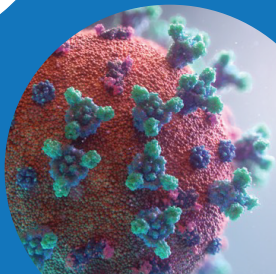


GAZI  
JOURNAL OF  
ENGINEERING  
SCIENCES



---

#### EDİTÖR / EDITOR - IN – CHIEF

**İsmail ŞAHİN**

Gazi University, Ankara, Turkey  
e-mail: [editorgjes@gmail.com](mailto:editorgjes@gmail.com)

---

#### YARDIMCI EDİTÖRLER / ASSOCIATE EDITORS

**Harun GÖKÇE**

TUBİTAK - SAGE  
e-mail: [harungokce@yahoo.ca](mailto:harungokce@yahoo.ca)

**Murat DÖRTERLER**

Gazi University  
e-mail: [murat@4erler.net](mailto:murat@4erler.net)

**Cemal YILMAZ**

Gazi University  
e-mail: [cemal@gazi.edu.tr](mailto:cemal@gazi.edu.tr)

---

#### EDİTÖRLER KURULU / EDITORIAL BOARD

**Alper BÜYÜKKARAGÖZ**

Gazi University  
e-mail: [karagoz@gazi.edu.tr](mailto:karagoz@gazi.edu.tr)

**Halil KARAKOÇ**

Hacettepe University  
e-mail: [halil.karakoc@hacettepe.edu.tr](mailto:halil.karakoc@hacettepe.edu.tr)

**Hüseyin GÖKÇE**

Çankırı Karatekin University  
e-mail: [huseyingokce@karatekin.edu.tr](mailto:huseyingokce@karatekin.edu.tr)

**M. Hanefi CALP**

Karadeniz Technical University  
e-mail: [hcalp25@hotmail.com](mailto:hcalp25@hotmail.com)

**Mustafa GÜNAY**

Karabük University  
e-mail: [mgunay@karabuk.edu.tr](mailto:mgunay@karabuk.edu.tr)

**Tayfun MENLİK**

Gazi University  
e-mail: [tmenlik@gazi.edu.tr](mailto:tmenlik@gazi.edu.tr)

---

#### YAYIN DANIŞMA KURULU / ADVISORY BOARD

**Adnan SÖZEN**

Gazi University, Turkey

**Andrew PINKERTON**

Lancaster University, İngiltere

**Bekir Sami YILBAŞ**

King Fahd University, Sudia Arabia

**Farzollah MIRZAPOUR**

University of Zanjan, Iran

**Herbert M. REYNOLDS**

Michigan State University, ABD

**Jamal KHATIB**

University of Wolverhampton, England

**John KINUTHIA**

University of South Wales, England

**Jonathan C. BORG**

University of Malta, Malta

**Hossam KISHAWY**

University of Ontario Technology, Canada

**Kürşad SEZER**

Gazi University, Turkey

**Majid MEGHDADI**

University of Zanjan, Iran

**Mustafa KURT**

Gazi University, Turkey

**Nowruz ALLAHVERDİ**

Karatay University, Türkiye

**Reza Negarastani**

RIETEX, England

**Salman NISAR**

National University of Sci. and Tech., Pakistan

**Shahin JALILI**

Tebriz University, Iran

**Şakir TAŞDEMİR**

Selçuk University, Turkey

**Tahsin Tecelli ÖPÖZ**

John Moores University, England

**Yasir JOYA**

GIK Institute, Pakistan

---

**DİL EDITÖRLERİ / LANGUAGE EDITORS**

**Türkçe/Turkish:** V. Savaş YELOK (Hacı Bayram Veli University)  
**İngilizce/English:** H. Kürşad SEZER (Gazi University)

**TEKNİK SORUMLU / TECHNICAL RESPONSIBLE**

**Neslihan TOP**

Gazi University, Ankara, Turkey  
e-mail: [editorgjes@gmail.com](mailto:editorgjes@gmail.com)

---

**BU SAYININ HAKEMLERİ / REVIEWER OF THIS ISSUE**

Abdulkadir KARACI	Mehmet Emre GÜLER
Abdullah Erdal TÜMER	Muhammed ELİTAŞ
Abidin ŞAHİNOĞLU	Mustafa YAĞCI
Adel. M. SHARAF	Onder KOÇYİĞİT
Emir Hüseyin ÖZDER	Sakine KIRATLI
Gökhan ALTAN	Serhat KARAP
Gültekin UZUN	Seyfi ŞEVİK
Mahendra SAHA	Şafak ATAŞ
Mehmet EKİCİ	Zeliha SELEK

**Gazi Journal of Engineering Sciences has been published three issues per year by Gazi Publishing**

**CORRESPONDENCE ADDRESS :**

Gazi Akademik Yayıncılık  
Gazi Üniversitesi Gölbaşı Yerleşkesi Teknoplaza Binası Bahçelievler mahallesi,  
320. Sok., No: 3/B GÖLBAŞI / ANKARA  
Tel: +90-312-9113311 Fax: +90-312-9113312  
e-mail: [editorgjes@gmail.com](mailto:editorgjes@gmail.com)

## İÇİNDEKİLER / CONTENTS

<i>Yerel İkili Desenler Histogramları ile Covid-19 Tanılı Kişiler Üzerinde Kimlik Analizi ve Bildiri Sistemi</i> <i>Identification Analysis and Reporting System on People with Covid-19 Diagnosis with Local Binary Patterns Histograms</i>	
<b>Nuray KARADAĞ, Ali ÇETİNKAYA, Hakan AYDIN</b> .....	172-183
<i>Doğal Soğutucu Akışkan Kullanımında Gelişmeler</i> <i>Developments in Natural Refrigerant Usage</i>	
<b>Esra DEMİRCİ, Mehmet ÖZKAYMAK, Meltem KOŞAN, Ahmet Eren AKKOÇ, Mustafa AKTAŞ</b> .....	184-199
<i>Classification of Raisin Grains Using Machine Vision and Artificial Intelligence Methods</i> <i>Kuru Üzüm Tanelerinin Makine Görüşü ve Yapay Zeka Yöntemleri Kullanılarak Sınıflandırılması</i>	
<b>Ilkay CINAR, Murat KOKLU, Sakir TASDEMİR</b> .....	200-209
<i>Titreşim takozunun giyotin makas tezgâhında, titreşim yalıtımına etkisinin araştırılması</i> <i>Investigation of the effect of the vibration wedge on the vibration isolation of the guillotine shears machine</i>	
<b>Abdurrahman KARABULUT, Ahmet KÖKEN</b> .....	210-216
<i>Tanıtım Festivalinde Personel Çizelgeleme Problemi: Bir Uygulama</i> <i>The Staff Scheduling Problem at The Promotion Festival: An Application</i>	
<b>Ahmet CÜREBAL, Serkan KOÇTEPE, Tamer EREN</b> .....	217-229
<i>Comparison of IG and DFIG for Wind Power Generation Systems</i> <i>IG ve DFIG'lerin Rüzgar Gücü Üretim Sistemleri İçin Karşılaştırılması</i>	
<b>Mustafa Ergin ŞAHİN</b> .....	230-241
<i>AL 5083 Alüminyum Malzemeye Vida Açma İşleminde Kılavuz Geometrisi Etkisinin İncelenmesi</i> <i>Investigation of The Effect of The Tap Geometry on The Al 5083 Aluminium Material in Tapping</i>	
<b>Hüseyin GÖKÇE</b> .....	242-247
<i>Karadeniz Yağışlarının Kuzey Atlantik Salınımı ile İlişkisi</i> <i>Relationship of Black Sea Precipitation with North Atlantic Oscillation</i>	
<b>Cavit Berkay YILMAZ, Vahdettin DEMİR, Mehmet Faik SEVİMLİ</b> .....	248-254
<i>Kumaraswamy Inverse Lindley Distribution with Stress-Strength Reliability</i> <i>Kumaraswamy Gerilme-Dayanım Güvenilirliği ile Ters Lindley Dağılımı</i>	
<b>Saeed E. HEMEDA, Sukanta PRAMANIK, Sudhansu S. MAITI</b> .....	255-264

## Yerel İkili Desenler Histogramları ile Covid-19 Tanılı Kişiler Üzerinde Kimlik Analizi ve Bildiri Sistemi

Nuray KARADAĞ<sup>a</sup>, Ali ÇETİNKAYA<sup>\*,b</sup>, Hakan AYDIN<sup>c</sup>

<sup>a</sup> İstanbul Gelişim Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 34310, İSTANBUL, TÜRKİYE

<sup>b,\*</sup> İstanbul Gelişim Üniversitesi Teknoloji Transfer Ofisi Uygulama ve Araştırma Merkezi, 34310, İSTANBUL, TÜRKİYE

<sup>c</sup> İstanbul Gelişim Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 34310, İSTANBUL, TÜRKİYE

### MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 18.08.2020  
Kabul: 20.12.2020

#### Anahtar Kelimeler:

Yüz Tanıma,  
Kimlik Analizi,  
Covid-19,  
LBPH

#### \*Sorumlu Yazar:

e-posta: [alcetinkaya@gelisim.edu.tr](mailto:alcetinkaya@gelisim.edu.tr)

### ÖZ

Günümüzde birçok alanda kullanılan yüz tanıma sistemlerine işlevsellik katılarak varolan yüz tanıma sistemlerinden daha farklı bir sistem geliştirilmesi amaç edinilmiştir. Son zamanlarda Covid-19 pandemisi ile birlikte sokağa çıkma yasakları ve bu yasakların kontrolünde çekilen zorluklar göz önüne alınmış ve azaltılması amacıyla bu sistem geliştirilmiştir. Sistemde veri setinde kayıtlı Covid-19 tanılı kişinin sokağa çıkmasıyla kamera tarafından görüntülenmesi üzerine yetkili kişi veya kişilere e-posta gönderildiği bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan yazılımda ilk önce Haar-Cascades sınıflandırıcısı ile yüzü algılayıp sonra LBPH (Yerel İkili Desenler Histogramları) yöntemi kullanılarak yüz tanıma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem tanıtılan görüntünün her pikselini, etrafındaki diğer piksellerle eşleyerek etiketleme yapılması ile gerçekleşir. Bu etiketlemenin sonucu ikili sayı sistemine dönüştürülerek saklanır. Gerçek zamanlı olarak kameradan aldığı görüntüleri bu sayı ile karşılaştırarak yüzü tanımaya çalışır. Tanıma işleminde eğer kişi veri setinde daha önce kayıtlı ise “kırmızı” renkli çerçeveye alınır. Kayıtlı değilse “yeşil” renkli çerçeve içerisine alınır. Kamera tarafından tanınan kırmızı çerçeveli kişiler görüldüğü saat, tarih ve kimlik bilgisiyle yetkili kişilere bildirilir. Çalışma, 90 frame baz alınarak %84,5 başarı oranı, %15,5 hata oranına sahiptir.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.03.01>

## Identification Analysis and Reporting System on People with Covid-19 Diagnosis with Local Binary Patterns Histograms

### ARTICLE INFO

Received: 18.08.2020  
Accepted: 20.12.2020

#### Keywords:

Facial Recognition,  
Identity Analysis,  
Covid-19,  
LBPH

#### \*Corresponding

#### Authors

e-mail: [alcetinkaya@gelisim.edu.tr](mailto:alcetinkaya@gelisim.edu.tr)

### ABSTRACT

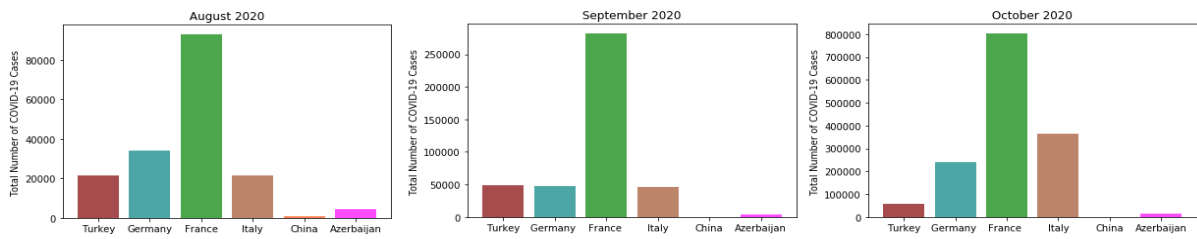
It is aimed to develop a different system than existing facial recognition systems by adding functionality to facial recognition systems used in many areas today. Recently, with the covid-19 pandemic, curfews and difficulties in controlling these bans have been taken into account and this system has been developed to reduce them. A study was carried out in which an email was sent to the authorized person or persons after the Covid-19 diagnosed person registered in the data set in the system was viewed by the camera when he went out on the street. In the designed software, face recognition is first performed using the Haar-Cascades classifier and then using the LBPH (Local Binary Patterns Histograms) method. This process occurs by tagging each pixel of the introduced Image by mapping it to other pixels around it. The result of this labeling is stored by converting it to a binary number system. He tries to recognize the face by comparing the images he receives from the camera in real time with this number. During the recognition process, if the person was previously registered in the data set, they are taken into the “red” color frame. If not registered, it is enclosed in a “green” colored frame. People with red frames recognized by the camera are notified to authorized persons by the time, date and identification information they are seen. Based on 90 frames, the study has a success rate of 84.5% and an error rate of 15.5%.

