSb8: Geri dönüştürülmüş tehlikeli atık miktarı (kg) ÇSb9: Toplam geri dönüştürülmüş atık miktarı (kg)	ESb1: Kapanış Fiyatı ESb2: Piyasa Değeri (Yılsonu Kapanış Fiyatına Göre) ESb3: Net Satışlar ESb4: Faaliyet Karı ESb5: Net Dönem Karı ESb6: Toplam Varlıklar ESb7: Faaliyet Kar Marjı ESb8: Öz Sermaye Karlılığı ESb9: Varlık Karlılığı
SSB alt boyutları (kriterleri) (SSb)	
SSb1: Toplam çalışan sayısı SSb2: Dışardan alınan hizmet kapsamında çalışan sayısı SSb3: İşgücü devir hızı oranı SSb4: Beyaz yaka istihdamı SSb5: Mavi yaka istihdamı SSb6: Tüm işgücünde çalışan kadın oranı SSb7: Orta düzey yönetici pozisyonunda çalışan kadın oranı	SSb8: Üst düzey yönetici pozisyonunda çalışan kadın oranı SSb9: Çalışanlara verilen eğitimlerin toplam saati SSb10: Çalışan başına yıllık ortalama eğitim saati SSb11: Araç kaza sayısı SSb12: Toplam araç kaza oranı SSb13: İş kazası sıklık hızı (Ak-enerji iştirak çalışanları) SSb14: İş kazası ağırlık hızı (Ak-enerji iştirak çalışanları)

Çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik boyutlarına ait her bir kriterin değeri sırasıyla Çizelge 2, Çizelge 3 ve Çizelge 4’de verilmiştir. Her bir boyutta yer alan alt boyutların performans üzerinde maksimum veya minimum etkisi olup, bu

etkiler analizlerde doğru sonuçların elde edilmesi açısından dikkate alınmıştır. ÇSB altında yer alan 2 kriter (ÇSb3 ve ÇSb7) maksimum ve geriye kalan 7 kriter (ÇSb1, ÇSb2, ÇSb4, ÇSb5 ve ÇSb6) minimum etkiye; SSB altında yer alan 9 kriter

(SSb1, SSb2, SSb4, SSb5, SSb6, SSb7, SSb8, SSb9 ve SSb10) maksimum ve 5 kriter minimum etkiye sahiptir. (SSb3, SSb11, SSb12, SSb13 ve SSb14) etkiye;

Çizelge 2. ÇSB kapsamında yer alan kriterler bakımından 2010-2018 yıllarına ait veri seti

Yıllar	ÇSb1	ÇSb2	ÇSb3	ÇSb4	ÇSb5
2010	32294	16163	1667	1386420	130423
2011	360327	15488	4281	1420539	123146
2012	325452	20027	6135	1229309	123071
2013	122121	25348	5716	444625	49216
2014	55278	80755	2993	579134	328222
2015	495953	103393	7966	1178165	721956
2016	422743	115709	4805	2213942	10448738
2017	742431	50672	3274	2738297	13059358
2018	609082	72472	4671	2200541	10448738
Ort.	351742,333	55558,556	4612,000	1487885,778	3936985,333
Yıllar	ÇSb6	ÇSb7	ÇSb8	ÇSb9	
2010	668535	0	156919	156533	
2011	725189	0	47474	47439	
2012	617789	4100	31040	35100	
2013	350926	252200	77259	328200	
2014	969379	149600	59019	280600	
2015	1330114	46600	32715	78800	
2016	1168362	7170	102072	109242	
2017	1636313	34340	68360	102700	
2018	1291157	8760	46280	55040	
Ort.	973084,889	55863,333	69015,333	132628,222	

Çizelge 3. SSB kapsamında yer alan kriterler bakımından 2010-2018 yıllarına ait veri seti

Yıllar	SSb1	SSb2	SSb3	SSb4	SSb5	SSb6	SSb7
2010	414	112	7,7	40	38	18	18
2011	418	116	12,9	33	15	19	27
2012	436	140	7,2	23	16	20	46
2013	464	165	9,7	30	14	20	32
2014	432	177	23,8	13	6	22	36
2015	421	173	20,0	25	18	22	33
2016	366	157	25,0	12	6	22	32
2017	344	150	21,2	16	14	21	38
2018	366	166	9,2	17	8	21	44
Ort.	406,778	150,667	15,189	23,222	15,000	20,556	34,000
Yıllar	SSb8	SSb9	SSb10	SSb11	SSb12	SSb13	SSb14
2010	22	8213	27	0	0,0	12,40	93,30
2011	25	8573	29	7	15,9	6,20	55,80
2012	33	9443	33	8	16,1	0,00	0,00
2013	20	12841	43	3	4,4	0,00	0,00
2014	0	6720	26	1	1,8	5,95	73,37
2015	0	6889	28	0	0,0	6,04	66,43
2016	20	7491	36	0	0,0	2,17	195,74
2017	20	6615	34	0	0,0	2,29	38,87
2018	33	8657	43	4	6,0	8,82	156,56
Ort.	19,222	8382,444	33,222	2,556	4,907	4,874	75,563

Çizelge 4. ESB kapsamında yer alan kriterler bakımından 2010-2018 yıllarına ait veri seti

Yıllar	ESb1	ESb2	ESb3	ESb4	ESb5
2010	2,66	716903,1	428354752	7861984	-25664536
2011	1,35	365055,3	559970769	58925086	-213336416
2012	1,64	631756460,7	801981352	-29343885	81115772
2013	1,20	462260915,1	771028564	-48931219	-127081836
2014	1,28	493078239,0	1124671014	-75285310	-321251586
2015	0,95	365956579,8	1802888608	140444576	-351005560
2016	0,85	327434528,7	1420842034	63533848	-548673970
2017	0,91	350547653,7	1855097831	-50089913	-507197153
2018	0,63	242686755,9	2215717988	-45495731	-1556396550
Ort.	1,274	319422565	1220061434	2402159	-396610203
Yıllar	ESb6	ESb7	ESb8	ESb9	
2010	1910908243	0,0184	-0,0340	-0,0134	
2011	2229212046	0,1052	-0,4065	-0,0957	
2012	2823550025	-0,0366	0,0861	0,0287	
2013	3201382644	-0,0635	-0,1534	-0,0397	
2014	3244110714	-0,0669	-0,6323	-0,0990	
2015	5330857302	0,0779	-0,2147	-0,0658	
2016	5044551542	0,0447	-0,4987	-0,1088	
2017	5879213602	-0,0270	-0,2714	-0,0863	
2018	5704568702	-0,0205	-3,3793	-0,2728	
Ort.	3929817202	0,004	-0,612	-0,084	

4. BULGULAR

Bu bölümde öncelikle, CRITIC-EDAS bütünlük yöntemi ile firmanın kurumsal sürdürülebilirlik analizi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Bölüm 4.1’de tartışılmıştır. Sonrasında Bölüm 4.2’de kriterin ağırlıkları farklı objektif ağırlık yöntemleri ile hesaplanarak, CRITIC-EDAS bütünlük yöntemi ile kıyaslanmış ve yöntemler arasında anlamlı bir fark olup olmadığı ortaya konmuştur.

4.1. CRITIC-EDAS Bütünlük Yaklaşımından Elde Edilen Sonuçlar

Çizelge 2, 3 ve 4 kurumsal sürdürülebilirlik performans boyutlarını oluşturan kriterlere ait veri seti olup, aynı zamanda ÇKKV analizlerinde kullanılacak başlangıç karar matrisini oluşturan yapıları da göstermektedir. Çalışmada her bir boyut hem ayrı ayrı hem de birlikte ele alınarak firmanın belirtilen yıllar bazındaki sürdürülebilirlik performansı analiz edilmiştir.

EDAS yönteminin uygulanabilmesi için yöntemin girdisi olarak kriter ağırlıklarının belirlenmesi gereklidir. Bu doğrultuda öncelikle çevresel, sosyal ve ekonomik boyut altında yer alan 32 kriterin önem ağırlıkları CRITIC yöntemiyle belirlenmiştir. Bu amaçla enerji firmasının belirtilen kriterlere ilişkin veri setleri (Çizelge 2, 3, ve 4) kullanılarak, CRITIC yöntemiyle hesaplanan ağırlıklar Çizelge 5’de gösterilmiştir.

Çevresel sürdürülebilirlik boyutunda yer alan kriterlere ait ağırlıklar incelendiğinde, ağırlık değerlerinin birbirine yakın değerler aldığı ve aşırı büyük ağırlık değeri oluşmadığı görülmektedir. Sosyal sürdürülebilirlik boyutunda ise “SSb11” ile ifade edilen “araç kaza sayısı” ve “SSb12” ile ifade edilen “toplam araç kaza oranı” kriterlerinin daha yüksek ağırlık değerine sahip olduğu, bunun nedeni, Çizelge 5’de görüleceği üzere, bu kriterlerin yıllara göre değerlerinin daha yüksek farklılık göstermeleridir. Aynı durum, ekonomik sürdürülebilirlik boyutunda yer alan ve “ESb6” ile ifade edilen “toplam varlıklar” kriteri için de geçerlidir.

Çizelge 5. CRITIC yöntemine göre elde edilen kriter ağırlıkları

ÇSB		SSB				ESB	
ÇSbj	Ağırlık	SSbj	Ağırlık	SSbj	Ağırlık	ESbj	Ağırlık
ÇSb1	0,03014	SSb1	0,02486	SSb8	0,03630	ESb1	0,02683
ÇSb2	0,03415	SSb2	0,03476	SSb9	0,02504	ESb2	0,02853
ÇSb3	0,02442	SSb3	0,03541	SSb10	0,03650	ESb3	0,03854
ÇSb4	0,02630	SSb4	0,02965	SSb11	0,04150	ESb4	0,03134
ÇSb5	0,03402	SSb5	0,02752	SSb12	0,04299	ESb5	0,02363
ÇSb6	0,02597	SSb6	0,03633	SSb13	0,02844	ESb6	0,04199
ÇSb7	0,02921	SSb7	0,02928	SSb14	0,02618	ESb7	0,03632
ÇSb8	0,02901					ESb8	0,02536
ÇSb9	0,03745					ESb9	0,02202
Toplam	0,27068	Toplam			0,45476	Toplam	0,27456

Kriterlere ait ağırlıkların elde edilmesinden sonra bir sonraki adım, EDAS yönteminin kullanılması ile yıllar içindeki sürdürülebilirlik durumunun değerlendirilmesidir. Öncelikle bu yöntemin ilk üç adımına yönelik işlemler için Çizelge 2, 3 ve 4 matrisleri birleştirilerek işlemler yapılmıştır. Çizelge 6'da, yöntemde adım 3'e karşılık gelen ortalama çözüm değerleri verilmiştir. Bu işlemi takiben, adım 4'de verilmiş olan eşitlikler kullanılarak, PDA_{ij} ve NDA_{ij} değerleri hesaplanmıştır. Sonrasında, adım 5, 6 ve 7'de işlemlerin kullanılmasıyla Çizelge 7'deki nihai sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 7'den, firmanın 2015 yılında en iyi kurumsal sürdürülebilirlik performansını, 2014 yılında en kötü kurumsal sürdürülebilirlik performansını ortaya koymuş olduğu görülmektedir. Sosyal, çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik boyutları ayrı olarak ele alınıp analiz edildiğinde, Çizelge 8'deki veriler elde edilmiştir. Çizelge 8'de yer alan her bir sürdürülebilirlik boyutuna ait verilerin, daha iyi değerlendirilebilmesi amacıyla Şekil 1'de yıllara göre elde edilen ağırlıkların grafiği verilmiştir.

Çizelge 6. Tüm alt boyutların birlikte ele alınmasıyla elde edilen ortalama çözüm (AV)

Yıllar	ÇSb1	ÇSb2	ÇSb3	ÇSb4	ÇSb5	ÇSb6	ÇSb7	ÇSb8
2010	0,908	0,709	-0,639	0,068	0,967	0,313	-1,000	-1,274
2011	-0,024	0,721	-0,072	0,045	0,969	0,255	-1,000	0,312
2012	0,075	0,640	0,330	0,174	0,969	0,365	-0,927	0,550
2013	0,653	0,544	0,239	0,701	0,987	0,639	3,515	-0,119
2014	0,843	-0,454	-0,351	0,611	0,917	0,004	1,678	0,145
2015	-0,410	-0,861	0,727	0,208	0,817	-0,367	-0,166	0,526
2016	-0,202	-1,083	0,042	-0,488	-1,654	-0,201	-0,872	-0,479
2017	-1,111	0,088	-0,290	-0,840	-2,317	-0,682	-0,385	0,009
2018	-0,732	-0,304	0,013	-0,479	-1,654	-0,327	-0,843	0,329
Yıllar	ÇSb9	SSb1	SSb2	SSb3	SSb4	SSb5	SSb6	SSb7
2010	-0,180	0,018	-0,257	0,493	0,722	1,533	-0,124	-0,471
2011	0,642	0,028	-0,230	0,151	0,421	0,000	-0,076	-0,206
2012	0,735	0,072	-0,071	0,526	-0,010	0,067	-0,027	0,353
2013	-1,475	0,141	0,095	0,361	0,292	-0,067	-0,027	-0,059
2014	-1,116	0,062	0,175	-0,567	-0,440	-0,600	0,070	0,059
2015	0,406	0,035	0,148	-0,317	0,077	0,200	0,070	-0,029
2016	0,176	-0,100	0,042	-0,646	-0,483	-0,600	0,070	-0,059
2017	0,226	-0,154	-0,004	-0,396	-0,311	-0,067	0,022	0,118
2018	0,585	-0,100	0,102	0,394	-0,268	-0,467	0,022	0,294

Çizelge 6. (devam)

Yıllar	SSb8	SSb9	SSb10	SSb11	SSb12	SSb13	SSb14	ESb1
2010	0,145	-0,020	-0,187	1,000	1,000	-1,544	-0,235	1,087
2011	0,301	0,023	-0,127	-1,739	-2,240	-0,272	0,262	0,059
2012	0,717	0,127	-0,007	-2,130	-2,281	1,000	1,000	0,287
2013	0,040	0,532	0,294	-0,174	0,111	1,000	1,000	-0,058
2014	-1,000	-0,198	-0,217	0,609	0,633	-0,221	0,029	0,004
2015	-1,000	-0,178	-0,157	1,000	1,000	-0,239	0,121	-0,255
2016	0,040	-0,106	0,084	1,000	1,000	0,555	-1,590	-0,333
2017	0,040	-0,211	0,023	1,000	1,000	0,530	0,486	-0,286
2018	0,717	0,033	0,294	-0,565	-0,223	-0,809	-1,072	-0,506
Yıllar	ESb2	ESb3	ESb4	ESb5	ESb6	ESb7	ESb8	ESb9
2010	-0,998	-0,649	2,273	-0,935	-0,514	4,215	-0,944	-0,840
2011	-0,999	-0,541	23,530	-0,462	-0,433	28,902	-0,335	0,144
2012	0,978	-0,343	-13,216	-1,205	-0,282	-11,397	-1,141	-1,343
2013	0,447	-0,368	-21,370	-0,680	-0,185	-19,033	-0,749	-0,525
2014	0,544	-0,078	-32,341	-0,190	-0,174	-20,022	0,034	0,184
2015	0,146	0,478	57,466	-0,115	0,357	21,136	-0,649	-0,213
2016	0,025	0,165	25,449	0,383	0,284	11,706	-0,185	0,300
2017	0,097	0,520	-21,852	0,279	0,496	-8,673	-0,556	0,031
2018	-0,240	0,816	-19,940	2,924	0,452	-6,835	4,526	2,262

Firmanın 2016 yılında bazı üretim tesisleri için, ISO 14001:2015 Çevre Yönetim Sistemleri belgesini aldığı bilinmektedir. Çevre alanında yapılan bunun gibi yatırımların, 2017 yılından itibaren olumlu anlamda geri dönüş sağladığı görülmektedir. Sosyal sürdürülebilirlik performansının özellikle 2013 yılından sonra çok büyük bir değişime sahip olmadığını; 2010 yılında

firmannın en iyi sosyal sürdürülebilirlik performansını elde edilirken, 2011 yılı ise en kötü sosyal sürdürülebilirlik performansını elde ettiği görülmektedir. Ekonomik sürdürülebilirlik açısından firmanın 2011 yılında iyi bir seviyeden düşüş eğilimine geçtiği ve yeniden toparlanma sağladığı 2014 yılına kadar ciddi bir düşüş yaşadığı görülmektedir.

Çizelge 7. Tüm boyutların birlikte ele alınmasıyla elde edilen nihai sonuçlar ve sıralama sonucu

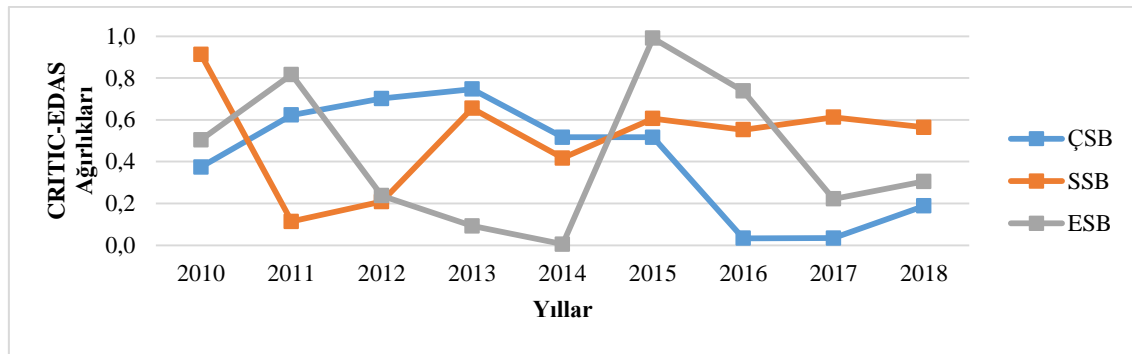
Yıllar	SP_i	SN_i	NSP_i	NSN_i	AS_i	Sıra
2010	0,5192	0,3127	0,1860	0,8377	0,5118	4
2011	1,9272	0,3163	0,6904	0,8358	0,7631	2
2012	0,2747	1,1576	0,0984	0,3991	0,2487	6
2013	0,3413	1,5016	0,1223	0,2205	0,1714	8
2014	0,2116	1,9264	0,0758	0,0000	0,0379	9
2015	2,7915	0,1522	1,0000	0,9210	0,9605	1
2016	1,3737	0,2726	0,4921	0,8585	0,6753	3
2017	0,1815	1,2263	0,0650	0,3634	0,2142	7
2018	0,3803	1,1353	0,1362	0,4107	0,2735	5

Çizelge 8. Her bir boyut açısından elde edilen performans sıralama sonuçları

Yıllar	ÇSB		SSB		ESB	
	AS_i	Sıra	AS_i	Sıra	AS_i	Sıra
2010	0,3739	6	0,9128	1	0,5041	4
2011	0,6233	3	0,1134	9	0,8170	2
2012	0,7018	2	0,2089	8	0,2374	6

Çizelge 8. (devam)

Yıllar	ÇSB		SSB		ESB	
	AS_i	Sıra	AS_i	Sıra	AS_i	Sıra
2013	0,7469	1	0,6551	2	0,0924	8
2014	0,5165	5	0,4167	7	0,0050	9
2015	0,5167	4	0,6062	4	0,9905	1
2016	0,0332	9	0,5523	6	0,7376	3
2017	0,0341	8	0,6120	3	0,2218	7
2018	0,1881	7	0,5639	5	0,3052	5



Şekil 1. 2010-2018 yılları itibariyle enerji firmasının her bir boyut açısından performans ölçümü

2011 yılındaki küresel ekonomik kriz ile bağlantı piyasa koşullarının ve firmanın 2012 yılında yaptığı yeni yatırımların, firmayı zorlamış ve ekonomik sürdürülebilirlikteki düşüş etkisini tetiklemiş olabileceği düşünülmektedir.

2015 yılında en yüksek seviyeye ulaşan ekonomik sürdürülebilirlik performansı, bu yıl sonrasında tekrar düşüşe geçmiş ve ardından 2017 itibariyle yükselişe geçmiştir. Firmanın çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından çok istikrarlı bir durum sergileyemeyişi, genel kurumsal sürdürülebilirlik performansına da yansımaktadır. Ancak, her iki sürdürülebilirlik alt boyutunda 2018 yılında yükseliş olması, firma açısından olumlu bir durum olarak ortaya çıkmaktadır.

4.2. Farklı Objektif Ağırlıklandırma Yöntemleri ile Kıyaslama

Farklı ağırlıklandırma yöntemlerinin, sonuç üzerindeki etkisini görebilmek amacıyla, önerilen CRITIC-EDAS bütünlük yönteminden elde

edilen performans sıralama sonuçları, farklı objektif ağırlıklandırma yöntemleri ile EDAS yönteminin bütünlük yöntemiyle elde edilen diğer bütünlük yöntemlerle karşılaştırılmıştır.

Farklı bütünlük yöntemleri kullanılarak enerji firmasının yıllar itibariyle kurumsal sürdürülebilirlik performans sıralamasına ait sonuçları Çizelge 9'da gösterilmiştir.

Farklı ağırlıklandırma yöntemleri ile elde edilen sonuçlar arasında anlamlı bir farkın olup olmadığını tespit etmek amacıyla Spearman korelasyon testi kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 10'da verilmiştir.

Çalışmada önerilen CRITIC-EDAS bütünlük yaklaşımı ile diğer ağırlıklandırma yöntemleri ile oluşturulan bütünlük yaklaşımları arasında yüksek benzerlik olduğu Çizelge 10'da görülmektedir.

Sonuç olarak, farklı ağırlıklandırma yöntemlerini mevcut firmanın kurumsal sürdürülebilirlik analiz sonuçlarında anlamlı bir fark yaratmamıştır.

Çizelge 9. Tüm boyutların birlikte ele alınmasıyla elde edilen farklı bütünlük yaklaşımlara göre performans sıralama sonuçları

Yıllar	CRITIC-EDAS		MW-EDAS		ENTROPİ-EDAS		CV-EDAS	
	AS_i	Sıra	AS_i	Sıra	AS_i	Sıra	AS_i	Sıra
2010	0,5118	4	0,4977	4	0,5175	4	0,2748	4
2011	0,7631	2	0,7587	2	0,7708	2	0,3988	2
2012	0,2487	6	0,2563	6	0,2563	5	0,4541	5
2013	0,1714	8	0,1811	8	0,2065	7	0,8904	8
2014	0,0379	9	0,0389	9	0,0417	9	0,6203	9
2015	0,9605	1	0,9573	1	0,9697	1	0,4287	1
2016	0,6753	3	0,6650	3	0,6725	3	0,0077	3
2017	0,2142	7	0,2003	7	0,2003	8	0,0117	7
2018	0,2735	5	0,2760	5	0,2386	6	0,0765	6

Çizelge 10. Bütünlük yaklaşımların sıralama sonuçlarının Spearman korelasyon katsayısı (r_s)

	CRITIC-EDAS	MW-EDAS	ENTROPİ-EDAS	CV-EDAS
CRITIC-EDAS	1	1,000	0,967	0,983
MW-EDAS	-	1	0,967	0,983
ENTROPY-EDAS	-	-	1	0,983
CV-EDAS	-	-	-	1

5. SONUÇ

Enerji firmalarının gerek ülke ekonomisi gerekse stratejik önemleri dikkate alındığında, kurumsal sürdürülebilirlik farkındalığı ve uygulamaları açısından öncü firmalar arasında yer alması beklenmektedir. Ancak, BİST’de yer alan enerji firmaları incelendiğinde, dokuz enerji firması içerisinde üç tanesinin sürdürülebilirlik raporu yayınladığı görülmektedir. Bununla birlikte sürdürülebilirlik raporu yayımlayan firmaların önemli bir bölümünün istikrarlı bir şekilde her yıl için aynı göstergeleri sunmadığı ortaya çıkmıştır. Sektörlere göre göstergelerin belirlenip, firmaların sürdürülebilirlik raporlarında bu verileri bulundurmaları, hem firma bazında değerlendirilme yapılması, hem de sektördeki firmaların birbirleriyle kıyaslanarak değerlendirilmeleri açısından bir zorunluluktur.

Bu çalışmada, BİST’de işlem gören bir enerji firmasının 2010-2018 yılları arasında kurumsal sürdürülebilirlik performans değerlendirme analizi için ÇKKV yöntemlerinden CRITIC-EDAS bütünlük yaklaşımı önerilmiştir. Bu amaçla, öncelikle ilgili enerji firmasının sürdürülebilirlik raporlarında yer alan ekonomik, çevresel ve sosyal

sürdürülebilirlik boyutlarına ait göstergeler dikkate alınarak kriterler ortaya konmuştur. Ekonomik göstergelerin ortaya konmasında, ilgili firmaya ait faaliyet raporları da kullanılmıştır. Belirlenen göstergelerin ağırlıkları, uzman görüşlerine ihtiyaç duyulmaksızın, CRITIC yöntemiyle objektif olarak hesaplanmıştır. Sonrasında, EDAS yönteminin uygulanması ile elde edilen veriler ışığında; firmanın kurumsal sürdürülebilirlik performansının çok istikrarlı bir durum sergilemediği ancak, 2018 yılında çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik sürdürülebilirlik boyutlarında yükseliş olduğu görülmüştür. Ayrıca çalışmada son olarak, farklı objektif ağırlıklandırma yöntemleri kullanılmış ve bu yöntemlerden elde edilen ağırlıklar çalışmada önerilen yaklaşımda olduğu gibi EDAS yöntemiyle entegre edilerek farklı bütünlük yaklaşımlar elde edilmiştir.

Böylece, bu yaklaşımlara göre yıllar bazındaki performans skorları elde edilerek yılların sıralamaları belirlenmiştir. Farklı bütünlük yaklaşımlardan elde edilen sonuçların birbirlerine göre kıyaslaması için Spearman korelasyon testi kullanılmış ve sıralama sonuçları arasında hemen fark görülmediği tespit edilmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Düzer, M., Önce, S., 2017. Kurumsal Sürdürülebilirlik Raporlaması ve Finansal Performans: BİST’te İşlem Gören Şirketler için Karşılaştırmalı Bir Analiz. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2(2), 637-648.
2. Öner, Ş., Ağca, A., 2018. İşletmelerin Risk Gruplarına Göre Çevresel Sürdürülebilirlik Uygulamaları: BIST 100 Endeksinde Bir Uygulama. İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi, 7(1), 77-89.
3. Önce, S., Onay A., Yeşilçelebi, G., 2015. Corporate Sustainability Reporting and Situation in Turkey. Journal of Economics, Finance and Accounting, 2(2), 230-252.
4. Gürül, B., 2016. Kurumsal Sürdürülebilirlik Yaklaşımı-Bir Örnek. International Conference on Eurasian Economies, August 29-31, Kaposvar-Hungar.
5. Gücenme, U., Aytaç, A., 2016. Kurumsal Sürdürülebilirlik Açısından Entegre Raporlamanın Önemi ve BIST Uygulamaları. Muhasebe ve Finansman Dergisi, 72, 51-66.
6. Alp, İ., Öztel, A., Köse, M.S., 2015. Entropi Tabanlı MAUT Yöntemi ile Kurumsal Sürdürülebilirlik Performansı Ölçümü: Bir Vaka Çalışması. Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 11(2), 65-81.
7. Ergüden, E., Çatlıoğlu, E., 2016. Sustainability Reporting Practiceses in Energy Companies with TOPSIS Method. Muhasebe ve Finansman Dergisi, 71, 201-222.
8. Aras, G., Tezcan, N., Furtuna, O.K., Kazak, E.H., 2017. Corporate Sustainability Measurement Based on Entropy Weight and Topsis: A Turkish Banking Case Study. Meditari Accountancy Research, 25(3), 391-413.
9. Ömürbek, V., Aksoy, E., Akçakanat, Ö., 2017. Bankaların Sürdürülebilirlik Performansının ARAS, MOOSRA ve COPRAS Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi, 8(19), 14-32.
10. Küçükbay, F., Sürücü, E., 2017. Corporate Sustainability Performance Measurement Based on a New Multicriteria Sorting Method. Corporate Social Responsibility and Environmental Management, 26, 664-680.
11. Ersoy, N., 2018. Entropy Tabanlı Bütünleşik ÇKKV Yaklaşımı ile Kurumsal Sürdürülebilirlik Performans Ölçümü. Ege Akademik Bakış, 18(3), 367-385.
12. Öztel, A., Aydın, B., Köse, M.S., 2018. Entropi Tabanlı TOPSIS Yöntemiyle Enerji Sektöründe Kurumsal Sürdürülebilirlik Performansının Ölçümü: Akenerji Örneği. Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 9(24).
13. Ecer, F., 2019. Özel Sermayeli Bankaların Kurumsal Sürdürülebilirlik Performanslarının Değerlendirilmesine Yönelik Çok Kriterli Bir Yaklaşım: Entropi- ARAS Bütünleşik Modeli. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi, 14(2), 364-390.
14. Korzeb, Z., Medina, R.S., 2019. Sustainability Performance. A Comparative Analysis in the Polish Banking Sector. Sustainability, 11(653), 1-16.
15. Stojic, M., Zavadskas, E.K., Pamucar, D., Stevic, Z., Mardani, A., 2019. Application of MCDM Methods in Sustainability Engineering: A literature review 2008-2028. Symmetry, 11 (350), 1-24.
16. Wang, Y.M., Luo, Y., 2010. Integration of Correlations with Standard Deviations for Determining Attribute Weights in Multiple Attribute Decision Making. Mathematical and Computer Modelling, 51(1-2), 1-12.
17. Deng, H., Yeh, C.H., Willis, R.J., 2000. Inter-Company Comparison Using Modified TOPSIS with Objective Weights. Computers & Operations Research, 27, 963-973.
18. Diakoulaki, D., Mavrotas, G., Papayannakis, L. 1995. Determining Objective Weights in Multiple Criteria Problems: the CRITIC method. Computers & Operations Research, 22(7), 763-770.
19. Wang, Y.M., 1998. Using the Method of Maximizing Deviations to Make Decision for Multi-indices. Systems Engineering and Electronics, 7(31), 24-26.
20. Ma, J., Fan, Z.P., Huang, L.H., 1999. A Subjective and Objective Integrated Approach to Determine Attribute Weights. European Journal of Operational Research, 112, 397-404.

21. Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E.K., Olfat, L., Turskis, Z., 2015. Multi-criteria Inventory Classification Using a New Method of Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS). *Informatica*, 26(3), 435-451.
22. Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E.K., Amiri, M., Turskis, Z., 2016. Extended EDAS Method for Fuzzy Multi-criteria Decision-making: an Application to Supplier Selection. *International Journal of Computers Communications & Control*, 11(3), 358-371.
23. Ulutaş, A., 2017. Edas Yöntemi Kullanılarak Bir Tekstil Atölyesi için Dikiş Makinesi Seçimi, *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 9(2), 169-83.
24. Juodagalvienė, B., Turskis, Z., Šaparauskas, J., Endriukaitytė, A., 2017. Integrated Multi-criteria Evaluation of House's Plan Shape Based on the EDAS and SWARA Methods. *Engineering Structures and Technologies*, 9(3), 117-125.
25. Kahraman, C., Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E.K., Cevik Onar, S., Yazdani, M., Oztaysi, B., 2017. Intuitionistic Fuzzy EDAS Method: An Application to Solid Waste Disposal Site Selection. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 25(1), 1-12.
26. Ecer, F., 2018. Third-party Logistics (3PLs) Provider Selection Via Fuzzy AHP and EDAS Integrated Model. *Technological and Economic Development of Economy*, 24(2), 615-634.
27. Karabasevic, D., Zavadskas, E.K., Stanujkic, D., Popovic, G., Brzakovic, M., 2018. An Approach to Personnel Selection in the IT Industry Based on the EDAS Method. *Transformations in Business & Economics*, 44, 54-65.
28. Mathew, M., Sahu, S., 2018. Comparison of New Multi-criteria Decision Making Methods for Material Handling Equipment Selection. *Management Science Letters*, 8(3), 139-150.
29. Chatterjee, P., Banerjee, A., Mondal, S., Boral, S., Chakraborty, S., 2018. Development of a Hybrid Meta-Model for Material Selection Using Design of Experiments and Edas Method. *Engineering Transactions*, 66(2), 187-207.
30. Özbek, A., Engür, M., 2018. EDAS Yöntemi ile Lojistik Firma Web Sitelerinin Değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 21(2), 417-429.
31. Kowal, B., Kostra, A., 2016. Sustainability Reporting in the Energy Sector. *E3S Web of Conferences* 10, SEED 00129 (2016).

İğne Çapı ve Besleme Hızının Elektro Çekim Tekniğiyle Üretilmiş Poliakrilonitril Nanoliflerinin Morfolojisine Etkisi

Halil İbrahim İÇOĞLU*¹

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

Geliş tarihi: 17.07.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Elektro çekim tekniği, sahip olduğu avantajlar sayesinde nanolif üretiminde en çok kullanılan ve araştırılan yöntemdir. Üretilen nanolif morfolojisi üzerinde etkili olan elektro çekim parametrelerinde, bazı parametreler (viskozite, yüzey gerilimi vb.) birinci dereceden önemliken bazıları (voltaj, çözelti besleme hızı vb.) da ikinci derece öneme sahiptir. Çeşitli polimerler için özellikle iğne çapı ve ortalama nanolif çapı arasında birbirinden farklı ilişkilerin gözlemlendiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada, poliakrilonitril (PAN) polimeri için dört farklı iğne çapı ve dört farklı çözelti besleme hızı kullanılarak elektro çekim tekniğiyle üretilen nanoliflerin morfolojisi incelenmiştir. Üretilen nanoliflerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri alınarak, bir görüntü analiz programı yardımıyla ortalama nanolif çapları ve varyasyonları ölçülmüştür. Sonuç olarak iğne çapındaki ve çözelti besleme hızındaki artışın ortalama nanolif çaplarında artışa neden olduğu görülmüştür. Bununla beraber kalın iğnelerde daha düşük nanolif çap varyasyonu elde edilmiştir. Özellikle 60 µL/min besleme hızı için iğne çapı artışının boncuklanmayı artırdığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektro çekim, Nanolif, Poliakrilonitril, İğne çapı, Besleme hızı

Effect of Needle Diameter and Flow Rate on Electrospun Polyacrylonitrile Nanofiber Morphology

Abstract

Due to the advantageous properties, electrospinning is the most common method in nanofiber production. While some electrospinning parameters (viscosity, surface tension etc.) are fundamentally important on nanofiber morphology, the others (applied voltage, feed rate etc.) are also important. Different relationships between needle diameter and average nanofiber diameter for various polymers have been mentioned in the literature. In this study, the effect of needle diameter and flow rate on morphology of electrospun polyacrylonitrile (PAN) nanofibers are investigated. Scanning electron microscopy (SEM) is used for determination of morphology and also an image processing software is used for determination of average diameter and standard deviation of PAN nanofibers. The results show that, average nanofiber diameter increases with increasing of needle diameter and flow rate. Also, lower nanofiber diameter deviation is obtained in larger diameter needles. Also it is seen that, bead formation increases with increasing of needle diameter for especially 60 µL/min of feed rate value.

Keywords: Electrospin, Nanofiber, Polyacrylonitrile, Needle diameter, Flow rate

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Halil İbrahim İÇOĞLU, icoglu@gantep.edu.tr

1. GİRİŞ

Nanolifler, nanometre boyutunda çapa sahip olup, bundan dolayı başta yüksek yüzey alanı olmak üzere birçok avantajlı özelliklere sahiptir. Bu nedenle nanolifler, filtrasyon, doku mühendisliği, ilaç salınımı vb. potansiyel uygulama alanlarına sahiptirler [1-3]. Farklı yöntemlerle nanoliflerin üretilmesinin mümkün olmasına rağmen, elektro çekim tekniğiyle nanolif üretilmesi, sistemin basitliği, düşük maliyetli olması, tekrarlanabilirliği ve endüstriyel ölçekte üretime uygunluğu açısından ön plana çıkmaktadır [4,5]. Elektro çekim yöntemi en basit haliyle; bir yüksek voltaj güç kaynağı, bir toplayıcı ve bir çözelti besleme sistemi ile kapılar uçtan(iğne) oluşmaktadır [6].

Poliakrilonitril (PAN) polimeri sahip olduğu özelliklerden dolayı tekstil endüstrisinde birçok alanda kullanılmasının yanı sıra nanolif formunda filtrasyon ve biyomedikal gibi alanlarda da kullanılma potansiyeline sahiptirler [7,8].

Elektro çekim yönteminde üretilen nanoliflerin morfolojisi üzerinde etkisi olan parametreler, üç grup altında toplanabilir. Bunlar, polimer/çözelti parametreleri (viskozite, yüzey gerilimi, iletkenlik vb.), işlem parametreleri (uygulanan voltaj, iğne ucu-toplayıcı arası mesafe, iğne çapı, çözelti besleme hızı vb.) ve çevresel parametrelerdir (ortam sıcaklığı ve nemi vb.) [9].

Polimer/çözelti ve işlem parametreleri konusunda birçok polimer için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Ancak, özellikle işlem parametreleri ele alındığında ise iğne çapı üzerine odaklanılarak yapılan çalışmaların sınırlı olduğu görülmüştür [10-13]. Bu çalışmaların haricinde iğne çapı ve çözelti besleme hızının da incelendiği genel elektro çekim parametrelerinin incelendiği çalışmalara da rastlanılmıştır [14-22].

Macossay ve arkadaşları polimetil metakrilat (PMMA) polimeri için yaptıkları çalışmalarında, iğne çapı ile nanolif inceliği arasında ilişki olmadığını ancak, iğne çapının artmasının nanolif çap varyasyonunu azalttığını belirtmişlerdir [10]. Ancak He ve arkadaşları polietilen oksit (PEO)

polimeriyle yaptıkları çalışmalarında, iğne çapının artmasının nanolif çapını artırdığını belirtmişlerdir [11]. Benzer ilişki Abunahel ve arkadaşları ile Kızıldağ ve arkadaşları yaptıkları iğne çapı çalışmalarında da görülmüştür [12,13].

Mo ve arkadaşları P(LLA-CL) polimeri için yaptıkları çalışmalarında iğne çapındaki artışın, boncuk oluşumuna ve tıkanmaya neden olduğunu belirtmişlerdir [14]. Çeşitli polimerler için genel elektrospin parametrelerinin incelendiği çalışmalarda ortalama nanolif çapının, iğne çapının artışıyla arttığı belirtilmiştir [15-18]. Ancak, Sencadas ve arkadaşları yaptıkları çalışmada iğne çapının artışının nanolif çapına belirli bir etkisinin olmadığını, sadece nanolif çap varyasyonunu azalttığını belirtmişlerdir [19]. Zhao ve arkadaşları ise yaptıkları çalışmada, iğne çapındaki artışın hem ortalama nanolif çapını artırdığını hem de nanolif çap varyasyonunu artırdığını belirtmişlerdir [20]. Wang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ise iğne çapındaki artışın, ortalama nanolif çaplarını önce azaltıp sonra artırdığını görmüşlerdir [21].

Çözelti besleme hızının artmasının, üretilen nanoliflerin çaplarını artırdığı, aynı zamanda boncuk oluşumuna neden olduğu yönde çeşitli çalışmalar mevcuttur [19,22]. Bununla beraber, çözelti besleme hızının ortalama nanolif çapını etkilemediği yönünde de çalışmalara rastlanılmıştır [17,23].

Mevcut literatür incelendiğinde özellikle iğne çapı ve ortalama nanolif çapı arasında birbirinden farklı ilişkilerin gözlemlendiği tespit edilmiştir. Mevcut literatüre katkı sunmak adına bu çalışmada, PAN polimeri için iğne çapı ve çözelti besleme hızının üretilen nanoliflerin morfolojisine etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan Poliakrilonitril (PAN) polimeri (Mw 150.000) AKSA Akrylic firmasından temin edilmiştir. Elektro çekim çözeltisinin hazırlanmasında çözücü olarak

kullanılan dimetil formamid (DMF) Sigma Aldrich firmasından satın alınmıştır. PAN/DMF çözeltisi, ağırlıkça %12'lik konsantrasyonda bir manyetik karıştırıcı ile 90 °C'de 3 saat boyunca karıştırılarak hazırlanmıştır.

2.2. Metot

Çalışmada kullanılan elektro çekim deney düzeneği; iki adet yüksek voltaj güç kaynağı (+50 kV ve -50 kV, Gamma High Voltage®), şırınga pompası (New Era®/NE1000) ve sabit bakır toplayıcı plaka temel bileşenlerinden oluşmaktadır. Deney düzeneği kapalı ve yalıtımlı olup, düzenekte ayrıca sıcaklık ve nem kontrol üniteleri de bulunmaktadır. Çalışma sırasında tüm fanlar devre dışı bırakılmıştır. Nanolifler, alüminyum folyo üzerinde oluşturulmuştur.

Elektro çekim işleminde; uygulanan voltaj, iğne ucu-toplayıcı arası mesafe, ortam sıcaklığı ve rölatif nem sırasıyla, 26 kV, 13 cm, 25 °C ve %40 olarak sabit tutulmuştur. Bu değerler; kesiksiz ve stabil PAN nanolif üretimi gözlemlendiği için seçilmiştir [9]. Çalışmada iğne çapının ve çözelti besleme hızının nanolif morfolojisi üzerine etkilerini görmek için, 4 farklı iğne ve 4 farklı besleme hızı kullanılmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Çalışmada incelenen parametreler

Parametre		Değer
İğne	Numara	22G - 21G - 20G - 18G
	İç çap (mm)	0,41 - 0,51 - 0,60 - 0,83
Besleme hızı (µL/min)		15 - 30 - 45 - 60

Çalışmada kullanılacak PAN/DMF çözeltisinin viskozitesi, yüzey gerilimi ve elektriksel iletkenliği sırasıyla, Brookfield DV-III Ultra reometre cihazı, Attention Theta optik tensiyometre cihazı ve Orion 4 Star Plus iletkenlik ölçüm cihazı ile tespit edilmiştir.

Çizelge 1'de verilen elektro çekim işlem parametrelerine göre toplamda 16 farklı nanolif numunesi üretilmiştir. Üretilen PAN nanoliflerinin morfolojilerinin incelenmesi amacıyla,

JEOL JSM-6390LV marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Nanolif çaplarının belirlenmesinde ImageJ yazılımı kullanılmış ve her görüntüden 50 ölçüm alınarak ortalama ve standart sapmaları hesaplanmıştır.

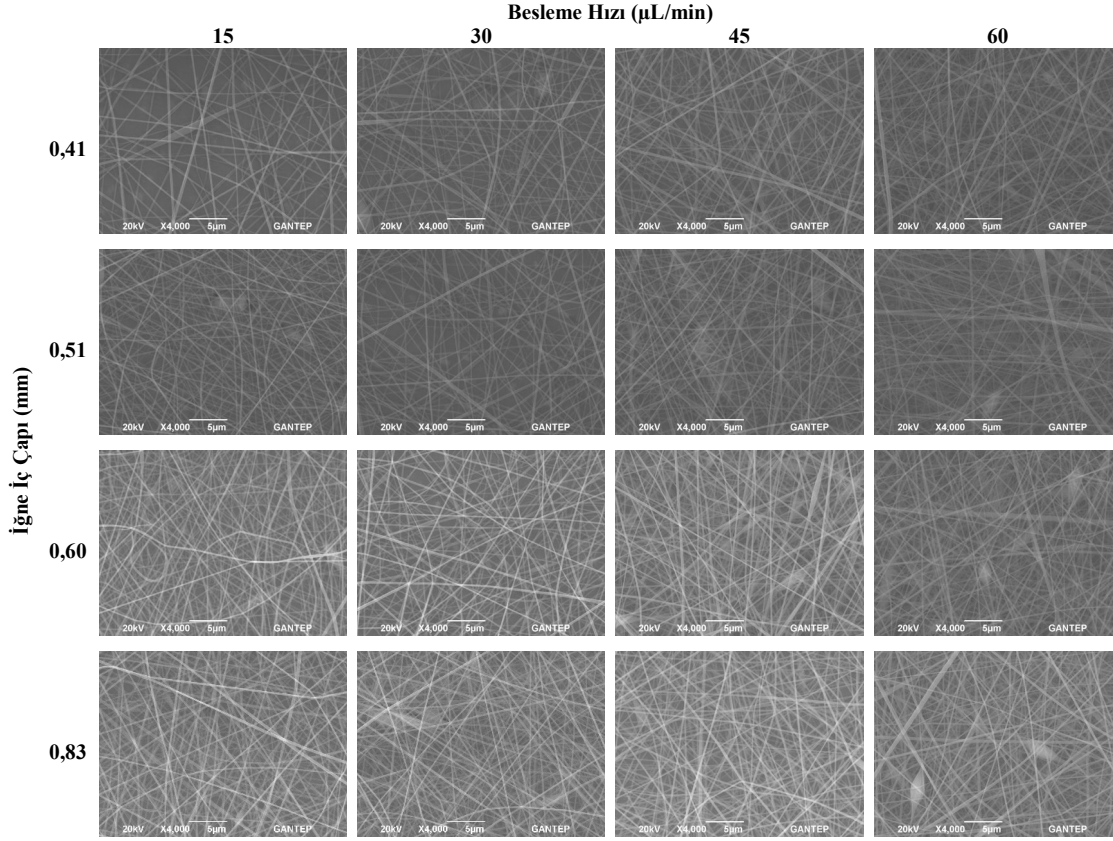
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Hazırlanan ağırlıkça %12'lik PAN/DMF çözeltisinin yüzey gerilimi, iletkenlik ve viskozite (25 °C'de) değerleri sırasıyla; 39,18 mN/m, 73,4 µS/cm ve 896 cP olarak tespit edilmiştir.

Dört farklı çözelti besleme hızı ve dört farklı iğne çapı kullanılarak üretilen PAN nanoliflerine ait alınan SEM görüntüleri toplu olarak Şekil 1'de verilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde tüm iğne çapları ve besleme hızları için PAN nanoliflerinin üretildiğini ve bu liflerin genel olarak dairesel formda oldukları tespit edilmiştir. Ayrıca besleme hızı artışının özellikle kalın çaplı iğnelerde bir miktar boncuklanmaya neden olduğu görülmüştür. Benzer durum, önceki çalışmalarda da görülmüştür [19,22]. Özellikle 60 µL/min besleme hızı için iğne çapı artışının boncuklanmayı artırdığı SEM görüntülerinden görülmektedir. Çapı geniş iğnelerde tıkanma ve boncuk oluşumu Mo ve arkadaşları yaptığı çalışmada da gözlemlenmiştir [14]. Çözelti besleme hızının artması aynı birim yük için çekilecek polimer çözeltisi miktarının artması demektir. Aynı şekilde iğne çapının artışı, iğne ucunda oluşan damlanın daha geniş çaplı olması demektir. Bunun sonucunda, hava ile etkileşimin artması oluşan jetin stabilitesinde bozulmaya neden olabilir. Böylelikle boncuk oluşumunun arttığı söylenebilir. Bu durumu önlemek için kalın çaplı iğnelerde jetin stabilitesini sağlamak adına viskozitesi daha yüksek çözeltiler kullanılırsa, boncuk oluşumu önlenebilir.

