



**BANDIRMA  
ONYEDİ EYLÜL  
ÜNİVERSİTESİ**

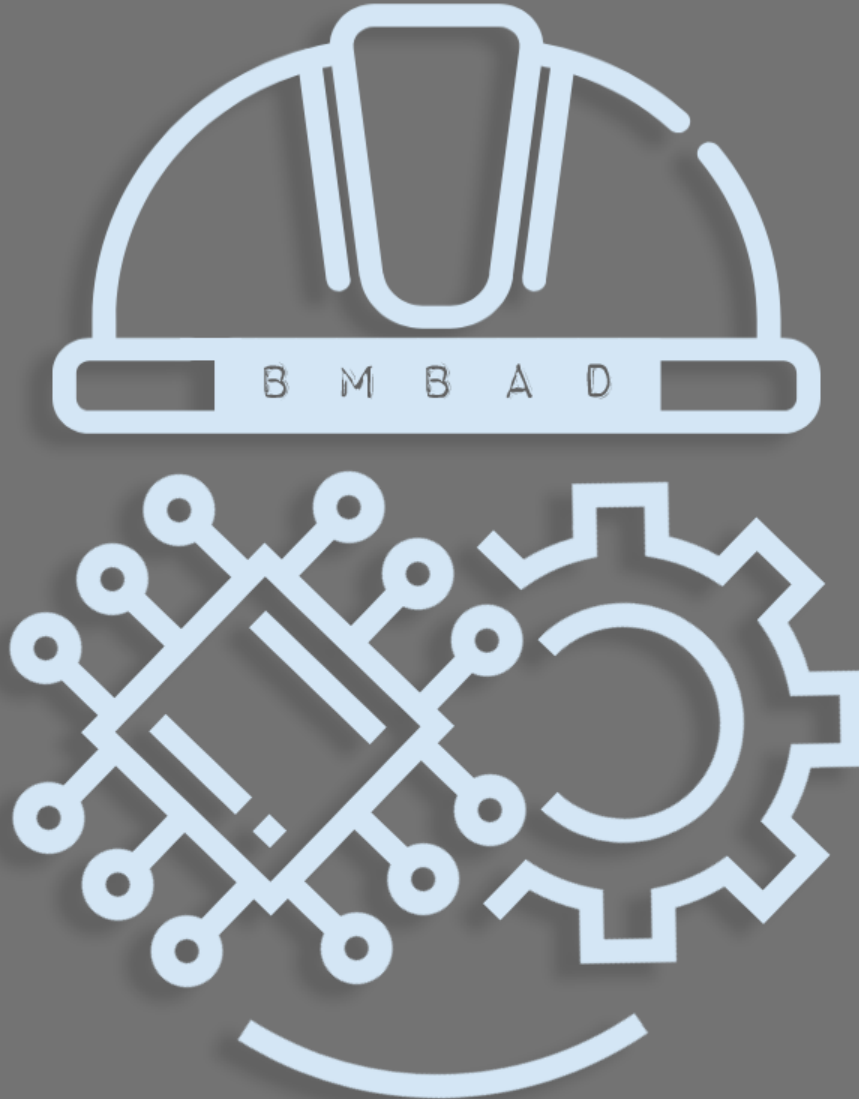
**BMBAD  
BJESR**

**Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi**  
Journal of Engineering Sciences and Researches

**Cilt/Volume : 2**

**Sayı/Issue : 2**

**Yıl/Year : 2020**





BMBAD  
BJESR

Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi  
Journal of Engineering Sciences and Researches



Müh.Bil.ve Araş.Dergisi

Cilt/Vol. 2

Sayı/Issue 2

2020

ISSN: 2687-4415

### Sahibi/Owner

Prof.Dr. Süleyman ÖZDEMİR *Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Rektörü*

### Baş Editor /Editor in Chief

Doç.Dr. Muhammet Nuri SEYMAN *Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi*

### Yardımcı Editörler/Associate Editors

Dr.Öğr. Üyesi Onursal ÇETİN *Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi*

Dr.Öğr. Üyesi İsmail KOÇAK *Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi*

### Danışma Kurulu/Advisory Board

Prof.Dr. Hasan BAYINDIR, hasanbayindir@dicle.edu.tr, Dicle Üniversitesi

Prof.Dr. Hasan ERBAY, erbay@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa GÜNAY, mgunay@karabuk.edu.tr, Karabük Üniversitesi

Prof.Dr. Fırat KAÇAR, gkacar@istanbul.edu.tr, İstanbul Cerrahpaşa Üniversitesi

Prof.Dr. Cihan KARAKUZU, cihan.karakuzu@bilecik.edu.tr, Bilecik Şeyh Edibali Üniversitesi

Prof.Dr. Şükrü KOÇ, koc@eng.ankara.edu.tr, Ankara Üniversitesi

Prof.Dr. Mehmet KURBAN, mehmet.kurban@bilecik.edu.tr, Bilecik Şeyh Edibali Üniversitesi

Prof.Dr. Necmi TAŞPINAR, ntaşpinar@erciyes.edu.tr, Erciyes Üniversitesi

Prof.Dr. Osman YILDIZ, osmanyildiz@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Prof.Dr. Nejat YUMUŞAK, nyumusak@sakarya.edu.tr, Sakarya Üniversitesi

Prof.Dr. İbrahim DEVELİ, ideveli@erciyes.edu.tr, Erciyes Üniversitesi

Doç.Dr Sertaç BAYHAN, sbayhan@hbku.edu.qa, Hamad Bin Khalifa University

Doç.Dr Selim ÖNCÜ, soncu@karabuk.edu.tr, karabük Üniversitesi

Doç.Dr. Uğur TEMİZ, ugur.temiz@bozok.edu.tr, Yozgat Bozok Üniversitesi

Doç.Dr. İlker TÜRKER, iturker@karabuk.edu.tr, Karabük Üniversitesi

Doç.Dr. Hasan YAMIK, hasan.yamik@bilecik.edu.tr, Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi

Doç.Dr.Muharrem PUL, mpul@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi Adem DALCALI, adalcali@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi Ali DURMUŞ, adurmus@kayseri.edu.tr, Kayseri Üniversitesi

Dr. Öğr.Üye. Serhat Berat EFE, Sefe@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi

Dr. Öğr.Üye. Kenan HATİPOĞLU, kenan.hatipoglu@mail.vwu.edu, West Virginia Area University

Dr. Öğr.Üye. Yalçın IŞIK, yisik@selcuk.edu.tr, Selçuk Üniversitesi

Dr. Öğr.Üye. Hayri YAMAN, hyaman@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Dr.Öğr. Üye. Rahim DEHKHARGHANI, rdekhkarghani@bonabu.ac.ir, Computer Eng., Natural Language Processing, and Sentiement Analysis

Behnaz HASSANSHAHİ, behnaz.hassanshahi@oracle.com, Oracle Lab Australia, Computer Eng. Dynamic Analysis and Fuzzing Techniques

**Editörler Kurulu/Editorial Board**

Prof.Dr. Feyzullah TEMURTAŞ, ftemurtas@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyediy Eylöl Üniversitesi

Prof.Dr. Mehmet KURBAN, mehmet.kurban@bilecik.edu.tr, Bilecik Şeyh Edibali Üniversitesi

Prof.Dr. Necmi TAŞPINAR, ntaşpinar@erciyes.edu.tr, Erciyes Üniversitesi

Prof.Dr. Fırat KAÇAR, gkacar@istanbul.edu.tr, İstanbul Cerrahpaşa Üniversitesi

Prof.Dr. Cihan KARAKUZU, cihan.karakuzu@bilecik.edu.tr, Bilecik Şeyh Edibali Üniversitesi

Prof.Dr. Şükrü KOÇ, koc@eng.ankara.edu.tr, Ankara Üniversitesi

Doç.Dr. Muhammet Nuri SEYMAN, mseyman@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyediy Eylöl Üniversitesi

Doç.Dr Abdullah YEŞİL, ayesil@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyediy Eylöl Üniversitesi

Doç.Dr.Muharrem PUL, mpul@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Doç.Dr. Uğur TEMİZ, ugur.temiz@bozok.edu.tr, Yozgat Bozok Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi Onursal ÇETİN, ocetin@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyediy Eylöl Üniversitesi

Dr. Öğr.Üye. Yalçın IŞIK, yisik@selcuk.edu.tr, Selçuk Üniversitesi

Dr. Öğr.Üye. Hayri YAMAN, hyaman@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Dr.Öğr. Üye. Rahim DEHKHARGHANI, rdehkharghani@bonabu.ac.ir, Computer Eng., Natural Language Processing, and Sentiement Analysis

Behnaz HASSANSHAHİ, behnaz.hassanshahi@oracle.com, Oracle Lab Australia, Computer Eng. Dynamic Analysis and Fuzzing Techniques

Dr.Öğr.Üyesi Ali DURMUŞ, adurmus@kayseri.edu.tr, Kayseri Üniversitesi

**Yazışma Adresi/ Correspondence Address**

Bandırma Onyediy Eylöl Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, 10200 Bandırma/ Balıkesir, Türkiye

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/bjesr>

[bjesr@bandirma.edu.tr](mailto:bjesr@bandirma.edu.tr)

Tel: 0266 717 0117 (3512)

Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi hakemli uluslararası bir dergidir/ Journal of Engineering Sciences and Researches is a peer-reviewed international journal

## İÇİNDEKİLER/CONTENTS

---

(Araştırma Makalesi/Research Article)

Kapulukaya Barajı Olası Yıkılma Sonrası Taşkın Etkilerinin Araştırılması

*Assessing Flood Effects After the Possible Break of the Kapulukaya Dam*

**1-10**

**Akın DUVAN, Osman YILDIZ**

---

(Araştırma Makalesi/Research Article)

CMOS Transistörler ile Gerçekleştirilen İkinci Kuşak Akım Taşıyıcısına Ait Performans

Parametrelerinin Elman Yapay Sinir Ağı ile İncelenmesi

*Analysis of Performance Parameter of Second-Generation Current Carrier with CMOS*

*Transistors with Elman Artificial Neural Network*

**11-17**

**M.Oğuz KORKMAZ, Abdullah YEŞİL, M. Nuri SEYMAN, Onursal ÇETİN**

---

(Araştırma Makalesi/Research Article)

Sivas İlindeki Hava Kirliliğine Doğalgaz Kullanımının Etkileri

*Effects of Using Natural Gas to Air Pollution in Sivas*

**18-23**

**Ahmet FERTELLİ**

---

(Araştırma Makalesi/Research Article)

Estimation of the Amount of Drug to be Applied to the Patient Using Elman Recurrent

Artificial Neural Network

*Elman Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Hastaya Uygulanacak İlaç Miktarının Tahmini*

**24-29**

**Rüştü GÜNTÜRKÜN, Mustafa TOSUN**

---

(Araştırma Makalesi/Research Article)

Zirkonya Katkılı AZ91 Magnezyum Alaşımının Mekanik Davranışlarının İncelenmesi

*Investigation of the Wear Behaviour of Zirconia Additive Al 1050+AZ91 Hybrid Materials*

**30-37**

**Muharrem PUL**

---

(Araştırma Makalesi/Research Article)

Görüntü İkileştirme için Global Eşikleme Yöntemleri Üzerine Bir İnceleme

*A Review on Global Thresholding Methods for Image Binarization*

**38-49**

**Abdullah ELEN**

---

---

---

(Araştırma Makalesi/Research Article)

Uzun Kısa Dönem Bellek Ağlarını Kullanarak Erken Aşama Diyabet Tahmini

*Early-Stage Diabetes Prediction Using Long Short-Term Memory Networks*

**50-57**

**İlyas ÖZER**

---

---

(Araştırma Makalesi/Research Article)

Rüzgar Türbinlerinde Kurulum ve Bakım Süreçleri: Bandırma Örneği

*Installation and Maintenance Processes in Wind Turbines: The Case of Bandırma*

**58-68**

**İsmail YAVUZ, Harun ÖZBAY**

---

---

(Araştırma Makalesi/Research Article)

Akarsu Tipi Hidroelektrik Santraller ve Bu Santrallerde Kullanılan Türbin-Generatörler

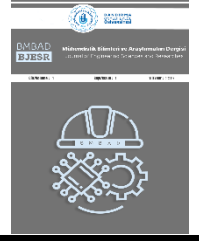
*Run of river Hydroelectric Power Plants and Turbine-Generators Used In These Power Plants*

**69-75**

**Mehmet Semih ÖZDEMİR, Adem DALCALI, Cemil OCAK**



---

---



## Kapulukaya Barajı Olası Yıkılma Sonrası Taşkın Etkilerinin Araştırılması

### Assessing Flood Effects After the Possible Break of the Kapulukaya Dam

Akın DUVAN<sup>a</sup> , Osman YILDIZ<sup>a</sup> 

<sup>a</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale, Türkiye

akinduvan@kku.edu.tr, osmanyildiz@kku.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

#### ARTICLE INFO

##### Article history

Received :24 March 2020

Accepted : 28 April 2020

##### Keywords:

The Kızılırmak river, Dam break, The Kapulukaya dam, Peak flow, The USBR method, HEC-RAS.

#### ABSTRACT

The objective of this study is to estimate the peak flow rate and investigate the flood effects in the downstream area in case of a possible break of the Kapulukaya dam located on the Kızılırmak river within the city of Kırıkkale. For this purpose, firstly, the peak flow value that will occur due to the dam break was calculated with the USBR method. Then, the spread of the peak flow along the downstream of the dam and its effects on the Bahşılı district center, the Celal Bayar recreation area and the Bahşılı highway bridge on the Kızılırmak river with the HEC-RAS program were examined by one-dimensional flood routing analysis. The study results indicate that the estimated peak flow (approximately 21,000 m<sup>3</sup>/s) will cause an increase in the river water level up to 27 meters resulting in very serious floodings along the study area. Accordingly, it has been observed that a significant part of the Bahşılı district and the entire Celal Bayar recreation area will be heavily flooded, while the estimated peak flow will not be able to pass through the Bahşılı highway bridge creating a weir flow.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

#### MAKALE BİLGİSİ

##### Makale Tarihleri

Gönderim : 24 Mart 2020

Kabul : 28 Nisan 2020

##### Anahtar Kelimeler:

Kızılırmak nehri, Baraj yıkılması, Kapulukaya Barajı, Pik debi, USBR metodu, HEC-RAS.

#### ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Kırıkkale il sınırları içerisinde Kızılırmak üzerinde kurulu bulunan Kapulukaya Barajı'nın olası yıkılma sonrası pik debinin tahmini ve mansap bölgesinde taşkın etkilerinin araştırılmasıdır. Bu amaçla, ilk olarak, barajın yıkılması dolayısıyla oluşacak pik debi değeri USBR metodu ile hesaplanmıştır. Daha sonra, hesaplanan bu debinin baraj mansabı boyunca yayılımı ve Bahşılı ilçe merkezi ile Celal Bayar rekreasyon alanına ve Kızılırmak nehri üzerindeki Bahşılı karayolu köprüsüne olan etkileri HEC-RAS programı ile bir boyutlu taşkın ötelemesi yapılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, tahmin edilen pik debinin (yaklaşık olarak 21.000 m<sup>3</sup>/s) çalışma alanında nehirdeki su seviyesinin 27 metreye kadar ulaşmasına ve neticede çok ciddi taşkınlara sebep olacağı anlaşılmıştır. Bunlara bağlı olarak, Bahşılı ilçesinin önemli bir bölümü ile Celal Bayar rekreasyon alanının tamamının taşkın suları altında kalacağı, tahmin edilen pik debinin Bahşılı karayolu köprüsünden geçemeyeceği ve savak akımı oluşturacağı görülmüştür.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Dağa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

## 1. GİRİŞ

Akarsu yatağındaki mevcut su seviyesinin artması olayı taşkın olarak ifade edilmektedir. Taşkına kısa süreli aşırı şiddetli yağışlar, uzun süreli yağışlar, kar erimesi, baraj yıkılması veya bu olayların birden fazlasının bir arada yaşanması neden olmaktadır. Taşkınlar da her doğal afet gibi önlenmesi mümkün olmayan fakat gerekli tedbirler alınması durumunda yıkıcı etkileri azaltılabilen doğal olaylardır. Bu tedbirler kapsamında taşkınların sebep olabileceği olası zararlar önceden tahmin edilip gerekli önlemler alınmalıdır.

Oldukça güvenli yapılar olmasına rağmen, geçmişte yaşanan birçok felaket barajların da yıkılma riskinin olduğunu göstermektedir. Bir barajın yıkılması durumunda baraj gerisinde bulunan su hacmi oluşacak gedikten boşalarak, mansapta bulunan birçok yerde can ve mal kaybına neden olabilir. Bu nedenle baraj yıkılma debisinin doğru tahmin edilerek olası yıkılma senaryosunun vereceği zararlar önceden tahmin edilmelidir [2]. Türkiye’de son yıllarda artan baraj inşaatları da baraj yıkılması ile oluşabilecek taşkınların önceden tahmin edilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Bu kapsamda, Türkiye’de baraj yıkılma modelleri üzerine son yıllarda çeşitli çalışmaların yapıldığı görülmektedir. Bozkuş (2004) çalışmasında, Kestel Barajı’nın sayısal yıkılma analizini farklı modeller yardımıyla gerçekleştirerek barajın mansap tarafından seçmiş olduğu en kesitlere ait pik debi, kot ve zaman verilerini belirlemiş ve ayrıca, taşkından en çok etkilenen bölgelerin baraja en yakın bölgeler olduğunu göstermiştir [3]. Özdemir ve arkadaşları (2011) Çanakkale Çokal Barajı çökme modelinin taşkın analizinde HEC-RAS programını kullanmış ve baraj çökmesi sonucu oluşan taşkınımın Evreşe Ovası’nda 2011 yılında tahmini 12 milyon TL tutarında tarımsal zarara sebep olacağını hesaplamıştır [4]. Haltaş ve Kocaman (2015) Ayvalı Barajı’nın yıkılma senaryosu durumunda Kahramanmaraş il merkezi ile çevredeki bölgelerin taşkın risk durumunu incelemiştir. Burada elde edilen sonuçlara göre il merkezinde bazı mahalleler ile Kahramanmaraş Havaalanı’nın tamamen ve ayrıca Kahramanmaraş-Gaziantep karayolunun yaklaşık 4 km’lik bir kısmının taşkına maruz kaldığını göstermiştir [5]. Elçi ve arkadaşları (2017) Porsuk ve Alibey Barajları için yıkılma senaryolarını oluşturmuş ve buna göre Alibey Barajı’nın 9,5 km<sup>2</sup>, Porsuk Barajı’nın ise 32,5 km<sup>2</sup> alanı tehdit ettiğini hesaplamıştır [6]. Dursun ve Gül (2018) Sürgü Barajı’nın yıkılma senaryosunu oluşturarak pik debinin 15.300 m<sup>3</sup>/s olduğunu ve bu değere yaklaşık olarak bir saatte ulaşıldığını saptamıştır. Söz konusu çalışmada yapılan analizlere göre, yaklaşık olarak 1.000 kişinin taşkından etkileneneği tahmin edilmiştir [7]. Kemalöglü ve arkadaşları (2019) tarafından Ödemiş İlçesi’nde (İzmir) inşa edilen Rahmanlar Barajı’nın bir boyutlu yıkılma analizleri HEC-RAS yazılımı ile gerçekleştirilmiş ve adı geçen barajın yıkılması sonucu oluşacak taşkınımın mansapta yer alan üç adet köye ulaşım ulaşılamayacağı belirlenmiştir. Buna ilave olarak, taşkına maruz kalan yerlerde taşkın alanları model sonuçlarına göre çizilmiş ve maksimum su yüzeyi yükseklikleri ile pik debilerin oluşma zamanları tespit edilmiştir [8].

Kırıkkale il sınırları içerisinde Kızılırmak nehri üzerinde kurulu Kapulukaya Barajı’nın olası yıkılması sonrası oluşacak etkilerine ilişkin halihazırda bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma ile toprak dolgu tipindeki bu barajın olası yıkılması durumunda baraj mansabında bulunan yerleşim bölgelerindeki taşkın etkilerinin araştırılması ve literatürdeki bu eksikliğin giderilmesi amaçlanmıştır. Bunun için HEC-RAS programı [9, 10] yardımıyla baraj mansabında bir boyutlu taşkın öteleme yapılarak pik debinin çalışma alanındaki yayılımı ve barajdan yaklaşık olarak 12 km mesafede yer alan Bahşılı ilçesi sınırları içerisindeki Celal Bayar rekreasyon alanı ve Kızılırmak üzerindeki Bahşılı karayolu köprüsüne olan etkileri araştırılmıştır.

## 2. ÇALIŞMA ALANI

Kızılırmak nehri üzerinde bulunan Kapulukaya Barajı, Kırıkkale ili ve çevresinde yaklaşık olarak 300 bin kişiye içme, kullanma ve sulama suyu temini yanında elektrik enerjisi üretimi amacıyla 1979-1989 yılları arasında inşa edilmiştir (Şekil 1). Toprak dolgu tipindeki baraj gövdesinin hacmi 1,56 milyon m<sup>3</sup>, maksimum göl hacmi ise 285 milyon m<sup>3</sup> dür. Baraj seddesinin talvegden yüksekliği 44 m, kret genişliği 10 m ve kret uzunluğu ise 300 m dir (Tablo 1). Hidrolik modelleme için seçilen çalışma alanı, baraj mansabından başlayarak Bahşılı karayolu köprüsüne kadar olan bölgeyi kapsamaktadır (Şekil 2). Bu bölge içerisinde, Kızılırmak üzerinde bulunan Rafineri ve Bahşılı karayolu köprüleri, Kırıkkale Tüpraş Rafinerisi, içme suyu arıtma tesisi, Bahşılı ilçe merkezi, Celal Bayar rekreasyon alanı, Kırıkkale-Konya ve Ankara-Kayseri karayollarına ait belli kısımlar ve çeşitli tarım alanları bulunmaktadır (Şekil 3). Bahşılı ilçe nüfusu yaklaşık olarak 7.500 civarında olup nehir kenarında çeşitli sayfiye alanları, hobi bahçeleri ve tarım arazileri bulunmaktadır. Yaklaşık olarak 500 dönümlük bir alana kurulu bulunan Celal Bayar rekreasyon alanı özellikle yaz aylarında Kırıkkale ve çevresinden çok sayıda ziyaretçi tarafından dinlenme ve piknik amacıyla tercih edilmektedir. Yoğun dönemlerde günlük ziyaretçi sayısı birkaç bin kişiyi bulmaktadır.

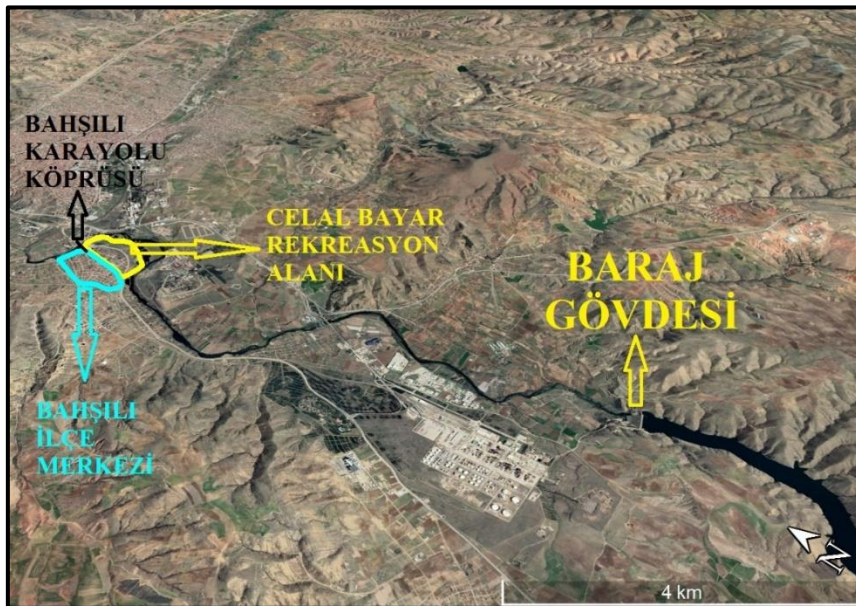




Şekil 1. Kapulukaya Baraj yeri uydu görüntüsü ve memba tarafından görünümü

Tablo 1. Kapulukaya Barajı'na ait temel karakteristik veriler

Parametre	Birim	Değer
Talvegden Yükseklik	m	44,0
Minimum Göl Hacmi	$10^6 m^3$	180
Maksimum Göl Hacmi	$10^6 m^3$	285
Kret Genişliği	m	10
Kret Uzunluğu	m	300
Dolu Savak Kret Kotu	m	714,7
Talveg Kotu	m	682
Gövde Memba Şevi	m/m	1/3
Gövde Mansap Şevi	m/m	1/2,5



Şekil 2. Kapulukaya Baraj mansabından itibaren göz önüne alınan çalışma alanı





Şekil 3. Bahşılı karayolu köprüsü ve Celal Bayar rekreasyon alanı

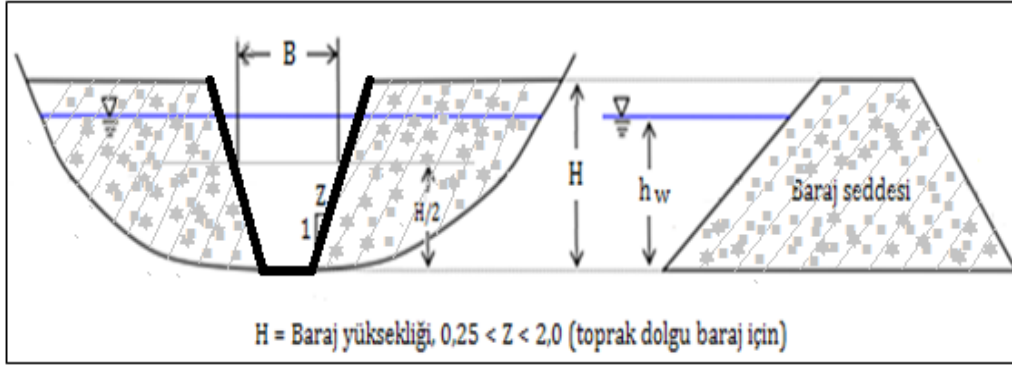
Bahşılı ilçe girişinde yer alan Bahşılı karayolu köprüsü Kızılırmak üzerinde Kırıkkale-Konya karayolu için önemli bir bağlantı noktası konumundadır. Köprünün nehir tabanından yüksekliği 8 metre civarında olup toplam açıklığı ise tabliye seviyesinde yaklaşık olarak 150 metreyi bulmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Bahşılı karayolu köprü açıklığını gösteren bir fotoğraf

### 3. MATERYAL VE METOT

Son yıllarda baraj yıkılma hidrografları, bu hidrografların ötelenmesi ve olası zararların önceden tahmini amacıyla bilgisayar destekli modeller geliştirilmektedir. Barajların yıkılma türleri ve bunlara bağlı olarak ortaya çıkacak maksimum veya pik debinin tahmini için araştırmacılar baraj göl hacmi, baraj yüksekliği, su derinliği gibi parametreleri birlikte kullanarak regresyon tabanlı bazı metotlar geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, United States Bureau of Reclamation (USBR) (1982, 1988) metodu kullanılmıştır [11-12]. Bu metodun başlıca kullanıma nedeni, ortalama gediklenme genişliği (B), çökme zamanı (tf) ve pik debinin (Qp) tek bir parametreye bağlı olması ve bu parametrenin kolay ölçülebilen/tahmin edilebilen gediklenme üzerindeki su yüksekliği (hw) olmasıdır (Şekil 5). Çalışma alanında HEC-RAS yazılımı için gerekli nehir en kesitlerine ait geometrik veriler Kızılırmak nehri boyunca yapılan batimetrik ölçümlerden elde edilmiştir. Bahşılı karayolu köprüsünün boyutları ise köprü yerinde yapılan ölçümlerden sağlanmıştır.



Şekil 5. USBR metodunda kullanılan gediklenme parametreleri

### 3.1. USBR Metodu ile Pik Debi ve Çökme Zamanı Hesaplanması

USBR tarafından önerilen pik debi, gediklenme genişliği ve çökme zamanı formülleri Tablo 2’de verilmiştir. Bu formüllerde  $h_w$  metre cinsinden gediklenme üzerindeki su derinliğini ifade etmektedir.

**Tablo 2.** USBR tarafından önerilen formüller

Parametre	Formül
Pik Debi ( $m^3/s$ )	$Q_p = 19,1(h_w)^{1,85}$
Gediklenme Genişliği (m)	$B = 3(h_w)$
Çökme Zamanı (saat)	$t_f = 0,011(B)$

Çalışma kapsamında, Kapulukaya Barajı için en kötü senaryo olarak gediklenme yüksekliği  $h_w$  talvegden yüksekliğe eşit kabul edilerek 44 metre olarak alınmıştır. Buna göre hesaplanan pik debi, gediklenme genişliği ve çökme zamanı değerleri Tablo 3’de gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Kapulukaya Barajı olası yıkılma değerleri

Parametre	Değer
Pik Debi ( $m^3/s$ )	$Q_p = 20.961$
Gediklenme Genişliği (m)	$B = 132$
Çökme Zamanı (saat)	$t_f = 1,45$

### 3.2. HEC-RAS Yazılımı ile Modelleme

Önceki bölümde Kapulukaya barajının olası yıkılması sonucu hesaplanan pik debinin Kızılırmak nehrinde belirlenen 12 km’lik güzergah boyunca ötelenmesi için HEC-RAS yazılımı ile taşkın modellemesi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla seçilen nehir en kesitlerine ait geometrik veriler sahadan birebir ölçüm yapılarak elde edilmiştir. Seçilen güzergah üzerinde nehir batimetrik verilerinin elde edilmesinde, uzaktan kumanda ile yönlendirilen 61x41x20 cm boyutlarında bir bota bağlı olarak çalışan akustik sonar cihazı kullanılmıştır (Şekil 6). Hidrolik modellemede kullanılacak en kesitlerin geometrisini yeterince doğru şekilde tanımlayabilmek için nehir kesiti üzerinde olabildiği kadar sık aralıklarla ölçüm alınmaya çalışılmıştır (Şekil 7). Su yüzeyinde hareket halindeki botun yatay mesafe tespiti için derecelendirilmiş ip ve 250 metre mesafeli lazer metre kullanılmıştır.



Şekil 6. Akustik sonar cihazının bağlı olduğu uzaktan kumandalı bot



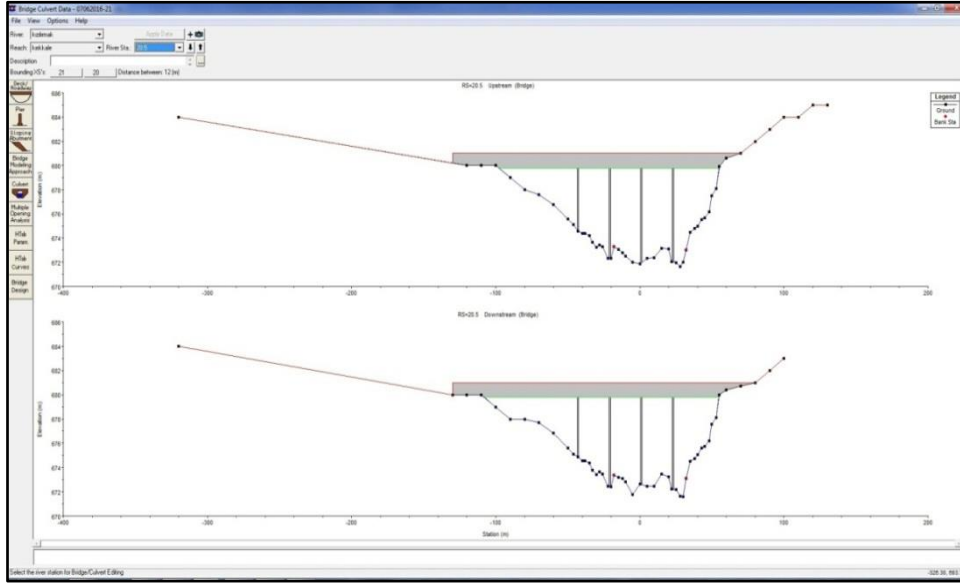
Şekil 7. Akustik sonar cihazı ile nehirde derinlik ölçümü

Bu saha çalışmasında nehir taban kotu değerleri, akustik sonar cihazıyla ölçülen derinlik değerlerinin sahilde alınan ve kot değeri bilinen bir referans noktasının kotundan çıkarılmasıyla elde edilmiştir. Baraj mansabından itibaren 12 km'lik mesafede nehir üzerinde toplam 38 adet en kesit alınmıştır. Bahşılı karayolu köprüsünün modellenmesi için 4 adet en kesit seçilmiştir. Bunlardan 2 tanesi köprü'nün memba ve mansap yüzeylerinde, diğer 2 tanesi ise köprü'nün memba ve mansap kısmından köprü genişliği kadar uzaklıkta elde edilmiştir. Köprü üzerinde yapılan ölçümlerde, derecelendirilmiş bir ipin ucuna bağlı 20 kg ağırlığında bir demir parçası kullanılmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Bahşılı karayolu köprüsü üzerinden yapılan batimetrik ölçümler

Elde edilen geometrik veriler yardımıyla HEC-RAS'a tanımlanan Bahşılı karayolu köprüsünün memba ve mansap kesitleri Şekil 9'da görülmektedir.

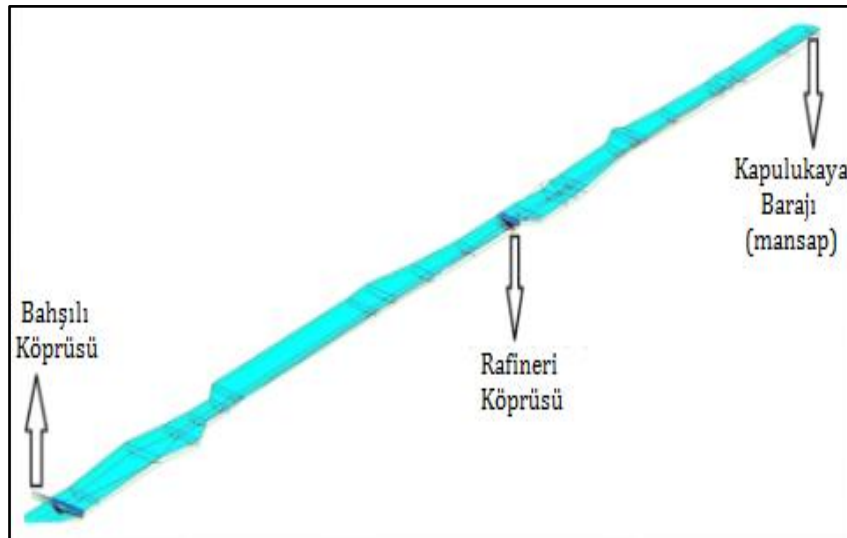


Şekil 9. HEC-RAS programında tanımlanan Bahşılı karayolu köprüsü kesiti

Baraj yıkılma senaryosu sonucu oluşacak pik debi değeri  $21.000 \text{ m}^3/\text{s}$  olarak kabul edilmiştir. Çalışma alanının başlangıç ve bitiş noktasına ait nehir taban kotlarından nehir taban eğimi  $0,00078$  olarak hesaplanmıştır. Memba ve mansap noktalarında sınır şartı olarak üniform akım derinliği seçilmiştir. Manning pürüzlülük katsayısının hesabında, çalışma sahasında yapılan gözlemler ve ilgili güncel literatür kullanılmıştır [13-14]. Buna göre, pürüzlülük katsayısı ana yataкта  $0,035$  ve sel yatağında ise  $0,05$  olarak kabul edilmiştir.

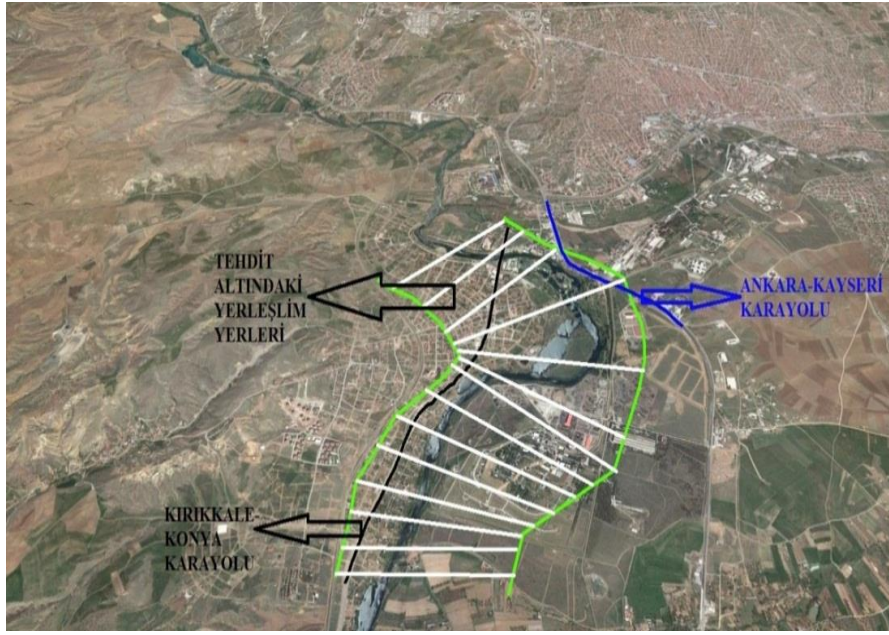
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

HEC-RAS ile gerçekleştirilen hidrolik modelleme sonucunda elde edilen üç boyutlu su yüzeyi profili Şekil 10'da görülmektedir. Elde edilen su yüzeyi profilinden alınan kotlar ile taşkına maruz kalan yerleşim alanlarının uydu haritası üzerindeki işaretlenmiş hali Şekil 11'de verilmiştir. Buna göre, Kapulukaya Barajı'nın olası yıkılma sonucu tahmin edilen pik debinin, Bahşılı ilçe merkezinin önemli bir kısmını, Kırıkkale-Konya ve Ankara-Kayseri karayollarının belli bölümleri ile Celal Bayar rekreasyon alanı ve Bahşılı karayolu köprüsünün tamamını taşkına maruz bıraktığı görülmektedir.



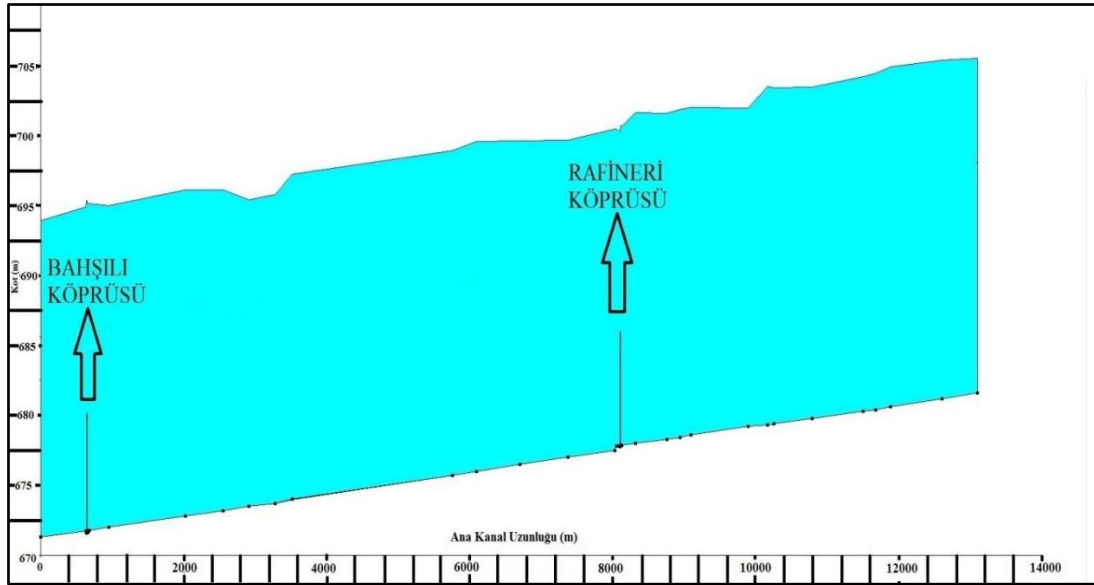
Şekil 10. HEC-RAS ile edilen 3D su yüzeyi profili





Şekil 11. Tahmini pik debinin gelmesi durumunda taşkın riski altında bulunan alanlar

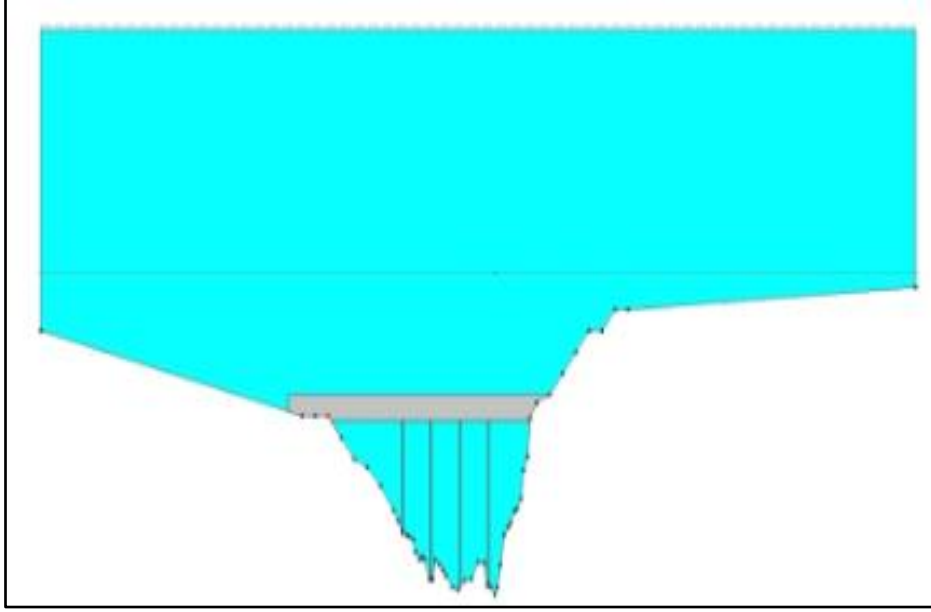
Taşkın dolayısıyla Bahşılı karayolu köprüsünün olduğu mevkide su yüzeyi kotunun 698 metreye yükseldiği ve nehir su yüksekliğinin yaklaşık olarak 27 metreye ulaştığı hesaplanmıştır (Şekil 12). Nehir su seviyesinde oluşan artışın, köprü'nün tabliye üst kotunu yaklaşık olarak 17 metre aştığı ve köprüde savak akımı meydana getirdiği görülmektedir (Şekil 13).