Bu makaleye atıf yapmak için: N. Karadağ, A. Çetinkaya ve H. Aydın, “Yerel İkili Desenler Histogramları ile Covid-19 Tanılı Kişiler Üzerinde Kimlik Analizi ve Bildiri Sistemi,” *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 6, sayı 3, s. 172-183, Aralık, 2020, doi: <https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.03.01>.

## 1. INTRODUCTION (GİRİŞ)

Bu çalışmada, yüz tanıma sistemlerinin genel yapısı incelenmiş ve inceleme sonucunda pratik bir yüz tanıma sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen yüz tanıma sistemi ile kameradan anlık olarak kişilerin yüzlerinin tanınması ve Covid-19 tanılı kişilerin kimlik analizinin yapılması sonucunda sistem tarafından yetkili kişilere e-posta ile bilgi verilmesi sağlanmıştır. Bu şekilde virüsün yayılmasının kontrol altına alınması amaç edinilmiştir.

COVID-19, ilk olarak Çin'de 13 Ocak 2020'de tanımlanan bir virüstür. Koronavirüsler; tek zincirli, zarflı RNA virüsleri dir. En belirgin belirtileri ise ateş, öksürük ve nefes darlığıdır. İnsanlarda ve hayvanlarda hastalığa neden olurlar. Hasta kişilerin öksürmeleri ile ortama saçılan damlacıklar ve kirlenmiş yüzeylerle temas eden kişilere bulaşabilmektedir [1, 2]. COVID-19 tanılı hasta, evdeki izlem süresinde dışarı çıktığında cezai sorumluluğu vardır. Evde karantina süresince İl Sağlık Müdürlükleri tarafından telefonla takip edilmesi gerekmektedir [3].



Şekil 1. Ağustos, Eylül ve Ekim aylarına ait koronavirüs vaka sayılarının grafiği (Graph of coronavirus case numbers for August, September and October.)

Şekil 1'de ülkemiz ve dünya üzerindeki bazı ülkelerin Ağustos, Eylül ve Ekim ayı içerisindeki koronavirüs (Covid-19) vaka sayıları verilmiştir [4, 5]. Koronavirüs vakalarının ilki Çin'de görülmüştür. Çin Hükümeti güncel teknolojiyi sağlık alanına entegre ederek Covid-19 tanılı hastaların kimlik bilgileriyle, kimlik üzerinde bulunan fotoğraflarının eşleşmesi ve büyük veri tabanlarına kaydedilmesi sonucunda hasta kişiyle temas etmiş diğer bireyleri rahatlıkla tespit edip, salgını kontrol altına alabilmektedir. Kiminle temas ettiklerinin analizi şu şekilde yapılmaktadır; tüm vatandaşların sokağa çıkmadan önce kapılarının önünde bulunan yüksek çözünürlüklü kameradan yüzlerini tanıtmaları istenmektedir ve bu şekilde yüzü tanınan vatandaşlar diğer kameralarca takip edilip kimlerle temas ettiği belirlenmektedir. Çalışmamız bu sistemden esinlenilerek geliştirilmiştir.

Bu çalışma altı bölüm halinde düzenlenmiştir. Birinci bölümde, klasik yöntemler kapsamında yüz tanıma sistemlerinin temelleri ve Covid-19 virüsü hakkında bilgiler sunulmuştur. İkinci bölümde, daha önceki yüz tanıma sistemleri hakkında literatür çalışmaları değerlendirilmiştir. Üçüncü bölümde ise LBPH algoritmasının çalışma mantığı ve veri setinin nasıl oluşturulduğu anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, uygulamanın çalışması ve yapılan işlemlerin ayrıntılarına yer verilmiştir. Beşinci bölümde ise

yapılan deneyler yer almaktadır. Son olarak altıncı bölümde ise sistem hakkında tartışma ve önerilerden bahsedilmiştir.

## 2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR (RELATED WORKS)

Sağlık, robotik ve savunma sanayiindeki gelişmeler incelendiğinde yapay zekanın önemli bir alan olduğu ve bu alanda daha çok çalışma yapılması gerektiği anlaşılmaktadır [6]. Yapay zeka alanında görüntü analizi [7-9], biyometrik tanıma sistemleri [10], hayvanlarda yüz analizi [11], plaka tanıma [12], zatürre hastalığının teşhisi [13], yüz tespiti [14-17], yüz analizi [18, 19], yüz kimlik doğrulama sistemi [6, 20], cinsiyet tanıma sistemi [21], elektronik sistemler [22, 23], ekonomik işlemlerin analizi [24, 25], tanımlama ve tahmin [26] gibi çalışmalar yapılmıştır.

Gerçek zamanlı yüz tanıma sistemi iki farklı platformda tasarlanmıştır [15, 16]. Tasarlanan sistemde makine öğrenimi ve derin öğrenme tekniklerinin karışımı kullanılmıştır [27]. Derin öğrenme teknikleri ile sabit olmayan nesnelerin tanıma ve takibi için kullanılmıştır [28]. Aynı zamanda Google'ın kütüphanesi TensorFlow kullanılmış ve son olarak nesnelerin takip edilmesi için ise RBCN den Faster R-CNN modellerinden

yararlanılmıştır [29]. Günümüzde yaygın olarak kullanılan kartlı takip sistemlerinin güvenlik zafiyetleri bulunmaktadır. Bu sistemlerin açığını kapatmak için yüz tanıma tabanlı bir sistem geliştirilmiştir [27]. 3170 eğitim verisi ile birlikte 318 test verisi üzerinde çalışılmış ve model için Alex Net ile VGG-16 kullanılmıştır [21]. Bir başka çalışmada 10 milyon görüntü üzerinden bir veri kümesi eğitilmiştir [30]. Derin öğrenmede yüz tanıma sistemleri için kullanılan veri tabanlarında var olan bozulmaların giderilmesi için OpenFace, VGGFace2 ve ARCFACE gibi modeller sistematik olarak kullanılmaya başlanmıştır. Evrimsel Sinir Ağlarının mimarilerinden biri olan VGG-16 mimarisi ile CPU yerine GPU kullanılmasının bir dönüm noktası olduğu vurgulanmıştır ve bununla birlikte eğer CPU ya da GPU ya sahip değilseniz Google COLAB kullanılması tavsiye edilmiştir [31].

Bu çalışmalar değerlendirildiğinde, VGGFace2 ve ARCFACE modellerinin en doğru sonucu veren güncel modeller olduğu analiz edilmiştir. Aynı zamanda Google COLAB gibi yeni teknolojilerin kullanımı görüntü işleme ile ilgili çalışmalarda verimlilik sağlamaktadır. Buna ek olarak kullanılan veri sayısı ne kadar arttırılırsa sistemlerin doğruluk oranı da o kadar artar ancak test verisi arttırılsa bile yüz tanıma sistemlerinin tek başına yeterli olmayacağı bunun yanında iris tanınmasının yapılmasının en doğru ve güvenli yöntem olduğu analiz edilmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEMLER (MATERIALS AND METHODS)

#### 3.1. Çalışmada Kullanılan Yöntemler (Methods Used in the Study)

Çalışmamızda yüz tanıma sisteminin işleyişinden, kullanılacak veri setinin nasıl oluşturulduğundan ve bu tür sistemlerin güvenlik açıklarından bahsedilmiştir. Çalışmada birçok kütüphane ve algoritma kullanılmıştır. Çalışmamızın ilk kısmı, kişinin tanıtılmasıdır. Öncelikle bu adımda kamera açılarak anlık görüntü içerisinde bir yüzün var olup olmadığı analiz edilmektedir. Yüz tespiti sırasında önemli olan gözler, kaşlar, burun ve ağızdır. Bunları algoritma tespit ederek yüz olduğunu anlamaktadır. Bir yüz tespit edildiğinde çerçeve içerisine alınmaktadır. Tespit edilen yüz, belirlenen frame sayısı kadar fotoğrafları kırılarak, renkli tonlamadan gri tonlamaya dönüştürülüp veri tabanına kaydedilmektedir ve bu şekilde ilk kısım tamamlanmaktadır.

Çalışmamızın ikinci kısmında ise kaydedilen fotoğraflardan yüzü tanımlayan bir öznitelik vektörü algoritma tarafından çıkarılmaktadır başka bir deyişle

kaydedilen yüze belirli bir değer verilmektedir ve bu şekilde ikinci kısım tamamlanmaktadır. Çalışmamızın son kısmında ise bu öznitelik değeri isimlendirilerek tekrar kameradan görüntü alındığında, bu görüntünün değerinin veri tabanında olup olmadığı kontrol edilmektedir. Aynı değer varsa kişiyi tanıyarak ismini yazmaktadır. Eş zamanlı olarak yüz tanındığı için yetkili kişilere anlık saat, tarih ve kimlik bilgileri e-posta olarak gönderilmektedir ve bu son kısım da bu şekilde tamamlanmaktadır.

Yapay sinir ağı (YSA), gerçek sinir ağının yapısını, fonksiyonlarını baz alan bir hesaplama modelidir. YSA üstünden taşınan veriler YSA'nın işleyişini etkilemektedir. Bununla birlikte girdiler, çıktılar ve gizli katmanlar ile yapay sinir ağı temeli kurulmaktadır. Tasarlanacak YSA üzerinde belirlenecek matematiksel model ile giren ve çıkan verilerin yönetilmesini sağlamaktadır. Girdiler işlenmemiş verilerdir. Bu verileri YSA içerisinde ağırlıklar ile işleyerek YSA'nın öğrenmesi sağlanmaktadır. Aktivasyon fonksiyonları girdiler ve ağırlıklar ile YSA'nın çıktısını belirleyecek bir denklemdir. YSA üzerinde hücreye girecek olan net girdiyi Tablo 1 üzerinde verilen matematiksel tanımlar ve formülleri ile hesaplanmaktadır. Buradan gelen bilgi kendi üzerinde tanımlanan ağırlık ile çarpılarak tanımlı aktivasyon fonksiyonu ile işlenmektedir.