Çizelge 2'de farklı çözelti besleme hızları ve iğne çaplarında üretilen PAN nanolif numunelerine ait ölçülen ortalama çaplar ve standart sapmaları yer almaktadır. Ortalama nanolif çapları incelendiğinde en düşük değere, 15 µL/min ve 0,41 mm iğne iç çapı değerlerinde ulaşıldığı görülmektedir.

İğne Çapı ve Besleme Hızının Elektrospin Tekniğiyle Üretilmiş Poliakrilonitril Nanoliflerinin Morfolojisine Etkisi



Şekil 1. Farklı iğne çapı ve besleme hızlarında üretilen PAN nanoliflerinin SEM görüntüleri

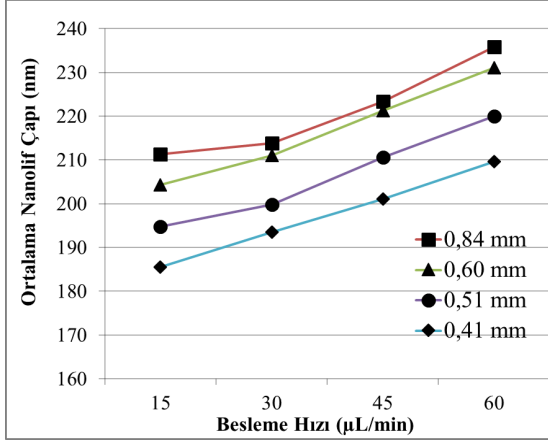
Nanolif çap varyasyonu incelendiğinde ise en düşük varyasyon değerlerinin, 0,84 mm iç çapındaki iğnede (en kalın iğne); en yüksek varyasyon değerlerinin 0,41 mm iç çapındaki iğnede (en ince iğne) elde edildiği görülmektedir. Çözelti besleme hızının ise nanolif çap varyasyonu

üzerinde belirli bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

Şekil 2’de çözelti besleme hızına göre ortalama nanolif çapındaki değişimler dört farklı iğne çapı için grafik olarak verilmiştir.

Çizelge 2. Farklı iğne çaplarında ve besleme hızlarında üretilen PAN nanoliflerine ait ortalama çaplar ve standart sapmaları (nm)

İğne İç Çapı (mm)	Besleme Hızı (µL/min)			
	15	30	45	60
0,41	186 ±37	193 ±38	201 ±43	210 ±45
0,51	195 ±34	200 ±35	211 ±38	220 ±36
0,60	204 ±29	211 ±31	221 ±30	231 ±28
0,84	211 ±26	214 ±27	223 ±25	236 ±25



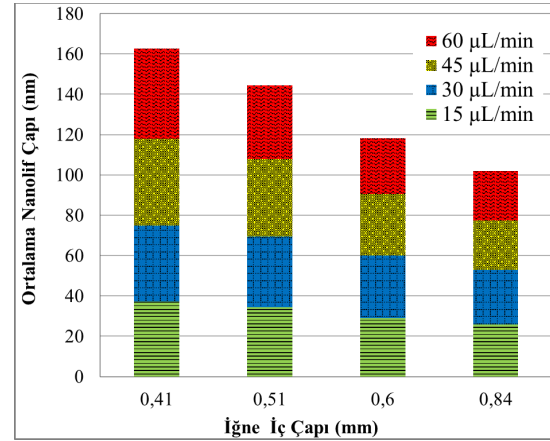
Şekil 2. Besleme hızına göre ortalama nanolif çapı değişim grafiği

Besleme hızındaki artışın ortalama nanolif çaplarını, tüm iğne çapları için artırdığı görülmektedir. Bu durum önceki çalışmaların çoğuyla benzer çıkmıştır [19,22]. Çözelti besleme hızının artışı aynı voltaj değeri için, elektro çekime tabi tutulacak birim çözelti miktarının artması anlamına gelir. Bu da verilen çekimin, düşük besleme hızlarına göre daha az olmasına neden olur ve nanoliflerin kalınlaşmasını sağlar. Literatürde karşılaşılan ve bizim çalışmamıza zıt sonuçların bulunduğu bazı çalışmalarda, besleme hızının nanolif çapına etki etmediği belirtilmiştir. Bu durumun nedeninin her iki çalışmada da düşük viskoziteli çözeltiler kullanılmasından kaynaklandığı söylenebilir [17,23].

PAN nanolifleri için, iğne çaplarındaki artışın, tüm besleme hızları için nanolif çaplarını artırdığı görülmektedir. Bu durum literatürdeki bazı çalışmalarla benzerlik göstermektedir [11-13,15-18]. İğne çapındaki artışın, üretilen nanolifleri kalınlaştırması farklı mekanizmalarla açıklanabilir. İlk olarak, iğne çapındaki artış daha büyük çaplı damla oluşumuna neden olur. Damlanın büyümesinin yüzey geriliminin azalmasına neden olacağı bilinmektedir [20]. Aynı voltaj değeri için düşük yüzey gerilimi demek, jet oluşum hızının artması ve toplayıcıya ulaşma süresinin kısalması anlamına gelir. Bu da çekimin azalması dolayısıyla da nanoliflerin kalınlaşmasına neden olmaktadır. Ayrıca, aynı besleme hızı için iğne çapının

azalması, iğne içindeki çözeltinin hızının ve buna bağlı kayma hızının artmasına neden olacak ve bu durum viskoziteyi azaltacaktır [11]. Viskozitenin azalmasıyla da üretilen nanoliflerin incelmeleri sonucu ortaya çıkmıştır. Son olarak, iğne çapının artması damlanın büyümesi demektir ve bu da hava ile etkileşim halinde olan çözelti miktarının daha fazla olması ve dolayısıyla daha hızlı buharlaşma ve katılaşma görülmesi demektir. Bu durum, iğne çapının artmasıyla tıkanma probleminin artması konusuyla ilişkilendirilebilir [14]. Hızlı katılaşan jet fazla çekime uğramaz ve bu durum da kalın çaplarda nanoliflerin oluşumuna neden olabilir.

Şekil 3'te iğne çaplarına göre nanolif çapı varyasyonlarındaki değişim dört farklı çözelti besleme hızı için grafik olarak verilmiştir.



Şekil 3. İğne çaplarına göre nanolif çapı varyasyonlarındaki değişim grafiği

PAN nanolifleri için iğne çapının artması, ortalama nanolif çaplarındaki standart sapma değerlerinde azalmaya neden olmuştur. Bu da kalın iğnelere elde edilen nanoliflerin daha homojen bir çap dağılımına sahip olduğunu göstermektedir. Bu sonuç Macossay ve arkadaşları ile Sencadas ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarla benzerlik göstermektedir [10,19]. Çap varyasyonunun ince iğnelere daha çok görülmesinin sebebinin, aynı besleme hızı için yüzey geriliminin ve iğne ucu çıkış hızının dahayüksek olmasıyla ilişkili olduğu söylenebilir. PAN nanolifleri için çözelti besleme

hızı ile nanolif çap varyasyonu arasında net bir ilişki görülmemiştir.

4. SONUÇ

Çalışma kapsamında, PAN polimeri kullanılarak iğne çapı ve çözelti besleme hızının üretilen nanoliflerin morfolojisine etkilerinin belirlenmesi araştırılmıştır. Dört farklı iğne çapı ve dört farklı çözelti besleme hızı kullanılarak PAN/DMF çözeltisi elektro çekim tekniğiyle nanoliflere dönüştürülmüş ve bu nanoliflerin morfolojilerinin tespit edilmesi için SEM cihazı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, hem iğne çapındaki artışın ve hem de çözelti besleme hızındaki artışın ortalama nanolif çaplarını artırdığı tespit edilmiştir. Bununla beraber, iğne çapının artması, ortalama nanolif çaplarındaki standart sapma değerlerinde azalmaya neden olduğu görülmüştür. Ayrıca besleme hızı artışının kalın çaplı iğnelerde bir miktar boncuklanmaya neden olduğu görülmüştür. Özellikle 60 µL/min besleme hızı için iğne çapı artışının boncuklanmayı artırdığı da gözlemlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Huang, Z.M., Zhang, Y.Z., Kotaki, M., Ramakrishna, S., 2003. A Review on Polymer Nanofibers by Electrospinning and their Applications in Nanocomposites, *Composites Science and Technology*, 63(15), 2223-2253.
2. Gibson, P.W., Lee, C., Ko, F., Reneker, D., 2007. Application of Nanofiber Technology to Nonwoven Thermal Insulation, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 2(2), 32-40.
3. Rutledge, G.C., Fridrikh, S.V., 2007. Formation of Fibers by Electrospinning, *Advanced Drug Delivery Reviews*, 59(14), 1384-1391.
4. Baumgarten, P.K., 1971. Electrostatic Spinning of Acrylic Microfibers, *Journal of Colloid and Interface Science*, 36(1), 71-79.
5. Doshi, J., Reneker, D.H., 1995. Electrospinning Process and Applications of Electrospun Fibers, *Journal of Electrostatics*, 35(2-3), 151-160.
6. Formhals, A. 194. US Patent, 1, 975 504.
7. Sawhney, A.P.S., Condon, B., Singh, K.V., Pang, S.S., Li, G., Hui, D., 2008. Modern Applications of Nanotechnology in Textiles, *Textile Research Journal*, 78(8), 731-739.
8. Qian, L., Hinestroza, J.P., 2004. Application of Nanotechnology for High Performance Textiles. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 4(1), 1-7.
9. Kirecci, A., Özkoç, Ü., İçoğlu, H.İ., 2012. Determination of Optimal Production Parameters for Polyacrylonitrile Nanofibers, *Journal of Applied Polymer Science*, 124(6), 4961-4968.
10. Macossay, J., Marruffo, A., Rincon, R., Eubanks, T., Kuang, A., 2007. Effect of Needle Diameter on Nanofiber Diameter and Thermal Properties of Electrospun Poly (Methyl Methacrylate), *Polymers for Advanced Technologies*, 18(3), 180-183.
11. He, H., Kara, Y., Molnar, K., 2018. Effect of Needle Characteristic on Fibrous PEO Produced by Electrospinning, *Resolution and Discovery*, 1-5.
12. Abunahel, B.M., Azman, N.Z.N., Jamil, M., 2018. Effect of Needle Diameter on the Morphological Structure of Electrospun n-Bi₂O₃/Epoxy-PVA Nanofiber Mats, *Chemical and Materials Engineering*, 12(6), 296-299.
13. Kizildag, N., Beceren, Y., Kazanci, M., Cukul, D., 2012. Effect of Needle Diameter on Diameter of Electrospun Silk Fibroin Nanofibers, *RMUTP International Conference: Textiles and Fashion*, Bangkok, Thailand.
14. Mo, X.M., Xu, C.Y., Kotaki, M.E.A., Ramakrishna, S., 2004. Electrospun P (LLA-CL) Nanofiber: A Biomimetic Extracellular Matrix for Smooth Muscle Cell and Endothelial Cell Proliferation, *Biomaterials*, 25(10), 1883-1890.
15. Shahabadi, S.M.S., Kheradmand, A., Montazeri, V., Ziaee, H., 2015. Effects of Process and Ambient Parameters on Diameter and Morphology of Electrospun Polyacrylonitrile Nanofibers, *Polymer Science Series A*, 57(2), 155-167.
16. Heikkilä, P., Harlin, A., 2008. Parameter Study of Electrospinning of Polyamide-6, *European Polymer Journal*, 44(10), 3067-3079.

17. Sencadas, V., Correia, D. M., Areias, A., Botelho, G., Fonseca, A. M., Neves, I. C., Mendez, S. L., 2012. Determination of the Parameters Affecting Electrospun Chitosan Fiber Size Distribution and Morphology, *Carbohydrate Polymers*, 87(2), 1295-1301.
18. Kuchi, C., Harish, G. S., Reddy, P. S., 2018. Effect of Polymer Concentration, Needle Diameter and Annealing Temperature on TiO₂-PVP composite nanofibers synthesized by electrospinning technique, *Ceramics International*, 44(5), 5266-5272.
19. Sencadas, V., Ribeiro, C., Nunes-Pereira, J., Correia, V., Lanceros-Méndez, S., 2012. Fiber Average Size and Distribution Dependence on the Electrospinning Parameters of Poly (Vinylidene Fluoride-trifluoroethylene) Membranes for Biomedical Applications, *Applied Physics A*, 109(3), 685-691.
20. Zhao, S., Wu, X., Wang, L., Huang, Y., 2004. Electrospinning of Ethyl-cyanoethyl Cellulose/tetrahydrofuran Solutions, *Journal of Applied Polymer Science*, 91(1), 242-246.
21. Wang, C., Zhang, W., Huang, Z.H., Yan, E.Y., Su, Y.H., 2006. Effect of Concentration, Voltage, Take-over Distance and Diameter of Pinhead on Precursory Poly (Phenylene Vinylene) Electrospinning, *Pigment & Resin Technology*, 35(5), 278-283.
22. Park, J.Y., Lee, I.H., Bea, G.N., 2008. Optimization of the Electrospinning Conditions for Preparation of Nanofibers from Polyvinylacetate (PVAc) in Ethanol Solvent, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 14(6), 707-713.
23. Tan, S.H., Inai, R., Kotaki, M., Ramakrishna, S., 2005. Systematic Parameter Study for Ultra-fine Fiber Fabrication Via Electrospinning Process, *Polymer*, 46(16), 6128-6134.

Kireç Katkısı ile Kil Bir Zeminin Dayanımının İyileştirilmesi

Tacettin GEÇKİL^{*1}, Talha SARICI¹, Ekrem Serdar YILDIRAN¹

¹İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya

Geliş tarihi: 26.02.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Bu çalışmada kil bir zemine kireç katılmasının dayanıma etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın amacı doğrultusunda katkı malzemesi olarak kullanılan kireç, kil zemininin içine ağırlıkça farklı yüzdelerde eklenmiştir. Hazırlanan karışımlarda, kil içine kilin ağırlığının %2,5, %5, %7,5, %10, %15 ve %20 oranlarında kireç eklenmiştir. Farklı oranlarda hazırlanan numuneler homojen olarak karıştırıldıktan sonra kıvam limitleri, kompaksiyon, serbest basınç ve Kaliforniya taşıma gücü oranı (CBR) deneyleri uygulanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, karışımdaki kireç artışına bağlı olarak numunelerin plastisite indeksi ve maksimum kuru yoğunluğu azalmış, optimum su muhtevası artmıştır. Ayrıca, 7 ve 28 günlük kür sürelerine tabi tutulan numuneler içerisinde en yüksek serbest basınç mukavemeti değeri %5 kireç oranında elde edilmiştir. Bu oranda yine aynı kür sürelerine tabi tutulan numunelerin CBR değerleri saf kil zemine göre sırasıyla 1,37 ve 2,08 kat yüksek sonuç vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kil zemin, Kireç, Katkı, Zemin stabilizasyonu, CBR

Improving the Strength of a Clay Soil with Lime Additive

Abstract

In this study, the effect of adding lime to clay soil on strength was investigated. For the purpose of the study, lime, which is used as an additive, was added to the clay soil in different percentages by weight. In the prepared mixtures, lime was added in 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, 15% and 20% of the weight of clay. The samples prepared in different proportions were homogeneously mixed, and then compaction, unconfined compression and California bearing ratio (CBR) tests were performed. As a result of experimental studies, as the lime content in the mixture increased, the plasticity index and maximum dry density decreased while the optimum water content increased. In addition, the highest unconfined compressive strength value of the samples cured for 7 and 28 days was obtained at the rate of 5% lime. For this additive ratio, the CBR values of the samples cured at the same time were 1.37 and 2.08 times higher than the additive-free clay soil, respectively.

Keywords: Clay soil, Lime, Additive, Soil stabilization, CBR

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Tacettin GEÇKİL, tacettin.geckil@inonu.edu.tr

1. GİRİŞ

Yol ve diğer bütün inşaat alanlarında karşılaşılan zeminlerin her daim istenilen özelliklere haiz olmadığı kaçınılmaz bir gerçektir. Bu gibi durumlarla karşılaşan inşaat mühendisi, ya arazideki zemin özelliklerinin ortaya çıkardığı kısıtlamaları olduğu gibi kabul edecek ya da kendi tasarımındaki sınır değerleri sağlayacak şekilde zeminin özelliklerini iyileştirmek isteyecektir. Zemin iyileştirilmesi ya da stabilize edilmesi ise dayanımı az olan zemin yapısının, mekanik, fiziksel ve kimyasal iyileştirme yöntemleri ile dayanımının yükseltilecek dışardan gelecek kuvvetlere maruz kalmasına rağmen dayanıklılığını koruması ve sürdürmesi durumu olarak tanımlanabilir. Bu işlem, zemindeki boşluk oranının azaltılması, zeminde bulunan suyun zeminden uzaklaştırılması veya zemine donatılar yerleştirilmesi ile yapılabilir [1].

Arazide karşılaşılan bir zeminin özelliklerinin, detaylı bir şekilde belirlenmesi işlemi, bir inşaat projesinde izlenebilecek ilk adım olarak ifade edilebilir. Zeminin özellikleri yapılacak proje ile uyumuyor ve proje sahasının değiştirilmesi mümkün değilse zemin mekaniği, hem zeminlerin mühendislik davranışını geliştirici hem de zemini iyileştirme yönünde uygulayıcıya yol göstermektedir. Sunulan bu yolların tümü, zemin iyileştirme yöntemleri başlığı altında toplanabilir. Literatür incelendiğinde birçok zemin iyileştirme yönteminin olduğu görülmektedir. Zemine katkı maddesi ilave ederek, zemini stabilize etmekte bu yöntemlerden biridir [2].

Zemin stabilizasyonunda farklı birçok yöntem bulunmasına rağmen, bunlardan en kolay ve en pratik olanı zemine katkı maddesi katarak, zeminde iyileştirme sağlamaktır. Çimento, kireç, bitüm, uçucu kül vs. zemin stabilizasyonun da kullanılan katkı maddelerinden bazılarıdır. Kullanılan bu katkı maddelerinin kolay ulaşılabilirliği ve ekonomik olması, zemin stabilizasyonunda katkı maddesi kullanmayı bir adım daha öne taşımıştır. Ayrıca katkı maddesi kullanarak zemini ıslah etmek, diğer yöntemlere göre biraz daha az çaba ve gayret gerektirmekle birlikte ekonomiklik sağlamaktadır. Çünkü kaliteli

bir yapıda aranacak başlıca özelliklerden bir tanesi de ekonomiktir. Ekonomiklik kavramından uzak kalan yapılar hem tasarım hem de mühendislik açısından tam not alamayacaktır.

Katkı maddesi ilavesiyle yapılacak olan iyileştirmede, zeminin mekanik özelliklerindeki iyileştirmenin güvenilir, ekonomik ve elde etmesi kolay yani doğal bir malzemeyle yapılması ilke edinilmelidir. Yapı temellerinde, su yapılarında ve ulaştırma yapılarında uygulanan bu işlemde kullanılan katkıların başlıcaları uçucu kül, lignin, kireç, çimento, bitüm, klorit, melas ve diğer benzeri kimyasal bileşikler sayılabilir [3-5].

Zemin stabilizasyonunda asıl hedefler, zeminin plastisitesini azaltmak, geçirgenlik seviyesini ve sıkışabilirliğini en uygun hale getirmek ve mukavemetini maksimum seviyeye çıkarmaktır. Bu sayede zemin danelerinin arasındaki bağlar güçlendirilmektedir. Kireç katılarak stabilize edilen zemin tabakasının, likit limit ve plastik limit değerlerine bağlı olarak plastisite indisinde artış veya azalma olduğu, çimento katılarak stabilize edilen zeminin, iri danelerinin arasındaki boşlukların dolmasına bağlı olarak, zeminin dayanımında artış sağlandığı, uçucu kül katılan zeminin, plastisite indeksinin düşmesine bağlı olarak yine zemin dayanımında artış meydana geldiği bilinmektedir [6-8].

Bu çalışmada, bir yapının ve özellikle bir yol üst yapısının üzerine oturduğu elverişsiz killi bir zeminin kireç ile stabilize edilerek dayanımının artırılması amaçlanmıştır.

İnşaat mühendisliğinin birçok alanında kullanılan kireç, su ile reaksiyona girdiğinde ilk başlarda plastik özellik gösterip daha sonra gittikçe sertleşip taşlaşan anorganik bir bileşiktir. Yapı olarak kalker (CaCO_3) ve dolomitten ($\text{CaCO}_3+\text{MgCO}_3$) meydana gelen kirecin üretimine etki eden faktörlerden bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Üretim sırasında kullanılan kalker ve dolomitin saflık derecesi.
2. Üretim sırasında kullanılan yakıtın çeşidi ve cinsi.
3. Üretim sırasında kullanılan kalker ve dolomitin boyutu.

4. Üretim sırasında kullanılan fırın çeşidi üretime etki eden faktörlerdendir [1].

Kireç stabilizasyonu; zemindeki düşük dayanımı artırmak, zeminin şişme potansiyelini azaltmak ve daha işlenebilir bir ortama dönüşmesini sağlamak amacıyla genellikle karayolu projelerinde uygulanmaktadır. Kireç ile iyileştirilmiş zeminde, puzolanik reaksiyonlar, kilin flokülasyonu ve katyon değişimi gibi mekanizmalar görülebilir. Katyon değişimi ve kilin flokülasyonu genellikle hızlı olur. Ayrıca, bu iki mekanizma, yük deformasyon davranışı, kürsüz dayanım, işlenebilirlik ve şişme gibi özelliklerin aniden değişmesine neden olabilir [9]. Puzolanik veya bağlayıcı reaksiyon ise zamanla gerçekleşir. Yapı bütünlüğü, aglomerasyon sonucunda artar. Bu da zeminin ilave su tutma potansiyelini düşürebilir. [10].

Genellikle, kohezyonlu zeminler; kireç kullanımı ile daha düşük plastisiteye sahip olmaktadır. Kireçle karıştırılmış zeminde dayanım karakteristikleri (veya zemin-kireç reaksiyonu) kullanılan kirecin özelliklerine, uygulanan zeminin cinsine, zemine katılan kireç yüzdesine, kireç-zemin karışımının kür süresine ve kür koşullarına bağlıdır [11].

Türköz [12], şişme potansiyeli yüksek olan meşelik killerin kireç ile stabilizasyonunu araştırmıştır. Çalışmasında sönmüş kireç katkısı ile şişme yüzdesi ilişkisini, zamana bağlı şişme yüzdesinin değişimini ve şişme yüzdesi ile nihai su içeriği değişimini araştırmıştır. Farklı üç yerden aldığı, standart ve modifiye proktor deneylerindeki sıkıştırma enerjisi ile hazırladığı ve dört farklı sönmüş kireç katkısı (%0-5) ile 88 ayrı numune hazırlamıştır. Hazırladığı numuneler üzerinde ödometre deney cihazı ile serbest şişme yüzdesi deneyleri yapmıştır. Sonuç olarak, killerin şişme potansiyelinin azaltılmasında sönmüş kirecin uygun olduğunu, eklenen katkının etkisini %3 seviyesinden sonra gördüklerini ve yüksek sıkıştırma enerjisinde nispi olarak daha yüksek etki olduğunu belirtmiştir.

Soğancı ve Yıldız [13], yüksek ve düşük plastisiteli iki farklı kil zeminine kireç ekleyerek

mukavemet değerlerindeki değişimleri araştırmışlardır. Çalışmaları sonucunda, yüksek plastisiteli kilin serbest basınç mukavemeti değerinin 28 gün kür sonucunda 15 kat arttığını, düşük plastisiteli kilde ise mukavemetinin 28 gün kür sonunda 3 kat arttığını belirtmişlerdir.

Bağrıaçık [14] yaptığı çalışmada, düşük CBR değerlerine sahip zeminin kireçle stabilizasyonu sonucunda elde edilen iyileşme durumlarını belirlemiştir. Su muhtevasının etkisini belirleyebilmek için 4 farklı su içeriğinde (hacimce %5-20) zemin numuneleri hazırlamış ve bu numuneler üzerinde CBR deneyleri gerçekleştirmiştir. Ek olarak, optimum kireç katkısı miktarını belirleyebilmek amacıyla 4 farklı oranda (hacimce %3-6) kireç eklediği kireç-zemin karışımları hazırlayarak bu numuneler üzerinde de CBR deneyleri gerçekleştirmiştir. Çalışma sonunda, karayollarında alt temel zeminini olarak kullanılabilir zemin örneği için optimum su muhtevasını %10 bulurken iyileştirme için kullandığı kireç katkısının optimum oranını ise hacimce %5 olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, deney verileri ile yüksek korelasyon katsayılı ($R^2=0.99$) bir denklem üretmiş ve bu denklem ile CBR değerlerinin belirlenebileceğini belirtmiştir.

Kavak ve arkadaşları [15], kireç katkısı ile iyileştirmenin gerçek bir yol üzerindeki etkinliği üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalarını KISAD (Kireç Sanayicileri Derneği) ile KGM'nin (Karayolları Genel Müdürlüğü) yaptığı protokol ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışacakları arazinin kireç katkısı ile iyileştirmeye uygun olup olmadığını bazı zemin mekaniği deneyleri ile belirlemişlerdir. Bölünmüş yolun yeni yapılmakta olan kısmında arazi çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında taşıma gücü düşük zemin numunesine (ariyet ocağı malzemesi) %2 oran kireç ilave ederek zeminin özelliklerini iyileştirmeye çalışmışlardır. Laboratuvarında yaptıkları ıslak CBR deneylerinde kireç katkısı olmadan (doğal durumda) %6 olan CBR değerinin %2 kireç ilave edildiğinde %80 civarında değerlere ulaştığını görmüşlerdir. Arazi ortamında, kireç katkısı ile iyileştirmeyi, 2 tabaka halinde (20'şer cm'lik) toplam 40cm'lik kalınlıkta uygulamışlardır. Bu arazi ortamında, arzu ettikleri

sıkışma değerlerine ulaştıktan sonra plaka yükleme deneyleri gerçekleştirilmişlerdir. Plaka yükleme deneyleri sonunda, %2 kireç katkısıyla, 0,98 MPa gerilmeye, oturma değerinin 4,1 mm'den 1,7 mm'ye, kalıcı oturma değerinin ise 2,8 mm'den 1,0 mm'ye düştüğünü belirtmişlerdir.

Okyay ve Dias [16], özellikleri iyileştirilmiş zeminlerin, mekanik özelliklerini belirleyebilmek için laboratuvar deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Kür süresinin, kireç ile yapılan stabilizasyon çalışmalarında çok önemli olduğunu ve iyileştirme etkisinin uzun süreli olduğunu belirtmişlerdir. Fakat çimento ile stabilizasyonun reaksiyon süresinin çok daha çabuk olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca iyileştirmesi yapılan zeminlerin mekanik özelliklerinin, zeminin içindeki atık katkı oranından büyük oranda etkilendiğini bildirmişlerdir.

Öztürk ve arkadaşları [17], yaptıkları çalışmada, killerin şişme potansiyelini ve bu potansiyele kireç katkısının etkisini araştırmışlardır. İnceledikleri arazide ortamında, lokal olarak yüksek şişme potansiyeline sahip killerin bulunduğunu belirtmişlerdir. Şişme potansiyeli yüksek olan yüksek plastisiteli kilin (CH) şişme yüzdesinin %3,5-9,0 olduğunu, şişme basınçlarının ise 65-250 kPa aralıklarında değiştiği belirtmişlerdir. Çalıştıkları arazide ortamında bulunan düşük plastisiteli kilin (CL) ise şişme yüzdesinin %0,5-1,6 olduğunu, şişme basınçlarının 6-11 kPa arasında olduğunu belirtmişlerdir. CH sınıfındaki kil zeminine 5 farklı oranda (ağırlıkça %1-9) kireç ekleyerek hem şişme basıncındaki hem de şişme yüzdesindeki değişimleri incelemişlerdir CH sınıfındaki kil zeminine %5 veya daha fazla oranda kireç eklendiğinde, şişme yüzdesinin ve şişme basıncının sırası ile %91 ve %73 oranlarında azaldığını vurgulamışlardır.

Bu çalışmada killi bir zemine kireç katılmasının, kil zemininin dayanımını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Çalışmanın amacı doğrultusunda katkı malzemesi olarak kullanılan kireç, kil zemininin içine ağırlıkça farklı yüzdelere eklenmiştir. Hazırlanan karışımlarda, kil içine kilin ağırlığının %2,5, %5, %7,5, %10, %15 ve %20 oranlarında kireç eklenmiştir. Farklı oranlarda

hazırlanan numuneler homojen olarak karıştırıldıktan sonra kıvam limitleri, kompaksiyon, serbest basınç ve CBR deneyleri uygulanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Deneyisel çalışmalar İnönü Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde bulunan mevcut laboratuvar cihazları ile gerçekleştirilmiştir.

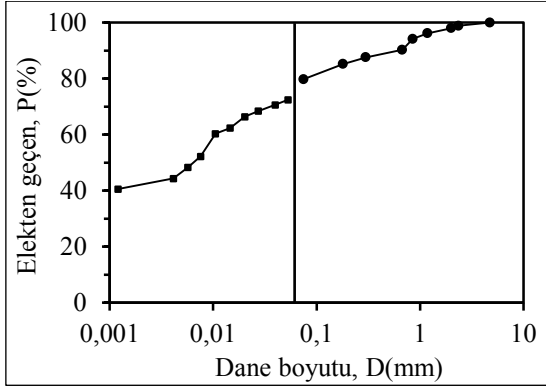
Deneylerde kullanılan kil zemininin piknometre, standart proktor ve kıvam limitleri testleri, TS 1900-1 [18] standardına göre belirlenmiş ve deneylerinden elde edilen mühendislik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Kil zemininin elek analizi ve hidrometre deneylerinden elde edilen granülometri eğrisi Şekil 1'de gösterilmiştir. Kil numunesi araziden getirilmiş, kurutulmuş, parçalanmış ve istenilen su içeriğinde karıştırılarak deneye hazır hale getirilmiştir.

Stabilizasyon için kullanılan sönmüş kireç ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), toz halinde torbalar içinde getirilmiştir. Stabilizasyon için kullanılan sönmüş kirecin içinde toplam CaO ve MgO oranı yaklaşık %80'dir. Sönmüş kirecin dane birim hacim ağırlığı ise $23,35 \text{ kN/m}^3$ olarak bulunmuştur.

Çizelge 1. Kil zemininin özellikleri

Parametre	Simge	Birim	Değer
Dane birim hacim ağırlığı	γ_s	kN/m^3	26,80
Maksimum kuru birim hacim ağırlığı	γ_{kmax}	kN/m^3	14,50
Optimum su içeriği	ω_{opt}	%	27
Likit limit	-	%	61
Plastik limit	-	%	29
Plastisite indeksi	PI	-	32
Sınıflandırma	-	-	CH



Şekil 1. Kil zeminine ait gradasyon eğrisi

2.2. Metot

Deneyel çalışmalar için laboratuvarında önceden belirlenmiş oranlarda karışımlar hazırlanmıştır. Karışımlar hazırlanmadan önceden kil zemini ve kireç, 24 saat boyunca 105 ± 5 °C'lik etüvde kurutulmuştur. Kurutulan malzemeler hassas terazide ağırlıkça yüzdelerinde tartılmıştır. Öncelikle katkısız saf kil hazırlanmış, daha sonra kil zemini içerisine literatürde yapılmış olan çalışmalar dikkat alınarak [19, 20] ağırlıkça %2,5, %5, %7,5, %10, %15 ve %20 oranlarında kireç katkıları katılarak stabilize karışımlar hazırlanmıştır.

Çalışmada, saf kil ve stabilize edilmiş karışımlar sırasıyla KL, %2,5KR, %5KR, %7,5KR, %10KR, %15KR ve %20KR olarak isimlendirilmiştir.

Hazırlanan karışımlar üzerinde likit limit ve plastik limit deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tüm oranlarda hazırlanan karışımlar 7 günlük kür süresinin ardından likit limit ve plastik limit deneylerine tabi tutulmuşlardır. Ancak, hazırlanan karışımlar 28 günlük kür süresine tabi tutulduktan sonra, bünyelerinde oluşan sertleşmeden dolayı, 28 günlük kür sürelerine sahip numunelerin likit limit ve plastik limit deneyleri gerçekleştirilememiştir. Likit limit ve plastik limit deneyleri TS 1900-1'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Daha sonra, hazırlanan karışımlar üzerinde standart proktor, serbest basınç ve CBR deneyleri yapılmıştır.

Zeminlerin taşıma gücünü artırmak, geçirimsizliği ve çeşitli yükler altında meydana gelebilecek oturmaları azaltmak için, zeminlerin tabakalar halinde serilerek herhangi bir sıkıştırma yöntemiyle su ve tane hacmi sabit iken havanın dışarı çıkartılıp zemin tanelerinin yakınlaştırılması olayına kompaksiyon denir. Sıkıştırılmış bir zeminde, kompaksiyon derecesi o zemine ait kuru yoğunluk (ρ_k) ile ölçülür. ρ_k ne kadar büyükse, zemin o kadar iyi sıkıştırılmış demektir. ρ_k 'nın maksimum olduğu durumdaki su içeriğine optimum su içeriği (w_{opt}) denir [21]. Kompaksiyon (standart proktor) deneyinde her bir karışım için numuneler hazırlanmış ve belli ölçülerde su ilave edilmiştir. Daha sonra TS 1900-1'e uygun olarak katkısız saf zemin ve tüm karışımlar üzerinde standart proktor deneyleri gerçekleştirilmiştir. Standart proktor deneylerinden elde edilen ρ_{kmax} ve w_{opt} değerleri kullanılarak tek eksenli serbest basınç ve CBR deneylerine ait numuneler hazırlanmıştır.

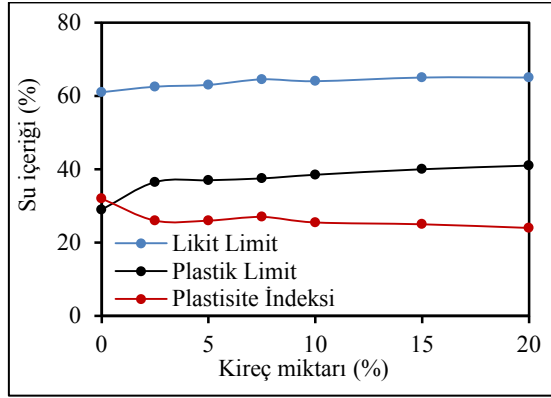
TS 1900-2'e göre [22] tek eksenli serbest basınç deneyi, kohezyonlu zeminlerin kayma direncinin bulunmasında kullanılan bir deneydir. Deney sonucunda elde edilen Mohr dairesinden zemine ait kayma direnci (görünür kohezyon) hesaplanabilir. Katkısız saf ve tüm karışımlar için 7 günlük ve 28 günlük küre bırakılmış numuneler hazırlanmış ve tüm numuneler için tek eksenli serbest basınç deneyleri yapılarak drenajsız kayma mukavemetleri ve kohezyon değerleri belirlenmiştir. Her bir karışım için 3 adet numune hazırlanmış ve 3'ünün ortalaması alınarak sonuçlar sunulmuştur.

TS 1900-2'e göre [22] CBR deneyi, en kesit alanı 1935 mm^2 olan bir pistonun belirli bir hızda (1,2 mm/dk) zemine doğru ilerlemesiyle yapılır. Deney sırasında elde edilen yük-oturma değerleri kullanılarak taşıma oranı belirlenir. Taşıma oranı değeri, belirli bir oturmaya (2,5 mm ve 5 mm) sağlayan yükün, aynı oturmaya standart eğri üzerinde sağlayan yüke yüzde olarak oranıdır. Taşıma oranı değeri hem 2,5 mm'lik hem de 5,0 mm'lik oturma değerlerine karşılık gelen yükler için hesaplanması gerekir. Bu iki değerden yüksek olanı zeminin taşıma oranı değeri olarak kabul edilir. Standard yük, 2,5 mm oturma için

13,2 kN, 5,0 mm oturma için ise 20 kN olarak alınır. Katkısız saf ve optimum karışım için 7 günlük ve 28 günlük küre bırakılmış numuneler hazırlanmış ve CBR deneyi yapılarak taşıma oranı değerleri belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Katkısız saf kil ve tüm oranlarda hazırlanan karışımlar (%2,5, %5, %7,5, %10, %15 ve %20), 7 günlük kür süresinin ardından likit limit ve plastik limit deneylerine tabi tutulmuşlardır. 7 günlük kür süresinin ardından yapılan bu deneylerin sonuçları Şekil 2’de görülmektedir.

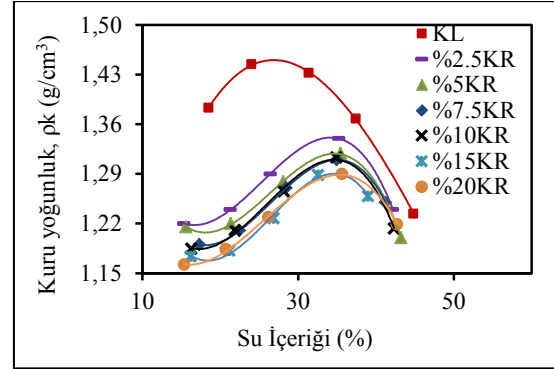


Şekil 2. 7 günlük kür ardından farklı karışımlar için yapılan kıvam limitleri deneyleri

Şekil 2’de görüldüğü gibi, likit limitte az olmakla birlikte bir artış görülmektedir. Plastik limitteki artış daha fazla olduğu için bu değişimlerin sonucu olarak plastisite indeksi azalmıştır. Plastisite indeksini azalması zeminin suya karşı hassasiyetinin azaldığını gösteren bir parametre olarak kabul edilir. Ayrıca plastisite indeksindeki düşüşe bağlı olarak zeminin işlenebilirliğinin artacağı düşünülmektedir.

Standart proktor deneylerinde katkısız saf kil ve her bir karışım için (%2,5, %5, %7,5, %10, %15 ve %20) numuneler hazırlanmış ve belli ölçülerde su ilave edilmiştir. Daha sonra TS 1900-1’e uygun olarak katkısız saf zemin ve tüm karışımlar üzerinde standart proktor deneyleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen standart

proktor deneylerine ait kuru yoğunluk-su içeriği grafiği Şekil 3’de görüldüğü gibidir.

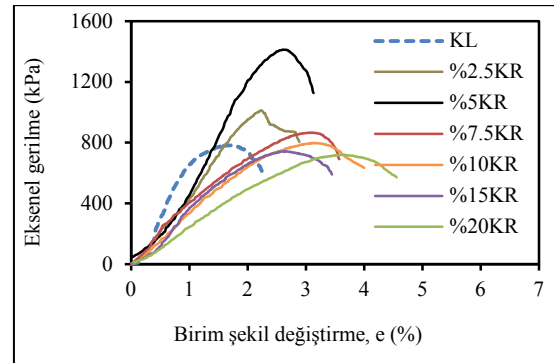


Şekil 3. Tüm numuneler için kuru yoğunluk-su içeriği grafikleri

Şekil 3’de de görüldüğü gibi kireç miktarı arttıkça, optimum su içeriği artmakta, maksimum kuru yoğunluk ise azalmaktadır.

Standart proktor deneylerinden elde edilen ρ_{kmax} ve w_{opt} değerleri kullanılarak tek eksenli serbest basınç ve CBR deneylerine ait numuneler standartlara uygun bir şekilde hazırlanmıştır.

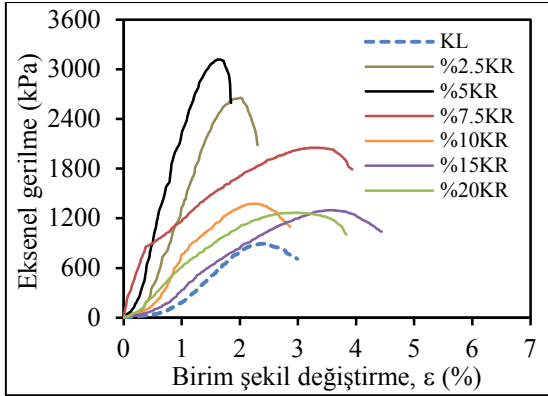
Şekil 4’de, 7 günlük kür süresi sonunda katkısız saf kil ve tüm karışımlar için yapılmış serbest basınç deneylerine ait gerilme şekil değiştirme grafikleri görülmektedir. Her bir karışım için 3’er adet numune hazırlanıp deneye tabi tutulmuş ve 3’ünün ortalama değeri grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 4. 7 günlük kür süresi sonunda tüm numuneler için serbest basınç deneyi sonuçları

Şekil 4’de görüldüğü üzere %5 kireç katkısı ile hazırlanmış kil en yüksek serbest basınç mukavemetine (q_u) sahiptir. 7 günlük kür sonunda %5 kireç katkısı kilin serbest basınç mukavemetini 1,81 kat artırmıştır. Ancak, %15 ve %20 oranlarındaki karışımların serbest basınç mukavemeti değerleri, katkısız saf kilden daha düşük elde edilmiştir.

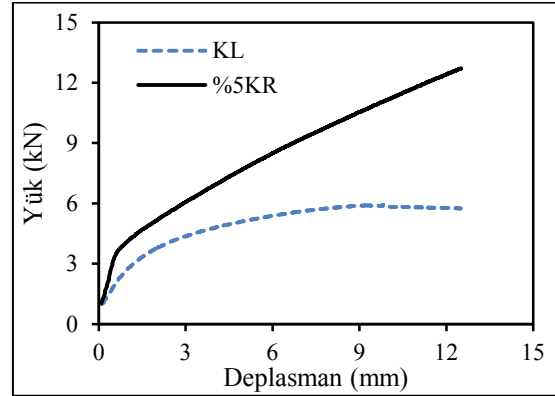
28 günlük kür süresi sonunda katkısız saf kil ve tüm karışımlar için yapılmış serbest basınç deneylerine ait gerilme şekil değiştirme grafikleri Şekil 5’de verilmiştir. Her bir karışım için 3’er adet numune hazırlanıp deneye tabi tutulmuş ve 3’ünün ortalama değeri grafik olarak sunulmuştur. %5 kireç katkısı ile hazırlanmış kilin en yüksek serbest basınç mukavemetine (q_u) sahip olduğu görülmüştür. 28 günlük kür sonunda %5 kireç katkısı kilin serbest basınç mukavemetini 3,02 kat artırmıştır. 28 kür süresi sonunda tüm karışımların katkısız saf kilden daha yüksek serbest basınç mukavemetine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, kil zemininin de 28 gün kür süresi sonunda dayanımının bir miktar arttığı gözlenmiştir.



Şekil 5. 28 günlük kür süresi sonunda tüm numuneler için serbest basınç deneyi sonuçları

Serbest basınç deneylerinden optimum katkı oranı %5 olarak belirlendikten sonra katkısız saf kil ve %5 kireç katkılı kil üzerinde CBR deneyleri yapılmıştır. Hem katkısız saf kil hem de %5 kireç katkılı kil için 2’şer adet CBR deney numunesi hazırlanmıştır. Daha sonra bu deney numuneleri 7 ve 28 gün kür edilerek deneye tabi tutulmuştur.

Şekil 6’da, 7 günlük kür süresi sonunda katkısız saf kil ve %5 kireç katkılı kil için yapılmış CBR deneylerine ait yük-deplasman grafikleri görülmektedir.

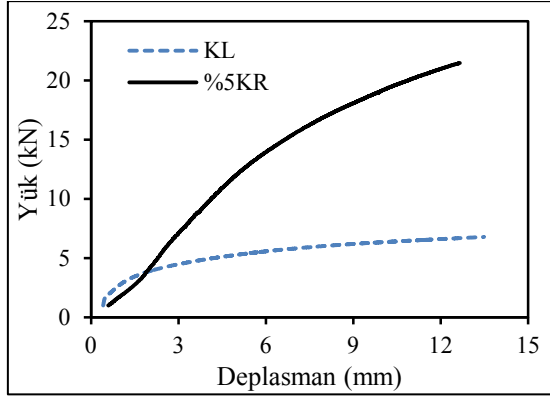


Şekil 6. 7 günlük kür süresi sonunda CBR deneyi sırasında el edilen yük-deplasman davranışı

Şekil 6’da açıkça görüldüğü üzere %5 kireç katkısı ile hazırlanmış kilin taşıma gücü oranı daha yüksektir. 7 günlük kür sonunda kil zemininin 2,5 ve 5 mm’lik deplasmanlara karşılık gelen düzeltilmiş CBR değerleri sırasıyla %31,2 ve %25,6’dır. 7 günlük kür sonunda %5 kireç katkılı kil zemininin 2,5 ve 5 mm’lik deplasmanlara karşılık gelen düzeltilmiş CBR değerleri sırasıyla %42,7 ve %38,7’dir. 7 günlük kür sonunda %5 kireç katkısı kilin CBR değerini 1,37 kat artırmıştır.

Şekil 7’de, 28 günlük kür süresi sonunda katkısız saf kil ve %5 kireç katkılı kil için yapılmış CBR deneylerine ait yük-deplasman grafikleri görülmektedir.

Şekil 7’de görüldüğü gibi, %5 kireç katkısı ile hazırlanmış kilin taşıma gücü oranı daha yüksektir. 28 günlük kür sonunda kil zemininin 2,5 ve 5 mm’lik deplasmanlara karşılık gelen düzeltilmiş CBR değerleri sırasıyla %32,0 ve %26,4’dır. 7 günlük kür sonunda %5 kireç katkılı kil zemininin 2,5 ve 5 mm’lik deplasmanlara karşılık gelen düzeltilmiş CBR değerleri sırasıyla %57,1 ve %66,7’dir. 7 günlük kür sonunda %5 kireç katkısı kilin CBR değerini 2,08 kat artırmıştır.



Şekil 7. 28 günlük kür süresi sonunda CBR deneyi sırasında el edilen yük-deplasman davranışı

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, killi bir zemine kireç katılmasının, kil zemininin dayanımını nasıl etkilediği araştırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Kil zemin içindeki kireç miktarı arttıkça likit limitte, az olmakla birlikte bir artış görülmektedir. Plastik limitteki artış daha fazla olduğu için bu değişimlerin sonucu olarak plastisite indeksi azalmıştır. Bu azalma zeminin suya hassasiyetinin azaldığını göstermektedir. Ayrıca, plastisite indeksindeki düşüşe bağlı olarak zeminin işlenebilirliğinin artacağı düşünülmektedir.

2. Kil zemin içindeki kireç miktarı arttıkça, optimum su içeriği artmakta, maksimum kuru yoğunluk ise azalmaktadır.

3. Hem 7 hem de 28 günlük kür süresinden sonra yapılan serbest basınç deneylerinden, %5 kireç katkısı ile hazırlanmış kilin en yüksek serbest basınç mukavemetine (q_u) sahip olduğu görülmüştür. 7 günlük kür sonunda %5 kireç katkısı kilin serbest basınç mukavemetini 1,81 kat artırmıştır. Ancak, %15 ve %20 oranlarındaki karışımların serbest basınç mukavemeti değerleri, katkısız saf kilden daha düşüktür. 28 günlük kür sonunda %5 kireç katkısı kilin serbest basınç

mukavemetini 3,02 kat artırmıştır. 28 kür süresi sonunda tüm karışımların katkısız saf kilden daha yüksek serbest basınç mukavemetine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, kil zemininin de 28 gün kür süresi sonunda dayanımın bir miktar arttığı gözlenmiştir.