Şekil 12. Çalışma alanında nehir boyunca elde edilen su yüzeyi profili

Taşkın öteleme modellemesinde, ortalama taşkın dalga hızının 5,25 m/s olduğu hesaplanmıştır. Dolayısıyla, barajdan çıkan taşkın dalgasının yaklaşık olarak 38 dakikada çalışma bölgesine ulaşacağı, bu süreye USBR yöntemi ile elde edilen 87 dakikalık (1,45 saat) çökme süresinin de ilave edilmesiyle taşkın buraya toplamda 125 dakikada ulaşacağı tahmin edilmiştir.





Şekil 13. Bahşılı karayolu köprüsü için elde edilen akış kesiti

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Kızılırmak nehri üzerinde kurulu Kapulukaya Barajı'nın olası yıkılma sonrası pik debinin tahmini ve mansap bölgesinde taşkın etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda, ilk olarak muhtemel pik debi değeri USBR metodu ile yaklaşık olarak 21.000 m<sup>3</sup>/s olarak hesaplanmıştır. Bunu müteakiben, hesaplanan bu debisinin 12 km'lik mansap güzergahındaki yayılımı, yerleşim yerlerine (özellikle Bahşılı ilçe merkezi ile Celal Bayar rekreasyon alanı) ve Kızılırmak nehri üzerindeki Bahşılı karayolu köprüsüne muhtemel taşkın riskleri HEC-RAS programı ile bir boyutlu taşkın öteleme yapılarak incelenmiştir. Hidrolik modelleme sonuçlarına göre, tahmin edilen pik debinin seçilen çalışma alanında nehirdeki su seviyesinin 27 metreye kadar ulaşmasına ve dolayısıyla Bahşılı ilçe merkezindeki yerleşim yerlerinin önemli bir bölümü ile Celal Bayar rekreasyon alanının ve Bahşılı karayolu köprüsünün tamamının taşkın suları altında kalmasına sebebiyet vereceği görülmüştür.

Çalışmada, Kapulukaya Barajı'nın yıkılması durumunda taşkın dalgasının Bahşılı ilçe merkezine ve Celal Bayar rekreasyon alanına ulaşma süresinin yaklaşık olarak 2 saat olduğu hesaplanmıştır. Bu sürenin, özellikle yaz aylarında nüfus yoğunluğunun bir hayli arttığı bu bölgede gerekli erken uyarı sistemlerinin tasarımı ve acil tahliye işlemlerinin yürütülmesi açısından kritik bir öneme sahip olduğu düşünülmektedir. Diğer taraftan, Bahşılı karayolu köprüsü, ülkemizin önemli bir ulaşım güzergahı olan Kırıkkale-Konya karayolu üzerinde Kızılırmak nehri geçişini sağlaması sebebiyle önemli bir geçiş noktası konumundadır. Bu nedenle, bu büyüklükte muhtemel bir taşkın durumunda Bahşılı karayolu köprüsünü kullanan yaya ve araç sürücülerinin can ve mal güvenliğinin sağlanması için gerekli tedbirlerin alınması büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda, öncelikle karayolunun araç ve yaya trafiğine kapatılması, kurtarma ve acil müdahale amaçlı alternatif ulaşım güzergahlarının belirlenmesi, bölge halkının olası taşkın ve zararları konusunda önceden bilgilendirilmesi vb. tedbirler düşünülebilir.

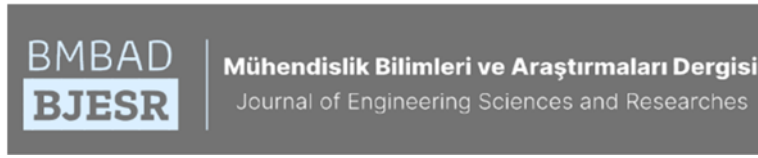
Bu çalışmada elde edilen hidrolik modelleme sonuçlarının iyileştirilmesi amacıyla çalışma güzergahı üzerinde daha fazla en kesit ölçümünün yapılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla yüksek çözünürlükte haritalar kullanılarak bölgede taşkın haritalamasının ve risk analizinin daha etkili bir şekilde gerçekleştirilmesi mümkündür.

## Teşekkür

Bu çalışma Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. **Proje numarası 2014-51.**

## KAYNAKÇA

- [1] A. Duvan, "Kızılırmak Nehri Kırıkkale Bölgesinde Hidrolik Yöntemlerle Taşkın Ötelemesi", Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 2016.
- [2] A. Duvan, O. Yıldız, E. Korkmaz. "Predicting Peak Discharge Due to Break of Kapulukaya Dam and Assessing Its Effects", 12th International Congress on Advances in Civil Engineering, Abstract Book, p.118, 21-23 September 2016, Boğaziçi University, İstanbul, Turkey.
- [3] Z. Bozkuş. "Afet Yönetimi İçin Baraj Yıkılma Analizleri", Teknik Dergi, vol.15, no.74, pp. 3335-3350, 2004.
- [4] H. Özdemir, C. Akbulak, H. Özcan. "Çokal Barajı (Çanakkale) çökme modeli ve taşkın risk analizi", Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi, vol.8, no.2, pp. 659-698, 2011.
- [5] İ. Haltaş, B. Kocaman. "Ayvalı Barajı Olası Yıkılma Taşkın Tehlike Modellenmesi ve Haritalandırması", VIII. Ulusal Hidroloji Kongresi, pp. 70-78, 2015.
- [6] Ş. Elçi, G. Tayfur, İ. Haltaş, B. Kocaman. "Baraj Yıkılması Sonrası İki Boyutlu Taşkın Yayılımının Yerleşim Bölgeleri İçin Modellenmesi", Teknik Dergi, vol.28, no.3, pp. 7955-7975, 2017.
- [7] Ö. Dursun, E. Gül. "İki Boyutlu Baraj Yıkılma Modellenmesi; Sürgü Barajı Örneği", Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, vol. 30, no. 3, pp. 97-104, 2018.
- [8] N. P. Kemaloğlu, M. B. Koçyiğit ve H. Akay. "Baraj Yıkılması Taşkın Dalgası Yayılımının 1-Boyutlu Sayısal Simülasyonlarla İncelenmesi: Rahmanlar Barajı Örneği", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, vol.7, no.1, pp. 97-111, 2019.
- [9] U.S. Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources. HEC User Guide, HEC-RAS River Analysis System, 2010.
- [10] U.S. Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources. Hydraulic Reference Manual 4.1, HEC-RAS River Analysis System, 2010.
- [11] U.S. Bureau of Reclamation, Guidelines for Defining Inundated Areas Downstream from Bureau of Reclamation Dams, Reclamation Planning Instruction, 1982.
- [12] U. S. Bureau of Reclamation, Downstream Hazard Classification Guidelines, ACER Technical Memorandum, 1988.
- [13] A. Bulu, E. Yılmaz, "Serbest yüzeyli akımlarda pürüzlülük katsayısının belirlenmesi", Türkiye Mühendislik Haberleri, pp. 421 - 423, 2002.
- [14] Dere Yatakları İçin Pürüzlülük Katsayısı Belirleme Kılavuzu, Orman ve Su İşleri Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 2016.



## CMOS Transistörler ile Gerçekleştirilen İkinci Kuşak Akım Taşıyıcısına Ait Performans Parametrelerinin Elman Yapay Sinir Ağı ile İncelenmesi

### Analysis of Performance Parameter of Second-Generation Current Carrier with CMOS Transistors with Elman Artificial Neural Network

M.Öğuz KORKMAZ<sup>a</sup> , Abdullah YEŞİL<sup>a</sup> , M. Nuri SEYMAN<sup>a</sup> , Onursal ÇETİN<sup>a</sup> 

<sup>a</sup>Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bandırma/Balıkesir, Türkiye

mkorkmaz@bandirma.edu.tr, ayesi@bandirma.edu.tr

mseyman@bandirma.edu.tr, ocetin@bandirma.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

#### ARTICLE INFO

##### Article history

Received : 31 January 2020

Accepted : 10 March 2020

##### Keywords:

Current Conveyor, Artificial Neural Network, Elman, Scaled Conjugate Gradient

#### ABSTRACT

The parasitic impedances cause the system to have varied and/or effected operating characteristics. In order to be able to reduce the effect of parasitic impedances and align the system with ideal operating characteristics, channel width and polarization current of transistors used in circuits can be changed. In this study, in order to be able to reduce the effects of parasitic resistances on second generation current carrying circuit and increase the bandwidth of terminals, an artificial neural network which predicts the appropriate design parameters is created. Created artificial neural network has Elman network structure and involves a single hidden layer having 30 neurons. 12 different training functions are used while training the artificial neural network. The data set used in trainings is created using LTSPICE software. In the data set, there are 60 thousand data having 9 attributes. 54 thousand of these data are used in training while 6 thousand data are reserved for test. The ideal results in the tests were obtained from Scaled Conjugate Gradient training algorithm. Error rate of trained artificial neural network is found to be 4.59%.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

#### MAKALE BİLGİSİ

##### Makale Tarihleri

Gönderim : 31 Ocak 2020

Kabul : 10 Mart 2020

##### Anahtar Kelimeler:

Akım Taşıyıcı, Yapay Sinir Ağı, Elman, Scaled Conjugate Gradient

#### ÖZET

Oluşan parazitik empedanslar, sistemin çalışma karakteristiğini değişmesine ve/veya etkilenmesine neden olmaktadır. Parazitik empedansların etkisini azaltabilmek ve sistemi ideal çalışma karakteristiğine yaklaştırabilmek için, devrelerde kullanılan transistörlerin kanal genişlikleri ve kutuplama akımları değiştirilebilir. Yapılan bu çalışmada, ikinci kuşak akım taşıyıcı devresi üzerindeki parazitik dirençlerin etkilerini azaltabilmek ve terminallere ait bant genişliğini arttırmak için, uygun tasarım parametrelerini tahmin eden bir yapay sinir ağı oluşturulmuştur. Oluşturulan yapay sinir ağı, Elman ağ yapısına sahiptir ve 30 nörona sahip tek gizli katman içermektedir. Yapay sinir ağı eğitilirken 12 farklı eğitim fonksiyonu kullanılmıştır. Eğitimlerde kullanılan veri seti, LTSPICE programı kullanılarak oluşturulmuştur. Veri setinde 9 adet özneliğe sahip 60 bin veri bulunmaktadır. Verilerin 54 bini eğitimde kullanılırken 6 bin veri test için ayrılmıştır. Yapılan testlerde en ideal sonucu Scaled Conjugate Gradient eğitim algoritması vermiştir. Eğitilen yapay sinir ağının hata oranı, ortalama %4,59 olarak bulunmuştur.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

## 1. GİRİŞ

Akım modlu devre elemanları; analog sinyal işleme, telekomünikasyon sistemleri gibi elektronik sistemlerde kullanılmaktadır. CMOS teknolojisinin gelişmesiyle birlikte kullanım alanları da artmıştır. Akım modlu devre elemanları, gerilim modlu devre elemanlarına göre daha yüksek frekans bant genişliğine sahip olması, gerilimden bağımsız çalışabilmesi, daha iyi lineerlik göstermesi, devre yapısının daha basit olması ve daha büyük yükselme akımına sahip olması gibi özelliklerinden dolayı daha üstün özelliklere sahiptir [1]. Akım modlu devrelerin CCI, CCII, CCIII, DVCC, ICCII, DDCC, DXCCII, FDCCII, CCCII gibi akım taşıyıcı türleri mevcuttur [2]–[10].

Her akım taşıyıcının kendine özgü transfer fonksiyonu olduğu için akım taşıyıcılar ihtiyaca göre seçilmektedir. İdeal devreler için hesaplanan transfer fonksiyonları ile gerçekte kullanılan akım taşıyıcıların transfer fonksiyonları arasında ciddi farklar olabilmektedir. Akım taşıyıcıları etkileyen istenmeyen parazitik empedanslar ve non-ideal kazançlar gibi etmenler yüzünden akım taşıyıcıların çıkış parametreleri değişebilmektedir. Bu durum, akım taşıyıcıların çalıştığı frekans aralıklarının sınırlanmasına ve istenilen şekilde çalışmamasına neden olmaktadır. Akım taşıyıcıların, ideal olmayan koşullarda da çalışabilmesini sağlamak için iç yapısında değişiklikler yapılması gerekmektedir.

Akım taşıyıcıların iç yapısında CMOS transistörler kullanılmaktadır. CMOS transistörlerin kanal boyları, genişliği ve kutuplama akımı parametreleri, ideal tasarım parametrelerine yakın çalışacak şekilde seçilmektedir. Seçimler yapılırken ya transistörlere ait basitleştirilmiş akım gerilim denklemleri kullanılmaktadır ya tasarımcının daha önceki tecrübelerine göre tahmin edilmektedir ya da simülasyon programlarından yardım alınarak optimum tasarım parametreleri bulunmaya çalışılmaktadır.

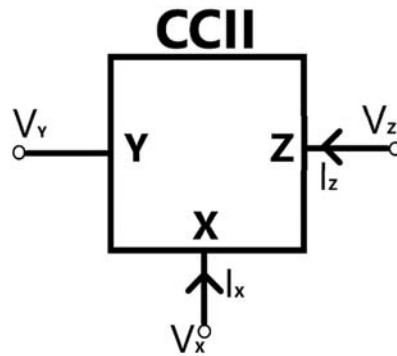
Yapay sinir ağlarının gelişmesiyle birlikte optimum tasarım parametrelerinin bulunabilmesi için yapay sinir ağları kullanılmaya başlanmıştır. Yapay sinir ağları, beyindeki nöronların yaptığı işlemleri matematiksel olarak taklit ederek, bilgisayarlara kestirim ve genelleme yapabilme yeteneklerini kazandırmayı hedeflemektedir. Yapay sinir ağlarının gelişmesiyle birlikte, veri miktarının çok fazla olduğu haberleşme, biyomedikal gibi alanlarda kullanılmaya başlanmıştır [11]–[15].

İkinci kuşak akım taşıyıcıların performans parametrelerinin tahmin edilebilmesi için yapılan bir çalışmada, ileri beslemeli yapay sinir ağı kullanılmıştır. Yapay sinir ağı, sadece Levenberg-Marquardt eğitim fonksiyonu kullanılarak eğitilmiştir [17].

Yaptığımız bu çalışmada referans [17]'de de kullanılan akım taşıyıcıyla aynı iç yapı kullanılıp, transistor boyutlarının değişim aralığı sıklaştırılarak daha fazla ölçüm alınmıştır. Ağ yapısı olarak Elman ağı test edilmiştir. Ayrıca yapay sinir ağı 12 farklı eğitim fonksiyonu kullanılarak hem CPU üzerinden hem de GPU üzerinden eğitilmiştir. Eğitilen ağlar kaydedilerek eğitimde hiç kullanılmamış veriler, CMOS iç yapısındaki performans parametrelerinin tahmin edilmesinde kullanılmıştır.

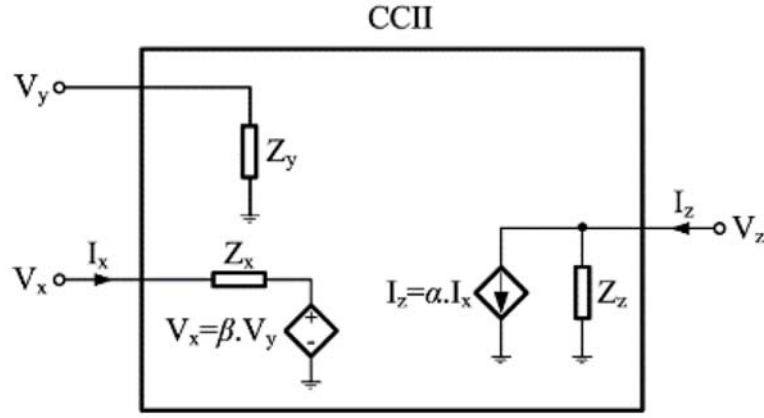
## 2. YÖNTEM

Akım taşıyıcılar arasında ikinci kuşak akım taşıyıcı (CCII) yaygın biçimde kullanılmaktadır. CCII, Şekil 1'deki gibi iki girişli ve tek çıkışlı bir yapıya sahiptir.



Şekil 1. CCII Sembolü

İdeal bir CCII devresinde Y terminalinin gerilimi ile X terminalinin gerilimleri birbirine eşittir. Y terminalinden akım akmazken, X terminalinden akan akım ile Z terminalinden akan akım birbirine eşittir. İdeal olmayan bir CCII devresinin eşdeğer devresi ise Şekil 2'deki gibidir. İdeal olmayan devrenin oluşturulabilmesi için benzetim programında kurulan eşdeğer devreye parazitik dirençler eklenmelidir. Bunun için Şekil 2'de olduğu gibi eşdeğer devrenin girişine seri, çıkışına paralel olacak şekilde parazitik dirençler eklenmektedir.



Şekil 2. CCII ideal olmayan eşdeğer devresi [18]

İdeal olmayan eşdeğer devredenin temel denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$I_Y = \frac{V_Y}{R_Y} \quad (1)$$

$$V_X = \beta V_Y + R_X I_X \quad (2)$$

$$I_Z = \alpha I_X + V_Z / R_Z \quad (3)$$

Burada  $\alpha$  akım kazancını,  $\beta$  ise gerilim kazancını ifade etmektedir. Bu değerler, ideal devrelerde bire eşitken, ideal olmayan devrelerde bire yakın olmaları beklenmektedir.

Bu çalışmada kullanılan veri seti, Şekil 3'teki CCII devresinin iç yapısı kullanarak elde edilmiştir. Veri setinde 5'i giriş ve 4'ü çıkış olmak üzere 9 adet özneteliğe sahip 60 bin veri kullanılmıştır. Verilerin 54 bini eğitim için ayrılırken 6 binini test için ayrılmıştır. Test için ayrılan veriler, eğitimin hiçbir aşamasında kullanılmamıştır. Giriş verisi olarak kullanılan CMOS transistörlerin boyutları belirlenirken aşağıdaki eşitlikler dikkate alınmıştır.

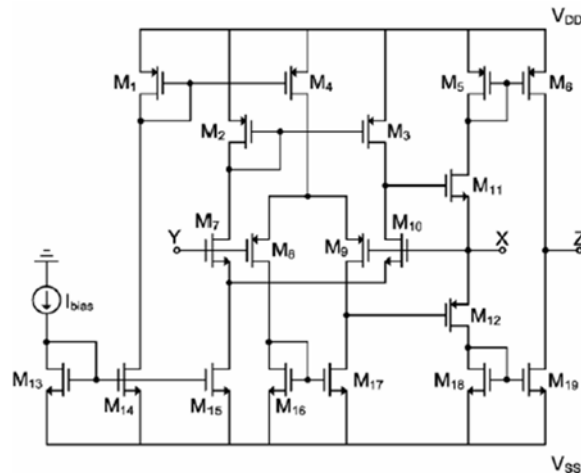
$$3 \times M_7 = 3 \times M_{10} = M_8 = M_9 \quad (4)$$

$$3 \times M_{16} = 3 \times M_{17} = M_2 = M_3 \quad (5)$$

$$3 \times M_{11} = M_{12} \quad (6)$$

$$3 \times M_{18} = 3 \times M_{19} = M_5 = M_6 \quad (7)$$

Veri setinde giriş verisi olarak;  $M_5$ ,  $M_7$ ,  $M_{11}$ ,  $M_{16}$  CMOS transistörlerinin kanal genişlikleri ve kutuplama akımı olan  $I_{ref}$  akımı kullanılmıştır. Çıkış verisi olarak; X terminaline ait bant genişliği ( $f_{mx}$ ), Z terminaline ait bant genişliği ( $f_{mz}$ ), X terminalindeki seri parazitik direncin büyüklüğü ( $R_x$ ) ve Z terminalindeki paralel parazitik direncin büyüklüğü ( $R_z$ ) kullanılmıştır. Veriler LTSPICE programından elde edilirken denklem (4)-(7) dikkate alınarak, CMOS transistörlerin boyutları  $M_{11}$  transistörün kanal genişliği  $5 \mu m$ ,  $10 \mu m$ ,  $20 \mu m$ ,  $30 \mu m$ ,  $40 \mu m$ ,  $50 \mu m$  olarak seçilirken  $M_5$ ,  $M_7$  ve  $M_{16}$  transistörlerinin kanal genişlikleri ise  $5 \mu m$ 'den  $50 \mu m$ 'ye kadar  $5 \mu m$  aralıklarla değiştirilmiştir. Ayrıca, kutuplama akımının değerleri ise  $5 \mu A$ 'den  $50 \mu A$ 'ye kadar  $5 \mu A$  aralıklarla değiştirilmiştir.



Şekil 3. CCII akım taşıyıcının iç yapısı [19]



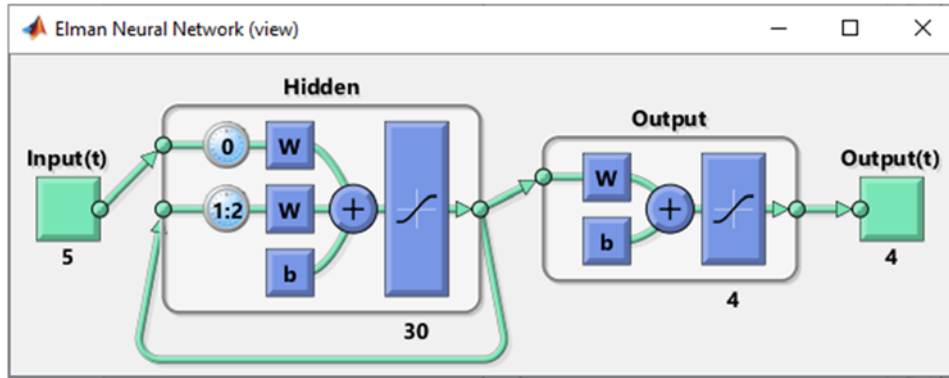
Performans parametrelerini belirlemek istediğimiz akım taşıyıcının verilerini kullanarak, Elman ağ yapısına sahip bir yapay sinir ağı eğitilmiştir. Yapay sinir ağında yapılan tahminlerin yüksek doğruluk oranına sahip olması ve hesaplama sürelerinin düşük olabilmesi için en uygun eğitim fonksiyonunun ve transfer fonksiyonunun belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada eğitim fonksiyonu olarak Regularization, Polak-Ribière Conjugate Gradient, BFGS Quasi-Newton, Conjugate Gradient with Powell/Beale Restarts, Levenberg-Marquardt, Bayesian Fletcher-Powell Conjugate Gradient, One Step Secant, Variable Learning Rate Gradient Descent, Gradient Descent with Momentum, Resilient Backpropagation, Scaled Conjugate Gradient ve Gradient Descent fonksiyonları test edilmiştir.

Transfer fonksiyonu olarak, Hard-Limit transfer fonksiyonu, Log-Sigmoid transfer fonksiyonu, Linear transfer fonksiyonu, Radial Basis transfer fonksiyonu ve Hyperbolic Tangent Sigmoid transfer fonksiyonu test edilmiştir. Yapılan testlerde Hyperbolic Tangent Sigmoid transfer fonksiyonun diğer transfer fonksiyonlarına göre daha başarılı olduğu görüldüğünden yapay sinir ağının bütün katmanlarında kullanılmıştır.

### 3. BENZETİM ÇALIŞMALARI

Bu çalışmada Şekil 4'te verilen Elman ağı, MATLAB [Lisans No: 40692431] ortamında 12 farklı eğitim fonksiyonuyla test edilmiştir. Elman ağının tüm katmanlarında transfer fonksiyonu olarak Hyperbolic Tangent Sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Ağ oluşturulurken 30 nöronlu tek katman kullanılmıştır. Elman ağı, ileri beslemeli ve geri beslemeli bağlantılara sahiptir. Eğitim sırasında ileri beslemeli bağlantılar ve standart geri yayılım algoritması kullanılmaktadır. Geri beslemeli bağlantılar ise sabit kalmaktadır.



Şekil 4. Elman ağ yapısı

Elman yapay sinir ağı ve akım taşıyıcısına ait veri setleri ekran kartı üzerinden hesaplanarak elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilirken, işlemci üzerinden yapılan hesaplamaların sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Tablolarda, 12 farklı eğitim fonksiyonunun sonuçları bulunmaktadır. Min-Max yüzdeler hata oranı sütununda, eğitim algoritmalarının testleri sırasında karşılaşılan en küçük yüzdeler hata oranı ile en büyük yüzdeler hata oranı belirtilmiştir. Eğitim sayısı, eğitim fonksiyonunun kaç iterasyon sonunda doğrulama kontrol koşulunu sağlandığını göstermektedir. Eğitim süresi, doğrulama kontrol koşullarının ne kadar sürede sağlandığını göstermektedir. Ortalama hata oranı ise, eğitime sokulmayan 6 bin verinin, eğitimi tamamlanmış yapay sinir ağı üzerinde hesaplanmasıyla elde edilen hata oranlarının aritmetik ortalamasıdır.

Tablo 1. GPU ile hesaplanmış Elman ağ yapısı

Eğitim Fonksiyonu	Min-Max Yüzdeler Hata Oranı	Eğitim Sayısı	Eğitim Süresi	Ortalama Hata Oranı
Levenberg-Marquardt	Hesaplanamamaktadır	-	-	-
Bayesian Regularization	Hesaplanamamaktadır	-	-	-
BFGS Quasi-Newton	Hesaplanamamaktadır	-	-	-
Resilient Backpropagation	%1,06-%54,46	2000	00:00:50	%10,47
Scaled Conjugate Gradient	%0,37-%31,45	2000	00:02:56	%4,59
Conjugate Gradient with Powell/Beale Restarts	%4,97-%324,08	59	00:00:06	%50,57

<b>Fletcher-Powell Conjugate Gradient</b>	%0,71-%216,54	2000	00:02:49	%9,63
<b>Polak-Ribière Conjugate Gradient</b>	%0,63-%46,56	2000	00:02:54	%6,94
<b>One Step Secant</b>	%0,63-%100,17	2000	00:02:53	%8,97
<b>Variable Learning Rate Gradient Descent</b>	%0,84-%225,49	2000	00:00:51	%17,89
<b>Gradient Descent with Momentum</b>	%2,64-%1115,36	2000	00:00:52	%53,30
<b>Gradient Descent</b>	%2,22-%980,52	2000	00:00:52	%55,03

Tablo 2. CPU ile hesaplanmış Elman ağ yapısı

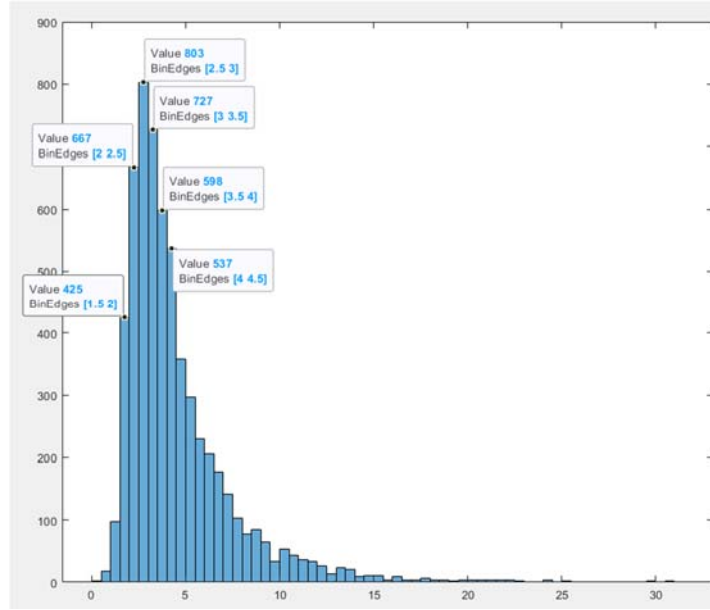
<b>Eğitim Fonksiyonu</b>	<b>Min-Max Yüzdellik Hata Oranı</b>	<b>Eğitim Sayısı</b>	<b>Eğitim Süresi</b>	<b>Ortalama Hata Oranı</b>
<b>Levenberg-Marquardt</b>	%0,39-%44,93	468	08:01:41	%5,75
<b>Bayesian Regularization</b>	%0,50-%44,51	418	00:18:35	%9,52
<b>BFGS Quasi-Newton</b>	%4,60-%2676,92	2000	02:08:22	%135,05
<b>Resilient Backpropagation</b>	%0,85-%54,22	2000	00:02:04	%9,47
<b>Scaled Conjugate Gradient</b>	%0,59-%44,99	2000	00:03:54	%6,19
<b>Conjugate Gradient with Powell/Beale Restarts</b>	%0,91-%52,38	2000	00:06:55	%6,87
<b>Fletcher-Powell Conjugate Gradient</b>	%5,87-%3117,44	2000	00:05:54	%145,66
<b>Polak-Ribière Conjugate Gradient</b>	%5,46-%2728,39	210	00:00:49	%161,97
<b>One Step Secant</b>	%0,46-%132,28	2000	00:06:47	%9,59
<b>Variable Learning Rate Gradient Descent</b>	%0,70-%217,65	2000	00:01:55	%15,46
<b>Gradient Descent with Momentum</b>	%3,28-%698,37	2000	00:01:56	%46,66
<b>Gradient Descent</b>	%13,65-%1609,27	2000	00:01:56	%90,37

#### 4. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE BULGULAR

Benzetim çalışmalarındaki hesap işlemleri hem ekran kartı üzerinden hem de işlemci üzerinden yapıp incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda Levenberg-Marquardt, Bayesian Regularization ve BFGS Quasi-Newton eğitim algoritmalarının ekran kartı üzerinden hesaplanmadığı için bu 3 eğitim fonksiyonu sadece işlemci üzerinden hesaplanmıştır.

Ekran kartı üzerinden yapılan hesaplamaların, işlemci üzerinden yapılan hesaplamalara göre genellikle çok daha hızlı olduğu görülmüştür. Ekran kartları üzerinden oluşturulan yapay sinir ağları ile işlemciler üzerinden oluşturulan yapay sinir ağları arasındaki hata oranları birbirine oldukça yakındır. Bu farkın temel nedeni, donanımların değişmesinden ziyade eğitim için ayrılan verilerin farklı sıralarla eğitime sokulmasıdır. Aynı benzetim çalışması art arda yapıldığında dahi sonuçlar arasında yaklaşık %1 oranında farklılıklar meydana gelebilmektedir.

Elman Ağ yapısı ile yapılan benzetim çalışmaları incelendiğinde eğitim fonksiyonlarının ortalama hata oranları %4,59 ile %162,0 arasında gerçekleşmiştir. En düşük ortalama hata oranı %4,59 ile Scaled Conjugate Gradient eğitim fonksiyonuyla eğitilen yapay sinir ağında gerçekleşmiştir. Eğitim, 2000 iterasyonda tamamlanmıştır ve eğitim 2 dakika 56 saniye sürmüştür. Eğitilen yapay sinir ağına hata histogramı Şekil 5’de gösterilmiştir. Histograma göre hata oranı %1,5 ile %4,5 arasında yoğunlaşmıştır.



Şekil 5. Elman ağ yapısında Scaled Conjugate Gradient eğitim algoritmasının hata histogramı

Scaled Conjugate Gradient algoritması ile eğitilmiş Elman ağ yapısındaki bir yapay sinir ağı ile örnek bir hesaplama yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3’deki gibidir.

Tablo 3. Scaled Conjugate Gradient eğitim algoritması ile hesaplanan veriler

	Giriş Verileri					Çıkış Verileri			
	M <sub>11</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>16</sub>	M <sub>18</sub>	I <sub>bias</sub>	f <sub>mx</sub>	f <sub>mz</sub>	R <sub>x</sub>	R <sub>z</sub>
Birimler	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µA]	[MHz]	[MHz]	[Ω]	[kΩ]
<b>Gerçek Değerler</b>	40	10	45	35	25	332,267	555,621	3,09244	25,84240
<b>Hesaplanan Değerler</b>	40	10	45	35	25	331,591	522,844	3,09824	28,43718
<b>Yüzdellik Fark</b>	-	-	-	-	-	%0,2	%5,9	%0,19	%10,04

Tablo 3’de yapılan örnek hesaplamada, gerçek değerler ile hesaplanan değerler arasındaki ortalama yüzdellik fark %4,08 olarak hesaplanmıştır.

## 5. SONUÇ

Yapılan bu çalışmada, ikinci kuşak akım taşıyıcıların performans parametrelerinin belirlenebilmesi için yapay sinir ağlarından faydalanılmıştır. Yapay sinir ağı olarak Elman ağ modeli kullanılmıştır. Ağ modeli de 30 nörona sahip tek gizli katmandan oluşmaktadır. Ağ eğitilirken 12 farklı eğitim fonksiyonu kullanılarak en ideal eğitim fonksiyonunun tespit edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca CPU ve GPU için ayrı ayrı hesaplamalar yapılmıştır. Ağlarda bulunan katmanların tamamında transfer fonksiyonu olarak Hyperbolic Tangent Sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Eğitilen ağlar test edildiğinde hata oranının yaklaşık %2 civarında olduğu görülmüştür.

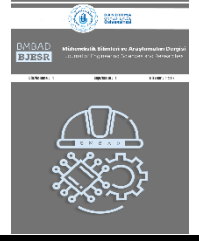
Bu çalışmada, yapay sinir ağı modellerinden sadece Elman ağı analiz edilmiştir. Feedforward, Design Generalized Regression, Function Fitting, Radial Basis, Learning Vector Quantization, Self Organizing Map, Jordan gibi diğer yapay sinir ağ modelleri de analiz edilerek daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

## Teşekkür

Bu çalışma Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: BAP-18-DF-1003-004.

## KAYNAKÇA

- [1] A. A. El-Adawy, A. M. Soliman, ve H. O. Elwan, "A novel fully differential current conveyor and applications for analog VLSI," IEEE Trans. Circuits Syst. II Analog Digit. Signal Process., vol. 47, no. 4, pp. 306–313, 2000.
- [2] W. Chiu, S.-I. Liu, H.-W. Tsao, ve J.-J. Chen, "CMOS differential difference current conveyors ve their applications," IEE Proc. - Circuits, Devices Syst., vol. 143, no. 2, pp. 91-96, 1996.
- [3] F. Kacar, B. Metin, ve H. Kuntman, "A new CMOS dual-X second generation current conveyor (DXCCII) with an FDNR circuit application," AEU - Int. J. Electron. Commun., vol. 64, no. 8, pp. 774–778, 2010.
- [4] A. Fabre, O. Saaïd, F. Wiest, ve C. Boucheron, "High frequency applications based on a new current controlled conveyor," IEEE Trans. Circuits Syst. I Fundam. Theory Appl., vol. 43, no. 2, pp. 82–91, 1996.
- [5] H. A. Alzaher, H. Elwan, ve M. Ismail, "A cmos fully balanced second-generation current conveyor," IEEE Trans. Circuits Syst. II Analog Digit. Signal Process., vol. 50, no. 6, pp. 278–287, 2003.
- [6] S. Awad Mahmoud, "New fully-differential cmos second-generation current conveyer," ETRI J., vol. 28, no. 4, pp. 495–501, 2006.
- [7] E. Arslan, B. Metin, N. Herencsar, J. Koton, A. Morgul, ve O. Cicekoglul, "High performance wideband CMOS CCI and its application in inductance simulator design," Adv. Electr. Comput. Eng., vol. 12, no. 3, pp. 21–26, 2012.
- [8] S. Minaei, "A new high performance CMOS third generation current conveyor (CCIII) and its application," Electr. Eng. (Archiv fur Elektrotechnik), vol. 85, no. 3, pp. 147–153, 2003.
- [9] M. A. Ibrahim, H. Kuntman, S. Ozcan, O. Suvak, ve O. Cicekoglul, "New first-order inverting-type second-generation current conveyor-based all-pass sections including canonical forms," Electr. Eng., vol. 86, no. 5, 2004.
- [10] S. Minaei ve C. Temizyurek, "Dual input all-pass filter using DVCC," in SCS 2003. International Symposium on Signals, Circuits and Systems. Proceedings, vol. 2, pp. 477–480, 2003.
- [11] O. Çetin, F. Temurtaş, ve Ş. Gülgönül, "An application of multilayer neural network on hepatitis disease diagnosis using approximations of sigmoid activation function," Dicle Med. J. / Dicle Tip Derg., vol. 42, no. 2, pp. 150–157, 2015.
- [12] M. N. Seyman ve N. Taspınar, "Radial Basis Function Neural Networks for Channel Estimation in MIMO-OFDM Systems," Arab. J. Sci. Eng., vol. 38, no. 8, pp. 2173–2178, 2013.
- [13] A. Dalcalı, O. Çetin ve F. Temurtaş, "Investigation of current-force relationship in an electromagnetic launcher," Electronic Letters on Science and Engineering, vol. 15, no. 1, pp. 21–27, 2019.
- [14] F. Temurtaş, "A comparative study on thyroid disease diagnosis using neural networks," Expert Syst. Appl., vol. 36, no. 1, pp. 944–949, 2009.
- [15] H. Makas ve N. Yumusak, "Classification using neural networks trained by swarm intelligence," Electronic Letters on Science and Engineering, vol. 13, no. 1, pp. 16–30, 2007
- [16] G. Ren, Y. Cao, S. Wen, T. Huang, ve Z. Zeng, "A modified elman neural network with a new learning rate scheme," Neurocomputing, vol. 286, pp. 11–18, 2018.
- [17] A. Yeşil, Y. Çelik, ve F. Temurtaş, "Yapay sinir ağları yöntemi ile ikinci kuşak akım taşıyıcının performans parametrelerinin tahmin edilmesi," Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi, vol. 1, no. 1, pp. 13–23, 2019.
- [18] E. Arslan ve A. Morgül, "Self-biasing current conveyor for high frequency applications," J. Circuits, Syst. Comput., vol. 21, no. 05, 2012.
- [19] E. Arslan ve A. Morgül, "Wideband current conveyor with rail to rail input stage," ELECO, 5th Int. Conf. Electr. Electron. Eng., pp. 66–70, 2007.



## Sivas İlindeki Hava Kirliliğine Doğalgaz Kullanımının Etkileri

### Effects of Using Natural Gas to Air Pollution in Sivas

Ahmet FERTELLİ 

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

[fertelli@cumhuriyet.edu.tr](mailto:fertelli@cumhuriyet.edu.tr)

Araştırma Makalesi/Research Article

#### ARTICLE INFO

##### Article history

Received : 8 July 2020

Accepted : 12 August 2020

##### Keywords:

Air Pollution, Particle Mass,  
Air Quality, SO<sub>2</sub>

#### ABSTRACT

Air pollution is the most important environmental problem for our world today. The use of fossil fuels such as coal and fuel oil, which cause air pollutant parameters in our country, is the most important factor in the formation of air pollution for years. In this study, the effects of natural gas on air pollution parameters, which have been used in Sivas since 2005, have been investigated. For this purpose, PM10 and SO<sub>2</sub> values in 2008 and 2017 were examined monthly and annually. The air pollution values used in the analyzes were taken from the air measurement station in Sivas city center. The results showed a significant reduction in air pollution and improvements in air quality by using natural gas for heating.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

#### MAKALE BİLGİSİ

##### Makale Tarihleri

Gönderim : 8 Temmuz 2020

Kabul : 12 Ağustos 2020

##### Anahtar Kelimeler:

Hava Kirliliği, Partikül  
Madde, Hava Kalitesi, SO<sub>2</sub>

#### ÖZET

Hem nüfus sayısının hem de sanayileşmenin artmasının sebep olduğu hava kirliliği, günümüzde dünyamız için en önemli çevre sorunudur. Hava kirliletiçi parametrelerin oluşmasına sebep olan kömür ve fuel-oil gibi fosil yakıtların ülkemizde kullanımı yıllardan beri hava kirliliğinin oluşmasındaki en önemli etkindir. Bu çalışmada, 2005 yılından itibaren Sivas ilinde kullanılmaya başlayan doğalgazın hava kirlilik parametreleri üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, 2008 ve 2017 yıllarındaki PM10 ve SO<sub>2</sub> değerleri aylık ve yıllık olarak incelenmiştir. Analizlerde kullanılan hava kirlilik değerleri Sivas şehir merkezinde bulunan hava ölçüm istasyonundan alınmıştır. Sonuçlarda, ısınma amaçlı doğal gazın kullanılmasıyla hava kirliliği üzerinde önemli miktarda azalma ve hava kalitesinde ise iyileşmeler görülmüştür.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Dağa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.



## 1. GİRİŞ

Hem enerji üretiminde hem de bina ve endüstri tesislerindeki ısıtma, sıcak su ve buhar ihtiyacı çeşitli yakıtların yakılması ve yanma sonucu oluşan çeşitli gazların atmosfere bırakılmasıyla sonuçlanmaktadır. Enerji üretiminde buhar eldesi için kullanılan termik ve doğalgazlı santraller, endüstri tesislerindeki buhar ve sıcak su eldesi için kullanılan buhar kazanları, binalarda ısıtma amaçlı kullanılan katı ve sıvı yakıtlı kazan sistemleri ve bireysel ısınmada kullanılan ısıtma cihazlarında sıvı ve katı yakıtlar kullanılmaktadır. Buhar üretiminde kullanılan katı fosil yakacakların en önemlisi kömürdür. Kullanılan genel kömür çeşitleri; antrasitler, taş kömürleri ve linyitlerdir. Elementer analize göre kömür, % 72 karbon, % 5 hidrojen, % 6,7 oksijen, % 2,3 kükürt, % 7 kül, % 2,5 su ve endüstriyel analize göre % 37,6 uçucu madde içermektedir [1]. Karbon, uçucu madde ayrıldıktan sonra geriye kalan ve katı halde yanan maddedir. Kül, kömürün tamamen yanmasından sonra atık olarak ortaya çıkan maddelerdir. Kükürt ise yanma sonucundaki ürünlerin korozif etkisini belirleyen kömürdeki en önemli bileşendir [1]. Bacadan atılan kükürt oksitler asit yağmurlarına sebep olmaktadır. Buhar üretiminde en sık kullanılan sıvı yakıt ise bileşenleri %83 karbon, %11 hidrojen, %5 oksijen-azot ve % 4 kükürt içeren fueloildir [1]. Fakat doğalgazın ülkemize gelmesiyle birlikte kullanımı önemli miktarda azalmıştır. Gaz yakıt olarak ise hidrojen miktarı katı ve sıvılara göre yüksek olan, % 80-95 metan, propan ve azottan oluşan, renksiz ve kokusuz olup kül ve nem içermeyen temiz bir yakıt olan doğalgaz kullanılmaktadır [2].