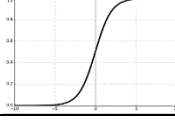
Tablo 1. Yapay sinir ağının hesaplanması için fonksiyonlar (Functions for the calculation of the artificial neural network)

<b>Toplam</b>	$NET = \sum_i^n w_{ij} x_i + \theta_j$
<b>Çarpım</b>	$NET = \prod_i w_{ij} x_i$
<b>Minimum</b>	$NET = \text{Min} (w_{ij} x_i)$
<b>Maksimum</b>	$NET = \text{Max} (w_{ij} x_i)$
<b>Çoğunluk</b>	$NET = \sum_i^n \text{Sgn} (w_{ij} x_i)$

Aktivasyon fonksiyonu, giriş ve çıkış katmanı arasında eğimsel olarak ilişkilendirilmesi konusunda fayda sağlamaktadır. Doğru fonksiyonu seçebilmek sistemin başarısının büyük kısmını etkilemektedir. Fonksiyon -1 ile +1 aralığında tek ve çift yönlü aynı zamanda eğimli olmayan bir şekilde seçilmelidir.

Ağda bulunan eğimli olan ağı öğrenmesi aşamasını amaçlayan segmenttir.

Tablo 2. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu (*Sigmoid activation function*)

Aktivasyon Fonksiyonu	Fonksiyonun Gösterimi	Fonksiyonun Formülü
Sigmoid		$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$

Yapay sinir ağlarında en çok kullanılan sigmoid aktivasyon fonksiyonunun matematiksel ifadesi ve görseli Tablo 2 üzerinde gösterilmiştir. Çıktı, aktivasyon fonksiyonunun sonucunda çıkan değerlerdir. Bu çıktı ya YSA'nın çıktısı olarak kabul edilir ya da tekrar ağı içinde kullanılır. Her hücrenin her zaman tek çıktısı olabilir ve bu çıktı istenilen sayıda hücre ile bağdaştırılabilir. Bu işlemlerin sonucunda YSA kullanılmış, eğitimler gerçekleşmiş ve veriler elde edilmiş olur. Bu şekilde YSA öğrenmesi gerçekleşir [32].

Derin öğrenme teknikleri kullanılarak kimlik tespit uygulamasının işleyişi ise kullanıcıdan alınan yüz görüntüsü veri seti ile karşılaştırılıp kullanıcının kimlik tespiti rahatlıkla yapılabilmektedir. İnsanlar yüz tanımayı her gün otomatik ve pratik olarak çaba harcamadan yapabilirler. Bizim için çok basit bir görev gibi görülmeye, bilgisayarlar için karmaşık bir görev olduğu söylenebilir çünkü yöntemlerin doğruluğunu bozabilecek birçok değişken vardır. Bunlardan bazıları; aydınlatma koşulları, düşük çözünürlük ve oklüzyondur.

Derin öğrenme yapısı içerisinde yer alan modeller de AlexNet, ZFNet, VGG-16, ResNet gibi birçok model ismi sıralanabilmektedir. Evrimsel sinir ağı (ESA), tamamen bağlı bir katmanı takip eden birçok alt katmandan meydana gelir [33, 34]. Kullanılan bu model yapıları sinir ağının eğitimi ve öğreniminde aktif rol oynamaktadır. Kullanılan bu model yapılarının önemi oldukça yüksektir. Bu modeller kullanılarak kişilerin emeklilik fonları yüksek doğruluk oranıyla rahatlıkla tahmin edilebilmektedir [26].

LBP (Local Binary Pattern) görsel bir tanımlayıcı olduğu için yüz tanıma görevleri için kullanılmaktadır. LBP operatörü, gri-seviyeden bağımsız bir doku ölçümü yöntemidir. LBP operatörü görüntünün her pikseli için bir etiket oluşturmaktadır. Bu etiket merkez pikselin 3x3 komşuluğundaki piksellerle karşılaştırılması sonucu elde edilen ikili bir

sayıdır [35]. Denklem 1 ve 2'de LBP denklemleri verilmiştir.

$$LBP_{P,R}(x_c) = \sum_{p=0}^{P-1} u(x_p - x_c) 2^p \quad (1)$$

$$u(y) = \begin{cases} 1, & y \geq 0 \text{ ise,} \\ 0, & y < 0 \text{ ise.} \end{cases} \quad (2)$$

Denklem 1 üzerinde verilen  $LBP_{P,R}$  değişkeni LBP operatörünü,  $x_c$  değişkeni LBP etiketi üretilen merkez pikseli,  $x_p$  değişkeni merkez pikselin komşularını, R komşuların merkeze olan uzaklığını ve P değişkeni ise işleme sokulan komşuların sayılarını temsil etmektedir [20, 35-37].

Gri seviye eş oluşum matrisi belirli bir ofsetle birlikte oluşan piksel değerlerinin (gri tonlama değerleri veya renkler) dağılımı olarak bir görüntü üzerinde tanımlanan bir matristir. LBP'ler yerel bir doku temsilini hesaplar. Bu yerel gösterim, her pikselin çevresindeki piksel komşuları ile karşılaştırılmasıyla oluşturulur. LBP doku tanımlayıcısını oluşturmanın ilk adımı, görüntüyü gri tonlamaya dönüştürmektir. Gri tonlamalı görüntüdeki her piksel için, merkez pikseli çevreleyen r boyutunda bir alan seçilir. Daha sonra bu merkez piksel için bir LBP değeri hesaplanır ve girişteki görüntüsüyle aynı genişlik ve yüksekliğe sahip çıktılar oluşturulur. Algoritma üzerinde işlem yapmadan önce algoritmayı eğitmek gerekmektedir. Eğitmek için tanıtmak istediğimiz insanların yüz görüntülerine sahip bir veri seti kullanmamız gerekmektedir. Ayrıca her görüntü için bir kimlik (kişinin numarası veya adı olabilir) ayarlamamız gerekmektedir. Algoritma, bu bilgileri giriş görüntüsünü tanımak ve sonucunda bir çıktı vermek için kullanılmaktadır. Aynı kişinin resimleri aynı kimliğe sahip olmalıdır.

LBPH için oluşturulan histogram, eğitim veri kümesindeki her bir görüntüyü temsil etmek için



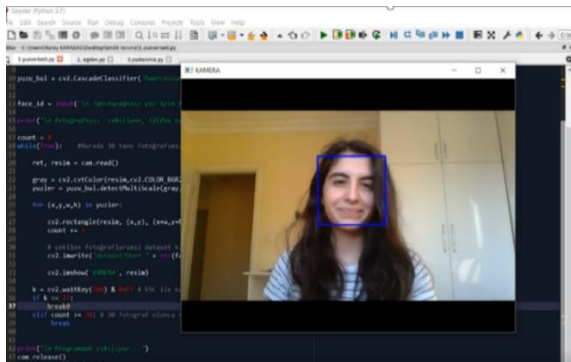
kullanılmaktadır. Bu nedenle, bir giriş görüntüsü verildiğinde bu yeni görüntü için aynı adımlar izlenecektir ve görüntüyü temsil eden bir histogram oluşturulacaktır. Bu işlem her bir piksel için yapılarak tüm resmin toplam histogramı çıkarılacaktır. Kameradan yeni alınan görüntünün histogramı ile daha önceden oluşturulmuş görüntülerin histogramları karşılaştırılmaktadır. Bu şekilde yüz tanıma yapılmaktadır. Bu çalışmada LBPH üzerinde histogramları karşılaştırmak için Öklid uzaklığı yöntemi kullanılmıştır.

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^n (hist1_i - hist2_i)^2} \quad (3)$$

Denklem 3'de Öklid mesafesinin formülü gösterilmektedir. "D" Öklid mesafesini, "hist1" ilk histogramı, "hist2" diğer histogramı temsil ederek iki histogramın farkının kareleri alınmıştır. Aynı işlem i ile başlayıp n değeri olan toplam histogram sayısına kadar devam etmektedir. Son olarak bu işlemin tamamı karekök içerisine alınmıştır [20, 35-37].

### 3.2. Çalışmada Oluşturulan ve Kullanılan Veri Seti (The Data Set Created and Used in the Study)

Projenin ilk aşaması olan veri seti oluşturma kısmında, kullanıcıdan veri tabanına yüzünü kaydetmeden önce giriş değeri olarak benzersiz bir ID numarası girilmesi istenir ve bu ID numarasıyla belirlenen frame sayısı göre kullanıcının 30, 60 veya 90 adet fotoğrafı çekilmektedir. Bu işlem Şekil 2'de gösterilmektedir. Fotoğraf sayısının artması veya azalması sistemin doğruluk oranını etkilemektedir.



Şekil 2. Projenin ilk adımı (First step of the project)

Çekilen bu resimler, yazılımın bulunduğu aynı klasör içerisinde yer alan dataset isimli klasöre ID numarası ve kaçınıcı fotoğraf olduğunu belirten numarayla birlikte ".jpeg" dosya türünde kaydedilmektedir. Algoritma içerisinde yüzün varlığı tespit ederek çerçeve içerisine alınan fotoğraflar gri tonlamaya çevrilererek veri tabanına kaydedilmektedir. Gri tonlamaya çevrilmesi hem GPU açısından hem de

zaman açısından faydalıdır. Bu şekilde hızlıca veri seti oluşturulur. Bu işlem Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Veri seti ve yüz tanıma ekranı (Data set and face recognition screen.)

Bu çalışma içerisinde Radboud (RaFD) yüz veri seti 67 kişiden alınmıştır. Bu veri setinin demografik yapısı farklı milletlerden (Kafkasyalı erkekler ve kadınlar, Kafkasyalı hem kız hem de erkek çocuklar ve Faslı erkekler) oluşmaktadır. Bu veri seti, sekiz farklı duygunun gösterildiği yüz ifadelerini içermektedir. Şekil 4 üzerinde bu yüz ifadeleri gösterilmiştir. Veri seti içindeki duygular; öfke, iğrenme, korku, mutluluk, üzüntü, şaşkınlık, aşağılama ve doğal yüz ifadeleridir. Her duygu ifadesi modellerin üç farklı bakış açısıyla (sağ, sol ve ön) oluşturulmuştur [38].

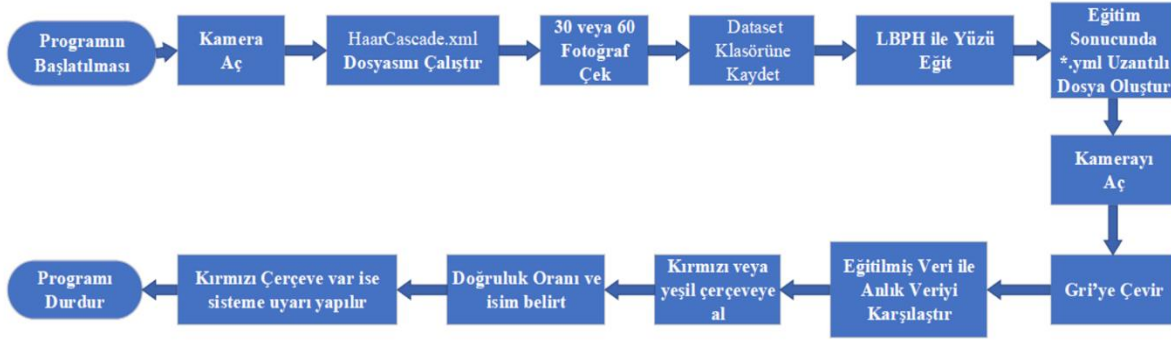


Şekil 4. Radboud (RaFD) yüz veri setinin içeriği yüz ifadeleri

Yazılım içerisinde oluşturulan veri setinde yazarlardan Nuray Karadağ ve Ali Çetinkaya'nın resimleri bulunmaktadır. Yazılımda deneylere çeşitlilik kazandırmak amacıyla yazılım içerisinde oluşturulan veri setine Radboud (RaFD) [38] veri seti içerisinden örnekler alınmıştır. Alınan orijinal resimler üzerinden eğitilen sistemin denemeleri uygulamalar bölümünde yapılmıştır.