4. Serbest basınç deneylerinden optimum katkı oranı %5 olarak belirlendikten sonra katkısız saf kil ve %5 kireç katkılı kil üzerinde CBR deneyleri yapılmıştır. 7 günlük kür sonunda kil zemininin 2,5 ve 5 mm'lik deplasmanlara karşılık gelen düzeltilmiş CBR değerleri sırasıyla %31,2 ve %25,6'dır. 7 günlük kür sonunda %5 kireç katkılı kil zemininin 2,5 ve 5 mm'lik deplasmanlara karşılık gelen düzeltilmiş CBR değerleri sırasıyla %42,7 ve %38,7'dir. 7 günlük kür sonunda %5 kireç katkısı kilin CBR değerini 1,37 kat artırmıştır. 28 günlük kür sonunda kil zemininin 2,5 ve 5 mm'lik deplasmanlara karşılık gelen düzeltilmiş CBR değerleri sırasıyla %32,0 ve %26,4'dir. 28 günlük kür sonunda %5 kireç katkılı kil zemininin 2,5 ve 5 mm'lik deplasmanlara karşılık gelen düzeltilmiş CBR değerleri sırasıyla %57,1 ve %66,7'dir. 28 günlük kür sonunda %5 kireç katkısı kilin CBR değerini 2,08 kat artırmıştır.

Bu sonuçlara göre, kireç ile stabilize edilmiş kil bir zeminin dayanımının ciddi bir oranda arttığı ve suya karşı hassasiyetinin düştüğü görülmektedir. Bu durumda, kireç ile stabilize edilmiş bir yol zemininin, yol üstyapı kalınlıklarının azalmasını sağlayarak yapım maliyetini düşüreceği ve ayrıca zeminden kaynaklı yol bozulmalarını azaltarak bakım-onarım giderlerini azaltabileceği ifade edilebilir.

6. KAYNAKLAR

1. Çakılcıoğlu, İ., 2007. Yüksek Plastisiteli Killerin Stabilizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 84s.
2. Kılıç, G., 2008. Çimento İle Zemin Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 102s.

3. Hausman, MR., 1990. Engineering Principles of Ground Modification International Edition, 321-335, New York: McGraw-Hill.
4. Mitchell, J.K., 1981. Soil Improvement-state of the Art Report. In Proc., 11th Int. Conf. on SMFE, 4, 509-565.
5. Van Impe, W.F., 1989. Soil Improvement Techniques and their Evolution. Aa Balkema Rotterdam, 124.
6. Kavak, A., 1996. The Behavior of Lime Stabilized Clays Under Cyclic Loading, Boğaziçi Üniveritesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 167.
7. Erşan, H., 1996. Uçucu Küllerin Siltli Zeminlerin Kayma Mukavemeti Üzerine Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 75.
8. Savran, K.Z., 1988. Stabilization of Cohesive Soils with Fly Ash, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 62.
9. Bell, F.G., 1988. Stabilization and Treatment of Clayey Soils with Lime, Part 1-Basic Principles, Ground Engineering, 21(1), 10-15.
10. Nelson, J.D., Miller, J.D., 1992. Expansive Soils-Problems and Practice in Foundation and Pavement Engineering, J.Willey and Sons, New York.
11. Lambe, T.W., 1962. Soil Stabilization, Chapter Four of Foundation Engineering, G.A. Leonards (ed), McGraw-Hill, New York.
12. Türköz, M., 2006. Şişen Killerin Kireç Katkısı ile Stabilizasyonu ve Eskişehir-Meşelik Killerine Uygulanması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19 (2), 75-88.
13. Soğancı, A.S., Yıldız, M. 2011. Tekrarlı Donma ve Çözülmenin Kireç ile Stabilize Edilmiş Kil Zeminlerin Mukavemet ve Permeabilitesine Etkisi, Selçuk-Teknik Dergisi, 10(3), 259-270.
14. Bağrıaçık, B., 2017. Ulaşım Yapıları Temel/Alt Temel Zeminlerinin Kireçle Stabilizasyonu. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(1), 39-48.
15. Kavak, A., Güngör, A. G., Avşar, C., Yöner, G., Tokgöz, M., Akyarlı, A., 2009. Kil Oran Yüksek Bir Dolgu Malzemesinin Kireç ile Stabilizasyonu. 14. Ulusal Kil Sempozyumu, 1-3 Ekim 2009, KTÜ, Trabzon-Türkiye, 1-13.
16. Okyay, U.S., Dias, D., 2010. Use of Lime and Cement Treated Soils as Pile Supported Load Transfer Platform. Engineering Geology, 114(1-2), 34-44.
17. Öztürk, Y.Z., Ünsal, N., Akbaş, S.O., 2015. Gölbaşı (Ankara) Yerleşim Alanını Killerinin Şişme ve Kireç ile İyileştirilme Potansiyellerinin Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(2), 309-318.
18. TS 1900-1, 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
19. Sharma, L.K., Sirdesai, N.N., Sharma, K.M., Singh, T.N., 2018. Experimental Study to Examine the Independent Roles of Lime and Cement on the Stabilization of a Mountain Soil: A Comparative Study. Applied Clay Science, 152, 183-195.
20. Athipathy, M., Aarathi, R., Surendran, A., Karthika, J., Kumar, P.S., 2019. Stabilization of Clay Soil using Secondary Lime and Rubber tyre Powder. International Research Journal of Engineering and Technology. 6(3), 4398-4402.
21. Bilge, T., 2011. Yüksek Fırın Cürufu Katkısının Kil Zeminlerin Stabilizasyonuna Etkisinin Araştırılması, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir, 107.
22. TS 1900-2, 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Mobilya Sektörü Özelinde Üç Boyutlu Yazıcılarla Tasarım ve Malzeme-Biçim-Üretim Yöntemi Üzerine İlişkisel Düşünme

Tülay CANBOLAT^{*1}, Kadir AYDIN²

¹Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, Adana

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

Geliş tarihi: 25.11.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Teknolojik gelişmeler arasında üç boyutlu yazıcılar, gelecek için barındırdığı potansiyeller bakımından öne çıkan başlıklardan biri olmaktadır. Çalışmada, mobilya sektöründe üç boyutlu yazıcılarla tasarım ve yeni nesil teknolojilerle malzeme kullanımının yenilikçi mobilya tasarımlarına yönelik genel bir bakış sağlamak amaçlanmıştır. Çalışmanın içeriğinde, üç boyutlu yazıcıların günümüz çalışma prensipleri, mobilya sektöründe kullanılma olanakları, kullanılan malzemeler ve hammaddeler ile mobilya tasarım örnekleri açıklanmaktadır. Üç boyutlu yazıcılar, yeni nesil malzemeler, tasarımcıdan üreticiye ve kullanıcıya kadar sunduğu kolaylıklar, alternatifler ve yeniliklerle mobilya tasarım sektöründe gelecek için önemli potansiyeller taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: 3 Boyutlu yazıcı, Mobilya tasarımı, Malzeme, Biçim, Üretim yöntemi

Design with Three Dimensional Printers in the Furniture Sector and Relationship on Material-Form-Manufacturing Method

Abstract

Among the technological developments, three-dimensional printers are one of the prominent titles in terms of their potential for the future. The aim of the study is to provide an overview of the design of furniture with three-dimensional printers in the furniture sector and innovative furniture designs of the use of materials with new generation technologies. In the content of the study, today's working principles of three-dimensional printers, possibilities of using in furniture sector, materials and raw materials used and furniture design examples are explained. Three-dimensional printers, new generation of materials, from the designer to the manufacturer and to the user with the convenience, alternatives and innovations in the furniture design industry carries important potential for the future.

Keywords: 3D Printer, Furniture design, Material, Form, Production method

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Tülay CANBOLAT, tozdemir@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Teknolojideki yeniliklerle birlikte, üç boyutlu yazıcıların geliştirilmesi sayesinde mobilya üretimini tamamen makine gücüyle yapmak ve üretimde hata payını en aza indirmek mümkündür. Günümüzde geleneksel yöntemlerde olduğu gibi parça montajı gerekmediği durumlarda tüm üretim işlemini 3 boyutlu (3B) yazıcılar ile yapmak mümkün hale gelmiştir.

Tasarım sürecinin ardından geliştirilen ürünlerin, tek parça olarak, 3B yazıcılar ile uyumlu olan çeşitli malzemelerden, kısa süre içerisinde prototipi üretilebilmekte ve mobilya üretimine geçilebilmektedir. Geleneksel yöntemler ile üretilemeyen karmaşık biçimde mobilyalar da tüm detaylarıyla uygun malzemelerin seçimi ve bilgisayar destekli tasarımın (CAD) olanaklarıyla 3B yazıcılar sayesinde üretilebilmektedir.

Bu üretim süreci aynı zamanda geleneksel yöntemler ile birlikte de kullanılabilir. Geleneksel olarak üretilmek istenen mobilyanın hızlı bir şekilde prototipleri hazırlanabilir. Üretici için bu durum, mobilya üretim sürecinde maliyetlerin düşürülmesine ve zamandan tasarruf edilmesine olanak sağlamaktadır. Tasarımcı için prototipten ürüne geçişte sağlanan hızlı sonuç ve model üzerinden yorum yapabilme olanağı, istenilen değişimlerin daha hızlı ve net bir biçimde şekillenmesini sağlamaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

3 Boyutlu baskı teknolojileri için eklemeli üretim, hızlı prototipleme gibi farklı isimler kullanılmaktadır. 3B baskı teknolojisi ile üretim, temelde 3B yazıcı kullanılarak, bilgisayar ve bilgisayar destekli tasarım (CAD) programlarında hazırlanan çizimlerin makineye aktarılan veri ile malzemenin katmanlar halinde basılarak üç boyutlu ürüne dönüştürülmesine dayanır.

1974'te David Jones'un New Scientist dergisinde yayınlamış olduğu makalede sıvı monomerlerin katılaştırılarak istenilen forma getirilebileceğine yönelik yapmış olduğu çalışma, 3B baskı, bir

başka deyişle hızlı prototipleme için esin kaynağı olmuştur [1,2]. 1977'de ise Wyn Kelly Swainson tarafından aslen Jones'a ait olan bu fikrin patenti alınmıştır [3,2]. Simon Bradshaw, bu patentin alınması ile beraber başlayan endüstride, 3B baskı teknolojisinin farklı bir tanımı olan "hızlı prototipleme"nin neden böyle adlandırıldığını şöyle açıklamaktadır: Bu, mühendislerin kimi zaman hızlı prototipleme endüstrisi olarak adlandırdıkları 3B baskı endüstrisinin başlangıcıydı. (sonraki terim son yıllarda geçerliliğini yitirmektedir-alanı hızla genişlemektedir.) "Hızlı" olarak anılmasının sebebi ise geleneksel sayısal kontrollü makinelerden daha hızlı ve kolay çalışması, "prototipleme" denilmesinin sebebi ise üretim için görece yavaş ve pahalı kalmasıdır (örneğin, bu yöntem bir parçanın çoklu kopyalarının üretilmesi için enjeksiyonlu döküm teknolojileri ile karşılaştırılmamaktadır) [3,2].

"Hızlı Prototipleme" 3 Boyutlu baskı teknolojileri için kullanılan ilk tanımdır. Daha sonra "Eklemeli Üretim" ve "Üç Boyutlu Yazıcı" ifadeleri eklenmiştir. "İlk hızlı prototipleme sistemi stereolitografidir, sistemin mucidi C. Hull'dur ve tekniğin ilk ticari üretimi 1988 yılında yapılmıştır" [4]. "Üç boyutlu baskı" terimi farklı teknolojileri içeriyor ama aslında hepsinin ardında aynı temel kural yatıyor: Kat kat malzeme dökerek bir obje inşa etmek. Maliyet, hız, doğruluk ve kullanılan malzemede farklılıklar gösteren yöntemlerin her birinin kendine özgü avantajları vardır [5].

En temel ve günümüzde de yaygın olarak kullanılan üç boyutlu yazıcıların temeli 1980'lere dayanırken geliştirilmesi son on yıl içinde olmuştur. 3B yazıcı üretiminde, makinadaki yazılımsal değişiklikler ile kullanılan benzer yöntemler, malzeme, süreç gibi değişken etkenlerle farklı isimlerde adlandırılmaktadır.

3. MATERYAL VE METOT

Mobilya sektöründe kullanılabilecek üç boyutlu baskı teknolojilerinin temelinde üç tekniğin yer aldığı yazıcılar bulunmaktadır. Bu teknikler;

SLA- Reçine kürleme,

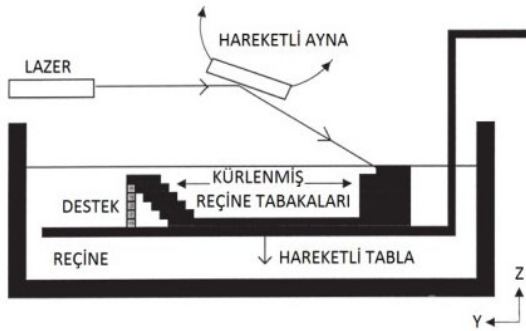
SLS- Seçmeli lazer sinterleme,

FDM- Eriyik dökerek modelleme ve

RLP- Hızlı baskı tekniğidir.

3.1. Stereolitografi (Reçine Kürleme) (SLA)

Fotopolimerlerin SLA üç boyutlu baskı tekniği olarak kullanımında bir tür reçine olan sıvı polimerler, ışığa maruz kaldığında katılaşmaktadır. Bir lazer, sıvı reçine dolu kabın yüzeyinde çıktısı istenilen objenin sınırlarını çizerek enine kesitlerini katılaştırır daha sonra bir üzerinde biriken katmanlar platformun hareketiyle birbirlerine bağlanırlar [6].



Şekil 1. SLA baskı tekniğinin temsili çizimi [5,6]

Bu baskı tekniği, katman kalınlıklarının az olması nedeniyle ayrıntılı yüzeyler elde etme olanağı tanımaktadır.

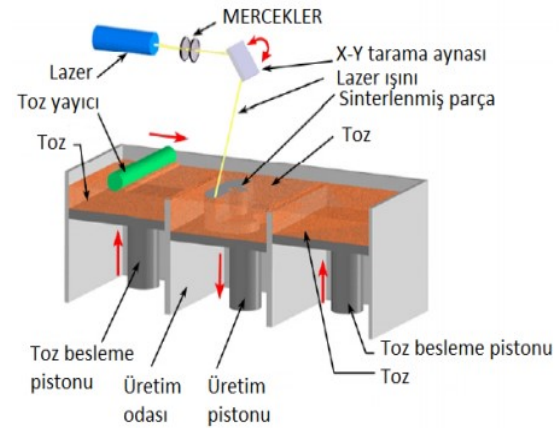
Objenin sıvı içerisinden çıkartılması, destek yapıların baskıya eklenmesini gerektirmektedir. Yüksek çözünürlüklü çıktılar elde edilmesine rağmen, sağlamlık olarak diğer tekniklerden zayıf kalmaktadır.

3.2. Seçmeli Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering-SLS)

SLS-Seçmeli lazer sinterleme tekniğinde, güçlü bir lazer ile toz halindeki malzeme eritilip birleştirilir,

istenilen form oluşturulur. Toz madde, depolandığı haznede her katman oluştuğunda yeniden dökülür. 1920 yılından sonra kullanılmaya başlanmıştır. SLS tekniği görece hızlı üretim yapılmasını sağlamakta ve çıktılar diğer tekniklerdekilere göre daha mukavemetli olmaktadır. Ayrıca bu teknik ile ayrıntılı detaylar üretilebilmektedir.

SLS tekniği görece hızlı üretim yapılmasını sağlamakta ve çıktılar diğer tekniklerdekilere göre daha mukavemetli olmaktadır. Toz halinde bulunabilen ve ısıyla eriyebilen çoğu hammadde kullanılabilirliğinden, malzeme yelpazesi geniştir. Bu makinelerde çoğunlukla plastik türlerini kullanılmakta, metal, seramik, cam, kum ve kompozit malzemeler için de yeni teknikler geliştirilmektedir [7,2].

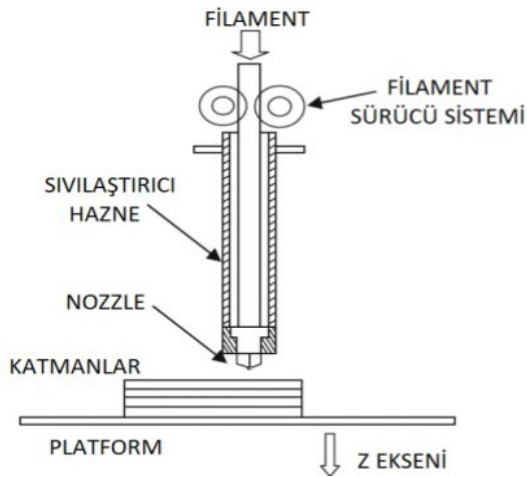


Şekil 2. SLS baskı tekniğinin temsili çizimi [8,6]

3.3. Eriyik Dökerek Modelleme (Fused Deposition Modeling-FDM)

Eriyik Dökerek Modelleme tekniğinde (FDM) termoplastik filament (lif) yazıcının bir bölümünde eritilip ardından ince bir sıcak uçtan çıkartılır, obje bu eritilmiş liflerin bir önceki katmana soğutucu ile anında soğutulup bağlanmasıyla oluşturulur. Burada görülen işlem sıcak silikon tabancasının bir benzeridir. Teknoloji gelişmesine rağmen diğer tekniklere göre katmanlar daha belirgindir, fakat termoplastiklerin mekanik özellikleri, baskısı yapılan objeyi sağlam kılar [2].

FDM 3B yazıcılarda çoğunlukla ABS (Akrilonitril bütadien stiren), PLA (Polilaktik asit-organik maddelerin geri dönüşümü ile üretilen bir tür plastik) gibi termoplastikler kullanılmaktadır. Toz halinde ahşap, metal, seramik benzeri maddelerin termoplastik bağlayıcılarla karıştırılıp bazı kompozit malzemeler ayrıca geliştirilmiştir [7,2].


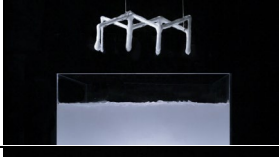




Şekil 3. FDM baskı tekniğinin temsili çizimi [9,6]

3.4. Hızlı Sıvı Baskı Tekniği (Rapid Liquid Printing-RLP)

Üç boyutlu baskı, küçük ve bir defalık ürünler oluşturmak için uygun olsa da büyük ölçekli ve ticari seviyede ürünlerin imalatında sınırlı bir araç olmuştur. Bu düşünceyle birlikte “Massachusetts Teknoloji Enstitüsü” ve mobilya üreticisi “Steelcase” işbirliğinde “Hızlı Sıvı Baskı” tekniği geliştirilmiştir. Bu teknik boyut, hız ve kaliteli malzemeye odaklanmıştır. İşlem, yer çekimi sınırlamaları olmadan 3 boyutlu çizime ve bir jelin içine yazdırma prensibine dayanmaktadır. Baskı, kauçuk, köpük, plastik veya herhangi bir endüstriyel sıvı malzeme ile çalışmaktadır. Ürün, ışık ya da sıcaklık ayar yöntemlerine gerek kalmadan, jel ile temasa geçtiğinde kimyasal bir reaksiyonla sertleştirilir. Bitmiş ürün, daha sonra kürlenmeye gerek kalmadan jelden çıkarılmaktadır. RLP tekniği, geleneksel 3B baskı yöntemlerinden farklı olarak, katman katman işlemeyi zorunlu kılmadan, makinenin verdiği olanaklar çerçevesinde, tasarımların daha hızlı üretilmesini sağlamaktadır (Çizelge 1).

Çizelge 1. RLP tekniği ile mobilya üretimi [10,11]

Parametre Adı	Değeri
	Hızlı Sıvı Baskı, jel süspansiyonu içerisinde fiziksel olarak 3B alanda çizer. Jel, tasarımcının yerçekimi sınırlamaları olmadan çizim yapmasına olanak tanır.
	Jel ile reaksiyona girdiğinde sıvı kümelenir ve haznedan çıkarılır. Isı veya ışık ile sertleştirmeye gerek kalmaz. Hızlı Sıvı Baskı, reel ürünlerde kullanılan malzemelerle, büyük ölçekli, özelleştirilmiş ürünler tasarlanmasını sağlamaktadır.
	3B yazdırılan tasarımlar kısa sürede dakikalar içinde oluşturulabilir.
	Kullanılan malzeme, ürün boyutu ve tasarımın karmaşıklığı, Hızlı Sıvı Baskı işleminin hızını etkileyen unsurlardır.

4. ÜÇ BOYUTLU YAZICILAR İLE BASILAN MOBİLYA TASARIMLARI

20. yüzyıl başlarında, endüstriyel devrimle birlikte üretim teknolojilerinin gelişmesinden ilham alan modernist öncüler, tasarım konusunda fikirleri değiştirdiler. Benzer şekilde dijital tasarım araçları ve 3B yazıcı teknolojilerinin hızla gelişmesi, dijital devrimin olanaklarıyla ortaya konan deneysel çalışmalarla tasarım kavramımızı değiştirmektedir. Yirmi birinci yüzyılın başlangıcı, tasarım ve bilgisayar teknolojisinin deney devridir. Üç boyutlu yazıcı teknolojileri kullanılarak ürünlerin yaratılmasında mobilya tasarımları önem kazanmıştır. 2009 yılında “Studio Geenen” tarafından tasarlanan “Gaudi” sandalye, 3B yazıcı ile basılan ilk mobilya örnekleri arasında yer almaktadır (Şekil 1). Hafif bir sandalye oluşturmak amacıyla yüzey karbon fiber olup, kaburgalar “Selektif Lazer Sinterlemesi” ile cam dolgulu naylondan yapılmıştır. Tasarım, mimar Antonio Gaudi’nin optimum güçte kemerler tasarlamak için kullandığı modelleme yöntemine dayanmaktadır. Bu amaçla bir yazılım senaryosu geliştirilmiştir. Tasarım senaryosu üç aşamaya dayanmaktadır:

- Kuvvetlerin sandalyenin yüzeyine dağılımı
- Kuvvetlerin yönünün kaburgaların yönünü tanımlaması
- Kuvvet miktarının kaburga yüksekliğini belirlemesi.



Şekil 1. ‘Gaudi’ sandalye [12]

2004 yılında Fransız tasarımcı Patrick Jouin ve dijital üreticilerle işbirliği içinde tasarlanan “Solid C2” sandalye, 3B yazıcının baskı teknolojisine uygun, serbest biçimli kesişen malzeme şeritlerinden üretilmiştir. Geleneksel mobilya

üretim biçimlerinden çok farklı biçimde olan “Solid C2”, SLS (Selektif Lazer Sinterleme) tekniği ile tek parça olarak üretilen ilk mobilya örnekleri arasında yer almaktadır (Şekil 2).



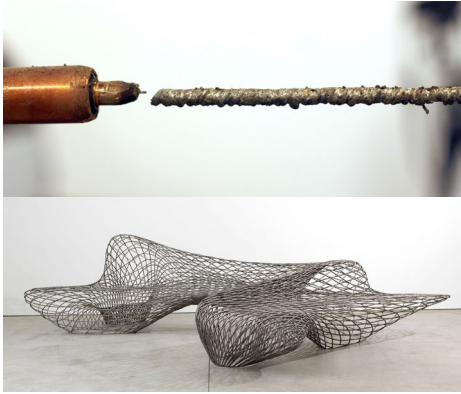
Şekil 2. SLS baskı tekniği ile üretilen Patrick Jouin tasarımı “Solid C2”, 2004 [13]

Üç boyutlu dijital baskı teknolojileri, ürünleri tasarlama, üretme, dağıtma, koruma ve hatta geri dönüştürme yöntemimizdeki evrimi yeniden tanımlamaya başlamaktadır. Bu alandaki çalışmalarına New York sergisinde (2014) yer veren tasarımcı Joris Larman, dijital teknolojinin tasarım ve üretim yöntemindeki evrimini, 3B basılan metal mobilyalarla ortaya koymaktadır. Mikroyapılar serisinin bir parçası olan “Gradient” sandalye, yapısal noktalarının katı, açık kısımlarının ise köpük benzeri olması için modifiye edilmiş 3B baskılı termostatik poliüretandan yapılmıştır (Şekil 3). Larman’ın bu serisi, boyut, gözeneklilik, kalınlık, esneklik, rijitlik, sertlik, yumuşaklık ve renkteki değişkenlik yoluyla fonksiyonel koşullara hitap edebilen 3B baskılı mobilyalar geliştirmeye yöneliktir.



Şekil 3. “Microstructure Gradient” sandalye [14]

Joris Larman'ın metal mobilya serisinin bir diğer ürünü olan "The Dragon" mobilya, malzeme-tasarım-üretim ilişkisinin, 3B metal yazıcı ile gelişmiş kaynak teknolojisini bir arada kullanarak, tasarımların yeni bir form diline yönlendirileceğini ortaya koymaktadır (Şekil 4). Tasarım, paslanmaz çelik, alüminyum, bronz ve bakır gibi metallerle destek yapılarına gerek kalmadan, tek seferde az miktarda erimiş metal ekleyerek, havada çift eğri çizgilerin keşişmesi sonucu elde edilen asimetrik ve organik bir formla basılmıştır. 3B metal yazıcı ve kaynak makinesi kombinasyonu, birlikte çalışan farklı yazılım türleri tarafından çalışmaktadır.



Şekil 4. 3B metal yazıcı ve kaynak kullanımı [15]

3B yazıcılar yüksek çözünürlükte, organik yapıların basılmasına olanak tanımasıyla geleneksel üretim yöntemlerinden ayrılmaktadır. Tasarımın her katmanının farklı geometride olması geleneksel üretim yöntemlerinde istenmeyen bir durumken, 3B yazıcı teknolojilerinde üretime olanak tanıyan bir özelliğe dönüşmektedir. Marco Mattia Cristofori tarafından tasarlanan "The Terra Stool" yapı, biyomimik tasarım ilkelerini dikkate alarak, ek bir destek malzemesine ihtiyaç duyulmadan, 60 dereceyi geçmeyen açılarla, tek parça olarak üretilmiştir. Doğrusal tasarımlarda dik açılar, uygulanan yükü karşılamada bir problem olarak karşımıza çıkarken, 3B teknolojinin eğrisel açılara olanak tanıması; geleceğin üretim teknolojileri arasında daha hızlı yer almasını sağlayacak önemli bir özelliktir. Ürün 1 m³ boyutlarında karmaşık biçimleri 1:1 ölçekte basabileceği, geniş ölçekli bir yazıcı ile basılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. "The Terra Stool" tabure [16]

"Bow" ve "Rise" sandalye Zaha Hadid mimarlığın, 3B yazıcı ve malzeme alanında yürüttüğü kapsamlı araştırmalarının ürünüdür. Patric Schumacher ve Sebastian Andia tarafından ortaya konan tasarımlarda amaç, doğada bulunan strüktürel yapıyı, yenilikçi malzemeler ve gelişmiş üretim yöntemleriyle birleştirmektir. Sandalyeler, plastik parçacıkları kullanan bir topak-ekstruder (pellet-extruder) ile basılmıştır. Kullanılan PLA plastik, mısır nişastası gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen, toksik olmayan, biyolojik olarak parçalanabilen bir malzemedir. Su altı ekosisteminden ilham alan tasarımcı, parlak renkleri tercih etmiştir. Desen ve renk kullanımı, mobilyanın geleneksel mekân ilişkisini yeniden tanımlamaktadır (Şekil 6,7).

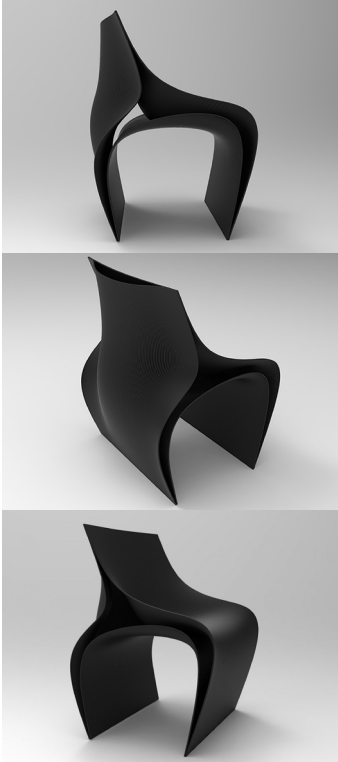


Şekil 6. "Bow" koltuk [17]



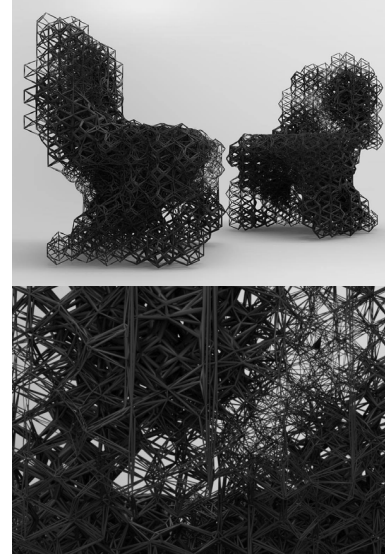
Şekil 7. "Rise" sandalye [18]

Daniel Widrig tasarımı "Peeler" sandalye, insan vücudunun ergonomik kısıtlarını ve onu basan makine kolunun ergonomisini karşılamak üzere tasarlanmıştır. 3B yazıcı teknolojilerini ve parametrik tasarımı birleştiren ürün, geleceğin yenilikçi tasarım yaklaşımlarına ve üretim tekniklerine işaret etmektedir. 7 mm kalınlığında üç parça PLA kullanan tasarımcı Daniel Widrig yazılım alanındaki gelişmelerin tasarım disiplinleri arasındaki sınırları bulanıklaştırdığını ifade etmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Daniel Widrig tasarımı "Peeler" sandalye, 2018 [19]

Daniel Widrig "Deoptimised" sandalye tasarımında, sinema endüstrisi için geleneksel olan teknolojinin özel efektlerinden faydalanarak, disiplinler arasındaki sınırları bozmuştur (Şekil 9).



Şekil 9. "Deoptimised" sandalye. Tasarım: Daniel Widrig [20, 21]

3B Teknolojisi tasarımda, doğada bulunan formların yapısal düzenlerinden yararlanılmasına olanak tanıyan bir üretim teknolojisidir. Doğadaki formların yapısal düzenlerini tasarıma aktaran Janne Kytanen, örümcek ağları ve ipek böceği kozası strüktüründen esinlenerek 3B baskı teknolojisi ile monoblok strüktürle "Sofa So Good" kanepeyi üretmiştir (Şekil 10). 150x75x55 santimetre ölçülerinde, 1,5 metre uzunluğundaki kanepede, 2,5 litre foto-reaktif reçine malzemesi kullanılarak stereolitografi cihazında basılmıştır. Tasarımcıya göre 2,5 kg ağırlığında olan kanepede, 100 kg ağırlığa dayanabilmektedir. Üründe istenen görsel algı için bakır ve krom kaplama kullanılmıştır.

3B baskı teknolojisi:

- Daha az malzeme kullanımı,
- Enerji tüketimini minimize etmesi
- Mobilyanın üretimi için nakliye masraflarını düşürmesi ile çevreye duyarlı

tasarım yaklaşımları arasında yer almaktadır.



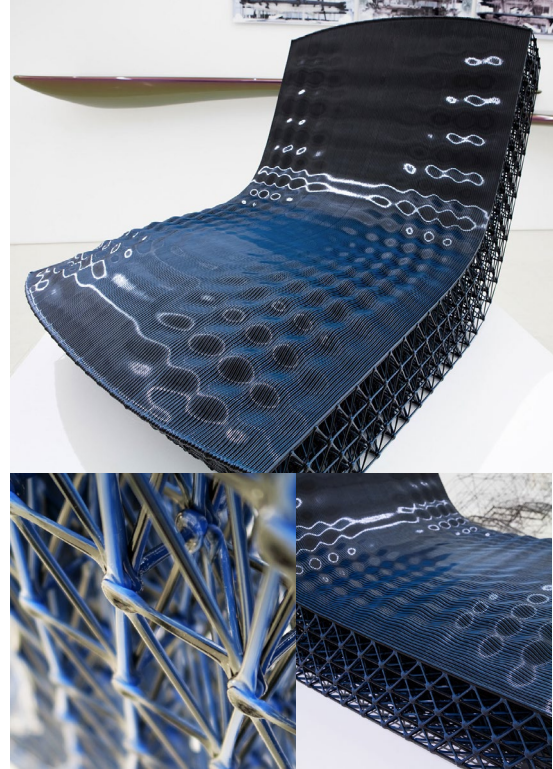
Şekil 10. Janne Kyttanen tasarımı "Sofa So Good" Kanepe [22]

Ross Lovegrove "Robotica TM" tabure tasarımında, 3B baskı teknolojisini dönme hareketiyle birleştirerek teknoloji ve doğa arasında karşılaştırmalar yapmaktadır. Ürün formunu, baskı işleminin ortasında her katmanı birbirine birleştiren sürekli bir dönüş işlemi ile almaktadır. Tasarım, ısıya dayanıklı silikon ekler içerdiğinden sehpa olarak kullanıma olanak tanımaktadır (Şekil 11).



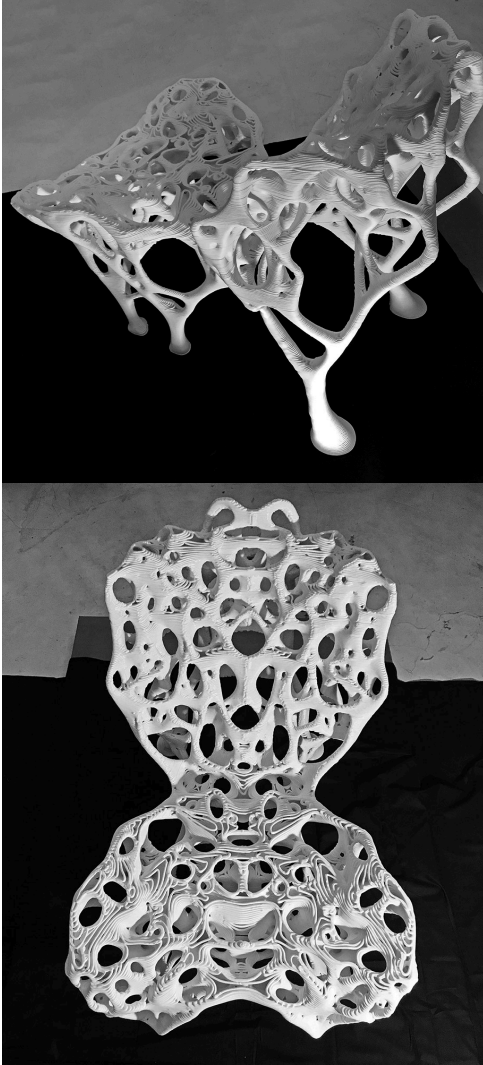
Şekil 11. Ross Lovegrove "Robotica TM" tabure tasarımı [23]

2016 yılında "Meta Utopia" sergisi kapsamında sunulan, Patrik Schumacher'in "Zaha Hadid Mimarlık" ve "Ai Build" işbirliği ile basılan "Puddle" tasarımı, prototip bir kanepe. Tasarım, 3B baskı teknolojilerinin parametrik tasarım araçlarıyla eşleştirilmesinde ortaya çıkan yenilikçi potansiyelin ve olasılıkların bir kanıtı niteliğindedir. Kanepenin hafif uzay strüktürü, rahat bir otuma yüzeyine dönüştürmek için yapay bir örtü ile kaplanmıştır. Mobilyanın dalga biçimi, sınırların yarattığı dalgalara benzeyen doğal dünyadan ilham almaktadır (Şekil 12).



Şekil 12. "Puddle" kanepe tasarımı, 2016 [24]

Ürün araştırmacısı Assa Ashuach'ın, "Ai Build" işbirliği ile ortaya koyduğu STEM sandalye, malzeme optimizasyonu, biyomikro yapılar ve tasarım araştırmalarının bir parçası olarak geliştirilmiştir. STEM sandalye, gelecekteki endüstriyel tasarım ve mimari süreçler hakkındaki tartışmayı, üretim yöntemi, insan ve biyolojik zeka kombinasyonu çerçevesinde ortaya koymaktadır (Şekil 13).



Şekil 13. Assa Ashuach tasarımı “STEM” sandalye, 2017 [25]

3 Boyutlu baskı sistemlerini geleneksel malzeme ile birleştiren yaklaşımlar, tasarıma yenilikçi bir boyut kazandırmaktadır. “Design 3.0” tarafından, 2016 yılında Milano 21. Uluslararası Tasarım Trienali’nde sergilenen hibrit tasarım, geleneksel ahşap malzemeyi, 3B baskılı plastik birleştirme sistemi ile biraraya getirmektedir. Her ürün, geri dönüşüm ve nakliye için parçalara ayrılabilme özelliğiyle ekolojik bir boyut kazanmaktadır (Şekil 14).



Şekil 14. Design 3.0 tasarımı [26]

5. SONUÇ

Üç boyutlu yazıcılar, günümüz mobilya tasarımı alanında üretimde sağladığı kolaylıklar ve avantajlar ile zaman içerisinde ön plana çıkan üretim yöntemlerinden biri olmuştur. 3B yazıcılar, tasarımcıya yaratıcılık anlamında özgürlük kazandırırken, kullanıcının ürüne daha hızlı ve daha kaliteli ulaşmasını sağlamaktadır. Üç boyutlu yazıcı teknolojisinin gelişmesi, geleneksel yöntemlerle üretilmeyen mobilya tasarımlarını geliştirmeyi kolaylaştırmıştır. Tasarım ve üretim süreçlerinin daha kontrollü yapıldığı üç boyutlu baskı sistemleri, aynı zamanda sürdürülebilir ve ekolojik yaşam sürecini destekler niteliktedir.

Üç boyutlu baskı sistemleri malzeme-biçim ve üretim yöntemi ilişkisi çerçevesinde ele alındığında sağladığı olanaklar;

- Tasarım sürecinde ürün geliştirmeyi desteklemesi

- Prototip yapımı ve gerçek modelleme ile tasarım sürecinde zaman yönetimi sağlanması
- Malzeme alternatiflerinin sağladığı yeni strüktürel olanaklarla yeni biçimlere olanak tanınması
- Doğada bulunan formların yapısal düzenlerinden faydalanmaya olanak tanınması
- Görsel algıda renk ve desen çeşitliliğine olanak tanınması
- Geleneksel yöntemlerle üretilemeyen biçimlere olanak tanınması
- Kompleks ve ayrıntılı biçimlerin üretimine olanak tanınması
- Parametrik tasarım anlayışını desteklemesi
- Geleneksel malzeme ve 3 boyutlu üretim yöntemi ile parçalara ayrılabilme, nakliye ve geri dönüşüm olanağı sunması
- Tasarımcıya özgünlük ve özgürlük olanağı tanınması olarak ifade edilebilir.

3Boyutlu baskı sistemleri sağladığı yenilikçi üretim olanaklarıyla, gelecekte kullanıcı-mekân-mobilya ilişkisinin yeniden tanımlanacağı yenilikçi tasarımlara işaret etmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Demirbaş, Y., Arlı, B., 2015. Uygulamalarla 3 Boyutlu Yazıcı Yapımı ve Kullanımı. İstanbul: Abaküs Yayınları, 5s.
2. Urgan, O., 2016. Heykel Sanatında Üç Boyutlu Baskı Teknolojilerinin Kullanımı, Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 22s.
3. Bradshaw, S., Bowyer, A., Haufe, P., 2010. The Intellectual Property Implications of Low-Cost 3D Printing, Script ed. 7(1), 5-31.
4. Kan, B., 2006. Hızlı Prototipleme Sistemleri ve Uygulama Esasları. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 3s.
5. Pham, D.T., Gault, R.S., 1998. A Comparison of Rapid Prototyping Technologies. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 38, 1257-1287.
6. Baş, H., Yapıcı, F., 2015. Ergonomik Tasarım ve Üretimde Hızlı Prototipleme Teknolojisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 3, ÖS: Ergonomi, 199-204.
7. Warnier, C., Verbruggen, D., 2014. Printing Things: Visions and Essentials for 3D Printing. Berlin: Gestalten.
8. Çelik, İ., Karakoç, F., Çakır M.C., Duysak, A., 2013. Hızlı Prototipleme Teknolojileri ve Uygulamaları. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, s31, ISSN 1302-3055.
9. Gibson, I., Rosen, D.W., Stucker, B., Additive Manufacturing Technologies. Springer, Dordrecht Heidelberg London New York, 2010
10. <https://www.youtube.com/watch?v=TKAp3-qvHk&feature=youtu.be> (Erişim Tarihi: 11.04.2019)
11. <https://www.youtube.com/watch?v=99ikodzDRs&feature=youtu.be&list=PLQ5DJ42x6wXJT A7HSEMNr9iNLVYKvyzZh> (Erişim Tarihi:11.04.2019)
12. <https://www.dezeen.com/2010/06/11/gaudi-chair-by-studio-geenen/> (Erişim tarihi:15.07.2019)
13. <https://www.dezeen.com/2013/08/02/stedelijk-museum-acquires-first-3d-printed-chair-solid-c2/> (Erişim Tarihi: 04.01.2018)
14. <https://www.dezeen.com/2014/05/22/joris-laarman-lab-3d-printed-furniture/> (Erişim Tarihi:16.07.2019)
15. <https://www.jorislaarman.com/work/mx3d-metal/> (Erişim Tarihi:25.10.2019)
16. https://www.design-point.com/wp-content/uploads/Creative_eBook_.pdf (Erişim Tarihi:20.10.2019)
17. <https://www.zaha-hadid.com/design/bow-chair/> (Erişim Tarihi:25.10.2019)
18. <https://www.zaha-hadid.com/design/rise-chair/> (Erişim Tarihi:25.10.2019)
19. <https://www.arch2o.com/nagami-zaha-hadid-3d-printed-chairs/> (Erişim Tarihi:27.10.2019)
20. <https://danielwidrig.tumblr.com/post/137359300441/deoptimised-chair-2013> (Erişim Tarihi:27.10.2019)
21. <http://www.formakers.eu/project-667-daniel-widrig-de-optimised-chair>
22. <https://www.dezeen.com/2015/06/02/janne-kyttanen-3d-printed-sofa-so-good-minimal-mesh-spider-web-cocoons/>

23. <https://all3dp.com/new-spanish-furniture-brand-nagami-debuts-four-3d-printed-chairs-milan-design-week/> (Erişim Tarihi:22.11.2019)
24. <https://www.ai-build.com/puddlechair.html> (Erişim Tarihi:22.10.2019)
25. <https://www.ai-build.com/stemchair.html> (Erişim Tarihi:22.10.2019)
26. <https://www.designlibero.com/portfolio/design-3-0-hybrid-production-xxi-t/> (Erişim Tarihi:22.10.2019)

Reaktör Türlerinin ve Parametrelerinin Steam Reforming Prosesiyle Etanolden Hidrojen Üretimine Etkisinin Aspen Plus ile İncelenmesi

Mesut BEKİROĞULLARI^{*1}, Mustafa KAYA¹

¹Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Siirt

Geliş tarihi: 26.03.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Bu çalışmada etanolden hidrojen üretim prosesi Aspen Plus yardımıyla geliştirilmiştir. Geliştirilen simülasyon kullanılarak öncelikle üç farklı reaktör türünün etanol dönüşüm oranlarına etkisi incelenmiş olup RGibss reaktörünün REquilibrium ve RPlug reaktörlerin oranla en iyi dönüşüm oranına sahip olduğu belirlenmiştir. İki farklı aktivite katsayısı modeli olan UNIFAC ve UNIQUAC modelleri test edilmiş olup en iyi dönüşüm oranının UNIQUAC modelinde olduğu tespit edilmiştir. En iyi reaktör ve aktivite katsayısı modeli belirlendikten sonra, sıcaklık, basınç ve karışım oranı gibi reaktör çalışma parametrelerinin etanol dönüşüm oranına olan etkileri sırasıyla çalışılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde sıcaklık, basınç ve karışım oranı sırasıyla 500 °C, 1 atm ve 1/4 olarak belirlenmiştir. Son olarak üretilen hidrojen gazının saflaştırılıp kullanılabilir hale gelmesi için bir ayırıştırıcı kullanılmış olup %99,9 saflıkta saf H₂ elde edilmiştir. Elde edilen veriler Aspen Plus simülatörünün başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini göstermekte olup bu tür başarılı simülasyonların deneysel maliyetleri ve zaman kaybını minimize edebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Aspen plus, Etanol, Hidrojen enerjisi, Steam reforming, Reactör şartları

Effect of Reactor Types and Operating Parameters for the Hydrogen Production through Steam Reforming Process of Ethanol

Abstract

In the present study, hydrogen production process from ethanol was developed with the aid of Aspen Plus. Firstly, the effect of reactor types on ethanol conversion rates was investigated by simulating three different reactors in Aspen Plus and it was determined that the RGibss reactor provided the best conversion rate compare to REquilibrium and RPlug. Two different activity coefficient models, UNIFAC and UNIQUAC, have been tested and the best conversion rate has attained with the use UNIQUAC model. Once the optimal best reactor type and activity coefficient model were decided, the effects of reactor operating parameters such as temperature, pressure and mixing ratio on ethanol conversion rate were studied respectively. Temperature, pressure and mixing ratio for the optimal conversion rate of ethanol were determined as 500 °C, 1 atm and 1/4 respectively. Finally, a separator was used to purify the hydrogen gas and pure H₂ with a purity of 99.9% was subsequently produced. The obtained data indicate that Aspen Plus simulator has been performed successfully and shows that such successful simulations can minimize experimental costs and time loss.

Keywords: Aspen plus, Ethanol, Hydrogen energy, Steam reforming, Reactor conditions

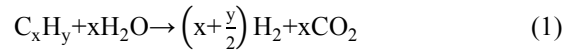
*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mesut BEKİROĞULLARI, mesutbekirogullari@siirt.edu.tr

1. GİRİŞ

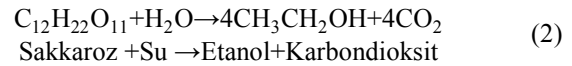
Artan küreselleşme ve sanayileşmeye paralel olarak enerji ihtiyacı da hızla artmaktadır. Günümüzde enerji ihtiyacının büyük bir kısmı petrol ve kömür gibi fosil yakıtlar (yenilemeyen) ile karşılanmaktadır. Fosil yakıtların hızla tükenmeye başlaması ve üretiminin ve kullanımın sebep olmuş olduğu küresel ısınma sorunlarından dolayı yenilebilir ve sürdürülebilir çevre dostu enerji kaynaklarına olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal, biyokütle ve hidrojen enerjisi yenilebilir enerji kaynaklarının başlıcalarındandır. Doğada en yaygın olarak bulunan element olan hidrojen doğada bileşikler halinde bulunmaktadır. Hidrojen genellikle suda, biyokütlerde ve hidrokarbonların yapısında yer alır. Hidrojen enerjisi bu bileşiklerin fiziksel ve kimyasal işlemlerle işlenmesi sonucu elde edilen enerji kaynağıdır. Hidrojen enerjisi doğal bir enerji kaynağı olmamakla beraber, çevre dostu, sürdürülebilir ve yenilebilir enerji kaynakları arasında yer almaktadır. Tüm bu avantajlarının yanı sıra hidrojen enerjisi düşük emisyon değerine, verimlilik, düşük maliyet ve yüksek kalorifik enerji içeriği sayesinde geleceğin en önemli enerji kaynakları arasında yer almaktadır [1-3].