Bu yakıtların yanması sonucu açığa çıkan emisyonlarda, oksijen (O<sub>2</sub>), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), azot oksit (NO<sub>x</sub>) ve partikül maddeler (PM) bulunmaktadır. Baca gazları içerisinde CO<sub>2</sub> atmosferde sera etkisine oluştururken, CO ise enerji kaybına ve ıslılığe sebep olmaktadır. Kükürt dioksit, çevre için tehlikeli emisyonların başında kabul edilmekte ve asit yağmurlarına sebep olmaktadır.

Hava içerisinde bulunan, farklı kimyasal bileşenlerden oluşan ve gözle görülemeyen partiküller insan sağlığını bozan en tehlikeli kirlenici maddelerden birisidir [3]. Bu partiküller trafik, kömür, maden ve inşaat alanlarından dolayı hem insan hem de doğla kaynaklı olmakla beraber atmosferdeki başka kirlenici maddeler ile reaksiyona girerek PM'i oluştururlar. PM<sub>10</sub>, 10 µm'nin altında çapa sahip olan partiküllerdir [3]. Partikül boyutu vücut içerisinde yerleşilen bölgeyi değiştirmekte, bulunduğu kısımlarda hastalık oluşturmaktadır. Astım, kronik akciğer ve kalp hastalığı olan kişilerin PM ile temas etmeleri halinde ve 10 µm'den küçük olması durumunda kılcal damarlara giriş yapılabilir [4]. Buradan da kurşun gibi zehirli maddeler %100 olarak kana geçebilir. Ayrıca Partikül boyutunun 10 µm'den büyük olması durumunda ise burun içerisinde konumlanabilmektedir [4]. Ülkemizde tüm şehirlerde hava kirliliğini azaltmak için 6 Haziran 2008 tarihinde Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği yayımlanmıştır. Yönetmelikle belirtilen sınır değerlerle Avrupa Birliği hava kalitesi değerlerine ulaşılması amaçlanmaktadır. Ayrıca birçok ülkede kullanılan Hava Kalite İndeksi belirlenmiştir. Bu indekste, iyi (0-50 arası), orta (51-100 arası), sağlıksız (261-400 arası), kötü (401-520 arası) ve 521'den büyük kirlenici miktarları tehlikeli olarak değerlendirilmektedir [3].

Ülkemizin tamamında ve belirli illere ait hava kirlilikleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Karabük ile ilgili yapılan çalışmada, doğalgaz kullanımından önce SO<sub>2</sub> değerlerinin Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğinde belirtilen 250 µg/m<sup>3</sup> sınır değerlerini aşmadığı, PM<sub>10</sub> değerlerinde de öneml, oranda azalmalar olduğu tespit edilmiştir [5]. Kütahya'daki hava kalitesi incelemelerinde ise ölçülen değerler analiz edilmiş olup, kirlilik oranlarının belirtilen sınır değerleri günlük ve aylık periyotlarda kaç defa aştığı belirlenmiştir. Doğalgazın kışın ısıtma amaçlı kullanılan yakıtlardan kaynaklanan hava kirliliğini en aza indirmek için en iyi alternatif olduğu, özellikle yakma sistemlerinin seçimi ve kontrollü yanma konusunda dikkat edilmesi gereken noktaları belirtmiştir [6]. Diğer bir çalışmada ise AB normlarına uygun olarak hazırlanmış mevzuat için hava kalite izleme istasyonlarının özellikleri, yer, sayısı, ölçülecek parametrelerin belirlenmesi, veri analizi, sınır değerler ve sınır değerlere ulaşıldığında yapılması gerekenler konusundaki yükümlülükler incelenmiştir [7]. Köne ve Büke [8] tarafından yapılan çalışmada, 1990-2011 dönemi için Türkiye'deki hava kirliliği endeksi, küresel ısınma potansiyeli, asitleşme potansiyeli, troposferik ozon oluşturma potansiyeli ve partikül oluşturma potansiyeli olmak üzere dört farklı çevresel basınç kategorisini kullanılarak incelenmiştir. Türkiye'de hava kirliliği endeksi için elde edilen sonuçlara göre 2001-2011 döneminin 1990-2000 dönemine göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Ülkemizin büyükşehirlerinde kullanılmak üzere, İzmir özelinde çalışma yapılarak bir karar destek sistemi geliştirilmiştir [9]. Sistem, hava kirlenicilerinin emisyonlarını ve mekansal dağılımını tahmin etmek için CALPUFF dispersiyon modeline, dijital haritalara ve ilgili veritabanlarına dayanmaktadır. Ayrıca ortam havası kirliliği seviyelerini yüksek zamansal çözünürlüklerde tahmin edebilir niteliktedir ve hem emisyonların hem de hava kalitesi seviyelerinin haritalanmasına olanak sağlar. Hava kalitesi sınırları belirlenip, hava kirliliği azaltma önlemlerinin etkileri değerlendirilebilmektedir. Türkiye'deki hava kirlenici emisyonlarını Avrupa ülkelerinin emisyonlarıyla karşılaştırılmasıyla ilgili yapılan çalışmada ise [10], geçmişteki Türk emisyonlarının miktarlarını ve gelecek yıllarda tahminde bulunmak için, partikül madde (PM), SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, metan olmayan uçucu organik bileşiklerden oluşan beş ana kirlenici için ulusal bir emisyon envanteri hazırlanmıştır. Türkiye'deki bazı büyük şehirlerde hava kirliliği düzeyleri de mevcut ulusal izleme verilerinden değerlendirilmiştir. Sonuçlar, özellikle Türk şehirlerinde kış aylarında hava kalitesi sınırlarının karşılanmadığını göstermiştir. Bozdağ ve ark. [11] tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'nin Ankara ilindeki 7 istasyondan elde edilen PM<sub>10</sub> konsantrasyonları, makine öğrenme algoritmalarına (LASSO, SVR, RF, kNN, xGBoost, YSA) tanıtılmıştır. Ankara'daki 6 istasyonun 2009-2017 yıllarının PM<sub>10</sub> konsantrasyonları girdi olarak verilmiş ve 2018 yılı için yedinci istasyonun PM<sub>10</sub> konsantrasyonları tahmin edilmiştir. Her bir istasyon için model geliştirme aşaması tekrarlanmış ve algoritmaların

performansı, hata oranları, algoritmalar tarafından üretilen sonuçlar gerçek sonuçlarla karşılaştırılarak belirlenmiştir. Tahmini konsantrasyon sonuçlarının mekansal dağılımı Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) aracılığıyla sağlanmış ve arazi kullanımı üzerinde hava kirliliğinin iyileştirilmesi için mekansal stratejiler oluşturulmuştur. Yapılan çalışmada, Sivas ilinin 2008 ve 2017 yıllarındaki hava kirlilik değişimleri incelenmiştir. Ölçüm istasyonundan alınan SO<sub>2</sub> ve PM10 değerlerinin aylar ve yıllar bazında değişimleri incelenerek, doğalgaz kullanım oranının artmasının hava kirliliğine etkisi araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL METOT

Sivas 35° - 50' ve 38° - 14' Doğu Boylamları ile 38°-32' ve 40° -16' kuzey enlemleri arasında yer alan İç Anadolu Bölgesinde bulunan, 28.448 km<sup>2</sup> alanı ile Türkiye'nin ikinci büyük ilidir [12]. Yazların hem sıcak hem kurak olduğu, kışların ise soğuk ve yağışlı geçtiği, kara iklimi içerisinde bulunmaktadır [12].

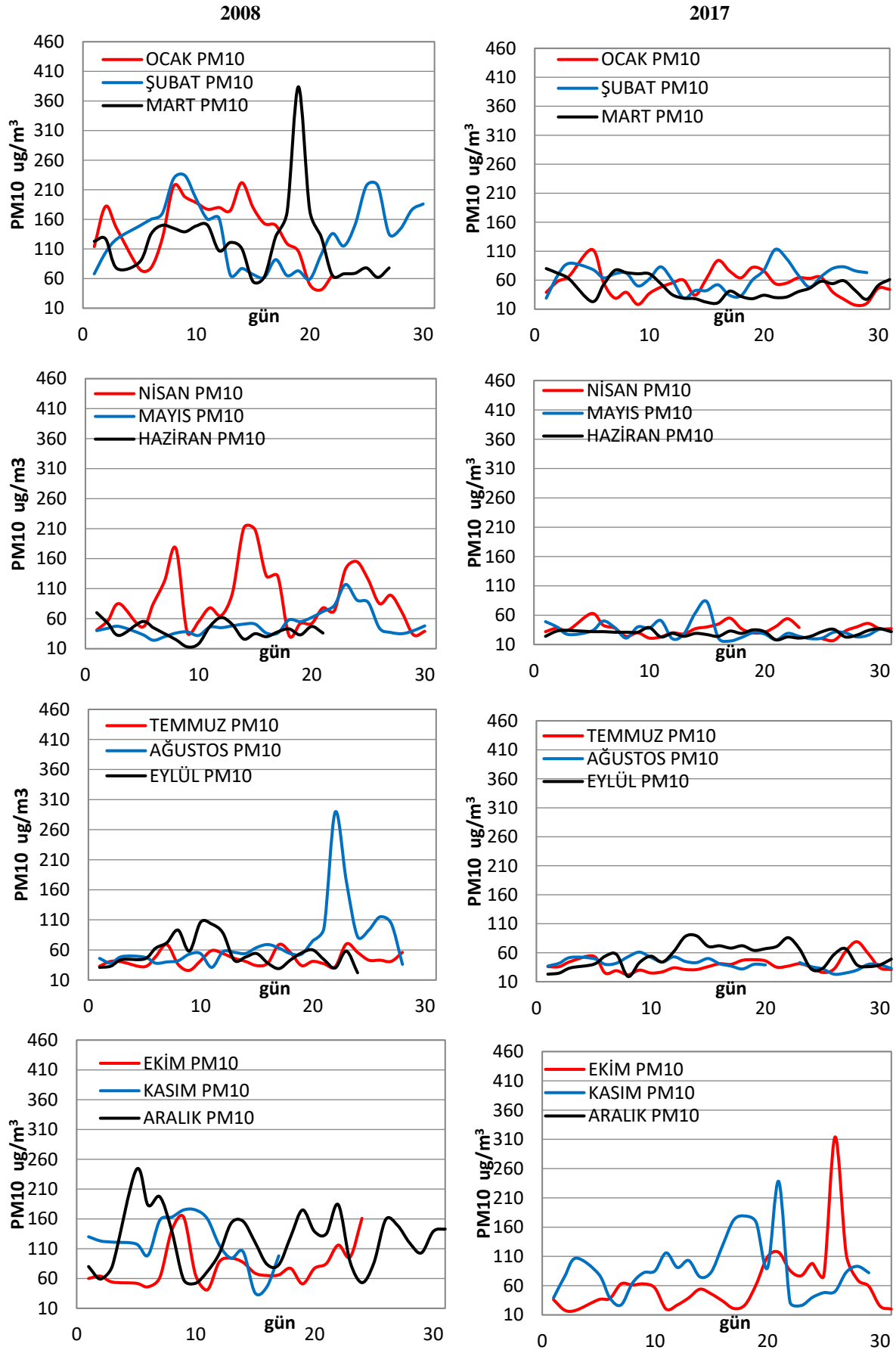
Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca birçok ilde online hava kalitesi izleme istasyonları kurulmuştur [13]. Sivas il merkezinde de bu istasyonlardan mevcuttur. Bunlar İstasyon Caddesi, Meteoroloji ve Başöğretmen bölgelerinde olmak üzere 3 ayrı noktada bulunmaktadır. Burada ölçülen veriler anlık olarak Merkez veritabanına yüklenmekte ve online olarak Bakanlık web sitesinde yayınlanmaktadır. Çalışmada Sivas Çevre ve Orman Müdürlüğü'nün Meteoroloji istasyonundan elde ettiği SO<sub>2</sub> ve PM10 ölçüm değerleri kullanılmıştır ([https://sim.csb.gov.tr/STN/STN\\_Report/](https://sim.csb.gov.tr/STN/STN_Report/))

## 3. BULGULAR

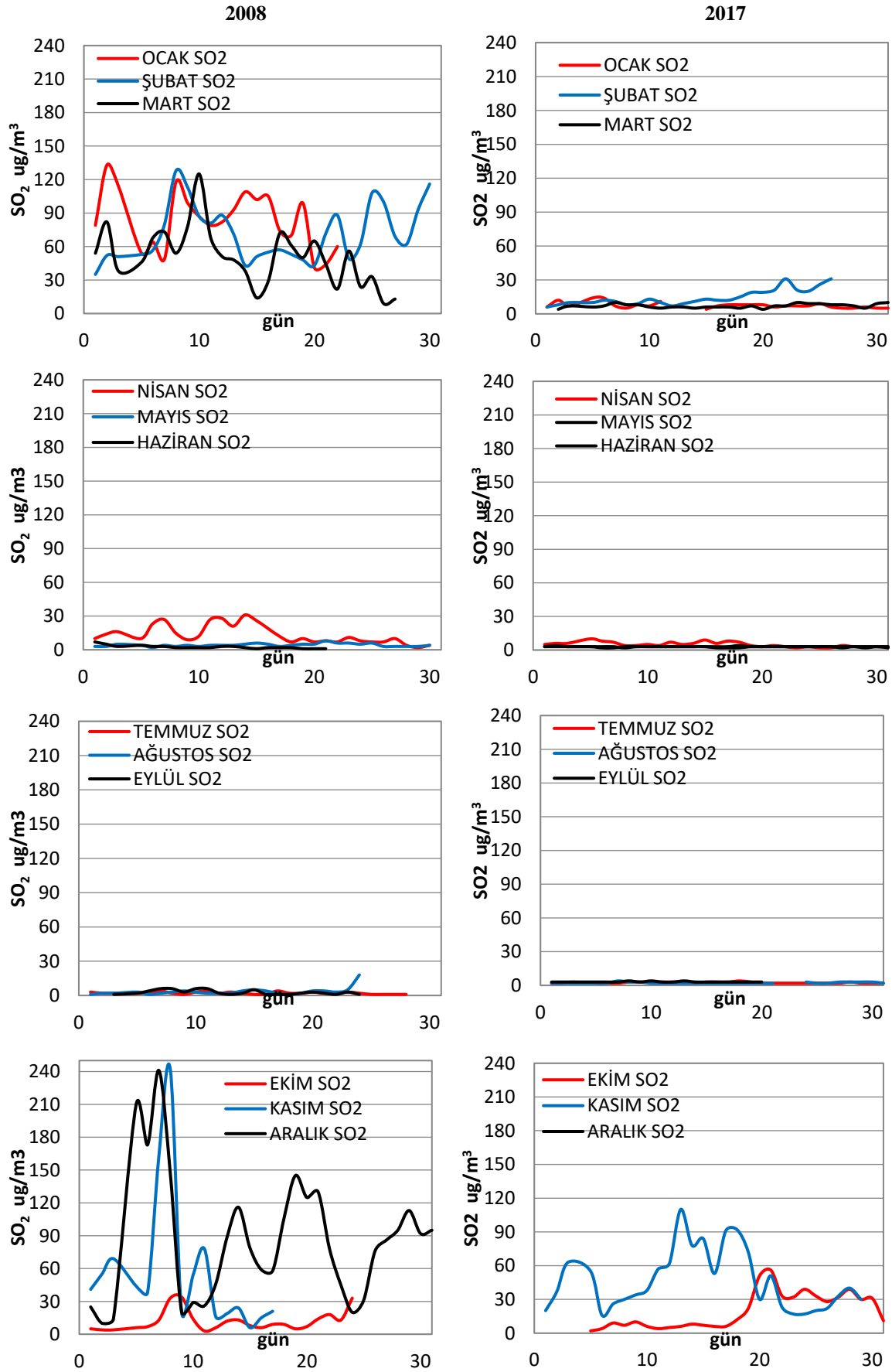
Çalışmada 2005 yılında Sivas da kullanılmaya başlayan doğalgazın kullanımının artmasıyla çevre kirliliği üzerindeki etkileri, 2008 ve 2017 yıllarına ait hava kalitesi ölçüm değerleri alınarak analiz edilmiştir. Şekil 1'de 2008 ve 2017 yıllarında tüm aylar için ölçülen PM10 değerleri gösterilmektedir. 2008 yılına ait veriler incelendiğinde, ısıtma sezonun başladığı Ekim ayı ile birlikte artışlar başlamakta (60 µg/m<sup>3</sup>-110 µg/m<sup>3</sup> aralığında), Ocak-Mart arasındaki aylarda ise 60 µg/m<sup>3</sup>-210 µg/m<sup>3</sup> arasındaki değerlere kadar yükselmektedir. Nisan ayında ise ani artma ve azalmalar ile farklı günlerde değişimler olsa da Mayıs, Haziran ve yaz aylarında PM10 değerleri 10 µg/m<sup>3</sup>-60 µg/m<sup>3</sup> arasında değişim göstermektedir. Hava kalitesinin iyileştirilmesinde hedef nokta olarak alınan Avrupa Birliği Temiz Hava limit değerlerinde PM 10 değerinin insan sağlığının korunması için yıllık değerinin 40 µg/m<sup>3</sup> olduğu, 24 saatlik değerinin ise 50 µg/m<sup>3</sup> olduğu belirtilmektedir.

2008 yılında bu değer limitleri çok yüksek olsa da, olması gereken eşik değerlere göre incelendiğinde yaz aylarının haricinde gerek ısıtma amaçlı olsun gerekse trafik ve hava etkileşimlerinden dolayı PM10 değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Ülkemizin tamamında doğalgaz aboneleri belirtilen yıllarda hızla artarken [14] Sivas için de toplam doğalgaz abone sayıları 2008 yılı için 41260 iken 2017 yılında abone sayısı 145842 değerlerine kadar ulaşmıştır [15]. Artan doğalgaz abonesiyle birlikte artan doğalgaz kullanımının çevre üzerine etkilerini görmek için 2017 yılındaki PM 10 ölçüm değerlerini incelediğimizde, tüm aylar için kirlilik değerlerinin önemli oranda azaldığı görülebilmektedir. Isıtma sezonunun başladığı Ekim ayında PM 10 değerleri 2008 yılı için 60 µg/m<sup>3</sup>-110 µg/m<sup>3</sup> arasında değişirken, 2017 yılında 10 µg/m<sup>3</sup>-60 µg/m<sup>3</sup> arasında değişerek yaklaşık olarak % 40-50 oranında azalmıştır. Ocak, Şubat ve Mart aylarında her ay için hem çok yüksek hem de çok dalgalı değişimler 2008 yılı için görülse de, 2017 yılında bu üç ayda birbirine yakın değerlerin elde edildiği görülmektedir. Aynı aylarda 2008 yılındaki ölçümler 60 µg/m<sup>3</sup>-110 µg/m<sup>3</sup> arasında değişirken sadece birkaç günde pik değerler 100 µg/m<sup>3</sup> olarak elde edilmiş, onun dışında 90 günlük değişimlerde PM 10 değerlerinin 35 µg/m<sup>3</sup>-85 µg/m<sup>3</sup> arasında değiştiği görülmektedir. Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında 2008 yılı için özellikle Nisan'da 60 µg/m<sup>3</sup>-210 µg/m<sup>3</sup> arasında değişen kirlilik oranları mevcutken, doğalgaz kullanımının artmasıyla kirlilik miktarlarının minimum seviyeye kadar azaldığı, Mayıs ve Haziran ayları seviyesinde kaldığı görülmektedir. Yaz aylarında ise ısıtma etkisi kaybolmuş, sadece mevcut hava, trafik kaynaklı kirliliklerden dolayı minimum değerlere ulaşıldığı görülmektedir.

2008 ve 2017 yıllarına ait SO<sub>2</sub> değerleri Şekil 2'de gösterilmektedir. Sivas'da soğuk kış ayları ile birlikte tüm binalardaki ısıtmanın başlamasıyla Kasım ve Aralık aylarında ani yükselişlerin olduğu 2008 verilerinde görülmektedir. SO<sub>2</sub> baca gazı ürünlerden açığa çıkan bir gaz olduğu için kış aylarında görülürken, yaz aylarında 0 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmektedir. Ocak, Şubat ve Mart 30 µg/m<sup>3</sup>-120 µg/m<sup>3</sup> değerleri arasında ölçümlerin gerçekleştiği görülmektedir. 2017 yılı için kış ayları incelendiğinde, en yüksek olan Kasım ayının SO<sub>2</sub> değerlerinin birkaç gün için 110 µg/m<sup>3</sup> değerinde pik yaptığı, diğer günlerin tamamında 30 µg/m<sup>3</sup>-90 µg/m<sup>3</sup> değerleri arasında gerçekleştiği görülmektedir. Ocak-Mart arasında ise SO<sub>2</sub> salınımı ortalama 20 µg/m<sup>3</sup> civarında gerçekleşmiştir. İlkbahar ve yaz aylarının tamamında ise ısıtma sezonun bitmesiyle SO<sub>2</sub> değerleri minimum düzeye gerilemiştir.



Şekil 1. 2008 ve 2017 yıllarındaki PM10 değerlerinin aylara göre dağılımı [16]



Şekil 2. 2008 ve 2017 yıllarındaki SO<sub>2</sub> değerlerinin aylara göre dağılımı [16]

#### 4. SONUÇ

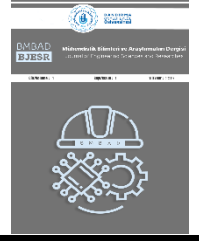
Bu çalışmada, Sivas ilinde 2008 ve 2017 yıllarında Meteoroloji hava kalite izleme istasyonu tarafından ölçülen PM10 ve SO<sub>2</sub> değerlerinin aylara göre değişimleri incelenmiştir. 1 Ekim-31 Mart tarihleri ısınma ihtiyacının hem en fazla olduğu hem de yakıtın en fazla kullanıldığı ısınma dönemidir. Doğalgazın 2005 yılında yeni kullanılmaya başlandığı dönemlerde yüksek olan kirlilik değerleri, 10 yıllık süreçte abonelik sayılarındaki % 72 oranında bir artışın sağlanması ile her iki yılda Ocak ayı için PM10 değerlerinde % 62, SO<sub>2</sub> değerinde % 90 oranında azalma elde edildiği görülmektedir.

#### Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan verilerin elde edilmesinde emeği geçen T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Hava Kalitesi İzleme İstasyonu görevlilerine teşekkür ederim

#### KAYNAKÇA

- [1] H. Bulut, "Buhar kazanları ders notları", 2011.
- [2] M. Çetin, O.K. Demirci, "Erzincan'da doğal gaz kullanımının hava kalitesine etkisi", Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, cilt. 9, no. 1, s.8-18. 2016.
- [3] Sivas Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, "Sivas ili 2017 yılı çevre durum raporu", 2017.
- [4] S.S. Erdem, A.S. Mayda, "Düzce hava kalitesi izleme istasyonu 1 nisan 2015-31 mart 2017 tarihleri arasındaki verilerinin incelenmesi", Sakarya Tıp Dergisi, cilt 7, no.4, s.176-183, 2017.
- [5] A.Yıldız, Y. Çay, F. Özer, "Karabük ilindeki hava kirliliğinin doğal gaz kullanımı ile değişimi", Tarih Kültür ve Sanat Araştırmaları Dergisi, cilt 1, no.4, s.497-506, 2012.
- [6] H.Y. Yıldızay, "Kütahya'da doğalgaz kullanımının hava kalitesine etkilerinin irdelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 2005.
- [7] Z. Gemici, O.Kale, H. Yuva, İ.Çaçan, "Hava kalitezi izleme sürecinde yasal yükümlülükler", VII. Ulusal Hava Kirliliği Ve Kontrolü Sempozyumu, Antalya, 2017.
- [8] A.Ç. Köne, T. Büke, "The evaluation of the air pollution index in Turkey" Ecological Indicators, vol.45, p. 350-354, 2014.
- [9] T. Elbir, "A GIS based decision support system for estimation, visualization and analysis of air pollution for large Turkish cities", Atmospheric Environment, vol.38-27, 4509-4517, 2004.
- [10] T. Elbir, A. Müezzinoğlu, A. Bayram, "Evaluation of some air pollution indicators in Turkey", Environment International, vol.26-1, p.5-10., 2000.
- [11] A. Bozdag, Y. Dokuz, Ö.B. Gökçek, "Spatial prediction of PM10 concentration using machine learning algorithms in Ankara, Turkey", Environment Pollution, vol.263, p.1-10., 2020.
- [12] A. Ergün, "Sivas Şehrinde Kentleşme ve Sanayileşmeye Bağlı Çevre Sorunları", Yüksek Lisans Tezi, Konya, 2008.
- [13] Y. Kaplan, U. Saray, E. Azkeskin, "Hava kirliliğine neden olan Pm10 ve SO<sub>2</sub> maddesinin yapay sınır ağ kullanılarak tahmininin yapılması ve hata oranının hesaplanması", Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, cilt 14, s. 1-6, 2014.
- [14] M. Tekman, "İtibarıyla Şehir Doğalgaz Dağıtım Şirketlerinin Abone Miktarları ve Doğalgaz Birim Satış Fiyatları", Doğal Gaz Dergisi, cilt 195, s.48-52, 2016.
- [15] AKSA, "Faaliyet Raporu", İstanbul, 2017.
- [16] [https://sim.csb.gov.tr/STN/STN\\_Report/](https://sim.csb.gov.tr/STN/STN_Report/)



## Estimation of the Amount of Drug to be Applied to the Patient Using Elman Recurrent Artificial Neural Network

### Elman Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Hastaya Uygulanacak İlaç Miktarının Tahmini

Rüştü Güntürkün<sup>a</sup> , Mustafa Tosun<sup>b</sup> 

<sup>a</sup>Department of Electrical and Electronics, Civil Aviation Colleg, University of Selçuk Konya, Türkiye

<sup>b</sup> Department of Electrical and Electronics Engineering, Kutahya Dumlupınar University, Simav/ Kütahya, Türkiye

[rustu.gunturkun@dpu.edu.tr](mailto:rustu.gunturkun@dpu.edu.tr), [mustafa.tosun@dpu.edu.tr](mailto:mustafa.tosun@dpu.edu.tr)

Araştırma Makalesi/Research Article

#### ARTICLE INFO

##### Article history

Received : 2 September 2020  
Accepted : 8 October 2020

##### Keywords:

Depth of anesthesia, Neuro Control, EEG power spectrum, Elman recurrent neural networks.

#### ABSTRACT

In this study, Elman recurrent neural network has been used in order to determine the depth of anesthesia in the continuation stage of anesthesia and to estimate the amount of medicine to be applied at that moment. The applied artificial network is composed of three layers, namely the input layer, the hidden layer and the output layer. Fast back-propagation learning algorithm (Traingdx) has been used in the training of the network, and nonlinear activation function sigmoid (sigmoid function) has been used in the outputs of the hidden layer and the output layer. The values of the power spectral density values of 10-second EEG (elektroensefalografi) segments which correspond to 1-50 Hz frequency range; the ratio of the total power of PSD (power spectral density) values of the EEG segment in that moment in the same range to the total of PSD values of EEG segment taken prior to the anesthesia; similarly, the ratio of the total of PSD values of EEG data to the total of PSD values of the previous EEG data; and the amount of anesthetic medicine have been entered into the inputs of artificial neural network.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

#### MAKALE BİLGİSİ

##### Makale Tarihleri

Gönderim : 2 Eylül 2020  
Kabul : 8 Ekim 2020

##### Anahtar Kelimeler:

Anestezi derinliği,  
Nöro kontrol,  
EEG güç spektrumu,  
Elman tekrarlayan sinir ağları.

#### ÖZET

Bu çalışmada anestezi aşamasında, anestezi derinliğini belirlemek ve o anda uygulanacak ilaç miktarını tahmin etmek için Elman geribeslemeli sinir ağı kullanılmıştır. Uygulanan yapay sinir ağı, giriş katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı olmak üzere üç katmandan oluşmuştur. Ağın eğitiminde hızlı geri beslemeli öğrenme algoritması (Traingdx), gizli katman ve çıktı katmanının çıktılarında doğrusal olmayan aktivasyon işlevi için sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. 1-50 Hz frekans aralığına karşılık gelen 10 saniyelik EEG segmentlerinin güç spektral yoğunluk değerlerinin değerleri; aynı aralıktaki EEG segmentinin o andaki PSD değerlerinin toplam gücünün anestezi öncesi alınan EEG segmentinin toplam PSD değerlerine oranı; benzer şekilde, EEG verilerinin toplam PSD değerlerinin önceki EEG verilerinin toplam PSD değerlerine oranı; ve anestezi ilaç miktarı yapay sinir ağının girdilerini oluşturmaktadır.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Dağa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.



## **1. INTRODUCTION**

Determining the depth of anesthesia during the general anesthesia in the surgical operations is an important problem and a quite complicated issue [1]. In recent years, the use of EEG for this purpose has caught more attention [2]. Due to the fact that current medical techniques cannot provide a real-time measurement of the condition of the central nervous system, they cannot keep the depth of anesthesia at a safe level with an absolute stability. The depth of anesthesia may change from one moment to another [3].

Current medical techniques cannot measure the status of central neural system (CNS) on real-time basis; therefore, they cannot determine anesthetic depth at full accuracy and safety. Anesthetic depth can change from one moment to another [4]. Anestheticians cannot set the dosage in time to protect the patient from pain without an effective conscious monitor [5]. EEG monitorization is used for determining the pharmaco-dynamic effect of the anesthetic medicine or the improvement of CNS on real-time basis [6]. EEG spectrum which shows the power intensity against frequency of EEG data can be categorized into the following bands: d (1-3 Hz), q (4-7 Hz), a (8-13 Hz), b1 (14-30 Hz), b2 (31-50 Hz). When the results of conducted studies are taken into consideration, it can be seen that BIS is the best among electroencephalographic parameters for determination of anesthetic-hypnotic depth during surgical operation [7]. Increase of EEG delta activity is evaluated as a finding of anesthetic depth [8]. A fuzzy logic-controlled system has been designed for sevoflurane, the anesthetic agent, by means of using the blood pressure and pulse data taken from patient [9].

EEG has been recommended in many studies as a significant method in determining the depth of anesthesia [10]. Bispectral index (BIS) is an experiment-based parameter which is obtained statistically. Obtained by using the high frequency (30-47 Hz) components of the EEG data, this parameter holds a great importance in determining the depth of anesthesia [11]. Although BIS is an important parameter in determining the unconsciousness condition, it is not an absolute measure of the unconsciousness levels but an indication of the possible condition of the level of anesthesia.

Feedback artificial neural networks are called as dynamic neural networks. The most popular of these networks are Hopfield network and Elman network. Hopfield network structure has not been considered as appropriate to our study since it has a single layer structure. Elman recurrent neural network which we have used in our study has a multilayer network structure consisting of the input layer, the hidden layer and the output layer. In the Elman recurrent neural network, sigmoid function exists in its hidden layer and linear activation function exists in its output layer.

The back propagation (BP) algorithm is widely recognized as a powerful tool for training feed forward neural networks (FNNs). But since it applies the steepest descent method to update the weights, it suffers from a slow convergence rate and often yields suboptimal solutions [12, 13]. A variety of related algorithms have been introduced to address that problem. A number of researchers have carried out comparative studies of MLP training algorithms [12]. The BP with momentum and adaptive learning rate algorithm [14], used in this study are these type algorithms.

53 input layer neurons have been applied in the input layer of the Elman recurrent neural network which we have used in this study. EEG spectrum information of the patient has been applied on the last 50 neurons of these neurons as an input data. The first three values are respectively "Total power/normal power", "Total power/previous power" and "previous amount of anesthesia" information. Due to the fact that input values applied on the artificial neural network contain more detailed information, the network has been ensured to have been trained with less error [15].

## **2. ACTUALIZED NN SYSTEM**

Elman recurrent neural network is composed of three layers. There are 53 neurons in the input layer, 30 neurons in the middle layer and 1 neuron in the output layer (Figure.1). Nonlinear activation function sigmoid (sigmoid function) has been used in the hidden layer nodules whereas linear activation function has been used in the output layer nodules.

As input layer information, PSD values within 1-50 Hz frequency range have been entered, which have been obtained by taking (Power Spectral Density) values of 10-second EEG records that have been received from the patient once in every 5 minutes before and during the anesthesia. During the anesthesia, the information regarding the ratio of the total of PSD values of 10-second EEG segment at that moment to the total of PSD values of 10-second EEG segment recorded before the operation has been also entered. In addition to this information, the information regarding the ratio of the total of PSD values of 10-second EEG segment at that moment during the anesthesia to the total of PSD values of 10-second EEG segment previously recorded, and anesthetic gas amount has been also entered. With the application of the previous anesthesia value on the NN input, the effect of the previous anesthetic gas amount on the depth of anesthesia has also been ensured to have been evaluated by the NN.

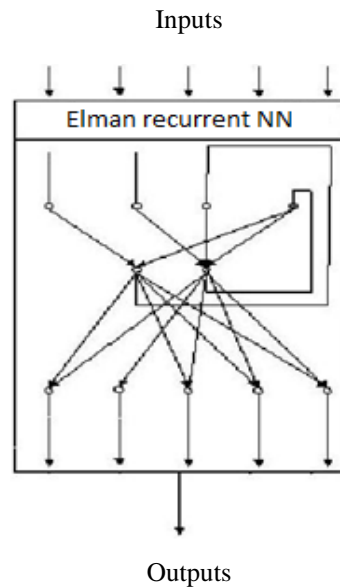


Figure 1. Structure of Elman recurrent neural network [16]

### 3. RESULTS AND CONCLUSIONS

In this study, Elman recurrent neural network has been used in order to determine the depth of anesthesia in the continuation stage of anesthesia and to estimate the amount of medicine to be applied at that moment. The applied artificial network is composed of three layers, namely the input layer, the hidden layer and the output layer. This network has been designed so as to have 53 neurons in the input layer, 30 neurons in the hidden layer and 1 neuron in the output layer. Fast back-propagation learning algorithm (Traingdx) has been used in the training of the network, and nonlinear activation function sigmoid (sigmoid function) has been used in the outputs of the hidden layer and the output layer.

Total power/normal power, total power/previous power, previous anesthesia amount, applied anesthesia amount, NN output values have been given. Total power/normal power ratio is the ratio of the total of PSD values of the EEG segment selected for the test to the total of PSD values of the EEG segment recorded before the anesthesia. Total power/previous power ratio gives information regarding the ratio of the total of PSD values of the EEG segment selected for the test to the total of PSD values of the previous EEG segment. In the previous anesthesia amount regarding the anesthesia applied on the patient in the previous condition is given. NN output is the anesthetic gas amounts suggested by the artificial neural network.

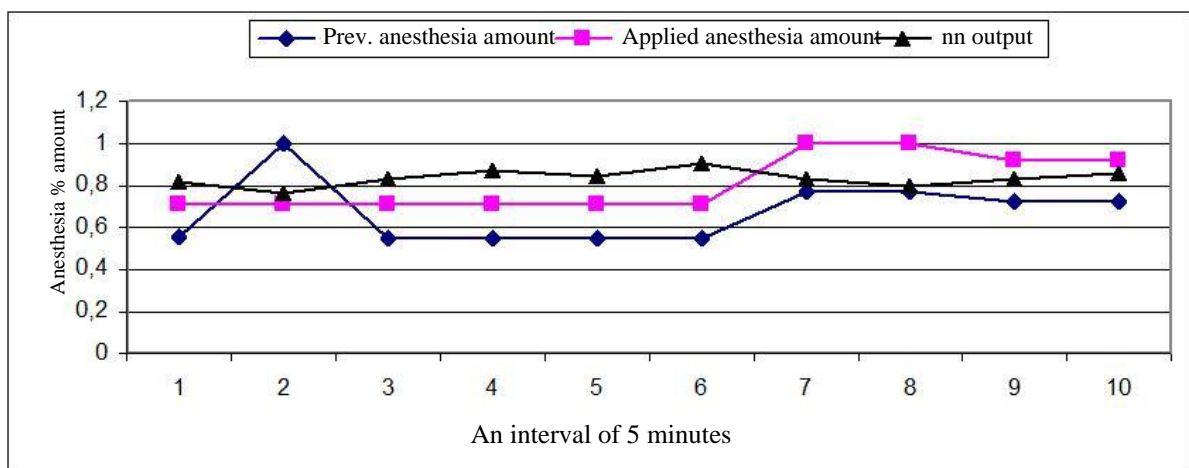
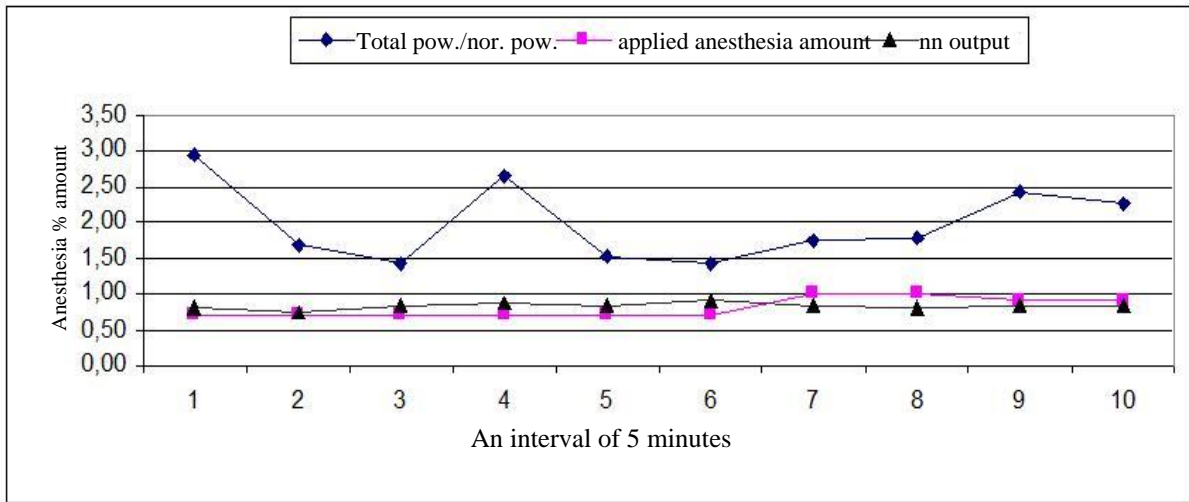


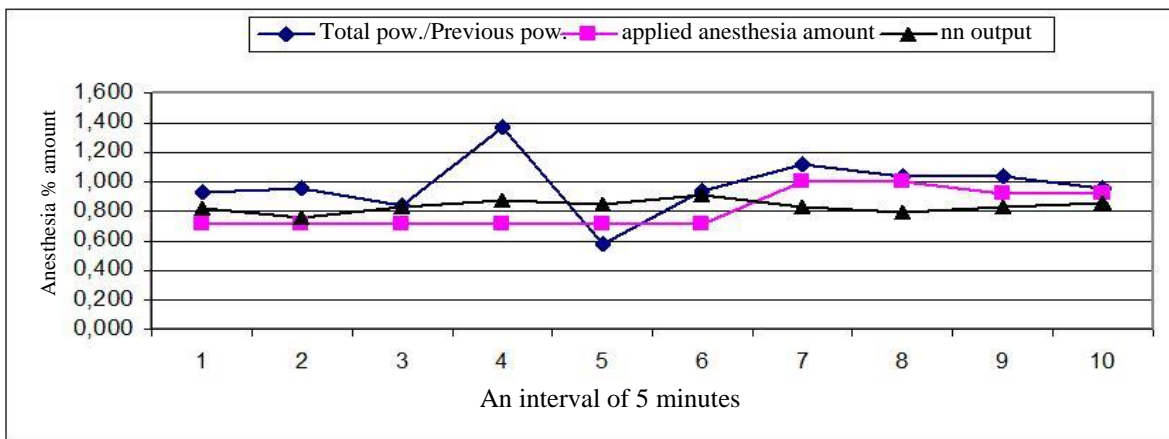
Figure 2. Applied anesthesia amount and previous anesthesia amount, artificial neural network output values

Figure 2 is examined, it is seen that Elman Recurrent neural network used for estimation is successful in estimating the amount of anesthetic gas applied.