### 3.3. Sistemin Akış Diyagramı (Flow Chart of the System)

Şekil 5'te sistemin akış diyagramı verilmiştir. Proje akışına bakıldığında ilk olarak kamera açılmakta ve HaarCascade.xml dosyası çalıştırılmaktadır. Sonrasında kamera karşısındaki kişinin 30 adet fotoğrafını çekip, çekilen fotoğraflardan kullanıcının veri seti oluşturulmaktadır.



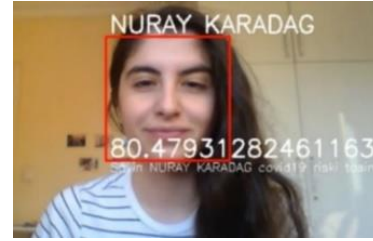
Şekil 5. Sistemin Akış Diyagramı (Flow Chart of the System)

Böylelikle Covid-19 şüphesi taşıyan kişilerin veri setleri kolaylıkla oluşturulmaktadır. Çekilen fotoğraflar LBPH ile eğitilerek “.yml” uzantılı bir dosya oluşturulmaktadır. Bu kayıt sonucunda kamera açmakta ve kişinin resmi gri tonlamaya çevrilmektedir. Çevrilmiş olan resim eğitilmiş veri ile karşılaştırılıp sonuç ekranda gösterilmektedir. Eğer kişinin yüzü veri setinde varsa bu kişinin virüs taşıdığı belirtilmekte ve kırmızı çerçeve ile gösterilmektedir. Eğer kişinin yüzü veri setinde yoksa çerçeve yeşil renkli olmaktadır. Daha sonrasında kişinin ismi ve anlık doğruluk oranı ekranda gösterilmektedir. Son durumda kişinin yüzü kırmızı çerçeve içerisine alınmış ise gerekli kurum ve kuruluşlara e-posta ile bilgilendirilme yapılmaktadır. Bu işlemler sonunda süreçler tekrar ederek, kişilerin yüzleri ve yaptığı ihlaller tespit edilebilmektedir.

#### 4. UYGULAMALAR (APPLICATIONS)

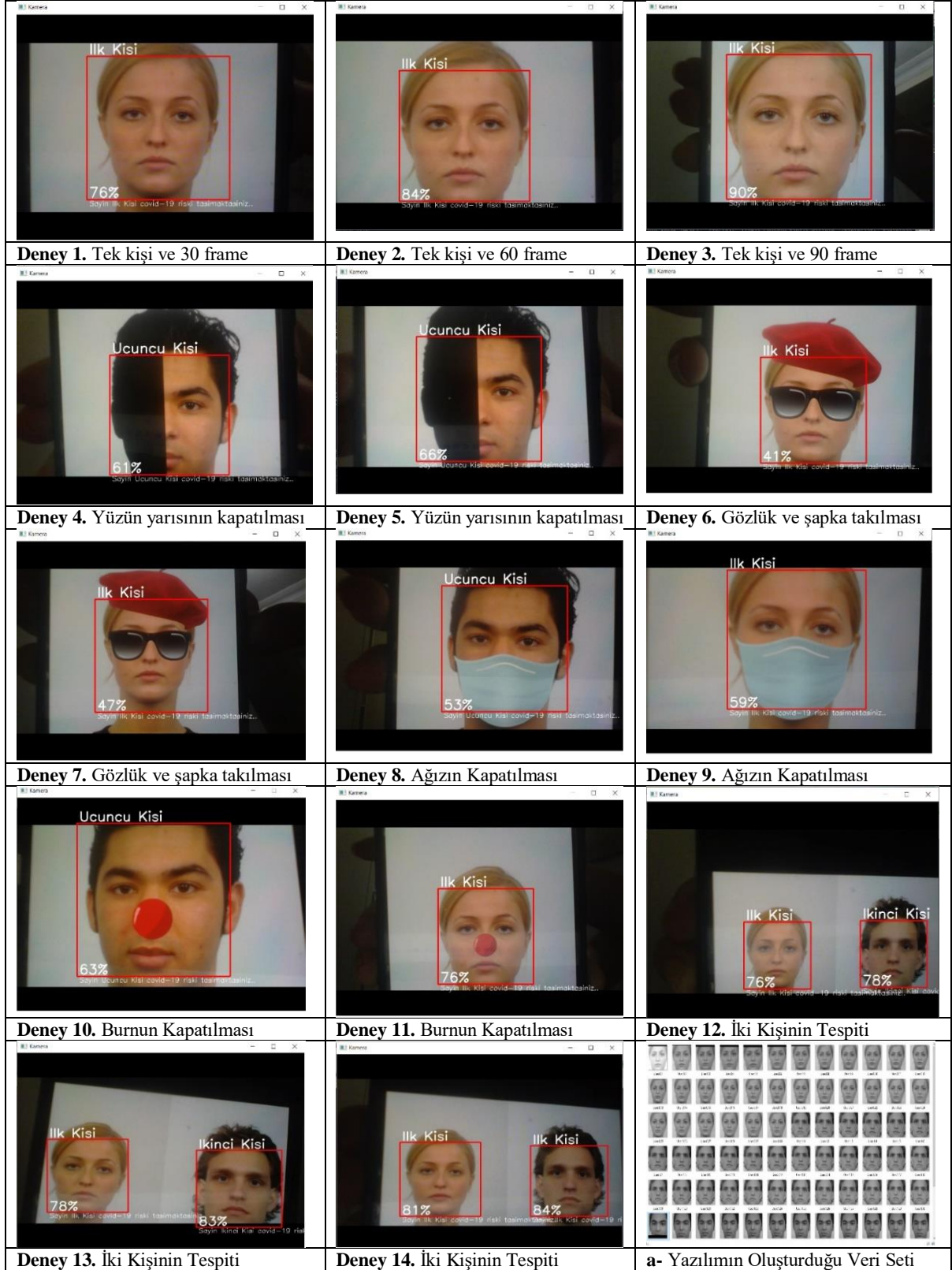
Geliştirilmiş olan yazılım, Covid-19 tanılı kişilerin kayıt, tespit ve bildirim sistemi günlük hayatta şehir içi ve şehir dışı mobese kameraları, sokaklarda bulunan kameralar, toplu taşıma araçlarında bulunan kameralar başta olmak üzere kameraların bulunduğu her alanda kullanılabilir. Hastalıklı olarak tanımlanacak kişilerin sokağa çıkma yasağını ihlal etmeleri ve kendi alanlarını terk etmeleri durumunda gerekli kurumlara ve yetkili kişilere, kişinin kimlik bilgileriyle birlikte görüldüğü tarih ve saat bilgileri e-posta yoluyla gönderilmektedir. Yapılan testlerde hata oranını en aza indirmek için farklı ortam ve ışıkta incelemeler gerçekleştirilmiştir. Uygulamanın testlerinin, tanıma işlemindeki doğruluğunun tespit edilmesi için kamusal alanlarda gerçekleştirilmesi hedef alınmış ancak pandemi dolayısıyla gerçekleştirilememiştir.

Yazılım içine eklenecek veri seti (Radboud (RaFD) ile uygulamalar ve sonuçlar artırılmıştır. Bu veri setindeki kişiler hastanelerin hasta kayıt sistemi örnek alınarak tasarlanmıştır. Hasta kayıt sisteminde hastaların kimlik bilgileri ve kimlik üzerindeki fotoğrafları kaydedilebilmektedir. Bu yüzden kayıt esnasında oluşturulan veri setindeki kişiler veri tabanında hastalık taşıyor olarak etiketlenmektedir. Etiketlenmeyen kişiler uygulama içerisinde yeşil çerçeve ile görüntülenmektedir. Kameralardan veri tabanına kayıtlı tek kişinin görüntülenmesi Şekil 6’da gösterilmektedir.



Şekil 6. Çok Işıklı Ortamda Yüz Tanıma (Facial recognition in a multi-light environment)

Projenin son aşamasının ilk bölümü olan yüz tanıma kısmında da eğitilmiş olan verilerle kameralardan alınan veriler karşılaştırılarak doğruluk oranıyla ekranda belirtilmektedir. Eğer kişi daha önceden tanıtılmışsa ismi ve doğruluk oranıyla birlikte ekranda kırmızı çerçeve içerisinde “virüs riski taşımaktasınız” yazısıyla ekranda gösterilir eğer önceden tanıtılmamışsa yeşil çerçeveye alınarak “tanınmadı” ve “virüs riski taşımamaktasınız” yazısıyla birlikte ekranda gösterilir. Şekil 7’de 30, 60 ve 90 frame ile gerçekleştirilmiş deneyler ve ekran çıktıları verilmiştir. Ayrıca gerçekleştirilen deneylerin sonuçları Tablo 4’te detaylı verilmiştir.



Şekil 7. Yazılım üzerinde gerçekleştirilen 14 deney ve veri setinden görüntüler (Figure 8. Images from 14 experiments and data sets performed on the software.)

## 5. SONUÇLAR (RESULTS)

Tablo 3. Literatür taramasının değerlendirilmesi (Evaluation of literature review.)

Literatür Adı	Kullanılan Teknik	Kullanılan Algoritma Tipi	Kullanılan Veri Seti ve Resim Sayısı	Alınan Başarı Sonucu	Alınan Hata Sonucu
Kekül, (2018)	Derin Öğrenme	Yapay sinir ağları (YSA)	The Database of Faces-400	98,7	1,3
Mamak, (2020)	Derin Öğrenme	Yerel İkili Örüntü (LBP)	Çalışma içerisinde verisete bilgisine ulaşamamıştır	94,32	5,28
Nabiyev, (2010)	Derin Öğrenme	Yönelimli Eğim Histogram (HOG)	FERET - 846	93,91	6,09
Rodriguez, (2006)	Derin Öğrenme	Yerel İkili Örüntü (LBP)	XM2VTS database - 200	90	10
Karadağ,(2020)	Derin Öğrenme	Yerel İkili Örüntü (LBP)	Radboud (RaFD)-210	84,5	20
Özdemir, (2019)	Derin Öğrenme	Evrişimli Sinir Ağı (CNN)	Ridnet -10989	80	20
Atasoy, (2018)	Derin Öğrenme	Destek Vektör	Çalışma içerisinde 20 test verisi ile alınan sonuçlar	80	20

Tablo 3'te yer alan bilgiler literatür taramasında incelenmiş projelerdir. Tabloda yer alan bilgiler projede kullanılan yöntemler ve bu yöntemlerin doğruluk oranlarıdır. Yapılan literatür taraması sonucunda gerçekleştirilen projeler detaylı olarak incelenmiş ve bu inceleme sonucunda insan yüzünü tanıyabilen bir proje oluşturulmuştur. Farklı kişiler üzerinde ve farklı ışık değerlerinde testler yapılmış,

testler neticesinde geliştirilen projede %84,5 oranında doğruluk tespit edilmiştir. Gerçekleştirilmiş olan bu çalışmada toplam 14 adet deney yapılmıştır. Bu deneyde farklı işlemler uygulanarak sistemin başarısının ve hatasının testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde LBPH yöntemi kullanılıp frame sayısı değiştirilerek uygulamalar tekrarlanmıştır. Tabloda yer alan deneylerin sonuçları alınan maksimum değerlerdir.