Hidrojen enerjisi doğal gaz, nafta, ağır yağlar, metanol, biyokütle, atıklar, kömür ve rüzgar enerjisi gibi birçok kaynaktan elde edilmektedir [3]. Hidrojen enerjisinde kimyasal enerji H-H bağları içerisinde depolanır ve oksijen ile yakıldığı zaman yanma ürünü olarak yalnızca su açığa çıkar ve buda hidrojen enerjisinin temiz bir enerji kaynağı olarak kabul görmesini sağlamaktadır [3]. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda enerji kaynakları ve çevre ile ilgili sorunlara çözüm bulmak amacıyla hidrojen enerjisine dayalı bir enerji altyapısının çözüm olabileceği düşünülmektedir. Önümüzde ki yıllarda sanayide (örneğin amonyak yapımı) ve enerji alanında (örneğin yakıt hücreleri) kullanılmak üzere hidrojene olan talebin hızla artması beklenmektedir. Bundan dolayı yakın gelecekte hidrojen enerjisi elde edilmesi için var olan bio-yakıt kaynaklarının kullanılması öncelikli olacaktır [4].

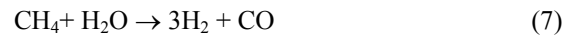
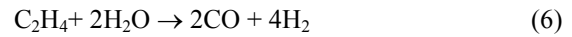
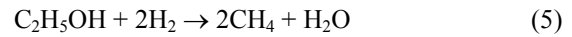
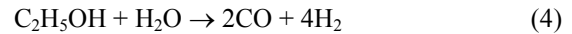
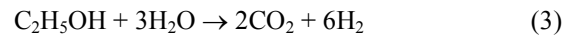
Günümüzde hidrojen gazı elde etmek için steam reforming, autothermal reforming ve partial oxidation prosesleri gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır [5]. Belirtilen bu üç yöntem arasında steam reforming prosesi düşük sıcaklıkta çalışabilmesi ve oksijen ihtiyacı olmaması gibi önemli avantajlarından dolayı endüstriyel düzeyde en çok gelişmiş ve en yaygın kullanılan yöntemdir [6]. Steam reforming prosesinde hidrokarbonlardan hidrojen gazı eldesine ait reaksiyon stokiyometrisi Eşitlik 1'deki gibidir [2];



Fosil yakıtlar sebep oldukları çevresel sorunlar ve bilinen fosil yakıt yataklarının hızla tükenmeye başlamasıyla hidrojen enerjisi elde edilmesinde kullanılmasında çok fazla tercih edilmemektedirler. Bu kapsamda yenilenebilir enerji kaynaklarının hidrojen enerjisi elde edilmesinde kullanılması oldukça önem kazanmaktadır. Tüm bunlar dikkate alındığında fermantasyon prosesiyle oldukça yüksek miktarda üretilen etanol önemli bir kaynak haline gelmektedir (Eşitlik 2);



Hidrojen enerjisi elde etmek için kullanılacak en önemli hammadde kaynağı olan etanolün steam reforming prosesindeki reaksiyon gerçekleşme aşamaları şu şekildedir (Eşitlik 3-8);



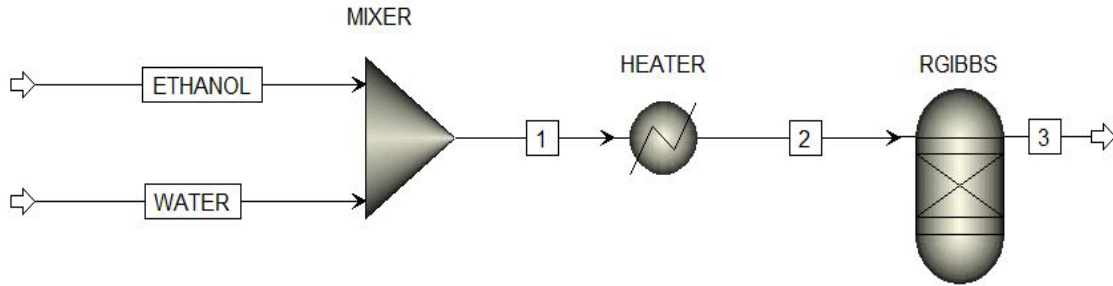
Steam reforming prosesi ile etanolden hidrojen gazı elde edilmesine ait genel reaksiyon akışı yukarıda verilmiştir [7,8]. Gerçekleşmesi beklenen diğer yan reaksiyonların daha detaylı bir listesi Wu ve arkadaşları [3] ve Murmura, ve arkadaşları [9] tarafından verilmiştir.

Bu çalışma kapsamında gelecekte sanayi çaplı üretimine geçilmesine beklenen steam reforming prosesiyle etanolden hidrojen üretimine reaktör türünün ve parametrelerinin hidrojen üretimine etkisinin Aspen Plus ile incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan simülasyon programı içerisinde barındırdığı veri bankası sayesinde deneysel çalışma gerçekleştirilmeden önce üretime etki eden sıcaklık ve basınç gibi parametrelerin incelenmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca Aspen Plus simülasyonu ekonomik analiz yapılmasına da imkan vermektedir. Bu çalışmada öncelikle steam reforming prosesinde kullanılması beklenen reaktör türleri etanol dönüşüm oranları göz önünde bulundurularak incelenmiştir. Daha sonrasında belirlenen reaktör kullanılarak proseste kullanılacak olan en verimli termodinamik model (UNIFAC, UNIQUAC) belirlenmiştir. Son

olarak, reaktör sıcaklığı, basıncı ve karışım oranı incelenerek en optimal sistem belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Aspen Plus simülasyonu kullanılarak steam reforming prosesine ait proses akış şeması Şekil 1'de verildiği gibi oluşturulmuştur. Proses akış diyagramında da açıkça görüldüğü gibi proseste iki tane hammadde girişi (etanol ve su) vardır. Hammaddelerin giriş sıcaklık ve basınçları sırasıyla 25 °C ve 1 atm'dir. Her iki hammaddenin başlangıç akış hızları sırasıyla 10 kmol/s ve 30 kmol/s olarak belirlenmiştir. Bu iki hammadde bir karıştırıcı (mixer) kullanılarak karıştırılıp reaktör sıcaklığına getirilmek üzere bir ısıtıcıya (heater) gönderilmiştir. Isıtılan karışım daha sonra reaksiyonun gerçekleşeceği reaktöre gönderilmiştir. Öncelikli olarak farklı reaktör türlerinin ve kullanılan termodinamik modellerin (fluid package) etanol dönüşüm oranına olan etkileri incelenmiştir. Sıcaklığın ve basıncın dönüşüm oranına ve hidrojen üretim oranına olan etkilerini incelemek için sıcaklık 25-500 °C ve basınç ise 0,01-10 atm arasında değiştirilmiştir.



Şekil 1. Steam reforming prosesiyle etanolden hidrojen üretim prosesi

3. SONUÇ TARTIŞMA

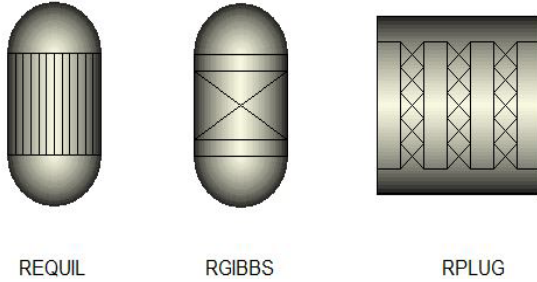
3.1. Reaktör Türünün Belirlenmesi

Farklı reaktör türlerinin etanol dönüşüm oranına ve hidrojen üretim oranına etkilerini incelemek için Aspen Plus simülöründe yer alan RGibbs, REquilibrium ve RPlug reaktörleri sırasıyla simüle edilmiştir ve reaktörler aynı şartlar altında

karşılaştırılmıştır. Kullanılan üç reaktöre ait Aspen Plus görüntüleri Şekil 2'de verilmiştir.

Reaktörlerin çalışma prensipleri değerlendirildiğinde, RGibbs reaktörü termodinamik denge halinde ürün konsantrasyonunu belirlemek için Gibbs serbest enerjisini en aza indirirken, REquilibrium reaktörü reaksiyona ait stokiyometriyi ve reaksiyonlar arasındaki kimyasal dengiyi kullanarak ürünlere

ait konsantrasyonu ve aralarındaki faz dengesini belirler. Öte yandan, RPlug reaktörü, reaktör boyu ve yarıçapına bağlı olarak gerçekleşecek reaksiyona ait kinetik parametreleri değerlendirerek oluşacak olan ürünleri konsantrasyonlarına dair detaylı bilgi verir.



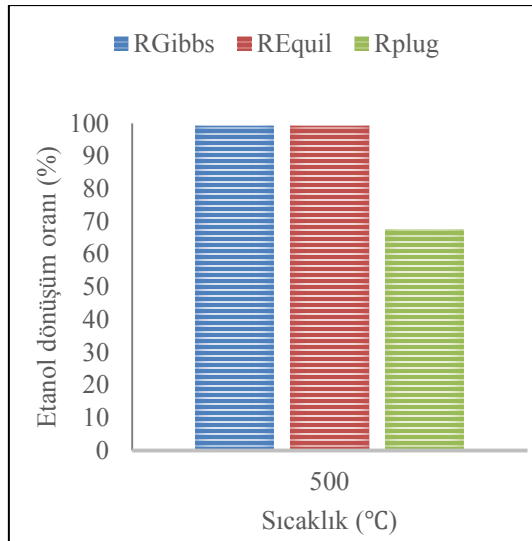
Şekil 2: Analiz edilen reaktör türleri

Reaktör türlerinin başarılı bir şekilde karşılaştırılabilmesi için bu aşamada sıcaklık 500 °C ve basınç ise 1 atm olarak belirlenmiştir. Etanol ve su arasındaki steam reforming prosesine ait reaksiyonun stokiyometrisi (etanol/su) 1/3'tür. Bu nedenle su ve etanol akış hızları sırasıyla 30 ve 10 kmol/s olarak belirlenmiştir. Burada RPlug reaktörü için yükseklik 1m ve yarıçap 0,1 m olarak alınmıştır. Ayrıca RPlug reaktörünün simüle

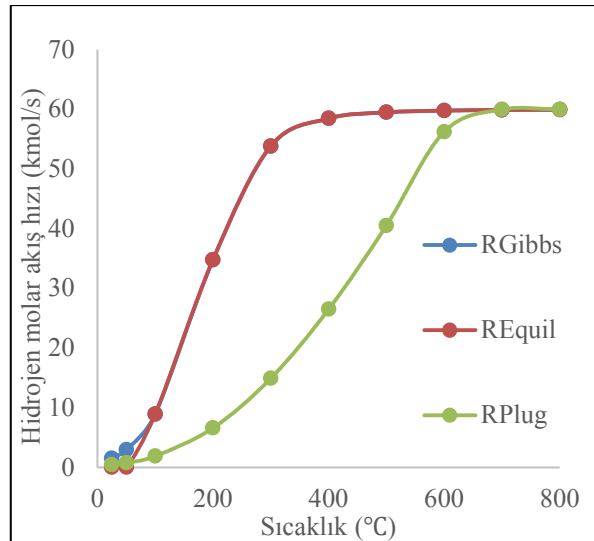
edilebilmesi için gerçekleşecek reaksiyonun kinetik parametreleri şu şekilde alınmıştır: $k=0,088$, $E=18,4 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ ve $T_0=300 \text{ }^\circ\text{C}$ [10].

Termodinamik model olarak ise burada UNIQUAC kullanılmıştır. Reaktör performansları Şekil 3 A-B'de verilen etanol dönüşüm oranları ve hidrojen üretimi molar akış hızları dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Farklı reaktörlerin etanol dönüşüm oranlarına olan etkisini gösteren Şekil 3 A'dan da görüleceği gibi belirlenen sıcaklıkta RGibbs ve REquilibrium reaktörlerinde etanol dönüşümü %100 iken RPlug reaktöründe bu oran %60 civarındadır. Bu sonuç Şekil 3 B'de gösterilen hidrojen molar akış hızı incelendiğinde de açıkça görülmektedir. Burada RGibbs ve REquilibrium reaktörlerinin 400 °C civarında maksimum hidrojen molar akış hızına eriştiği gözlemlenirken, bu oran RPlug için 700 °C civarındadır. Bununla beraber düşük sıcaklıklarda ise RGibbs reaktörünün REquilibrium reaktörüne oranla daha yüksek hidrojen molar akış hızına sahip olduğu gözlenmektedir. Bu nedenle bundan sonraki aşamalarda en elverişli reaktör olması nedeniyle RGibbs reaktörü kullanılmıştır.

A)



B)



Şekil 3. Reaktör türlerinin etanol dönüşüm oranlarına ve hidrojen molar akış hızına etkisi

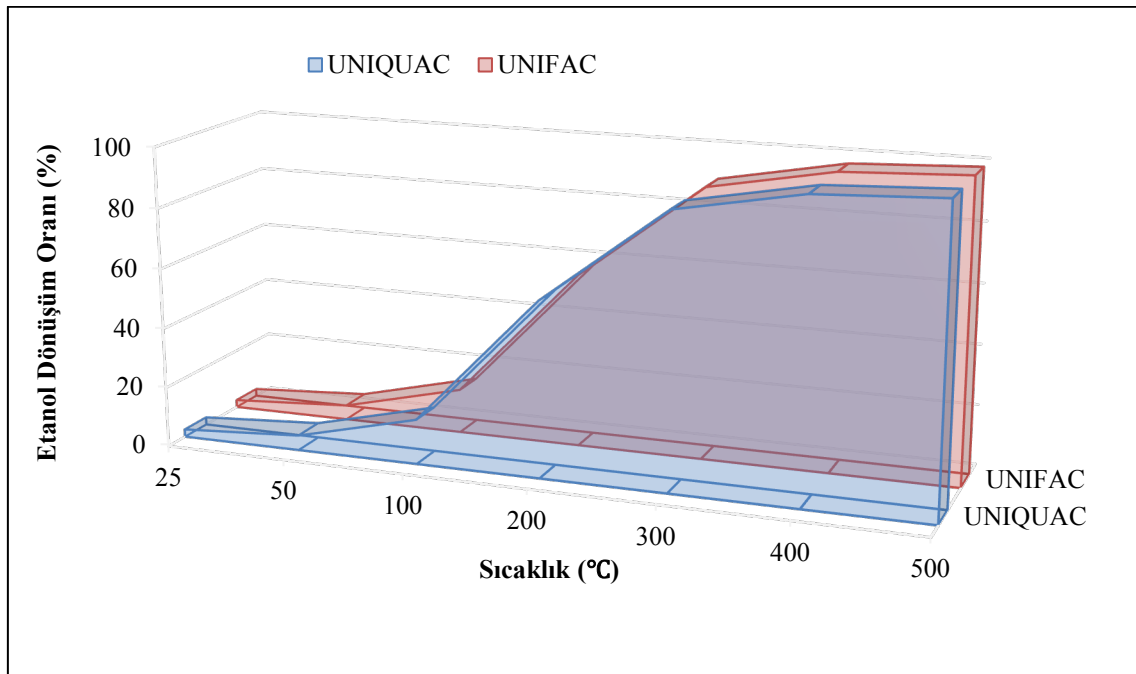
Şekil 3 B ayrıca reaktör sıcaklığının hidrojen molar akış hızına dolayısıyla etanol dönüşüm oranına olan etkilerini de açıkça göstermektedir. Şekilden de görüleceği gibi sıcaklık arttıkça etanol dönüşüm oranına bağlı olarak hidrojen akış hızı hızla artmakta ve 400 °C civarında maksimum değere ulaşmaktadır. Başlangıç sıcaklığı olan 25 °C hidrojen molar akış hızı 1,51 kmol/s iken 400 °C bu değer 59,50 kmol/s olmaktadır. Aynı şekilde etanol dönüşüm oranı incelendiğinde ise dönüşüm oranı 25 °C %2,5 iken 400 °C bu oran %99,18 olmaktadır.

3.2. Termodinamik (Fluid Package) Modelin Belirlenmesi

Farklı termodinamik modeller bünyesinde barındırdıkları farklı reaksiyonlar nedeniyle çok farklı ürün ve yan ürün oluşumları meydana getirmektedirler. Örneğin, metan, etilen, asetaldehit ve aseton gibi yan ürünlerin oluşumuna katkıda bulunan dehidrasyon, dehidrojenasyon ve piroliz gibi reaksiyonlar. Dolayısıyla ürün oluşumlarının tamamen proseste seçilen termodinamik modele bağlı olduğu

düşünüldüğünde, proseste kullanılacak olan termodinamik modellerin başarılı bir şekilde karşılaştırılması zorunlu hale gelmektedir.

Etanolden steam reforming prosesiyle hidrojen eldesi prosesinde durum modelleri ve aktivite katsayısı modelleri (activity coefficient ve equations of state) sıklıkla tercih edilmektedirler. Peng-Robinson ve Soave-Redlich-Kwong modelleri en yaygın kullanılan durum (quation of state) modelleridir ve hidrokarbonlar ve hafif gaz karışımları için geliştirilmişlerdir. Öte yandan UNIFAC ve UNIQUAC aktivite katsayısı modelleri (activity coefficient) düşük basınçlarda ideal olmayan sistemlerde sıklıkla tercih edilmektedirler. Öte yandan seçilen modeller prosesin veriminde yan ürün oluşumuna bağlı olarak oldukça etkilemektedirler. Bu çalışma kapsamında Şekil 4'te de verildiği gibi iki farklı aktivite katsayısı modeli karşılaştırılmış olup en iyi dönüşüm oranını veren model belirlenmiştir. Burada sıcaklık 500 °C ve basınç ise 1 atm olarak alınmıştır. Su ve etanol akış hızları sırasıyla 30 ve 10 kmol/s olarak alınmış olup reaktör olarak RGibbs kullanılmıştır.



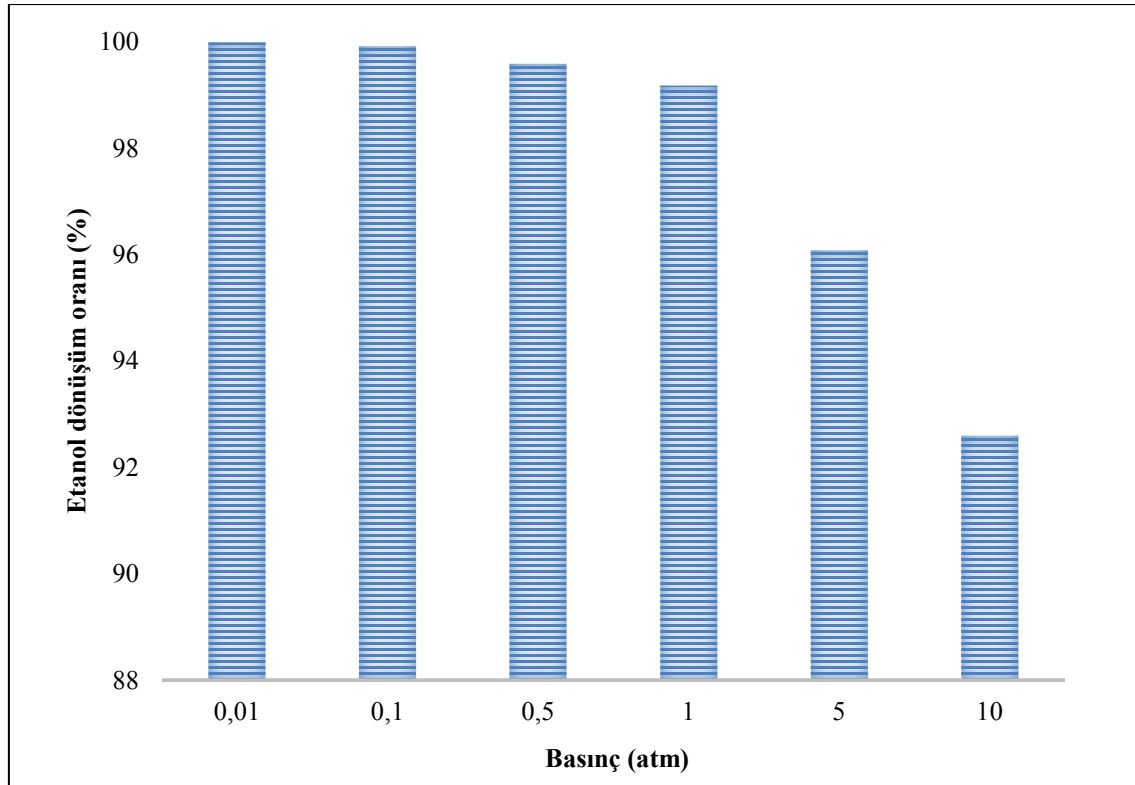
Şekil 4. Aktivite katsayısı modellerinin etanol dönüşüm oranına etkisi

Şekil 4'ten de açıkça görüldüğü gibi seçilen her iki aktivite katsayısı modeli çalışılan sıcaklık aralığında neredeyse aynı dönüşüm yüzdesine sahiptir. Burada UNIQUAC modelinin UNIFAC modeline oranla çalışılan sıcaklık aralığında yaklaşık %0,15'lik bir farkla daha iyi dönüşüm oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Sonuçların birbirine çok yakın olmasının en önemli nedenlerinden bir tanesi de her iki modelinde H₂, CO₂, CO, H₂O ürün ve yan ürünlerine sahip olmasındandır. Sonuç olarak daha iyi dönüşüm oranına sahip olduğu için bundan sonra çalışmaya UNIQUAC modeli devam edilmiştir.

3.3. Reaktör Basıncının Etkisi

Reaktör basıncının etanol dönüşüm oranına olan etkisi Şekil 5'te verilmiştir. Burada yine yukarıda belirtildiği gibi sıcaklık 500 °C ve basınç ise 1 atm olarak alınmıştır. Ayrıca su ve etanol akış hızları sırasıyla 30 ve 10 kmol/s olarak alınmıştır. Reaktör

olarak RGibbs ve aktivite katsayısı modeli olarak UNIQUAC kullanılmıştır. Şekil 5'ten de görülebileceği gibi basınç etkisi 0,01 atm ile 10 atm arasında çalışılmıştır. Yüksek basınçlarda dönüşüm oranının düşük olduğu ve yüksek basıncın reaksiyonu negatif etkilediği Şekil 5'te açıkça görülmektedir. Artan basınçla beraber dönüşüm oranının azaldığı tespit edilmiştir. Bunun en önemli nedenlerinden bir tanesi bu reaksiyonun buhar (steam) modunda gerçekleşmesidir. Dolayısıyla basınç arttıkça buhar fazındaki reaktant konsantrasyonu azalmakta ve ürün oluşum hızı azalmaktadır. Öte yandan basıncın azalmasıyla beraber dönüşüm oranının arttığı da açıkça görülmektedir. Her ne kadar çok düşük basınçlarda dönüşüm oranı daha yüksek olsada, vakum ortamını sağlamak ekstra bir maliyet getireceğinden dolayı bu çalışma kalan aşamalarında %99 civarında dönüşüm oranı elde edilen atmosferik basınç kullanılmıştır.

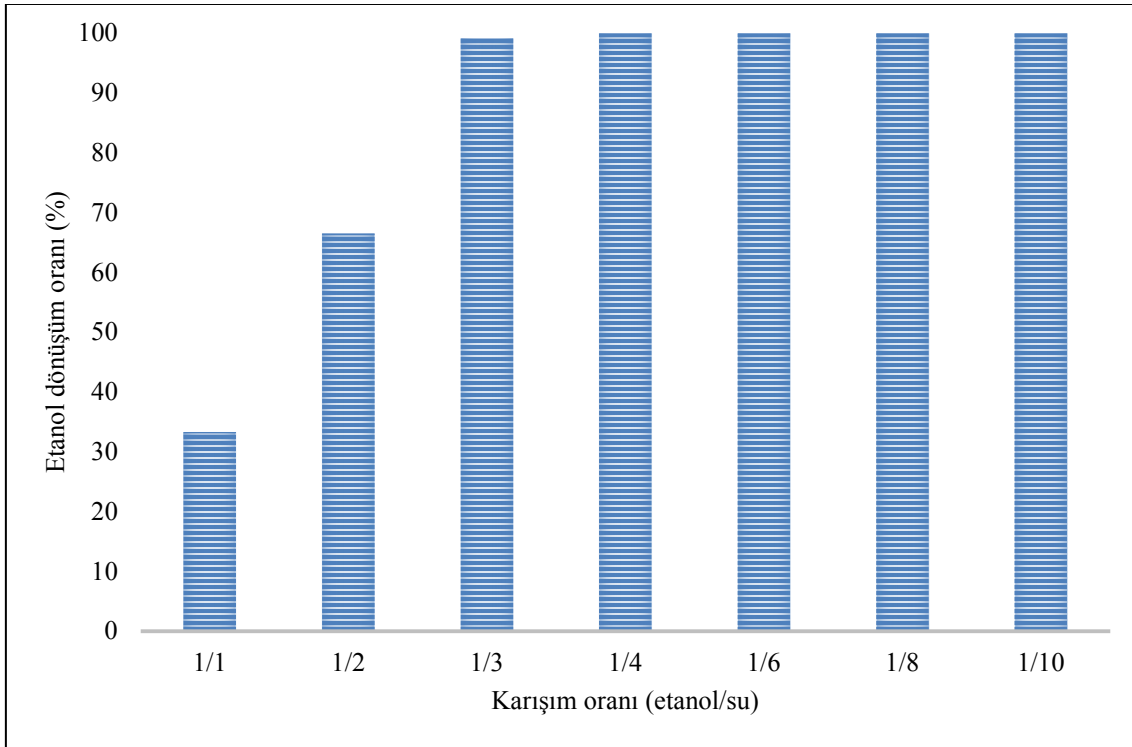


Şekil 5: Reaktör basıncının etanol dönüşüm oranına etkisi

3.4. Etanol/Su Karışım Oranının Dönüşüm Oranına Etkisi

Kimyasal reaksiyonlarda reaktantlar arasındaki karışım oranı, reaksiyon verimliliğini önemli derecede etkilemektedir. Bu çalışma da incelenen etanolün steam reforming prosesinde de bu etkiyi gözlemleyebilmek ve verimi arttırmak için en iyi karışım oranı belirlemek adına farklı karışım oranlarını dönüştürme oranına etkisi Şekil 6'da verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi düşük etanol/su karışım oranlarında (1/1 ve 1/2) etanol

dönüşüm oranı oldukça düşüktür. Bunun en önemli nedeni de etanolün reaksiyona girmesi için ortam yeterli su bulunmamasıdır. Öte yandan 1/3 etanol su karışım oranında her iki reaktant yeterli konsantrasyona sahiptir ve verim %99,17'dir. Bununla beraber su oranını arttırmak 1/3'ten 1/4'e arttırmak dönüşüm oranını daha da arttırmış ve %100 değerine ulaşılmıştır. Bu noktadan sonra ortama ekstradan su eklemek reaksiyon verimliliği zaten %100 değerine ulaştığı için etkilememiştir. Dolayısıyla en verimli etanol/su karışım oranı bu çalışmada 1/4 olarak belirlenmiştir.

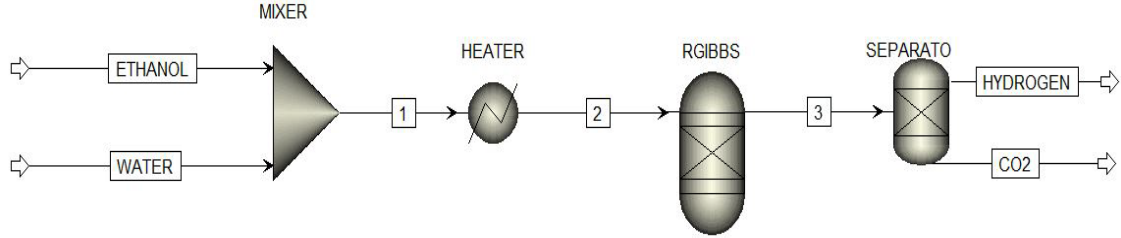


Şekil 6: Etanol/su karışım oranının dönüşüm oranına etkisi

3.5. Üretilen Hidrojenin Saflaştırılması

Etanolün su ile reaksiyonundan gerçekleşen steam reforming prosesinde ana ürün olan hidrojenin saflaştırılması ve kullanılabilir hale getirilebilmesi için yan ürün olan karbondioksitten ayrıştırılması gerekmektedir. Bu nedenle bir ayrıştırıcının eklendiği Şekil 7'de verilen simülasyon

geliştirilmiştir. Burada RGibbs reaktöründen çıkan ve H₂ ve CO₂ karışımını içeren üç numaralı stream ayrıştırıcıya (separator) gönderilmiştir. Burada separatöre H₂ ve CO₂ ayrıştırılması için 1/1 ayrıştırma komutu girilmiştir. Sonuç olarak %99.9 saflığa sahip H₂ ve CO₂ iki ayrı stream olarak edilmiştir.



Şekil 7. Üretilen hidrojenin saflaştırılması

4. SONUÇ

Doğada bileşikleri halinde bulunan en yaygın element olan hidrojenen elde edilecek olan hidrojen enerjisinin yakın gelecekte içten yanmalı motorlarda yakıt olarak ve yakıt hücreleri yardımıyla elektrik enerjisi üretiminde çok önemli bir yere sahip olması beklenmektedir. Günümüzde hidrojen enerjisi üretmek için kullanılan en yaygın yöntemlerden bir tanesi steam reforming prosesidir. Bu çalışmada Aspen Plus simülatörü kullanılarak reaktör türlerinin ve çalışma parametrelerinin hidrojen etanol dönüşüm oranına ve hidrojen molar akış hızına olan etkisi incelenmiştir. Reaktör türleri olarak RGibbs, REquilibrium ve RPlug reaktörlerinin dönüşüm oranına olan etkileri incelenmiştir ve en verimli reaktör olarak RGibbs belirlenmiştir. Ayrıca UNIFAC ve UNIQUAC termodinamik modellerinin dönüşüm oranına olan etkileri incelenmiş olup en verimli model olarak UNIQUAC belirlenmiştir. Çalışma parametreleri olarak sıcaklık, basınç ve karışım oranları çalışılmış olup en iyi değerler sırasıyla 500 °C, 1 atm ve etanol/su oranı 1/4 olarak tespit edilmiştir. Son olarak üretilen hidrojenin saflaştırılması için bir ayrıştırıcı (separator) kullanılarak gerçekleştirilmiş olup %99.9 saflıkta saf H₂ elde edilmiştir. Sonuç olarak etanolden steam reforming prosesiyle H₂ üretimi Aspen Plus ile başarılı bir şekilde analiz edilmiştir. Aspen Plus simülatöründen etanolden steam reforming prosesiyle H₂ üretimi için elde edilen optimal değerler deneysel H₂ üretimi için büyük bir potansiyel olduğunu göstermiştir. Geliştirilen simülasyon ayrıca deney maliyetini vevazaman kaybını minimize etmektedir. Dolayısıyla başarılı bir şekilde geliştirilen bu tür simülasyonlar

proseslerin tasarımı, kontrolü ve optimizasyonu hakkında oldukça faydalı bilgiler sağlamaktadır.

5. KAYNAKLAR

1. Kaya, M., Bekiroğulları, M., Saka, C., 2019. Highly Efficient CoB Catalyst Using a Support Material Based on Spirulina Microalgal Strain Treated with ZnCl₂ for Hydrogen Generation Via Sodium Borohydride Methanolysis. International Journal of Energy Research.
2. Navarro, R.M., Pena, M.A. and Fierro, J.L.G., 2007. Hydrogen Production Reactions from Carbon Feedstocks: Fossil Fuels and Biomass. Chemical Reviews, 107, 3952-3991.
3. Wu, Y.J., Santos, J.C., Li, P., Yu, J.G., Cunha, A.F., Rodrigues, A.E., 2014. Simplified Kinetic Model for Steam Reforming of Ethanol on a Ni/Al₂O₃ Catalyst. The Canadian Journal of Chemical Engineering, 92, 116-130.
4. Hosseini, S.E., Wahid, M.A., 2016. Hydrogen Production from Renewable and Sustainable Energy Resources: Promising Green Energy Carrier for Clean Development. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 57, 850-866.
5. Dincer, I., Acar, C., 2015. Review and Evaluation of Hydrogen Production Methods for Better Sustainability. International Journal of Hydrogen Energy, 40, 11094-11111.
6. Soyal-Baltacıoğlu, F., Aksoylu, A.E., Önsan, Z.I., 2008. Steam Reforming of Ethanol Over Pt-Ni Catalysts. Catalysis Today, 138, 183-186.
7. Özkan, G., Özkan, G., Şahbudak, B., 2016. The Effect of Water/ethanol Mol Ratio to H₂ Yield and Selectivity for Hydrogen Production from Reforming of Ethanol with the Pd-NiO, Ni-Cu-Pd/activated Carbon Catalysts, Gazi

Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31s.

8. Özkan, G., Şahbudak, B., Özkan, G., 2019. Effect of Molar Ratio of Water/Ethanol on Hydrogen Selectivity in Catalytic Production of Hydrogen Using Steam Reforming of Ethanol, International Journal of Hydrogen Energy, 44, 9823-9829.
9. Murmura, M.A., Patrascu, M., Annesini, M.C., Palma, V., Ruocco, C., Sheintuch, M., 2015. Directing Selectivity of Ethanol Steam Reforming in Membrane Reactors. International Journal of Hydrogen Energy, 40, 5837-5848.
10. Ciambelli, P., Palma, V., Ruggiero, A., 2010. Low Temperature Catalytic Steam Reforming of Ethanol. 2. Preliminary Kinetic Investigation of Pt/CeO₂ Catalysts. Applied Catalysis B: Environmental, 96, 190-197.

Hastane Yapıları Teknik ve Destek Hizmet Birimlerinin Mekânsal Büyüklik Analizi: Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Balcalı Hastanesi Örneği

Yelda DURGUN ŞAHİN*¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 03.10.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Hastaneler büyük, karmaşık ve 24 saat kesintisiz sağlık hizmeti sağlayan yapılardır. Bu yapıların kesintisiz çalışmasında teknik ve destek hizmet birimleri önemli rol almaktadır. Bu birimlerde ortaya çıkacak aksamlar, hasta, hasta yakını ve personel güvenliğini tehlikeye atmakta, ortam konforlarının bozulmasını sağlamakta hatta hastalarda ölümle sonuçlanabilecek ciddi sonuçlar doğurabilmektedir. Bu doğrultuda böylesi öneme sahip olan teknik hizmet birimlerine dikkat çekmek amacıyla bu çalışmada Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Balcalı Hastanesi'nde yer alan teknik ve destek hizmet birimlerinin mekânsal büyüklüklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırmanın temel materyalleri, Balcalı Hastanesi 1/1.000 ölçekli hâlihazır haritası, 1/100 ölçekli mimari kat planları ve hastane yapısına yönelik saha tespit çalışmalarından elde edilen niceliksel ve niteliksel verilerinden oluşmaktadır. Araştırmanın yöntem kurgusu, hastane toplam kapalı alan nicel verileri ile teknik ve destek hizmet birimlerinin nicel verilerinin alansal büyüklük çerçevesinde irdelenmesine dayanmaktadır. Bu doğrultuda yapılan bu çalışmada, hastanenin toplam mekânsal büyüklüğü ile teknik ve destek hizmet birimlerinin mekânsal büyüklükleri belirlenmiştir. Ç.Ü. Tıp Fakültesi Balcalı Hastanesi örneği konulu çalışmada mekânsal büyüklükler Türkiye Sağlık Yapıları Asgari Tasarım Standartları 2010 Yılı Kılavuzunda yer alan standartlar çerçevesinde incelenerek değerlendirilmiş ve araştırmanın sonucunda teknik birimlerin, hastanenin toplam kapalı alanının yaklaşık %10'unu oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca asgari standartlar doğrultusunda, 1200 yataklı hastaneler için belirlenmiş olan, yatak başına asgari 130 m² mekânsal alan büyüklüğünün, Balcalı hastanesinde bu değer üzerinde olduğu ve yatak başına yaklaşık 159 m² alan kullanıldığı tespit edilmiştir.

Bu çalışma ile hastane tasarımlarında ön planda tutulan mimari konfor şartlarının ve estetik düzeyin yanısıra, sisteme can veren teknik ve destek hizmet bölümlerinin önemine dikkat çekmek istenmiştir.

Anahtar kelime: Hastane yapısı, Mekânsal büyüklük analizi, Teknik ve destek hizmet birimleri

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Yelda DURGUN ŞAHİN, ydurgunsahin@cu.edu.tr

Spatial Size Analysis of Technical and Support Service Units of Hospital Buildings: A Case of Çukurova University Medicine Faculty Balcalı Hospital

Abstract

Hospitals are large, complex buildings that provide 24-hour uninterrupted health care. Technical and support service units play an important role in the uninterrupted operation of these buildings. Disruptions in these units jeopardize the safety of patients, relatives and personnel, cause deterioration of the comfort of the environment and may even have serious consequences that may result in death in patients. In this direction, in order to draw attention to such technical service units; The aim of this study was to determine the spatial size of technical and support service units located in Balcalı Hospital of Çukurova University Faculty of Medicine. The main materials of the study consist of Balcalı Hospital 1/1.000 scale current map, 1/100 scale architectural floor plans and quantitative and qualitative data obtained from field determination studies for the hospital structure. The methodology of the research is based on the examination of the total indoor area quantitative data of the hospital and the quantitative data of the technical and support service units within the framework of the spatial magnitude. In this study, the total spatial size of the hospital and the spatial size of the technical and support service units were determined. C.U. Medicine Faculty Balcalı Hospital instance of spatial size of Turkey Ministry of Health on research evaluated by examining the health standards in 2010 and the results of the research of the technical units of the hospital's total covered area were found to constitute approximately 10%. In addition, in accordance with the 2010 Health Standards of the Ministry of Health, it was determined that the hospital has an area of at least 130 m² per bed and 1200 m² per bed.

With this study, it is aimed to draw attention to the importance of architectural comfort conditions and aesthetic level which are given priority in hospital designs, as well as technical and support service departments that give life to the system.

Keywords: Hospital structure, Spatial size analysis, Technical and support services

1. GİRİŞ

Sağlık sistemleri geçmişten günümüze kadar geçen süreçte dönemin şartlarına göre sağlık hizmetlerini sürdürmüş ve sürdürmeye de devam etmektedir. Sağlık sistemlerinin sunulduğu yapılar olan hastaneler, süreç içinde dünyadaki teknolojik gelişmeler, sağlık endüstrisindeki ilerlemeler, nüfusun artması, yaşam süresinin uzaması, standartlardaki değişimlerin mekâna yansımaları gibi nedenlerle değişim geçirmekte ve yeni mekân ihtiyaçları ile yeniden şekillenmektedir.

Dünyada bilgiye verilen önem ile paralel olarak tıp alanında da yenilikler gerçekleşmektedir. Sağlık yapılarının mekânsal konfor standartlarına, yapay ışık, havalandırma, malzeme ve bakım birimleri gibi kullanıcıların konfor düzeylerini artıracak

teknik destek birimleri eklenmiş ve bu gelişmelere yönelik yeni planlamalara yer verilmiştir. Geçmişten günümüze kadar yaşanan teknolojik gelişmeler hastane yapılarının da tasarımlarını değiştirmekte olduğu gözlenmektedir [1].

Yaşanan teknolojik gelişmelere paralel olarak Balcalı Hastanesi de ilk kurulduğu mekânsal büyüklük ve mekânsal konfor şartlarında kalmayarak, birçok bölümde hızla standartlara uyum sürecine adapte olmakta hatta yeni ek binalarla mekânsal büyüme yaşamaktadır.

Bu çalışmada, bir hastane yapısında yer alan Teknik Hizmet bölümlerinin mekânsal büyüklüğü ile hastanenin toplam kullanım alanı içerisindeki yerinin, örneklem alanı olan Balcalı Hastane yapısı üzerinde incelenmesini kapsamaktadır. Bu tür yapıların analizinde öncelikle hastanenin

özelliğinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda öncelikle Balcalı Hastanesi ile ilgili genel bilgilere yer verilmiştir.

1.1. Balcalı Hastanesi Genel Bilgiler

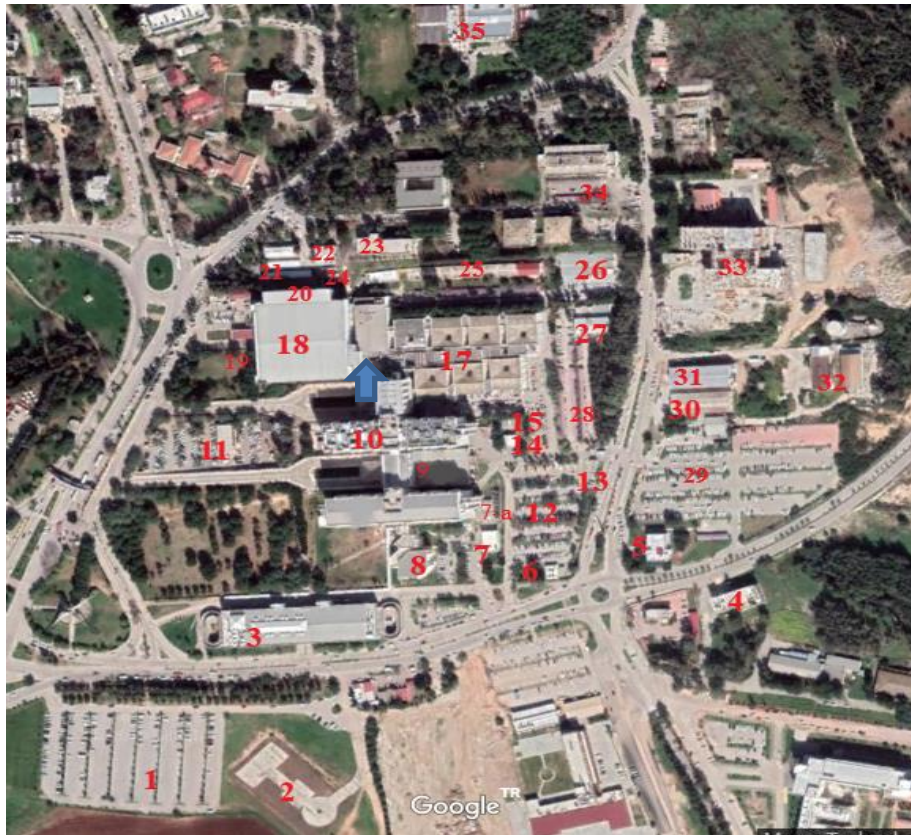
Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Balcalı Hastanesi Adana İli Sarıçam İlçesi'nde yer almakta ve şehrin kuzey bölgesinde kuzey-güney doğrultusunda konumlanmaktadır. Hastane binasının yapımına 1985 yılında başlanmış olup, yapı 1987 yılında hizmete açılmıştır. Hastane çevre düzenlemesiyle birlikte 95.000 m² açık alan üzerine kurulmuş ve toplam kapalı alanı yaklaşık 190.651 m²den oluşmaktadır.

Hastane, yaklaşık 1200 yatak kapasiteli, günde ortalama 2100 hastaya hizmet veren Sağlık Bakanlığı'na bağlı 3. Basamak bölge hastanesi özelliğindedir. 1987 yılından bugüne 32 yıldır

hizmet vermektedir [2]. Hastaneler, büyüklüklerine göre yatak sayısı ölçütüne göre sınıflandırıldıklarında 4 gruba ayrılmış oldukları görülmektedir.

- En küçük hastaneler (50 yatağa kadar)
- Küçük hastaneler (150 yatağa kadar)
- Normal hastaneler (600 yatağa kadar)
- Büyük hastaneler (1000 yatağa kadar) [3].

Balcalı Hastanesi bu sınıflama içerisinde büyük hastaneler grubunda yer almaktadır. Bu büyüklük içerisinde teknik ve destek hizmet birimlerinin ne kadar alan kapladığı ise araştırmanın çıkış noktasını oluşturmuştur. Şekil 1'de hastane yerleşim alanında bulunan yapıların isimleri ve konumları gösterilmiştir. Bu doğrultuda teknik ve destek hizmet birimleri belirlenerek hastane içerisindeki konumları gösterilmiştir.



Şekil 1. Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Balcalı Hastanesi yerleşim planı

Şekil 1’de sağlık yapılarının ve çevresinin vaziyet planındaki konumlarına yer verilmiştir.

1. Hasta Otoparkı
2. Hastane Helikopter Pisti
3. İdari Blok- Eczane sarf malzeme deposu
4. Tropikal Hastalıklar Merkezi
5. Duyma Engelliler Merkezi
6. Hastane Trafo Binası
7. Hastane Tıbbi Atık Deposu
- 7.a. Hastane Su Kuleleri
8. Hipokrat Amfi
9. K1 Blok-Mutfak/Yemekhane
Elektrik ve Tesilat İşleri
Medikal Gaz Odası
10. Çamaşırhane- Merkezi Sterilizasyon Birimi
Y1-Y2 Blok
11. Viyadük Kafe
12. Personel Otopark
13. Hastane Şoförler Binası
14. Hastane Güvenlik
15. Hastane Çöp Deposu
16. Hastane Nizamiye
17. Poliklinikler
18. Ana Bina (A, P bloklar, Y bloklar, K bloklar)
19. Klima ve Havalandırma Santralleri
20. Klima ve Havalandırma Santralleri
21. Hastane Trafo Binası
22. Kalite Yönetim Birimi
23. Halk Sağlığı Binası
24. Hastane Klima ve Havalandırma Santralleri
25. Arşiv Binası
26. Radyasyon Onkoloji Binası
27. Nükleer Tıp Binası
28. Personel Otopark
29. Hasta Otopark
30. Çamaşırhane
31. Sarf Malzeme Deposu
32. Hastane Isı Merkezi
33. Onkoloji Merkezi İnşaatı
34. Hemotoloji Laboratuvar- Çocuk. Psikiyatri Binası
35. Ç.Ü Tıp Fakültesi Binası

Hastanenin konumu ve yakın çevresi ile olan ilişkisi kısaca özetlenecek olursa;

- Hastane yapıları kuzey-güney yönünde konumlanmıştır.