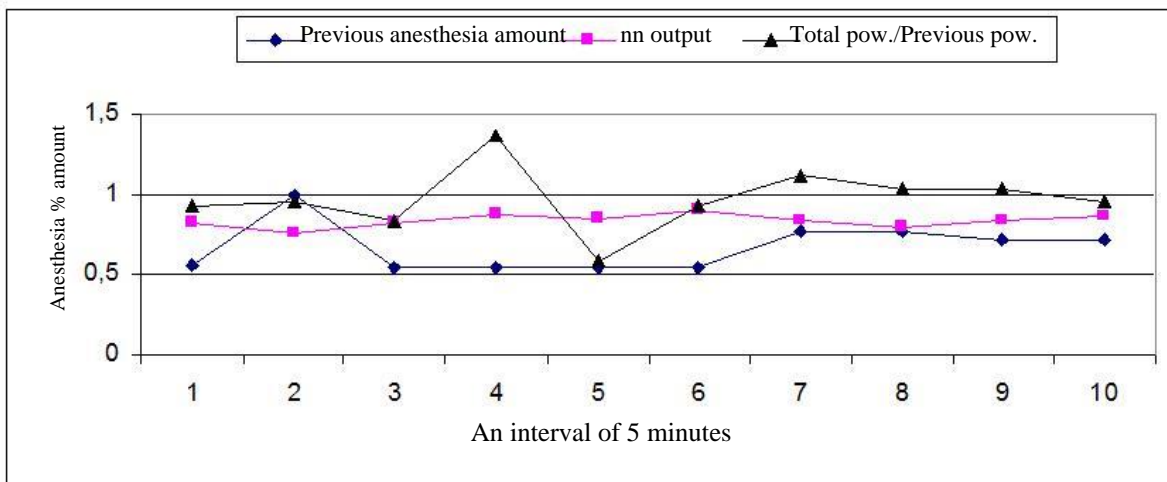
**Figure 3.** Applied anesthesia amount, artificial neural network output, "total power/normal power" values

In Figure 3, it is observed that anesthetic gas amount found by the artificial neural network is more appropriate compared to the change in the total power of EEG segment.



**Figure 4.** Applied anesthesia amount, artificial neural network output, total power/previous power values

In Figure 4, the ratio of the total power of EEG segment of that moment to the total power of previous EEG data, and whether or not EEG data tends to increase can be seen.



**Figure 5.** Previous anesthesia amount, artificial neural network output, total power/previous power values

In Figure 5, output values generated by the artificial neural network have been compared with the previous anesthesia amount data according to the change in the ratio of the total power of EEG data in that moment to the total power of the previous EEG segment.

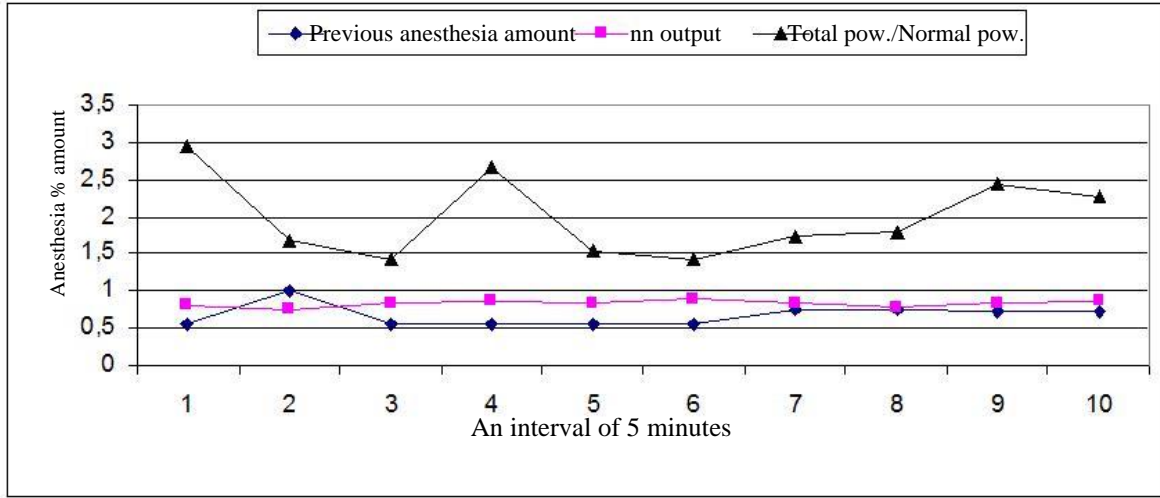


Figure 6. Previous anesthesia amount, artificial neural network output, “total power/normal power” values

In figure 6, a decrease or increase is seen according to the previously given anesthetic gas amount. In this chart, it is observed that anesthetic gas amount found by the artificial neural network is more appropriate than the applied gas amount.

In view of this study, it has been observed that the anesthetic depth check which is conducted using EEG power changes and which provides the real-time changes in the central nervous system is more precise than other measurement data. When the test data which have been applied on the designed system and the results generated by the system are observed, it has been seen that the applied method has been successful in estimating anesthetic gas according to anesthesia level.

## REFERENCES

- [1] J. Muthuswamy, R. J. Roy, “The use of fuzzy integrals and bispectral analysis of the electroencephalogram to predict movement under anesthesia”, IEEE Transactions on Bio-Medical Engineering, vol., no. 3, pp. 291-299, 1999.
- [2] A. Aydın, Ü. Çömelekoğlu, Z. Koçak, A. Özge, Ş. Atıcı, U. Oral, “Trakeal Entübasyona Stres Yanıtına Remifentanilin Hemodinamik Etkisi: Kantitatif”, EEG Analizi ile Korelasyonu Klinik Psikofarmakoloji Bülteni, vol. 11, pp. 235-241, 2001.
- [3] P.A. Isaac, M. Rosen, “Lower oesophageal contractility and detection of awareness during anaesthesia”, Br J Anaesth, vol. 65, pp. 319-324, 1990.
- [4] J.W. Sleight, J. Andrzejowski, A. Steyn-Ross, “The bispectral index: A measure of depth of sleep?”, Anesth Analg, vol. 88, pp. 659-61, 1999
- [5] W. Nahm, G. Stockmanns, J. Petersen, H. Gehring, E. Konecny, H.D. Kochs, E. Kochs, “Concept for an intelligent anaesthesia EEG monitor”, Medical Informatics and the Internet in Medicine”, vol. 24, no. 1, pp. 1-9, 1999.
- [6] H. Witte, A. Doering, M. Galicki, J. Dörschel, V. Krajca, M. Eiselt, “Application of optimized pattern recognition units in EEG analysis: common optimization of preprocessing and weights of neural networks as well as structure optimization”, Medinfo, vol. 8, no. 1, pp. 833-837, 1995.
- [7] E. Huupponen., S.L. Himanen, A. Värri, J. Hasan, A. Saastamoinen, M. Lehtokangas, J. Saarinen, “Fuzzy detection of EEG alpha without amplitude thresholding”, Artificial Intelligence in Medicine, vol. 24, no. 2, pp. 133-147, 2002
- [8] G. Litscher, G. Schwarz, “Is there paradoxical arousal reaction in the EEG subdelta range in patients during anesthesia?”, J Neurosurg Anesthesiol, vol. 11, pp. 49-52, 1999
- [9] A. Yardimci, A. Ferikoglu, N. Hadimioglu, “Microcontroller Based Fuzzy Logic Sevoflurane anesthesia control system”, B Reusch (Ed.): Fuzzy Days 2001 LNCS 2206, pp. 137-147, Berlin, 2001
- [10] C. J. James, R.D. Jones, P.J. Bones, G.J. Carroll, “Detection of epileptiform discharges in the EEG by a hybrid system comprising mimetic, self-organized artificial neural network, and fuzzy logic stages”, Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology, vol. 110, no. 12, pp. 2049-2063, 1999
- [11] M.K. Arıkan, “Psikiyatrik Elektrofizyoloji”, Lilly İlaç A.Ş. Yayınları, pp. 14-20, 1998.

- [12] R.P. Brent, "Fast Training Algorithms for Multi-layer Neural Nets", IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 2, pp. 346–354, 1991.
- [13] M. Riedmiller, H. Braun, H., "A Direct Adaptive Method for Faster backpropagation learning: The RPROP Algorithm", Proceedings of the IEEE Int. Conf. On Neural Networks, San Francisco, CA, March 28, 1993.
- [14] R.P. Brent, "Fast Training Algorithms for Multi-layer Neural Nets", IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 2, pp. 346–354, 1991.
- [15] M. Tosun, "Inhalasyon anesthesia sevaflozan rate Neuro-Fuzzy system with control", University of Sakarya Institute of Science Phd thesis, 2004
- [16] R. Güntürkün, "Using Elman Recurrent Neural Networks with Conjugate Gradient Algorithm in Determining the Anesthetic the Amount of Anesthetic Medicine to Be Applied", J Med Syst, vol. 34, pp. 479–484, 2010





## Zirkonya Katkılı AZ91 Magnezyum Alaşımının Mekanik Davranışlarının İncelenmesi

### Investigation of the Wear Behaviour of Zirconia Additive Al 1050+AZ91 Hybrid Materials

Muharrem PUL 

Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Kırıkkale, Türkiye

mpul@kku.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

#### ARTICLE INFO

##### Article history

Received :11 February 2020

Accepted :4 March 2020

##### Keywords:

Microstructure, AZ91, ZrO<sub>2</sub>, Mechanical behavior

#### ABSTRACT

In this study, a kind of composite material was produced by adding 3%, 6%, 9% and 12% zirconia (ZrO<sub>2</sub>) into AZ91 magnesium alloy with the vortex method. First, microstructures of composite materials produced were examined. In the second stage, hardness measurements were made with the Brinell method. Then, cross-breaking experiments were carried out according to the three-point bending principle. Finally, to determine the abrasive wear behavior of composite materials, abrasion tests were carried out according to the pin-on disc method. In abrasive wear tests; Three different test loads, 10, 30, 50 N, and three different abrasive sizes, 12, 20, 50 µm were used. As a result of experiments and investigations, it was seen that a partially homogeneous microstructure was obtained. It has been found that the wetting between the AZ91 alloy and the additive zirconia particles is good and a strong interfacial bond is formed. It was determined that the hardness and wear resistance of the composite structure increased with the addition of zirconia. With the zirconia added to AZ91 magnesium alloy, the mechanical properties of AZ91 composite material have increased.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

#### MAKALE BİLGİSİ

##### Makale Tarihleri

Gönderim : 11 Şubat 2020

Kabul : 4 Mart 2020

##### Anahtar Kelimeler:

Mikroyapı, AZ91, ZrO<sub>2</sub>, Mekanik davranış

#### ÖZET

Bu çalışmada vortex yöntemi ile AZ91 magnezyum alaşımı içerisine % 3, % 6, % 9 ve % 12 oranında zirkonya (ZrO<sub>2</sub>) katılarak bir tür kompozit malzeme üretilmiştir. İlk olarak üretilen kompozit malzemelerin mikroyapıları incelenmiştir. İkinci aşamada Brinell yöntemiyle sertlik ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra üç nokta eğme prensibine göre çapraz kırılma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Son olarak kompozit malzemelerin abrasif aşınma davranışlarını belirlemek üzere pin-on disk yöntemine göre aşınma deneyleri yapılmıştır. Abrasif aşınma deneylerinde; 10, 30, 50 N olmak üzere üç farklı deney yükü ve 12, 20, 50 µm olmak üzere üç farklı aşındırıcı boyutunda zımpara kullanılmıştır. Deney ve incelemeler sonucunda, kısmen homojen bir mikroyapı elde edildiği görülmüştür. AZ91 alaşımı ile katkı elemanı zirkonya parçacıkları arasındaki ıslatmanın iyi olduğu ve güçlü arayüzey bağı meydana geldiği anlaşılmıştır. Zirkonya katkısı ile kompozit yapının sertliğinin ve aşınma direncinin arttığı tespit edilmiştir. AZ91 magnezyum alaşımı içerisine katılan zirkonya ile AZ91 kompozit malzemenin mekanik özellikleri yükselmiştir.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Dağa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda modern dünyada hafif metallerin uygulandığı bir dönem oluşmuştur. Özellikle otomotiv endüstrisinde geçtiğimiz yıllar içerisinde alüminyum ve alaşımları büyük oranda kullanılmaktadır. Ancak bu kullanım oranı son zamanlarda azalmaya başlamış ve yerini daha hafif metaller almaya başlamıştır. Bu metallerin başında magnezyum gelmektedir [1]. Magnezyum (Mg) yapısal uygulamalarda kullanılabilir en hafif metaldir. Buharlaştırma özelliği ve yoğunluk bakımından plastikleri andıran Mg, bir metalin sahip olduğu bütün mekanik özelliklere sahiptir. Bununla birlikte mühendislik plastikleri olarak adlandırılan malzeme grubundaki tüm malzemelerden daha rijittir ve aynı zamanda da geri dönüşümü mümkün olan bir malzemedir [2]. Element ilk olarak Sir Humphrey Davey tarafından 1808 yılında keşfedilmiştir [3]. Mg alaşımları son yıllarda düşük yoğunluk, yüksek mukavemet-ağırlık oranı, iyi sönümlenme karakteristiği, yüksek işlenebilirlik ve üstün dökülebilirlik özellikleri sayesinde otomotiv, elektronik ve havacılık sanayinde geniş bir uygulama alanı edinmiştir [4]. Ayrıca düşük toksik özelliği nedeniyle biyouyumlu ve biyo-bozunur bir metalik biyomalzeme olarak, ortopedik implant uygulamalarında plaka ve vida yapımında potansiyel implant malzemeler olarak kullanılması da son yıllarda ilgi çekmektedir [5]. Magnezyum alaşımları içerisindeki ana alaşım elementine göre ASTM standardında gruplandırılmıştır (Tablo 1).

**Tablo 1.** Magnezyum alaşımlarının grupları ve kısa gösterilişi

Alaşım grubu	Sembol
Magnezyum-manganez	M
Magnezyum-alüminyum-manganez	AM
Magnezyum-alüminyum-çinko-manganez	AZ
Magnezyum-zirkonyum	K
Magnezyum-çinko-zirkonyum	ZK
Magnezyum-nadir toprak metal	ZE
Magnezyum-nadir toprak metal-zirkonyum	EZ
Magnezyum-gümüş-nadir toprak metal-zirkonyum	QE
Magnezyum-itriyum-nadir toprak metal-zirkonyum	WE
Magnezyum-çinko-bakır-manganez	ZC
Magnezyum alüminyum-silikon-manganez	AS
Magnezyum-alüminyum-stronsiyum	AJ

Magnezyum alaşımlarının termal özellikleri, uygun maliyetli dökümü teşvik etmektedir. Alaşımların çoğunluğu döküm işlemleri için oluşturulur. Magnezyum alaşımları, alüminyum ve bakır bazlı alaşımların arkasında üçüncü en popüler demir dışı döküm malzemesidir. Döküm alaşımları esas olarak Mg-AlZn tipi (AZ), örneğin AZ91'dir [6].

Son zamanlarda magnezyum ve alaşımlarının farklı takviye malzemeleriyle güçlendirilerek daha üstün özellikler kazandırma yönündeki çalışmalar hız kazanmıştır. Literatür incelendiğinde konuyla ilgili farklı üretim yöntemlerin uygulandığı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda magnezyum esaslı metal matrisli kompozitlerin ön plana çıktığı anlaşılmaktadır. Genellikle; B<sub>4</sub>C, SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiC, TiB<sub>2</sub> gibi mikron boyutunda ve karbon nanotüp (CNT), Grafen (Gr) gibi nano boyutta takviye malzemeleri kullanılmıştır. Literatürde yapılan araştırmada; magnezyum ve alüminyum matris malzemesi olarak birlikte kullanıldığı, ZrO<sub>2</sub> parçacık takviyeli kompozitler hakkında çalışmaların olmadığı görülmüştür. Mevcut araştırmaların daha çok sadece magnezyum ve alaşımlarının yer aldığı çalışmalardan ibaret olduğu tespit edilmiştir [7-11].

Bu çalışmada geliştirilmesi amaçlanan yeni özellikteki ZrO<sub>2</sub> katkılı, AZ91 magnezyum alaşımı kompozitin, daha üstün mekanik özellikler göstermesi hedeflenmiştir. Bu amaçla vortex yöntemi (karıştırmalı döküm) ile AZ91 magnezyum alaşımı içerisinde % 3, % 6, % 9 ve % 12 oranında 37-105 µm parçacık boyutunda zirkonya (ZrO<sub>2</sub>) katkılanarak kompozit malzemeler üretilmiştir. Daha sonra üretilen kompozit malzemeler üzerinde mikroyapı incelemeleri, sertlik ölçümleri ve aşınma deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen veriler grafiklere aktarılarak değerlendirilmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

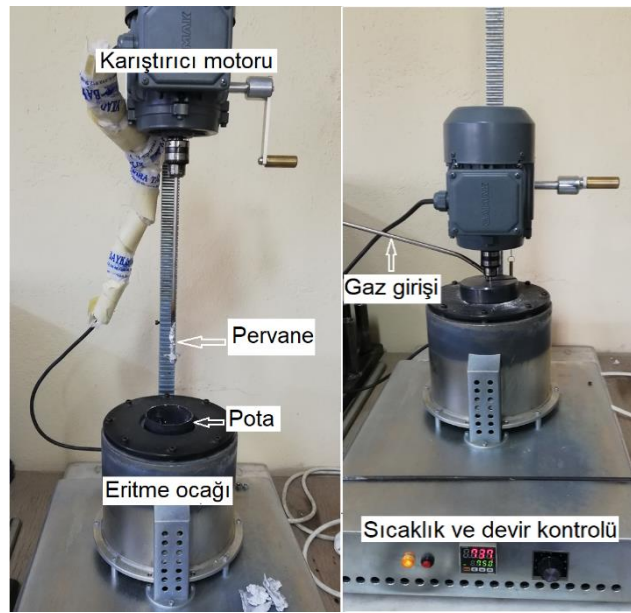
Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan matris malzemesi AZ91 ve Al 1050 ile takviye elemanı ZrO<sub>2</sub>'nin teknik değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Kompozit üretimleri, külçe halinde temin edilen AZ91 alaşımı ve 37-105 µm (mikron) tane boyutunda toz ZrO<sub>2</sub> takviye elemanı kullanılmıştır. İlk olarak, belirlenen ZrO<sub>2</sub> takviye oranlarında hazırlanan karışım malzemeleri hassas terazi ile tartılarak hazırlanmıştır.

**Tablo 2.** AZ91 (MgAl9Zn1) ve Zirkonyum oksit (ZrO<sub>2</sub>) teknik özellikleri

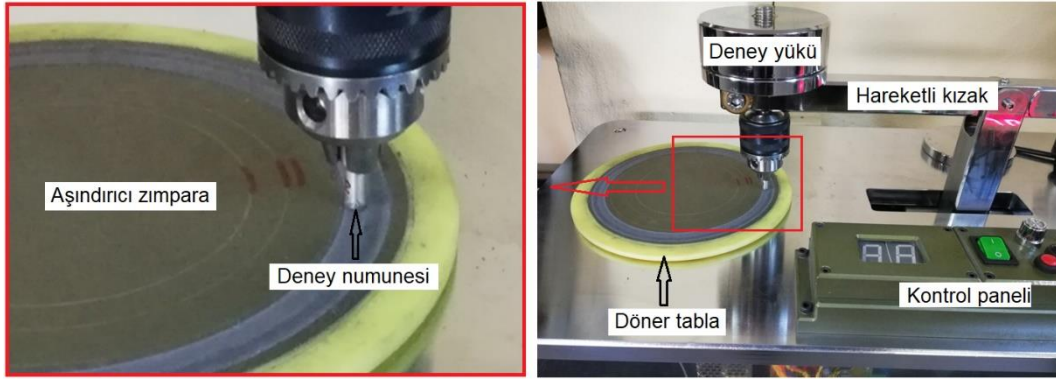
	Kimyasal Bileşim		Fiziksel Özellik	
AZ91	Al	% 8,3-9,7	Yoğunluk	1,80 g/cm <sup>3</sup>
	Zn	% 0,35-1,0	Sertlik	63 HB
	Mn	% 0,13 min	Erime noktası	615 °C
	Si	% 0,50 max	Çekme dayanımı	230 Mpa
	Cu	% 0,1 max	Akma dayanımı	150 Mpa
	Mg	% Kalan	Termal iletkenlik	62 W/m.K
ZrO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	% 99,5	Yoğunluk	5,81 g/cm <sup>3</sup>
	SiO <sub>2</sub>	% 0,10	Sertlik	1300 HV
	TiO <sub>2</sub>	% 0,007	Erime noktası	2700 °C
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% 0,002	Çekme dayanımı	450 Mpa
	Diğer	% 0,39	Termal iletkenlik	2,2-4,3 W/m.K

Daha sonra külçe halindeki AZ91 matris malzemesi vorteks cihazı içerisindeki potaya koyularak argon gazı ortamında eritme işlemine geçilmiştir. Pota içerisindeki matris malzemelerin eriyerek sıvı matris sıcaklığının 750 °C ye kadar çıkması beklendikten sonra vorteks cihazında karıştırma işlemi başlatılmıştır. Bu esnada ön tavlama işlemi yapılan ZrO<sub>2</sub> matris malzemesi pota içerisine ilave edilmiştir. 500 dev/dak hızda 5 dakika süre boyunca karıştırma devam ettirilmiş ve kademeli olarak karıştırma hızı düşürülerek sonlandırılmıştır. Daha sonra kompozit karışım çelik kalıplara dökülerek soğuması beklenmiştir. Bu işlemler üç takviye oranı için aynı şekilde tekrarlanarak kompozit üretim işlemi tamamlanmıştır. Şekil 1’de kompozit üretimlerinin yapıldığı aşamada çekilen vorteks döküm cihazı görülmektedir.

**Şekil 1.** Vorteks döküm cihazı

Döküm işleminden sonra çelik kalıplar içerisinde soğuyup katılaştan kompozit malzemeler kalıplardan çıkarılarak, proje çalışmasının birinci bölümünde yer alan metalografik ve mekanik testler için deney numuneleri hazırlanmıştır.

Metalografik incelemelerde her kompozit malzeme numunesinden, taramalı elektron mikroskopunda (SEM) mikroyapı görüntüleri çekilmiştir. Daha sonra mekanik inceleme deneylerine geçilmiştir. İlk olarak Brinell yöntemi kullanılarak sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinde, her numune üzerinde 5 farklı bölgeden yapılan ölçüm değerlerinin aritmetik ortalamaları alınmıştır. Mekanik incelemelerin ikinci aşamasında çapraz kırılma (üç nokta eğeme) deneyleri yapılmıştır. Her kompozit malzeme için üç adet eğeme deneyi yapılarak elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları alınmıştır. Mekanik deneylerin son aşamasında pin-on disk aşınma test cihazı ile abrasif aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri sırasında çekilen fotoğraf Şekil 2’de verilmiştir.



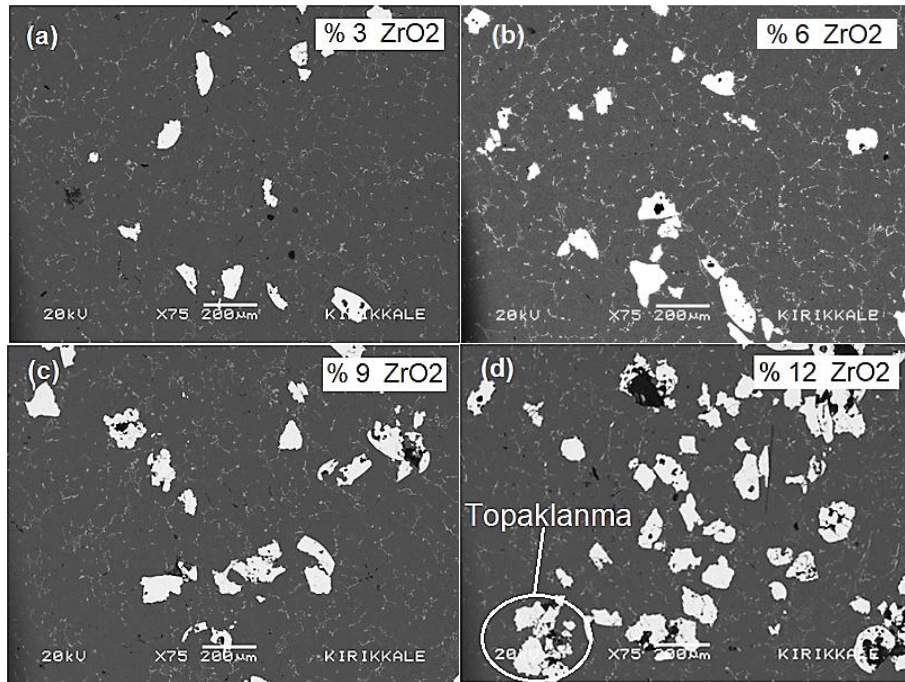
Şekil 2. Pin on disk aşınma deneyi

Aşınma deneylerinde; 12, 20, 50  $\mu\text{m}$  aşındırıcı tane boyutunda üç farklı zımpara ve 50 N deney yükü kullanılmıştır. Aşınma deneyleri 0,5 m/s kayma hızında ve 60 m aşınma mesafesinde yapılmıştır. Kompozit numunelerin deney öncesi ve sonrası ağırlıkları ölçülerek aşınma kayıpları belirlenmiştir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Mikroyapıların Değerlendirilmesi

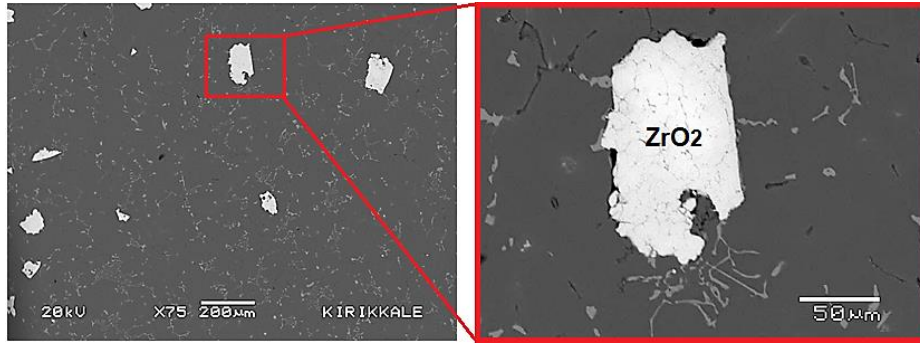
ZrO<sub>2</sub> parçacık takviyeli AZ91 magnezyum alaşımı matrisli kompozitlerin, takviye oranlarına göre mikroyapılarını değerlendirmek amacıyla çekilmiş elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. ZrO<sub>2</sub> takviyeli AZ91 magnezyum alaşımı kompozitlerin mikroyapıları

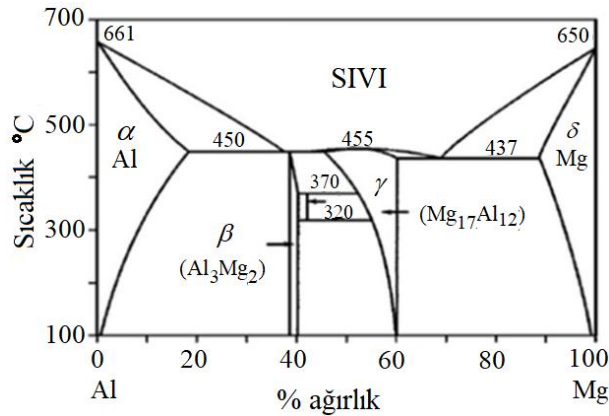
Şekil 3'deki mikroyapı görüntülerine bakıldığında kompozit yapı içerisindeki ZrO<sub>2</sub> takviye parçacıklarının dağılımı görülmektedir. Takviye dağılımının çok homojen olmadığı ilk etapta göze çarpmaktadır. Yapı içerisindeki ZrO<sub>2</sub> oranının artmasına bağlı olarak takviye elemanının kısmen topaklanma eğilimi gösterdiği anlaşılmaktadır. Topaklanan bölgelerde aynı zamanda gözenek oluşumundan söz etmek mümkündür. ZrO<sub>2</sub> takviye parçacıklarının tek başına kompozit yapı içinde yer aldığı bölgelerde, gözenek oluşumu meydana gelmediği ve matris ile takviye arasında iyi bir ıslatmanın gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Şekil 4'te yer alan ZrO<sub>2</sub> takviye parçacığı ile matris malzemesi AZ91 arasında kayda değer miktarda boşluk olmadığı ve ZrO<sub>2</sub> parçacığının çok büyük bölümünün AZ91 tarafından sarıldığı anlaşılmaktadır. Şekil 4'teki mikroyapı görüntüsü ile, matris-takviye arayüzeyinde iyi bir ıslatmanın ve güçlü bağ yapısının olduğu değerlendirilmektedir.





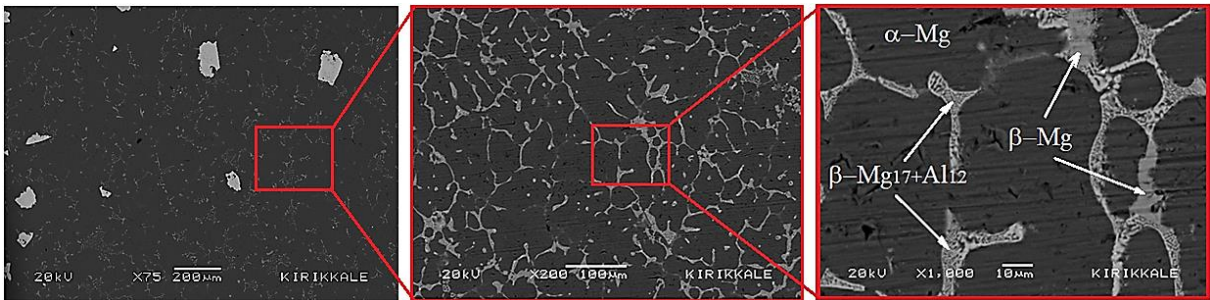
Şekil 4. Matris (AZ91) –takviye (ZrO<sub>2</sub>) arayüzey detayı

Kompozit yapının ana malzemesi olan AZ91 (Mg-Al9Zn) alaşımının döküm sonrasındaki mikroyapısını incelemek amacıyla önce Şekil 5'teki Mg-Al faz diyagramı, daha sonra kompozitin ana yapısı olan AZ91 alaşımının mikro yapısını gösteren Şekil 6'daki SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5. Mg-Al faz diyagramı

Ötektik  $\beta$  fazı, Mg-Al faz diyagramına göre, Al içeriğinin %13'ün üzerine çıktığı durumlarda meydana geldiği görülmektedir (Şekil 5). Ancak %2'ye kadar Al içeren magnezyum alaşımları döküm sırasında dengesiz katılaşma şartları oluştuğunda, ötektik  $\beta$  fazı meydana gelmektedir. Mg alaşımlarında farklı  $\beta$  fazı morfolojisi Al miktarı, mikro alaşımlama veya katılaşma şartlarına bağlı olarak; tamamen ayrı, kısmen ayrı veya lameller ötektik morfoloji şeklinde meydana gelebilmektedir [5].



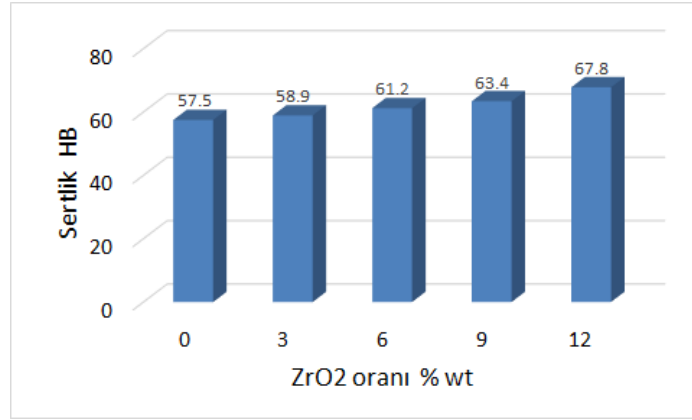
Şekil 6. AZ91 alaşımı faz morfolojisi

Şekil 6'daki mikroyapı incelendiğinde,  $\beta$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> intermetalik fazının ön plana çıktığı görülmektedir.  $\alpha$ -Mg fazı tane sınırları boyunca,  $\beta$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> fazının uzandığı söylenebilir. Aynı şekilde  $\beta$ -Mg fazında tane sınırları üzerinde yer aldığı görülmektedir. Literatür incelendiğinde benzer sonuçlara işaret eden mikroyapı değerlendirmelerinin yer aldığı görülmüştür. Literatürde yer alan bir çalışmada mikroyapı görüntüsüne bakıldığında, soğutma eğrisi analizine uygun olarak  $\alpha$ -Mg matrisi tane sınırları boyunca dağıtılan  $\beta$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>'den söz edilmektedir [12]. Başka bir araştırmada, AZ91 numunelerinin soğuk haddelemeyle yapılan karakterizasyonundan sonraki SEM ve XRD analizlerinde, AZ91 alaşımının matrisinin birincil  $\alpha$ -Mg fazı ve  $\beta$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> fazından oluştuğu ifade edilmektedir [13]. Şekil 6'daki genel SEM görüntüsüne bakıldığında malzemenin tamamında aynı faz yapısının mevcut olduğu ifade edilebilir.



### 3.2. Sertlik Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

ZrO<sub>2</sub> katkıli kompozitlerin sertlik ölçümleri TS EN ISO 6506-1 [14] Standardına göre Brinell yöntemi kullanılarak, 15,625 kg yükleme ile 2,5 mm'lik ölçme probuyla yapılmıştır. Kompozitlerin sertlik ölçme sonuçlarından hesaplanan ortalama değerlere göre çizilen grafik Şekil 7'de verilmektedir.

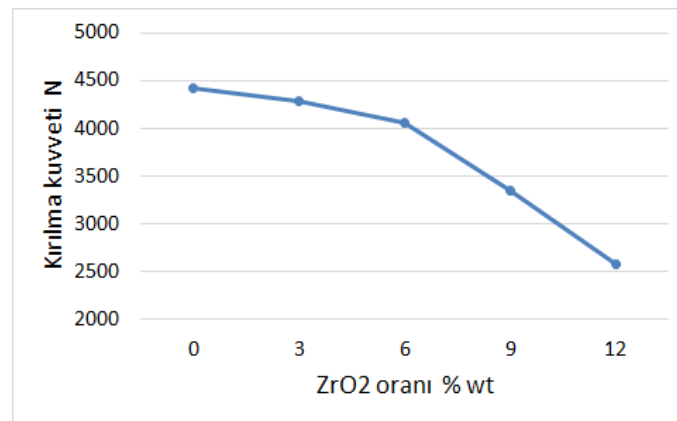


Şekil 7. ZrO<sub>2</sub> katkıli kompozitlerin sertlik değerleri

Şekil 7'deki grafiğe bakıldığında ZrO<sub>2</sub> takviye oranının artmasıyla sertlik değerlerinin giderek yükseldiği genel eğilim olarak görülmektedir. Matris malzemesi magnezyum içerisindeki ZrO<sub>2</sub> parçacıklarının çok sert fazda bulunması kompozit yapının sertliğini arttırmıştır. Bu beklenen bir sonuçtur. Bu tür parçacık takviyeli metalik kompozitlerde bazen sertlik değerleri düşebilmektedir. Matris malzemesi içerisine takviye edilen seramik esaslı parçacıkların toplanması ve bu bölgelerde meydana gelen gözenekler neticesinde sertlik değerleri düşebilmektedir. Ancak yapılan bu çalışmada homojen bir takviye dağılımı elde edilmiş ve takviye toplanmalarını minimum seviyede meydana gelmiştir. Matris malzemesi ile ZrO<sub>2</sub> parçacıkları arasındaki iyi ıslatmanın da yapıyı güçlendirerek sertlik değerlerini arttırmaya etki eden diğer sebep olduğu düşünülmektedir. Bu sonuçlara göre, katkısız malzemeye göre ZrO<sub>2</sub> takviyesi ile kompozit yapının sertlik değeri % 18 oranında yükselmiştir.

### 3.3. Üç Nokta Eğme (Çapraz Kırılma) Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

ZrO<sub>2</sub> katkıli AZ91 magnezyum kompozitlerin eğme deneyleri ASTM B528-05 [15] Standardına göre üç nokta eğme yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Kompozitlerin eğme deney sonuçlarından göre çizilen grafik Şekil 8'de verilmektedir.



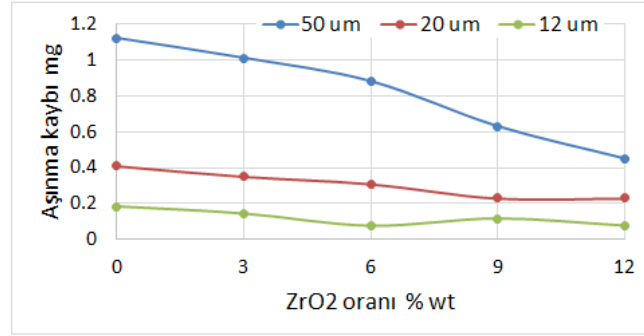
Şekil 8. ZrO<sub>2</sub> katkıli kompozitlerin kırılma yükü değerleri

Şekil 8'deki grafiğe bakıldığında ZrO<sub>2</sub> takviye oranının artmasıyla kırılma kuvveti değerlerinin giderek azaldığı genel eğilim olarak görülmektedir. Ancak bu kuvvet azalmasının % 6 ZrO<sub>2</sub> takviye oranından sonra daha etkili olduğu anlaşılmıştır. Kompozit yapı içerisindeki ZrO<sub>2</sub> takviye parçacıkları ile matris malzemesi magnezyum alaşımı arasındaki iyi ıslatma, yüksek ZrO<sub>2</sub> oranlarında çok etkili olamamıştır. ZrO<sub>2</sub> ilavesi ile kompozit yapı güçlenmiş olsada eğilme dayanımı yönünden bu durum tersine gelişmiştir. Kompozit yapı içerisindeki ZrO<sub>2</sub> takviye parçacıklarının keskin köşeli formunun, çentik etkisi yaparak eğilen malzeme içerisinde kırılma çatlaklarının oluşmasına neden olduğu değerlendirilmektedir. Bu tür parçacık takviyeli metal matrisli

kompozitlerde genellikle kırılma dayanımının azaldığı görülmektedir. Teorik olarak bakıldığında; genel olarak sertliği artan yapıların daha kırılğan olduğu da kabul edilmektedir. Bu çalışmada elde edilen kompozit malzemeler üzerinde yapılması planlanan çekme deneylerinin, yapının çok kırılğan olması sebebiyle yapılamadığı da Malzeme ve Yöntem bölümü içerisinde ifade edilmiştir. Eğme deneyi ve çekme deneyi verileri birbirini destekler niteliktedir.

### 3.4. Aşınma deney sonuçlarının değerlendirilmesi

ZrO<sub>2</sub> katkıli AZ91 magnezyum kompozitlerin pin-on disk yöntemine göre, 12, 20 ve 50 µm aşındırıcı zımpara üzerinde 50 N yük altında yapılan aşınma deneylerinden elde edilen aşınma kaybı değerlerine göre çizilen grafikler Şekil 9'da verilmektedir.



Şekil 9. ZrO<sub>2</sub> katkıli kompozitlerin aşınma kaybı değerleri

Şekil 9'daki grafiğe bakıldığında ilk göze çarpan, zımparalardaki aşındırıcı tane büyümesiyle aşınma kayıplarının da artış göstermesidir. Zımpara üzerindeki aşındırıcı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> taneciklerini birer kesici takım ucu gibi düşünürsek ve her taneciğin tamamının malzeme yüzeyine girdiği varsayılırsa, 50 µm büyüklüğündeki zımparanın en fazla talaşı kaldırmış olması normal bir sonuçtur. Grafik incelendiğinde aşınma kaybı artışlarındaki oran ile zımpara taneciklerinin boyutu arasındaki oranın birbirine yakın olduğu görülmektedir.

ZrO<sub>2</sub> takviye oranının aşınma kayıplarına etkisi değerlendirildiğinde; ZrO<sub>2</sub> oranının artışına bağlı olarak aşınma kayıplarındaki azalma göze çarpmaktadır. Bu durum 50 µm tane boyutundaki zımpara üzerinde yapılan deneyde daha net olarak etkisini göstermiştir. Zımpara tane boyutu küçüldükçe aşınma kaybı değerlerinde bazı kararsız durumlar görülmektedir. Özellikle 12 µm tane boyutundaki zımparada bu husus daha fazla ortaya çıkmıştır. ZrO<sub>2</sub> yapısal olarak kaygan bir yüzey özelliğine sahiptir. Tane boyutunun azalmasıyla zımparanın aşındırma etkisi de azalma eğilimi göstermiştir. Diğer taraftan ZrO<sub>2</sub> taneciklerinin kayganlık özelliği biraz ön plana çıkarak sürtünme katsayısı değerini azalttığı değerlendirilmektedir.

## 4. SONUÇ

Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Farklı ağırlık oranlarında ZrO<sub>2</sub> katkıli AZ91 magnezyum alaşımı kompozitler vorteks yöntemiyle başarılı bir şekilde üretilmiştir.
- ZrO<sub>2</sub> takviye elemanı parçacıkları kompozit yapı içerisinde çok homojen olamayan bir dağılım göstermiştir.
- Takviye oranının artmasına bağlı olarak takviye topaklanmalarının olduğu görülmüştür. Ancak oluşan topaklanmalar yüksek miktarda gözenek oluşumuna sebep olmamıştır.
- Martis-takviye arasındaki ıslatmanın iyi olduğu ve arayüzey bağlanmasının güçlü meydana geldiği anlaşılmıştır.
- ZrO<sub>2</sub> katkısının kompozit yapının sertlik değerini ve aşınma direncini yükseltmiştir. Ancak diğer taraftan çapraz kırılma dayanımını azaltmıştır.
- Kırılma dayanımının azalmasına, kompozit yapının artan sertliği ve yapı içerisindeki keskin köşeli formda bulunan ZrO<sub>2</sub> parçacıklarının yaptığı çentik etkisinin sebep olduğu sonucuna varılmıştır.

- Ayrıca ZrO<sub>2</sub> takviye malzemesinin kaygan yapı özelliğinin aşınma değerleri üzerinde olumlu etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

## Teşekkür

Bu çalışma 2019/031 numaralı proje kapsamında Kırıkkale Üniversitesi BAP Birimi tarafından desteklenmiştir.