Tablo 4. Gerçekleştirilen deneylerin değerlendirilmesi (Evaluation of the experiments performed)

Deney No	Anlık Frame Sayısı	Yapılan İşlem	Alınan Başarı Sonucu	Alınan Hata Payı
1	30	Tek kişinin Yüzünün Algılanması	%76	%24
2	60	Tek kişinin Yüzünün Algılanması	%84	%16
3	90	Tek kişinin Yüzünün Algılanması	%90	%10
4	30	Yüzün Yarısının Farklı Cisimle Kapatılması	%61	%39
5	60	Yüzün Yarısının Farklı Cisimle Kapatılması	%66	%36
6	30	Gözlük ve Şapka Takılması	%41	%59
7	60	Gözlük ve Şapka Takılması	%47	%53
8	30	Ağız, Göz Gibi Yüz Hatlarının Kapatılması	%53	%47
9	60	Ağız, Göz Gibi Yüz Hatlarının Kapatılması	%59	%41
10	30	Burunun Kapatılması	%63	%37
11	60	Burunun Kapatılması	%76	%24
12	30	2 Kişinin Aynı Anda Tanıtılması ve Analizi	%76 - %78	%24 - %22
13	60	2 Kişinin Aynı Anda Tanıtılması ve Analizi	%78 - %83	%22 - %27
14	90	2 Kişinin Aynı Anda Tanıtılması ve Analizi	%81 - %84	%19 - %16

Deney 1’de 30 frame ile tek kişinin yüzü tanıtılmıştır. Alınan başarı sonucu %76 olmakla birlikte hata oranı %24 tür. Deney 2’de 60 frame ile yine tek kişinin yüzü tanıtılmış, başarı sonucu %84, hata oranı %16 olarak hesaplanmıştır. Deney 3’de 90 frame ile tek kişinin yüzü tanıtılmış, başarı sonucu %90, hata oranı %10 olarak hesaplanmıştır. Deney 4’te ise 30 frame ile yüzün yarısı kapatılıp yüz tanıtılmıştır, alınan başarı oranı %61, hata oranı %39 dur. Deney 5’de ise 60 frame ile yüzün yarısı kapatılıp yüz tanıtılmıştır, alınan başarı oranı %66, hata oranı %34 dür. Deney 6’da 30 frame ile gözlük ve şapka takılarak yüz tanıtılmıştır, alınan başarı oranı %41, hata oranı %59 dur. Deney 7’de 60 frame ile yine gözlük ve şapka takılarak yüz tanıtılmıştır, alınan başarı oranı %47, hata oranı %53 tür. Deney 8’de 30 frame ile ağız, göz gibi yüz hatları kapatılarak yüz tanıtılmıştır, alınan başarı oranı %53, hata oranı %47 dir. Deney 9’ da 60 frame ile yine belirgin hatlar kapatılıp yüz tanıtılmıştır, başarı oranı %60 hata oranı %40 tır. Deney 10’da 30 frame ile burun kapatılarak tanıtılan yüzden alınan başarı oranı %63, hata oranı

%37 dir. Deney 11’de 60 frame ile burun kapatılarak tanıtılan yüzden alınan başarı sonucu %76, hata oranı %24 tür. Deney 12’de iki kişi aynı anda tanıtılarak, kişilerin ayrı ayrı 30 frame görüntüsü alınmıştır, başarı oranı %76 - %78 aralığındadır, hata oranı %24 - %22 dir. Deney 13’te yine iki kişinin ayrı 60 frame görüntüsü alınmış, başarı oranı %78 - %83, hata oranı %22 - %17 dir. Deney 14’te 90 frame ile iki kişi tanıtılarak elde edilen başarı oranı %81 - %84 , hata oranı %19 - %16 aralığındadır.

Bu deney sonuçlarından da anlaşılacağı üzere bir kişinin kesin olarak tanınması %75 ve üzere doğruluk değerine sahip ise gerçekleşmektedir. Bununla beraber sistem geliştirilip hastalık taşıyan kişi ne zaman ihlal yaptı, kimlerle temas etti, kimler ile iletişimde bulundu gibi bilgiler kolayca tespit edilip yayılma hızı oldukça yavaşlatılacaktır. Şekil 8 üzerinde yazılımın gönderdiği bilgilendirme mesajını ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 8. Bilgilendirme mesajı içeriği (Content of information message)

## 6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMALAR (THE RESEARCH FINDINGS AND DISCUSSION)

Geliştirilen projede program içerisinden belirlenen e-posta adresine bilgilendirme e-postası atılması işlemi, sonucu üzerinden iletişim protokolleri kullanılarak daha işlevsel hale getirilebilir. Yüz tanıma yapılırken bilgisayar kamerası yerine harici ve daha donanımlı bir kamera kullanılarak daha iyi sonuçlar alınabilir. İki ayrı veri seti oluşturulup tanınmamış kişilerin de kaydı tutulabilir ve KVKK’ya uygun olarak daha çok yüz tanıtılarak veri setinde çeşitlilik sağlanabilir. Işık yoğunluğunun gün içerisinde değişmesinden etkilenmeyen bir ortamda art arda fotoğraf çekilme işlemleri yapılarak daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Bununla birlikte duruş farklılıklarından kaynaklı olarak yüz tanıma oranları değişiklik gösterdiği için yüz tanıma yapılırken aynı zamanda retina taraması yapılması sistemin daha güçlü hale getirilmesini sağlayabilir.

Veri seti güvenlik yamaları yapılarak daha korunaklı bir veri tabanında tutulabilir. Veri setinde çeşitlilik olması için kişilerin gözlüklü-gözlüksüz, sakallı-sakalsız halleri ile farklı boyutlarda resimleri

çekilebilir ya da yeni teknolojiler kullanarak bu farklılıkların tanıma oranlarını etkilemeyen algoritmalar kullanılabilir. Google COLAB kullanılarak daha iyi GPU kaynağına sahip olarak hem sistemin hem de algoritmanın çalışmasına destek olarak daha hızlı bir şekilde işlemler gerçekleştirilebilir.

Sistemin daha işlevsel hale getirilmesi ve vaka sürecinde hızla yol kat edilebilmesi amacıyla Sağlık Bakanlığı, Emniyet Genel Müdürlüğü ve belediyelerle ortak çalışma gerçekleştirilerek sistemin uygulanması yolunda çalışmalar yapılabilir. Bu çalışmaların yapılması uygulamanın kullanılabilirliği açısından önemli bir adım olacaktır.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BİLDİRİMİ (CONFLICT OF INTEREST STATEMENT)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] T.C. Sağlık Bakanlığı, "COVID-19 (Yeni Koronavirüs Hastalığı) Nedir?," saglik.gov.tr, Jun. 3,

2020. [Online]. Available: <https://covid19bilgi.saglik.gov.tr/tr/covid-19-yeni-koronavirus-hastaligi-nedir.html>. [Accessed: Jul. 08, 2020].
- [2] T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, "Covid-19 (Sars-Cov-2 Enfeksiyonu) Genel Bilgiler, Epidemioloji ve Tani," [saglik.gov.tr](http://saglik.gov.tr), Jun. 4, 2020. [Online]. Available: [https://covid19bilgi.saglik.gov.tr/depo/rehberler/covid-19-rehberi/covid-19\\_rehberi\\_genel\\_bilgiler\\_epidemioloji\\_ve\\_tani.pdf](https://covid19bilgi.saglik.gov.tr/depo/rehberler/covid-19-rehberi/covid-19_rehberi_genel_bilgiler_epidemioloji_ve_tani.pdf). [Accessed: Jul. 08, 2020].
- [3] T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, "Temasli Takibi, Salgın Yönetimi, Evde Hasta İzlemi ve Filyasyon," [saglik.gov.tr](http://saglik.gov.tr), Jun. 4, 2020. [Online]. Available: [https://covid19bilgi.saglik.gov.tr/depo/rehberler/covid-19-rehberi/covid-19\\_rehberi\\_temasli\\_takibi\\_evde\\_hasta\\_izlemi\\_ve\\_filyasyon.pdf](https://covid19bilgi.saglik.gov.tr/depo/rehberler/covid-19-rehberi/covid-19_rehberi_temasli_takibi_evde_hasta_izlemi_ve_filyasyon.pdf). [Accessed: Jul. 07, 2020].
- [4] M. Roser, H. Ritchie, E. Ortiz-Ospina and J. Hasel, "Coronavirus disease (COVID-19)–Statistics and research.", 2020, [online]. Available: <https://ourworldindata.org/covid-cases#what-is-the-total-number-of-confirmed-cases>, [Accessed: Jul. 01, 2020].
- [5] Covid-19 Coronavirus Pandemic, "Coronavirus Cases:", 2020, [Online]. Available: <https://www.worldometers.info/coronavirus/> [Accessed: Nov. 10, 2020].
- [6] M. M. Yapıcı, A. Tekerek and N. Topaloğlu, "Literature Review of Deep Learning Research Areas," *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, vol. 5, no. 3, pp. 188-215, 2019. doi: 10.30855/gmbd.2019.03.01
- [7] N. Aalami, "Derin Öğrenme Yöntemlerini Kullanarak Görüntülerin Analizi," *Eskişehir Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Bilişim Dergisi*, vol. 1, no. 1, pp. 17-20, 2020.
- [8] R. Özdemir and M. Koç, "Yeni Bir Veri Kümesi (RidNet) Kullanarak Kontrolsüz Ortamda Yüz İfadesi Tanımının Derin Öğrenme Yöntemleri ile İyileştirilmesi," *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 6, no. 2, pp. 384-396, 2019. doi: 10.35193/bseufbd.645138
- [9] I. Fasel, B. Fortenberry and J. Movellan, "A Generative Framework for Real Time Object Detection and Classification," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 98, no. 1, pp. 182-210, 2005. doi: 10.1016/j.cviu.2004.07.014
- [10] N. Yalçın and F. Gürbüz, "Biyometrik Güvenlik Sistemlerinin İncelenmesi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 3, no. 2, pp. 398-413, 2015.
- [11] E. Dandıl, M. Turkan, M. Boğa and K. K. Çevik, "Daha Hızlı Bölgesel-Evrişimsel Sinir Ağları ile Sığır Yüzlerinin Tanınması," *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 6, pp. 177-189, 2019. doi: 10.35193/bseufbd.592099
- [12] F. Bayram, "Derin Öğrenme Tabanlı Otomatik Plaka Tanıma," *Politeknik Dergisi*, vol. 23, no. 4, pp. 955-960, 2020. doi: 10.2339/politeknik.515830
- [13] M. Toğaçar, B. Ergen and M. E. Sertkaya, "Zatürre Hastalığının Derin Öğrenme Modeli ile Tespiti," *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 31, pp. 223-230, 2019.
- [14] V. Vansh, K. Chandrasekhar, C. R. Anil and S. S. Sahu, "Improved Face Detection Using YCbCr and Adaboost," *Computational Intelligence in Data Mining*, pp. 689-699, 2020. doi: 10.1007/978-981-13-8676-3\_58
- [15] H. Kekül, H. Bircan and H. Arslan, "Yüz Tanıma Uygulamalarında Özyüzler ve Yapay Sinir Ağlarının Karşılaştırılması," *Uluslararası Yönetim Bilişim Sistemleri Ve Bilgisayar Bilimleri Dergisi*, vol. 2, no. 1, pp. 51-59, 2018.
- [16] U. Mamak, M. Z. Konyar, S. Solak and M. H. Uçar, "Gerçek Zamanlı Yüz Tanıma Tabanlı Personel Kontrol ve Takip Sistemi Tasarımı," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 19, pp. 497-504, 2020. doi: 10.31590/ejosat.727768
- [17] N. A. Atasoy and D. Tabak, "Destek Vektör Makineleri Kullanarak Yüz Tanıma Uygulaması Geliştirilmesi," *Engineering Sciences*, vol. 13, no. 2, pp. 119-127, 2018. doi: 10.12739/NWSA.2018.13.2.1A0406
- [18] D. Terzopoulos and K. Waters, "Analysis of facial images using physical and anatomical models," *Proceedings Third International Conference on Computer Vision*, IEEE Computer Society, 1990. doi: 10.1109/ICCV.1990.139628