- Hastane otoparkları, hasta, ziyaretçi ve idari personel olarak ayrılmıştır.
- Hastane yapısı blok sistem planlaması temel alınarak inşa edilmiştir.
- Hastane yapısının yer aldığı arazinin eğimli olmasından dolayı, kot farkı doğu ve batı girişlerinin düzenlenmesinde etkin rol oynamıştır.
- Blok sistem planlaması dışında sağlık kampüsü alanına sonradan eklenen binalar bu sistem dışında tekil olarak inşa edilmişlerdir. (Radyasyon onkoloji binası, Nükleer tıp binası, Çamaşırhane binası, Arşiv binası, Depo binaları, Ana ısı merkezi binası, Ek idari bina, Onkoloji binası, olarak yer almaktadır).
- Hastane blok sistemli binalar arası köprü ile birbirine bağlanmaktadır.
- Hastane bodrum katına (doğu yönünde) araç ulaşımı sağlanarak, mutfak servis girişi bodrum kotunda çözümlenmiştir.
- Morg ve otopsi birimlerine ulaşım için ayrı giriş (doğu yönünde) verilerek hastaneye gelen dış hasta, ziyaretçi ve personelin görmeyeceği şekilde hastanenin bodrum katında düzenlenmiştir.

Hastanelerde 20–30 yıl öncesine kadar büyüklükleri yeterli görülen bazı bölümlerin, artık yeterli olmadığı, geçmişte ihtiyaç duyulan bazı alanların günümüz şartlarında kullanımının daha az olduğu, fakat yeni ve farklı özellikteki alanlara ve altyapıya ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi de yıllar içerisinde bu mekânsal ve altyapı ihtiyaçları nedeniyle değişikliğe uğramıştır.

Balcalı Hastanesi içerisinde yeni alan ihtiyacının doğması nedeniyle bazı mekânsal değişikliklere gidilmiştir. Planlanan ek teknik birim faaliyetlerinin bazıları tamamlanarak uygulamaya geçirilmiş, bazıları ise planlama aşamasında (ihale planlama-bütçe planlama gibi) devam etmektedir.

Çamaşırhane biriminin ana binanın dışına yeni binaya taşınması ile onkoloji hastanesine de hizmet edeceği düşünülerek her iki binanın komşuluğunda yer seçimi yapılmış olduğu görülmektedir.

Ana binadaki mevcut çamaşırhane alanına ise kemoterapi ünitesi ve eczanenin taşınması planlanmıştır. Yeni yapılan ameliyathane bölümü ve yapılması planlanan merkezi laboratuvar ve yoğun bakım bölümlerine hizmet edecek olan ek çelik binanın yapımı tamamlanmıştır (klima ve havalandırma santralleri için) Yapımı planlanan merkez laboratuvar projesi içerisinde bu bölüme hizmet edecek elektrik odası içinde yeni yer planlanmıştır. 2017 sonrası için teknik hizmet bölümü için yapılan ve yapımı planlanan alanların mekânsal büyüklükleri aşağıda verilmiştir.

2. METOT

Bu çalışmaya literatür taraması ile başlamıştır. Literatürde hastane yapıları içerisinde teknik ve destek hizmet birimlerinin neler olduğu tespit edilmiştir. Bu birimler ile ilgili hizmet alanları kısaca tanımlandıktan sonra alan çalışmasına geçilmiştir.

Alan çalışmasında öncelikle inceleme alanlarına ait planlara, kararlara, görüşmelere, gözleme ve görsel kaynaklara dayalı nitel veriler (hastane mimari planı içerisinde yer alan teknik hizmet birimlerinin konum tespitleri ile birimler arası işleyişlerinin tespiti için yerinde yapılan gözleme dayalı bulguları içermektedir) belirlenmiş, daha sonra teknik ve destek hizmet birimlerinin nicel (mekânsal büyüklüğün alansal olarak ifadesini içermektedir) olarak mekânsal büyüklükleri tespit edilmiştir. Tespiti yapılan veriler analiz ve sentez metodu kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanı olan Balcalı Hastanesi'nde teknik ve destek birimlere ait verilerin elde edilmesinde izlenen adımlara ilişkin akış şeması Şekil 2'de gösterilmektedir. Elde edilen veriler ile çalışmada izlenen adımlara ilişkin akış şeması aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Bu çalışmada Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Balcalı Hastanesi Teknik ve Destek hizmet birimlerinin mekânsal büyüklükleri ile hastanenin toplam mekânsal büyüklüğü nicel yöntemlerle hesaplanarak ilgili veriler değerlendirilmiştir. Çalışmada uygulanan adımların akış şeması Şekil 2'de yer almaktadır.

1. Hastane yapıları teknik ve destek birimlerine ait literatür taraması

2. Teknik ve destek birimlere ait nitel verilerin belirlenmesi

3. Hastane mimari projelerinin elde edilmesi

4. Hastane mimari projelerin yerinde güncel durumunun kontrol edilmesi

5. Mimari plan üzerinde teknik ve destek birimlerinin yer tespitinin yapılması

6. Balcalı hastanesi binalarının toplam kapalı alan mekânsal büyüklüklerinin hesaplanması

7. Teknik ve destek birimlerinin mimari kat planlarındaki konumlarına göre mekânsal büyüklüklerinin hesaplanması

8. Teknik ve destek birimlerinin, hastane toplam kapalı alanının yüzde kaçını oluşturduğunun tespit edilmesi

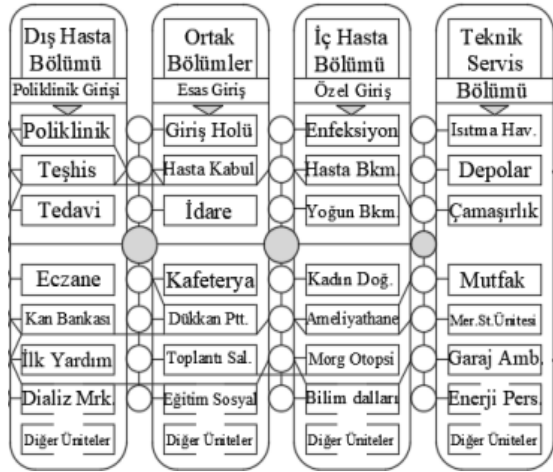
Şekil 2. Çalışmanın yönteminin akış şeması

3. BULGULAR

Hastane yapıları Ak ve Akar [5] tarafından; “sağlık hizmet üretimi yapan bir işletme çeşidi” olarak tanımlanmıştır. Bu işletmenin her bir birimi farklı nitelikler taşımaktadır. Farklı mekân işlevleri ve düzenleri gerektiren, çeşitli ekipman, teknik donanımlar ile tıbbi teknolojik bölümlerden oluşmaktadır. Hastane yapılarındaki bu bölümler, işlevlerine göre dört ana başlık altında gruplandırılmıştır [6]. Bunlar;

- Dış hasta bölümü,
- Ortak bölümler (Destek Hizmetler)
- İç hasta bölümü,
- Teknik hizmetler bölümleridir.

Dört ana başlık altında gruplanan hastane bölümleri de farklı alt birimlerden oluşmakta ve hastanenin işleyişine hizmet ederek sağlık hizmetinin gerçekleşmesine öncülük etmektedir (Şekil 3.).



Şekil 3. Hastane yapıları içerisindeki ana bölümler ve işlevleri [7]

Çalışmaya konu olan Destek hizmet (ortak bölümler) ve Teknik hizmet birimleri Balcalı Hastanesi içerisinde incelendiğinde bu birimlerin, Çizelge 1'deki gibi alt gruplara ayrılmış olduğu görülmektedir.

Çizelge 1. Teknik ve destek hizmet alt birimleri

Teknik hizmet alt birimleri	Destek hizmet alt birimleri
Elektrik sistem odası	Mutfak/Yemekhane
Mekanik sistem odası	Çamaşırhane
Atık odası	Sterilizasyon Birimi
Merkezi gaz sistem odası	Eczane
	Arşiv
	Güvenlik
	Morg/otopsi işlem birimi

Hastanelerin işleyişinin aksamadan sürdürülebilmesi için bu alt gruplar büyük öneme sahip alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapı ya da yapı grupları içerisinde yer alan teknik ve destek hizmet birimlerinin tasarımı belirleyen ölçütleri ve önem dereceleri farklılaşabilmektedir. Bu nedenle öncelikle bu birimlerin ve ilişkide olduğu alt grupların amacını ve gereksinimlerini doğru tespit etmek ve tanımlamak önem taşımaktadır [10]. Bu doğrultuda teknik ve destek hizmet birimlerinin alt gruplarının tanımlanması ve işlevlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

3.1. Hastanelerde Teknik ve Destek Hizmet Birimleri

Hastane yapılarının ana 4 bölümünden olan teknik ve destek hizmetler bölümü hastanenin diğer tüm bölümlerine hizmet sağlamaktadır. Çalışmanın bu bölümü, teknik ve destek hizmet birimlerinin hastane içerisindeki görevleri ile Balcalı Hastanesi içerisindeki durumunun değerlendirilmesini kapsamaktadır.

3.1.1. Merkezi Sterilizasyon Birimi

Sterilizasyon birimi hastaneye teknik ve servis hizmetlerinin verildiği bölümlerdir. Merkezi sterilizasyon ünitesinin birimlerde kullanılan malzemelerin sterilize edilmesi, paketlenip setler halinde yeniden kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu birimler, poliklinikler, laboratuvarlar, ameliyathane, yoğun bakım birimleri, doğumhane, endoskopi ve yeni doğan tedavi birimlerine yönelik aletlerin sterilizasyon işlemlerini 365 gün 24 saat aralıksız olarak yapmaktadır [6].

Balcalı Hastanesi merkezi sterilizasyon biriminin çamaşırhane ile birincil ilişkide olması gerekmektedir. 2019 öncesine kadar çamaşırhane ile sterilizasyon ünitesi asansör bağlantısı ile düşeyde birincil ilişkide, bina içerisinde bulunurken, yeni yapılan çamaşırhane alanının ana bina dışına alınması ile bu bağlantının kesintiye uğrayarak ikincil ilişkide olduğu görülmüştür.

3.1.2. Mutfak

Hastane mutfağı en az üç öğün olmak üzere hasta, personel ve refakatçilere yemek hizmeti vermektedir. Ayrıca, tedaviye yönelik beslenmesi gereken özel hastalar içinde yemek hazırlama işlemi mutfak biriminde yapılmaktadır Hastane tasarımlarında mutfakla ilgili olarak mutfağın hasta bakım üniteleri ile bağlantısı, mekânsal büyüklüğü, teknik gereksinimlerinin doğru düzenlenmesine dikkat edilmesi gerekmektedir [12].

Hastalara yemek servisi, servis ve monşarj asansörleri ile iletilmektedir. Hasta bakım

ünitelerinden gelen bulaşıklar ise asansörler ile mutfak içerisinde yer alan bulaşık birimine iletilmektedir. İyi tasarlanmış bir hastane projesinde, mutfağı meydana getiren bölümlerin doğru ölçülendirilmesi ve düzgün bir şekilde düzenlenmesi yemek servisinin sorunsuz bir şekilde yapılmasını sağlayacaktır. Dolayısıyla hastane mutfağı tasarımında mekanların boyutları ve mekanlar arası organizasyonlar önem kazanmaktadır [13]. Uzunay [11] çalışmada bir hastanede mutfak için gerekli alanı hasta başına 1,5 m² olacak şekilde değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir. [14].

Bu doğrultuda Balcalı Hastanesi Mutfak birimi değerlendirildiğinde, hastane binasının yapım yılından itibaren mutfak alanında yer değişikliği yapılmadığı görülmüştür. Mutfak birimi ana bina içerisinde bodrum katta (K2 blok-0. Kat) yer almaktadır. Yemekhane birimi ise zemin katta yer almakta ve mutfak birimi ile düşeyde mönşarj asansör ve merdiven aracılığıyla bağlantı sağlamaktadır. Yemekler yataklı servislere yakın noktada bulunan ortak kullanılan asansörü ile bağlantılı olarak hizmet vermektedir. Mevcut mutfak birimi yaklaşık 1350 m² 'dir. Uzunay' ın belirlemiş olduğu standarda göre 1200 yatak kapasiteli bir hastane için 1800 m² mekân büyüklüğünün olması gerekmektedir.

3.1.3. Çamaşırhane

Çamaşırhane birimi Hastanede enfeksiyon kontrolünü sağlamak amacıyla hijyenik bir ortam oluşturmak amacıyla kullanılan tüm tekstil ürünlerini uygun şartlarda toplanmak, taşımak, yıkamak, teslimini ve imhasını sağlamak için oluşturulmuş alanlar olarak değerlendirilmektedir [11].

Enfeksiyon kontrollerinin sağlanması amacıyla, çamaşırhanelerin yapı elemanlarıyla ayrılmış kirli ve temiz çamaşır bölümü olarak ayrı tasarlanması gerekmektedir.

Balcalı Hastanesi ana bina içerisindeki eski çamaşırhane biriminde (Y1-Y2 -Y3 Blok) temiz ve kirli alanların ayrılmamış olması nedeniyle birimin enfeksiyon kontrolünün sağlanması amacıyla

yenilenmesine ihtiyaç duyulmuştur. Ayrıca hastane içerisinde duyulan ek alan ihtiyacı, çamaşırhanenin onkoloji hastanesi ile olan ilişkisinin güçlendirilmesi de düşünülerek çamaşırhane birimi, ana binanın dışarısına alınmıştır. Daha önce ana binada 1000 m² kullanım alanında olan birim, iyi bir planlama ile 870 m² ye düşürülerek yeni binada hizmet vermeye başlamıştır. Hastane bölümler arası ilişki matrisine göre Balcalı Hastanesi Çamaşırhane biriminin sterilizasyon ünitesi ile olan birincil ilişkisi kesintiye uğradığı görülmektedir.

3.1.4. Mekanik Sistem Odası

Yapı içindeki havanın temizlenmesi, ısıtılması ve soğutulması ve hijyen koşullarının tam olarak sağlanabilmesi bakımından iklimlendirmenin ve alt yapısının sağlanması gerekmektedir.

Hastanelerin ısıtılması merkezi sistemle olmalı ve ısıtma sistemi bodrum katta konumlandırılmalıdır. Fakat yatak sayısı fazla olan hastanelerde ısıtma birimi yapı dışına alınabilmektedir [14]. Gelişen teknolojiyle birlikte yeni yapılan hastanelerde tesisat katı tasarımı yapılarak ayrı bir kat olarak da uygulanmakta olduğu görülür.

Steril ortam yaratmada, hastanelerin belirli bölümlerin havalandırma ve klima sistemlerinin sistemin bütününden ayrılmasında, hasta ve çalışanların ısı konfor şartlarının sağlanabilmesi için ısıtma ve soğutma işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. İklimlendirme ve havalandırma ameliyathanelerde, kadın doğum ünitesinde, yanık ünitelerinde, enfeksiyon bölümünde, nakil ünitelerinde, izolasyon odalarında, yoğun bakım ünitelerinde ve yeni doğan ünitelerinde ve benzeri birimlerde steril ortamlar sağlanması gerekmektedir [6].

Balcalı Hastanesi klima ve havalandırma santralleri 2017 öncesinde 1280 m² alan kaplarken, hastanenin değişen ihtiyaçları doğrultusunda eklenen yeni mekânların iklimlendirme ve havalandırma ihtiyaçlarındaki değişim nedeniyle mekânsal büyüklüğü 2650 m²'ye çıkmıştır. İlk tasarım aşamasında bina içerisinde kurgulanan bu

alan, hastanenin büyümesiyle birlikte bina dışında uygulanmış olduğu görülmüştür.

3.1.5. Elektrik Sistem Odası

Hastaneler kesintisiz enerji kaynağına sahip olmalıdır. Acil ünitesi, yoğun bakım ünitesi ameliyathaneler ve bazı dal hastanelerinin önemli bölümleri jeneratör ile desteklenmeli trafo ve ana tablo sistemleriyle hastanenin elektrik ihtiyacı sağlanmalıdır. Temiz suyun binaya kesintisiz sağlanması atık suyun deşarj edilmesi, su kesintilerine karşı suyun depolanması da tesisat ile ilgili gereklilikler arasındadır. Hastane sistemi yoğun ve kesintisiz elektrik işleyişine sahiptir. Tesisat sistemleri çıkabilecek yangın olayına karşı yangın söndürme hatları ve hastane içine yerleştirilen yangın sprinkleri ile korunmalıdır. Kimyasal atık depolanması ve deşarjlarının sağlık standartlarına uygun olarak sağlanması gerekmektedir [6].

Balcalı Hastanesi elektrik ve tesisat işleri için ayrılan mekân 2017 öncesinde 400 m² alan kaplarken, hastanenin değişen ihtiyaçları doğrultusunda eklenen yeni mekânların elektrik ve tesisat altyapı ihtiyaçlarındaki değişim nedeniyle mekânsal büyüklüğü 580 m²'ye çıkmıştır.

3.1.6. Medikal Gaz Sistem Odası

Büyük kapasiteli hastanelerde likit oksijen tankı tesis edilerek içeride 5–10 adet oksijen tüp bulundurulmalıdır. Medikal gaz merkezlerinin bulunduğu odaların bir duvarı, doğal hava sirkülasyonunu sağlayacak, ancak çevre güvenliğine zarar vermeyecek şekilde dış ortama ilişkide olmalıdır [6].

Balcalı Hastanesinde medikal gaz odası bodrum katta (K1 Blok) yer almakta, dış mekân ile doğrudan bağlantısı bulunmaktadır.

3.1.7. Arşiv

Adli vaka dosyaları, hastane personeliyle ilgili dosyalar, hasta dosyaları ve bunun gibi ilgili dökümanların tutulduğu yangında öncelikli korunacak mahaller arasında yer almaktadır.

Balcalı Hastanesi'nde Blok sitemli yapılmış ana bina grubunun kuzey kesiminde yer almaktadır. Arşiv yapısı 2019 yılı öncesinde yaklaşık 1400 m² alanda hizmet verirken, ihtiyacın artması nedeniyle 750 m² alan eklenerek (yatayda büyümeyle) yaklaşık 2150 m² alanda hizmet vermektedir. Aynı zamanda yeni eklenen alan ihtiyacı dahilinde yapılan tadilat ile yapının yangın söndürme sistemi de güncel ihtiyaçları doğrultusunda yenilenmiştir.

3.1.8. Güvenlik

Hastaların, personelin ve ziyaretçilerin güvenliği için görevlendirilmiş kişilerin konumlandıkları stratejik alanlar olarak tanımlanabilir.

Balcalı Hastanesi ana blok yapısı kuzeyinde merkezi polis noktası olarak, bina içerisinde ise zemin katta K2 blok içerisinde güvenlik yönetim alanı bulunmaktadır. Bina içerisinde hareketli denetim noktaları ise, acil giriş noktası, Y1-Y2-Y3 yataklı servis giriş-çıkış noktaları- K2 Blok giriş çıkış noktası (Batı Cephe), Batı Cephe Personel Otopark, Morg, Mutfak giriş çıkış noktaları, Başhekimlik giriş-çıkış noktası-Ameliyathane ve Reanimasyon önü gibi çeşitli noktalarda güvenlik personelinin konumlandıkları görülmektedir.

3.1.9. Morg/Otopsi İşlemleri

Morg, hastanede veya dışarıda ölen kişilerin cesetlerinin ailelerine ya da görevli kişilere teslim edilmesi için bekletilen mahaller olarak tanımlanabilir. Morgun bulunduğu alan, acil servis, poliklinik, ameliyathane, yoğun bakım, servisler, laboratuvar ve görüntüleme alanlarından bağımsız bir yerde konumlandırılmalıdır [8].

Balcalı Hastanesi'nde Morg ve Otopsi işlemleri Y1-Y2-Y3 Bloğu Bodrum katta yer almaktadır. Bina dışından hastanenin doğu cephesinden ulaşım sağlanabilmektedir. Morgun hastanenin diğer tüm birimleriyle iç bağlantısı mevcuttur.

3.1.10. Atık Odası

Hastanenin her türlü atıklarının insan sağlığı ve güvenliğini koruyarak, atık kategorilerine göre tasniflendiği alanlar olarak tanımlanabilir.

Balcalı Hastanesinde hem bina içerisinde hem de bina dışında atık yönetmeliği çerçevesinde çeşitli noktalarda atık odaları yer almaktadır.

3.1.11. Eczane

İlaçların dağıtılması için gerekli düzenlemelerin yapıldığı yerler olarak tanımlanabilir. Dağıtım işlemi, ilaç hazırlama odasından veya ünitesinden, müstakil bir ilaç dağıtım ünitesinden veya başka onaylı bir sistem tarafından gerçekleştirilebilir. İlaç ana dağıtımının yapıldığı mekâna ek olarak depo alanları ile ayrı bir mekânda saklanması gereken parlayıcı madde niteliğinde olan alkolün, narkotik bazı ilaçların ve dışarıdan gelebilecek distile suyun saklanması için sağlanacak mahallerden oluşmaktadır [9].

Balcalı Hastanesi ana blok yapısı içerisinde zemin kat, 1. Kat ve 3. Kat içerisinde eczane dağıtım ve depo alanları ile ve ek bina içerisinde eczane depo alanları bulunmaktadır.

Hastanelerde Teknik ve Destek Hizmet Birimleri genel olarak tanımlandıktan sonra Balcalı Hastanesi'ndeki bu birimlerin mekânsal büyüklükleri aşağıda değerlendirilmiştir.

3.1.12. Depo

Hastanelerde bölüm ve birimlerin ihtiyaçlarına göre çok çeşitli depo alanları bulunmaktadır. Depo bölümlerinde tıbbi malzeme, kimyasal malzeme, ilaç, kırtasiye malzemeleri, kuru ve yaş yiyecek, sarf malzeme, tekstil ürünleri gibi malzemeler bulunmaktadır. Balcalı hastanesinde ana bloklar ve ek bina içerisinde ve bina dışı alanlarda yer almak üzere farklı depo alanları bulunmaktadır.

3.2. Teknik ve Destek Hizmet Birimlerinin Mekânsal Büyüklük Analizi

Teknik ve destek hizmet birimleri alt gruplarının hastaneye vermekte oldukları hizmetin tanımları yapıldıktan sonra bu alanlarla ilgili mekânsal büyüklüklerin tespitinin yapılması, sağlık yapıları kapalı alanlarının tüm hastane bazında mekânsal

büyüklüklerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu doğrultuda Çizelge 2'de kampüs içi sağlık yapılarının kapalı alan mekânsal büyüklükleri 190651 m² olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 2. Balcalı kampüs içi sağlık yapılarının kapalı alan mekânsal büyüklükleri

Kampus İçi Sağlık Yapıları	Alan (m ²)
Hastane Kafeterya	422
Viyadük Cafe	289
Katlı Otopark	22012
Balcalı Hastanesi	149164
Acil Yanı Polis Noktası	71
Hastane Atık Toplama Binası	48
Hastane Tıbbi Atık Depo	75
Hastane Güvenlik Binası	6
Şoförler Odası	41
Hastane Trafo Binası	127
Balcalı Hipokrat Salonu (Balcalı Ek Bina)	2303
Hastane Trafo Binası	183
Starbucks-Kalite Yönetim Birimi	673
Hematoloji Laboratuvarı	5587
Çamaşırhane	898
Depo	878
Hastane Isı Merkezi	1370
Halil Avcı Duyma Engelliler Merkezi	780
Tropikal Hastalıklar Uygulama ve Araştırma Merkezi	1145
Radyasyon Onkolojisi	1001
Nükleer Tıp	1445
Tıp Arşiv	2133
Toplam m²	190651

Sağlık Bakanlığı tarafından hazırlanan, Türkiye Sağlık Yapıları Asgari Tasarım Standartları 2010 Klavuzu'da İhtisas hastaneleri asgari alan büyüklüğü yatak sayısı ile 130 m² 'nin çapımı sonucu bulunur ifadesi yer almaktadır. Balcalı Hastanesi 1200 yataklı olup asgari alan büyüklüğünün olması gereken rakamı yaklaşık 156.000 m² olarak belirlenmiştir. Halen yürürlükte olan imar mevzuatında yatak başına en az 130 m² olarak belirlenmiş olan bu büyüklük standartlarına karşın dünyada cerrahi, dahili, rehabilitasyon, psikiyatri ağırlıklı hastanelerde bu oran 150-200 m²'ye kadar çıkmaktadır.

Balcalı Hastanesi tüm branşlarda yoğun hizmet vermesi dolayısıyla yatak başına kullanılan m² alan

büyükliğünün de bu çalışma ile tespit edilebileceği öngörülmektedir. Bu doğrultuda hastanenin toplam kapalı alan büyüklüğüne ulaşmak için, mimari planlar üzerinden yapının mekânsal büyüklükleri ölçülerek tespit edilmiştir. Tespiti yapılan metrekareler toplanarak hastanenin toplam kapalı alanı hesaplanmıştır.

Hastanenin toplam kapalı alan bilgisi elde edildikten sonra, hastanede yatak başına düşen m² hesaplanabilmektedir.

Bu doğrultuda Balcalı Hastanesinin tüm branşlarda yoğun hizmet vermesi dolayısıyla yatak başına kullanılan m² alan büyüklüğü de Toplam alan/Hastane yatak sayısı ile hesaplanarak $190651/1200=158,87$ m² olarak belirlenmiştir.

Hastanenin toplam kapalı alanı, teknik ve destek hizmet birimleri bazında değerlendirildiğinde, Çizelge 3’de gösterilen alt gruplara ayrıldıkları görülmektedir. Bunlar hastanenin yerleşim planında kat bazında değerlendirilerek mekânsal büyüklükleri sunulmaktadır.

Çizelge 3. Hastane mekânsal büyüklüklerin katlara göre dağılımları

Hastane Binası Teknik ve Destek Hizmet Birimleri	Alan (m ²)
Bodrum Kat	
Tesisat Odası	50,12
Döşeme Mobilyacı Odası	25,96
Metal Atölyesi	98,08
Ambar	78,54
Depo	286,1
Depo	23,31
Elektrik Pano Odası	28,99
Elektrik Pano Odası	21
Elektrik Pano Odası	38,94
Depo	38,94
Depo	38,94
Kaynak Atölyesi	11,89
Dinlenme Odası	16,85
Boya Deposu	18,93
Elektrik Odası	70,88
Elektrik Odası	27,91
Elektrik Odası	29,98
Depo	8,13
Depo	12,49
Temiz Su Deposu	31

Elektrik Pano Odası	15,66
Kontrol Odası	34,16
Mekânîk Tesisat Bölümü	1280
Cenaze Yıkama	20
Cumhuriyet Savcısı	20
Cenaze İşleri	19
Morg	48
Kantin	78
Kantin	117
Kuaför Bay	18
Kuaför Bayan	18
Toplam m²	2625
Zemin Kat	
Kimyasal Depolama Alanı	18,6
Elektrik Odası	37,33
Yaş Sebze Deposu	62,04
Yaş Sebze Deposu	62,04
Kontrol O.	40,12
Soğuk Oda	10,14
Soğuk Oda	8,58
Kompresör	9,25
Soğuk Oda	9,43
Soğuk Oda	8,14
Soğuk Oda	9,62
Diyet Mutfağı	41,89
Et Hazırlık	37,8
Sebze Hazırlık	58,41
Fırın	51,04
Mutfak Personel Yemek S.	34,22
Kazan Yıkama	18,48
Bulaşık	27,69
Personel Soyunma	8,25
Mutfak Sorumlusu	10,37
Mutfak	37,17
Mutfak	43,47
Günlük Depo	18,91
Bilgi İşlem	33,53
Trafo	59,84
Güvenlik Soyunma Odası	34,22
Temiz Çamaşır Odası	38,19
Kirli Çamaşır Odası	17,67
Biomedikal	124,68
Biomedikal Kalibrasyon Laboratuar.	29,79
Depo	18,66
Biomedikal Sorumlusu	16,46
Teknik Büro	20,97
Sekreterlik	18,5
Teknik Koordinatör	19,6
Teknik Büro	14,5
Oksijen Ünitesi	28,16
Oksijen Ünitesi	21,6
Oksijen Ünitesi	42,72

Trafo Odası	78,81
Malzeme Odası	7,88
Elektrik İşletme Şefliği	12,63
Pano Odası	39
Soğutma Mekânîk Alan	1121,8
Kan Bankası	700
Elektrik Pano Od.	20
Su Tankı	18
Eczane İlaç Dağıtım	40
Eczane	60
Yemekhane İdari ve Akademik	1200
Özlük işleri ve İnsan Kaynakları	45
Toplam m²	4545
1. Kat	
Güç Odası	11,94
Havalandırma	3,31
Bilgi İşlem	12,65
Serum Dağıtım	38,48
Eczane Dağıtım	88,8
Soğuk Oda	15,04
Depo	25
Eczane Depo	33,05
Depo	36,15
Depo	33,04
Depo	69,64
Serum Deposu	103,82
Santral Odası	22,52
Server	3,41
Bohçalama	33,48
Depo	11,26
Paketleme	78,38
Ste Mer. Sorumlu Odası	19,18
Gaz Plasma	33,05
Otoklav	29,21
Steril Depo	27,08
Buhar	2
Otomasyon Odası	12,7
Baş Teknisyen	12,05
Ecza Deposu	55,37
Sterilizasyon	32,25
Steril Depo	21,46
Sterilizasyon Hazırlık	30,77
Tesisat Odası	7,31
Malzeme Odası	10,6
Eczane	220
Eczane Depo	103
Eczane Depo	220
Eczane Depo	60
Toplam m²	1516
2. Kat	
Otomasyon	16
Toplam m²	16

3. Kat	
İnternet Odası	8,37
Bilgi İşlem Odası	8,68
Cihaz Deposu	11,10
Asansör Mak. Dairesi	1,85
Eczane & Tıbbi Malzeme Odası	80
Toplam m²	110
4. Kat	
Sistem Odası	8,37
Çamaşır Odası	17,12
Depo	10,8
Bilgi İşlem Odası	10,71
Toplam m²	47
6. Kat	
Tesisat Odası	5
Çamaşır Odası	9
Çamaşır Odası	22
Toplam m²	36
Bina içi teknik hizmet birimleri toplamı	8895
Bina içi yaklaşık %40 Sirkülasyon alanı	3558
Ayrı Bina Olarak Tasarlanan Teknik ve Destek Hizmet Yapıları	
Çamaşırhane	898
Sarf Malzeme Deposu	878
Trafo	127
Trafo	180
Trafo	200
Hastane Atık Toplama Binası	48
Hastane Tıbbi Atık Depo	75
Şöförler Odası	41
Hastane Isı Merkezi	1370
Klima ve Havalandırma Santralleri (Genetik Böl. İçin)	140
Klima ve Havalandırma Santralleri (Yeni ameliyathane, yoğun bakımlar, Merkez Laboratuvar. İçin) (Ek çelik bina yapıldı)	1230
Elektrik Odası (Merkez Laboratuvar için-ihale öncesi hazırlık sürecinde)	180
Merkezi Sterilizasyon Birimi (İhale Öncesi hazırlık sürecinde)	770
Arşiv depo	2133
Ek bina güvenlik birimi	7
Ek bina server odası	22
Ek bina server odası	15
Ek bina server odası	15
Ek bina server odası	12
Ek bina eczane serum depo	653
Ek bina tıbbi sarf mlz. depo	324
Ek bina ilaç depo	307
Ek bina tıbbi sarf mlz. depo	175
Viyadük kafeterya	280
Hastane kafeterya	420

Acil yanı polis noktası	71
Kalite Yönetim Birimi	670
Kantin	10
Başhekimlik	265
Saymanlık Arşivi	183
Çevre Denetim Birimi	28
Vezne	28
Muhasebe	90
Defterdarlık Uzmanı	28
Döner Sermaye Saymanlık	60
Döner Sermaye İşletme Müd.	90
Hastane Başmüdür	28
Sekreter	28
Hastane Müdür	28
Sekreter	28
Hastane Müdür Yrd.	28
Sekreter	28
İhale İşlem Büroları	116
Sayıştay Denetçisi	28
Tahakkuk Büro	28
Özel Bütçe Büroları	210
Hipokrat Konferans salonu	2300
Toplam m²	14873

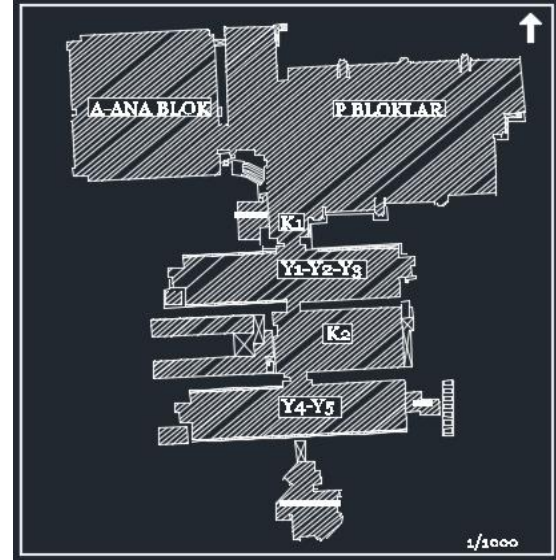
Çukurova Üniversitesi Balcalı Hastanesi Sağlık Kampüsü içerisinde yer alan teknik ve destek hizmet birimleri mekânsal büyüklükleri toplanarak aşağıda Çizelge 4’de gösterilen alansal büyüklük değeri elde edilmiştir.

Çizelge 4. Çukurova Üniversitesi Balcalı Hastanesi Sağlık Kampüsü içerisinde yer alan teknik ve destek hizmet birimleri mekânsal büyüklükleri toplamı

Teknik ve Destek Hizmet Birimleri	Mekânsal Büyüklük (m ²)
Bina içi toplamı	8895
Bina içi yaklaşık %40 sirkülasyon alanı	3558
Bina dışı birimleri toplamı	14873
Toplam m²	27326

27326 m² toplam alanın 8895 m²’si Balcalı Hastanesi A-P-Y ve K blokları içerisinde yer almaktadır (Şekil 3). Bu mahallerin kullandığı bina içi sirkülasyon alanı ise 3558 m² olarak hesaplanmıştır. Ana bina dışında yer alan teknik ve destek hizmet birimleri toplamı ise 14873 m² olarak belirlenmiştir.

Bu üç alan toplandığında 27326 m² teknik ve destek hizmet mahalleri toplam alanına ulaşılmıştır.



Şekil 3. Balcalı hastanesi planı blok yerleşimi

Bu mekânsal büyüklükleri oransal olarak değerlendirildiğinde;

- Hastanenin ana blokları olan A-P-Y ve K blokları içerisinde yer alan, teknik ve destek hizmet birimlerinin büyüklüğü yaklaşık %32,5,
- Bu yapı grubunun sirkülasyon alanı büyüklüğü %13,
- Blok yapı grubu dışında yer alan teknik ve destek hizmet birimlerinin mekânsal büyüklükleri ise %54,4 olarak belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Teknik ve destek hizmet birimlerinin toplam mekânsal büyüklük oranları

Teknik ve destek birimlerin büyük oranının Balcalı Hastanesi'nin ilk yapılan ana bloğu dışında daha fazla yer kaplamasının nedeni, hastanenin yeni mekân ihtiyaçları doğrultusunda büyümesinden dolayı, teknik ve destek birimlerin ana bina dışında şekillenmeye başlamasıyla açıklanabilmektedir.

Bu şekillenmenin bina dışında olmasından dolayı sağlık kampüs alanı içerisindeki açık alan oranlarının düşmesine ve birtakım çevresel konfor şartlarında düşmeye neden olduğu görülmektedir. Ana blok çevresinde yer alan bu yeni teknik ve destek hizmet birimlerinin şekillenmesi birtakım problemleri de beraberinde getirmektedir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir;

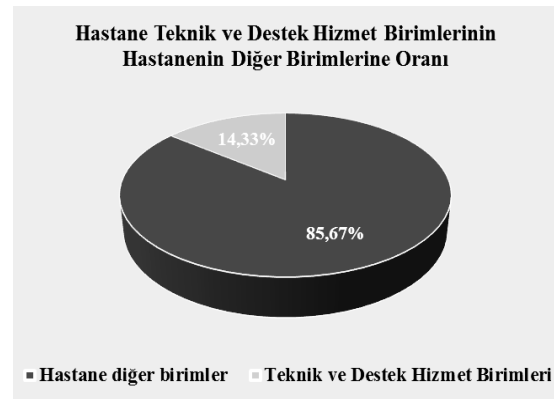
- Otopark alanının azalması
- Yeşil alan kullanımının azalması
- Otopark ihtiyacının artması
- Binalar arası ilişkilerde zayıflık
- Binalar arası işleyişte aksaklıklar
- İş gücünde artış talebi gibi
- Hastane iş akışında aksamalıdır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hastaneler karmaşık yapılardır. Birçok fonksiyonu bünyelerinde barındırırlar. Bütün bu fonksiyonların düzgün ve tam olarak işleyebilmesi için teknik ve destek hizmet birimlerinin mekânsal büyüklüklerinin ve mekân organizasyonlarının doğru düzenlenmesi önemlidir.

Doğru mekânsal büyüklük içerisinde doğru işleyişle temizlenmemiş bir çarşaftan hastaya enfeksiyon bulaşabileceği gibi, aynı şartlar sağlanmamış bir mutfakta pişen yemek de hasta için hayati tehdit oluşturabilmektedir. Bu bakış açısıyla doğru tasarlanmamış bir iklimlendirmenin hasta enfeksiyonu için taşıyıcı özellikte olduğu, iyi düzenlenmemiş bir ameliyathane aydınlatmasının ameliyat performansını etkileyeceği, gaz sisteminde olası bir arızanın hastanın oksijen ihtiyacını karşılayamayacağı, otomasyonda meydana gelecek bir kesintinin tüm hastane işleyişini durdurabileceği gerçeği ile her saniyenin hasta hayatı için önemi göz önüne alındığında teknik ve destek hizmet birimlerinin hastane içindeki önemi daha iyi anlaşılabilir.

Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Balcalı Hastanesi; çevre düzenlemesiyle birlikte 95.000 m² açık alan üzerine kurulmuştur. Hastane toplam kapalı alanları yaklaşık 190.651 m² den oluşmaktadır. Günümüz kullanımında Teknik ve Destek hizmet birimlerinin mekânsal büyüklükleri toplamı 27.326 m² olarak tespit edilmiştir. Bu doğrultuda Hastanesi'nin toplam kapalı alan büyüklüğünün yaklaşık olarak %14,3'ünü Teknik ve Destek hizmet bölümlerinin oluşturduğu görülmüştür (Şekil 5).



Şekil 5. Hastane teknik ve destek birimlerinin diğer birimlere oranı

Bu çalışma ile hastane tasarımlarında ön planda tutulan mimari konfor şartlarının ve estetik düzeyin yanısıra, sisteme can veren teknik ve destek hizmet bölümlerinin önemine dikkat çekmek istenmiştir. Böylesi büyük bir yüzde oranını kapsayan alanların tasarımlarının da, binanın estetik yönü kadar önemle kurgulanması gerekmektedir. Zira bu alanların doğru yerde, doğru ilişkide, doğru mekânsal büyüklük ile sağlık standartları ve ilgili yönetmelikler çerçevesinde tasarlanması, hastane yapılarının mekânsal konfor düzeylerinin artması ve sağlık hizmetinin aksamadan yürütülmesinde birincil öneme sahip alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Böylece Hastanelerin, mimari anlamda yapı olduğu ancak tesisat mühendisliği yönünden; yapının ötesinde, tesisat uygulamalarının önem kazandığı, teknik ve destek hizmetler olmadan varlıklarını sürdüremeyecek olan yapılar olarak değerlendirilmeleri gerekliliği sonucuna varılmaktadır.

Bu bağlamda incelenen hastane örneğinde, teknik ve destek hizmet bölümlerinin toplam yapı alanının %14,3 gibi ciddi bir mekânsal büyüklüğü oluşturması, hastane yapılarının, mimari bir yapı olma özelliği yanında tesisat mühendisliği gerektiren, özel uzmanlık isteyen tasarım alanı grubunda yer alması gerekliliği, mekânsal büyüklük üzerinden vurgulamaktadır.

Ayrıca hastane ve çevresinde yer alan, teknik ve destek hacimlerin diğer birimlerle olan etkileşiminin de hastane yapılarının tasarımında büyük öneme sahip olduğu ve tasarlanacak yeni hastane yapılarında multidisipliner bir çalışmanın gerekliliği öngörülmektedir. Hastane yapılarının her bir biriminin işlevsel, teknolojik, ekonomik ve estetik uygunluk ölçütlerine göre, ayrı ayrı düşünülerek tasarlanması gerekmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Harputlugil, T., 2005. Yapı Elde Etme Sürecinde Tasarım Yönetimi-Hastane Yapılarının
2. Çukurova Üniversitesi, Genel Bilgi. <https://www.cu.edu.tr/cu/institutional/universitey/genel-bilgi>. (Erişim: 27.09.2019)
3. Kavuncubaşı, Ş., 2000. Hastane ve Sağlık Kurumları Yönetimi, Ankara: Siyasal Kitabevi.
4. Google earth hava fotoğrafı. <https://earth.google.com/web/> (Erişim: 25.09.2019)
5. Ak, B., Akar, Ç. 1987. Hastane Kavramı, Sağlık Yönetimi, Yıl: 1 Ekim, Sayı: 3-4.
6. Görken, S., 2018. Genel Hastanelerde İç-Dış Yerleşime Bağlı Bölümler Arası İlişkilerin İncelenmesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yakın Doğu Üniversitesi.
7. Arcan, E.F., 1983. Sağlık Merkezlerinin Planlanmasına Esas Olacak Verilerin Belirlenmesi için Bir Yöntem ve Bu Konuda Bilgi Bankası Oluşturulması, DGSA Yayınlanmamış Doktora Tezi-İstanbul.
8. T.C. Sağlık Bakanlığı İnşaat ve Onarım Daire Başkanlığı, 2010 Türkiye Sağlık Yapıları Asgari Tasarım Standartları 2010 Yılı Kılavuzu, Ankara.
9. Tepe İnşaat Grubu, 1998. Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi 300 Yataklı Eğitim ve Uygulama Hastanesi Fizibilite Raporu, Ankara.
10. Tipi, Ç.B., 2017. Tıp Fakültesi Hastanelerinin Erişebilirlik, Kullanışlılık ve Kullanıcı Memnuniyeti Kapsamında Değerlendirilmesine Yönelik Bir Yöntem Önerisi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
11. Sağlık Bakanlığı Türkiye Kamu Hastaneleri Kurumu Bursa İli Kamu Hastaneler Birliği Genel Sekreterliği Orhaneli İlçe Devlet Hastanesi, Çamaşırhane İşleyiş Prosedürü, 2013.
12. Aydın, D., 2009. Hastane Mimarisi, İlkeler ve Ölçütler. Mimarlar Odası, Konya Şubesi.
13. Yılmaz, Ç., 2012. Hastane Binalarında Yeme İçme Alanlarının Kullanıcı Memnuniyeti Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
14. Uzunay, S., 2011. Hastane Yapılarının Planlanması ve Hastanelerde Sirkülasyon, Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Çok Amaçlı Baraj Haznelerinin Genetik Algoritma ile Enerji Üretimi Amaçlı Optimizasyonu

Recep YURTAL*¹

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

Geliş tarihi: 06.09.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Çok amaçlı baraj haznelerinin diğer amaçlar kısıt olarak kullanıldığında hidroelektrik üretiminin optimizasyonu için farklı optimizasyon teknikleri uygulamada kullanılmaktadır. Bu çalışmada Evrim tabanlı programlardan Genetik Algoritma kullanılarak işletmedeki çok amaçlı bir barajın hidroelektrik enerji üretimi maksimize edilmiştir. Bu amaçla geliştirilen program kodu, içme suyu temini amacı da olan Seyhan Havzası'ndaki Karakuz Barajı ve HES haznesine uygulanmış ve toplam enerji maksimize edilmiştir. Geliştirilen program ile elde edilen işletme politikası ile barajın fizibilite raporundaki toplam enerji yüzde on daha fazla üretilebilir hale gelmiştir. Çok amaçlı tek baraj için geliştirilen program, rahatlıkla çok amaçlı çok hazneli sistemler için geliştirilebilir. Geliştirilen program ve elde edilen eniyelenmiş işletme politikaları, ülkemizin enerji açığı ve küresel ısınmanın etkileri de düşünüldüğünde uygulayıcılara ve karar vericilere önemli katkılar sağlayacaktır.

Keywords: Hidroelektrik enerji optimizasyonu, Genetik algoritma, Çok amaçlı hazne

Optimization of Multi-Purpose Reservoirs for Energy Production Using Genetic Algorithm

Abstract

When other purposes of multi-purpose reservoirs are used as constraints, different optimization techniques are used for optimization of hydroelectric power generation. In this study, hydroelectric power generation of a multipurpose reservoir in the enterprise was maximized by using Genetic Algorithm from Evolution based programs. The program code developed for this purpose has been applied to the Karakuz Dam reservoir in the Seyhan River Basin, which has the purpose of supplying drinking water, and the total energy is maximized. With the operating policy achieved with the developed program, the total energy in the feasibility report of the dam has become more than ten percent more produced. Developed for a multi-purpose single reservoir, the program can be easily developed for multi-purpose multi-reservoir systems. The developed program and the optimized enterprise policies will contribute significantly to the implementers and decision makers considering the energy deficit and the effects of global warming.

Anahtar Kelimeler: Hydroelectric energy optimization, Genetic algorithm, Multipurpose reservoir

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Recep YURTAL, ryurtal@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Küresel ısınmanın artan olumsuz etkileri ve ülkemizin gittikçe artan enerji açığı, enerji kaynaklarının da verimli kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

Yatırım ve işletme-bakım maliyetleri yüksek olan barajlar, içme suyu temini, sulama suyu temini, taşkın koruma, enerji üretimi gibi amaçlarla inşa edilmektedir. Aynı anda birden çok amaca hizmet etmek üzere tasarlanan barajlarda çok sayıda karar değişkeni ve kısıt bulunmaktadır. Çok sayıda kısıt ve karar değişkenine sahip çok amaçlı bir baraj veya barajlar sisteminde optimizasyon amaçlı kullanılabilir, Doğrusal Programlama, Doğrusal Olmayan Programlama, Dinamik Programlama, Evrim Tabanlı Programlama (Genetik Algoritmalar, Genetik Programlama vb) gibi teknikler kullanılmaktadır. Her çoklu barajın amaç, kısıt ve karar değişkenleri birbirine benzese de amaçlardaki öncelikler kaynakların ve talebin özelliği gibi nedenlerle yerel farklılıklar söz konusudur. Bu nedenle her bir baraj için uygun teknikte ayrı modelleme yapmak zorunlu olmaktadır.

Uzun dönem için, baraj hazne işletmesi optimizasyonunda dinamik programlama Bellman [1], yaygın olarak kullanılmaktadır. Young [2], dinamik programlama ile tek baraj haznesi için optimal işletim kuralları geliştirmiştir. Larson [3], artımlı dinamik programlama ile çok hazneli problemi ele alan bir çalışma yapmıştır. Hall ve arkadaşları [4], artımlı dinamik programlamayı farklı bir şekilde iki hazneli probleme uygulamıştır. Heidari ve arkadaşları [5], artımlı dinamik programlamayı esas alarak kesintili türevsel dinamik programlamayı geliştirmiştir. Yurtal [6] çoklu baraj sistemlerinin enerji optimizasyonu için etkin bir artımlı dinamik programlama modeli geliştirilmiş ve aşağı Seyhan Havzasındaki ardışık barajlara uygulamıştır. Genetik algoritma ilk olarak Holland [7] tarafından geliştirilmiş, Goldberg [8] tarafından yaygınlaştırılmıştır. Holland [7] şema teoremi yoluyla genetik algoritmalar için teorik bir temel geliştirmeye çalışmıştır. Goldberg [8] ve Michalewicz [9], Genetik algoritma tanıtım ve

uygulamaları ile ilgili birçok eser sunmuştur. Esat ve Hall [10], genetik algoritmayı çok hazneli probleme uygulamış, haznelerdeki kısıtlarla, enerji üretimi ve sulama suyu temininden elde edilen faydaları maksimize etmeye çalışmıştır. Hınçal [11], çok hazneli sistemlere genetik algoritmayı uygulayarak enerjiyi eniyilemiştir.