## KAYNAKÇA

- [1] A. Aatthisugan, D. Razal Rose, J., Selwyn. "Mechanical and wear behaviour of AZ91D magnesium matrix hybrid composite reinforced with boron carbide and graphite". Journal of Magnesium and Alloys, vol. 5, pp.20-25, 2017.
- [2] L. Elen, Y. Türen, E. Koç. "AZ91 Mg Alaşımına Farklı Oranlarda Sb İlavesi İle Katılma Hızının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi". Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, vol.11, sayı 2, ss. 451-463, 2019.
- [3] E. Karaçelebi. "AM60 Magnezyum Alaşımında Farklı Oranlarda Titanyum (Ti), İndiyum (In) ve Kalay (Sn) İlavesinin Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklere Etkisi". Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aralık 2016.
- [4] U. Gökmen, G. Kırmızı, H. Bircan, H. Çinici. "AZ91 Matrisli TiB<sub>2</sub> Takviyeli Kompozitlerin Yaşlandırma Davranışı ve Karakterizasyonu". Uluslararası Savunma Sanayi Sempozyumu, pp. 262-271, Kırıkkale, Türkiye, Nisan 2017.
- [5] Ş. Candan, S. Çim, S. Emir, E. Candan. "AZ Serisi Mg Alaşımının Korozyon Davranışlarında β-Fazının Rolü", Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, vol. 6, pp. 1139-1162, 2018.
- [6] Engineering Properties of Magnesium Alloys. "Chapter 1 Introduction to Magnesium Alloys". ASM International, 2017, pp 1-9, ISBN: 978-1-62708-143-6
- [7] J. Park, C. Kang. "Microstructure and mechanical properties of AM50 alloy according to thickness and forming condition of the products by a high pressure die-casting process", Journal of Mechanical Science and Technology, vol. 27, Issue 10, pp. 2955-2960, 2013
- [8] B. Akyüz. "Comparison of the machinability and wear properties of magnesium alloys". Int J Adv Manuf Technol, vol. 75 pp. 1735–1742, 2014.
- [9] I. Sachin Tukaram Berad, J. Jayakumar. "Fabrication & Characterisation of Mg-MWCNT & AZ31-MWCNT Nanocomposites". International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, vol. 4, Issue 6, 4431-4436, 2015.
- [10] B., Akyüz. "A study on wear and machinability of AZ series (AZ01-AZ91) cast magnesium alloys". Kovove Mater., vol. 52, pp. 255–262, 2014.
- [11] N. Balaji, R. Gokulnath, V. Mathavaram, A. Saravakumar, P., Sureshkumar. "Optimization of machining parameters of drilling process in Magnesium alloy AZ31". SSRG International Journal of Mechanical Engineering (ICET'17), Special Issue – pp. 41-47. 2017.
- [12] Liang, S.M., Chena, R.S Blandin, J.J. Suery, M. Han, E.H. "Thermal analysis and solidification pathways of Mg–Al–Ca system alloys". Materials Science and Engineering A, vol. 480, pp. 365-372, 2008.
- [13] R. Floriano, D.R. Leiva, G.C. Melo, T.T. Ishikawa, J. Huot, M. Kaufman, S.J.A. Figueroa, L.A. Mendoza-Zelis, L.C. Damonte, W.J. Botta. "Low temperature rolling of AZ91 alloy for hydrogen storage". International Journal of Hydrogen Energy, xxx, pp. 1-12, 2017.
- [14] TS EN ISO 6506-1:2007. "Metalik malzemeler - Brinell sertlik deneyi - Bölüm 1: Deney metodu", TSE, Ankara.
- [15] ASTM B528-05:2005. "Standard Test Method for Transverse Rupture Strength of Metal Powder Specimens", ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.



## Görüntü İkileştirme için Global Eşikleme Yöntemleri Üzerine Bir İnceleme

### A Review on Global Thresholding Methods for Image Binarization

Abdullah Elen 

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Bandırma, Balıkesir/TÜRKİYE

[aelen@bandirma.edu.tr](mailto:aelen@bandirma.edu.tr)

Araştırma Makalesi/Research Article

#### ARTICLE INFO

##### Article history

Received: 2 September 2020

Accepted: 14 September 2020

##### Keywords:

Image Processing, Global Thresholding, Binarization

#### ABSTRACT

Thresholding is one of the most essential issues in image processing. Although this technique is commonly used for segmentation of regions with different homogeneity in grayscale images, and it is also preferred for segmentation of colored images. In this study, 14 different algorithms capable of global thresholding on gray-scale images were categorized and examined in detail as cluster-based, entropy-based, shape-based and feature similarity-based. To test the performance of the algorithms, a dataset consisting of 15 different images was prepared. For these images, the threshold value was determined manually by four experts and reference binary images were obtained by calculating mean value. Accordingly, the binary images produced by each algorithm were examined with the similarity rates to the reference images using the Jaccard Index method. In experimental studies, it was seen that the highest score according to the average similarity ratio obtained belongs to the IsoData and Otsu algorithms with approximately 95%.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

#### MAKALE BİLGİSİ

##### Makale Tarihleri

Gönderim: 2 Eylül 2020

Kabul: 14 Eylül 2020

##### Anahtar Kelimeler:

Görüntü İşleme, Global Eşikleme, İkileştirme

#### ÖZET

Görüntü işlemede en temel konulardan biri eşikleme yöntemidir. Bu yöntem, yaygın olarak gri tonlamalı görüntülerdeki farklı homojenliğe sahip bölgelerin bölütlenmesinde kullanılmakla birlikte renkli görüntülerin bölütlenmesi için de tercih edilir. Bu çalışmada, gri ölçekli görüntüler üzerinde global eşikleme yapabilen 14 farklı algoritma; kümeleme tabanlı, entropi tabanlı, şekil tabanlı ve öznelik benzerliğine dayalı olmak üzere kategorize edilmiş ve detaylı olarak incelenmiştir. Algoritmaların performansını test etmek için 15 farklı görüntüden oluşan bir veri seti hazırlanmıştır. Bu görüntüler için dört uzman tarafından el yordamıyla eşik değeri belirlenmiş ve ortalama değeri alınarak referans ikili görüntüler elde edilmiştir. Buna göre her bir algoritmanın ürettiği ikili görüntüler, Jaccard Index yöntemiyle referans görüntülere olan benzerlik oranları incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda, elde edilen benzerlik oranı ortalamasına göre en yüksek skor yaklaşık %95 ile IsoData ve Otsu algoritmalarına ait olduğu görülmüştür.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

## 1. GİRİŞ

Eşikleme, görüntü bölütleme amacı için kullanılan en önemli yaklaşımlardan birisidir [1] ve birçok görüntü analizi uygulamasında ön işlem olarak tercih edilir. Örneğin medikal görüntü işleme, belge görüntülerinin analizi, doku analizi, nesne algılama, parmak izi ve yüz tanıma, haritalar, çizimler vb. birçok alanda problemlerin çözümü için temel yapı niteliğindedir [2, 3]. Burada amaç, uygun bir eşik değeri kullanarak görüntü içerisindeki nesnelere arka plandan ayırmaktır [4]. Global algoritmalar, eşik değerini belirlemek için tüm görüntü bilgilerini kullanır ve görüntüdeki tüm piksellere eşit olarak uygulanır [5]. Otomatik eşiklerin temel avantajı, görüntü değişimlerini hesaba katmaları ve kullanıcı önyargısız birçok görüntüyü toplu işlenmesini kolaylaştırmasıdır. Eşik, verilerin karmaşıklığını azaltan, tanıma ve sınıflandırma vb. süreçlerde işlem kolaylığı sağlayan ikili (*Binary*) bir görüntü üretilmesini mümkün kılar. Eşikleme, görüntünün birden fazla özelliğini kullanarak bölütleme gerçekleştiren yöntemlere kıyasla daha hızlı sonuç verir [6]. Optimal eşik değerinin tespit edilmesinde, yaygın olarak görüntüdeki gri seviye dağılımlarını gösteren bir histogramdan faydalanılır [7]. Bu durumda nesnelere arka plandan ayırmak için en kolay yol, histogramdan göreceli olarak belirlenen bir  $T$  eşik değeri ile görüntüdeki piksel değerlerini karşılaştırmak olacaktır. Başka bir ifadeyle, bir görüntü histogramındaki piksellerin yoğunluk seviyelerine bağlı olarak kümeler ayırma işlemini gerçekleştirmektedir. Bu karşılaştırma işlemi (Eşitlik 1) sonucunda 0 ve 1'den oluşan ikili (*Binary*) görüntü elde edilir. Buna göre, görüntüdeki herhangi bir  $(i, j)$  pikseli için;  $f(i, j) > T$  ise nesneye ait bir piksel,  $f(i, j) \leq T$  ise arka plana ait bir piksel olacaktır.

$$f^T(i, j) = \begin{cases} 255, & \text{eğer } f(i, j) > T(i, j) \text{ ise} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases} \quad (1)$$

Burada  $T$  değerinin doğru seçilmesi kritik önem taşımaktadır [8]. Eğer  $T$  değeri olması gereken daha fazla ya da az olursa görüntünün içerdiği anlamlı bilgi ciddi miktarda zarar görecektir. Bunun sonucu olarak, elde edilen ikili sonuç görüntüsü bir problemin çözümü için geliştirilen sistemin başarısını olumsuz etkileyecektir. Buna ilaveten, az sayıda görüntü için ideal eşik değeri deneme yoluyla bulunabilse de çok sayıda görüntü için bu zaman açısından mümkün olmayabilir. Bu nedenle, dijital görüntülerde eşik değerini otomatik olarak hesaplayan bir algoritmaya her zaman ihtiyaç duyulmuştur [9]. Uzun tarihinin ve geniş uygulamalarının yanı sıra, daha iyi binarizasyon algoritmaları geliştirmenin dışında, nitel ve nicel olarak değerlendirmesi ve bunların karşılaştırması aktif bir araştırma alanı olmaya devam etmektedir. Ayrıca görüntü analizinin geliştirilmesi açısından da son derece önemlidir.

## 2. GLOBAL EŞİKLEME YÖNTEMLERİ

Bugüne kadar gri seviyeli dijital görüntüler için farklı kategorilerde birçok otomatik global eşikleme yöntemi önerilmiştir. Bunlar başlıca kümeleme tabanlı, entropi tabanlı, şekil tabanlı, öznitelik benzerliğine dayalı eşikleme algoritmaları olarak kullanılan bilgi türlerine göre kategorize edilmektedir [10]. Bu çalışmada ele alınan eşikleme yöntemlerinin matematiksel notasyonları ve çalışma prensipleri dört farklı alt başlık altında toplanmıştır. Eşikleme algoritmalarının matematiksel eşitliklerinden bahsederken notasyonları şu şekilde kullanacağız;  $\forall g \in \{0, 1, \dots, G\}$  için burada  $G$  görüntüdeki maksimum gri seviye (parlaklık) değerini temsil etmektedir. Histogram  $h(g)$ , olasılık kütle fonksiyonu  $p(g)$ , kümülatif olasılık fonksiyonu  $P(g) = \sum_{g=0}^G p(g)$ , eşikleme değeri  $T$  ile gösterilmektedir. Ön plan (nesne) ve arka plan olasılık kütle fonksiyonları sırasıyla  $p_f(g)$  ve  $p_b(g)$  olarak ifade edilir ve bunlara ait olasılıklar aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$P_b(T) = P_b = \sum_{g=0}^T p(g) \quad (2)$$

$$P_f(T) = P_f = \sum_{g=T+1}^G p(g) \quad (3)$$

Bu çalışmada, karşılaştırmak için kullandığımız bazı algoritmalar entropi tabanlıdır ve genel olarak Shannon'un entropisi üzerine inşa edilmiştir. Eşikleme değerine bağlı olarak, Shannon'un entropisinin ön plan ve arka plan hesaplamaları şu şekildedir;

$$H_b(T) = - \sum_{g=0}^T p_b(g) \log p_b(g) \quad (4)$$

$$H_f(T) = - \sum_{g=T+1}^G p_f(g) \log p_f(g) \quad (5)$$

Bu iki ifadenin toplamı ise;  $H(T) = H_b(T) + H_f(T)$  şeklinde hesaplanır. Bulanık ölçümlerde ise ön plan ve arka plan fonksiyonları sırasıyla  $m_f(g)$  ve  $m_b(g)$  olarak ifade edilir ve aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır;

$$\mu_b(T) = \sum_{g=0}^T gp(g) \quad (6)$$

$$\sigma_b^2(T) = \sum_{g=0}^T [g - \mu_b(T)]^2 p(g) \quad (7)$$

$$\mu_f(T) = \sum_{g=T+1}^G gp(g) \quad (8)$$



$$\sigma_f^2(T) = \sum_{g=T+1}^G [g - \mu_f(T)]^2 p(g) \quad (9)$$

## 2.1. Kümeleme Tabanlı Eşikleme

Kümeleme tabanlı otomatik eşikleme yöntemlerinden en iyi bilineni Otsu [11]'dur. Bu metot kullanılırken görüntünün arka plan ve ön plan olmak üzere iki renk sınıfından oluştuğu varsayımı yapılır. Bu iki sınıfı ayıran optimum eşik değerini ( $T$ ) bulmak için sınıf içi varyans değeri minimum olacak şekilde hesaplanır;

$$\sigma_W^2(T) = p_f(T)\sigma_f^2(T) + p_b(T)\sigma_b^2(T) \quad (10)$$

Burada  $p_f$  ve  $p_b$ ,  $T$  eşik değeri ile ayrılan iki sınıfın kütle olasılıklarını temsil eder.  $\sigma_W^2(T)$  ise bu iki sınıfın varyansıdır. Otsu, sınıf içi varyansı en aza indirmenin, sınıflar arası varyansı maksimuma çıkarmakla aynı olduğunu gösterir. Bu nedenle daha basit olmasından dolayı kullanmak için çok daha iyi bir yaklaşımdır.

$$\sigma_B^2(T) = \sigma^2 - \sigma_W^2(T) \quad (11)$$

$$\sigma_B^2(T) = p_f(T)p_b(T)[\mu_f(T) - \mu_b(T)]^2 \quad (12)$$

Burada  $\sigma_B^2(T)$  sınıflar arası varyansını,  $\mu_f$  ve  $\mu_b$  ise sınıf ortalamalarını temsil etmektedir. Doyle [12] tarafından önerilen P-tile (*Percentile*) algoritması gri seviye histogramı tabanlı en eski eşikleme yöntemlerinden biridir. Bir görüntüdeki nesnelerin arka plandan daha parlak olduğunu ve nesnelerin görüntü üzerinde sabit bir alan yüzdesini işgal ettiğini varsayar. Bu sabit alan yüzdesi de  $K\%$  olarak bilinir. Eşik değeri ( $T$ ), çoğunlukla gri seviyenin nesneye en az  $K\%$  oranında eşleştirilmesine karşılık gelen gri seviye olarak tanımlanır. Bu oran otomatik işlemlerde genelde  $K = 0.5$  olarak belirlenir. P-tile yönteminin algoritması Eşitlik 14'teki gibidir;

$$P = \sum_{g=0}^G h(g) \quad (13)$$

$$T = \underset{g}{\operatorname{argmin}} \left\{ \frac{1}{P} \sum_{g=0}^G p(g) \geq K \right\} \quad (14)$$

Burada  $P$  histogramdaki kümülatif olasılık toplam fonksiyonunu,  $T$  ise optimum eşik değerini temsil etmektedir. Simple Image Statistic (SIS), Kittler ve Illingworth [13] tarafından geliştirilen otomatik iki seviyeli bir eşik belirleme tekniğidir. Bu yöntemde, gri tonlamalı bir görüntüdeki gradyan büyüklüğüyle ağırlıklandırılmış piksel parlaklığına dayalı olarak optimum global eşik değeri Eşitlik 16'da gösterildiği gibi tahmin edilir.

$$e(i, j) = |\nabla p| = \max\{|l(i-1, j) - l(i+1, j)|, |l(i, j-1) - l(i, j+1)|\} \quad (15)$$

$$T_{opt} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |l(i, j) \times e(i, j)|}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |e(i, j)|} \quad (16)$$

Burada  $l(i, j)$  ve  $e(i, j)$  sırasıyla görüntüdeki parlaklığı ve gradyan büyüklüğünü temsil etmektedir. Piksel cinsinden görüntü boyutları ise  $m$  ve  $n$  olarak gösterilmektedir. Ridler ve Calvard [14], IsoData olarak adlandırılan otomatik olarak global eşik değerini belirleyen iteratif bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritmada ilk olarak, histogram  $T_0$  gibi bir başlangıç eşik değeri belirlenerek iki kısma ayrılır. Yani  $T_0$  histogramdaki piksel sayısı sıfırdan farklı en küçük parlaklık değeridir.

$$T_{opt} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\mu_f(T_n) + \mu_b(T_n)}{2} \quad (17)$$

$$\mu_f(T_n) = \sum_{g=0}^{T_n} gp(g) \quad (18)$$

$$\mu_b(T_n) = \sum_{g=T_n+1}^G gp(g) \quad (19)$$

Daha sonra  $T_0$  eşik değeri referans alınarak, görüntü üzerindeki nesnelere ve arka plana ait gri seviyeli değerlerin ortalamaları sırasıyla  $\mu_f$  ve  $\mu_b$  olarak bulunur. Bir sonraki adımda ise  $\mu_f$  ve  $\mu_b$  değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak yeni bir  $T_1$  eşik değeri hesaplanır. Süreç, eşik değeri artık değişmeye kadar ( $T_n$ ) yeni eşığe bağlı olarak tekrarlanır. Bir diğeri ise Mean [15] yöntemidir. Bu metot gri seviye dağılımının ortalamasını eşik olarak seçer. Bununla birlikte, diğer bazı yöntemler bunu ilk tahmin eşığı olarak kullanır.

$$T = \sum_{g=0}^G gp(g) \quad (20)$$

## 2.2. Entropi Tabanlı Eşikleme

Entropi kavramı ilk kez Shannon tarafından bilgisayar bilimlerinde sinyal işleme ve veri iletişiminde kullanılmıştır. Enformasyon teorisinde bilginin ortalama miktarını ölçmek için de entropiden yararlanır. Görüntü analizinde entropi, rastgele bir değişkenin minimum tanımlayıcı karmaşıklığını ölçmek için kullanılır. Bu yönü ile görüntü işleme alanında da oldukça tercih edilen bir kavramdır. Kapur ve ark. [16], MaxEntropy olarak bilinen algoritmasında, görüntü histogramındaki gri düzeylerin dağılımının entropisini hesaplayabilmek için Shannon'un konseptini kullanmıştır. Görüntüdeki nesnelere ve arka plan iki farklı sinyal kaynağı olarak düşünülürse, bu iki sınıfa ait entropilerinin toplamı maksimum seviyeye ulaştığı durumda optimum eşik değeri bulunmuş olur.

$$T_{opt} = argmax[H_f(T) + H_b(T)] \quad (21)$$

$$H_f(T) = - \sum_{g=0}^T \frac{p(g)}{p(T)} \log_e \frac{p(g)}{p(T)} \quad (22)$$

$$H_b(T) = - \sum_{g=T+1}^G \frac{p(g)}{p(T)} \log_e \frac{p(g)}{p(T)} \quad (23)$$

Sahoo ve ark. [17], Renyi entropisini kullanarak görüntü histogramında  $T_1$ ,  $T_2$  ve  $T_3$  olmak üzere üç farklı eşik değeri bulunur. Bu eşik değerleri  $\rho$  parametresinin  $\rho > 1$ ,  $0 < \rho < 1$  ve  $\rho = 1$  durumları esas alınarak Eşitlik 24 ve 25'te gösterildiği gibi hesaplanır.

$$H_f^\rho = \frac{1}{1-\rho} \ln \left\{ \sum_{g=0}^T \left[ \frac{p(g)}{p(T)} \right]^\rho \right\} \quad (24)$$

$$H_b^\rho = \frac{1}{1-\rho} \ln \left\{ \sum_{g=T+1}^G \left[ \frac{p(g)}{p(T)} \right]^\rho \right\} \quad (25)$$

Optimum eşik değeri ise nesnelere ve arka plana ait gri seviyelerin Renyi entropi toplamalarını maksimize edilerek Eşitlik 26'da gösterildiği gibi hesaplanır.

$$T_{opt} = T_{[1]} \left[ P_{T_{[1]}} + \frac{1}{4} wB_1 \right] + T_{[2]} \frac{1}{4} wB_2 + T_{[3]} \left[ 1 - P_{T_{[3]}} + \frac{1}{4} wB_3 \right] \quad (26)$$

$$P[T_{[k]}] = \sum_{g=0}^{T_{[k]}} p(g), \forall k \in \{1,2,3\} \quad (27)$$

$$x = |T_{[1]} - T_{[2]}|, y = |T_{[1]} - T_{[3]}| \quad (28)$$

$$B_1, B_2, B_3 = \begin{cases} (1,2,1) & \text{if } x \leq 5 \text{ and } y \leq 5 \text{ or } x > 5 \text{ and } y > 5 \\ (0,1,3) & \text{if } x \leq 5 \text{ and } y > 5 \\ (3,1,0) & \text{if } x > 5 \text{ and } y \leq 5 \end{cases} \quad (29)$$

Li ve ark. [18, 19], ikili ve orijinal görüntü arasındaki çapraz-entropinin minimize edilebilmesi için kullanılan yinelemeli bir yöntem önermişlerdir. Bu, görüntüler arasındaki veri tutarlılığının bir ölçüsü olarak yorumlanır ve optimal eşiklemeyi Kullback-Leibler mesafesinin en aza indirilmesi olarak formüle eder. Kullback-Leibler ölçüsü ile gözlemlenen ve yeniden oluşturulan görüntülerin, ön plan ve arka planları aynı ortalama yoğunluğa sahip olduğu kısıtlar altında minimize eder.

$$T_{opt} = argmin \left[ \sum_{g=0}^T gp(g) \log \frac{g}{m_f(T)} + \sum_{g=T+1}^G gp(g) \log \frac{g}{m_b(T)} \right] \quad (30)$$

$$\text{Where } \square \sum_{g \leq T} g = \sum_{g \leq T} m_f(T) \square \text{ and } \square \sum_{g \geq T} g = \sum_{g \geq T} m_b(T) \square \quad (31)$$

Shanbhag [20] tarafından önerilen yöntem, Kapur ve ark. [16] tarafından önerilen maksimum entropi eşikleme tekniğinin farklı bir sürümüdür. Shanbhag eşikleme bulanık üyeleri (*fuzzy memberships*), görüntüdeki gri seviyelerin nesneye veya arka plana ne kadar güçlü bir şekilde ait olduğunun bir göstergesi olarak görür. Bu yöntemde, bir görüntü iki bulanık kümeye karşılık gelen iki farklı sınıfa ayrılır:  $\mu_f$  histogramdaki 0'dan  $T$ 'ye kadar olan gri seviyeleri,  $\mu_b$  ise  $T + 1$ 'den  $G$ 'ye kadar olan gri seviyeleri temsil etmektedir. Üyelik katsayıları, ilgili gri seviyenin bir sınıfa atanmasındaki belirsizlik olarak ölçülür. Açıkçası, yalnızca minimum ve maksimum olası gri düzeylerine sahip pikseller, maksimum üyelik katsayısına göre  $\mu_f$  veya  $\mu_b$ 'ye atanacaktır. Bu da yüksek değerlikli gri seviyelerin herhangi bir belirsizlik olmadan kendi sınıflarına nasıl atanacağını açıklar. Bununla birlikte,  $T$  ve  $T + 1$  eşik değerleri arasında farazi bir  $T'$  olduğu varsayılır. Bu nedenle,  $T'$  gri değerine sahip piksel değerleri 0.5'lik üyelik katsayısına sahip olacaktır. Bir sınıfa göre herhangi bir gri seviyenin üyelik katsayısı, bu gri seviyeye sahip olan piksellerin bulunma olasılığı ile de artar.

$$\mu_f(T - i) = 0.5 + \frac{P(T)+\dots+P(T-1-i)+P(T-i)}{2P(T)} \quad (32)$$

$$\mu_b(T + i) = 0.5 + \frac{P(T+1)+\dots+P(T-1+i)+P(T-i)}{2(1-P(T))} \quad (33)$$

Sonuç olarak, bir sınıf içindeki eşikten daha büyük bir piksel yoğunluğu daha yüksek üyelik olarak belirlenir. Böylece, arka plan ve nesnelerin entropileri hesaplanır ve optimum eşik değeri, iki entropi arasındaki farkı minimize eden  $T_{opt}$  olarak Eşitlik 34'teki gibi belirlenir.

$$T_{opt} = argmin\{H_f(T) - H_b(T)\} \quad (34)$$

$$H_f(T) = - \sum_{g=0}^T \frac{P(g)}{P(T)} \log[\mu_f(g)] \quad (35)$$

$$H_b(T) = - \sum_{g=T+1}^G \frac{P(g)}{1-P(T)} \log[\mu_b(g)] \quad (36)$$

Yen ve ark. [21], Renyi entropisindeki güç parametresini  $\rho = 2$  olarak belirleyerek, optimum eşik değerini maksimize eden bir entropik korelasyon yöntemi önermişlerdir. Buna göre görüntüdeki optimal eşik değeri Eşitlik 37'deki gibi hesaplanır.

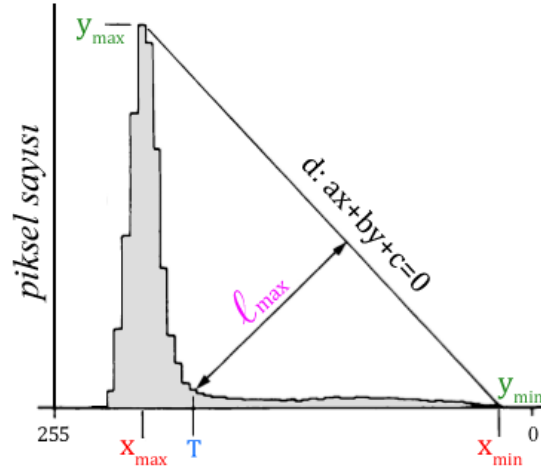
$$T_{opt} = argmax\{C_b(T) + C_f(T)\} \quad (37)$$

$$C_b(T) = - \log \left\{ \sum_{g=0}^T \left[ \frac{p(g)}{p(T)} \right]^2 \right\} \quad (38)$$

$$C_f(T) = - \log \left\{ \sum_{g=T+1}^G \left[ \frac{p(g)}{1-p(T)} \right]^2 \right\} \quad (39)$$

### 2.3. Şekil Tabanlı Eşikleme

Bu yöntem kategorisindeki algoritmalar, görüntü histogramı üzerinde geometrik şekil benzerliği, eğri analizi, referans tepe noktaları, vadiler vb. biçimde şekil özelliklerine göre eşik değeri seçerler. Bunlardan en çok bilineni Zack'in Triangle [22] algoritmasıdır. Bu yöntemde, gri seviyeli bir görüntü histogramında maksimum tepe değeri  $y_{max}$  ve minimum tepe değeri  $y_{min}$  bulunur. Aynı zamanda bu tepe değerlerine karşılık gelen  $x_{min}$  ve  $x_{max}$  gri seviye değerleri de tespit edilmiş olur. Daha sonra bu noktaların arası Şekil 1'de gösterildiği gibi bir çizgi ile birleştirilerek  $d: ax + by + c = 0$  doğrusu elde edilir.



Şekil 1. Zack'in üçgen yöntemi.

$$x_{min} = argmin_g \{ \sum_{g=0}^G p(g) > 0 \}, y_{min} = h(x_{min}) \quad (40)$$

$$x_{max} = argmax_g \{ \sum_{g=0}^G p(g) > 0 \}, y_{max} = h(x_{max}) \quad (41)$$

Ancak burada bilinmesi gereken bir şey daha vardır. Histogramda  $x_{min}$  değeri sağ tarafta olabileceği gibi sol tarafta da olabilir. Bu durumda  $x_{min}$  ile  $x_{max}$  değerleri yer değiştirilir. Ayrıca tüm gri seviyeler eşit durumda  $x_{min} = x_{max}$  olursa optimum  $T$  değeri  $x_{min}$  veya  $x_{max}$ 'tan biri olarak belirlenir. Daha sonra bu bilgileri kullanarak, iki noktası bilinen  $d$  doğrusunun denklemini aşağıdaki gibi elde edilir.

$$d: (x - x_{max})(y_{max} - y_{min}) - (y - y_{max})(x_{max} - x_{min}) \quad (42)$$

Bu eşitliği  $d: ax + by + c = 0$  olduğunu varsayarsak, optimum eşik değeri aşağıdaki formülde gösterildiği gibi hesaplanır. Yani  $l$  uzunluğunun maksimum olduğu ( $l_{max}$ ) yerdeki  $x_n$  değeridir.

$$T_{opt} = \underset{n}{argmax} \left\{ n \mid n \in \{x_{min}, \dots, x_{max}\}, \frac{|an+bh(n)+c|}{\sqrt{a^2+b^2}} \right\} \quad (43)$$

Bu teknik, histogramda nesneye ait piksellerin zayıf bir tepe meydana getirdiği durumlarda etkilidir. Prewit ve ark. [23], kan hücrelerinin analizi için yaptıkları çalışmada periferik kan yayma görüntülerinin gri seviyeli histogramı üzerinden lökosit hücrelerinin nükleus ve sitoplazmalarını segmente etmek istemişlerdir. Bunun için Intermodos olarak bilinen çift modlu (*bimodal*) bir eşikleme yöntemi önermişlerdir. Bu yöntem, histogramın iki modlu bir dağılımı olduğunu varsayar ve iki yerel maksimumu lokalize etmeye çalışır. Bu yerel maksimumlar bulunduğu, yoğunlukları arasındaki ortalama optimum eşik değeri olarak belirlenir. Geniş ve düz bir vadiye veya oldukça düzensiz yapıda zirvelere sahip olan histogramlar bu yöntem için uygun değildir.

## 2.4. Öznitelik Benzerliğine Dayalı Eşikleme

Bu kategorideki algoritmalar, orijinal görüntü ile ikili görüntü arasında bazı özellik kalitesi veya benzerlik ölçüsüne dayalı eşik değerini belirler. Bu nitelikler, kenar eşleştirme, şekil kompaktlığı, moment, bağlantı, doku veya segmente edilmiş nesnelerin kararlılığı olarak söylenebilir. Tsai [24], Gri seviyeli bir görüntüyü, ideal bir ikili görüntünün bulanık sürümü olarak görür. Optimum eşikleme, ilk üç gri seviye momentinin, ikili görüntünün ilk üç momentine denk gelecek şekilde Eşitlik 46'daki gibi oluşturulur. Gri seviyeli momentler  $m_k$  olarak, binary görüntü momentleri ise  $b_k$  olarak tanımlanmıştır.

$$m_k = \sum_{g=0}^G p(g) g^k \quad (44)$$

$$b_k = P_f m_f^k + P_b m_b^k \quad (45)$$

$$T_{opt} = arg e qual[m_1 = b_1(T), m_2 = b_2(T), m_3 = b_3(T)] \quad (46)$$



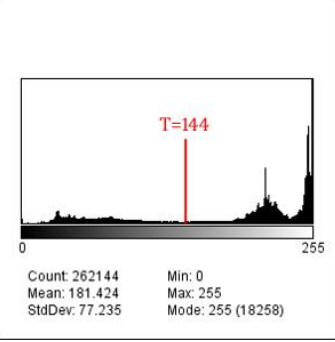


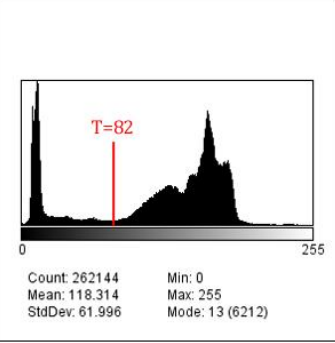


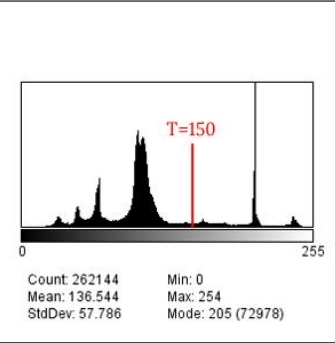
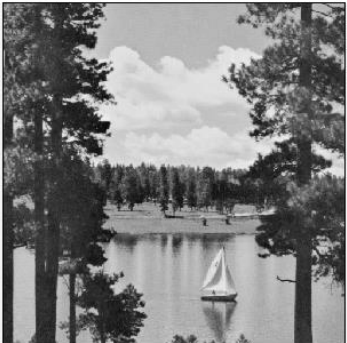
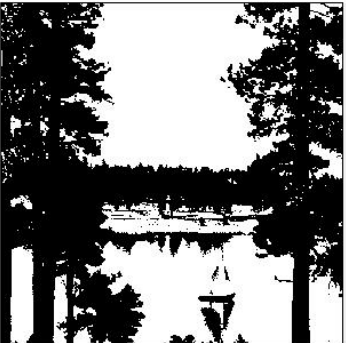
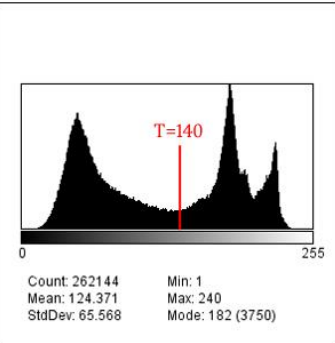

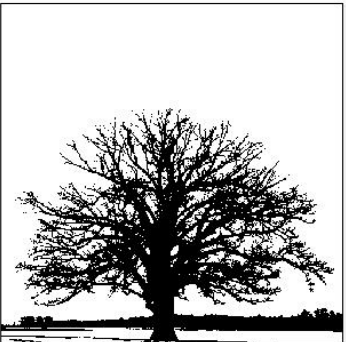
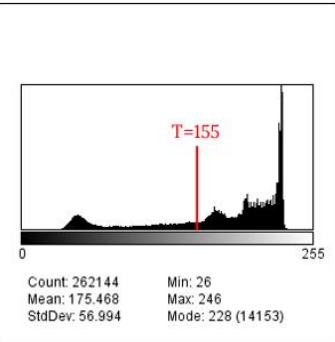
Huang ve ark. [25], gri ölçekli görüntülerin histogram bilgilerini kullanarak, bulanık entropi-tabanlı (*fuzzy entropy-based*) bir eşikleme yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntem, gri ölçekli görüntü ile ikili görüntü arasındaki mesafeyi ölçerek bir bulanıklık indeksi oluşturur. Görüntü  $m_f(I)$  dizisi olarak temsil edilir ve burada  $0 \leq m_f(I) \leq 1$  olarak, ön plana ait olan bulanık ölçüyü temsil eder. Her bir görüntü pikseli için bulanık üyelik değeri göz önüne alındığında, Shannon'un veya Yager'in entropi fonksiyonuyla görüntünün tümü için bir bulanıklık indeksi elde edilebilir. Optimal eşik, sınıf (ön ve arka plan) ortalama (*mean*)  $m_f(T)$ ,  $m_b(T)$  ve üyelik fonksiyonları  $\mu_f[I(i, j), T]$ ,  $\mu_b[I(i, j), T]$  açısından tanımlanan bulanıklık indeksi minimize ederek, Eşitlik 47'de gösterildiği gibi hesaplanır [10, 26].

$$T_{opt} = argmin \left\{ -\frac{1}{N^2 \log 2} \sum_{g=0}^G \left( \left[ \mu_f(g, T) \log(\mu_f(g, T)) \right] + \left[ [1 - \mu_f(g, T)] \log[1 - \mu_f(g, T)] p(g) \right] \right) \right\} \quad (47)$$

$$\mu_f[I(i, j), T] = \frac{G}{G + |I(i, j) - m_f(T)|} \quad (48)$$

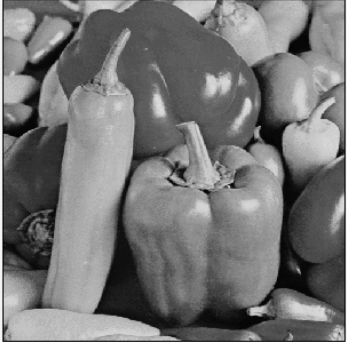

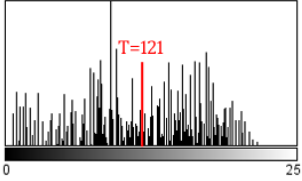
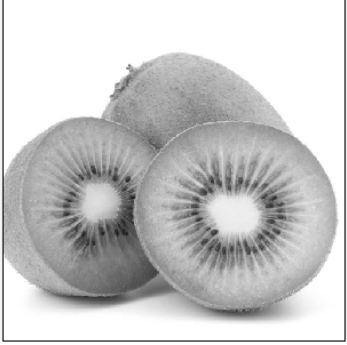
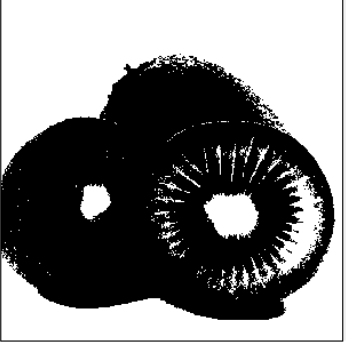
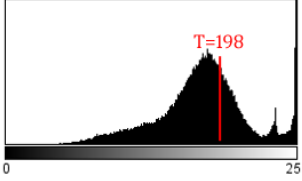


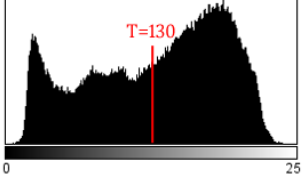
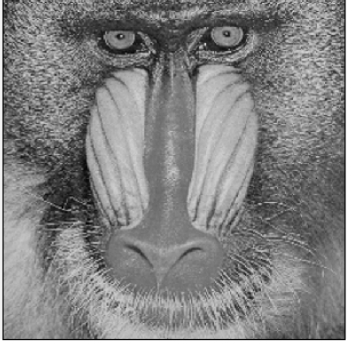

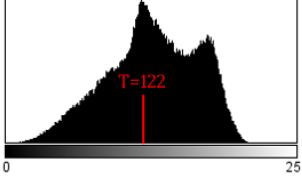
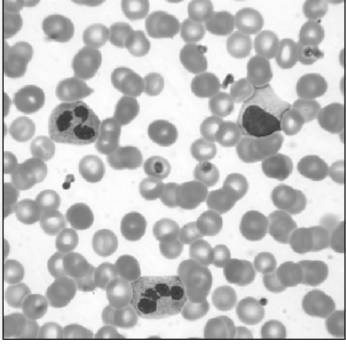
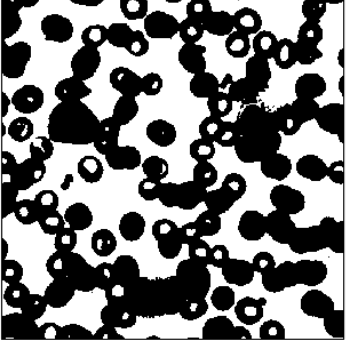
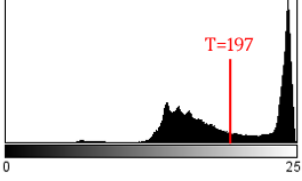
## 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda her birinde beş görüntü bulunan üç bölüm halinde veri seti (Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4) hazırlanmıştır. Bunlar görüntü işleme çalışmalarında sıklıkla kullanılan (iyi bilinen) görüntüler, biyolojik, coğrafi, kültürel ve diğer çeşitli türlerde olan görüntülerdir. Veri setleri yalnızca fiziksel nedenlerden dolayı (sayfa boyutu ve görüntü sayısı) gruplandırılmıştır. Görüntüler 512×512 piksel boyutlarında ve gri ölçeklidir (8-bit). Deneysel çalışmada kullanılan tüm görüntüler için dört farklı uzman tarafından uygun bir eşik değeri belirlenmiştir. Bunun sebebi yapılan çalışmayı kişisel önyargıdan uzak tutmaktır. Daha sonra uzman kişiler tarafından belirlenen her bir görüntü için eşik değerlerin ortalaması alınarak hesaplanan referans eşik değerleri ( $T$ ) olarak belirtilmiştir. Buna göre giriş görüntülerinin  $T$  eşik değerine göre ikili görüntüleri elde edilmiştir. Tüm görüntü seti için uzmanlar arasındaki görüş farklılığının ortalama standart sapma değeri 3.87'dir. Görüntü setlerinin verildiği her bir tabloda giriş görüntüsü,  $T$  eşik değerine göre oluşturulmuş ikili referans (ground-truth) görüntüsü (GTI) ve giriş görüntüsüne ait histogram grafiği ile buna ait bazı istatistiksel değerler verilmiştir.