- [19] M. Kirby and L. Sirovich, "Application of The Karhunen-Loeve Procedure for The Characterization of Human Faces," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 12, no. 1, pp. 103-108, 1990. Doi: 10.1109/34.41390
- [20] Y. Rodriguez and S. Marcel, "Face Authentication Using Adapted Local Binary Pattern Histograms," *European Conference on Computer Vision*, 2006. Doi: 10.1007/11744085\_25
- [21] G. Gündüz and İ. H. Cedimoğlu, "Derin Öğrenme Algoritmalarını Kullanarak Görüntüden Cinsiyet Tahmini," *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences*, vol. 2, no. 1, pp. 9-17, 2019. doi: 10.35377/saucis.02.01.517930
- [22] S. Toraman, "Derin Öğrenme ile İnsansız Hava Aracı Görüntülerinden Yaya Tespiti," *Journal of Aviation*, vol. 2, no. 2, pp. 64-69, 2018. doi: 10.30518/jav.450913
- [23] H. T. Ngo, R. N. Rakvic, R. P. Broussard and R. W. Ives, "An FPGA-Based Design of a Modular Approach for Integral Images In A Real-Time Face Detection System," *Mobile Multimedia/Image Processing, Security and Applications 2009*, vol. 7351, 2009. doi: 10.1117/12.820248
- [24] S. Çam and S. B. Kılıç, "Altın Fiyatı Günlük Getirilerinin Yapay Sinir Ağları Algoritması ve Markov Zincirleri Modelleri ile Tahmini," *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, vol. 18, pp. 681-694, 2018. doi: 10.18092/ulikidince.347048
- [25] H. Söyler and O. Kızılkaya, "Para Krizlerinin Yapay Zeka Yöntemleri İle Tahmini: Türkiye Örneği," *Uluslararası İktisadi Ve İdari İncelemeler Dergisi*, vol. 18, pp. 649-666, 2018. doi: 10.18092/ulikidince.347202
- [26] D. Onocak and S. Koç, "Yapay Sinir Ağları İle Emeklilik Yatırım Fonu Hisse Senedi Fiyatlarının Tahmini," *Finans Ekonomi Ve Sosyal Araştırmalar Dergisi (Fesa)*, vol. 3, no. 3, pp. 590-600, 2018. doi: 10.29106/fesa.450623
- [27] Ö. Çelik and U. Ö. Osmanoğlu, "Prediction of The Prices of Second-Hand Cars," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 16, pp. 77-83, 2019. doi: 10.31590/ejosat.542884
- [28] F. Doğan and İ. Türkoğlu, "Derin Öğrenme Modelleri ve Uygulama Alanlarına İlişkin Bir Derleme," *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, vol. 10, no. 2, pp. 409-445, 2019. doi: 10.24012/dumf.411130
- [29] R. Daş, B. Polat and G. Tuna, "Derin Öğrenme ile Resim ve Videolarda Nesnelere Tanınması ve Takibi," *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 31, no. 2, pp. 571-581, 2019. doi: 10.35234/fumbd.608778
- [30] A. Şeker, B. Diri and H. H. Balık, "Derin Öğrenme Yöntemleri ve Uygulamaları Hakkında Bir İnceleme," *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 3, no. 3, pp. 47-64, 2017.
- [31] M. Toğaçar and B. Ergen and F. Özyurt, "Evrişimsel Sinir Ağı Modellerinde Özellik Seçim Yöntemlerini Kullanarak Çiçek Görüntülerinin Sınıflandırılması," *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 32, no. 1, pp. 47-56, 2020. doi: 10.35234/fumbd.573630
- [32] A. Arı and M. E. Berberler, "Yapay Sinir Ağları ile Tahmin ve Sınıflandırma Problemlerinin Çözümü İçin Arayüz Tasarımı," *Acta Infologica*, vol. 1, no. 2, pp. 55-73, 2017.
- [33] H. Üzen and K. Hanbay, "Yaya Özellik Tanıma İçin LM Filtre Temelli Derin Evrişimsel Sinir Ağı," *Politeknik Dergisi*, vol. 23, pp. 605-613, 2020. doi: 10.2339/politeknik.525600
- [34] F. Özyurt and E. Avcı, "İmge Sınıflandırması için Yeni Öznitelik Çıkarım Yöntemi: Add-Tda Algısal Özet Fonksiyonu Tabanlı Evrişimsel Sinir Ağ (Add-Tda-Esa)," *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, vol. 12, no. 1, pp. 30-38, 2019.
- [35] V. V. Nabiyev and A. Günay, "LBP Yardımıyla Görüntüdeki Kişinin Yaşının Bulunması," *Çankaya Üniversitesi Bilim ve Mühendislik Dergisi*, vol. 8, no. 1, 2010.
- [36] C. H. Chan, J. Kittler and K. Messer, "Multi-Scale Local Binary Pattern Histograms for Face Recognition," *Advances in Biometrics*, vol. 4642, 2007. doi: 10.1007/978-3-540-74549-5\_85
- [37] T. Ahonen, J. Matas, C. He and M. Pietikäinen, "Rotation Invariant Image Description with Local Binary Pattern Histogram Fourier Features," *Scandinavian Conference on Image Analysis*, vol. 5575, 2009. doi: 10.1007/978-3-642-02230-2\_7

[38] O. Langner, R. Dotsch, G. Bijlstra, D. H. J. Wigboldus, S. T. Hawk and A. V. Knippenberg, "Presentation and Validation of The Radboud Faces Database," *Cognition and Emotion*, vol. 24, no. 8, pp. 1377-1388, 2010. doi: 10.1080/02699930903485076

### **Nuray KARADAĞ**

Yazar İstanbul doğumludur. 2005 yılında İnönü İlkokulu'na başlayıp 2012 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl başladığım Barbaros Anadolu Lisesi'nden, son sene ayrılarak Birey Temel Lisesinden 2016 yılında mezun olmuştur. 2016 yılında İstanbul Gelişim Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümüne başlayıp, Temmuz 2020 'de mezun olmuştur. Geleceğin mesleği olan yapay zekâ alanına kendini geliştirmek için çalışmalar yapmaktadır.

### **Ali ÇETİNKAYA**

Yazar Ankara doğumludur. 2014 yılında lisans eğitimini Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde Elektronik Öğretmenliği bölümünde tamamlamıştır. Daha sonra 2017 yılında KTO Karatay Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimini tamamlamıştır. 2017 yılında Araştırmacı olarak İstanbul Gelişim Üniversitesi Teknoloji Transfer Ofisi Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde göreve başlamıştır. Araştırma alanları arasında Gömülü Sistemler, Yapay sinir ağları, Bulanık Mantık, Otonom sistemler ve Proje geliştirme ve yönetimi konularında çalışmalar yapmaktadır.

### **Hakan AYDIN**

Yazar Edirne doğumludur. 1993 yılında lisans eğitimini Elektronik Mühendisliği bölümünde, 2003 yılında birinci Yüksek Lisansını Yazılım Mühendisliğinde, 2005 yılında ikinci Yüksek Lisansını Uluslararası İlişkiler alanında, 2017 yılında Doktorasını Hacettepe Üniversitesinde tamamlamıştır. Halen İstanbul Gelişim Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesidir. Araştırma ilgi alanları arasında bulut bilişim, yapay zeka ve siber güvenlik konuları bulunmaktadır.



## Doğal Soğutucu Akışkan Kullanımında Gelişmeler

Esra DEMİRCİ<sup>a</sup>, Mehmet ÖZKAYMAK<sup>b</sup>, Meltem KOŞAN<sup>\*.c</sup>, Ahmet Eren AKKOÇ<sup>d</sup>, Mustafa AKTAŞ<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Karabük Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 78050, KARABÜK, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Karabük Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 78050, KARABÜK, TÜRKİYE

<sup>c</sup> Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 06500, ANKARA, TÜRKİYE

<sup>d</sup> Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 06500, ANKARA, TÜRKİYE

<sup>e</sup> Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 06500, ANKARA, TÜRKİYE

### MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 29.08.2020  
Kabul: 01.12.2020

#### Anahtar Kelimeler:

Enerji verimliliği,  
soğutma, soğutucu  
akışkanlar, soğutucu  
akışkanların çevresel  
etkisi

#### \*Sorumlu Yazar:

e-posta:  
mltmkosan@gmail.co  
m

### ÖZ

Günümüzde son zamanlarda, insanoglu tarafından enerji sistemlerinin ısıtma ve soğutma amacıyla kullanılan sentetik soğutucu akışkanların yol açtığı hava, su, toprak kirliliği, ozon tabakasının tahribatı ve küresel ısınma gibi çevresel sorunlar yalnızca insan sağlığını tehdit etmeyip tüm canlı ve cansız türlerin yaşamlarını ve geleceğini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada, çevreye olan zararların minimum seviyeye indirilmesi için sentetik soğutucu akışkanlara alternatif olarak kullanılabilecek doğal soğutucu akışkanlardan (R290, R600, R717, R744 vb.) ve uygulama örneklerinden bahsedilmiştir. Doğal soğutucu akışkanların kullanımı, soğutma sistemi performans katsayısı ve sistemin teknolojik özellikleri açısından yapılan çalışmalar incelenmiştir. Elde edilen bulgular ve çıkarımlar ısıtma ve soğutma sistemi tasarımcılarına enerji verimliliği ve çevre kriterleri anlamında ışık tutacaktır.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.03.02>

## Developments in Natural Refrigerant Usage

### ARTICLE INFO

Received: 29.08.2020  
Accepted: 01.12.2020

#### Keywords:

Energy efficiency,  
cooling, refrigerants,  
environmental impact  
of refrigerants

#### \*Corresponding

#### Authors

e-mail:  
mltmkosan@gmail.co  
m

### ABSTRACT

Recently, environmental problems such as air, water, soil pollution, ozone layer destruction, and global warming caused by synthetic refrigerants used by human beings for heating and cooling of energy systems do not only threaten human health but also significantly affect the lives and future of all living and non-living species. In this study, natural refrigerants (R290, R600, R717, R744 etc.) that can be used as an alternative to synthetic refrigerants and application examples are mentioned in order to minimize environmental damage. Studies conducted in terms of the use of natural refrigerants, cooling system performance coefficient, and technological features of the system have been examined. The findings and inferences obtained will shed light on the heating and cooling system designers in terms of energy efficiency and environmental criteria.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.03.02>