Bu çalışmada, çok amaçlı bir barajın diğer amaçlar kısıt olarak kabul edilerek hidroelektrik üretimini maksimize eden eniyilenmiş işletme politikalarının belirlenmesi, beraberinde halen üretilmekte olan enerjinin artırılması amaçlanmıştır. Problemdeki fonksiyonların doğrusal olması veya olmamasından bağımsız olması nedeni ile Genetik Algoritmalar ile enerji optimizasyonu yapılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Dolsar [12,13] Çok amaçlı baraj haznelerinin diğer amaçlar kısıt olmak üzere, hidroelektrik enerji üretimi maksimizasyonu için geliştirilen programın uygulanması için, içme suyu amacı da olan enerji üretimi amaçlı Karakuz Barajı ve HES seçilmiştir. Geliştirilen program sonuçlarını karşılaştırabilmek için önce Karakuz Barajı ve HES'e ait 2008 tarihli fizibilite raporunda verilen değerler hiç değiştirilmeden kullanılmış, sonra raporda verilen değerler güncellenerek tekrar program uygulanmıştır.

2.1.1. Karakuz Barajı ve HES

Dolsar [13], Adana İli, Pozantı İlçesi, Çamlıbel (Karakuz) Mahallesi sınırları içerisinde, Körkün Çayı üzerinde, Karakuz Barajı ve Adana ili, Karaisalı İlçesi, Çukur Mahallesi sınırları içerisinde 76 MW kurulu gücünde Hidroelektrik Santral (HES) projelendirilmiştir (Şekil 1).

Dolsar [12], Yukarı Seyhan-Körkün Çayı Havzası; 37°08' ile 38°00' enlemleri, 34°50' ile 35°13' Doğu boylamlarının taradığı alan içinde yer alır. Kuzey-güney doğrultusunda boyu 98.5 km yağış alanı 1518 km²'dir (Şekil 1). Karakuz Barajı, maksimum su seviyesi (kontrolsüz dolusavak eşik seviyesi) 831 m olan, talvegten 32 m yüksekliğinde bir beton barajdır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Karakuz baraj haznesi proje karakteristikleri (m³) [12]

Minimum hazne hacmi	1695000
Maksimum hazne hacmi	5112000
Baraj aktif hacmi	3417000

**Şekil 1.** Karakuz Barajı ve HES konumu

Dolsar [13], Karakuz santrali işletme çalışmalarında, gelecekte (2035-40 yılları) Nevşehir ili içmesuyu ihtiyacı olarak tahmin edilen 750 l/s debinin, 400 l/s'lik kısmının Karakuz Barajı membasından Körkün çayından alınacağı kabul edilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Karakuz Barajı ve HES su alma yapısı ve su tahsisleri [12]

Su alma yapısı kapasitesi (m ³ /s)	16,41
Su alma yapısı girişi taban kotu (m)	813,5
(Karakuz baraj yeri) yıllık akım	261,83
İçmesuyun için yıllık ortalama debi	400
İçmesuyuna ayrılan yıllık akım	12,61
Akarsu yatağında kalacak akım	249,22

Dolsar [12], cebri boru 1541 m uzunluğunda ve 2 m çapında olup, tünel çıkış portalinden hemen sonra başlamaktadır (Çizelge 3). Fizibilite çalışmalarında santralin işletme çalışmaları gelen suyun sabit bir yükseklikten düşürülmesi suretiyle yapılmıştır. Ortalama türbin verimi 0,89; maksimum türbin verimi 0,91; jeneratör verimi ise 0,98 alınarak güç formülündeki katsayı:

$$0,91 \times 0,98 \times 9,8065 = 8,7454367$$

Enerji formülünde ise:

$$0,89 \times 0,98 \times 9,8065 = 8,5532293 \text{ katsayısı kullanılmıştır.}$$

Çizelge 3. Karakuz Barajı santrali tesis özellikleri [12]

Enerji iletim hattı tipi	Tünel ve çelik boru
İletim hattı kapasitesi ve çapı	16,41 m ³ /s, D=2,5 m
İletim hattı çelik boru uzunl.	5188 m
T1 tüneli uzunluğu ve çapı	1700 m, D = 3,0 m
Tz tüneli uzunluğu ve çapı	5200 m, D = 3,0 m
Ara tünellerin toplam uzunlukl ve çapı (T3,T4,Ts)	388 m, D=3,0 m
İletim hatlarının toplam uzunluğu(cebri boru hariç)	12476 m
Cebri boru uzunluğu, sayısı ve çapı	1541 m (1 ad.;2,0 m)
Santral çıkışında su kotu	258,0 m
Brüt düşü	570,8 m
Toplam santral debisi	16,41 m ³ /s (2x8,2 m ³ /s)
Santral kurulu gücü	76 MW (2X38 MW)

Dolsar [12], fizibilite raporunda, debi süreklilik eğrisinden akarsuda zamanın %5'inde 25 m³/s ve altında; zamanın %25'inde 11 m³/s ve altında, zamanın %95'inde mevcut olan (güvenilir) debi ise 1,51 m³/s'dir. Karakuz santralinin biriktirmesiz olarak yapılacak işletme çalışmalarında firm (güvenilir) enerji üretiminde yukarıdaki debi dikkate alınmıştır. Ancak, bu debiden de gelecekte Nevşehir içmesuyu ihtiyacı için çekilecek ortalama 400 l/s içmesuyu debisi çıkarıldığında Karakuz santralinden (günlük 24 saate göre) türbinlenecek asgari debi 1,11 m³/s olmaktadır.

Dolsar [12], fizibilite raporundaki enerji üretim tahminleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Karakuz Barajı enerji üretim tahminleri [12]

Nevşehir içmesuyu ihtiyacı için 400 l/s ve ekolojik olarak 100 l/s su çekilmesi hali	
Güvenilir güç	5,03 MW
Yıllık güvenilir enerji üretimi	40,90 GWh
Yıllık sekonder enerji üretimi	248,61 GWh
Yıllık toplam enerji üretimi	289,51GWh

Karakuz baraj yerinde drenaj alanı 1278 km²'dir ve tesis yerinde 1830 no'lu Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) vardır. Fizibilite raporunda, Baraj yerindeki 1830 no'lu AGİ'nin 1993-2006 yılları için var olan kayıtları, aralarında %94,5 korelasyon katsayısına sahip olması nedeniyle 1970-2006 yılları kayıtlı akımları bulunan 1820 no'lu AGİ değerleri kullanılarak 1970 yılına kadar uzatılmıştır.

Dolsar [12], baraj yeri buharlama değerleri için Karaisalı Devlet Meteoroloji İstasyonu (DMI) 1993-2007 yılı Toplam Buharlaşma kayıtları kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

Genetik Algoritma, ilk olarak 1975'te John Holland [7] tarafından önerilen, daha sonra geliştirilen, doğal evrim sürecini esas alan bir optimizasyon tekniğidir. Biyolojik olarak Gen, canlıların karakterlerini belirleyen en küçük kalıtsal birim; Kromozom (birey), birçok genin bir araya gelerek oluşturduğu dizi; Popülasyon ise kromozomlardan oluşan topluluktur.

Goldberg, [8], Hınçal, [11] genetik algoritma, doğal seleksiyon ve doğal genetik mekaniğine dayalı bir arama algoritmasıdır. Adının da ifade ettiği üzere, genetik algoritma, doğal evrim ve en iyinin hayatta kalması ilkelerine dayalıdır. Genetik algoritmalarda, problemin aday çözümlerinin popülasyonu kullanılır. Genetik algoritmalar, eşzamanlı olarak problemin birden çok aday çözümünü dikkate alır ve bu çözümler popülasyonunu global optimuma doğru hareket ettirerek ilerler.

Hınçal, [11] genetik algoritma, ana nesil süreci döngüsüne sahiptir. Bu döngü, esas olarak nesil sayısı ile yönetilir. Bu döngü içinde, bir başlangıç popülasyonu oluşturulur; her birey sayısal olarak ifade edilebilecek şekilde kodlanır; ardından popülasyonun her bireyine, sonraki nesillerde yaşayıp yaşamayacağını değerlendirmek üzere kullanılacak bir parametre olan bir uygunluk değeri atanır. Sonraki nesilde yaşamaya hak kazanacak bireyin değerlendirilmesi ve seçimi, seçim (seleksiyon), çaprazlama ve mutasyon adı

verilen genetik operatörler sayesinde gerçekleştirilir.

2.2.1. Genetik Algoritma ile Çok Amaçlı Baraj Haznelerinin Yıllık Toplam Hidroelektrik Enerji Maksimizasyonu

Çok amaçlı barajların optimal işletmesinde, sulama suyu temini, içme suyu temini, sanayi suyu temini gibi amaçlar için hazneden çekilecek minimum debiler kısıt olarak alınmak üzere üretilecek yıllık toplam enerji maksimize edilmiştir.

Amaç fonksiyonu (Eşitlik 1, 2 ve 3):

$$\text{Max} \sum_{i=1}^T E_i \quad (1)$$

$$E_i = P_i \times t \quad (2)$$

$$P_i = \rho \cdot g \cdot \eta \cdot Q_i \cdot H_i \quad (3)$$

Burada, T seçilen zaman periyoduna göre toplam zaman dilimi, E_i (Wh) ise her bir zaman periyodunda üretilecek hidroelektrik enerji, P_i her bir zaman periyodunda üretilecek güç (W), H_i ise i ninci zaman periyodundaki net düşü (m), η toplam randıman, ρ yoğunluk (kg/m³), g yer çekimi ivmesi (m/s²), t ise zamandır (h).

Süreklilik denklemi ise (Eşitlik 4 ve 5);

$$S_{i+1} = S_i + I_i - Q_i - E_{v_i} \quad (4)$$

$$E_{v_i} = B_i \times A_i \quad (5)$$

Burada zaman periyodu (ay) olarak alınır; S_i ve S_{i+1} , i ve i+1 inci zaman diliminde hazne hacmi (10⁶ m³/ay), I_i , i ninci zaman diliminde hazneye giren akım (10⁶ m³/ay), Q_i , i ninci zaman diliminde hazneden amaçlar (enerji üretimi, içme suyu temini, sulama suyu temini, çevresel akış vb) için çekilecek akım (10⁶ m³/ay), E_{v_i} , i ninci zaman dilimindeki buharlaşma miktarı (10⁶ m³/ay), B_{v_i} , i ninci zaman dilimindeki noktasal buharlaşma miktarı (mm), A_i , i ninci zaman dilimindeki göz yüzeyi alanıdır (10⁶ m³/ay).

Kısıtlar:

Hazne hacmi (S_{i+1}), $i+1$ ninci zaman diliminde minimum işletme hacmine eşit veya büyük, maksimum işletme hacminden küçük veya eşit olmalıdır (Eşitlik 6).

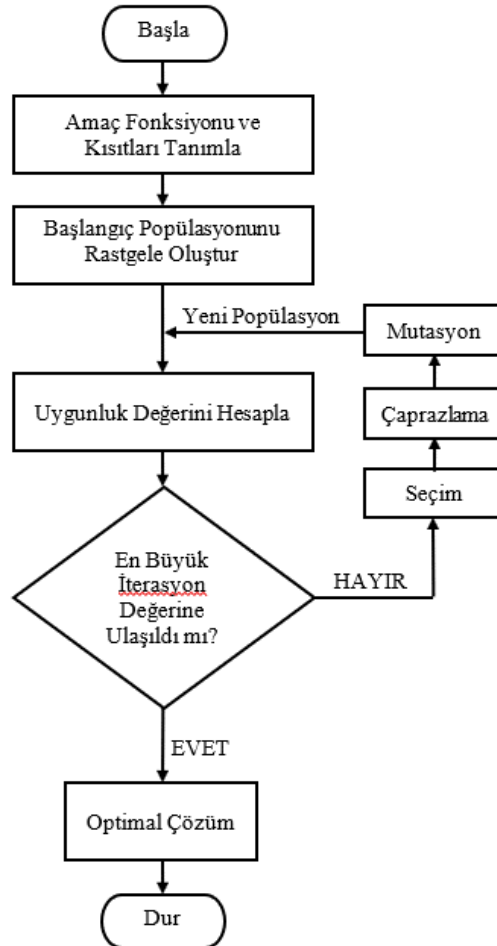
$$S_{\min} \leq S_{i+1} \leq S_{\max} \quad (6)$$

Hazneden amaçlar için çekilecek akım (Q_i), i ninci zaman diliminde ihtiyaca göre belirlenecek minimum ve maksimum değerler arasında olmalıdır (Eşitlik 7).

$$Q_{\min} \leq Q_i \leq Q_{\max} \quad (7)$$

Ayrıca Cebri Boru kapasiteleri ve Güvenilir (firm) enerji de kısıt olarak kullanılmıştır. Minimum hazne hacmi kısıtı için sonsuz değere sahip ceza fonksiyonu tanımlanırken, diğer her bir kısıt için dinamik ceza fonksiyonları tanımlanmıştır. Kısıtlar için membadaki içmesuyu ihtiyacı ve ekolojik akım giren akımdan çıkartıldıktan sonra optimizasyon gerçekleştirilmiştir.

Amaç fonksiyonunun optimizasyonu için Genetik Algoritmalar tekniği kullanılmıştır (Şekil 2). Bu amaçla toplam enerjiyi maksimize edecek bir MATLAB kodu yazılmıştır. Yazılan kod farklı popülasyon ve generasyon (iterasyon) sayıları ile defalarca denenmiştir.



Şekil 2. Genetik algoritma ile optimizasyon akış şeması

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çok amaçlı bir barajın Genetik Algoritma yöntemi ile yıllık toplam enerji maksimizasyonu için geliştirilen matlab kodu, sonuçların karşılaştırılabilmesi açısından “Yukarı Seyhan - Körkün Havzası Karakuz Barajı ve Hidroelektrik Santrali Fizibilite Raporu (DOLSAR, [12])” verileri değiştirilmeden kullanılarak çalıştırılmıştır. Geliştirilen kod, enerji üretimi harici amaçları kısıt olarak kabul ettiğinden, sadece içmesuyu kısıtının olduğu durum için uygulanmıştır.

Fizibilite raporunda günlük akım değerleri ile enerji üretimi hesaplanmıştır. Bu çalışmada ise geliştirilen kodun uygulanabilirliği araştırıldığından, Fizibilite Raporunda verilen 1970-2006 yılları arası aylık akım değerleri kullanılmıştır.

Geliştirilen kod “Population Size” 100-400, “Maximum Generations” 100-500, “Maximum Stall Generations” 100-400 arasında seçilerek defalarca çalıştırılıp denenmiş, sonuçların karşılaştırılması ile sonucu etkilemeyecek ve işlem zamanından tasarruf edecek şekilde bu projedeki probleme özel olmak üzere “Population Size” 250, “Maximum Generations” 300, “Maximum Stall Generations” 300 olarak seçilmiştir.

Geliştirilen kod ile önce, 1970-2006 yılları arası tüm yıllar kullanılarak aylık akımlarla program çalıştırılmıştır. Her çalıştırmada farklı karar değişkeni popülasyonu üretildiğinden, sonuçlar birbirinden farklı çıkabilmektedir. Bu nedenle işlem zamanı oldukça uzun süren bu tür uygulamada yapılan optimizasyonu karşılaştırmak üzere, program kodunda değişiklik yapılmış ve her yıl bağımsız olarak çalıştırılıp, optimize edilmiş sonuçlarla bir sonraki ardışık yıl optimize edilmiştir. Bu uygulamada optimizasyon sonucu fizibilite raporuna göre ilk uygulamalarda %1 daha fazla enerji tahmini yapmıştır.

Nevşehir içmesuyu ihtiyacı için 400 l/s ve ekolojik olarak 100 l/s su çekilmesi hali için Karakuz Barajı Enerji Üretim Tahminleri (DOLSAR, [12]) ve Genetik Algoritma ile Optimizasyon sonucu

üretilen Yıllık Toplam Enerji karşılaştırıldığında yaklaşık %1 lik bir artış bulunmuştur (Çizelge 5).

Çizelge 5. Fizibilite raporu ve geliştirilen genetik algoritma optimizasyon modeli sonuçları

	Fizibilite Raporu (DOLSAR [12])	Genetik Algoritma ile Optimizasyon Sonucu
Yıllık toplam enerji üretimi (GWh)	289,51	292,375

Geliştirilen program ile tüm kısıtlar, en kurak dönemler de dahil olmak üzere tüm zaman dilimlerinde rahatlıkla karşılanabilmektedir.

Optimize edilen sonuç, mevcuda göre %1 daha iyidir; ancak muhtemelen günlük veriler kullanılsa idi sonuçlar daha farklı olacaktı. Ayrıca seçilen baraj yaklaşık 32 m yüksekliğinde nispeten küçük bir barajdır ve fizibilite çalışmalarında maksimum kotta çalıştırılması hedeflenmiştir. Geliştirilen kod çok küçük müdahalelerle farklı barajlara uygulanabilir durumdadır. Geliştirilen Genetik Algoritma Modeli farklı çok amaçlı (sulama, içme suyu, taşkın vb) barajlara uygulanarak sonuçların karşılaştırılması daha uygun olacaktır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada, çok amaçlı bir barajın diğer amaçlar kısıt olarak kabul edilerek hidroelektrik üretimini maksimize eden eniyilenmiş işletme politikalarının belirlenmesi, beraberinde halen üretilmekte olan enerjinin artırılması amaçlanmıştır.

Projede amaçlandığı üzere Genetik Algoritma ile Çok Amaçlı Barajların yıllık toplam enerji maksimizasyonu için matlab program kodu geliştirilmiş ve Karakuz Barajı ve HES’e uygulanmıştır. Uygulama ile yıllık toplam enerji maksimize edilerek eniyilenmiş işletme politikaları belirlenmiş, yaklaşık %1’lik enerji artışı sağlanmıştır.

Çalışma kapsamında geliştirilen Genetik Algoritma ile Çok Amaçlı Barajların yıllık toplam

enerji maksimizasyonu program kodu çok küçük müdahalelerle farklı barajlara uygulanabilir olduğu gibi, çok amaçlı ardışık çoklu barajlar için de modifiye edilerek geliştirilebilir.

Programın uygulanması sonucu üretilen işletme politikalarının, uygulayıcı mühendisler karar verme aşamasında önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Araştırmacının daha önceki çalışmalarında geliştirdiği “Yurtal [6,14], çoklu baraj sistemlerinin enerji optimizasyonu için geliştirilmiş etkin bir artırımlı dinamik programlama modeli” ile kıyaslama yapıldığında, Dinamik Programlama modeli sonuçlarının daha uygun sonuçlar vereceği düşünüldüğünden, bundan sonraki aşamada aynı barajlara her iki modelin uygulanarak sonuçlarının karşılaştırılması hedeflenmektedir. Bunun için öncelikle bu proje kapsamında tek bir baraj için geliştirilen modelin çoklu ardışık barajlar için modifiye edilmesi gerekmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (Proje No: FBA-2017-8295) tarafından desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Bellman, R., 1957. Dynamic Programming, Princeton University Press, Princeton, N.J. (2)
2. Young, G.K., 1967. Finding Reservoir Operating Rules, J. Hydr. Div., ASCE, 93(6), 297-321.
3. Larson, R.E., 1968. State Increment Dynamic Programming, Elsevier Science, New York.
4. Hall, W.A., Harboe, W., Yeh, W.W.G., Askew, A.J., 1969. Optimum Firm Power Output from a Two Reservoir System by Incremental Dynamic Programming, Water Resour. Ctr. Contrib., University of Calif., 130, 273-282.
5. Heidari, M., Chow, V., Kotovic, P., Meredith, D., 1971. Discrete Diff Erential Dynamic Programming Approach to Water Resources System Optimization, Water Resour. Res, 7(2), 273-282.
6. Yurtal, R., 1993. Çoklu Baraj Sistemlerinin Enerji Optimizasyonu İçin Geliştirilmiş Etkin bir Artırımlı Dinamik Programlama Modeli ve Aşağı Seyhan Havzası'na Uygulanması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s101, Adana.
7. Holland, J.H., 1975. Adaptation in Natural and Artificial Systems, MIT Press, Cambridge, Mass.
8. Goldberg, D., 1989. Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley, Reading, Mass.
9. Michalewicz, Z., 1992. Genetic Algorithms+ Data Structures=Evolution Programs, Springer, New York.
10. Esat, V., Hall, M.J., 1994. Water Resources System Optimization using Genetic Algorithms, Proc. 1st Int. Conf. Hydroinform. Balkema, Potterdam, the Netherlands, 225-231.
11. Hınçal, O., 2008. Optimization of Multireservoir Systems by Genetic Algorithm, PhD Dissertation, Middle East Technical University, 97, Ankara.
12. DOLSAR, Mühendislik Limited Şirketi, 2008. Yukarı Seyhan-Körkün Havzası Karakuz Barajı ve Hidroelektrik Santral Fizibilite Raporu, Ankara.
13. DOLSAR, Mühendislik Limited Şirketi, 2011. Karakuz Barajı ve HES Gerekçe Raporu, Ankara.
14. Yurtal, R., Seckin, G., Ardıçlıoğlu, M., 2005. Hydropower Optimization for the Lower Seyhan Basin System in Turkey Using Dynamic Programming, Water International, 30(4), 522-529.

Investigation of Asymmetric Transmission Properties of 2D Metallic Photonic Crystal for Optical Diode Application

Fulya KARAÇORA NANE^{*1,2}, Turgut İKİZ²

¹Hakkari Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hakkari
²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 01.02.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Abstract

Current studies combined optics and photonics provide the most promising materials for potential technological and industrial applications, because of their exciting optical and electronic properties. Metals show a lot of optical phenomena associated with their rich dispersion properties, and are widely used in the range from visible to THz frequencies. In this study, asymmetric transmission properties of 2-D photonic crystals have been studied. The effects of different geometric and optical parameters on the transmission are investigated by using MATLAB and freely available MEEP software based on the FDTD method. A novel structure made of silver is used to manipulate electromagnetic propagation of different wave lengths. The simulation results represent transmittance values for the TM mode where the electromagnetic propagation transverse to the same way of incidence wave. As a result, the best comparative asymmetric transmittance values are obtained as 0.75, and 0.15 from top and bottom sides, respectively.

Keywords: 2-D Photonic crystal, Asymmetric transmission, FDTD.

2 Boyutlu Metal Fotonik Kristallerin Asimetrik Özelliklerinin Optik Diyet Uygulaması için Araştırılması

Öz

Optik ve fotonun birleştirildiği mevcut araştırmalar, potansiyel teknolojik ve endüstriyel uygulamalar için ilginç optik ve elektronik özellikleri sahip olan yeni malzemeler sunmaktadır. Metaller zengin dispersiyon özelliklerine bağlı olarak birçok optik aykırılık gösterir ve görünür bölgeden terahertz frekansına kadar değişik alanlarda kullanılırlar. Bu çalışmada 2-D fotonik kristallerin asimetrik iletim özellikleri incelenmiştir. Çalışmada farklı geometrik ve optik parametrelerin geçirgenlik üzerindeki etkileri FDTD tabanlı MATLAB ve ücretsiz MEEP programı aracılığı ile araştırılmıştır. Farklı dalga boylarında elektromanyetik yayını kontrol etmek için gümüşten tasarlanmış özgün bir yapı kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları gelen dalga ile aynı yönde iletilen elektromanyetik yayını için TM modunda geçirgenlik katsayı değerlerini vermektedir. Çalışma sonucunda en iyi asimetrik geçirgenlik katsayı değerleri 0,75 (üstten gelen) ve 0,15 (alttan gelen) olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: 2 Boyutlu fotonik kristal, Asimetrik geçiş, FDTD

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Fulya KARAÇORA NANE, fulyanane@hakkari.edu.tr

1. INTRODUCTION

The innovations on information and communication technologies have changed many things in human life. The importance of semiconductor components, integrated circuits and devices has been better understood with the development of human society and technology. The performances of integrated circuits such as microprocessors are now well-suited to the famous Moore's law [1], suggests the electronic devices double in speed and capability about every two years. Although, the integrations of electronic components and devices for information communication and processing are approaching the basic speed and bandwidth limit due to ultra-intensive electrical interconnections. In addition to this, electronics industry has faced another problem, size limit. As a fundamental unit, transistors drive most of electronic parts. When we make the transistors smaller, we can also make them faster and consume less electricity to operate. The problem is: how small can we make transistors? At the moment, companies like Intel are producing silicon transistors with 14 nanometer sizes. They are getting very close to the limit of how small we can make a transistor, because of silicon's 0.2 nm atomic size.

All electronic gadgets like transistors use electrical signals made of electrons moving from one place to another one for communication. Use of light instead of electricity has been considered to be one of the most promising solutions to make electronic components even faster. The main advantage of light is the fastest thing you can use to process and transfer information. Already, fiber optic cables, which simply guide light, are used in current telecommunication technologies.

In recent years, there is widespread research interest in optoelectronics made of optical systems and devices. This area is also called as Photonics, which is a collaborative area of electrical and electronics engineering, material science, physics, and optics. At present, optical integrated circuits using light propagation are being studied and developing intensively. To develop the light based

electronic components and devices, it is necessary to create the useful optical materials by giving us a chance to controlling of wave propagation.

Photonic crystals, firstly introduced by Yablonovitch [2] and John [3], opened the new fields in application of optoelectronics. Photonic crystals are defined as a periodic composition of dielectric or metallic materials that are designed to control and manipulate of electromagnetic waves. Photonic crystals are attracting more attention day by day due to their intrinsic electromagnetic properties and possible applications in optical devices.

This study focuses on the investigation of asymmetric transmission properties of a novel dual metallic photonic crystals. The method used in this investigation is FDTD method.

2. NUMERICAL METHOD

In this study, we investigated asymmetric transmission properties of two dimensional metallic gratings for optoelectronic applications. We tried to obtain asymmetric propagation behavior by changing the geometry of metallic grating. According to reference papers [4-7], we have considered a dual metal geometry and studied the transmission spectrum of this structure by freely available MEEP program (MIT Electromagnetic Equation Propagation). We have also compared the MEEP's simulation results by MATLAB. We will use FDTD method in our study. MEEP implements the FDTD method for computational electromagnetism. FDTD algorithm is today's most popular calculation tools [8]. The time and space are divided in a uniform grid for FDTD algorithm which solves time dependent Maxwell equations. For determination of boundary conditions, Perfect matched layer (PML) is embedded in the simulation [9]. Generally, the width of PML layer is equal to a lattice constant in overall simulation area. FDTD solves time-space dependent magnetic and electric fields in different spatial regions by sliding electric and magnetic field components. This idea of grid discretization was first proposed by Yee [10]. Fields in grids can be classified as TM and TE polarization.

2.1. Geometry of Problem

Figure 1 illustrates scheme of the simulation setup for the investigation of the asymmetry of light transmission of our design made by dual metal grating. The unidirectional transmittances of terahertz wave's incidence from top side and bottom side were obtained in TM mode. In this simulation, we use perfectly matched layer (PML)

[9] boundary conditions which absorbs electromagnetic waves at the boundaries without reflections. Here, interference waves are sinusoidal wave. The dual metal structures were embedded in free space ($\epsilon=\mu=1$) surrounded by PML. The MEEP simulation results were also checked with snapshots of wave propagation obtained by MATLAB for same design structures. The size of metal grating will be given in result section.

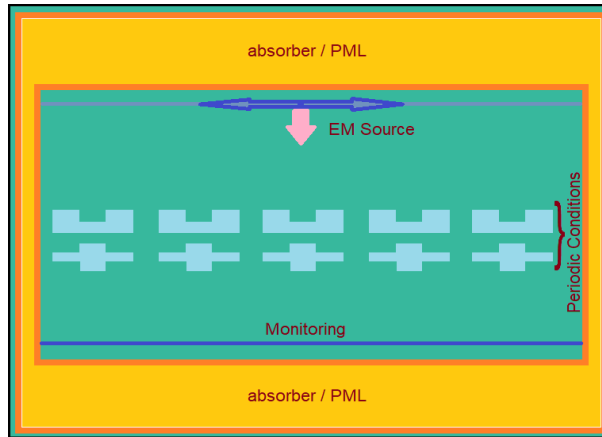


Figure 1. FDTD Simulation setup with perfectly matched layer (PML)

3. RESULTS

The transmission spectrum of our design is calculated for different values of G parameter in TM mode and plotted versus wavelength as shown in Figure 3. It can be clearly seen that an asymmetric transmission behavior can be obtained

for a large range of wavelength for all G parameters. When the graphs of the simulation results are compared, it can be said that the most efficient asymmetric characteristic is founded for G=200 nm as 0.75 and 0.15 for top side and bottom side respectively (Figure 2).

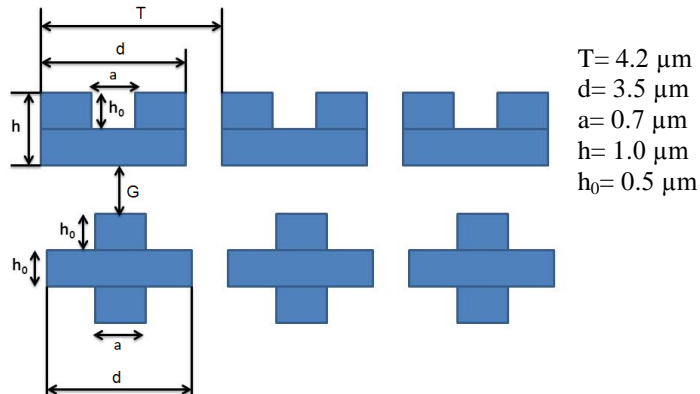


Figure 2. Schema of metallic periodic condition for our design

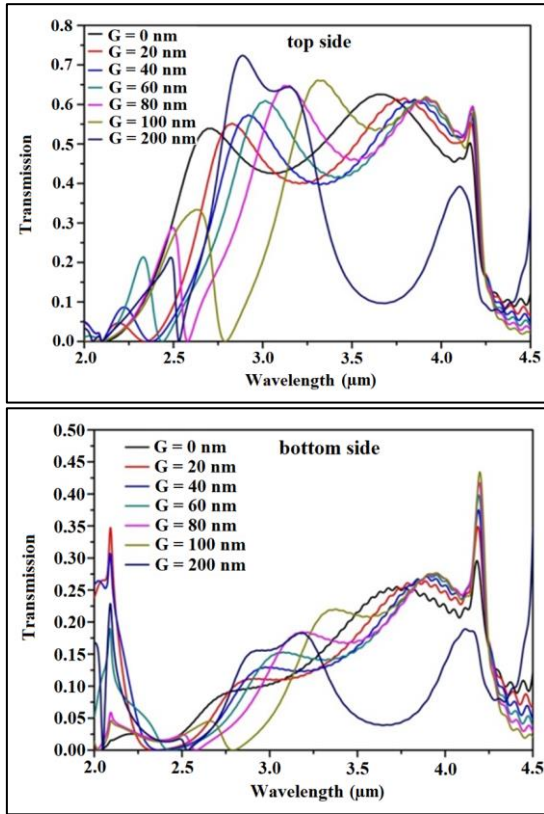


Figure 3. All G parameter (distance between dual metallic layers) dependent FDTD simulation results for our design

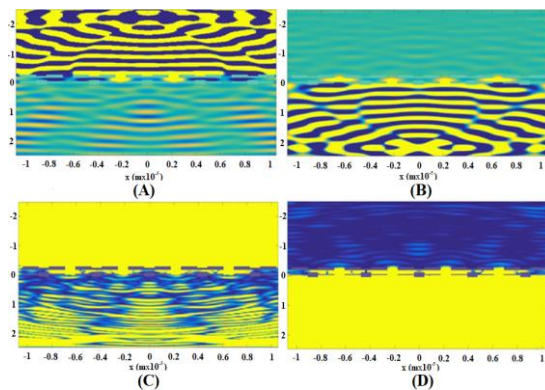


Figure 4. Ez field (TM) mode propagation (a) incidence from top side, (b) incidence from bottom side. Poynting vector distribution (c) incidence from top side, (d) incidence from bottom side for our design ($G=200$ nm, $\lambda=2.9$ μm)

The wave propagations and Poynting vector distributions from top side and bottom side are obtained by MATLAB and shown in Figure 4. According to these simulation results, the intensities of field distribution and Poynting vector in the transmission region confirm the transmittance result is calculated for our design with $G=200$ nm, $\lambda=2.9$ μm by using the MEEP program.

4. CONCLUSION

The aim of this study was to obtain an asymmetric transmission behavior in the 2-D dual metallic photonic crystals. For this purpose, we designed a novel dual metallic structure and analyzed the numerical results of electromagnetic wave propagation for TM mode. Firstly, the distance between dual metallic layers was modified to obtain the asymmetric transmission. We have carried out an asymmetric transmission behavior in our design for a large range of wavelength for all G values. We have also checked the most effective parameters of our design ($G=200$ nm, $\lambda=2.9$ μm) by MATLAB simulations. The MATLAB results are consistent with the MEEP results. The asymmetric transmission means that an electromagnetic propagation is completely transmitted in one direction, but blocked in other direction. This feature may be utilized to design the optical diodes [11] for light based integrated circuits. Consequently, the transmission spectrum of our design may reveal the optical diode like transmission behavior around 3 μm . There can be found many studies on such optical diodes in literature [4,12-14].

5. REFERENCES

1. Moore, G.E., 1975. Progress in Digital Integrated Electronics. Tech. Dig. IEEE Int. Electron Devices Meeting, 11-13.
2. Yablonovitch, E., 1987. Inhibited Spontaneous Emission in Solid-State Physics. Physics Review Letters, 58(20), 2059-2062.
3. John, S., 1987. Strong Localization of Photons in Certain Disordered Dielectric Superlattices. Physics Review Letters, 58(23), 2486-2489.

4. Stolarek, M., Yavorskiy, D., Kotyński, R., Zapata Rodríguez, C.J., Łusakowski, J., Szoplik, T., 2013. Asymmetric Transmission of Terahertz Radiation through a Double Grating. *Optics Letters*, 38, 839-841.
5. Cheng, C., Chen, J., Wu, Q.Y., Ren, F.F., Xu, J., Fan, Y.X., Wang, H.T., 2007. Controllable Electromagnetic Transmission Based on Dual-Metallic Grating Structures Composed of Subwavelength Slits. *Appl. Phys. Lett.* 91,
6. Cheng, C., Chen, J., Shi, D.J., Wu, Q.Y., Ren, F.F., Xu, J., Fan, Y.X., Ding, J., Wang, H.T., 2008. Physical Mechanism of Extraordinary Electromagnetic Transmission in Dual-Metallic Grating Structures. *Phys. Rev. B* 78, 075406.
7. Xu, J., Cheng, C., Kang, M., Chen, J., Zheng, Z., Fan, Y.X., Wang, H.T., 2011. Unidirectional Optical Transmission in Dual-Metal Gratings in the Absence of Anisotropic and Nonlinear Materials. *Opt. Lett.* 36, 1905.
8. Taflove, A., Hagness, S.C., 2000. *Computational Electrodynamics: The Finite Difference Time-Domain Method* 2nd ed. Boston, MA: Artech House Publishers.
9. Berenger, J.P., 1994. A Perfectly Matched Layer for the Absorption of Electromagnetic Waves. *J. Comput. Phys.* 114, 185-200.
10. Yee, K.S., 1966. Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell's Equations in Isotropic Media. *IEEE Transactions Antennas Propag.*
11. Scalora, M., Dowling, J.P., Bowden, C.M., Bloemer, M.J., 1994. The Photonic Band Edge Optical Diode. *J. Appl. Phys.*, 76(4), 2023-2026.
12. Biancalana F., 2008. All-optical Diode Action With Quasiperiodic Photonic Crystals. *J. Appl. Phys.*, 104(9), 093113.
13. Wang, C., Zhou, C.Z., Li, Z.Y., 2011. On-chip Optical Diode Based on Silicon Photonic Crystal Heterojunctions. *Opt. Express*, 19(27), 26948-26955.
14. Kurt, H., Yilmaz, D., Akosman, A.E., Ozbay, E., 2012. Asymmetric Light Propagation in Chirped Photonic Crystal Waveguides. *Optics Express*, 20(18), 20635-20646.

Kazı Arını Tasarımında Ampirik Yaklaşımların Kullanımı

Gamze ERDOĞAN ERTEN^{*1}, Mahmut YAVUZ¹

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği
Bölümü, Eskişehir

Geliş tarihi: 10.09.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Maden planlama ve tasarlama süreci, doğal kaynakların etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamak ve madencilik sırasında ortaya çıkan maliyetlerin tümünü azaltmak açısından oldukça önemlidir. Yeraltı madenciliğinde seçilecek üretim yöntemine bağlı olarak, kazı arınlarının seyrelme ve cevher kaybını en aza indirecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bu noktada kaya kütlesi karakterizasyonu ve kazı arını geometrisi gibi parametreleri göz önünde bulunduran ampirik kazı arını tasarımları dikkat çekmektedir. Duraylı kazı arınlarını tasarlamak üzere, ampirik duraylılık grafiği yönteminin de bu kapsamda yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Duraylılık grafiği yöntemi ilk olarak kazı arını tasarımlarını yapmak üzere ortaya konulmuş, ardından kazı arını tasarımı konusunda özellikle metal madenlerinde dünya çapında geniş kabul görmüştür. Yöntem, Tünel Kalitesi Q indeksine dayanmakta ve kazı arını tasarımını etkileyen en önemli faktörleri dikkate almaktadır. Duraylılık grafiği yönteminde geçmişten bugüne, kazı arınlarının duraylılık durumunu tahmin etmedeki güvenilirliğini artırmayı amaçlayan çeşitli gelişmeler yaşanmıştır. Bu çalışma öncelikle duraylılık grafiği yöntemini detaylı bir şekilde tanıtmakta ardından bu konuda yapılan gelişmeleri ele almaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yeraltı maden üretimi, Kazı arını tasarımı, Ampirik duraylılık grafiği yöntemi

Using Empirical Approaches in Stope Design

Abstract

The studies in the mine planning and design process are crucial to ensure efficient use of natural resources and reduce the overall cost of mining. In underground mining, stopes should be designed to minimize the dilution and ore loss depending on the production method to be selected. At this point, empirical stope design that takes into account parameters such as the rock mass characterization and stope geometry draws attention. The empirical modified stability graph method to design stable stopes is known widely used in this context. The stability graph was introduced initially for open stope design and then it has gained wide recognition in open stope design around the world especially in metalliferous mining. The method is based on the tunnelling quality index Q and takes into account the most important factors affecting stope design. From the past to the present, there have been several improvements in the stability graph method aimed at increasing the reliability of the stope in predicting the stability status. This study firstly introduces the stability graph method in detail and then discusses the developments in this regard.

Keywords: Underground mine production, Stope design, Empirical stability graph method

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Gamze ERDOĞAN ERTEN, gerdogan@ogu.edu.tr

1. GİRİŞ

Kazı arını tasarımı yeraltı maden üretiminde verimi etkileyen en önemli faktörlerden biridir ve tasarım esnasında yapılacak herhangi bir iyileştirmenin üretimde önemli oranda tasarruf sağlayabileceği bilinmektedir. Burada kazı arını “yeraltı üretim yöntemlerini kullanarak cevheri onu çevreleyen kaya kütesinden çıkarmak için oluşturulan üretim bölgesi” olarak tanımlanabilmektedir. Kazı arını tasarımı temel olarak; kazı alanlarının duraylılığı ve üretim esnasında cevher oranının seyrelmesiyle ilgilenmektedirler. Kaya sınıflama sistemi olarak sıklıkla kullanılan Barton’un Q sistemi [1] ve RMR gibi ampirik veri tabanları, yeraltı kazılarını tasarlarırken mühendisleri yönlendirmeye yardımcı olacak araçlar olarak geliştirilmiştir. Bu veri tabanları temelde düşük ila orta derinlikteki tünel çalışmalarına dayanmaktadır. Burada tüneller, yoğun trafiğe sahip kalıcı açıklıklar olarak tasarlanmaktadır. Bu yüzden büyük kazı arınlarının boyutlandırma ve destek tasarımına uygulanmakta zorluklarla karşılaşılabilir, çünkü bu sınırlı erişim alanlarının geçici yapılar olarak ve girişi olmayan kazı arınları durumunda tasarlanması gerekmektedir. Bu durumda tünel açma süreçleri için tasarlanan araçların yerini alacak ve yeraltı madenlerinde maliyeti en aza indirirken, üretimi en üst düzeye çıkaracak madencilğe özgü bir kazı tasarım aracına olan ihtiyaç ortaya çıkmıştır [2].

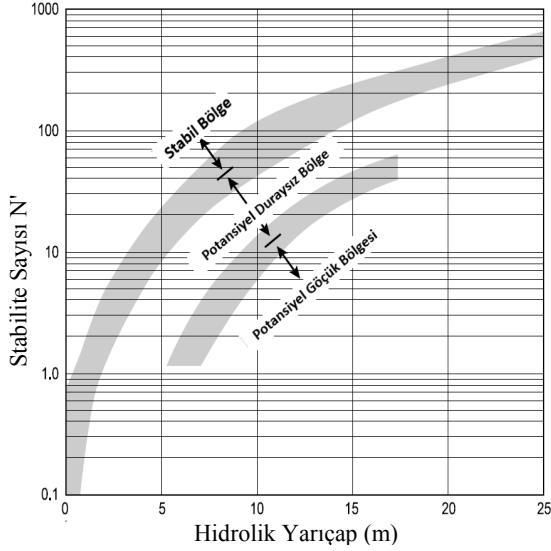
Uzun deliklerin delinmesiyle yapılan üretimler (Longhole Stoping) gibi büyük ölçekli açık kazı arını yöntemleri, sınırlayıcı bir kazı arını boyutu seçimine dayanmaktadır. İdeal olarak bu kazı arınları kendini destekleyecek şekilde tasarlanmaktadır. Bir tahkimat elemanının kullanılmasının zorunlu olduğu zemin koşulları veya daha büyük kazı arınlarına ihtiyaç duyulduğunda ise halat türü kaya saptamasının başarıyla uygulandığı bilinmektedir. Mathews ve arkadaşları [3] açık kazı arınlarının Q sınıflama sistemi bazında gerilme, yapısal yönelim ve yerçekimi etkilerine bağlı üç faktöre göre boyutlandırılması için “duraylılık grafik yöntemi” olarak adlandırılan ampirik bir yöntem

önermişlerdir. Yöntem bu üç faktörün birleşimine ve yüzeyin hidrolik yarıçapına (yüzey alanı/çevre) bağlı olarak kazı arınının her yüzeyinin ayrı ayrı boyutlandırılmasında kullanılmaktadır. Hidrolik yarıçap, yüzeyin büyüklüğü kadar şeklini de hesaba katmaktadır [4]. Mathews ve arkadaşları [3] tarafından önerilen duraylılık yöntemi, Kuzey Amerika’da sınırlı sayıda madenden elde edilen verilerin toplanmasına dayanmaktadır. Yöntem oluşturulduğundan bu yana defalarca revize edilmiş ve daha fazla veri eklenerek sürekli güncellenmiştir. İncelenen bu çalışma Mathews ve arkadaşları [3] ile başlayan duraylılık grafiği yönteminin temellerini, geçmişten bugüne gelişimini ele almakta ve sınırlamalarını ortaya koyup geliştirilmesi gereken yönlerini sunmaktadır.

1.1. Duraylılık Grafik Yöntemi

Duraylılık grafiği, belirli bir duraylılık aralığına sahip çok sayıda kazı yüzeyini ele almaktadır. Duraylılık sayısı, duraylılık grafiğinin “y” eksenini oluşturur ve kazı etrafındaki kaya kütesi kalitesinin bir ölçüsüdür. Duraylılık grafikleri tüm kazıdan ziyade tek tek kazı yüzeyleriyle ilgilenmektedir. Tipik bir dikdörtgen kazı için, duraylılık grafiğinde beş kazı arını yüzeyi göz önünde bulundurulmaktadır (dört yan duvar ve tavan taşı). Duraylılık verileri bir kez işaretlendikten sonra kazı arınları sınır çizgileri ile bölgelere ayrılmaktadır.

Mathews ve arkadaşları [3] tarafından tasarlanan ilk duraylılık bölgeleri ve grafiği 26 saha gözlemine dayanmaktadır. Duraylılık bölgeleri gerçek madencilik verilerinin dağılımdan tanımlanmakta ve daha sonra planlanan kazıların istikrarını tahmin etmekte kullanılmaktadır. Orijinal Mathews ve arkadaşları [3] duraylılık grafiği, duraylılık verilerinin dağılımına göre “duraylı”, “potansiyel duraysız” ve “potansiyel göçük” bölgelerine ayrılmıştır. Üç duraylılık bölgesi, duraylılık sınıfları ile sınırlardaki belirsizlik arasındaki geçişi yansıtabilecek şekilde geçiş bölgeleriyle (transitional zones) ayrılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Duraylılık grafiği (Mathews ve arkadaşları [3]'den sonra Potvin ve Hadjigeorgiou [5])

1.2. Modifiye Edilmiş Duraylılık Sayısı, N'

Mathews ve arkadaşları [3]'in orijinal çalışmasının ardından Potvin [6] 175 gözlem verisi ile bu yöntemi kalibre etmiş ve modifiye duraylılık numarasını (N') tanımlanmıştır. Bu parametre Mathews ve arkadaşları [3]'in önerdiği " N " değerine benzemekle birlikte farklı faktör ağırlıklarına sahiptir. Dünya'da yapılan çalışmalara bakıldığında farklı ülkelerin farklı duraylılık sayısını kullandıkları görülmektedir. Örneğin Kanada'da Potvin'in " N " sayısı kullanılırken Avustralya'da, Mathews ve arkadaşları [3] tarafından önerilen analiz kullanılmaktadır [4]. Bu çalışmada ise özellikle Potvin [6] tarafından önerilen Modifiye Edilmiş Duraylılık yöntemi üzerinde durulmaktadır.