ID	Giriş Görüntüsü	Referans Görüntü	Görüntü Histogramı
A1			 <p>Count: 262144    Min: 0 Mean: 181.424    Max: 255 StdDev: 77.235    Mode: 255 (18258)</p>
A2			 <p>Count: 262144    Min: 0 Mean: 118.314    Max: 255 StdDev: 61.996    Mode: 13 (6212)</p>
A3			 <p>Count: 262144    Min: 0 Mean: 136.544    Max: 254 StdDev: 57.786    Mode: 205 (72978)</p>
A4			 <p>Count: 262144    Min: 1 Mean: 124.371    Max: 240 StdDev: 65.568    Mode: 182 (3750)</p>
A5			 <p>Count: 262144    Min: 26 Mean: 175.468    Max: 246 StdDev: 56.994    Mode: 228 (14153)</p>

Şekil 2. Veri Seti (Bölüm A)



ID	Giriş Görüntüsü	Referans Görüntü	Görüntü Histogramı
B1			 <p>Count: 262144    Min: 0 Mean: 116.907    Max: 221 StdDev: 53.699    Mode: 92 (13179)</p>
B2			 <p>Count: 262144    Min: 24 Mean: 203.453    Max: 255 StdDev: 51.341    Mode: 255 (102876)</p>
B3			 <p>Count: 262144    Min: 1 Mean: 131.972    Max: 255 StdDev: 60.082    Mode: 191 (2045)</p>
B4			 <p>Count: 262144    Min: 0 Mean: 128.479    Max: 226 StdDev: 39.926    Mode: 119 (2952)</p>
B5			 <p>Count: 262144    Min: 56 Mean: 196.784    Max: 255 StdDev: 46.787    Mode: 248 (11651)</p>

Şekil 3. Veri Seti (Bölüm B)

ID	Giriş Görüntüsü	Referans Görüntü	Görüntü Histogramı
C1			
C2			
C3			
C4			
C5			

Şekil 4. Veri Seti (Bölüm C)

Deneyisel çalışmalarda, görüntü ikileştirilmesi için 14 farklı global eşikleme algoritması test edilmiştir. Bu algoritmalar; Huang (HG) [25], Intermodos (IM) [23], IsoData (IS) [14], Li (LI) [18, 19], Max entropy (ME) [16], Mean (MN) [15], Moments (MT) [24], Otsu (OT) [11], Percentile (PT) [12], Renyi entropy (RE) [17], Shanbhag (SH) [20], Simple Image Statistics (SI) [13], Zack's triangle (ZT) [22] and Yen (YN) [21] olarak tablo ve grafiklerdeki gösterimleri için kısaltılmıştır. Ayrıca deneylerde referans görüntüsü (Ground-truth) için de (GTI) kısaltması kullanılmıştır. Veri setindeki tüm görüntüler için her bir algoritma tarafından hesaplanan optimum eşik değerleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

**Tablo 1.** Veri setindeki görüntülerin algoritmalara göre optimal ve referans eşik değerleri.

#	GTI	HG	IM	IS	LI	ME	MN	MT	OT	PT	RE	SH	SI	ZT	YN
A1	144	141	128	148	128	169	181	157	149	214	173	74	133	235	188
A2	82	58	88	88	63	195	118	112	88	142	191	133	112	23	198
A3	150	165	155	148	140	95	136	114	148	111	95	38	124	201	96
A4	140	114	116	124	110	123	124	126	125	123	123	119	112	163	123
A5	155	180	137	142	127	151	175	153	143	197	155	111	135	221	160
B1	121	135	126	117	106	120	116	106	117	117	123	129	115	96	128
B2	198	237	214	205	201	131	203	181	206	199	138	36	160	252	139
B3	130	130	108	120	105	123	131	124	121	143	123	120	126	113	124
B4	122	141	148	126	120	105	128	122	128	129	105	128	123	98	105
B5	197	211	195	198	194	126	196	178	199	193	125	165	188	232	125
C1	175	173	178	182	176	218	218	181	182	234	215	126	192	216	220
C2	125	39	106	103	73	145	69	110	104	24	110	15	124	27	102
C3	194	214	204	191	188	118	192	172	192	201	118	160	168	225	118
C4	140	158	133	149	135	168	202	162	150	211	167	63	167	185	168
C5	161	231	219	205	200	119	226	184	206	254	234	7	167	250	249

Her bir algoritma için eşikleme sonucunda elde edilen ikili görüntülerin benzerliklerini hesaplamada Eşitlik 49'da verilen Jaccard Index (Jaccard benzerlik katsayısı) yönteminden faydalanılmıştır. Bu yöntemde göre işlemin sonucunda hesaplanan değer 0 ile 1 arasındadır. İşlemin sonucu 1'e ne kadar yakınsa, iki görüntü birbirine o kadar benzerdir.

$$JIX = \frac{(\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n f_G(i,j) \wedge f_T(i,j))}{(\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n f_G(i,j) \vee f_T(i,j))} \quad (49)$$

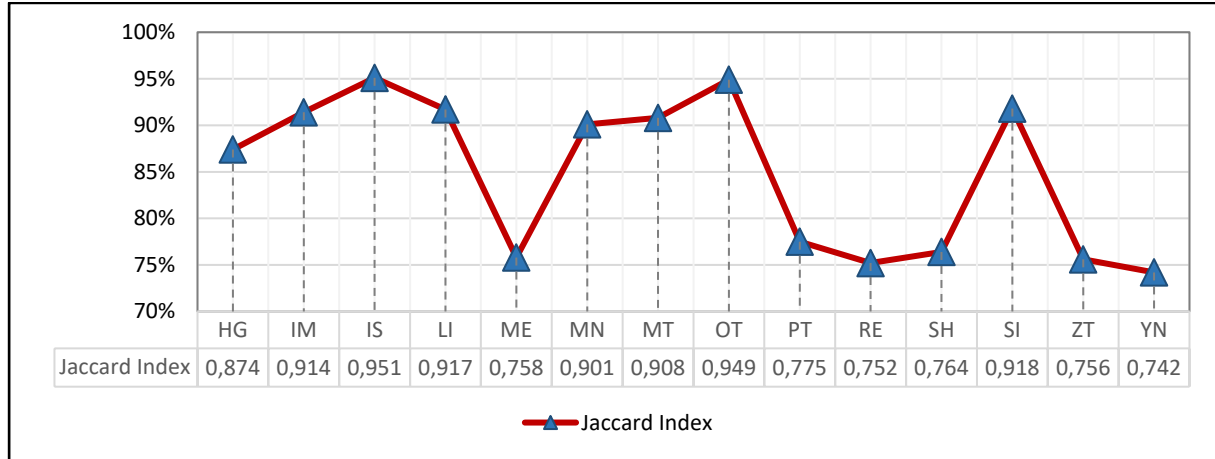
Burada  $m$  ve  $n$  görüntünün boyutlarını,  $f_G$  referans görüntüsünü ve  $f_T$  ise eşikleme sonucunda elde edilen ikili çıkış görüntüsünü temsil etmektedir. Tablo 2'de görüntü setindeki tüm görüntüler için her bir eşikleme algoritmasına göre JIX benzerlikleri verilmiştir. Algoritmaların benzerlik değerlendirmesinde, uzman görüşüne göre eşikleme (GTI) yapılan ikili referans görüntüler esas alınmıştır.

**Tablo 2.** Jaccard Index yöntemine göre algoritmalar tarafından üretilen ikili görüntülerin benzerlik yüzdeleri.

#	HG	IM	IS	LI	ME	MN	MT	OT	PT	RE	SH	SI	ZT	YN
A1	99,4	97,4	<b>99,5</b>	97,4	96,0	93,5	98,0	99,4	72,2	95,2	85,6	98,2	46,1	91,9
A2	96,9	<b>99,4</b>	<b>99,4</b>	97,6	1,8	87,6	91,4	<b>99,4</b>	68,1	2,3	75,2	91,4	91,6	1,6
A3	95,2	98,8	<b>99,2</b>	96,9	49,2	96,0	82,7	<b>99,2</b>	77,4	49,2	40,3	92,3	87,0	49,5
A4	89,8	90,6	93,6	88,2	93,2	93,6	<b>94,4</b>	94,0	93,2	93,2	91,8	89,0	88,0	93,2
A5	82,2	93,6	95,0	91,1	98,1	86,3	98,9	95,3	68,8	<b>99,6</b>	87,8	93,1	36,3	98,4
B1	88,3	97,7	96,5	87,6	<b>98,7</b>	96,1	87,6	96,5	96,5	98,5	93,3	95,3	80,0	96,0
B2	84,4	90,1	94,8	98,1	55,7	96,3	80,1	94,1	<b>100</b>	56,7	50,7	63,4	80,3	56,9
B3	99,2	86,3	92,5	84,9	94,3	<b>100</b>	95,0	93,1	89,9	94,3	92,5	96,3	88,7	95,0
B4	70,2	60,5	94,4	94,6	77,6	90,9	98,2	90,9	89,2	77,6	90,9	<b>100</b>	73,2	77,6
B5	92,8	98,1	<b>100</b>	97,4	50,1	98,7	85,1	99,4	96,7	50,0	73,7	93,3	82,5	50,0
C1	99,8	99,8	99,6	<b>100</b>	96,4	96,4	99,7	99,6	63,3	96,9	92,4	98,9	96,8	96,0
C2	45,4	82,6	80,3	58,8	82,6	56,4	85,8	81,1	20,3	85,8	19,9	<b>98,1</b>	42,3	79,5
C3	91,0	97,4	99,1	98,3	54,0	<b>99,3</b>	74,7	<b>99,3</b>	98,2	54,0	67,8	71,4	71,4	54,0
C4	98,9	99,5	99,5	<b>99,6</b>	97,9	82,7	98,5	99,4	56,8	98,0	96,0	98,0	94,9	97,9
C5	77,4	79,5	83,3	85,0	91,4	78,1	91,5	82,9	72,1	77,1	88,1	<b>98,2</b>	75,6	75,8
Mean	<b>87,4</b>	<b>91,4</b>	<b>95,1</b>	<b>91,7</b>	<b>75,8</b>	<b>90,1</b>	<b>90,8</b>	<b>94,9</b>	<b>77,5</b>	<b>75,2</b>	<b>76,4</b>	<b>91,8</b>	<b>75,6</b>	<b>74,2</b>

Tablonun son satırında ise veri setindeki tüm görüntülerin ortalama benzerlik oranı hesaplanmıştır. Buna ek olarak, tablodaki her bir görüntü için en iyi benzerlik oranına sahip metotlar kırmızı ile renklendirilmiştir. Ortalama benzerlik oranları mukayese edildiğinde, en yüksek skor yaklaşık %95 ile IsoData ve Otsu algoritmalarına ait olduğu görülmektedir. Eşikleme algoritmalarının yedi tanesi referans görüntüler ile %90'ın üzerinde bir benzerliğe

sahiptir. Yen'in yöntemi ise %74,2'lik skorla benzerlikte en son sırada yer almaktadır. Şekil 5'te eşikleme algoritmalarının GTI'ya göre ortalama benzerlik grafiği gösterilmektedir.



Şekil 5. Jaccard Index yöntemine göre algoritmaların GTI ile benzerlikleri.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada gri-ölçekli görüntülerden oluşan bir veri seti için optimal eşik değerlerinin belirlenmesinde global eşikleme algoritmaları kullanılmıştır. Bu algoritmalar, herhangi bir parametreye ihtiyaç duymaksızın otonom olarak işlemleri gerçekleştirebilmektedir. Deneysel çalışmalarda kullanılan görüntü örneklerinin referans eşik değerleri hesaplanırken, kişisel önyargılara takılmamak için dört farklı uzman tarafından eşik değeri belirlenmesi istenmiştir. Bunun sonucunda da her bir örnek görüntü için uzmanların belirlediği eşik değerlerinin ortalaması alınarak, ikili referans görüntüleri oluşturulmuştur. Veri setindeki tüm görüntüler için uzman görüş farklılığının ortalama standart sapma değeri 3,87 olduğu ve görüntüler arasında gözle ayırt edilebilir bir fark olmadığı görülmüştür. Test sonuçlarında Jaccard Index'e göre IsoData ve Otsu algoritmalarının ortalamada en iyi benzerlik oranına ve en iyi ikili sınıflandırma başarısına sahip olduğu görülmüştür. Elbette edilen bulgular, diğer algoritmaların daha düşük benzerlik oranına sahip olduğu için kötü olduğu anlamına gelmemelidir. Her biri spesifik çözümler için tercih edilebilecek potansiyele sahip yöntemlerdir.

#### KAYNAKÇA

- [1] Kotte, S., Rajesh Kumar, P., & Injeti, S. K., "An efficient approach for optimal multilevel thresholding selection for gray scale images based on improved differential search algorithm", Ain Shams Engineering Journal, vol. 9, no. 4, pp. 1043-1067, 2018.
- [2] Wang, Z., Wang, E., & Zhu, Y., "Image segmentation evaluation: a survey of methods", Artificial Intelligence Review., 2020.
- [3] Ramola, A., Shakya, A.K., & Pham, D.V., "Study of statistical methods for texture analysis and their modern evolutions", Engineering Reports, vol. 2, no. 4, pp. 1-24, 2020.
- [4] Aqeel, E. F., "The Use of Threshold Technique in image segmentation", Journal of the College of Basic Education, vol. 21, no. 89, pp. 1-12, 2015.
- [5] Zaitoun, N.M., & Aqel, M.J., "Survey on Image Segmentation Techniques", Procedia Computer Science, vol. 65, pp. 797-806, 2015.
- [6] Singh, T.R., Roy, S., Singh, O.I., Sinam, T., & Singh, Kh.M., "A New Local Adaptive Thresholding Technique in Binarization", International Journal of Computer Science Issues, vol. 8, no. 2, pp.271-277, 2011.
- [7] Ceylan, R., & Koyuncu, H., "ScPSO-Based Multithresholding Modalities for Suspicious Region Detection on Mammograms", Soft Computing Based Medical Image Analysis, Academic Press, pp. 109-135, 2018.
- [8] Rosin, P., "Thresholding for change detection". Sixth International Conference on Computer Vision (IEEE Cat. No.98CH36271), pp. 274-279, 1998.
- [9] Ekielski, A., "An algorithm for determination of threshold value in extruded products by the method of maximum increments: modification of Otsu method", Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW, Agriculture no. 62, pp. 71-79, (2013).
- [10] Sezgin, M. & Sankur, B., "Survey over Image Thresholding Techniques and Quantitative Performance Evaluation", Journal of Electronic Imaging, vol. 13, no. 1, pp. 146-165, 2004.



- [11] Otsu, N., "A threshold selection method from gray-level histograms", *IEEE Trans. Sys., Man., Cyber*, vol. 9, pp. 62-66, 1979.
- [12] Doyle, W., "Operation useful for similarity-invariant pattern recognition", *Journal of the Association for Computing Machinery* vol. 9, pp. 259-267, 1962.
- [13] Kittler, J., Illingworth, J. and Foglein, J., "Threshold selection based in a simple image statistic", *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, vol. 30, pp. 125-147, 1985.
- [14] Ridler, T. W. & Calvard, S., "Picture thresholding using an iterative selection method", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 8, pp. 630-632, 1978.
- [15] Glasbey, C. A., "An analysis of histogram-based thresholding algorithms", *CVGIP: Graphical Models and Image Processing*, vol. 55, pp. 532-537, 1993.
- [16] Kapur, J. N., Sahoo, P. K. & Wong, A. C. K., "A New Method for Gray-Level Picture Thresholding Using the Entropy of the Histogram", *Graphical Models and Image Processing*, vol. 29, no. 3, pp. 273-285, 1985.
- [17] Sahoo, P., Wilkins, C. & Yeager, J., "Threshold selection using Renyi's entropy", *Pattern Recognition*, vol. 30, no. 1, pp. 71-84, 1997.
- [18] Li, C. H. & Lee, C. K., "Minimum Cross Entropy Thresholding", *Pattern Recognition*, vol. 26, no. 4, pp. 617-625, 1993.
- [19] Li, C. H. & Tam, P. K. S., "An Iterative Algorithm for Minimum Cross Entropy Thresholding", *Pattern Recognition Letters*, vol. 18, no.8, pp. 771-776, 1998.
- [20] Shanbhag, Abhijit G., "Utilization of information measure as a means of image thresholding", *Graph. Models Image Process. (Academic Press, Inc.)*, vol. 56, no. 5, pp. 414-419, 1994.
- [21] Yen J. C., Chang F. J., Chang S., "A New Criterion for Automatic Multilevel Thresholding", *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 4, no. 3, pp. 370-378, 1995.
- [22] Zack, G. W., Rogers, W. E., Latt, S. A., "Automatic measurement of sister chromatid exchange frequency", *J. Histochem. Cytochem*, vol. 25, no. 7, pp. 741-53, 1977.
- [23] Prewitt, J. M. S. & Mendelsohn, M. L., "The analysis of cell images", *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 128, pp. 1035-1053, 1966.
- [24] Tsai, W., "Moment-preserving thresholding: a new approach", *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, vol. 29, pp. 377-393, 1985.
- [25] Huang, L-K. & Wang, M-J. J., "Image thresholding by minimizing the measure of fuzziness", *Pattern Recognition*, vol. 28, no. 1, pp. 41-51, 1995.
- [26] Stelios, K., Michail, K., & Vassilios, C., "An Empirical Method for Threshold Selection", *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, vol. 5, no. 2, pp. 101-114, 2012.





## Uzun Kısa Dönem Bellek Ağlarını Kullanarak Erken Aşama Diyabet Tahmini Early-Stage Diabetes Prediction Using Long Short-Term Memory Networks

İlyas ÖZER 

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bandırma/Balıkesir, Türkiye

iozer@bandirma.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

### ARTICLE INFO

#### Article history

Received :4 September 2020

Accepted :23 September 2020

#### Keywords:

Diabetes, Long Short-Term Memory Networks, Machine Learning

### ABSTRACT

Diabetes is one of the biggest health problems of today. If diabetes is detected late, it can cause serious complications such as kidney disorders, cardiac disorders, visual disturbances and amputation. In addition, this situation puts a considerable economic burden on the health system. On the other hand, diabetes can usually occur 7-12 years before it is clinically detected. In this study, a long short-term memory (LSTM) based approach is proposed for early detection of diabetes. The proposed approach was tested with 10-fold cross validation on a dataset of a total of 16 features, including age, sex, and 14 different symptom data from 520 patients. LSTM networks have been developed for sequence data that have time dependencies between each other. However, although the data used here has no temporal dependence, it is seen that the sequential processing of the fixed vectors of the data set improves the performance. As a result, compared to the prediction studies performed on the same data set, an improvement of 1.5% was achieved in the F1 score used to measure the accuracy of the test. As a result of 10-fold cross validation, an average F1 score of 98.9% was obtained.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

### MAKALE BİLGİSİ

#### Makale Tarihleri

Gönderim : 4 Eylül 2020

Kabul : 23 Eylül 2020

#### Anahtar Kelimeler:

Diyabet, Uzun Kısa Dönem Bellek Ağları, Makine Öğrenmesi

### ÖZET

Diyabet, günümüzün en büyük sağlık problemlerinden bir tanesidir. Diyabet hastalığının geç tespit edilmesi durumunda kişilerde böbrek rahatsızlıkları, kardiyak rahatsızlıklar, görme bozuklukları ve amputasyon gibi çok ciddi komplikasyonlara neden olabilmektedir. Ayrıca bu durum sağlık sistemi üzerine önemli bir ekonomik yük getirmektedir. Öte yandan diyabet, genellikle klinik olarak tespitinden 7-12 yıl öncesine kadar ortaya çıkabilmektedir. Bu çalışmada diyabetin erken dönemde tespiti için uzun kısa dönem bellek (LSTM - Long Short-Term Memory) ağı tabanlı bir yaklaşım önerilmektedir. Önerilen yaklaşım, 520 hastadan elde edilmiş yaş, cinsiyet ve 14 farklı semptom verisi olmak üzere toplam 16 öznitelikten oluşan bir veri kümesi üzerinde 10-kat çapraz doğrulama ile test edilmiştir. LSTM ağları birbirleri arasında zamansal bağımlılığı olan dizi şeklindeki veriler için geliştirilmişlerdir. Bununla birlikte burada kullanılan verilerin zamansal bağımlılığı olmamasına rağmen, veri kümesinin sabit vektörlerinin sıralı bir şekilde işlenmesinin performansı artırdığı görülmektedir. Sonuç olarak aynı veri kümesi üzerinde gerçekleştirilen tahmin çalışmalarına kıyasla, testin doğruluğunu ölçebilmek için kullanılan F1 skorunda %1,5'lik bir iyileşme sağlamıştır. 10-kat çapraz doğrulama sonucunda ortalama olarak %98,9'luk bir F1 skoru elde edilmiştir.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

## 1. GİRİŞ

Diabetes Mellitus çağımızın en hızlı büyüyen kronik rahatsızlıklarından biridir. Coğrafi irksal veya etnik bağlamdan bağımsız olarak hızla gelişen bu hastalık genellikle Tip 1 ve Tip 2 olmak üzere 2 gruba ayrılmaktadır. Tip 1 olarak adlandırılan diyabet türü bağımsızlık sisteminin yanlışlıkla pankreas beta hücrelerine saldırmasıyla ortaya çıkar [1]. Bu durumda vücuda ya çok az miktarda insülin salgı veya hiç salgı olmaz. Tip 2 olarak adlandırılan diyabet türü ise, vücutun uygun miktarda insülin üretmemesine veya vücutun insüline karşı dirençli hale gelmesine bağlı olarak ortaya çıkar. Diğer bir grup araştırmacı diyabeti üç grup altında incelemektedir. Burada üçüncü tür gestasyonel diyabet olarak adlandırılır. Gebelik diyabeti olarak ta bilinen bu diyabet türü sadece gebelik dönemindeki hormonal değişiklikler sonucu ortaya çıkar [1]. Poliüri, polidipsi, polifaji, ani kilo kaybı (genellikle Tip 1), halsizlik, obezite (genellikle Tip 2), gecikmiş iyileşme, görsel bulanıklık, kaşıntı, sinirlilik, genital pamukçuk, kısmi parezi, kas sertliği ve alopesi diyabetin yaygın olarak görülen semptomlarıdır [1-3].

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verilerine göre dünya genelinde diyabetli hasta sayısı 1980 yılında 108 milyon iken, zaman içerisinde çok hızlı bir artış kaydederek 2014 yılında 422 milyona ulaşmıştır [4]. Esasında çalışmalar diyabetin klinik tanıdan 7 ila 12 yıl öncesine kadar var olabileceğini ortaya koymaktadır [5,6]. Hastalığın ortaya çıkmasıyla klinik tanının konması arasındaki bu zaman dilimi içinde, insanlar yavaş yavaş felç, kalp krizi, körlüğe neden olan göz hasarı, ayak ülseri, etkilenen uzvun amputasyonu, böbrek hasarı ve diğer çoklu organ hasarları gibi ölümcül komplikasyonlarla karşılaşabilirler [1,6]. Hastalığın tanısının konulması ve tedaviye başlanması sürecindeki gecikmeler komplikasyonun şiddetinin artmasına neden olmaktadır [1,6]. Ayrıca buna bağlı olarak tedavinin sağlık sistemi üzerine getirdiği ekonomik yükün boyutu da her geçen gün artmaktadır. Bu doğrultuda diyabetin erken dönemde tespiti son derece önemlidir.

Semptom, vücut kitle indeksi, yaş vb. verilerden diyabetin erken dönemde teşhisi için hekimlere yardımcı olabilecek sistemlerin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bu noktada makine öğrenmesi algoritmaları iyi bir çözüm olabilir. Makine öğrenmesi, bir grup veri üzerinden otomatik olarak öğrenebilen ve açık programlama [7-11] olmadan kalıpları algılayabilen yapay zeka uygulamalarıdır. Makine öğrenimi, herhangi bir görevi gerçekleştirmek için geleneksel algoritmaları kullanmanın zor olduğu veya mümkün olmadığı birçok durumda başarıyla kullanılmıştır. Makine öğreniminin en önemli avantajlarından biri, özellikler arasındaki karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri kullanarak tutarlı ve yüksek performanslı tahminler yapılabilmesidir [12]. Buna göre, doğrudan insanlar tarafından görülemeyen karmaşık ilişkileri belirleyebilirler.

Joshi ve Chawan [13] tarafından yapılan çalışmada glikoz, yaş, kan basıncı ve vücut kitle indeksi gibi 7 farklı öznelik kullanılarak diyabet tahmini gerçekleştirilmiştir. Çalışmada [13], makine öğrenmesi algoritması olarak destek vektör makinesi (DVM), lojistik regresyon ve yapay sinir ağlarını (YSA) kullanmışlardır. En iyi sınıflandırma performansını DVM ile elde etmişlerdir. 25 ile 78 yaş arasındaki 250 hastaya ait veriler kullanılarak Sapon ve diğerleri [14] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Bayesian Regülasyon algoritması ile %88,8'lik bir sınıflandırma başarımları elde etmişlerdir. Tip 2 diyabet tahmini için Ahmed [15] tarafından gerçekleştirilen çalışmada da hastanın cinsiyeti, yaşı, sigara içime durumu, hipertansiyon geçmişi, böbrek problemi, kardiyak problemi ve göz problemi olmak üzere 9 farklı öznelik kullanılmıştır. J48 algoritması ile %70,8'lik bir başarımları değeri elde etmişlerdir.

Bu çalışmada, hastaların diyabetli olma durumunu tahmin etmek için makine öğrenmesi tabanlı bir yaklaşım önerilmektedir. Böylelikle karar verme sürecinde hekimlerin elindeki veri miktarının artırılması ve kaynakların daha etkin kullanılması amaçlanmaktadır. Ayrıca diyabetin erken dönemde teşhisine yardımcı olarak hastaların maruz kalabileceği komplikasyonların azaltılması hedeflenmektedir. Bunlara ilave olarak, literatürdeki çalışmalarda diyabet tahmini yaygın olarak DVM, YSA ve karar ağaçları gibi geleneksel makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmaktadır. Bu çalışmada derin öğrenme tabanlı bir algoritma olan uzun kısa dönem bellek ağları (LSTM) ile tahmin işlemi gerçekleştirilmektedir. Elde edilen sonuçlar potansiyel olarak umut vericidir.

## 2. MATERYAL VE METOTLAR

### 2.1. Veri Kümesi Tanımı

Kullanılan veri kümesi, 520 kişiye ait diyabetle ilgili semptomlarının raporlarını içermektedir. Bu raporlar içerisinde diyabetin belirtileri olabilecek semptomlara sahip insanlar hakkındaki veriler bulunmaktadır. Bu veri kümesi, yakın zamanda diyabetik olan veya hala diyabetik olmayan ancak birkaç veya daha fazla semptomu olan kişilerle doğrudan yapılan bir anketten oluşturulmuştur [1]. Veriler, Bangladeş Sylhet Sylhet Diyabet Hastanesinden doğrudan anket yöntemi kullanılarak hastalardan toplanmıştır [1]. Bu veri kümesi, UCI Makine Öğrenmesi Deposu [16] üzerinde halka açık şekilde yayınlanmıştır.

**Tablo 1.** Özellik tanımlamaları

Özellik	Değerler
Yaş	1. 20-35, 2. 36-45, 3. 46-55, 4. 56-65, 5. 65 üstü
Cinsiyet	1. Erkek, 2. Kadın
Poliüri	1. Evet, 2. Hayır
Polidipsi	1. Evet, 2. Hayır
Ani kilo kaybı	1. Evet, 2. Hayır
Halsizlik	1. Evet, 2. Hayır
Polifaji	1. Evet, 2. Hayır
Genital Pamukçuk	1. Evet, 2. Hayır
Görsel Bulanıklık	1. Evet, 2. Hayır
Kaşıntı	1. Evet, 2. Hayır
Sinirlilik	1. Evet, 2. Hayır
Geç İyileşme	1. Evet, 2. Hayır
Kısmi Parezi	1. Evet, 2. Hayır
Kas Sertliği	1. Evet, 2. Hayır
Alopesi	1. Evet, 2. Hayır
Obezite	1. Evet, 2. Hayır
Sınıf	1. Pozitif, 2. Negatif

Veri kümesi Tablo 1’de detayları da belirtilen 16 özellik ve 1 bir sınıf bilgisinden oluşmaktadır. Sınıf bilgisinde pozitif durum hastada diyabet bulunduğu anlamına gelirken negatif durum diyabet olmadığı anlamına gelmektedir. Veri kümesinde 200 negatif sınıf 320 pozitif sınıf bulunmaktadır. Yaş özelliği 5 farklı durum altında kategorize edilmiştir. Diğer özelliklerin tamamı 2 ayrı durumdan oluşmaktadır. Durum bilgilerinde “Evet” semptomun bulunduğu anlamına gelirken “Hayır” değeri de semptomun bulunmadığı anlamına gelmektedir.

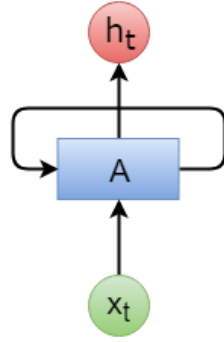
## 2.2. Uzun Kısa Dönem Bellek Ağları

Yapay sinir ağları (YSA) makine öğrenimi uygulamalarında çok geniş bir kullanım alanına sahiptir [17-21]. Farklı ihtiyaçlar doğrultusunda zaman içerisinde birçok YSA modeli geliştirilmiştir. Bu doğrultuda bazı YSA'lar farklı veri türlerini işlemek için uzmanlaşmıştır. Evrişimli sinir ağları, görüntü gibi matris tipi veriler için yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Öte yandan, dizi türündeki verileri işlemek için tekrarlayan sinir ağları (Recurrent Neural Network-RNN) geliştirilmiştir. Geleneksel ileri beslemeli YSA'lar, girdi olarak sadece maruz kaldıkları mevcut örnekleri dikkate alır. RNN'ler ise bunlardan farklı olarak mevcut girdilerin yanı sıra zaman içerisinde algıladıkları örnekleri de girdi olarak kullanırlar.

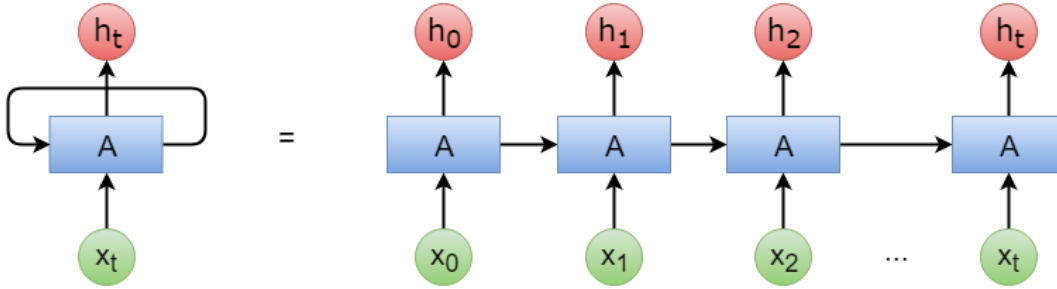
$x_i \in R^d$  olmak üzere  $[x_1, x_2, \dots, x_k]$  şeklinde bir dizi verilmiş olsun. Burada  $k$  değeri dizi uzunluğuna bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. RNN her adımında,  $[h_1, h_2, \dots, h_k]$  şeklinde bir gizli durum dizisi meydana getirir. Gizli durumun  $t$  zamanındaki aktivasyonu, mevcut giriş  $x_t$  ve önceki gizli durum  $h_{t-1}$ 'in bir fonksiyonu olarak hesaplanır. Bu süreci şu şekilde ifade etmek mümkündür:

$$h_t = f(x_t, h_{t-1}) \quad (1)$$

Geleneksel ileri beslemeli YSA'nın aksine, RNN'lerin bir tekrar katmanı vardır. Bu katman aracılığıyla, ileri beslemeli ağ tarafından üretilen durum bilgisi depolanır ve giriş bilgisi ile ağa yeniden uygulanır. Yani, RNN'lerin şimdiye kadar hesaplananları tutan bir hafızası vardır. Şekil 1 ve Şekil 2, sırasıyla örnek bir RNN ağını ve bu ağın açık gösterimini göstermektedir.

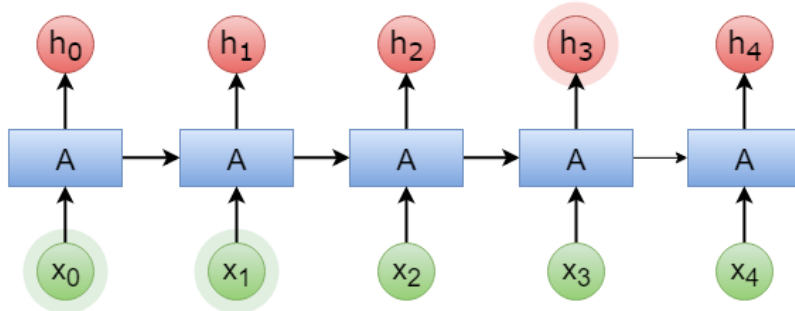


Şekil 1. Tekrarlayan Sinir Ağının kapalı gösterimi [21]

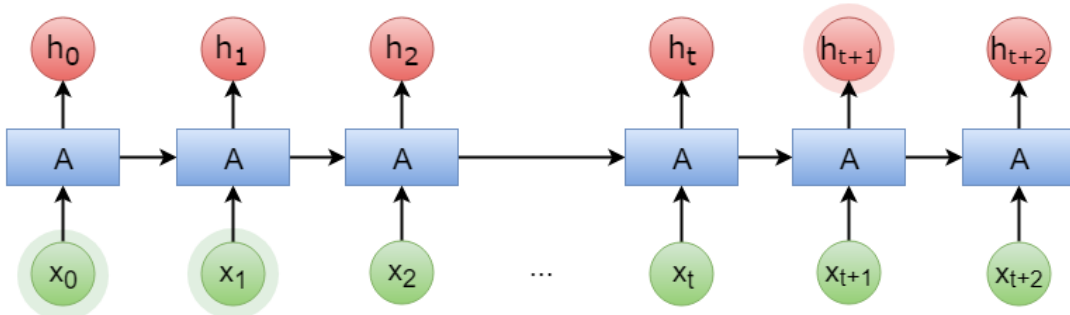


Şekil 2. Tekrarlayan Sinir Ağının açık gösterimi [21]

Genellikle LSTM (Long Short-Term Memory Network) olarak adlandırılan uzun kısa dönem bellek ağları, uzun vadeli bağımlılıkları öğrenebilen özel bir RNN türüdür. İlk olarak 90'ların ortalarında [23] önerilen bu model günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. RNN'lerde diziler işlenirken, YSA'nın durum bilgilerinin saklanması ve aktarılması amaçlanmaktadır. Ancak, durum bilgilerinin sürekli işlenerek aktarılması sonucunda uzun vadeli bağımlılıkları bozmadan aktarılması pek olası değildir. Diğer bir deyişle, kısa vadeli bağımlılıklar çok başarılı bir şekilde aktarılırken, uzun vadeli bağımlılıkların aktarılmasında sorunlar yaşanmaktadır. LSTM'ler, uzun vadeli bağımlılık sorunlarını ele almak için tasarlanmıştır. Kısa vadeli bağımlılıklar Şekil 3'te görülürken, uzun vadeli bağımlılıklar Şekil 4'te görülmektedir.

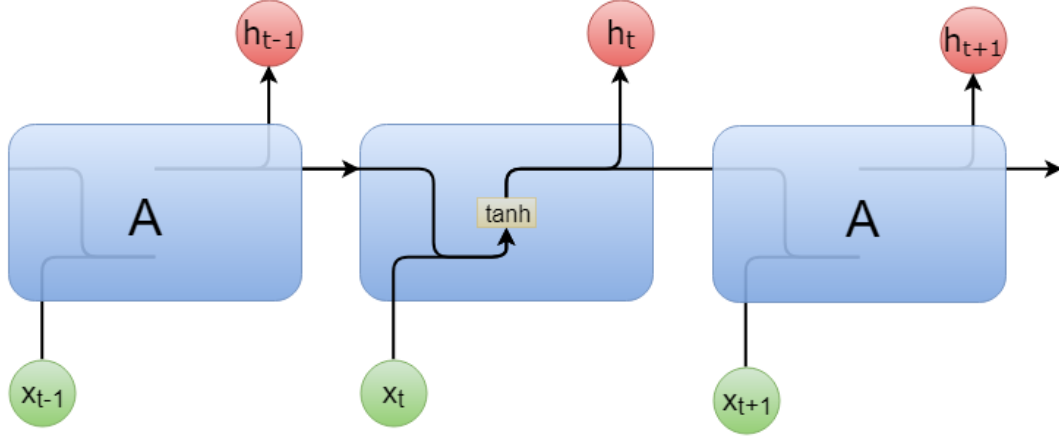


Şekil 3. Kısa vadeli bağımlılıklar [21]

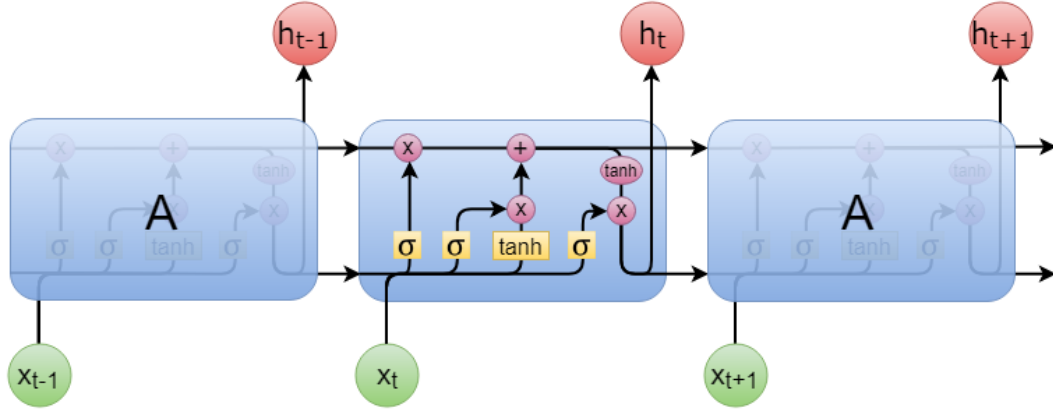


Şekil 4. Uzun vadeli bağımlılıklar [21]

Tüm RNN ağları bir zincir gibi tekrar eden modüllerden oluşur. Standart RNN'lerde, bu modüllerin her biri genellikle bir tanh fonksiyonundan veya benzer bir fonksiyondan oluşur. Şekil 5, standart bir RNN'nin modül yapısını göstermektedir. LSTM'leri standart RNN'lerden ayıran özellik, bu modülün iç yapısının Şekil 6'da görüldüğü gibi birbirleriyle etkileşen 4 ayrı yapıdan oluşmasıdır.



Şekil 5. Standart RNN yapısı [21]



Şekil 6. LSTM yapısı [21]

LSTM modülü 3 ayrı kapıdan oluşur. Bunlar sırasıyla unutmaya kapsısı, giriş kapsısı ve çıkış kapsısıdır. Unutmaya kapıları, bilgilerin ne kadarının unutulacağına ve ne kadarının bir sonraki aşamaya aktarılacağına karar verir. Bu işlem için, 0 ile 1 arasında bir değer üreten sigmoid fonksiyonu kullanır. 0, bilginin asla iletilmeyeceği anlamına gelirken, 1, hepsinin iletilmesi gerektiği anlamına gelir. Bir sonraki adım, hangi bilgilerin depolanması gerektiğine karar vermektir. Bu işlem giriş kapısındaki sigmoid fonksiyonu ile gerçekleştirilir. Tanh fonksiyonu daha sonra  $\tilde{C}_t$  olarak ifade edilen aday değerlerin bir vektörünü oluşturur. Daha sonra bu iki süreç birleştirilir. Bu işlemden sonra bellek hücresinin yeni durum bilgisi hesaplanır. Son olarak, sistemin çıktısı hesaplanır. Bu işlemler matematiksel olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (2)$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_C \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_C) \quad (3)$$

$$C_t = f_t * C_{t-1} + i_t * \tilde{C}_t \quad (4)$$

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (5)$$

$$h_t = o_t * \tanh(C_t) \quad (6)$$



### 2.3. Performans Değerlendirme Ölçütleri

Performans değerlendirme ölçütleri, veri madenciliği modellerinden elde edilen sonuçları kıyaslamak için kullanılan önemli parametrelerdir. Veri madenciliği alanında, elde edilen sonuçları literatürdeki ilgili çalışmalarla karşılaştırmak için kullanılan geçerli birçok ölçüt vardır. Bu amaçla, bu çalışmada k-kat çapraz doğrulama, başarımlar, hassasiyet, kesinlik ve F1 skoru gibi çeşitli metrikler kullanılmıştır.

Veri madenciliği çalışmalarında, uygulanan modellerin başarısını değerlendirmek için veri kümesi eğitim ve test kümelerine ayrılmaktadır. Bu ayırma işlemi için kullanılan farklı yöntemler bulunmaktadır. K-kat çapraz doğrulama, sınıflandırma modellerinin eğitimi ve değerlendirilmesi için veri kümesini ayırmak için kullanılan en yaygın yaklaşımlardan bir tanesidir. K-kat çapraz doğrulama yönteminde, önce bir k değeri belirlenir. Veri kümesi belirtilen k değerine bağlı olarak parçalara bölündükten sonra, k-kat çapraz doğrulama sistemi kullanılmaya başlanır. Verinin bir kısmı test için seçilir ve geri kalan kısmı da eğitim için kullanılır. Bu işlem belirlenen k değeri kadar tekrarlanır. Her adımda, daha önce test için kullanılmayan veri kümesinin 1 / k kısmı test için kullanılırken geri kalanı eğitim için kullanılır. Veri kümesindeki her örnek hem eğitim için hem de test için kullanılmış olur. Bu nedenle k farklı test sonucu elde edilmiştir. Sonuçların ortalaması modelin test doğruluğunu verir. Bu çalışmada, ağların performansını değerlendirmek için 10 kat çapraz doğrulama kullanılmıştır. Önerilen algoritmaların değerlendirilmesinde, k kat çapraz doğrulamayla birlikte, başarımlar, kesinlik, hassasiyet ve F1 skoru ölçütleri kullanılmıştır. Kullanılan performans değerlendirme ölçütleri matematiksel olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$\text{Başarımlar} = \frac{DP + DN}{DP + DN + YP + YN} \quad (7)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP + YP} \quad (8)$$

$$\text{Hassasiyet} = \frac{DP}{DP + YN} \quad (9)$$

$$F1 = 2 \cdot \frac{\text{Kesinlik} \cdot \text{Hassasiyet}}{\text{Kesinlik} + \text{Hassasiyet}} \quad (10)$$

Burada;

Doğru Pozitif (DP): Diyabetik hastalar için diyabetik karar sayısı,

Doğru Negatif (DN): Diyabetik olmayanlar için diyabetik olmayan kararların sayısı,

Yanlış Pozitif (YP): Diyabetik olmayanlar için diyabetik kararların sayısı,

Yanlış Negatif (YN): Diyabetik hastalar için diyabetik olmayan kararların sayısını ifade eder.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, 16 farklı öznelik kullanılarak 520 farklı bireyin diyabetli olup olmama durumu tahmin edilmiştir. Sınıflandırma işlemi için iki ayrı gizli katmandan oluşan bir LSTM ağı kullanılmıştır. Her bir katman 100 üniteden meydana gelmektedir. Sınıflandırma doğruluğunun kıyaslanması için 10-kat çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Bu işlemde öncelikli olarak veri 10 eşit parçaya bölünmüş ve her defasında parçalardan biri ile test işlemi gerçekleştirilirken geri kalan kısımlar eğitim için kullanılmıştır. Tablo 2’de her bir parçaya ait hassasiyet, kesinlik, F1 ve başarımlar değerleri verilmiştir. Bunun yanı sıra yine Tablo 2’de 10-kat çapraz doğrulama işleminin ortalama sonuçları görülmektedir.