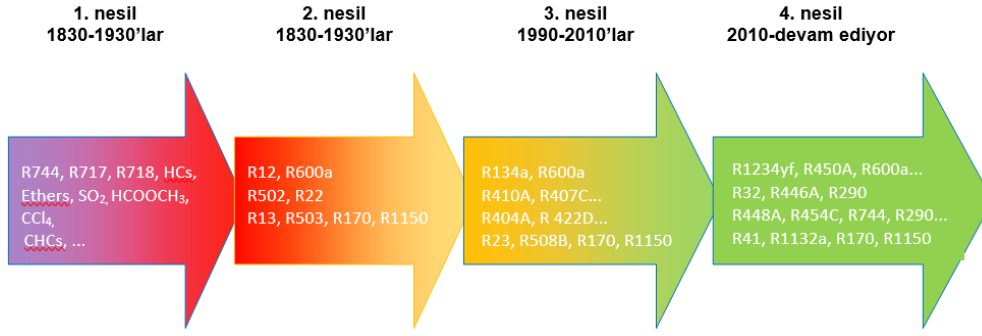
## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Soğutma işlemi bir maddenin veya bir ortamın sıcaklığını çevre sıcaklığının altına düşürmek için ısının çekilmesi işlemidir. Tarihte bilinen ilk yapay soğutma işlemi üzerine çalışmalar 1755 yılında Scotland’ da Glasgow Üniversitesi’nden Dr. William Cullen’in eline sürdüğü eterin çevreden ısı alarak buharlaşması sonucu elinin soğuduğunu fark etmesi ile başlamıştır. Soğutma işlemi tarih içerisinde birçok aşamadan geçerek ve gelişerek günümüze kadar gelmiştir. 14 Ağustos 1834 yılında Jacop Perkins Amerika’ da ilk buhar sıkıştırma soğutma çevriminin patentini almıştır [1]. Buhar sıkıştırma soğutma çevrimiyle aynı prensibe sahip olan ısı pompası Lord Kelvin tarafından 1850 yılında soğutma amaçlı kullanılan cihazların ısıtma amaçlı kullanılabilmesi fikrini ileri sürmesiyle ısı pompası uygulamalarına da başlanmıştır. Perkins’den 25 yıl sonra ilk absorpsiyonlu soğutma sistemi 1859’da Fransız mühendis Ferdinand Carre tarafından geliştirilmiş ve 1860 yılında patenti alınmıştır [2]. Soğutucu akışkanların tarihsel gelişimi Şekil 1’de özetlenmiştir. Gerek ticari uygulamalarda gerek laboratuvar koşullarında kullanılacak soğutucu akışkanlardan emniyetli ve çevreyle dost olmalarının yanı sıra genel olarak istenilen özellikler [3]; pozitif buharlaşma basıncına sahip olmalıdır, yüksek buharlaşma gizli ısısına, yoğunlaşma basıncının düşük değerlere sahip olması ve inert madde özelliğinde olması gerekmektedir. Ayrıca zehirlenme, yanma ve patlama tehlikelerine karşı emniyetli olmalıdır. Sistemde meydana gelebilecek soğutucu akışkan sızıntıları kolayca tespit edilebilmelidir. Ekonomik olmalıdır, yüksek ısı iletkenliğe sahip, donma sıcaklık derecesinin çok düşük, kritik sıcaklık değerinin ise yüksek değerlere sahip olması, elektriksel olarak yalıtkan özellik göstermesi ve özgül hacmi ile viskozite değerinin düşük olması gerekmektedir.

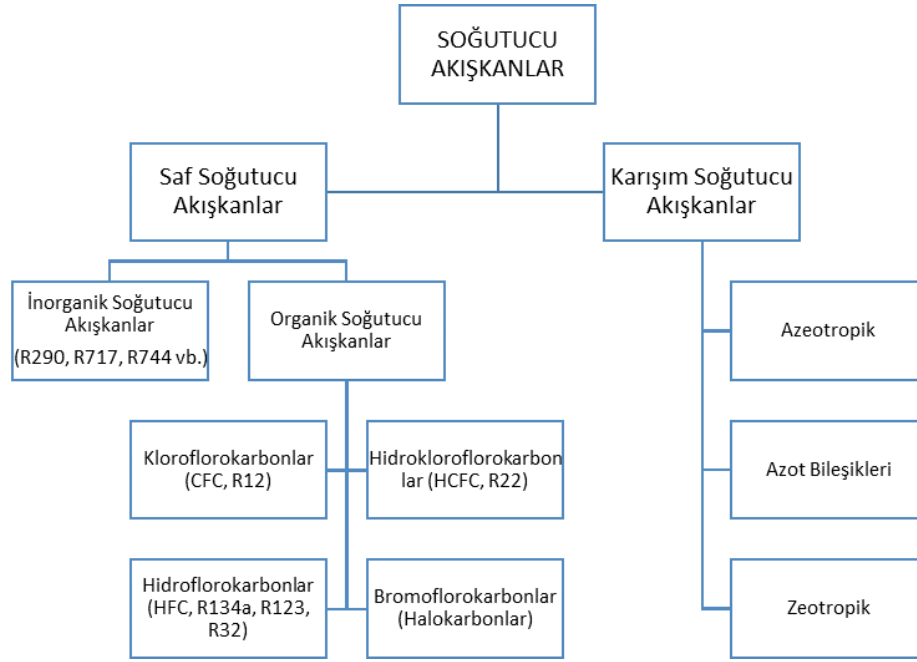
Isıtma ya da soğutma amacıyla çeşitli çevrimlerde kullanılan soğutucu akışkanlar iki farklı ortam arasında ısı alışverişini sağlayan yardımcı bir maddedir. Diğer bir ifadeyle soğutulacak olan maddelerden doğrudan ve/veya dolaylı olarak ısı alarak onları soğutan maddelere soğutucu akışkan denir. Günümüzde birçok soğutucu akışkan aktif olarak kullanılmaktadır. Geçmişten günümüze kadar pek çok soğutucu akışkanın keşfi yapılmıştır. Fakat bir kısmı günümüzde çeşitli nedenlerden dolayı kullanımı yasaklanmış veya işletme şartlarına uyum

sağlayacak özelliklerde geliştirilmesi sağlanmıştır [4]. Soğutma endüstrisinde ısı çekmek için ilk zamanlarda su, amonyak, hava, karbondioksit gibi doğal akışkanlar kullanılmıştır. 1930 yılına kadar amonyak, klorometan, karbon tetraklorür, izobütan ve propan yaygın olarak kullanılan soğutucu akışkanlardır [5]. Zamanla gelişen soğutma ve kimya endüstrisi ile bu akışkanların yerini yapay olarak elde edilen kimyasal akışkanlar almıştır. 1930 yılında R12 ( $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ) gazı bulunarak kloroflorokarbonlar (CFC) soğutucu akışkanların temeli atılmıştır. Yeni üretilen bu soğutucu akışkan zehirleyici ve yanıcı olmaması, kararlı bir kimyasal ve ısı özelliklerinin iyi olması sebebiyle ne yazık ki atmosfere salınan sızıntılar ve verdiği zararlar tolere edilmiş 1930’lu yıllardan 1990’lı yıllara kadar tercih edilen bir soğutucu akışkan olmuştur. 5 yıl sonra 1935 yılında R22 ( $\text{CHF}_2\text{Cl}$ ) soğutucu akışkanı bulunarak Hidrokloroflorokarbon (HCFC) kökenli akışkanlar geliştirilmiştir. Önceleri yaygın kullanılan akışkanlardan birisi olan amonyak toksisitesi ve yanıcı özelliğinden dolayı yavaş yavaş yerini CFC ve HCFC’ler gibi sentetik soğutuculara bırakmıştır. Şekil 2’de genel olarak kullanılan soğutucu akışkanlar görülmektedir.

Soğutucu akışkan olarak kullanılan insan yapımı kimyasal maddelerin dünyaya olan zararlı etkileri yapılan bilimsel çalışmalar sonucunda ortaya çıkınca kullanımlarında bazı değişimler başlamıştır. İçerisinde klor ve brom da dahil olmak üzere ozon tabakasında dahil olmak üzere çevre için zararlı maddeler ihtiva eden soğutucu akışkanların üretimi 1987 yılında imzalanan Uluslararası Montreal Protokolü ile kontrol altına alınmıştır. Böylece soğutucu maddelerin kullanımında yeni bir döneme girilmiş ve çevreye en az ve/veya hiç zarar vermeyen alternatif soğutucu akışkanların arayışı başlamıştır. 1 Ocak 1996 tarihinde CFC tipi soğutucu kimyasal akışkanların üretimi tamamen durdurulmuştur. 1989 yılına gelindiğinde ise ozon tabakasına zarar vermeyen hidroflorokarbon (HFC) kökenli R134a ( $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$ ) ve R123 ( $\text{C}_2\text{HF}_3\text{Cl}_2$ ) soğutucu akışkanlar bulunarak alternatif akışkanlar geliştirilmiştir. Alternatif soğutucu akışkanların seçiminde genel olarak dikkat edilmesi gereken kriterler [6,7]; temin edilebilirlik, termodinamik ve fiziksel özellikler, yanma özellikleri, ozon tüketme potansiyeli (ODP) değeri, küresel ısınma potansiyeli (GWP) değeri, fiyat, zehirlilik özellikleri, malzeme uyumu, yağ değişimi ve yağlarla uyumu olarak söylenebilir.



Şekil 1. Soğutucu akışkanların tarihsel gelişimi (Historical development of refrigerants)

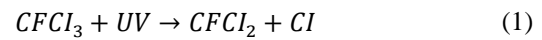


Şekil 2. Soğutucu akışkanlar (Refrigerants)

## 2. SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİ (ENVIRONMENTAL EFFECTS OF REFRIGERANT)

Yeryüzünden 12 ile 55 km yükseklikte bulunan ozon tabakası güneşten gelen zararlı ultraviyole ışınlarını soğurarak zararlı ışınlar karşı dünyayı korumaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle beraber yapılan araştırmalar ve keşifler sonucunda uzun süredir çeşitli amaçlar için yaygın olarak kullanılan soğutucu akışkanlardan HCFC, CFC ve halojen madde içeren akışkanların çevreye ve ozon tabakasına büyük zararlarının dokunduğu, ozon miktarında ciddi bir azalmaya neden olduğu gözlemlenmiştir [8]. Çeşitli prosesler için sistemlerde kullanılan içerisinde klor bulunan kimyasal bileşiklerden atmosfere kaçak olabilmektedir. Örneğin CFC'ler atmosferin troposfer katmanında oldukça kararlı olmalarına rağmen doğal yollarla stratosfer katmanına geçtiklerinde Eşitlik

1'de görüldüğü gibi ultraviyole ışınları tarafından parçalanmaya başlar. Böylece ozon tabakasının inceltilmesine neden olan klor atomları salınır. Ozon bileşiğinin yapısını bozup parçalanmasına ve oksijen oluşmasına neden olan bu serbest hale gelen klor atomlarıdır. Serbest haldeki klor atomu bir ozon bileşiği ile etkileştiğinde Eşitlik 2'deki gibi klormonoksit (ClO) ve oksijen molekülü (O<sub>2</sub>) oluşmaktadır. Oluşan klormonoksit Eşitlik 3'de ifade edildiği gibi serbest halde bulunan bir oksijen atomu kimyasal tepkimeye girerek oksijen molekülü ve klor atomu oluşturur. Ozonun parçalanması aşağıda verilen kimyasal eşitlikler ile daha iyi açıklanabilmektedir.





Kimyasal kararlılığı yüksek olan CFC'ler atmosferde yapısı bozulmadan çok uzun süre kalabilmektedir. Serbest haldeki klorun atomunun başlattığı bu kimyasal zincirin doğal yollarla atmosferin troposfer katmanına dönmeden önce 100,000 ozon molekülünü oksijene dönüştürebilmektedir [9].

Küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunları ile ilgili uluslararası mücadeleyi sağlamak amacıyla 1997 yılında imzalanan Kyoto protokolü kapsamında listelenen florlu sera gazları ile bünyesinde florlu sera gazı ihtiva eden ürün ve ekipmanların kullanım usul ve esaslarını düzenlemek ve florlu sera gazı kaynaklı emisyonları kontrol altında tutmak amacıyla yapılan Florlu Gazlar Yönetmeliği Avrupa Birliği tarafından 2006 yılında yayınlanmış 2014 yılında ise revizyonu yapılarak 1 Ocak 2015 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Çeşitli uygulamalar ve sektörlerde kullanılan insan yapımı kimyasallar olan florlu gazlar; sülfürhegzaflor (SF<sub>6</sub>), perflorokarbonlar (PFC) ve hidroflorokarbonlar (HFC) olup, bu kimyasallar çeşitli sanayi tesislerinde ve/veya konutların iklimlendirilmesinde, ısıtılmasında, soğutulmasında, yangın söndürücü gibi geniş uygulama alanlarında kullanılmaktadırlar. Bununla birlikte, sıfır ODP değerine sahip olmasına rağmen F- gazların iklim değişikliğine zararlı etkileri de mevcuttur.