Duraylılık grafiği yöntemi temel olarak kaya kütlelerinin özelliklerinin ve tünel tahkimat gereksinimlerinin belirlenmesi için Barton ve arkadaşları [7] tarafından ortaya konan tünelcilik niteliği indeksi olarak bilinen Q değerini kullanmaktadır. Bu indeksin hesabı Eşitlik 1 ile gösterilmektedir. Burada RQD kaya niteliği belirteci, J_n süreksizlik takımı sayısı, J_r süreksizlik

pürüzlülük sayısı, J_a süreksizlik ayrışma sayısı, SRF toplam gerilme değişkeni ve J_w etken normal gerilmeyi azaltarak süreksizliğin makaslama dayanımını azaltan su basıncının göstergesidir [8]. Özetle tünel kalite indeksi Q üç faktöre bağlıdır (Eşitlik 1):

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (1)$$

Q bağıntısında kaya kütle yapılarını temsil eden birinci bölüm (RQD/J_n) blok veya parça büyüklüğünün kaba ölçüsüdür. İkinci bölüm (J_r/J_a) süreksizlik duvarlarının pürüzlülük ve sürtünme özelliklerini temsil etmektedir. Bu bölüm pürüzlü, bozulmamış kapalı süreksizlik üzerine dayandırılmıştır. Süreksizlik yüzeyleri dolgu veya ince kil mineralleri ile kaplandığında dayanım oldukça azalacaktır. Bununla birlikte küçük makaslama yer değiştirmeleri meydana geldiğinde oluşacak kaya duvar teması kazının duraylılığını artıracak, bu durumda hiçbir şekilde eklem yüzeylerinin teması olmadığı durumda duraylılık bozulabilecektir. Son bölüm (J_w/SRF) iki farklı gerilme parametresinden oluşan ve aktif gerilmeyi ifade eden karmaşık bir ampirik hesaplama faktörüdür.

Modifiye edilmiş tünelcilik niteliği indeksi (Q') orijinal Q sisteminden yararlanarak Eşitlik 2'deki gibi yeniden tanımlanmıştır. Orijinal sistemden, toplam gerilme değişkeni (SRF) için orta derecede gerilme ve su azaltma faktörü (J_w) için kuru kaya kütle şartları kabul edilerek bu parametrelere "1" değeri verilip sistemden çıkarmıştır. Yöntem daha sonra duraylılık sayısını (N') hesaplamak üzere gerilme faktörünü, süreksizlik yönelim faktörünü ve yüzey tasarım yönelim faktörlerini hesaba katarak geliştirilmiştir. Her kazı arını yüzeyi için, duraylılık sayısı (N') ise Eşitlik 3'deki gibi modifiye edilmiş tünelcilik niteliği indeksinin sırayla A , B ve C faktörleriyle çarpılmasıyla bulunmaktadır.

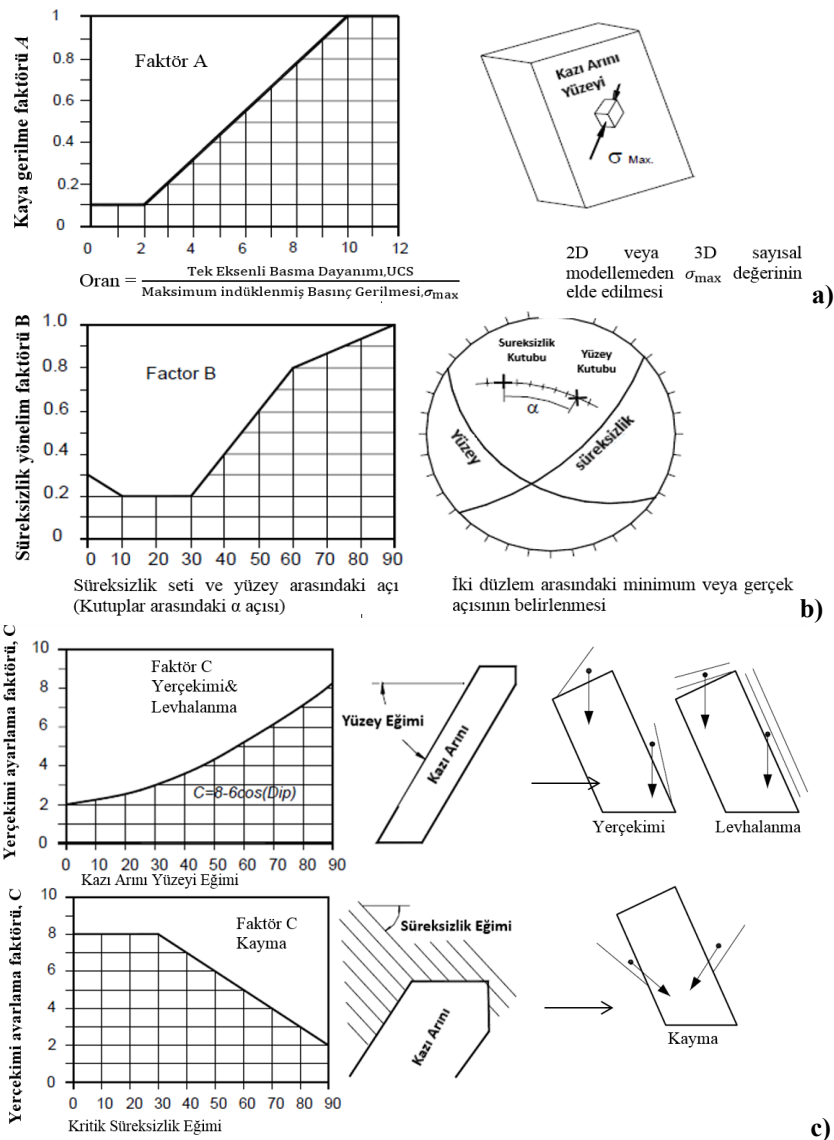
$$Q' = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \quad (2)$$

$$N' = Q' \times A \times B \times C \quad (3)$$

1.3. Modifiye Edilmiş Duraylılık Grafiği Yönteminin Girdi Parametreleri

Kaya gerilme faktörü A , başlangıçta orijinal Q sistemindeki [7] SRF yani gerilme indirgeme kat sayısı ile yer değiştirmek için tasarlanmıştır. SRF 'ye benzer bir şekilde bu faktör de sağlam (bozulmamış) kaya geriliminin, kazı arını üretildiğinde oluşacak indüklenmiş gerilmeye bölünmesi ile bulunmaktadır. Kaya gerilme faktörü

A 'nın hesaplanmasında, kaya kütlelerinin UCS değeri tek eksenli basınç dayanımı testi ve kazı arını yüzeyinin merkezinden ölçülen maksimum indüklenmiş gerilmesi *Phase2* gibi sayısal bir yazılım kullanılarak belirlenebilmektedir. Daha sonra Şekil 2.a'da gösterilen grafik yardımıyla A faktörü bulunmaktadır. A faktörünün değeri 1'e eşit olduğunda kazı arını yüzeyinin gerilme olmaksızın (relaxation) olduğu varsayılmaktadır.



Şekil 2. Duraylılık grafik yönteminin a. A faktörünün, b. B faktörünü ve c. C faktörünün belirlenmesi [4,6]

Süreksizlik yönelim faktörü B , her kazı arını yüzeyinin duraylılığını muhtemelen azaltacağı düşünülen süreksizlik setlerin yönelimini temel alan bir ağırlıklandırma faktörüdür. Kazı açıklığı yüzeyinin duraylılığı üzerinde kritik süreksizliklerin etkisi eğer doğrultu serbest yüzeye paralel ise en yüksek, tabakalar birbirine dik açıyla konumlanıyorsa en düşüktür. Süreksizlik seti ile bir kazı arınının serbest yüzeyi arasındaki açı elle veya *RocScience* yazılımları arasında bulunan DIPS gibi araçlar kullanılarak belirlenebilmektedir [9]. Şekil 2.b’de faktör B için geliştirilen grafik gösterilmektedir.

Yüzey tasarım yönelim faktörü C , kazı arını yüzeyinin duraylılığı üzerinde yer çekiminin etkisini hesaba katmak için geliştirilmiştir.

Yenilme tavandan yerçekimi kaynaklı olarak veya kazı arını yüzeylerinin kayma veya kavaklanmasıyla meydana gelebilmektedir. Potvin [6] hem yerçekimi hem de kavaklama yenilmelerinin kazı arını yüzeyinin eğim açısına bağlı olabileceğini söylemiştir. C faktörü belirlenmeden önce kaya kütleindeki eklem setlerinin varlığından kaynaklanan en olası yenilme türünün belirlenmesi gerekir. Faktör C burada düşey yüzeylerle maksimum 8 değerini alabilmektedir (Şekil 2.c). Kayma yenilmeleri ise kritik süreksizlerin eğim açısına bağlı olarak Şekil 2.c’de gösterildiği gibi değişmektedir. Bunlarla birlikte Çizelge 1 A, B ve C faktörlerinin değer aralıklarını göstermektedir.

Çizelge 1. Faktörlerin değer aralıkları [4]

Aralık	RQD/Jn	Jr/Ja	A	B	C	N'
Maksimum	0,5-200	0,025-5	0,1-1	0,2-1	2-8	0,0005-8000
Tipik	2,5-25	0,1-5	0,1-1	0,2-1	2-9	0,1- 1000

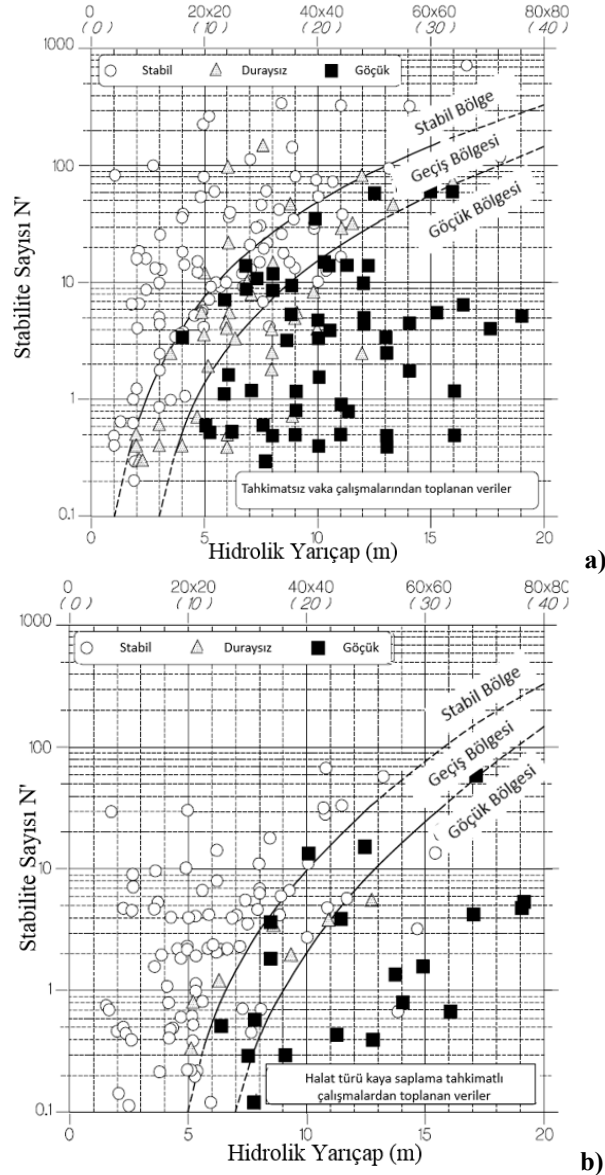
Hidrolik yarıçap: Duraylılık grafiği yönteminde yukarıda bahsedilen girdi parametrelerinin yanında hidrolik yarıçap tanımına da ihtiyaç bulunmaktadır. Hidrolik yarıçap Laubscher ve Taylor [10] tarafından kazı duraylılığı üzerindeki boyut ve şeklin ortaklaşa etkisini ortaya çıkarmak üzere tanımlanmıştır.

Bu çap analiz edilen kazı arını yüzeyinin kesit alanının bu yüzeyin çevresine olan oranıyla ifade edilmektedir ve genellikle kare şekillerden ziyade uzun ve dar şekilleri tercih etmektedir. Çoğu kazı arını şekli çok karmaşık olmadığından hidrolik yarıçapı değerlendirmek kolay olabilmektedir. Hidrolik yarıçap ve kazı alanı genişliği arasındaki ilişki Eşitlik 4 ve 5’deki bağıntılar ile tanımlanabilmektedir [11]. Burada “ HR ” hidrolik yarıçapı ve “ H ” ve “ L ” sırayla kazı arını yüzeyinin yükseklik ve uzunluğunu ifade etmektedir.

$$HR = \frac{(H)(L)}{2(H+L)} \quad (4)$$

$$L = \frac{2(H)(L)}{H-2(HR)} \quad (5)$$

Tahkimatsız açık kazı arınlarının duraylılığının grafiksel olarak belirlenebilmesi için Potvin [6] tarafından 175 ve Nickson [12] tarafından 13 vaka analizi ile Şekil 3.a’da gösterilen Duraylılık Grafiği çizilmiştir. Burada modifiye edilmiş duraylılık sayısı, “ N ” ve hidrolik yarıçap, “ HR ”, önceki bölümlerde belirtildiği gibi her vaka analizi için hesaplanmaktadır. Grafik üzerinde gösterilen duraylı kazı arınları çalışma süresi boyunca çok az veya hiç bozulma göstermemektedir. Duraysız kazı arınları, sınırlı yüzey yenilmeleri ve/veya yüzey alanının %30’undan daha azını içeren blok düşmeleri göstermektedir. Göçük kazı arınları ise kabul edilemez yenilmeler göstermektedir. Potvin [6] Şekil 3.a’da de gösterilen duraylı bölgeyi göçük bölgesinden ayırabilmek için iki bölge arasında bir geçiş bölgesi çizmiştir. Bu bölgenin üst sınırı, kazı arını tasarımında tahkimatsız sınırı temsil etmektedir.



Şekil 3. a. Tahkimatsız duraylılık grafiği [6,12], b. Tahkimatlı duraylılık grafiği [4]

2. KAZI ARINI DURAYLILIĞI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Mathews ve arkadaşları [3] tarafından duraylılık grafiğinin tanıtılmasından bu yana yöntem çok sayıda yazar tarafından çeşitli derinliklerde ve

kaya kütlesi koşullarında test edilip, orijinal veri tabanının da genişletilmesiyle tüm dünyada uygulanmaya başlamıştır. Yöntem bu tarihten itibaren tümü kazı arınlarının duraylılığını tahmin etme doğruluğunu arttırmayı amaçlayan birçok gelişme yaşamıştır. Bu gelişmeler duraylılık grafiği sayı faktörlerinin ve geçiş bölgelerinin yeniden tanımlanmasını, ayrıca yeni faktörlerin

eklenmesini içermektedir. Bununla birlikte halat tipi kaya saplama tasarımı gibi farklı amaçlar için de yıllar boyunca çeşitli tiplerde duraylılık grafikleri ortaya çıkmıştır. Bu bölümde duraylılık grafiği yöntemi için yapılan gelişmeler ve güncellemeler ele alınmıştır.

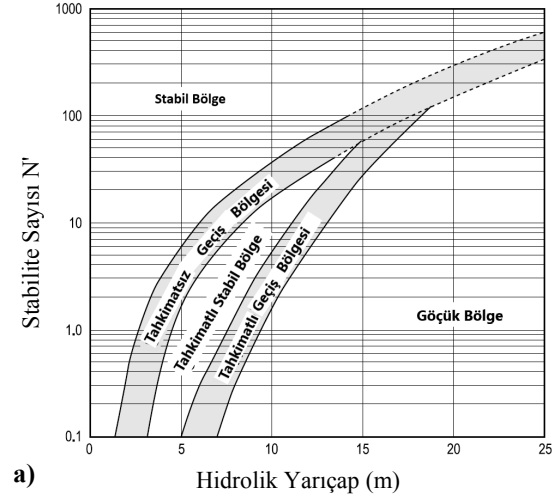
2.1. Duraylılık Grafiği Türleri

Daha önce de belirtildiği üzere, ilk kez Mathews ve arkadaşları [3] sınırlı veriyle (26 vaka analizi) şekil faktörüne (hidrolik yarıçap) karşı duraylılık sayısını (N) çizdirerek duraylılık grafiğini ortaya koymuşlardır (Şekil 1). Ardından Potvin [6] daha önemli bir veri tabanı oluşturarak (175 vaka analizi) ve girdi faktörlerini modifiye edilmiş duraylılık sayısını (N') oluşturmak için yeniden tanımlayıp, duraylı ve duraysız davranışlar arasındaki geniş geçiş bölgesini azalttığına yöntemin daha fazla kabul görmesi sağlanmıştır (Şekil 3.a).

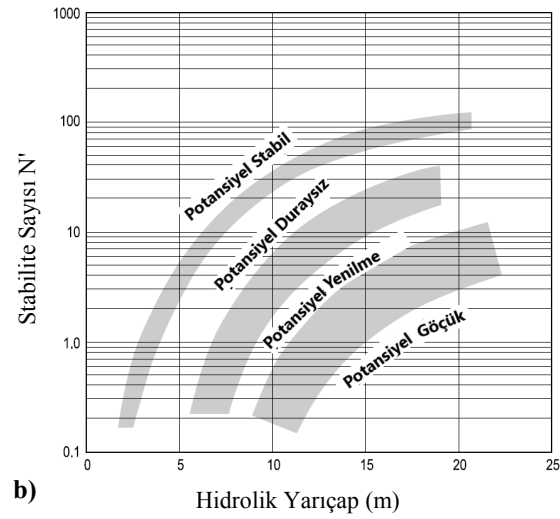
Açık kazı arını tasarımlarının yanında, halat türü kaya saplama desteği gereken kazı arını tasarım çalışmaları da bu süreçte hız kazanmıştır. Potvin [6] ve Potvin ve Milne [13], halat türü kaya saplamalarının kullanıldığı 66 kazı arını vaka analizini ele almışlardır. Ardından Nickson [12] bu veri tabanına 46 örnek vaka analizi daha eklemiştir (Şekil 3.b). Yazarlar halat türü kaya saplamalarının daha büyük sabit açıklıklara (daha büyük hidrolik yarıçaplara) yol açan gelişmiş duraylılık gösterdiklerini ortaya koymuşlardır. Bu veri tabanı kalite kontrolü gibi hususları dikkate almamakla birlikte, uygun bir halat türü kaya saplama etkinliğinin gösterilmesini sağlamaktadırlar [4].

Potvin [6] ve Nickson [12]'in istatistiksel yöntemler ve ek veriler kullanarak değiştirdiği halat türü kaya saplama etkinliği için bir sınır çizmiştir. Şekil 3.b' de çizilen üst eğri, güvenilir halat türü kaya saplama performansı sınırını temsil etmektedir. Bu çalışmadan sonra Nickson [12] halat türü kaya saplamalarının uygulanabilmesi durumunda yaratılan duraylı açıklıkları gösteren bir başka bölge daha eklemiştir (Şekil 4.a). Diederichs ve Kaiser [14] ise halat türü kaya saplama türünün, uzunluğunun ve aralığının

seçildiği detaylı halat türü kaya saplama tasarımı için duraylılık grafiğini kullanmışlardır.



a)



b)

Şekil 4.a Duraylılık Grafiği a. Nickson [12]'den, b. Stewart ve Forsyth [15]'den

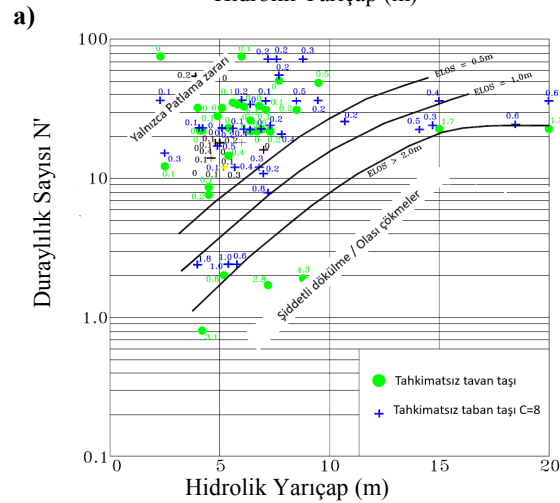
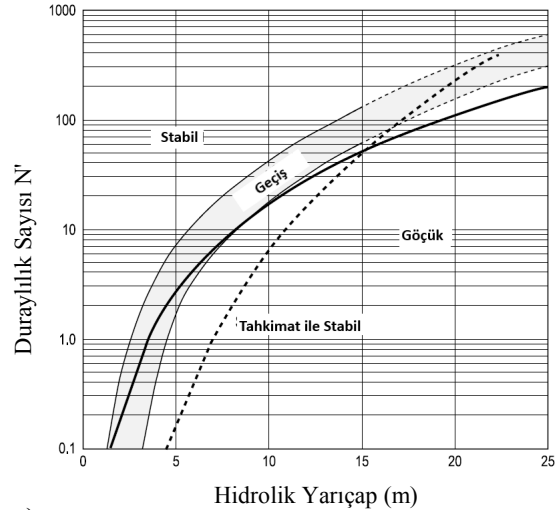
Stewart ve Forsyth [15], duraylılık grafiği yönteminde Potvin [6]'in tanımladığı tek geçiş bölgesinin oldukça hassas olduğu ve bu nedenle bir kazı arınının yanlışlıkla kesin duraylı veya kesin göçük bölgesinde tanımlayabileceğini ifade etmişlerdir. Ardından yazarlar deneyimlerine dayanarak, duraylılık bölgelerini kalitatif bir şekilde ancak seyrelme yüzdelerinin tahminlerine göre yeniden tanımlamışlardır. Stewart ve Forsyth

[15] duraylılık grafiğine potansiyel duraylı, potansiyel duraysız, potansiyel yenilme ve potansiyel göçme olarak tanımlanan dört bölge için üç sınır önermişlerdir (Şekil 4.b).

Stewart ve Forsyth [15] tarafından sunulan bu çalışmanın en önemli noktalardan biri tasarım yöntemlerinin, çok zayıf veya düşük kaliteli kaya kütlelerine sahip madenlerden çok az veriye dayanarak oluşturulmasıdır [2]. Bir diğer önemli nokta da her madenin benzer yöntemleri kullanırken fay gibi göz ardı edilebilecek faktörlerin bir sonucu olarak tahminlerden önemli sapmaların fark edilerek kendi tasarım çizgilerini yaratmalarını önermesidir. Hadjigeorgiou ve arkadaşları [16] duraylılık grafiğini, sağlam kayalarda tavan taşlarının tasarımını daha doğru şekilde göstermek amacıyla değiştirmişlerdir (Şekil 5.a). Yazarlar duraylı ve duraysız kazı arınları arasındaki geçiş bölgesini doğrulamak için bağımsız olarak istatistik analizleri kullanmışlar ve Potvin [6]'in tanımladığı geçiş bölgesinin yeterince doğru olduğu sonucuna varmışlardır.

Görüldüğü üzere geleneksel duraylılık grafiklerinde “kazı arını yüzey duyarlılığı” nitelik bakımından olarak duraylı, duraysız ve göçük olarak tanımlanmaktadır. Kazı arınlarının boyutlandırılması ve tahkimat tahmini yapılmasında bu bölgeler yeterli olsa da, seyrelme seviyelerinin miktarının tahmininde bunlar çok faydalı olamamaktadırlar. Nitekim madencilik faaliyetlerinde ne kadar seyrelme olacağı ve bunun ne kadarının kabul edileceği ile de ilgilenilmektedir. Bu amaçla Clark ve Pakalnis [17] ELOS (Equivalent Linear Over break\Slough) faktörünü kazı arını genişliğinden bağımsız olarak tanımlamışlardır. ELOS faktörü kazı arını yüzeyinden gelen dökülme (sloughing) hacminin hidrolik yarıçapa (HR) bölünmesiyle bulunmaktadır. Seyrelme grafiği (Şekil 5.b), ELOS değerlerinin modifiye edilmiş duraylılık grafiğinde gösterilmesi ve en uygun tasarım çizgilerinde hazırlanmasıyla geliştirilmiştir. Ayrıca yazarlar tarafından grafiğin topuk taşı durumlarını içerdiği ve esas olarak kaliteli kaya kütlelerinde bulunan çalışmalardan elde edildiği belirtilmektedir.

Bununla birlikte, patlatma hasarı 0,5 m sabit hasar değer varsayımıyla ELOS’da hesaba katılmaktadır. Ancak yazarlar sabit bir değer alınmasının oldukça basitleştirilmiş olduğunu ve bu konuda daha detaylı bir çalışma gerektiğini belirtmektedirler.

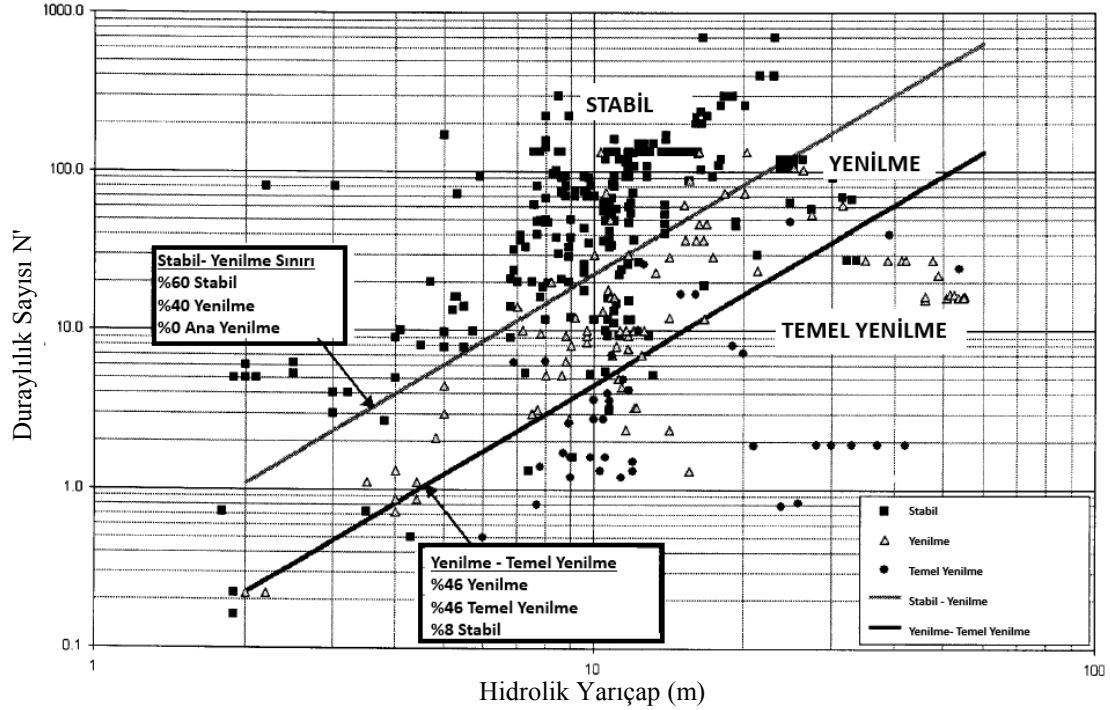


Şekil 5. a. Duraylılık grafiği [16], **b.** Seyrelme grafiği [17,18]

Bu çalışmaların yanı sıra Mawdesley ve arkadaşları [19] tarafından duraylılık bölgelerinin istatistiki olarak yerleşimini tanımlamak ve optimize etmek amacıyla, 400’den fazla vaka analizi içeren genişletilmiş veri tabanında lojistik

regresyon uygulanmıştır. Bu çalışmada tüm duraylılık sonuçları için eş olasılık kontur çizgileri üretilmiştir. Yazarlar lojistik regresyon kullanmanın avantajını, maksimum olasılık tahminleri kullanılarak yöntemde yansıtılan belirsizlikleri en aza indirmeye kabiliyeti olarak

açıklamaktadırlar. Bu yüzden Mathews [3] yönteminin kullanımıyla ilişkili riskleri ölçebilmektedirler. Genişletilmiş Mathews duraylılık grafiği (Şekil 6) [3] yeni verileri ve istatistiksel olarak belirlenmiş duraylılık bölgelerini içermektedir.

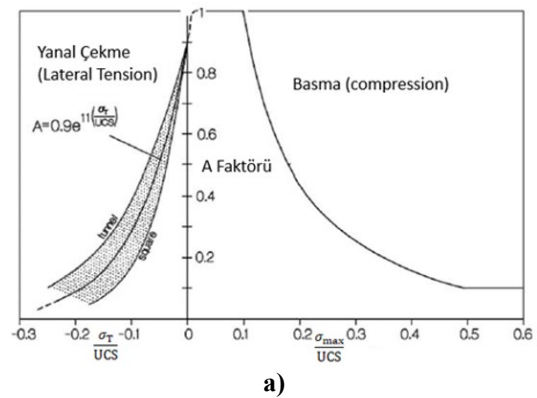


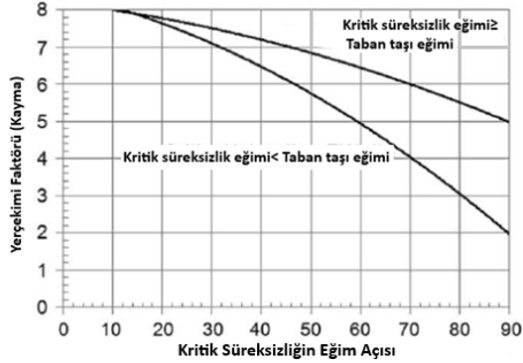
Şekil 6. Lojistik regresyona dayalı genişletilmiş duraylılık grafiği [19]

2.2. Duraylılık Grafiği Yönteminin Geliştirilen Faktörleri

Duraylılık sayısını oluşturan A, B ve C faktörleri ilk olarak Potvin [6] tarafından modifiye edilmiştir. Ardından yapılan çalışmalarda bu faktörlerden A ve C için yeni tanımlamalara ihtiyaç duyulmuş ve Diederichs ve Kaiser [14] tarafından A faktörü için bir gerilme (tension) bileşeni önerilmiştir (Şekil 7.a). Ancak önerilen yeni çizelgenin düzenlenmesi ve tamamen test edilmesi gerekmektedir [20]. Öte yandan yerçekimi faktörü (C) ilk tanımlandığında taban taşın ele alınmadığından Neumann [21] bu konudaki eksikliği gidermek amacıyla kayma türü

yenilmeler için yeni bir çizelge hazırlamıştır (Şekil 7.b).





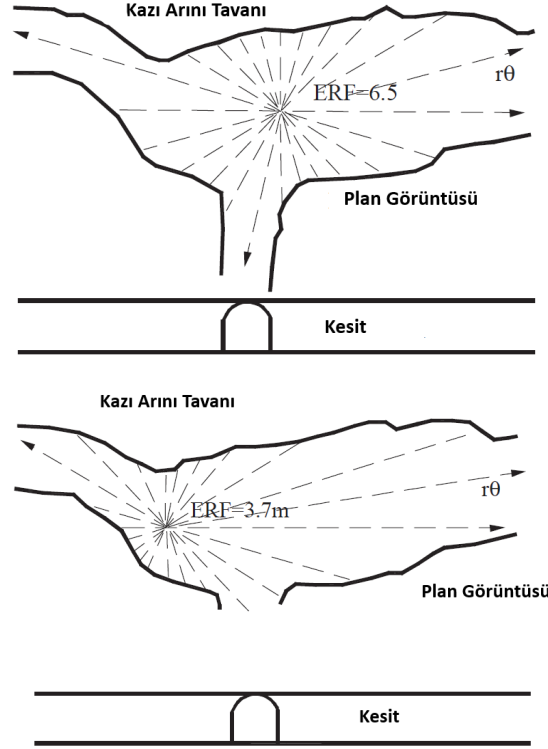
Şekil 7. Modifiye edilmiş grafiğin geliştirilen, a. A faktörü ve b. C faktörü [20].

Q' sisteminde fay yapısı tanıtılmadığından, geleneksel duraylılık grafik yönteminde de madencilik açısından oldukça önemli bu ölçüt göz ardı edilmektedir. Bu amaçla Suorineni ve arkadaşları [22] duraylılık sayısına Eşitlik 6'da gösterildiği gibi yeni bir fay faktörü eklemiştir. Duraylılık sayısı, seyrelmeye oldukça etkisi olacağından fay olduğu düşünülen bölgelerde bu faktörü de hesaba katarak ve yazarların oluşturduğu çizelge kullanılarak hesaplanabilir.

$$N'_f = Q' \times A \times B \times C \times F \quad (6)$$

Hidrolik yarıçap faktörünün kazı arınının karmaşık geometrilerinde kullanıldığında yetersiz performans gösterdiği düşünülmektedir. Bu amaçla tasarımda basit düzlemsel biçimlerden önemli ölçüde ayrılan kazı arını yüzeyleri için Eşitlik 7'de gösterilen yarıçap faktörü (ERF) önerilmiştir [23]. Burada r_θ kazı arını yüzeyinden θ açısında kenarlara olan uzaklığı ifade etmektedir (Şekil 8). Planlama aşamasında basitçe tanımlanan kazı arını geometrileri patlatma çalışmasına ve delme doğruluğuna bağlı olarak karmaşık bir hale gelebilmektedir. Bu nedenle kazı arını duraylılığını tanımlamada bu faktör eğer gerçek kazı arını geometrisi tahmin edilebiliyorsa daha pratik olabilmektedir.

$$ERF_{\max} = \frac{0,5}{\frac{1}{n} \sum_{\theta=1}^n \frac{1}{r_\theta}} \quad (7)$$



Şekil 8. Hesaplanan ERF faktörü değerini gösteren düzensiz kazı arını tavanları [23]

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Açık kazı arınlarının tasarlanmasında genel olarak *analitik*, *sayısal* veya *ampirik* yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden ampirik çalışmalar, yenilme mekanizmalarının gözlemlenmesi ile ortaya çıkan yenilme ve duraylı kalma durumları gibi geniş deneyimlerden elde edilen bir yenilme ölçütüne dayanmaktadır. Burada kaya kütlesi karakterizasyon verileri (RQD vb) ve açıklık geometrisi ölçümleri vaka çalışmaları için incelenmekte, böylece doğrudan ölçümler kullanılmadan duraylılığı etkileyen önemli unsurlar ortaya konulabilmektedir. Bu bakımdan ampirik tasarım tekniklerinin, kolay bir şekilde toplanabilen saha verileri gerektirdiğinden çok etkili araçlar oldukları bilinmektedir [2].

Ampirik bir yöntem olan ve jeoteknik verilerden yararlanılan "duraylılık grafik yöntemi" açık kazı

arını tasarımı için tanımlandığı günden bugüne, çok sayıda değişim ve gelişim göstererek bugün oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Başlangıçta yalnızca 3 madenden elde edilen 26 veriyle yapılan çalışmalar, zaman içinde 400'den fazla verinin oluşturduğu veri tabanına ulaşmıştır. Vaka çalışmalarının, yani veri sayısının artması da yöntemle olan güveni artırmıştır. Bunun yanında orijinal duraylılık grafiğinin önemli bir bileşeni olan “duraylılık sayısı N” üzerinde de, artan vaka çalışmalarıyla orantılı bazı değişimler yaşanmış ve “modifiye edilmiş duraylılık sayısı N” tanımlanmıştır. Günümüzde kazı arını tasarımı için farklı madenlerde bu iki duraylılık sayısı (N veya N') tamamen tercihe bağlı olarak seçilmektedir.

Çeşitli çalışmalarla orijinal ve modifiye edilmiş duraylılık grafiklerinde bazı sınırlamalar da ortaya konulmuştur. Bunlardan en önemlileri; üretim topuklarındaki kayma yenilmelerinin ağırlık faktörü C ile zayıf bir şekilde temsil edilmesi, stres faktörü A'nın gerilimden (tension) kaynaklanan dengesizlikleri hesaba katamaması, karmaşık kazı arını geometrilerinin çoğu zaman basitleştirilmesi, kötü patlatma etkilerinin genellikle göz ardı edilmesi ve duraylılık grafik bölgelerinin tanımlanmasındaki öznellik olarak sıralanmaktadır. Bu çalışma, özellikle değişen duraylılık grafik bölge tanımlarına ve güvenilirliği artırmak için bahsedilen bu sınırlamaların etkilerini azaltmaya yönelik çalışmalar üzerine bir literatür sunmaktadır. Sonuç olarak yazarlar sınırlamaların azaltılmasına yönelik çalışmalar ve farklı duraylılık grafiklerinin, ilgilenilen çalışmanın amacına bağlı olarak dikkatle seçilmesini önermektedirler.

Duraylılık grafikleri ile ilgili literatürde sunulan eksikliklere, düşük kaliteli kaya kütleleri için önemli veri eksikliği olduğu da eklenmelidir. Ayrıca, Suorineni [20] duraylılık grafiği yaklaşımının dar damarlı madenler için çalışmadığını belirtmektedir. Bu sebeplerle yöntemin geliştirmesi amacıyla gelecekteki çalışmalar bahsedilen konulardaki eksikliği gidermeye yönelmelidir. Son olarak, yeni eklenen faktörlerin (örneğin fay faktörü) ölçümünün, sadece sahaya özgü düzeltme faktörleri olarak

ortaya çıkmasından dolayı bu konularda daha detaylı çalışmalara gerek duyulmaktadır.

4. KAYNAKLAR

1. Barton, N., 1988. Rock Mass Classification and Tunnel Reinforcement Selection Using the Q-System, L. Kirkaldie, Editor. ASTM International: West Conshohocken, PA. 59-88.
2. Capes, G.W., Open Stope Hangingwall Design Based on General and Detailed Data Collection in Rock Masses With Unfavourable Hangingwall Conditions, Ph.D Thesis. 2009, in the Department of Geological and Civil Engineering University of Saskatchewan Saskatoon.
3. Mathews, K.E., Hoek, E., Wyllie, D.C., Stewart, S.B.V., 1981. Prediction of Stable Excavation for Mining at Depth Below 1000 m in Hard Rock. CANMET Report, DSS Serial No: 0sQ80-00081., Ottawa, 1981.
4. Hutchinson, D.J., Diederichs, M.S., 1996. Cablebolting in Underground Mines. Vol. 477. BiTech Publishers Richmond, BC.
5. Potvin, Y., Hadjigeorgiou, J., 2001. The Stability Graph Method for Open-stope Design. Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals International Case Studies. Society of Mining, Metallurgy Exploration, Shaffer Parkway, Littleton, CO 80127, USA, 513-520.
6. Potvin, Y., 1988. Empirical Open Stope Design in Canada, Ph.D Thesis. 1988, Vancouver: Dept Mining & Mineral Processing, University of British Columbia.
7. Barton, N., Lien, R., Lunde, J., 1974. Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. Rock Mechanics, 6(4), 189-236.
8. Karpuz, C., Hindistan, M.A., 2006. Kaya mekaniği: ilkeleri, uygulamaları. TMMOB Maden Mühendisler Odası. 233-247.
9. QueensMineDesignWiki, Stability Graph Method. Retrieved from http://minewiki.engineering.queensu.ca/media/wiki/index.php/Stability_Graph_Method, 2019.
10. Laubscher, D., 1977. Geomechanics Classification of Jointed Rock Masses-mining

- Applications. Trans. Instn. Min. Metall, 86, A1-8.
11. Villaescusa, E., 2014. Geotechnical Design for Sublevel Open Stopping. CRC Press. 207-209.
 12. Nickson, S.D., 1992. Cable Support Guidelines for Underground Hard Rock Mine Operations, M.A.Sc. Thesis. University of British Columbia.
 13. Potvin, Y., Milne, D., 1992. Empirical Cable Bolt Support Design. in Proceedings of International Symposium on Rock Mechanics. Sudbury, ON, Canada.
 14. Diederichs, M., Kaiser, P., 1999. Stability of Large Excavations in Laminated Hard Rock Masses: the Voussoir Analogue Revisited. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 36(1), 97-117.
 15. Steward, S., Forsyth, W., 1995. The Mathews Method for Open Stop Design. CIM Bull, 88, 45-53.
 16. Hadjigeorgiou, J., Leclair, J., Potvin, Y., 1995. An Update of the Stability Graph Method for Open Stope Design. CIM Rock Mechanics and Strata Control session, Halifax, Nova Scotia, 14-18.
 17. Clark, L., Pakalnis, R., 1997. An Empirical Design Approach for Estimating Unplanned Dilution from Open Stope Hangingwalls and Footwalls. in Presentation at 99th Canadian Institute of Mining annual conference. Vancouver, BC.
 18. Clark, L.M., 1998. Minimizing Dilution in Open Stope Mining With a Focus on Stope Design and Narrow Vein Longhole Blasting, M.A.Sc. Thesis. University of British Columbia.
 19. Mawdesley, C., Trueman, R., Whiten, W., 2001. Extending the Mathews Stability Graph for Open-stope Design. Mining Technology, 110(1), 27-39.
 20. Suorineni, F.T., 2010. The Stability Graph After Three Decades in Use: Experiences and the Way Forward. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 24(4), 307-339.
 21. Neumann, M., 1999. Stability Graph Design Method-A Mining Operator's Guide. in CIM Mine Operators' Conference. Bathurst, New Brunswick.
 22. Suorineni, F., Tannant, D., Kaiser, P., 1999. Fault Factor for the Stability Graph Method of Open-stope Design. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy Section A-Mining Industry, 108, A92-A104.
 23. Milne, D., Pakalnis, R., Grant, D., Sharma, J., 2004. Interpreting Hanging Wall Deformation in Mines. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 41(7), 1139-1151.

Üretim Parametrelerinin Hidroksiapatit Tozlarının Özellikleri ve Kaplama Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Önder ALBAYRAK^{*1}, Mehmet İPEKOĞLU², Sabri ALTINTAŞ³

¹Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mersin

²Türk-Alman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul

³Boğaziçi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Geliş tarihi: 30.04.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Biyomedikal uygulamalarda yaygın olarak kullanılan metal implantlar, çevre dokularla hızlı ve sağlıklı entegrasyonun sağlanması amacıyla, biyouyumluluğu yüksek malzemeler ile kaplanmaktadır. Kaplama malzemeleri arasında, yüksek biyouyumluluğa sahip olması ve kemiğin anorganik fazına büyük ölçüde benzer özellikler taşıması nedeniyle, hidroksiapatit özellikle tercih edilmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmada, kaplama amacıyla kullanılmak üzere asit-temelli sentez yöntemiyle nano boyutta hidroksiapatit (HA) tozları üretilmiş, elde edilen HA tozları elektroforetik depozisyon yöntemi ile Ti6Al4V metal ana yapı üzerine kaplanmıştır. HA sentezi aşamasında uygulanan reaksiyon sıcaklığı ve yaşlandırma süresi parametrelerinin üretilen tozların parçacık boyutu, toz morfolojisi ve ısıl kararlılığı üzerindeki etkileri incelenmiş; kullanılan tozların özelliklerinin sinterleme aşaması öncesinde gerçekleştirilen kaplamalarda çatlak oluşumuna etkileri belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda reaksiyon sıcaklığı ve yaşlandırma parametrelerinin, HA fazı oluşumu ve HA'nin yüksek sıcaklıktaki kararlılığı üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı görülmüştür. 1200 °C'de gerçekleştirilen sinterleme işleminin, 1000 °C'de gerçekleştirilen sinterleme işlemine kıyasla HA'nin ısıl dekompozisyonuna olumsuz bir etkisi olmadığı belirlenmiş, bu nedenle kaplama dayanımını arttırmak amacıyla sinterleme işleminin 1200 °C'de gerçekleştirilmesinin mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Üretilen HA tozlarının yaşlandırma süresinin artmasıyla, sinterleme öncesi çatlak oluşumunda belirgin bir azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidroksiapatit, Parçacık boyutu, Toz morfolojisi, Isıl kararlılık, Yaşlandırma, Kaplama

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Önder ALBAYRAK, albayrakonder@mersin.edu.tr

Investigation of the Effects of Production Parameters on the Hydroxyapatite Powder Properties and Coating Quality

Abstract

Metal implants that have been widely used in biomedical applications are coated with materials having superior biocompatibility in order to facilitate fast and successful integration with the surrounding tissue. Hydroxyapatite (HA) is especially preferred among the coating materials having a high biocompatibility and similar properties to the organic phase of bone. In this study, nano sized HA powder was produced using acid-base method in order to be used as coating material. Produced powders were coated on Ti6Al4V metal substrates using electrophoretic deposition technique. Effects of reaction temperature and aging duration on the particle size, powder morphology and thermal stability of the powders have been investigated, effects of powder properties on the crack formation before sintering have been determined. Experiments showed that reaction temperature and aging duration do not have a significant effect on the formation of HA and high temperature stability of the HA phase. Thermal treatment conducted at 1200 °C does not have a negative effect on the decomposition of HA compared to the thermal treatment conducted at 1000 °C. Therefore, it is concluded that sintering step which will be conducted in order to obtain coating adhesion may be completed at 1200 °C. It was found that crack formation in the coating before sintering significantly decreases with the increase in aging duration.

Keywords: Hydroxyapatite, Particle size, Powder morphology, Thermal stability, Aging, Coating

1. GİRİŞ

Biyomedikal implantlar, hastalık, yaralanma ve benzer sebeplerle oluşan sorunların giderilmesi ve hastanın yaşam kalitesinin artırılması amacıyla tıbbi uygulamalarda uzun süredir yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğru ve yerinde gerçekleştirilen implant uygulamaları, hastaların maruz kaldığı fiziksel acıyı ve bundan doğan psikolojik yükü azaltmakta, tıbbi bakıma muhtaç olmaksızın hayatlarını devam ettirmelerine imkan vermektedir. Bu yönüyle implant uygulamaları tıbbi bir sorunun giderilmesi ve hasta tatmini açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, implant uygulamasını gerekli hale getiren tıbbi durumlardan kaynaklanan işgücü kaybının da önüne geçerek hastaların tekrar yeterli ve üretken bir biçimde gündelik hayatlarına dönebilmelerine ve iş hayatına katılabilmelerine imkan vermektedir. Bu nedenlerden ötürü implant uygulamaları, hem hasta ve hasta yakınları hem de toplum ve ekonomik hayat açısından önem arz etmektedir. İmplantların sahip olduğu bu yaygın etkiler nedeniyle implant üretimine yönelik araştırmalar hız kazanmakta, elde edilen gelişmeler

neticesinde implant üretimi artmakta ve buna bağlı olarak implant sektörü kayda değer biçimde büyümektedir. Barındırdığı ileri teknoloji, sahip olduğu katma değer, ihracat potansiyeli ve dış bağımlılığı azaltma konularında implant sektörü ülkemiz için de giderek artan ölçüde önem kazanmaktadır. Bu yönüyle implantların geliştirilmesi ve ticarileştirilmesi konularındaki araştırma ve çalışmalar ülkemizin stratejik ve ekonomik hedefleriyle örtüşmektedir.

İmplant uygulamaları içerisinde, metal implantlar önemli bir yer tutmaktadır. Metal implantın başarısı, büyük oranda implantın çevre dokularla entegrasyonuna bağlıdır. Bu nedenle, implantın biyouyumluluğunun artırılması önem taşımaktadır. Bu amaca yönelik olarak, kullanılan metal implantın, biyouyumluluğu yüksek bir malzeme ile kaplanarak çevre dokularla hızlı ve uyumlu bir şekilde entegrasyonunun sağlanmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Sahip oldukları yüksek biyouyumluluk nedeniyle biyoseramikler, kaplama malzemesi olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Biyoseramikler arasında kemiğin anorganik fazına önemli ölçüde benzer

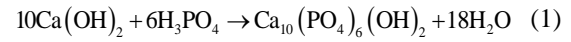
özellikler taşıması ve bu sayede yüksek biyouyumluluğa sahip olması nedeniyle, hidroksiapatit (HA) kullanımı öne çıkmaktadır.