Tablo 2’deki sonuçlar değerlendirildiğinde, her bir parça arasındaki veri dağılımının birbirini dışlayan nitelikte rasgele olarak gerçekleştiği ve bunun sonucunda da her bir parça arasındaki doğruluk değerlerinin birbirine benzer olduğu görülmektedir. Hassasiyet, kesinlik, F1 ve başarımlar değerleri için ortalama skorlarda sırasıyla %99,37, %98,43, %98,9 ve %98,65 değerleri elde edilmiştir.

**Tablo 2.** 10-kat çapraz doğrulama sonuçları

	Hassasiyet (%)	Kesinlik (%)	F1 (%)	Başarım (%)
<b>Kat 1</b>	95,83	95,83	95,83	96,15
<b>Kat 2</b>	96,77	100,0	98,36	98,08
<b>Kat 3</b>	100,0	96,43	98,18	98,08
<b>Kat 4</b>	100,0	100,0	100,0	100,0
<b>Kat 5</b>	100,0	97,06	98,51	98,08
<b>Kat 6</b>	100,0	100,0	100,0	100,0
<b>Kat 7</b>	100,0	100,0	100,0	100,0
<b>Kat 8</b>	100,0	100,0	100,0	100,0
<b>Kat 9</b>	100,0	96,67	98,31	98,08
<b>Kat 10</b>	100,0	97,06	98,51	98,08
<b>Ortalama</b>	99,37	98,43	98,9	98,65

Tablo 3'te aynı veri seti üzerinde farklı algoritmalar ile gerçekleştirilen 10-kat çapraz doğrulama sonuçları görülmektedir. Buna göre diğer çalışmada [1] en iyi performansı %97,4'lük F1 değeri ile "Random Forest" algoritması gösterirken en kötü sonucu ise %87,5'lik F1 değeri ile Naive Bayes algoritması göstermiştir. Bu çalışmada kullanılan LSTM modeli diğer çalışmadaki en iyi F1 skoruna kıyasla %1,5'lik bir iyileşme sağlamıştır. LSTM ağları yaygın olarak birbirleri arasında zamansal bağımlılığı olan dizi şeklindeki veriler için kullanılırlar. Burada kullanılan diyabet verilerin zamansal bağımlılığı olmamasına rağmen, veri kümesinin sabit vektörlerinin sıralı bir şekilde işlenmesinin performansı artırdığı görülmektedir. Dolayısıyla, girdileriniz ve çıktılarınız sabit vektörler olsa bile, bu güçlü biçimciliği onları sıralı bir şekilde işlemek için kullanmak hala mümkündür ve bunun performansı artırdığı görülmektedir.

**Tablo 3.** Diyabet veri kümesi üzerinde elde edilen sonuçlar

Çalışmalar	Yöntemler	Hassasiyet (%)	Kesinlik (%)	F1 (%)
[1]	Naive Bayes	87,4	87,9	87,5
	Lojistik regresyon	92,4	92,4	92,4
	J48	95,6	95,7	95,6
	Random Forest	97,4	97,4	97,4
<b>Bu çalışma</b>	<b>LSTM</b>	<b>99,37</b>	<b>98,43</b>	<b>98,9</b>

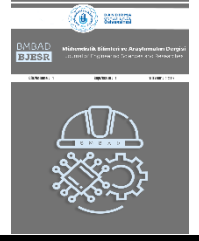
## Teşekkür

M M Faniqul Islam, Rahatara Ferdousi, Sadikur Rahman ve Humayra Yasmin Bushra'ya veri kümelerini halka açık şekilde paylaşarak verdikleri bilimsel katkıdan dolayı teşekkür ederim.

## KAYNAKÇA

- [1] Islam, M. F., Ferdousi, R., Rahman, S., & Bushra, H. Y. Likelihood prediction of diabetes at early stage using data mining techniques. In Computer Vision and Machine Intelligence in Medical Image Analysis pp. 113-125, Springer, Singapore, 2020.
- [2] The 6 Different Types of Diabetes, The diabetic journey. <https://thediabeticjourney.com/the-6-different-types-of-diabetes>. 2018.
- [3] Statistics About Diabetes: American Diabetes Association, <https://www.diabetes.org>, 2018.
- [4] Diabetes, World Health Organization (WHO):<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>, 2018.
- [5] Failure to detect type 2 diabetes early costing \$700 million per year, Diabetes Australia, <https://www.diabetesaustralia.com.au>, 2018.
- [6] Harris, M. I., Klein, R., Welborn, T. A., & Knudman, M. W. Onset of NIDDM occurs at least 4-7 yr before clinical diagnosis. Diabetes care, vol.15, no. 7, pp. 815-819, 1998.
- [7] C. M. Bishop, Pattern Recognition and Machine Learning Springer-Verlag New York. Inc. Secaucus, NJ, USA. 2006.
- [8] A. L. Samuel, "Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers," IBM J. Res. Dev., vol. 3, no. 3, pp. 210-229, Jul. 1959.

- [9] W. S. Lima, E. Souto, K. El-Khatib, R. Jalali, and J. Gama, "Human activity recognition using inertial sensors in a smartphone: An overview," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 14, 2019.
- [10] G. Zhong, X. Ling, and L. N. Wang, "From shallow feature learning to deep learning: Benefits from the width and depth of deep architectures," *Wiley Interdiscip. Rev. Data Min. Knowl. Discov.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–14, 2019.
- [11] S. Chauhan, L. Vig, M. De Filippo De Grazia, M. Corbetta, S. Ahmad, and M. Zorzi, "A Comparison of Shallow and Deep Learning Methods for Predicting Cognitive Performance of Stroke Patients From MRI Lesion Images," *Front. Neuroinform.*, vol. 13, pp. 1–12, 2019.
- [12] T. Hastie, R. Tibshirani, and J. Friedman, *The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction*. 2009.
- [13] Joshi, T. N., & Chawan, P. P. M. Diabetes Prediction Using Machine Learning Techniques. *Ijera*, vol. 8, no.1, pp. 9-13, 2018.
- [14] Sapon, M. A., Ismail, K., & Zainudin, S. Prediction of diabetes by using artificial neural network. In *Proceedings of the 2011 International Conference on Circuits, System and Simulation, Singapore Vol. 2829,2011*.
- [15] Ahmed, T. M. Developing a predicted model for diabetes type 2 treatment plans by using data mining. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 90(2), 181, 2016.
- [16] Dua, D. and Graff, C. UCI Machine Learning Repository [http://archive.ics.uci.edu/ml]. Irvine, CA: University of California, School of Information and Computer Science, 2019.
- [17] Ozer, I., Ozer, Z., & Findik, O. Noise robust sound event classification with convolutional neural network. *Neurocomputing*, vol. 272, pp. 505-512, 2018
- [18] Ozer, Z., Ozer, I., & Findik, O. Diacritic restoration of Turkish tweets with word2vec. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 21, no. 6, pp. 1120-1127, 2018.
- [19] Ozer, I., Ozer, Z., & Findik, O. Lanczos kernel based spectrogram image features for sound classification. *Procedia computer science*, vol. 111, pp. 137-144, 2017.
- [20] A. Yeşil, U. Çelik, F. Temurtaş, Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile İkinci Kuşak Akım Taşıyıcının Performans Parametrelerinin Tahmin Edilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, vol. 1, no. 1, pp. 13-23, 2019.
- [21] Toptaş, B., Hanbay, D. Renksel ve Dokusal Özellikler Kullanarak Alev ve Alev Olmayan Görüntü Kesitlerinin Sınıflandırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, vol. 1, no. 1, pp. 1-12, 2019.
- [22] Ozer, Z., "Trafik yorumlarının sınıflandırılmasında normalizasyonun etkisi", *Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük*, 2019.
- [23] Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. Long short-term memory. *Neural computation*, vol. 9, no. 8, pp.1735-1780, 1997.



## Rüzgar Türbinlerinde Kurulum ve Bakım Süreçleri: Bandırma Örneği

### Installation and Maintenance Processes in Wind Turbines: The Case of Bandırma

İsmail Yavuz<sup>a</sup> , Harun Özbay<sup>b</sup> 

<sup>a</sup>Vestas Rüzgar Enerji Sistemleri, Ege Bölge Müdürlüğü, 10200, Bandırma/Balıkesir, Türkiye

<sup>b</sup>Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bandırma/Balıkesir, Türkiye

ismailyavuz@gmail.com, hozbay@bandirma.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

#### ARTICLE INFO

##### Article history

Received :26 September 2020

Accepted : 20 October 2020

##### Keywords:

Wind Energy, Wind Turbine equipment, Installation Steps, Wind Turbine Maintenance

#### ABSTRACT

Wind energy is one of the fastest-growing renewable energy technologies. Its use is spreading out on the worldwide with the decrease in costs and the increase in the capacity factor. In terms of location and climate conditions, wind energy potential of our country is much more advantageous than many countries. Turkey is one of the world's fastest growing renewable energy market.

In this study, basic components of wind turbines, installation and service processes are investigated. The process of wind turbines starting with the transportation process and continuing with equipment installations will be investigated. Brief information on the issues to be considered in operation and maintenance will be given. In addition, Balıkesir province Bandırma district was examined in terms of wind potential and detailed information about the installed wind power plants was presented.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

#### MAKALE BİLGİSİ

##### Makale Tarihleri

Gönderim : 26 Eylül 2020

Kabul : 20 Ekim 2020

##### Anahtar Kelimeler:

Rüzgar Enerjisi, Rüzgar Türbin ekipmanları, Kurulum Aşamaları, Rüzgar Türbini Bakımı

#### ÖZET

Rüzgar enerjisi en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji teknolojilerinden biridir. Maliyetlerin düşmesi ve kapasite faktörünün artması ile birlikte dünya çapında kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Ülkemizin bulunduğu konum ve iklim koşulları açısından sahip olduğu rüzgar enerjisi potansiyeli birçok ülkeye göre çok daha avantajlı durumdadır. Türkiye, dünyanın en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji pazarlarından biridir.

Bu çalışmada, rüzgar türbinlerinin temel bileşenleri, kurulum ve servis süreçleri incelenmiştir. Rüzgar türbinlerinin nakliye süreci ile başlayan ve ekipman kurulumları ile devam eden süreci incelenmiştir. İşletme ve bakım konusunda dikkat edilmesi gereken hususlar konusunda bilgi verilmiştir. Ayrıca Balıkesir ili Bandırma ilçesi rüzgar potansiyeli açısından incelenip kurulu rüzgar enerji santralleri hakkında detaylı bilgiler sunulmuştur.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

## 1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji, doğal süreçlerden faydalanılarak üretilen ve üretilirken enerji kaynaklarını tehlikeye atmayan enerjidir; yenilenebilir enerjinin sürekliliği neredeyse tükenmez ancak birim zaman için mevcut olan enerji miktarı ile sınırlıdır. Bu kaynaklar güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerjisi, biokütle enerjisi ve hidrojen enerjisi olarak sıralanabilir [1-3].

Yenilenebilir enerji, fosil yakıtlara dayanan geleneksel enerjiye bir alternatiftir ve temiz bir enerji kaynağı olarak çevreyi kirletmeyen yöntemler ile üretilmektedir. Enerji ile ilgili CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmak, enerji dönüşümünün merkezinde yer alır. Dünyayı, iklim değişikliğine neden olan fosil yakıtların tüketilmesinden hızla uzaklaştırmak için yenilenebilir enerjinin tüm çeşitlerinin kullanımının teşvik edilmesi çok önemlidir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar enerjisinin kullanımı zaman içerisinde gelişerek fosil yakıtlara alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Özellikle 1950 ve sonrasında küçük güçlü rüzgar türbinlerinin kurulması ile birlikte ucuz ve rekabete imkan sunan bir alternatif enerji kaynağı olarak ortaya çıktı. Çevre üzerinde minimum zararlı etkiye sahip olması da rüzgar enerjisine olan ilgiyi arttırdı. Devlet kurumları, alternatif enerji kaynağı olması açısından rüzgar teknolojileri araştırmalarını finanse etti. Bilim insanları ve araştırmacılar, saha koşullarında verimli çalışan ve dayanıklı rüzgar türbinlerini başarı ile tasarladılar. Günümüzde teknolojinin de gelişmesi ile birlikte hem kara hem de açık deniz (offshore) rüzgar türbinleri, 1990 ve öncesinde geliştirilen rüzgar türbinlerinden çok daha fazla enerji üretebilmektedir.

Rüzgar türbin üretiminin gelişmesi, kurulum ve bakım süreçlerinin büyümesine ve uzmanlaşmasına sebep olacaktır. Yerel bir yenilenebilir enerji endüstrisinin geliştirilmesi, tüm disiplinler için yeni faaliyet alanları ve beraberinde istihdam imkanları oluşmasına katkı sağlayacaktır [4].

## 2. RÜZGAR ENERJİSİ

Rüzgar enerjisi; güneş enerjisinin farklı bir şekli olup, yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır. Güneşin dünyaya gönderdiği enerjinin %1-2 gibi küçük bir miktarı rüzgar enerjisine dönüşmektedir. Güneşin, yer yüzeyini ve atmosferi homojen ısıtmamasının bir sonucu olarak ortaya çıkan sıcaklık ve basınç farkından dolayı hava akımı oluşur. Oluşan hava akımının ısınması ile birlikte atmosfere doğru bir hareket başlar ve soğuk hava kütlesi ile yer değiştirir. Bu yer değişimine rüzgar adı verilir. Rüzgarın özellikleri, yerel coğrafi farklılıklar ve yeryüzünün homojen olmayan ısınmasına bağlı olarak, zamansal ve yöresel değişiklik gösterir. Rüzgar, hız ve yön olmak üzere iki parametre ile ifade edilir [1].

Rüzgarı oluşturan hava akımı ile meydana gelen kinetik enerji sayesinde elektrik üretimi gerçekleştirilir. Bu, rüzgar türbinleri veya rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülür. Rüzgar, türbin kanatlarına çarpar ve kanatları döndürerek türbin ana milinin dönmesini sağlar. Ana milin bağlı olan jeneratörün de dönmesi sağlanır. Belirli bir dönüş hızına ulaşan jeneratörde manyetik alan oluşur. Şebeke bağlantı şartlarının oluşması ile sonucunda rüzgar türbininden elektrik elde edilir.

Rüzgar enerjisinden elde edilecek güç miktarı türbinin büyüklüğüne ve kanatların uzunluğuna bağlıdır. Çıkış gücü, rotorun boyutları, hava yoğunluğu ve rüzgar hızının küpü ile orantılıdır. Teorik olarak, rüzgar hızı ikiye katlandığında, rüzgar enerjisi potansiyeli sekiz kat artar.

Rüzgar türbini kapasitesi zamanla artmıştır. Bugünün yeni rüzgar enerjisi projeleri, karada yaklaşık 2 MW ve açık denizde 3-5 MW türbin kapasitesine sahiptir [5].

Kinetik enerji ve momentumun korunumu ilkelerinden yola çıkarak atmosferde serbest olarak hareket eden rüzgarın teorik gücünün matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$P_{avail} = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p \quad (1)$$

$P_{avail}$  = Rüzgar türbininin üreteceği güçü gösterir. Birimi Watt'tır.

$\frac{1}{2}$  sabiti = Formüldeki sabit bir sayı olarak değeri 0.5'tir.

$\rho$  = Hava yoğunluğunu gösterir. Uluslararası Standart Atmosfer koşullarında (deniz seviyesinde, +15°C sıcaklıkta ve 1013,25 mb atmosfer basıncında) havanın yoğunluğu 1,225 kg/m<sup>3</sup> tür.

$A$  = Rüzgar türbininin kanatlarının süpürdüğü alanı ifade eder ve birimi metrekaredir.

$v$  = Rüzgar türbininin kurulacağı yerdeki ortalama rüzgar hızının değeridir.

$C_p$  = Rüzgar türbin veriminin yüzdelik ifadesidir. Sabit bir değer olan "Cp" değerinin maksimumu yaklaşık olarak 0,5926'dır. Bu değer Betz limiti adı da verilir.



## 2.1. Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi

Rüzgar, yüzyıllardır yelkenli gemilere güç sağlamak için kullanılmıştır. Birçok ülke refahlarını yelkencilik yeteneklerine borçludur. Dünya, rüzgarla çalışan gemiler tarafından keşfedildi. Gerçekten de, Watt 18. yüzyılda buhar motorunu icat edinceye kadar rüzgar, gemiler için neredeyse tek güç kaynağıydı. Karadaki rüzgar türbinleri yüzyıllar öncesine dayanıyor. Babil imparatoru Hammurabi'nin MÖ 17. yüzyılda sulama için rüzgar türbinleri kullanmayı planladığı bilinmektedir. M.Ö. üçüncü yüzyılda yaşayan İskenderiye Kahramanı, dört yelkenli basit bir yatay eksenli rüzgar türbini tanımladı.

Persler, M.S. yedinci yüzyılın ortalarında rüzgar türbinlerini yoğun bir şekilde kullanıyordu. Bu ilk makineler kuşkusuz kaba ve mekanik olarak verimsizdi, ancak amaçlarına yüzyıllardır iyi hizmet ettiler [6].

Genel olarak rüzgar enerjisinin geçmişten günümüze kadar olan gelişimini özetleyecek olursak;

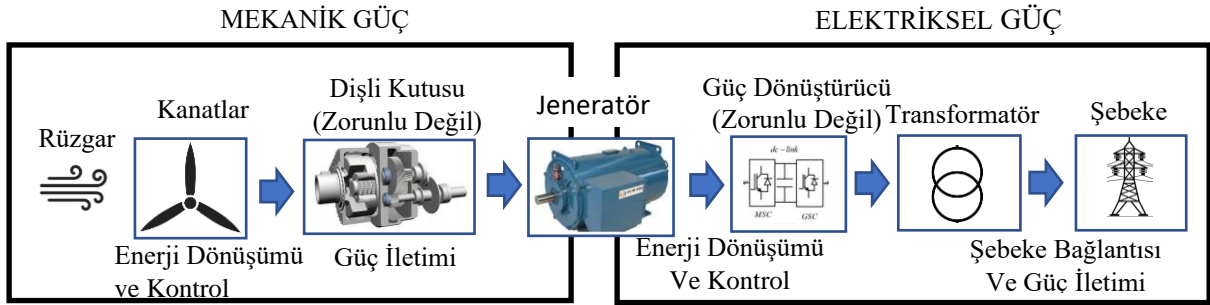
- ✓ Rüzgar enerjisinin mekanik enerjiye çevrilip kullanılması M.Ö. 5000'lere denk gelir. İlk başlarda deniz ulaşımında gemilerde kullanılır. ( Mısır )
- ✓ M.Ö.2000 dolaylarında un öğütme gibi işlemlerde kullanılan makineler inşa edilir (Pers – Çin)
- ✓ Rüzgar türbinleri M.S.1000'lere doğru daha gelişmiş makinelerle tarım endüstrisinde su pompalama, öğütme işlemlerin ve testere gibi fonksiyonlar için kullanılır
- ✓ 1900'lerin başında ilk elektrik üreten türbinler kullanılmaya başlanır
- ✓ 1941'de ilk mega watt (MW) seviyesinde üretim alınır (Smith-Putnam wind turbine)
- ✓ 1970'lerden sonra rüzgar türbinleri bugünkü halini almaya başlamıştır.



Şekil 1. Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi.

## 2.2. Rüzgar Enerjisi ve Temel Kavramlar

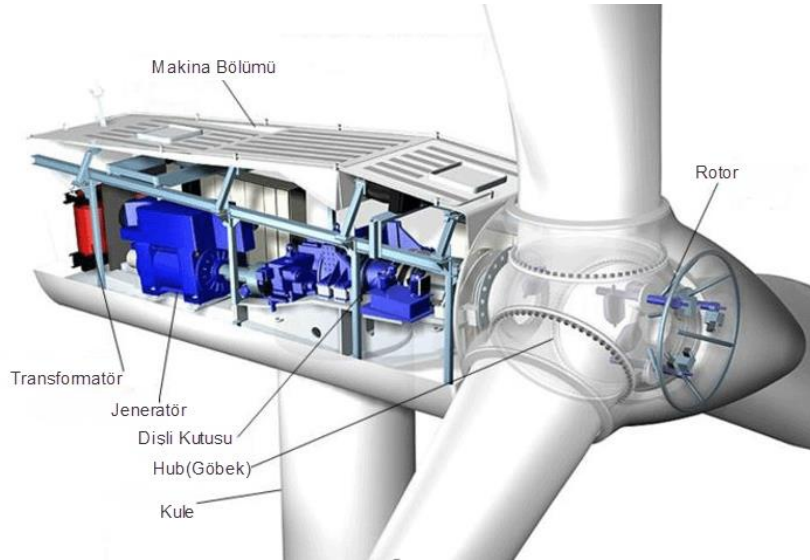
Bir rüzgâr türbini genel olarak kule, jeneratör, hız dönüştürücüleri (dişli kutusu), elektrik-elektronik elemanlar ve pervaneden oluşur. Rüzgârın kinetik enerjisi pervanede mekanik enerjiye dönüşür. Rotor milinin devir hareketi hızlandırılarak gövdedeki jeneratöre aktarılır. Jeneratörden elde edilen elektrik enerjisi aküler vasıtasıyla depolanarak veya doğrudan alıcılara ulaştırılır [7-9].



Şekil 2. Rüzgar Türbini Çalışma Prensibi.

Bir rüzgar türbinin temel bileşenleri genel olarak aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

Pervane Kanatları: Rotorla bağlı kanatlar, rüzgar enerjisinin kinetik enerjiye dönüşmesini sağlayan en önemli ekipmandır. Modern bir 3MW'lık bir rüzgar türbinin, her bir kanadının uzunluğu yaklaşık olarak 45m'dir.



Şekil 3. Rüzgar Türbini Ekipmanları Yerleşimi.

**Kule:** Rüzgar türbininin kulesi, nacelle, rotor ve kanatları taşır. Genel olarak, yüksek bir kuleye sahip olmak bir avantajdır, çünkü rüzgar hızları yerden yükseldikçe artar. Tipik modern 2MW'lık bir türbin 70-80 metre bir kuleye sahip olmaktadır. Kuleler ya boru şeklindeki kuleler ya da kafes kuleler olabilir. Gelişen teknoloji ile birlikte rüzgar türbinlerinin boyutları da her geçen gün büyümektedir. Özel tasarım kuleler sayesinde günümüzde 150m uzunluğundaki kuleler ile karşılaşılabilir. Uzun kuleler için hibrid ya da parçalı kule gibi farklı teknolojiler kullanılabilir [10].

**Fren sistemi:** Rüzgar türbinlerinin güvenli bir şekilde çalışması için etkili bir fren sistemi gereklidir. Rüzgar türbinlerinde bağımsız iki sistem vardır; aerodinamik ve Mekanik fren sistemi. Mekanik fren türbinin servise alınması ya da acil duruş gerektiren durumlarda kullanılır. Aerodinamik fren ise arıza oluşması durumunda türbinin yumuşak bir şekilde durmasını sağlar [11].

**Jeneratör Sistemi:** Rüzgar türbinlerinde genellikle asenkron jeneratör kullanılır. Bu jeneratörler elektromanyetik alan prensibine göre mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirirler. Modern rüzgar türbinlerinde jeneratör kapasitesi 16MW'a kadar çıkarılmıştır.

**Rüzgar Ölçer (Anemometre):** Anemometre ya da ultrasonik rüzgar sensörleri rüzgarın hızını ve yönünü ölçmek için kullanılır. Rüzgar ölçüm sensörlerinin sinyalleri, rüzgar türbininin elektronik kontrolörü tarafından, yaw sistemi kullanılarak rotorun rüzgara karşı dönmesini sağlar.

**Düşük Hız Mili (Şaft):** Rüzgar türbininin düşük hızlı şaftı, rotor göbeğini dişli kutusuna bağlar.

**Makine Bölümü (Nacelle):** Makine bölümü, kulenin üstünde durur ve dişli kutusu, jeneratör gibi rüzgar türbininin önemli bileşenlerini içerir.

**Dişli Kutusu (Gear Box):** Dişli kutusu rotor'dan gelen düşük dönüş hızını yüksek hızlara çıkararak jeneratöre aktarılmasını sağlar. Dişli kutusunun dönüş oranı kullanılacak jeneratöre ve senkron hızına göre değişiklik gösterebilir.

**Kontrol Ünitesi:** Rüzgar türbininin durumunu sürekli olarak izleyen, rüzgarın hızındaki değişikliklere göre türbinin devreye girmesini ve devreden çıkmasını kontrol eden, herhangi bir arıza durumunda rüzgar türbinini otomatik olarak durduran bir sistemdir [12].

### 3. RÜZGAR ENERJİ SANTRALLERİNİN (RES) KURULUMLARI ve SERVİS SÜRECİ

#### 3.1. RES Kurulumunda Göz Önünde Bulundurulması Gerekenler

- Rüzgar türbini kurulumunda önce lisans işlemlerinin tamamlanmış ve yeterli fizibilite çalışmalarının yapılmış olması gerekmektedir.
- Yerel yönetmeliklerin incelenmesi
- Saha seçimi ve detaylı analizi

- Arazi mülkiyeti, ulaşım ve taşıma
- Kapasite faktörünün analiz edilmesi
- Rüzgar hızının ve güç yoğunluğunun belirlenmesi
- Arazi yapısı ve trafo merkezine uzaklık
- Yerel ve çevresel kabul edilebilirlik
- EPDK İşlemleri
- Lisans alınmasından sonra gerçek fizibilite raporu
- İlk yatırım maliyeti
- Satın alma, finansal işlemler, montaj-kabul ve işletmeye alma
- İşletme dönemi maliyetleri ve teknoloji değişim süreçleri
- Satış fiyatı senaryoları (teşvikli, teşviksiz, yük dengesizliği vb.)

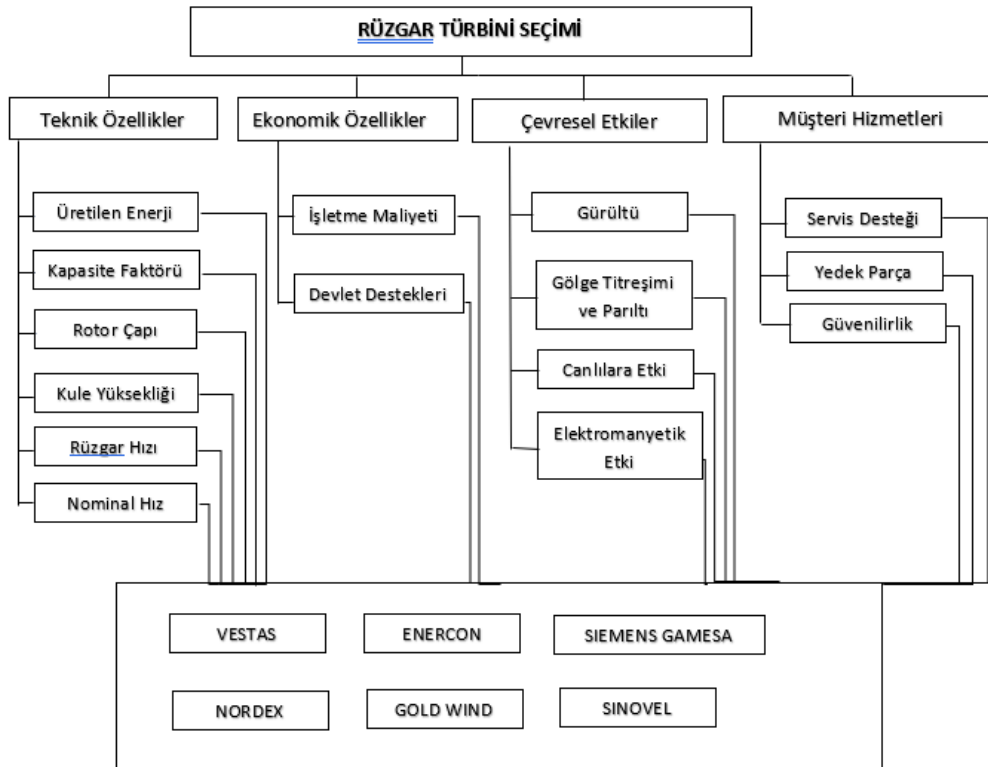
### 3.2. RES Kurulumunda Göz Önünde Bulundurulması Gerekenler

Üretici firmalar farklı teknoloji ve özelliklerde türbin üretimi gerçekleştirdiğinden dolayı türbin markası seçiminden önce yatırımcının ihtiyaç duyduğu sistemi detaylı analiz etmesi gerekmektedir. Ekonomik, teknik, sosyal ve çevresel etkenlerin belli bir teknik-ekonomik yaklaşımla incelenmesi sonucunda saha için en uygun rüzgar enerjisi dönüşüm sisteminin seçilmesi beklenmektedir. Finansal koşullarında göz önünde bulundurularak tespit edilen sistemi uygulayabilecek en uygun markanın belirlenmesi son derece önemlidir [13].

Rüzgar türbini marka, model ve gücü seçilirken daha çok ön plana çıkan aşağıdaki kriterlere göre seçim yapılır.

- ✓ Arazi yapısı ve mikro konuşlandırma sonucuna göre sahanın rüzgar sınıfı
- ✓ Türbinin yatırım harcamaları (CAPEX) ve operasyonel harcamalarının (OPEX) belirlenmesi
- ✓ Servis desteği ve malzeme tedariki
- ✓ Türbinin yıllık enerji üretimi (AEP), kayıp üretim faktörü (LPF) ve güç eğrisi performansları vb.

Türbin marka ve modeli seçimi ile ilgili olarak çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlere verilecek örneklerden birisi de Analitik Hiyerarşi Yöntemi'dir.



Şekil 4. Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP) ile Rüzgar Türbini Seçimi.

### 3.3. Saha Çalışmaları

Rüzgar türbinlerinin kurulumu ile birlikte sahadaki alt yapı çalışmalarının belirli sıralamalarla yürütülmesi gerekmektedir.

- ✓ Türbin sahasına ulaşım için yolların açılması
- ✓ Türbin sahasındaki kazı çalışmaları, türbin temellerinin açılması,
- ✓ Türbinler arası yüksek gerilim (HV) hatlarının açılması ve kabloların yerleştirilmesi
- ✓ Türbin temelinin atılması ve kulenin oturtulacağı çelik tabanın tamamlanması
- ✓ Şebeke bağlantısı için şalt binası yapımı
- ✓ Şalt binasına hücrelerin yerleştirilmesi ve türbin kesicileri ile bağlantıların yapılması
- ✓ Santral ile Elektrik dağıtım merkezi arasındaki HV bağlantısının yapılması



Şekil 5. Türbin Temel Çalışması.

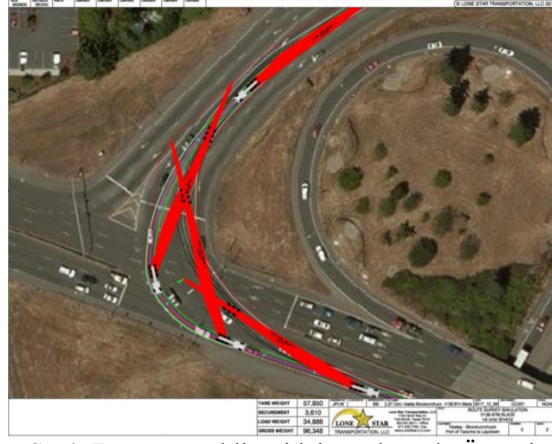


Şekil 6. Şalt Binasının Yapımı.

### 3.4. Rüzgar Türbini Ekipmanlarının Transferi

Rüzgar türbini ekipmanlarının liman ya da üretim merkezlerinden sahaya nakliye edilmesi gerekmektedir. Özellikle uzun ve ağır ekipmanlarının sahaya taşınması için özel organizasyonlar ve planlamalar yapmak gerekmektedir.





Şekil 7. Kanat Nakliyesi için Yol Etüdü Örneği.

- ✓ Nakliye öncesi güzergah etüdü (Road Survey) yapılması [14]
- ✓ Nacelle, Drive Train, Hub ve Kulelerin taşınması
- ✓ Kanatların taşınması



Şekil 8. Kanat Nakliyesi.

### 3.5. Rüzgar Türbini Kurulumu

Rüzgar türbin montajında kullanılan türbin parçaları ağırlık ve boyut olarak büyük parçalar oldukları için ağır iş makineleri ile gerçekleştirilen bir operasyondur. Bunun için teknik emniyet kurallarına ve hava şartlarına dikkat edilmelidir. Rüzgar türbini montaj sektöründe bu işe özel emniyet kuralları bulunmaktadır. Örneğin, hava şarjlı ve yıldırımlı olduğu zamanlarda veya rüzgar hızı 6 m/s üzerinde ise rotor montajı yapılması önerilmemektedir. Her türbin parçasının kaldırılması için ayrı ayrı aparat bağlama noktaları ve kaldırma yönergeleri vardır. Birbirine bağlanan her ekipmanın cıvata çapı ve kalitesine göre torqlama değerleri mevcuttur. Bağlanan her cıvatanın ise hangi eleman tarafından ve kaç Nm değerinde sıkıldığı ve hangi aletle yapıldığı gibi bilgiler kayıt altına alınmaktadır. Bununla ilgili kayıt raporları ve kontrol listeleri ayrı ayrı tutulması gerekmektedir [15].

Rüzgar türbininin kurulum adımları:

- ✓ Kurulum gerçekleştirecek ana vinç ve yardımcı vinç kurulumları
- ✓ Yerde Cooler top montajının yapılması
- ✓ Kule Montajı
- ✓ Nacelle Montajı
- ✓ Drive Train Montajı
- ✓ Hub Montajı
- ✓ Kanatların montajı





Şekil 9. Kule Montajı.



Şekil 10. Kanat Montajı.

### 3.6. Enerjilendirme ve Devreye Alma

Rüzgar türbini ana ekipmanlarının montaj işlemi tamamlandıktan sonra sırayla aşağıdaki işlemler gerçekleştirilir.

- ✓ Nacelle ve kule işlemcisi arasındaki HV, alçak gerilim (LV) ve haberleşme bağlantılarının yapılması
- ✓ Nacelle içi kablolama, hidrolik ve soğutma sistemi bağlantılarının yapılması
- ✓ Dişli kutusu ve Jeneratör hizalaması
- ✓ Yazılımın türbin işlemcisine yüklenmesi
- ✓ Türbin testlerinin tamamlanması
- ✓ Scada bağlantısı için gerekli konfigürasyonunun yapılması

### 3.7. Rüzgar Türbinlerinde Servis Süreci

Rüzgar türbinlerinin planlı ve plansız bakım periyodları rüzgar türbin teknolojisine ve türbin tipine bağlı olarak farklılık göstermektedir.

Enerji birim fiyatlarının her geçen gün düşmesi, üretici ve yatırımcı firmalarda bakım ve arıza maliyetlerini azaltmaya yönelik baskı oluşturmaktadır. Bu nedenle ideal bakım süresi için çeşitli araştırmalar ve uygulamalar yapılmaktadır. Türbin markasına ve tipine göre çeşitli farklılıklar gösterebilir. Ortalama bir türbinin bakım süresi 50-70 adam saat olarak düşünülebilir. Ancak türbinin, dişli kutusuz olması ya da pitch sisteminin elektrik olması durumunda bu süreler farklılık gösterecektir.

Bakım faaliyetlerinin içeriği aşağıdaki şekilde genellenebilir.

- Görsel Bakım
- Yağlama Bakımı
- Elektrik Bakım
- Mekanik Bakım
- Temizlik

Rüzgar türbinlerinin işletmeleri yatırımcı firmalar tarafından yürütülürken, bakım ve arıza çalışmaları genel olarak türbin üreticisi firmalar tarafından verilmektedir. Ancak türbin sahibi firmalarda kendi bakım ekiplerini kurarak bu hizmetleri verebilirler. Bu hususta dikkat edilmesi gereken en önemli konu, bakım maliyetlerini düşürmek için türbin üretici firmasının tamamı ile devre dışı bırakılması halinde arıza durumlarında daha uzun süreli duruşlar yaşanabileceği ve yedek parça tedarikinde sıkıntılar yaşanabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Rüzgar santrali sahiplerinin türbin bakım kontratları yaparken maksimum kazanç elde edilecek modele göre anlaşma yapmaları son derece önemlidir. Sözleme yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

**Açıklamalar:** Yıllık sabit ve değişken ücretler, emre amadeli başlangıç ve bitiş tarihleri, garanti süresi, çalışma günleri, mucbir sebepler, doğal felaketler, yedek parça tedarik süreci, raporlamalar gibi detayların kontratın açıklamalar ve yorumlamalar bölümünde tarif edilmesi gerekmektedir.

**Yatırımcı yükümlülükleri:** Yüklenicinin sorumluluğundaki görevleri yerine getirebilmesi için yatırımcı tarafından sahaya ulaşım, scada yetkilendirmesi, tesislerin kullanımı gibi yükümlülüklerin detaylı olarak belirtilmesi gerekmektedir.

**Yüklenici yükümlülükleri:** Yüklenicinin kontrat kapsamında yapmakla yükümlü olduğu standart bakım çalışması, çalışanların standartları, ekipman ve yedek parça tedariki gibi detayların tarif edilmesi gerekmektedir.

**Fiyat ve Ödeme:** Yüklenici tarafından gerçekleştirilecek olan çalışmaların karşılığında yapılacak ödemelerin miktarı ve süresi bu bölümde belirtilir.

**Garanti süreleri:** Servis kapsamında değiştirilen malzemelerin garanti sürelerinin belirlenmesi ve kontratın kısa süreli yapılması durumunda izlenecek yolların bu kısım altında detaylı olarak belirtilmesi gerekmektedir.

**Türbin performansı:** Rüzgar türbininin kontrat kapsamında çalışması gereken güç performansı ve emre amadeli şartlarının bulunduğu bölümdür.

**Mucbir sebepler:** Servis hizmetinin verilemeyeceği durumların detaylı olarak belirtildiği bölümdür.

**Sigorta:** Yüklenici ve yatırımcı tarafından yapılacak olan sigortaların kapsamı ile ilgili detaylı bilginin bulunduğu kısımdır.

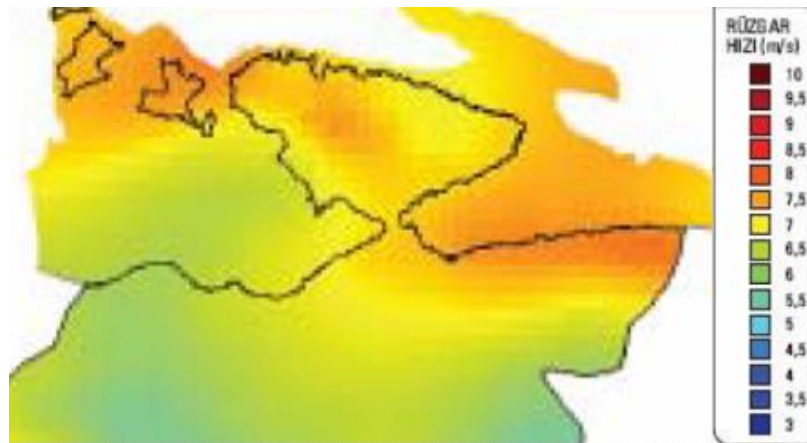
**Anlaşmazlık durumu ve kontratın sonlandırılması:** Anlaşmazlık durumunda izlenecek yolların ve kontratın sonlandırılması için oluşması gereken şartların detaylı olarak belirtildiği bölümdür.

**Servis kontrat süresi:** Kontrattın süresi ve uzatma opsiyonlarının detaylandırıldığı kısımdır.

**Servis kontrat iptali:** Kontratın iptali ya da askıya alınması ile ilgili detayları içerir [16].

#### 4. BANDIRMA'DA RÜZGAR ENERJİSİ

Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) verilerine göre Balıkesir ili teorik rüzgar enerjisi potansiyeli bakımından 13.827M gücüyle Türkiye'nin ilk sırasında yer alırken, 2019 verilerine göre işletmedeki santrallerin toplam kurulu gücü bakımından 1.135MW ile ikinci sırada yer almaktadır. Bandırma ise rüzgar hızı ve kapasite faktörü açısından ildeki potansiyeli yüksek en önemli ilçelerinden biridir [17].



Şekil 11. Bandırma Rüzgar Hız Dağılımı – 50m

2005 yılında Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu'nun yürürlüğe girmesi ile birlikte özel sektör tarafından RES lisans başvurularına ciddi talep oluşmuştur. Lisans başvurularının EPDK tarafından onaylanması ile Bandırma ilçesi RES yatırımcıları için gözde konumlardan biri haline gelmiştir [18]. Bandırma'nın yüksek rüzgar potansiyeli ile birlikte yatırım maliyetini azaltacak avantajları sayesinde 2006 yılı itibarı ile RES yatırımlarına ev sahipliği yapmıştır. Liman kenti olması dolayısı ile rüzgar türbininin kanat ve kule gibi büyük parçalarının yurtdışından rahatlıkla sevk edilebiliyor olması, arazi koşullarının nispeten uygunluğu, ulaşım kolaylığı, kurulum ve servis faaliyetleri için kalifiye eleman bulma kolaylığı Bandırma'nın en önemli avantajları arasında sayılabilir.

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) ve Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği'nin (TUREB) istatistiksel raporlarından yararlanılarak 2006 yılından günümüze kadar işletmeye alınan rüzgar enerji santrallerinin listesi Tablo 1'de görülmektedir.