Ortopedi ve diş implantları gibi yüksek mekanik dayanım gerektiren biyomedikal uygulamalarda Ti, Ti6Al4V ve 316L paslanmaz çelik gibi metal implantlar yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Metal implantların mekanik avantajları ile HA'nin biyouyumluluğunu birleştirmek amacıyla, metal implantların HA ile kaplanması konusunda kapsamlı çalışmalar yürütülmektedir [2-5]. İmplantların yüksek biyouyumluluğa sahip HA ile kaplanması, implantın kemiğe daha hızlı ve kararlı tutunmasını, kemikle implant arasında güçlü bir bağ oluşturulmasını ve kemik-implant ara yüzeyinde hızlı ve düzenli kemik büyümesini sağlamaktadır. Aynı zamanda metal iyonlarının implanttan çözünerek vücuda geçmesini de önemli oranda önlemektedir.

HA, $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$, kemiğin anorganik fazına kimyasal açıdan önemli ölçüde benzemesi ve bu sayede sahip olduğu yüksek biyouyumluluk sayesinde biyomalzemeler içinde ön plana çıkmaktadır. HA, özellikle kemik ve diş gibi sert dokuların içerisinde toz halde dolgu malzemesi olarak, sinterlenmiş haliyle doğrudan ve metal implantların biyouyumluluğunun artırılması amacıyla kaplanmalarında kullanılmaktadır [6]. İçinde kemik büyümesi amaçlanan uygulamalarda gözenekli, mekanik dayanımın öne çıktığı uygulamalarda ise yoğun yapıda HA tercih edilmektedir. Araştırma sonuçları yoğun yapıdaki HA'nin mekanik dayanımının büyük oranda sinterleme sıcaklığına [7] ve parçacık boyutuna [6] bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Mekanik dayanımın artırılması ve yoğun yapı elde edilmesi amacıyla gerçekleştirilen sinterleme işlemi esnasında HA, ısı dekompozisyona uğrayıp trikalsiyum fosfata (TCP), $Ca_3(PO_4)_2$, dönüşebilmektedir [8]. pH değeri 4,2'den yüksek ortamlarda kararlı yapısını koruyan HA, vücut içinde çözünmeden kalabilmesine rağmen, TCP söz konusu ortamlarda kararlı yapısını koruyamayıp belirli süre sonra çözünmekte ve vücut tarafından emilmektedir [9]. Bu durum, kullanılan HA'nin mekanik dayanımını düşürmesi ve aynı zamanda çevre dokularla entegrasyonunu

güçleştirmesi nedeniyle implant uygulamalarında tehlike arz etmektedir [10].

Literatürde HA üretimi amacıyla; kimyasal sentez (kimyasal çöktürme), sol-jel, sprey-piroliz, hidrotermal sentez, emülsiyon işlemi ve mekanokimyasal yöntem gibi çok sayıda ve farklı yöntem bildirilmektedir. Ancak günümüzde kullanılan bu yöntemler içerisinde; işlem adımlarının sadeliği, düşük işlem sıcaklığı, ürün kalitesi ve verim açısından kimyasal sentez yöntemi öne çıkmaktadır [11-13]. Sıvı ortamda kimyasal çöktürme yöntemleri içinde asit temelli metot, istenmeyen ürünlerin ortaya çıkmaması, HA haricinde yalnızca su oluşması dolayısıyla öne çıkmaktadır [12,14,15] (Eşitlik 1):



Söz konusu metodun başarısındaki en önemli etken, reaksiyon sırasında pH seviyesinin hassas biçimde kontrol edilmesidir. pH değerinin 9'un altına inmesi durumunda kalsiyum monofosfat, 7'nin altına inmesi durumunda kalsiyum dihidrat oluşmaktadır [16]. Bu amaçla, reaksiyon süresince çözeltinin pH değerinin sürekli olarak gözlemlenmesi ve ayarlanması önemlidir.

Literatürde kimyasal sentez yöntemi ile HA eldesinde, reaksiyon süresi [17], reaksiyon sıcaklığı [17], asit ekleme hızı [16], çökelti kurutma hızı [16] parametrelerinin, elde edilen HA tozunun parçacık boyutu ve morfolojisi üzerinde belirgin etkileri olduğu rapor edilmiştir. Saeri ve arkadaşları [17], yaşlandırma sonucunda parçacık boyutunda artış olduğunu ve üretilen HA parçacık boyutlarının birbirlerine yaklaştığını gözlemlemiş, ayrıca çökeltme işleminin verimliliğinin arttığını belirtmişlerdir. Wei [18], uzun yaşlandırma süreleri ve ardından ısıtma işlemleri ile HA tozunun şekilsel ve boyutsal benzerliğinin arttığını, bu şekilde elde edilen homojen morfolojide tozların kullanımıyla yapılan elektroforetik kaplamanın kalitesinin arttığını vurgulamaktadır.

Metal implant yüzeylerine biyoseramik ve özel olarak HA kaplama konusunda değişik yöntemler uygulanmasına rağmen elektroforetik depozisyon

yöntemi en etkili ve verimli yöntemlerden birisidir [19]. Bu yöntem, kaplama düzeneğinin kurulumundaki kolaylık, düşük ekipman maliyeti ve implantlarda sıklıkla karşılaşılan kompleks geometrideki yapıların kaplanmasıdaki belirgin avantajlarıyla öne çıkmaktadır. Aynı zamanda yaklaşık 1 mm/dak gibi yüksek hızlarda kaplama yapılmasına imkan vererek ticari olarak da uygulanabilir bir üretim yöntemi ortaya koymaktadır [19]. Elektroforetik depozisyon parametrelerinin, kaplamada kullanılan parçacıkların boyutunun ve şekillerinin doğru biçimde ayarlanması ile kaplama morfolojisinin kontrolü sağlanabilmektedir. Kaplama süresi ve kaplama voltajı gibi parametrelerin değiştirilmesi ile kaplama kalınlığı istenilen şekilde ayarlanabilmektedir [18,19].

Elektroforetik depozisyon, doğru akımla elde edilen elektrik alanının kaplama süspansiyonuna uygulanmasıyla, süspansiyon içindeki kaplama malzemesinin kaplama yüzeyine hareketini ve tutunmasını sağlayan bir kaplama yöntemi olup; iki aşamalı koloidal bir işlemdir. İlk aşamada, kararlı süspansiyon içerisinde elektriksel olarak yüklenmiş seramik parçacıklar, uygulanan elektrik alanının etkisiyle elektrotlardan birine doğru hareket ederler. İkinci aşamada ise bu parçacıklar kaplanmak istenen metal yapı üzerine tutunarak kaplamayı meydana getirirler [20,21].

Elektroforetik depozisyon yöntemiyle metal implantın yüzeyinde oluşturulan HA tabakanın bağlanma dayanımının artırılması amacıyla sinterleme işlemi gerekli olmaktadır. Mekanik dayanımı arttırmak amacıyla uygulanan sinterleme işlemi, doğası gereği bir takım sorunları da kaçınılmaz olarak beraberinde getirmektedir. İlk olarak, sinterleme aşamasında maruz kalınan yüksek sıcaklıklar nedeniyle kaplama malzemesi olan HA tabakasında ısıl dekompozisyon gözlemlenebilmekte [22,23], bu durum kaplama kalitesini düşürerek kaplama dayanımını olumsuz etkilemektedir. Bu durumun, yalnızca HA'nın ısıl kararlılığı ile ilgili olmayıp sinterleme işleminin gerçekleştirildiği yüksek sıcaklıklarda metal yüzeyden HA tabakaya doğru meydana gelen olası iyon transferini de pekiştirdiği düşünülmektedir. Böylece sinterleme sonrasında, kaplamayı

meydana getiren HA tabakasında dekompozisyon ve metalden kaynaklı yabancı iyonlar gözlenebilmektedir. Ayrıca sinterleme sırasında HA tabakasında meydana gelen büzüşmeler çatlak oluşumuna sebebiyet vermektedir. Buna ek olarak kaplanan metal yüzey ile kaplama malzemesi olan HA'nın ısıl genleşme katsayıları arasındaki farklılık, sinterleme işlemindeki ısınma ve soğuma döngüsü sırasında çatlak oluşumuna zemin hazırlamaktadır [18,23,24].

Yürütülen bu çalışmada kaplama işleminde kullanılacak olan tozların sentezlenmesi aşamasında uygulanan parametrelerin, mümkün olduğunca düşük oranda çatlak içeren bir kaplama eldesi üzerindeki etkileri incelenmiş; çatlak oluşumunu kontrol etmeye yönelik olarak uygun sentezleme parametreleri belirlenmiştir. Üretilen kaplamalarda meydana gelen çatlak oluşumu, kaplama kalitesini doğrudan etkilemekte; implantasyona uygun bir kaplama eldesi ancak homojen ve çatlaksız bir kaplama ile mümkün olabilmektedir. Salt kaplama işlemi, mekanik olarak dayanıklı bir kaplama için yeterli olmadığından, gerçekleştirilen kaplamanın dayanımı kaplama işlemini takibeden sinterleme işlemi ile sağlanmaktadır. Sinterleme aşamasında oluşan çatlaklar, kaplama kalitesini etkilemekte ve kullanılabilir nitelikte bir kaplama üretimini güçleştirmektedir. Bunu önlemek amacıyla sinterleme öncesinde, mümkün olduğunca az çatlak içeren bir kaplama elde edilmesi ve bu kaplamada oluşan çatlakların kontrolüne yönelik deneyler gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Kaplamada Kullanılacak Nanoboyutta HA Sentezi ve Karakterizasyonu

Gerçekleştirilen çalışmada, asit temelli yöntem kullanılarak HA sentezinde kalsiyum kaynağı olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (~%99, Merck, Almanya), fosfat kaynağı olarak H_3PO_4 (%85, Merck, Almanya) kullanılmıştır [18,25]. İlk olarak, 5,0 g $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kullanılarak 200 ml deiyonize su içerisinde süspansiyon hazırlanmıştır. Hazırlanan süspansiyon ısıtıcı manyetik karıştırıcı üzerinde farklı sabit sıcaklıklarda (40, 60, 80, 100 °C)

bekletilmiştir. Isıtcılı manyetik karıştırıcı üzerinde sabit hızda karıştırma işlemi devam ederken, çözelti pH'nın 9,5'in altına düşmemesine özen gösterilerek, 4,669 g sıvı H_3PO_4 yavaş biçimde $Ca(OH)_2$ süspansiyonuna ilave edilmiştir. Çöktürme işlemi sırasında karıştırma ve yaşlandırma aşamalarının, elde edilen HA tozunun parçacık boyutu üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla farklı karıştırma (2, 10 ve 20 gün) ve yaşlandırma (2, 10 ve 20 gün) zamanları uygulanmıştır. Buna göre; hazırlanan numunelerin bazıları tüm yaşlandırma süresi boyunca karıştırılırken diğer numuneler 2 gün boyunca karıştırılmış, ardından karıştırma olmaksızın yaşlandırmaya tabii tutulmuştur. Son olarak elde edilen çökelti her seferinde 500 ml deiyonize su kullanılarak 5 kez "santrifüj (2500 rpm, 4 dakika)-dekantasyon-deiyonize su ekleme (500 ml)-karıştırma (manyetik karıştırıcı üzerinde 10 dakika)" yapılarak yıkanmıştır. Son santrifüj işlemi takiben çökelti 24 saat boyunca 100 °C'de etüvde kurutulmuş ve agat havanda öğütülmüştür. Farklı reaksiyon sıcaklıkları, karıştırma ve yaşlandırma süreleri uygulanarak üretilen HA tozlarına ait parametreler ve bu numunelere ait kodlandırmalar Çizelge 1'de belirtilmiştir.

Çizelge 1. HA sentezlenmesi aşamasında uygulanan reaksiyon sıcaklıkları ile karıştırma ve yaşlandırma süreleri

Numune Adı	Reaksiyon Sıcaklığı (°C)	Karıştırma Süresi (gün)	Yaşlandırma Süresi (gün)
40C-2K-2Y	40	2	2
40C-2K-10Y	40	2	10
40C-10K-10Y	40	10	10
40C-2K-20Y	40	2	20
40C-20K-20Y	40	20	20
60C-2K-2Y	60	2	2
80C-2K-2Y	80	2	2
100C-2K-2Y	100	2	2

Farklı üretim parametreleri kullanılarak üretilen HA tozları, ısıl dekompozisyon karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla açık atmosfer altında kamara fırınında (Protherm PLF 130/45, Türkiye) 2 saat süreyle 5 °C/dak ısıtma ve soğutma hızıyla 1000 ve 1200 °C'de ısıtılmış, elde edilen numuneler faz oluşumları ve dekompozisyonun

belirlenmesi amacıyla X-ışın kırınımı (D/Max-Ultima, Rigaku, Japonya) kullanılarak incelenmiştir. XRD verileri oda sıcaklığında, 10°-60° (2θ) aralığında ve 5°/min tarama hızında elde edilmiştir. Ayrıca üretilen tozların parçacık boyutları, toz morfolojileri ve topaklanma davranışlarının belirlenmesi amacıyla taramalı elektron mikroskobu (Supra 35VP, Leo, Almanya) incelemeleri ve parçacık boyutu ölçümleri (Nano-ZS model, Malvern, İngiltere) gerçekleştirilmiştir. Parçacık boyutu analizleri, yaş ortamda etanol kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.2. Elektroforetik Depozisyon Yöntemi ile Ti6Al4V Üzerine HA Kaplama Eldesi ve Karakterizasyonu

Elektroforetik kaplama işleminde kullanılacak süspansiyonun hazırlanması için, sentezleme sonrası kurutulmuş olan HA tozları kullanılmıştır. Bu amaçla 250 ml etanol içerisine 2,5 g HA tozu eklenerek hazırlanan süspansiyon 15 dakika boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırılmış, ardından 30 dakika boyunca bekletilmiştir. Bu sürenin ardından dekante edilen süspansiyon kaplama işleminde kullanılmak üzere başka bir behere aktarılmıştır. Bu süspansiyonun, pH 3-12 aralığında zeta potansiyel ölçümleri (Nano-ZS model, Malvern, İngiltere) yapılarak kaplama için uygun pH değeri belirlenmiştir. pH değeri, gerekli miktarda derişik HCl ve NaOH çözeltileri kullanılarak ayarlanmış, ardından kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kaplama aşamasında, kaplama süspansiyonu içine birbirlerine paralel olarak daldırılan, güç kaynağına bağlı Ti6Al4V elektrotlar arası mesafe 1 cm olacak şekilde ayarlanmıştır. Elektrotlara 60 sn boyunca 100 V uygulanmak suretiyle kaplama yapılmıştır. Anot ve katot olarak 25 × 75 mm boyutlarında Ti6Al4V kullanılmış, süspansiyon içindeki HA tozlarının pozitif yüklü olmasından dolayı, katot üzerinde kaplama gerçekleşmiştir.

Kaplama aşamasında kullanılan elektrotlar, Ti6Al4V plakadan lazer kesme ile elde edilmiş olup; 240-1000 grit arası SiC zımpara kağıtları kullanılarak zımparalanmış, 30 dakika boyunca mutfak deterjanı çözeltisi içerisinde yıkanmış,

devamında 15 dakika boyunca aseton içinde ve son aşama olarak hacmen %25'lik nitrik asit (%65 Merck, Almanya) çözeltisi içerisinde 12 saat boyunca bekletilmiş, ardından destile su ile yıkanmıştır. Elde edilen elektrotlar etanoldan geçirilip kurumaya bırakılmalarının ardından kaplamada kullanılmıştır.

Kaplama sonrasında elde edilen numuneler 80 °C'de 12 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır. Bu şekilde elde edilen HA kaplı Ti6Al4V numuneler, kaplama malzemesi olarak kullanılan HA'nın üretim parametrelerinin kaplamada çatlak oluşumuna etkisinin belirlenmesi amacıyla SEM incelemesine tabi tutulmuştur.

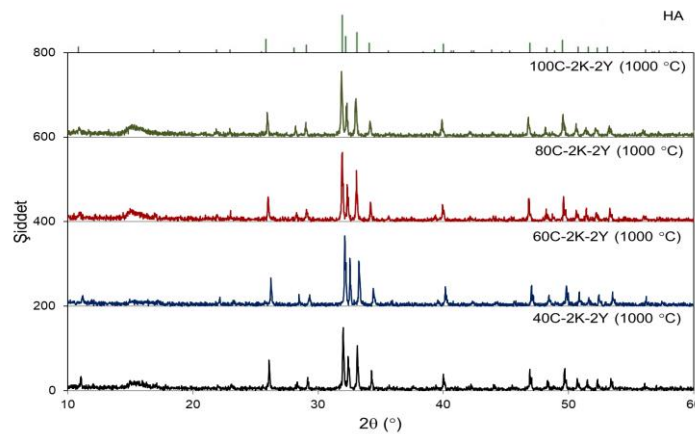
3. BULGULAR

3.1. Reaksiyon Sıcaklığının ve Isıl İşlemin Üretilen HA Tozlarının Yüksek Sıcaklık Kararlılıklarına Etkilerinin Belirlenmesi

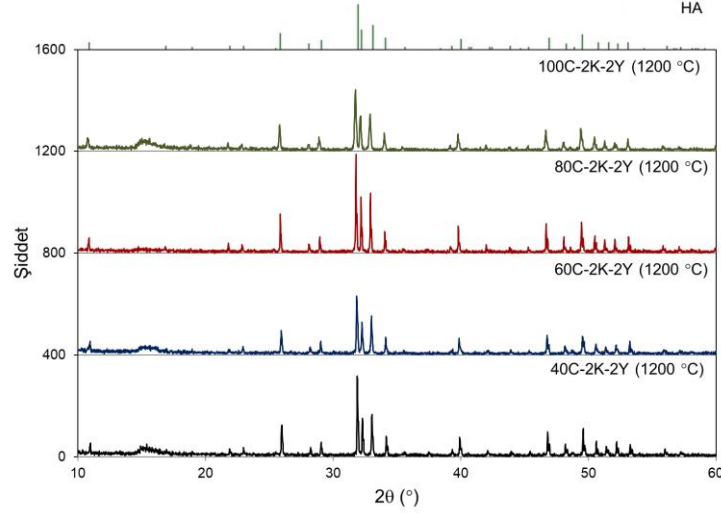
HA sentezi aşamasında uygulanan reaksiyon sıcaklığının üretilen HA tozlarındaki faz oluşumlarına etkilerinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışmada, sentezleme 40, 60, 80 ve 100 °C olmak üzere 4 farklı sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Bu sıcaklık değerlerinde 2 gün süreyle karıştırma ve yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Santrifüj, dekantasyon, kurutma işlemleri ardından elde edilen tozlar 1000 ve 1200 °C olmak üzere 2 farklı sıcaklıkta

ısıll işleme tabi tutulmuşlardır. Reaksiyon sıcaklığı ve farklı sıcaklıkta uygulanan ısıll işlemin HA tozlarının yüksek sıcaklıktaki kararlılıkları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla gerçekleştirilen XRD analizlerinde; tüm numunelerde HA oluşumu tespit edilmiş olup (ICCD PDF No: 00-009-0432); belirgin bir yan faza rastlanmamıştır (Şekil 1 ve 2). Kullanılan ısıll işlem sıcaklıklarının numunelerde HA fazı eldesinde belirgin bir farklılığa yol açmadığı belirlenmiştir. Bu noktadan hareketle, reaksiyon sıcaklığının üretilen tozların faz oluşumları üzerinde belirleyici bir etkisi olmadığı, bu nedenle sentezleme reaksiyonunun düşük sıcaklıkta gerçekleştirilmesinin uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tozların farklı sıcaklıklarda ısıll işleme tabi tutulması sonucunda, ısıll işlem sıcaklığı arttıkça HA piklerinin belirginleştiği, dolayısıyla tozların kristalizasyonunun arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 1 ve 2). Artan ısıll işlem sıcaklığı ile öne çıkan bir faz dönüşümüne veya bozunmasına rastlanmamıştır. Faz dönüşümüne veya bozunmasına yol açmayacak şekilde yüksek sıcaklıkta ısıll işlem uygulanması, kaplama amacıyla kullanılacak tozların bağlanma dayanımı açısından avantaj sağlamaktadır. Bu nedenle; bir faz dönüşümüne veya bozunmasına yol açmaması sebebiyle, 1200 °C'de gerçekleştirilecek sinterleme işleminin uygulanabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 1. Farklı reaksiyon sıcaklıklarında üretilen HA tozlarının 1000 °C'de ısıll işlem sonrası XRD spektrumları

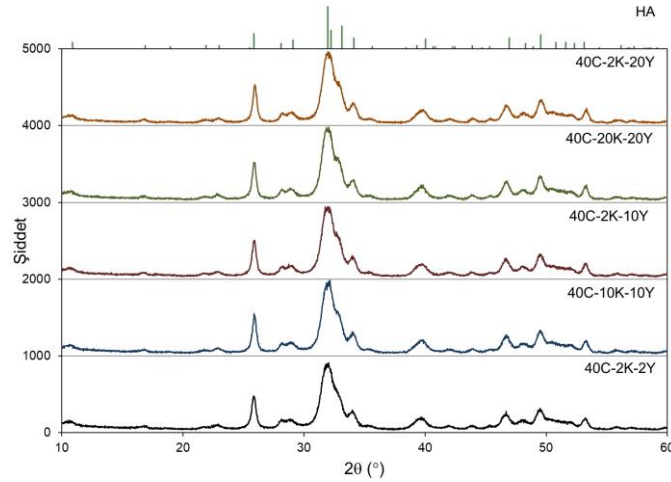


Şekil 2. Farklı reaksiyon sıcaklıklarında üretilen HA tozlarının 1200 °C’de ısıl işlem sonrası XRD spektrumları

3.2. Farklı Karıştırma ve Yaşlandırma Sürelerinin Üretilen HA Tozlarının Faz Oluşumlarına Etkilerinin Belirlenmesi

Reaksiyon sıcaklığının ve ısıl işlemin üretilen HA tozlarının yüksek sıcaklık kararlılıklarına etkilerinin incelenmesinden 40 °C sıcaklığın uygun olduğunun belirlenmesi dolayısıyla çalışmanın geri kalan kısmında sentezleme sıcaklığı olarak 40 °C kullanılmıştır. Sentezleme aşamasında uygulanan

farklı karıştırma ve yaşlandırma sürelerinin, elde edilen tozlarda meydana gelen fazlar üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen XRD analizlerinde, tüm numunelerde karakteristik HA pikleri (ICCD PDF No: 00-009-0432) görülmekle birlikte belirgin başka bir faza rastlanmamıştır (Şekil 3). Uygulanan tüm karıştırma ve yaşlandırma süreleri sonucunda HA eldesinin mümkün olduğu görülmüştür.

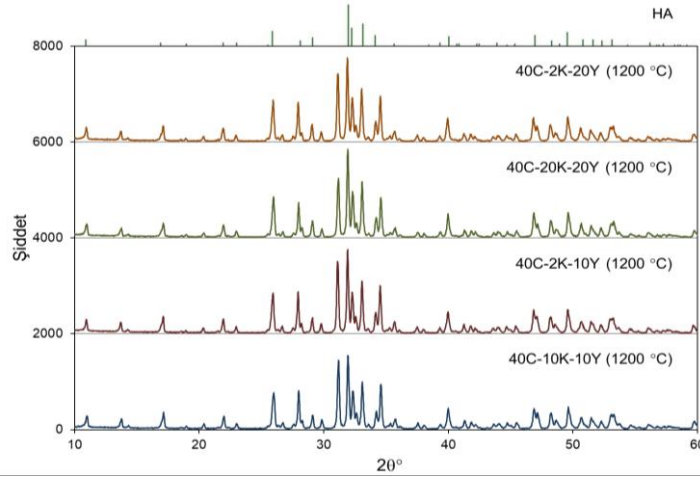


Şekil 3. Farklı karıştırma ve yaşlandırma süreleri uygulanarak sentezlenen HA tozlarına ait XRD spektrumları

3.3. Isıl İşlemin, Farklı Karıştırma ve Yaşlandırma Süreleri Kullanılarak Üretilen HA Tozlarının Faz Oluşumlarına Etkisinin Belirlenmesi

Farklı karıştırma ve yaşlandırma süreleri uygulanarak (sentezleme sıcaklığı: 40 °C) üretilen HA tozlarının, bağlanma dayanımının artırılması amacıyla sinterleme işlemi gerekli olmaktadır. Sinterleme işleminde uygulanan yüksek sıcaklıklar altındaki özelliklerinin belirlenmesi amacıyla,

üretilen tozlar, başlık 3.1’de elde edilen bilgiler ışığında 1200 °C’de ısıl işleme tabi tutulmuştur. Sinterlenmiş tozlar üzerinde yapılmış olan XRD analizleri (Şekil 4) ısıl işlemin tozların kristalizasyonuna olumlu etki ettiğini ortaya koymuştur. Analizlerde tüm numunelerin HA yapısını (ICCD PDF No: 00-009-0432) koruduğu belirlenmiş ancak düşük oranda TCP (ICCD PDF No: 9-169) dönüşümü olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4. Farklı karıştırma ve yaşlandırma süreleri uygulanarak üretilen ve 1200 °C’de ısıl işleme tabi tutulan HA tozlarına ait XRD spektrumları

3.4. Karıştırma ve Yaşlandırma Parametrelerinin Üretilen HA Tozlarının Parçacık Boyutları ve Toz Morfolojilerine Etkilerinin Belirlenmesi

Yürütülen çalışmada sentezlenen ve kaplama amacıyla kullanılan HA tozlarının parçacık boyutları ve toz morfolojilerinin belirlenmesi amacıyla parçacık boyutu analizleri ve SEM incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

Parçacık boyutu analizi, tek bir toz parçacığının boyutundan ziyade birden fazla toz parçacığından oluşan bir topraklanmanın boyutu ile ilgili bilgi vermektedir. Parçacık boyutu analiz sonuçları (Çizelge 2) ile numunelerin SEM görüntülerinin (Şekil 5) karşılaştırılması sonucunda, parçacık boyutu analiz sonuçlarının, elde edilen SEM

görüntülerinde gözlemlenen primer parçacık değerlerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durum, elde edilen tozların topraklanma eğiliminde olduklarını göstermektedir.

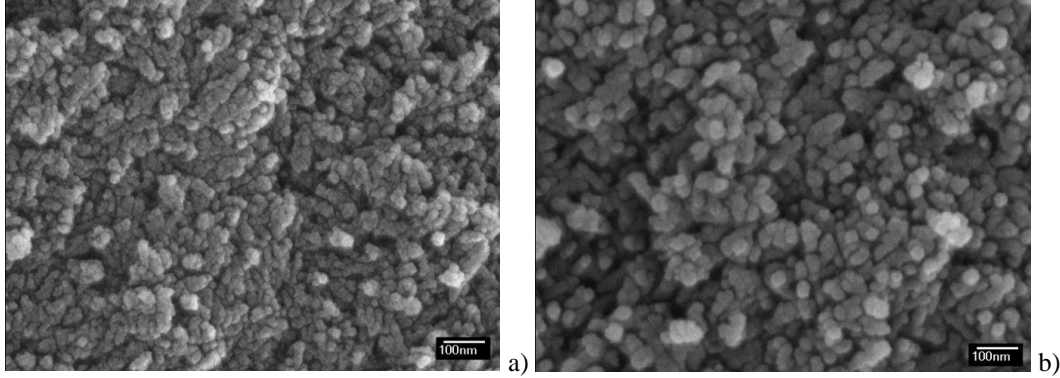
Çizelge 2. Farklı üretim parametreleri kullanılarak elde edilen HA tozlarının parçacık boyutları

Numune Adı	Parçacık Boyutu (nm)
40C-2K-2Y	83,3
40C-2K-10Y	105,0
40C-10K-10Y	125,0
40C-2K-20Y	101,0
40C-20K-20Y	76,4

2 gün süreyle karıştırılan ve yaşlandırılan numune ile (40C-2K-2Y) ile 20 gün süreyle karıştırılan ve yaşlandırılan numunenin (40C-20K-20Y) SEM

görüntüleri, artan karıştırma ve yaşlandırma süreleri ile primer parçacık boyutunun belirgin biçimde arttığını göstermektedir (Şekil 5). Ancak bu iki numunenin parçacık boyutu analizleri (Çizelge 2), artan karıştırma ve yaşlandırma

sürelerinin parçacık boyutunda bir azalmaya yol açtığına işaret etmektedir. Bu bulgudan hareketle, artan karıştırma ve yaşlandırma sürelerinin, tozların topaklanma eğilimini azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 5. Üretilen tozların SEM görüntüleri; a) 2 gün karıştırma ve yaşlandırma (40C-2K-2Y); b) 20 gün karıştırma ve yaşlandırma (40C-20K-20Y)

Ayrıca artan karıştırma ve yaşlandırma süreleri ile tozların daha küresel hale geldiği görülmüştür. Bu nedenle; homojen bir kaplama eldesi açısından önemli olan küresel biçimli ve düşük topaklanma eğilimine sahip tozların üretilmesinde karıştırma ve yaşlandırma işlemlerinin uygulanmasının önemli olduğu düşünülmektedir.

3.5. Kaplamada Kullanılacak Olan Süspansiyon için Uygun pH Değerinin Belirlenmesi

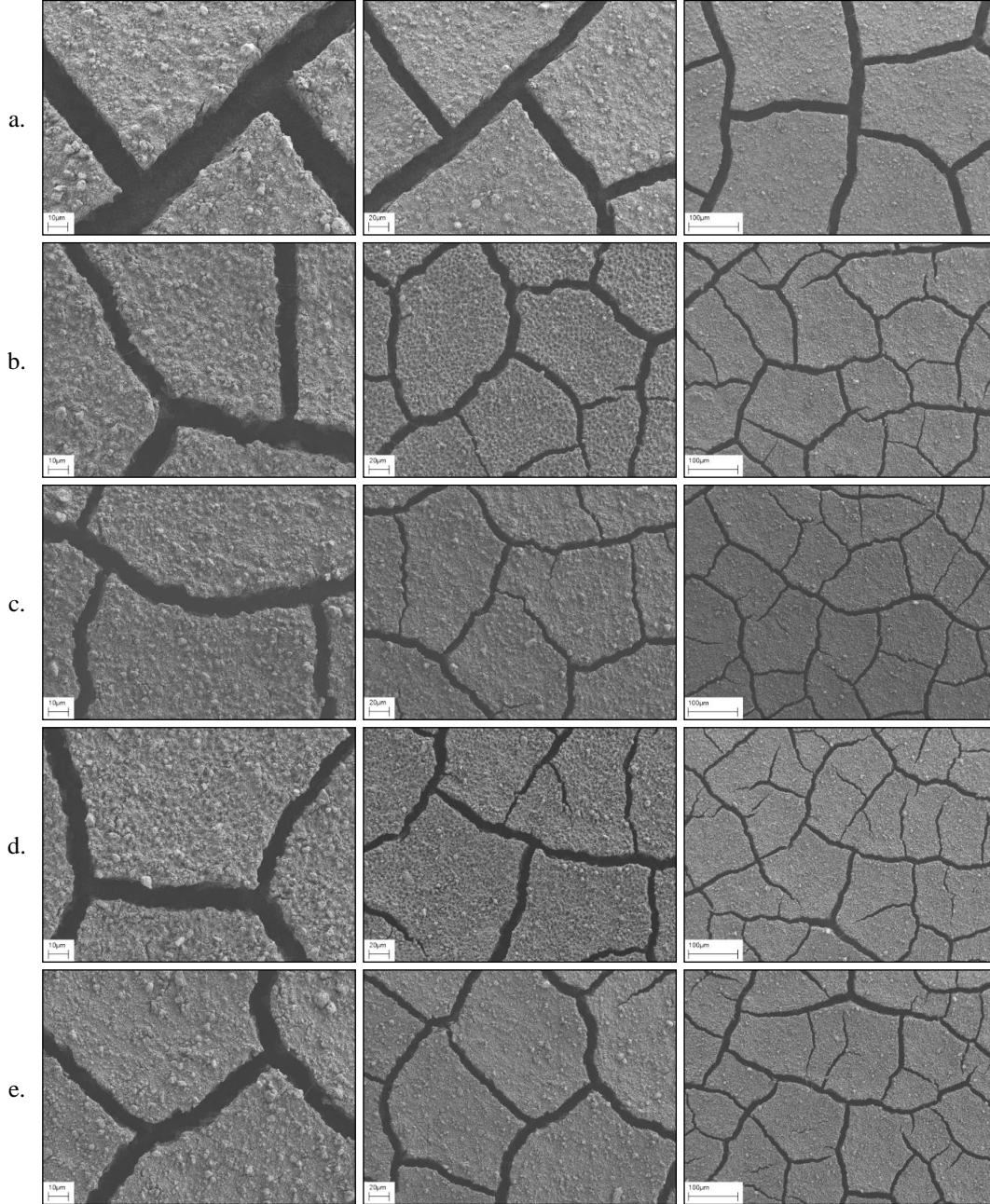
Başarılı bir kaplama eldesinde, kaplama işlemi sırasında kullanılan süspansiyonun zeta potansiyelinin mutlak değerinin 30 mV'dan yüksek seviyede olması önem taşımaktadır.

Bu amaçla, kaplamada kullanılacak olan süspansiyonun zeta potansiyel değerinin belirlenmesine yönelik yapılan ölçümlerde, süspansiyonun zeta potansiyelinin pH 3,5-4,0 arasında mutlak değer 30 mV'un üzerinde olduğu belirlenmiş ve bu iki pH değeri arasında yaklaşık 40 mV zeta potansiyeli elde edilmiştir. Yapılan ölçüler sonucunda kaplamada kullanılacak olan süspansiyonların zeta potansiyel değeri göz önüne alınarak, kaplama süspansiyonların pH değerleri 3,5-4,0 aralığında olacak şekilde ayarlanmıştır.

3.6. Üretim Aşamasında Kullanılan Karıştırma ve Yaşlandırma Parametrelerinin, Kaplamada Çatlak Oluşumuna Etkisinin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında sentezlenen HA tozları, elektroforetik depozisyon yöntemi ile Ti6Al4V metal yapılar üzerine kaplanarak sentezleme aşamasında kullanılan karıştırma ve yaşlandırma parametrelerinin elde edilen kaplamalardaki çatlak oluşumuna etkisinin belirlenmesi amacıyla kaplama yüzeylerinde SEM incelemesi yapılmıştır. Bu inceleme sonucunda; karıştırma ve yaşlandırma süreleri arttıkça elde edilen kaplamalarda oluşan çatlakların boyutlarının azaldığı belirlenmiştir. 2 gün karıştırılan ve 2 gün yaşlandırılan (40C-2K-2Y) HA tozu ile elde edilen kaplamalarda diğer HA tozları ile elde edilen kaplamalara kıyasla belirgin biçimde büyük çatlakların oluştuğu gözlenmiştir (Şekil 6.a-e). 2 günden daha uzun süre karıştırılan ve yaşlandırılan HA tozları (40C-2K-10Y, 40C-10K-10Y, 40C-2K-20Y ve 40C-20K-20Y) arasında çatlak oluşumu ve çatlak boyutları açısından belirgin bir farka rastlanmamıştır (Şekil 6.b-e).

Üretim Parametrelerinin Hidroksiapatit Tozlarının Özellikleri ve Kaplama Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi



Şekil 6. Farklı karıştırma ve yaşlandırma süreleri uygulanarak elde edilen HA tozlarına ait farklı büyütmelerde (sol sütun: 2000 X, orta sütun: 1000 X, sağ sütun: 500 X) elde edilmiş SEM görüntüleri: **a.** 2 gün karıştırma ve 2 gün yaşlandırma (40C-2K-2Y); **b.** 2 gün karıştırma ve 10 gün yaşlandırma (40C-2K-10Y); **c.** 10 gün karıştırma ve 10 gün yaşlandırma (40C-10K-10Y); **d.** 2 gün karıştırma ve 20 gün yaşlandırma (40C-2K-20Y); **e.** 20 gün karıştırma ve 20 gün yaşlandırma (40C-20K-20Y)

Farklı karıştırma süreleri ve aynı yaşlandırma süreleri uygulanarak üretilen HA tozları ile elde edilen kaplamalarının SEM görüntülerinin karşılaştırılması neticesinde, farklı karıştırma sürelerinin çatlak oluşumunda belirleyici bir rol oynamadığı görülmüştür. Diğer yandan, aynı karıştırma süreleri ve farklı yaşlandırma süreleri uygulanarak üretilen HA tozları ile elde edilen kaplamalarının SEM görüntülerinin karşılaştırılması sonucunda, yaşlandırma süresinin 2 günden 10 güne çıkarılmasıyla çatlaklarda belirgin bir azalma tespit edilmiştir.

Ancak devamında yaşlandırma süresinin 20 güne çıkarılması ile kayda değer bir farklılık saptanmamıştır. Bu nedenle, 10 günlük yaşlandırma süresinin kaplamalarda kullanılacak toz üretimine uygun olduğu, daha uzun süreli yaşlandırma işleminin çatlak boyutları açısından anlamlı bir fark ortaya koymadığı düşünülmektedir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

HA sentezlenmesi sırasında 40, 60, 80 ve 100 °C olarak uygulanan reaksiyon sıcaklıklarının, faz oluşumu ve yüksek sıcaklık kararlılığına etkilerinin belirlenmesi amacıyla, elde edilen numuneler sentezleme sonrası ve 1000 ve 1200 °C'de yapılan ısı işlem sonrası XRD analizine tabi tutularak bozunma olup olmadığı incelenmiştir. Bu iki sıcaklıkta gerçekleştirilen ısı işlem sonrasında HA'nın faz kompozisyonunda belirgin bir fark oluşmadığı gözlemlenmiştir. Ancak 1200 °C'de gerçekleştirilen ısı işlem sonrasında XRD analizlerinde gözlemlenen az belirgin TCP pikleri, artan ısı işlem sıcaklığının HA'nın yüksek sıcaklık kararlılığını etkilediğini göstermektedir. Bu nedenle, kaplama dayanımını arttırmak için gerçekleştirilen sinterleme işleminin, bağlanma dayanımını arttırmaya yetecek ancak HA'nın TCP'ye dönüşmesini engelleyecek sıcaklıklarda gerçekleştirilmesinin uygun olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, sentezleme aşamasında kullanılan sıcaklıkların faz oluşumuna bariz bir etkisi olmadığı belirlenmiş olup, çalışmanın geri kalan kısmında sentezleme sıcaklığı olarak 40 °C sıcaklık kullanılmıştır.

Sentezleme aşamasında kullanılan karıştırma ve yaşlandırma işlemlerinin, elde edilen HA'nın faz oluşumlarına ve toz morfolojisine etkilerinin belirlenmesi amacıyla sentez reaksiyonunun gerçekleştirilmesinin ardından süspansiyon içerisinde 40°C'de 2, 10 ve 20 gün boyunca yaşlandırma işlemi uygulanmış, ayrıca karıştırma işlemi 2 günün ardından durdurulmuş veya tüm yaşlandırma süresince sürdürülmüştür. Elde edilen tüm numunelerin XRD incelemelerinde karakteristik HA pikleri saptanmış olup, belirgin başka bir faza rastlanmamıştır.

Elde edilen HA tozlarının yüksek sıcaklık altında kararlılıklarını belirlemek amacıyla yapılan XRD incelemelerinde, 1200 °C'ye ısıtılan numunelerde ana faz olan HA'nın yanı sıra sıcaklığa bağlı olarak TCP oluşumu gözlemlenmiştir. HA'nın yüksek sıcaklıkta TCP'ye bozunması açısından incelendiğinde farklı karıştırma ve yaşlandırma parametreleri kullanılarak üretilen tozlar arasında belirgin bir farklılığa rastlanmamıştır.

Tozlar üzerinde gerçekleştirilen SEM incelemelerinde kullanılan parametrelerden bağımsız olarak, yaklaşık 50 nm boyutlarında küresel biçimli primer parçacıklardan oluşan tozlar üretilebildiği görülmüştür. Yaşlandırma süresinin artmasıyla parçacık boyutlarında artış olduğu saptanmıştır. Bu bulgu, gerçekleştirilecek uygulamaya uygun boyutta küresel boyutta HA tozu eldesi amacıyla yaşlandırma süresinin kullanılmasının uygun bir yöntem olduğunu göstermektedir.

2 gün süresince karıştırılan ve yaşlandırılan HA tozları ile elde edilen kaplamalarda oluşan çatlakların, daha uzun süreli yaşlandırma ve karıştırma süreleri uygulanarak üretilen tozlar ile elde edilen kaplamalarda oluşan çatlaklara kıyasla daha büyük oldukları belirlenmiştir. Buna karşın, 10 gün ve 20 günlük yaşlandırma işlemleri ile elde edilen tozlarla üretilen kaplamalar arasında çatlak oluşumu açısından kayda değer bir farka rastlanmamıştır. Bu bulgu; çatlak oluşumunun kontrol edilmesi açısından, karıştırma ve yaşlandırma sürelerinin arttırılmasının çatlak oluşumunu azaltmada olumlu etki yaptığını göstermektedir. Diğer yandan, 10 ve 20 günlük

yaşlandırma işlemleri arasında çatlak oluşumu açısından bariz bir fark tespit edilememiş olması nedeniyle, 10 günlük yaşlandırma süresinin, daha az çatlak oluşumuna imkan veren HA tozu üretimi açısından yeterli olduğu düşünülmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından “BAP-MÜH F MM (ÖA) 2010-5 A” proje numarasıyla desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Brunski, J. B., 2004. Biomaterials Science: An Introduction to Materials in Medicine. B.D. Ratner, A.S. Hofman, F.J. Schoen, J.E. Lemons (editör). Academic Press, California, 137-153.
2. Albayrak, O., Oncel, C., Tefek, M., Altintas, S., 2007. Effects of Calcination on the Electrophoretic Deposition of Naturally Derived and Chemically Synthesized Hydroxyapatite. Reviews on Advanced Materials Science, 15, 10-15.
3. Gil, F.J., Padros, A., Manero, J.M., Aparicio, C., Nilsson, M., Planell, J.A., 2002. Growth of Bioactive Surface on Titanium and its Alloys for Orthopedic and Dental Implants. Materials Science and Engineering C, 22, 53-60.
4. Gomez-Vega, J.M., Saiz, E., Tomsia, A.P., Oku, T., Suganuma, K., Marshall, G.W., Marshall, S.J., 2000. Novel Bioactive Functionally Graded Coatings on Ti6Al4V. Advanced Materials, 12, 894-898.
5. Ma, J., Liang, C.H., Kong, L.B., Wang, C., 2003. Colloidal Characterization and Electrophoretic Deposition of Hydroxyapatite on Titanium Substrate. Journal of Materials Science: Materials in Medicine, 14, 797-801.
6. Mostafa, N.Y., 2005. Characterization, Thermal Stability and Sintering of Hydroxyapatite Powders Prepared by Different Routes. Materials Chemistry and Physics, 94, 333-341.
7. Yang, Z., Jiang, Y., Wang, Y.J., Ma, L.Y., Li, F., 2004. Preparation and Thermal Stability Analysis of Hydroxyapatite Derived from the Precipitation Process and Microwave Irradiation Method. Materials Letters, 58, 3586-3590.
8. Sung, Y.M., Lee, J.C., Yang, J.W., 2004. Crystallization and Sintering Characteristics of Chemically Precipitated Hydroxyapatite Nanopowder. Journal of Crystal Growth, 262, 467-472.
9. Jalota, S., Tas, C., Bhaduri, S.B., 2004. Microwave-Assisted Synthesis of Calcium Phosphate Nanowhiskers. Journal of Materials Research, 19(6), 1876-1881.
10. Albayrak, O., 2016. Structural and Mechanical Characterization of Boron Doped Biphasic Calcium Phosphate Produced by Wet Chemical Method and Subsequent Thermal Treatment. Materials Characterization, 113, 82-89.
11. Kong, L.B., Ma, J., Boey, F., 2002. Nanosized Hydroxyapatite Powders Derived from Coprecipitation Process. Journal of Materials Science, 37, 1131-1134.
12. Kumta, P.N., Sfeir, C., Lee, D.H., Olton, D., Choi, D., 2005. Nanostructured Calcium Phosphates for Biomedical Applications: Novel Synthesis and Characterization. Acta Biomaterialia, 1, 65-83.
13. Kweh, S.W.K., Khor, K.A., Cheang, P., 1999. The Production and Characterization of Hydroxyapatite (HA) Powders. Journal of Materials Processing Technology, 89-90, 373-377.
14. Nagai, H., Nishimura, Y., 1980. Hydroxyapatite, Ceramic Material and Process for Preparing Thereof. A.B.D. Patenti, Patent No: 4330514.
15. Albayrak, O., Ugurlu, M., 2016. Bor Katkılı Hidroksiapatit Üretimi ve Karakterizasyonu: Bor Oranı ve Sinterleme Sıcaklığının Yapı ve Mekanik Özellikler Üzerindeki Etkisi. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 31, 749-761.
16. Afshar, A., Ghorbani, M., Ehsani, N., Saeri, M. R., Sorrell, C.C., 2003. Some Important Factors in the Wet Precipitation Process of Hydroxyapatite. Materials and Design, 24, 197-202.
17. Saeri, M.R., Afshar, A., Ghorbani, M., Ehsani, N., Sorrell, C.C., 2003. The Wet Precipitation Process of Hydroxyapatite. Materials Letters, 57, 4064-4069.

18. Wei, M., 1997. Electrophoresis of Hydroxyapatite on Metal Substrates. Doktora Tezi, University of New South Wales, 232.
19. Boccaccini, A.R., Keim, S., Ma, R., Li, Y., Zhitomirsky, I., 2010. Electrophoretic Deposition of Biomaterials. *Journal of the Royal Society Interface*, 7, 581-613.
20. Fukada, Y., Nagarayan, N., Mekky, W., Bao, Y., Kim, H.S., Nicholson, P.S., 2004. Electrophoretic Deposition-Mechanisms, Myths and Materials. *Journal of Materials Science*, 39, 787-801.
21. Suzdal'tsev, E.I., Kharitonov, D.V., 2004. Methods for the Electrophoretic Shaping of Ceramic Products from Aqueous Slips of Inorganic Materials (a Review). *Refractories and Industrial Ceramics*, 45, 42-47.
22. Sena, L.A., Andrade, M.C., Rossi, A.M., Soares, G.A., 2002. Hydroxyapatite Deposition by Electrophoresis on Titanium Sheets with Different Surface Finishing. *Journal of Biomedical Materials Research*, 60, 1-7.
23. Wei, M., Ruys, A.J., Milthorpe, B.K., Sorrell, C.C., Evans, J.H., 2001. Electrophoretic Deposition of Hydroxyapatite Coatings on Metal Substrates: A Nanoparticulate Dual-Coating Approach. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 21, 39-48.
24. Sridhar, T.M., Mudali, U.K., Subbaiyan, M., 2003. Sintering Atmosphere and Temperature Effects on Hydroxyapatite Coated Type 316L Stainless Steel. *Corrosion Science*, 45, 2337-2359.
25. Wei, M., Ruys, A.J., Milthorpe, B.K., Sorrell, C.C., 2005. Precipitation of Hydroxyapatite Nanoparticles: Effects of Precipitation Method on Electrophoretic Deposition. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 16, 319-324.

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 yayımlanmasın 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 ortamdaki 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