**Tablo 1.** 2006-2020 yılları arasında Bandırma içerisinde işletmeye alınan RES'ler

S.	Santral Adı	Firma	Kurulu Güç (MW)	Türbin Üreticisi	Türbin Modeli	Türbin Gücü	İşletmeye Giriş Tarihi
1	Şah Rüzgar Santrali	Galata Wind Enerji	105	VESTAS	V90-3.0	3 MW	2011/2013
2	Bandırma RES	Bandırma Enerji ve El. Ür. Tic.	89.7	VESTAS	V90-3.0 / V112-3.3	3 MW/3.3 MW	2009/2010/2014
3	Edincik Rüzgar Santrali	Edincik Enerji El. Ür. A.Ş.	77.4	NORDEX	N100/N117	2.5 MW/2,4 MW/3 MW	2013/2015/2016
4	Bandırma RES	Yapısan El. Ür. A.Ş.	30	GE	GE1.5se	1.5 MW	2006
5	Bandırma RES Ext.	Yapısan El. Ür. A.Ş.	21.5	NORDEX	N90	2.5MW	2012
6	Bandırma 3 RES	Bursa Temiz En. El. Ür.	41.8	NORDEX	N90/N117	2.5 MW/2.4 MW	2008/2016
7	Ayyıldız RES	Ak Enerji El. Ür. A.Ş.	28.2	VESTAS	V90-3.0 / V112-3.3	3 MW/3.3 MW	2009/2017

Rüzgar türbinlerinin kurulacağı yerlerin belirlenmesinde yükseklik, arazi şartları, eğim, bakı, rüzgar hızı, hakim rüzgar yönü ve yıllık kapasite faktörü verileri kullanılmaktadır. Yükselti faktörü ve rüzgar hızı arasında korelasyon olduğundan dolayı yükseltinin artmasına veya azalmasına göre kapasite faktörü değişmektedir. Bandırma ve çevresinin fiziki yapısı incelendiğinde şehrin doğu ve batı yönlerinde yükseltinin arttığı görülmektedir. Ayrıca hakim rüzgar yönüne bakan yamaçların ve hakim rüzgar yönünün (kuzey-kuzeydoğu) aynı yönde olması rüzgar türbini kurulumu için avantaj sağlamaktadır.

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) üzerinden yükseklik, arazi kullanımı, eğim, bakı, yol, rüzgâr hızı faktörlerinden oluşan veri katmanları kullanılarak yapılan incelemelerde Bandırma'nın batısında kalan dağlık bölge ile doğusundaki Karadağ çevresinin rüzgar enerji santrallerinin kurulumu için en uygun yerler olduğu tespit edilmiştir [19]. Mevcut rüzgar türbinlerinin kurulduğu bölgeleri Şekil 12 üzerinden incelediğimizde rüzgar türbini kurulumu için tespit edilen alanların kullanıldığını rahatlıkla gözlemlemekteyiz.

Santrallerin üretim verileri üzerinden (enerjiatlası.com) genel olarak incelemelerde bulunduğumuzda ortalama %35-40 civarında kapasite faktörü ile üretim yaptıklarını hesaplayabiliriz. Bandırma'daki tüm santrallerin Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizmasından (YEKDEM) faydalandığını ve birim kWh elektriği minimum 0,073\$ üzerinden satış yapacağını göz önünde bulundurduğumuzda santralin amortisman ve karlılığını rahatlıkla hesaplayabiliriz [20].



**Şekil 12.** Bandırma RES Haritası

Bandırma'nın yüksek rüzgar potansiyelinin yanında, liman kenti olması ve sanayisinin gelişmiş olması bu sektördeki büyük firmalarında ilçeye yatırım yapmalarına olanak sağlamıştır. İlçenin ekonomik gelişimine katkı sağlamak ile istihdamın artmasında ve kalifiye eleman yetişmesinde de ciddi rol oynamaktadır. Ayrıca Bandırma'nın sektörün öncülüğünü yapan firmaları barındırmasından dolayı son yıllarda uzmanlaşan teknik personellerin yurtdışı projelerde uzman olarak görev almalarının da önü açılmış oldu.

## 5. SONUÇ

Mevcut fosil yakıtların sınırlı olması, karbon ayak izinin azaltılmasında önemli bir rol oynaması olması ve enerji fiyatlarındaki istikrarsızlığı dengelemesi açısından rüzgar enerjisi son derece önemli bir role sahiptir. Rüzgar

türbinleri sahip oldukları yüksek kapasite oranları ve düşük birim enerji maliyetleri sayesinde geleneksel enerji üretim yöntemleri ile rekabet edecek düzeye gelmiştir.

Türkiye'deki rüzgar potansiyelinin yüksek olması ve devlet mekanizmalarının da yenilenebilir enerjiyi desteklemesinden dolayı, önümüzdeki yıllarda daha büyük ve güçlü türbinlerin kurulacağı öngörülmektedir. Daha büyük rüzgar türbinleri ile birlikte nakliye ve kurulum süreçlerinin de bu doğrultuda iyileştirilmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir.

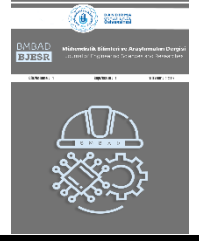
Rüzgar türbinlerinin işletme ve bakım faaliyetleri için ise yatırımcı firmalarının uzun vadeli uygulanabilir çözümlere sahip olması gerekir. Yatırımcı firma, rüzgar türbini kurulduktan sonra yüksek performans ve minimum duruş ile çalışması için her türlü kestirimci bakım faaliyetini doğru planlama ile organize etmesi gerekir.

Ülkemizin sahip olduğu enerji potansiyelinden yararlanarak, enerji alanında yerleşme hedefiyle dışa bağımlılıktan kurtulmak için gerekli politikaların geliştirilmesi gerekmektedir. Rüzgar türbinlerinin üretimi, kurulumu ve bakımını yürütecek uzman ve yetişmiş eleman sayısının artırılması ilerleyen yıllar için son derece önem arz etmektedir.

## KAYNAKÇA

- [1] YEGM (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü), Rüzgar Enerjisi, 19.04.2020, [http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar\\_enerjisi.aspx](http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi.aspx)
- [2] H. Özbay, "PDM-MPPT based solar powered induction heating system," Engineering Science and Technology, an International Journal, 2020. Doi: 10.1016/j.jestech.2020.06.005.
- [3] A. Karafil and H. Özbay, "Design of Stand-Alone PV System on a Farm House in Bilecik City, Turkey" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, vol. 5, no. 3, pp. 909-916, 2018.
- [4] IRENA (International Renewable Energy Agency), "Future of Wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects", October 2019.
- [5] IRENA (International Renewable Energy Agency), "Wind Energy", <https://www.irena.org/wind>, 2020.
- [6] G. L. Johnson, "Wind energy systems" Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1985.
- [7] U. Elibüyük and İ. Üçgül, "Rüzgâr Türbinleri, Çeşitleri Ve Rüzgâr Enerjisi Depolama Yöntemleri" SDÜ Yekarum e-Dergi vol. 2, no. 3, pp. 1-14, 2014.
- [8] M. Karabacak, T. V. Küçük, Ö. Atmaca, T. Kamal and Y. Cantaş, "Design and Implementation of a Wind Turbine Emulator for Wind Energy Conversion Systems", 7th International Conference on Advanced Technologies, pp. 135-139, 2018.
- [9] M. Karabacak, F. Kılıç, Y. Cantaş, Ö. Atmaca, and T. V. Küçük, "Değişken hızlı rüzgâr türbinlerinde kanat ucu hız oranı tabanlı maksimum güç izleme denetimi; kapsamlı bir tasarım", Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi vol. 21, no. 4, pp. 662-671, 2017.
- [10] E. K. Akpınar and S. Akpınar, "An assessment on seasonal analysis of wind energy characteristics and wind turbine characteristics", Energy conversion and management vol. 46, no. 11-12, pp. 1848-1867, 2005.
- [11] T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins and E. Bossanyi, "Wind energy handbook", vol. 2, New York: Wiley, 2001.
- [12] W. Tong, "Wind power generation and wind turbine design", WIT press, 2010.
- [13] A. Sarucan, M. C. Akkoyunlu, and B. A. Ş. Aydoğan, "Analitik hiyerarşi proses yöntemi ile rüzgâr türbin seçimi", Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi vol. 25, no. 1, pp. 11-18, 2010.
- [14] Lone Star Transportation, "Transportation Survey", Tansport feasibility report of the V136-3..45 MW™ IEC IIIA, 2019.
- [15] O. Kunt, C. Karakuş, İ. Mert and B. Tanç, "2.5 MW Kapasiteli Bir Rüzgar Türbinin Mekanik Montaj Aşamaları", IX. Clean Energy Symposium, UTES'13, pp. 730-741, 2013.
- [16] A. Kısar and G. Hassan, "Rüzgar Santrallerinde İşletme ve Bakım", Rüzgar Enerjisi Sempozyumu, pp. 135-139, 2001.
- [17] Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası, Balıkesir ili rüzgar Kaynak Bilgileri, <https://eigm.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/REPA>, 2020
- [18] A. İbrahim. "Balıkesir'de Rüzgâr Enerjisi", Doğu Coğrafya Dergisi vol. 18, no. 29, pp. 29-50, 2013.
- [19] F. Arslan and M. Üzülmöz, "Bandırma'da Rüzgâr Enerji Santralleri İçin Potansiyel Alanların Belirlenmesi", 2. Uluslararası Bandırma ve Çevresi Sempozyumu UBS'19, pp. 103-113, 2019.
- [20] H. Özbay, S. B. Efe and E. İşen, "Bandırma için Güneş Enerji Santrali Maliyet Analizi", 3. Uluslararası Bölgesel Kalkınma ve Üniversitelerin Rolü Sempozyumu, pp. 295-301, 2019.





## Akarsu Tipi Hidroelektrik Santraller ve Bu Santrallerde Kullanılan Türbin-Generatörler

### Run of river Hydroelectric Power Plants and Turbine-Generators Used In These Power Plants

Mehmet Semih ÖZDEMİR<sup>a</sup> , Adem DALCALI<sup>a</sup> , Cemil OCAK<sup>b</sup> 

<sup>a</sup>Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bandırma/Balıkesir, Türkiye

<sup>b</sup>Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Ankara

msemihozdemir@hotmail.com, adalcali@bandirma.edu.tr,  
cemilocak@gazi.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

#### ARTICLE INFO

##### Article history

Received :22 September 2020

Accepted :20 October 2020

##### Keywords:

River type HEPP, renewable energy, Turbine, Hydroelectric power plant

#### ABSTRACT

With the increasing population and developing technology, the energy demand is increasing day by day. There is an increasing interest in using renewable energy sources in order to ensure energy supply security and diversify energy. Hydroelectric power, which is a type of renewable energy sources has attracted attention for their potential in Turkey. In hydroelectric power plants, the hydraulic turbine and generator are the most important parts of the system. The proper selection of these elements affects the total efficiency of the system. While selecting and sizing the turbine, technical details such as head, flow rate and specific speed are taken into consideration, as well as the cost and condition of the installation site. In this study, the energy outlook in Turkey has been investigated. Then, hydroelectric power plants are classified according to their power and river type power plants examined in detailed. Finally, the issues to be considered in the selection of turbines and generators in power plants and the operating characteristics of the turbines are given.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

#### MAKALE BİLGİSİ

##### Makale Tarihleri

Gönderim :22 Eylül 2020

Kabul :20 Ekim 2020

##### Anahtar Kelimeler:

Nehir tipi HES, yenilenebilir enerji, Türbin, Hidroelektrik santral

#### ÖZET

Artan nüfus ve gelişen teknoloji ile enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Enerji arz güvenliğinin sağlanması ve enerjinin çeşitlendirilmesi amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına olan ilgi artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının bir türü olan hidroelektrik enerji Türkiye'deki potansiyeli açısından dikkat çekmektedir. Hidroelektrik santrallerde, hidrolik türbin ve generatör sistemin en önemli parçalarındandır. Bu elemanların doğru bir şekilde seçimi sistemin toplam verimini etkilemektedir. Türbin seçimi ve boyutlandırılması gerçekleştirilirken düşü, debi, özgül hız gibi teknik detaylar dikkate alındığı gibi maliyet ve kurulum sahasının durumu da dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada ilk olarak Türkiye'nin enerji görünümü incelenmiştir. Hidroelektrik santraller güçlerine göre sınıflandırılarak akarsu tipi santraller detaylı olarak incelenmiştir. Santrallerde, türbin ve generatör seçiminde dikkat edilecek hususlar ve türbinlerin çalışma özellikleri verilmiştir.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.



## 1. GİRİŞ

Fosil yakıt kaynaklarının tükenme eğiliminde olması, artan çevresel kaygılar ve nüfus yoğunluğu nedeniyle enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bu artış nedeniyle enerji arz güvenliği kritik bir sorun haline gelmiştir. Yenilenebilir enerji; ucuz, yerel ve çevre dostu olan bir enerji türü olarak enerji arz güvenliğinin ve enerji çeşitliliğinin sağlanması için önemli bir kaynaktır. Yenilenebilir enerji yeryüzünde sürekli halde devam eden atmosferik olaylardan ve bu olaylara etkisi olan diğer etmenlerden elde edilen bir enerji çeşididir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr, jeotermal, gelgit, biyokütle, güneş, hidrolik kaynakları doğada sürdürülebilir olarak bulunur [1].

2019 yılında ilk olarak Çin'in Wuhan şehrinde görülen ve kısa sürede tüm dünyayı etkisi altına alan Covid-19 pandemisi, yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminin ne kadar önemli olduğunu ortaya koymuştur. Pandeminin tüm dünya genelinde bir anda yayılması ve ülkelerin aldığı sıkı tedbirlerden sonra çevre kirliliği oranındaki büyük azalış insanoğlunu sağlıklı bir dünya yaşamı için yenilenebilir enerji kullanımına yönlendirmektedir. Temiz enerji olarak dile getirilen bu sistemlerinin az bakım personeli ile enerji üretimini gerçekleştirmesi, kaynakların önemini daha da arttırmaktadır. Bu süreçte sistem kurulumu için gerekli olan ekipmanların tedariki konularını sorunları yaşansa da yine de mevcut yenilenebilir sistemler enerji üretimlerindeki yerlerini korumuşlar ve yenilenebilir enerji sektörü yatırım ve yatırıma yönelim planlaması yukarı yönde ivme kazanmıştır [2]. Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi konusunda hidrolik sistemlerin tüm dünyada olduğu gibi, ülkemizde de enerji üretiminde ön planda bulunmaktadır [3]. Hidroelektrik santraller (HES) güçlerine göre büyük ve küçük ölçekli olarak sınıflandırılırlar. Büyük ölçekli HES'lerin ilk yatırım maliyetinin yüksek, inşaat sürelerinin uzun olması ve su depolama alanlarının bölgedeki yaşamı olumsuz etkilemesi gibi dezavantajları mevcuttur. Küçük HES'lerde ise baraj inşa etmek gibi bir durum söz konusu olmadığından büyük HES'lere nazaran daha düşük maliyet ve inşaat zamanı avantajı bulunmaktadır. Ayrıca bu santrallerde baraj gölü için depolama olmadığından çevreye daha az zarar verilmektedir [4,5].

Çalışmanın ikinci kısmında Türkiye'nin mevcut enerji durumu incelenmiştir. Üçüncü bölümde hidroelektrik enerji ve akarsu tipi HES'lerin özellikleri ve Türkiye'deki durumu hakkında bilgi verilmiştir. Bir sonraki bölümde hidroelektrik santrallerde türbin seçim kriterleri değerlendirilmiş ve generatör seçimi hakkında teknik detaylandırılmada bulunmuştur. Çalışmanın son kısmında genel bir değerlendirme yapılmıştır.

## 2. TÜRKİYE'DE ENERJİNİN GÖRÜNÜMÜ

Türkiye'nin enerjiye olan ihtiyacı nüfus, sanayileşme, kalkınma ve gelişme hızıyla doğru orantılı olarak artmaktadır. Nüfus ve sanayi üretimindeki artış önümüzdeki on yıl içerisinde enerji ihtiyacının mevcut değerlere göre %4,5 artması öngörülmektedir [6]. 2015–2019 yılları arasında Türkiye'nin toplam kurulu güç ve yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretim tesislerinin kurulu güçleri Tablo 1'de verilmiştir [7].

**Tablo 1.** Türkiye'nin Kurulu Gücü

Yıllar	Yenilenebilir Enerji (GW)	Toplam (GW)
2015	31	73
2016	34	78
2017	38	85
2018	42	90
2019	42	91

Son 5 yıla ait kaynak bazlı enerji üretim miktarı ve toplam üretimdeki payı Tablo 2'de verilmektedir [8].

**Tablo 2.** Yıllara Göre Enerji Üretim Miktarları

Yıllar	Yenilenebilir Kaynaklar (GWh)	Fosil kaynaklar (GWh)
2015	81653,89	174187,67
2016	88526,53	181272,48
2017	81264,19	205787,15
2018	90137,744	202907,48
2019	121512,75	167861,85

Yenilenebilir kaynaklarından enerji üretiminin 2015 yılında toplam enerji üretimindeki oranı %32 iken bu oran 2019 yılında %42 olarak gerçekleşmiştir. Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretim oranının artıyor olması temiz ve yerel bir kaynak olması açısından önem arz etmektedir. 2020 yılı içerisinde temmuz ayı itibariyle kümülatif olarak elektrik enerjisi üretiminin kaynak bazlı dağılımı Tablo 3'te sunulmuştur [8]. Kaynak bazında kümülatif olarak elektrik üretiminde fosil kaynaklı yakıtlardan enerji üretimi oranı %62 iken yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi %38 oranında gerçekleşmiştir.

**Tablo 3.** 2020 Yılı Temmuz Ayı İtibariyle Kümülatif Enerji Üretim Kaynakları

	Kaynak türü	Üretim Miktarı (MWh)	Üretimdeki Payı (%)
<b>Fosil kaynaklar</b>	Doğalgaz	115107,39	17
	İthal kömür	174770,44	26
	Linyit	118243,34	17
	Asfaltit Kömür	6385,23	1
	Taş Kömürü	7903,32	1
<b>Yenilenebilir kaynaklar</b>	HES (Akarsu)	41536,25	6
	HES (Barajlı)	105589,67	16
	Rüzgâr	70138,72	10
	Jeotermal	27629,9	4
	Atık	11674,49	2

Türkiye gelişmekte olan bir ülke olarak, enerjiye olan talebini de sürekli arttırmaktadır. Bu durum, dışa bağımlı olduğu fosil enerji kaynaklarının sürekli ve daha fazla ithalatına dolayısıyla da cari açığın artmasına neden olmaktadır. Toplam ithalatımız içerisinde büyük bir paya sahip olan doğalgaz ithalatı 2019 yılı için yaklaşık 45211 milyon Sm<sup>3</sup> olarak gerçekleşmiştir [9]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması ile cari açığın azalmasına katkı sağlanabilir. Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları açısından yeryüzünde coğrafi konumu elverişli olan bir ülkedir. Orta iklim kuşağında ve üç yanının denizlerle çevrili olması güneş, rüzgâr, akarsu ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları yönünden zengin olmasını sağlamaktadır [10]. Dağların ortalama yükseltisinin fazla olması, kuzey ve güney dağlarındaki yüksek eğim oranı ve bol derecede su kaynağına sahip olması, Türkiye’de hidrolik kaynaklardan elektrik enerjisi üretimini doğru bir karar olarak ön plana çıkarmaktadır. 2020 Temmuz ayı kümülatif elektrik enerjisi üretiminde hidrolik sistemlerden elektrik üretimi toplam üretimin yaklaşık %22’sidir. Bu oranın yaklaşık %16’lık kısmını baraj tipi HES’ler oluştururken, geri kalan %6’lık kısmını ise akarsu tipi HES’ler oluşturmaktadır [8]. Akarsu tipi HES’ler, baraj tipi HES’lerden farklı ve daha düşük güç değerlerine sahip hidroelektrik santrallerdir.

### 3. HİDROELEKTRİK ENERJİ VE AKARSU (NEHİR TİPİ) HES’LER

Elektrik enerjisi tüketim miktarı ülkelerin kalkınma düzeyleri, gelişmişlikleri, refah düzeyleri hakkında bilgi sağlamaktadır. Gelişmekte olan ülkelerin enerji üretimleri, kurulu güçleri talebi karşılamak amacıyla sürekli artış göstermektedir. Bu artışın karşılanması ve enerji arz güvenliğinin sağlanması için kaynakların çeşitlendirilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi önemlidir. Fosil kaynakların hızla tükenmesi ülkeleri sahip oldukları yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir [11]. Yenilenebilir kaynaklar içerisinde hidroelektrik enerji ülkemiz için en önemli kaynaklardan biridir. Hidroelektrik enerji santralleri dünyada en fazla kullanılan santrallerdir. Dünyadaki elektrik enerjisinin %19’luk kısmını sağlamaktadır [12,13]. Türkiye 2018 yılı içerisinde 1085 MW yeni hidroelektrik enerjisi üretim sistemleri kurulumu ile dünyada 4’üncü sırada, 2019 yılında ise 219 MW’lık yeni kurulum ile dünyada ilk on ülke içerisinde yer almıştır. Dünyanın toplam kurulu hidroelektrik kapasitesi 2020 yılı itibariyle yaklaşık 1300 GW’tır [14]. Hidroelektrik enerjinin elde edildiği şekli literatürde iki şekilde açıklanmaktadır. İlki, suyun bir gölette toplanıp, depolanarak; baraj oluşturularak elde edilmesi, diğeri ise baraj kurulmadan sadece akarsuların akış hızından faydalanarak elde edilmesidir. Türkiye genelinde hidroelektrik santrallerden enerji üretimi yaygın olup, baraj tipi ve akarsu tipi santraller ülke geneline yayılmış durumdadır. 2020 yılı itibariyle Türkiye’de bulunan santrallerin enerji kaynakları bakımından adetleri, kurulu güç toplamları Tablo 4’te verilmiştir [15].

**Tablo 4.** 2019 Aralık Sonu İtibariyle Santral Kurulu Güçleri

	Kaynak Türü	Ülkemizdeki Santral Sayısı	Kurulu Güç (MW)
<b>Fosil kaynaklar</b>	Doğalgaz	332	25902
	İthal kömür	15	8966
	Fuel Oil	11	305
	Linyit	48	10101
	Taşkömür	4	810
	Asfaltit	1	405
<b>Yenilenebilir Kaynaklar</b>	HES Akarsu	558	7860
	HES Barajlı	124	20642
	Biyokütle	181	801
	Güneş (Fotovoltaik)	6901	5995
	Jeotermal	54	1514
	Rüzgâr	275	7591

Tablo 4 hidroelektrik enerji açısından incelendiğinde akarsu tipi hidroelektrik santrallerin kurulu gücünün toplam hidroelektrik santrallere oranının yaklaşık %28 ve ülkedeki toplam kurulu güce oranının ise yaklaşık %8 olduğu görülmektedir. Türkiye'nin teorik hidroelektrik potansiyel yaklaşık 433 milyar kWh seviyesindedir ve bu potansiyel ile Türkiye, Avrupa Birliği içerisindeki toplam potansiyelin yaklaşık %18'ine sahiptir [16].

Hidroelektrik santralleri güçlerine göre sınıflandırılabilir. Literatürde gücü 100 MW'dan fazla olanlar büyük güçlü hidroelektrik santral, 15-100 MW aralığında orta güçlü hidroelektrik santral, 1-15 MW aralığında küçük güçlü hidroelektrik santral, 100 kW-1 MW aralığında mini güçlü hidroelektrik santral, 5kW-100 kW aralığında mikro hidroelektrik santral ve kurulu gücü 5 kW'dan az olan santraller ise piko hidroelektrik santraller olarak sınıflandırılmaktadır [17-19].

Su kaynaklarının dağınık olması, debisi, dağ ya da vadi eğimlerinin durumu, jeolojik koşullar gibi pek çok doğal etken hidroelektrik santrallerin barajlı ya da depolamasız (akarsu tipi) türde olmasını belirlemektedir. Bu doğal etkenlerin yanı sıra kullanım amaçları, enerji iletim hatlarının maliyeti gibi teknik ve mali sebepler de bu konuda belirleyici olabilmektedir. Depolamalı tip hidroelektrik santrallerin sayısı 2019 yılı sonu itibarıyla 124 olup, kurulu gücü ise yaklaşık 21 GW'tır [14]. Ülkemizde önemli su kaynakları üzerine kurulan depolamalı santraller, büyük havzalardaki su potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle elektrik enerjisi elde edilmesini sağlamaktadır [20]. Yüksek debili olan akarsularda, ırmaklar üzerinde veya büyük akarsuların kolları üzerinde bulunan nehirlerde, eğimin de varlığıyla birlikte hidrolik enerji genel olarak depolamasız olarak akarsu tipi santrallerde değerlendirilebilir. Depolamasız hidroelektrik santraller akarsu, dalga ve gel-git gibi hareket halindeki su kaynaklarından yararlanarak çalıştırılır. Ancak yaygın kullanım alanı akarsulardır. Akarsu santrallerde su, baraj veya depolama yapılmadan bir kanal ya da tünel yardımıyla hız kazanarak türbin üzerine düşürülür. Türbin üzerine düşürülen suyun kinetik enerjisi türbin-generatör sistemi ile elektrik enerjisine çevrilir. Akarsu tipi HES'ler, genelde küçük güçlü enerji üretim santralleridir. Enerji ulaştırmanın zor olduğu dağlık, engebeli bölgelerde akarsu tipi hidroelektrik santraller diğer enerji üretim çeşitlerine göre avantaj sağlamaktadırlar. İnşaat süresi kısa ve kuruluş maliyeti düşük olan akarsu tipi HES'ler enterkonnekte sistemin yükünü hafifletirler ve uzun iletim hatlarında meydana gelecek enerji kayıplarını da önlerler [21]. Türkiye'de 2019 yılı sonu itibarıyla 558 adet kayıtlı akarsu tipi hidroelektrik santral bulunmaktadır. Akarsu tipi HES'lerin doğal yaşama zararları depolamalı tipi HES'lere nazaran çok daha azdır. Kuruluş maliyetlerinin düşüklüğü, bölgesel uygulanabilirliği, doğa dostu olmaları bu tip santrallerin sayısının her geçen gün arttırmaktadır [15].

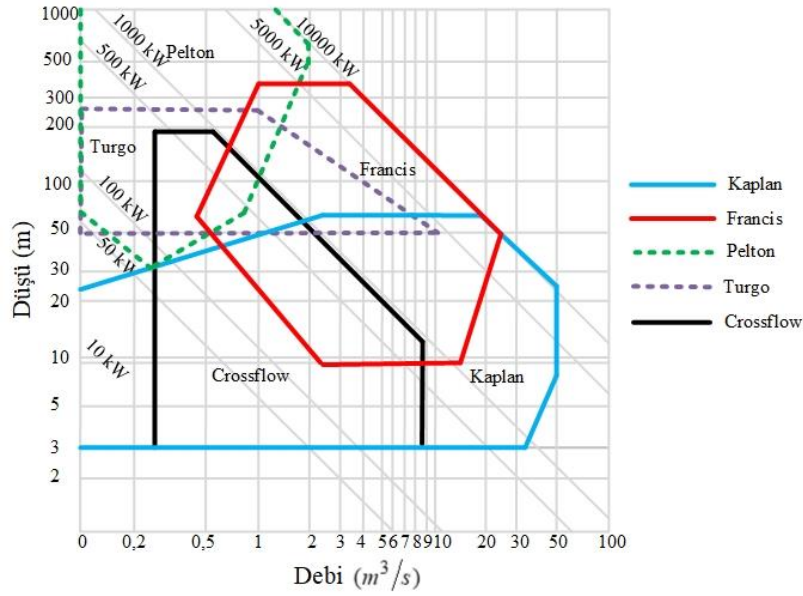
#### 4. AKARSU TİPİ HES'LERDE KULLANILAN TÜRBİN-GENERATÖRLER

Hidrolik enerji üretim tesislerinde, suyun kinetik enerji hidrolik türbin vasıtasıyla mekanik enerjiye dönüştürülür. Hidrolik sistemlerde kullanılan türbinler düşüye, türbin çıkış güçlerine, türbin milinin durumuna, suyun akış doğrultusuna ve suyun etki şekline göre sınıflandırılabilir. Hidrolik türbinler kullanım amaçlarına göre etki ve tepki tipi türbinler olarak sınıflandırılabilir. Etki tipi türbinler; Pelton, Turgo, Banki tipi türbinler iken tepki tipi türbinler; Kaplan ve Francis türbinleridir. Etki tipi türbinlerde kanatlar suyun içinde bulunmaz ve boru / kanal vasıtasıyla getirilen su püskürtme şeklinde türbine aktarılır, dönme kuvveti oluşturularak türbin çalıştırılır. Tepki (reaksiyon) tipi türbinler, etki türbinlerine göre aynı düşü ve debide daha hızlı dönerler. İmalatları daha güç olan bu türbinler etki türbinlerine göre daha kompleks yapıdadır ve bu sebepten küçük güçlerdeki hidroelektrik santrallerde tercihi azdır. Yüksek debili santrallerde ve akarsularda verimi yüksektir [22-24].

Akarsu tipi santrallerde suyun depolanması söz konusu olmadığından, elektrik enerjisinin üretimi nehirden yeterli su mevcut olduğundan üretilir. Bu santraller; şebekeden bağımsız olabileceği gibi şebeke ile bağlantılı olarak da çalışabilir. Akarsu tipi hidroelektrik santrallerde türbin ve generatör seçimi hususunda; suyun debisi, düşüş yüksekliği, eğimi, kurulacak santralin büyüklüğü, proje kurulu güç hesapları gibi faktörler etkilidir [25]. Santrallerde üretilen güç Denklem 1 yardımıyla hesaplanır [21].

$$P = \eta \cdot H \cdot Q \cdot \gamma \quad (1)$$

Denklemden  $P$  türbin güç (W),  $\eta$  toplam verim,  $H$  düşü (m),  $Q$  debi ( $m^3/s$ ),  $\gamma$  suyun özgül ağırlığını ifade etmektedir. Denklem 1'e göre hidroelektrik güç suyun debisi ve düşüsü ile doğrusal orantılıdır. Su akımından elde edilebilecek hidroelektrik enerji potansiyelini değerlendirebilmek için, su debisinde yıl içinde meydana gelebilecek değişimlerin ve elde edilebilecek düşünün bilinmesi gerekir. Debi ve düşü değerlerine göre türbin seçimi Şekil 1'de verilen çalışma bölgeleri dikkate alınarak seçilebilir [26].



Şekil 1. Debi ve düşü değerine göre türbin seçim kriterleri

Pelton tipi türbinler 50-1300 m, Turgo tipi türbinler 50-250m, Banki tipi türbinler 5-200 m, Francis tipi türbinler 25-350 m ve Kaplan tipi türbinler 2-40 m düşüde kullanılabilirler. Türbin seçimi gerçekleştirilirken sadece debi ve düşü değerleri dikkate alınarak teknik bir seçim yapmak yeterli bir adım değildir. Bununla birlikte santrallerin kurulum sahasının özellikleri türbin seçimini büyük oranda etkilemektedir. Türbin seçiminde önemli olan diğer bir parametrede  $n_s$  olarak ifade edilen ve Denklem 2’de verilen özgül hızdır.

$$n_s = \frac{n\sqrt{Px1.358}}{H^{5/4}} \quad (2)$$

Denklemden  $n_s$  türbinin özgül hızı (d/d),  $n$  türbinin anma hızı (d/d),  $P$  türbin gücü (kW),  $H$  düşüyü (m) ifade etmektedir [26]. Özgül hız değerlerine göre türbin çeşitlerinin sınıflandırılması Tablo 5’te verilmiştir [27].

Tablo 5. Türbinlerin özgül hızı göre sınıflandırılması

Türbin Tipi	Özgül Hız (d/d)
Pelton	12-30
Turgo	20-70
Banki	20-80
Francis	80-400
Kaplan	340-1000

Akarsu tipi hidroelektrik santraller için tablodaki değerler göz önüne alınarak özgül hızı düşük yerlerde Pelton, Banki ve Turgo tipi türbinlerin kullanımı uygun olacaktır. Akarsu tipi hidroelektrik santrallerde ayrıca hızı daha yüksek olan yerlerde Francis türbinler de kullanılabilir. Türbinin dönüş hızı, suyun türbine düştüğü yüksekliğin karekök oranıyla doğru orantılı olarak değiştiğinden dolayı literatürde genel olarak 10 metre düşü yüksekliğinin altındaki hidroelektrik santrallerde alçak düşü kabul edilir ve tepki türbinleri seçilir. Daha yüksek düşü ile çalıştırılması düşünülen santrallerde ise etki türbinlerinin kullanılması uygun görülür. Genel olarak büyük hidroelektrik santrallerde ve mikro uygulamalı sistemlerde Pelton tipi türbin, alçak düşü ve küçük kurulu güce sahip santrallerde Banki tipi türbinler tercih edilir. Turgo tip türbinler Pelton türbinlere göre kanat yapılarının bir avantajı olarak daha fazla su tutup, daha yüksek devirli sistemlerde kullanılabilirler [24]. Düşü, debi ve özgül hızın dışında türbinin verimlilik eğrisi de türbin seçiminde önemli bir kriterdir. Tepki tipi türbinler, düşük yükler için yüksek verimlilik, Pelton tipi türbinler ise geniş yük aralığında yüksek verimlilik sağlamaktadırlar. Francis ve kaplan türbinleri dar yük aralığında anma yükü ve üstünde yüksek verimlilik sağlamaktadırlar. Banki tipi türbinler, genel olarak en düşük verim değerini sergileyen türbinlerdir [25].

Akarsu tipi HES’lerde elektrik üretimi için kullanılacak generatörün seçimi ise kurulması planlanan santralin gücüne ve kullanılacak türbin hızına göre belirlenir. Özellikle düşük hızlı türbinlere sahip mini ve mikro ölçekli

(1000 kW, 100 kW) santrallerde çıkık kutuplu senkron generatörler yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda ise sürekli mıknatıslı senkron generatörlerin kullanımı hızla artmaktadır. Sürekli mıknatıslı senkron generatörlerin kullanıldığı santrallerde şebeke entegrasyonu, generatörün anma gücünden küçük olmayacak güç değerlerindeki eviriciler vasıtası ile sağlanmaktadır. Böylelikle hız ve yüke bağlı gerilim ve frekans değerleri şebeke değerlerine sabitlenebilmekte ve hemen hemen her hız ve yük değerinde şebekeye enerji aktarılabilir. Evirici kullanımı santralin toplam enerji üretim miktarını arttırmakla beraber yüksek ilk kurulum maliyetine sebep olmaktadır. Mikro ve piko ölçekli santrallerde kullanılan diğer bir generatör çeşidi ise asenkron generatörlerdir. Kısa devre çubuklu asenkron generatörler düşük maliyetleri, kolay temin edilebilmeleri ve çoğu zaman ise standart bir motorun generatör olarak kullanılması sebebi ile tercih edilmektedir. Bu generatörlerin kullanıldığı santrallerde gerilim ve frekans kararlılığı sağlanabilmesi için balast (genellikle rezistif yük grubu) yükleri ve bu yükleri kontrol eden bir kumanda panosu bulunmaktadır. Türbin seçmek söz konusu olduğunda bir diğer yünden türbin ve generatörün hızı da önem arz etmektedir. Türbin ve generatör hızlarının aynı olması durumunda ikisi arasında bir kavrama yapılarak birbirine montaj edilirler. Büyük güçlerde ise rotorun yavaş dönmesine karşılık 50 Hz frekansa sahip gerilim elde etmek için generatörün kutup sayısı artırılır ve türbin generatöre bağlanır. Mini ve mikro HES’lerde senkron, asenkron ve doğru akım generatörleri tercih edilirler. Senkron veya asenkron generatörlerle ulusal enterkonekte sisteme enerji akışı sağlanabilir. Daha küçük kırsal projelerde ise genelde doğru akım generatörler projelerde yer alır [28, 29].

## 5. DEĞERLENDİRME

Enerji tüketiminin gün geçtikçe arttığı dünyamızda fosil kaynakların tükenme eğiliminde olması, çevre kirliliğinin artması, küresel düzeyde iklim değişiklikleri ülkeleri yeni ve temiz enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. 2019 yılının son aylarında hayatımıza giren Covid-19 pandemisi bizlere yeryüzünü tahrip etmenin doğuracağı sonuçları bir kez daha açıkça göstermiştir. Doğa dostu, temiz ve yerel enerji kaynakları ile enerji üretimi yenilenebilir enerji kaynakları ile sağlanabilmektedir. Türkiye, su kaynaklarının bol olduğu ve hidrolik kaynaklı elektrik üretimine uygun olan bir konumdadır. Su kaynakları ülke geneli yayılmış durumda olup küçük akarsular ve büyük nehirlerden oluşmaktadır. Enerji üretiminde hem akarsu tipi hem de depolamalı tip hidroelektrik santraller ülkemizde kullanılmakta olup enerji ihtiyacını yüksek oranda karşılamaktadırlar. Akarsu tipi santraller inşaat süresi ve maliyet açısından depolamalı santrallere nazaran avantajlı durumdadır. Bu santrallerin kurulumunda türbin ve generatör seçimi toplam sistem verimini etkilemektedir. Türbin seçimi ve boyutlandırılması gerçekleştirilirken düşü, debi, özgül hız gibi teknik detaylar dikkate alındığı gibi maliyet ve kurulum sahasının durumu da dikkate alınmalıdır. Akarsu tipi HES’lerde generatörün seçimi yapılırken ise santralin gücü ve kullanılacak türbin hızına göre generatör tipi belirlenir. Düşük güç ve hız değerlerine sahip HES’lerde çıkık kutuplu senkron generatörler sıklıkla tercih edilmektedir. Bu santrallerde maliyet faktörü göz ardı edildiğinde sabit mıknatıslı senkron generatör tipleri de yüksek verim ve kompakt bir yapı sunduğundan tercih edilebilmektedir. Maliyet eksenli kurulumlarda ise asenkron generatörler, sağlamlık ve kolay erişebilirlik avantajı sunmaktadırlar.

## KAYNAKÇA

- [1] A. L.R Jackson, “Renewable energy vs. biodiversity: Policy conflicts and the future of nature conversation” Global Environmental Change, vol. 21, no. 4, pp. 1195-1208., October, 2011.
- [2] H. Özbay and A. Dalcalı, “COVID-19 effect on electric energy consumption in Turkey and ANN based short term forecasting”, unpublished.
- [3] W. Ali, H. Farooq, A.U. Rehman, M. Jamil, Q. Awais, A. Mohsin, Grid interconnection of micro hydro power plants: major requirements, key issues and challenges. International Symposium on Recent Advances in Electrical Engineering, Islamabad, 2018.
- [4] L. Belhadji, S. Bacha, D. Roye, “Modeling and control of variable-speed micro-hydropower plant based on axial-flow turbine and permanent magnet synchronous generator (MHPP-PMSG)”, 7th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Melbourne, 2011.
- [5] S. Zeb, M. Ali, A. Mujeeb, H. Ullah, “Cost efficient mini hydro plant with low water head whirlpool design methodology for rural areas (micro hydro whirlpool power plant)”, 2nd International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies, Pakistan, 2019.
- [6] EPDK, “Elektrik piyasası sektör raporu.” Ankara, 2018.
- [7] TEİAŞ, “Türkiye elektrik üretim iletim istatistikleri.” Ankara, 2015-2019.
- [8] EİGM, “İstatistik raporları.” Ankara, 2019.
- [9] EPDK, “2019 yılı doğalgaz piyasası sektör raporu.” Ankara, 2019.
- [10] M.Yılmaz, “Türkiye’nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi”, Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, cilt 4, sayı 2, syf. 33-54, 2012.



- [11] International Energy Agency (IEA), “Renewables 2019”, October, 2019.
- [12] J.A. Laghari, H. Mokhlis, A.H.A. Bakar, H. Mohammad, “A comprehensive overview of new designs in the hydraulic, electrical equipments and controllers of mini hydro power plants making it cost effective technology”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 20(C), pp. 279-293, 2013.
- [13] J.L.S. Villarreal, P.G. Avalos, F.J.D. Mota, “Estimate electrical potential of municipal wastewater through a micro-hydroelectric plant”, IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing, Mexico, 2018.
- [14] International Hydropower Association (IHA), “2019 hydropower status report.”, May, 2019.
- [15] TEİAŞ, “Aralık 2019 kurulu güç raporu.” Ankara, 2019.
- [16] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), “2018 yılı faaliyet raporu” Ankara, 2019.
- [17] YEGM, “Hidrolik Enerji Nedir?”, Ankara, 2019.
- [18] S.O. Anaza, M.S. Abduazeez, Y.A. Yisah, Y.O. Yusuf, B.U. Salawu, S.U. Momoh, “Micro hydro-electric energy generation-an overview”, American Journal of Engineering Research (AJER), vol. 6, no. 2, pp. 5-12, 2017.
- [19] C.P. Jawahar, P.A. Michael, “A review on turbines for micro hydro power plant”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.72, pp 882-887, 2017.
- [20] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), “Hidroelektrik Enerji”, Ankara, 2020.
- [21] A. Dalcalı, E. Çelik ve S. Arslan, “Mikro ve mini hidroelektrik santralleri için mikrodenetleyici tabanlı bir elektronik governor sisteminin tasarımı”, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, cilt 28, sayı 2, syf. 130-135, Nisan, 2012.
- [22] European Small Hydropower Association, “Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant”, 2004.
- [23] H. Sharma and J. Singh, “Run off river plant: status and prospects”, International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, vol. 3, iss. 2, pp. 210- 213, July, 2013.
- [24] B.Mercan “Orta ölçekli hidroelektrik enerji tesislerinin incelenmesi için örnek bir çalışma -bağışlı regülatörü ve HES”, İTÜ, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [25] V. Yıldız, “Numerical simulation model of run of river hydropower plants: concepts, numerical modeling, turbine system and selection, and design optimization”, M. Sc. Thesis, University of California, California, USA, 2015.
- [26] S.Sangal, A.Garg, D.Kumar, “Review of optimal selection of turbines for hydroelectric projects”, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, vol. 3, no. 3, pp. 424-430, March, 2013.
- [27] O.Bınarbaşı, “Mikro hidroelektrik santraller için mikro işlemci tabanlı hız regülatörü sisteminin gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2015.
- [28] Y. Aslan, C. Yaşar, M. Ç. Karabörk., “Bir mikro-hidro örneği: Kayaboğazı barajı”, ELECO International conference on electrical and electronics eng., Aralık, 2004.
- [29] M.T. Özdemir, A.Orhan, M.Cebeci “Çok küçük hidroelektrik potansiyellerin enerji üretim amacı ile yerel imkanlarla değerlendirilmesi”, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu 2011.