2015'te yürürlüğe giren "F Gaz Yönetmeliği" ile kullanımı sınırlandırılan soğutucu akışkanları içeren sistemler yerine soğutucu akışkan olarak çevreye duyarlı doğal soğutucu akışkanların tercih edildiği sistemlerin geliştirilmesinin öneminin daha da arttığı görülmektedir. Enerjinin etkin kullanımı ve enerji yoğunluğunun azaltılması için atılan adımlar çerçevesinde konut ve endüstriyel kullanım fark etmeksizin ortak bir hedeftir.

Soğutucu akışkanların, ozon tabakasının incilmesi ve küresel ısınmanın etkisini arttırması gibi çevreye olan zararlı etkilerinden dolayı birçok uluslararası yönetmeliğin yayımlanmasına yol açmıştır. Böylece de süreç içerisinde alternatif soğutucu akışkanlar kavramı ortaya çıkmıştır. Bu süreç içerisinde sürekli bir değişim yaşanmış ve soğutucu akışkan üreticisi olan firmalar ihracat yaptıkları ülkelerin çevre yönetmeliklerine uygun soğutucu akışkanlar geliştirmek zorunda kalmıştır.

### 3. DOĞAL SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN ÖZELLİKLERİ VE DOĞAL SOĞUTUCU AKIŞKANLARDA SON GELİŞMELER (CHARACTERISTICS OF NATURAL COOLING FLUIDS AND LATEST DEVELOPMENTS IN NATURAL COOLING FLUIDS)

Isıtma ve soğutma endüstrisinde kullanılan akışkanlardan ekonomik, güvenli, kolay temin edilmesi gibi istenilen özelliklerin yanı sıra soğutucu akışkanın yaşadığımız dünyaya çevresel olarak zarar vermemesi gerekmektedir. Bu sebeple zaman içerisinde ısıtma ve soğutma endüstrisinde pek çok farklı özellikte soğutucu akışkan üretimi gerçekleştirilmiş ve kullanılmıştır. Geçmişte bir dönem kullanılan amonyak (R717), karbondioksit (R744), su (R718) gibi soğutucu akışkanların yerini bir müddet sonra laboratuvar ortamlarında geliştirilen HCFC ve CFC gibi soğutucu akışkanlar almış ve yoğun bir şekilde kullanılmıştır. İnsan yapımı yaygın olarak kullanılan soğutucu akışkanların farklı karakteristik davranışları ile avantaj ve dezavantajlarının olması kullanım yerlerinin çeşitliliğini arttırmıştır. Bununla beraber zaman içerisinde ozon tabakasına zararlı olduğu anlaşılan CFC gibi çeşitli akışkanların kullanımı uluslararası antlaşmalarda yasaklanmış ve/veya kısıtlanmıştır. Sonraki süreçlerde CFC gruba alternatif olarak kullanılan daha az ozon tahribatına sahip olan HCFC grup akışkanlar kullanılmıştır. HCFC grup soğutucu akışkanlara da alternatif olarak hidrojen, flor ve karbon içeren ozon tahribatları düşük olan fakat GWP sahip olan HFC grubu soğutucu akışkanlar kullanılmaya başlanmıştır. R32, R134a, R410A, R407C bu gruptaki bazı soğutucu akışkanlara örnek olarak verilebilir. HFC grup soğutucu akışkanlardan sık kullanılan R32 soğutucu akışkanlar arasında en dengeli çözüm sunan akışkandır. Aynı grupta yer almasına rağmen R410A akışkanı ile R32 akışkanı test edilmiştir. Değişken hızlı bir kompresörün 16 kW gücünde performans analizi sonucu R32 soğutucu akışkanının soğutma performansının R410A'dan daha yüksek olduğu ifade edilmiştir [10].

Zeotrop karışımlarda genelde kritik nokta sıcaklığı ile hacimsel soğutma kapasitesi arasında uyum olduğu ve saf akışkanların COP değerlerinin çoğunlukla karışımların COP değerlerini etkilediği ifade edilmiştir [11].

Ozon tüketimi yapmayan, doğal, enerji verimliliği yüksek, zehirleyici etkileri olmayan, GWP değeri göz ardı edilebilir seviyede olan hidrokarbonlar doğal

soğutucu akışkan olarak adlandırılırlar. En yaygın bilinen hidrokarbonlar bütan (R600), isobütan (R600a), propan (R290), propilen (1270), etan (R170) ve etilen (R1150)'dir. Hidrokarbonlar yüksek yoğunluklu sıcaklıklarında bile yüksek COP sağlarlar. Ayrıca yüksek ısı transfer özelliğine sahiptirler. Yanıcı, parlayıcı, kokusuz olması ve şarj miktarı kısıtı en önemli dezavantajlarıdır [9].

Montreal Protokolü gereği ozon tahribatı az olan veya hiç olmayan alternatif akışkanların arayışına

gidilmiştir. Doğanın kimyasal ve biyolojik doğal döngülerinde meydana gelen doğal soğutucu akışkanlar CFC, HCFC ve HFC gibi soğutucu akışkanların çevreye verdiği zararlara karşı alternatif teşkil etmektedir. Sıfır ODP ve düşük GWP değerleriyle sahip oldukları çevresel özellikleri sayesinde doğal soğutucu akışkanlar günümüzde ve gelecekte kullanılabilirliği büyük önem arz etmektedir. Bazı doğal ve kimyasal soğutucu akışkanların özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir [12].

Tablo 1. Bazı soğutucu akışkanların özellikleri (Properties of some refrigerants)

Soğutucu Akışkan	ASHARE Sınıflandırması	Moleküler Formül	Emniyet Sınıfı	Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)	Ozon Tüketme Potansiyeli (ODP)	Kritik Sıcaklık (°C)	Kritik Basınç (MPa)	Normal Kaynama Sıcaklığı (°C)
Doğal Soğutucu Akışkanlar								
Karbondiyoksit	R744	CO <sub>2</sub>	A1	1	0	30,98	7,38	-78,46
Propan	R290	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	A3	3	0	96,74	4,25	-42,11
İzobütan	R600a	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	A3	4	0	134,66	3,83	-11,75
Propilen	R1270	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	A3	1,8	0	91,06	4,55	-47,62
Amonyak	R717	NH <sub>3</sub>	B2L	0	0	132,25	11,33	-33,33
Kimyasal Soğutucu Akışkanlar								
Tetrafloroetan	R134a	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	A1	1300	0	101,06	4,06	-26,07
Klorodifloro metan	R22	CHClF <sub>2</sub>	A1	1760	0,03	96,15	4,99	-40,81
Diklorodifloro metan	R12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	A1	10200	0,73	111,97	4,14	-29,75

Sistemde kullanılacak bir soğutucu akışkandan buharlaşma gizli ısısının yüksek olması, zehirleyici ve yanıcı olmaması, temasta bulunduğu yüzeylere ve malzemeye zarar vermemesi, uyumlu olması istenir. Fakat her soğutucu akışkan bu özellikleri karşılayamaz. Gerekli önlemler alınarak akışkana göre tasarlanmış sistemler sayesinde bahsi geçen dezavantajlara karşı tatmin edici çözümler ile çeşitli soğutucu akışkanlar uygulamalarda kullanılabilir. Bu soğutucu akışkanlara örnek olarak R717 soğutucu akışkan verilebilir. Hem ekonomik hem de kolay ulaşılabilir olmasının yanı sıra sahip olduğu sıfır ODP değeri ve GWP değeri ile R717 geçmişte, günümüzde ve hatta gelecekte çevreye zararlı olan CFC, HCFC gibi soğutucu akışkanlara karşı güçlü bir alternatiftir. Fakat zehirleyici, yanıcı ve patlayıcı olma özellikleri vardır. R717, zehirleyici ve yanıcı özelliğinden dolayı özel güvenlik önlemleri gerektirir de CFC, HCFC ve HFC'lere kıyasla termodinamik özellikleri çok daha iyidir. Zehirleyici olma özelliğine rağmen sahip olduğu ayırt edici koku 5 ppm kadar küçük

konsantrasyonlarda meydana gelebilecek sızıntılar insanlar tarafından fark edilebilmektedir [13]. Küçük soğutma yükleri az miktarda soğutucu akışkan gerektiğinden kontrolü zorlaşmaktadır. Bu yüzden ihtiyaç duyulan küçük yükleri karşılamakta pek kullanışlı değildir. Atmosfer basıncında buharlaşma sıcaklığı -33,3°C civarındadır. Kritik sıcaklık değeri 132,35 °C ve kritik basınç değeri 113,53 bar'dır. Sahip olduğu özellikler sayesinde R717 ısıtıldığında sudan kolayca ayrılabilirdiği için absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde rahatlıkla kullanılabilir. Ozon tahribatına ve küresel ısınmaya karşı güçlü bir alternatif olan R717 sahip olduğu avantajlar ile endüstride bazı kullanım alanlarına sahiptir. Sentetik soğutucu akışkanlara kıyasla azot döngüsünün bir yan ürünü olan R717 daha ucuzdur. Fakat R717 diğer ortam koşulları da sağlandığında bakır ve bakır alaşımlarına zarar verebilir. Bu durum CFC ve/veya HCFC'lerle çalışan günümüzde çoğunlukla kullanılan bakır boru sistemlerine karşı dezavantaj oluşturmaktadır [14]. Bundan dolayı çelik borulama

sistemleri gibi tesisatlarda kullanılmaya zorunluluğu vardır.

R717 soğutucu akışkanı buhar sıkıştırma çevrimlerinde kullanıldığında çok iyi verime sahiptir. Ayrıca R717 ve kompresör yağının karışabilirliği zayıftır. Bu özelliği ile yangın riski azaltılmakla beraber daha kolay ayrılmasını da sağlar. Sistemin dezavantajı yağı kompresöre geri döndürmek için ayrı bir mekanizmaya ihtiyaç duymasındır [9]. Dikmen ve arkadaşları düşük GWP değerine sahip soğutucu akışkanlar ile yaptıkları çalışmada çeşitli soğutucu akışkan çiftleri ile çalışan kaskad soğutma sistemlerinin performanslarını karşılaştırmışlardır. Sistem çalışma performansının alçak basınç çevriminde yoğunlaşma sıcaklığından ve yüksek basınç çevriminde buharlaşma sıcaklığından etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Sonuçta en yüksek performans katsayısı (COP) değerini R454C/R717 soğutucu akışkan çiftiyle çalışan sistemde 3,16 olarak ve bunun yanında en küçük COP değeri ise R744/R290 soğutucu akışkan çiftiyle çalışan sistemde 2,42 olarak bulunmuştur [15]. Kaskad sistemlerde birincil çevrimin soğutucu akışkanı olarak kullanılabilen R717 ikincil soğutucu akışkan olarak suyla beraber de kullanılabilir. R717 bölgesel ısıtma ve/veya soğutma uygulamalarında, endüstriyel ısı pompalarında, gıda ürünlerinin soğuk ortamlarda muhafazasında, bazı içecek ve süt ürünlerinin soğutulmasında ve depolanmasında, buz üretiminde ve donmuş paketleme uygulamalarında kullanılabilir.

Boumaza (2010) tarafından R22 soğutucu akışkana alternatif 3 farklı soğutucu akışkanın (R290, R717, R600) 3 farklı kondenzasyon sıcaklıklarında (30°C, 40°C, 50°C) çalışan akışkanın termodinamik analizinin simülasyonu yapılmıştır. Yapılan çalışma ile evaporatör ve kondenser sıcaklıklarının COP, hacimsel soğutma kapasitesi (VRC), kompresör deşarj sıcaklığı ve kompresör yük kapasitesi üzerine etkisi incelenmiştir. COP için R290'ın R22 ile benzer sonuçları gösterirken R717 ve R600 soğutucu akışkanları R22 den düşük COP'ye sahip özellik sergilemiştir. R22 ile kıyaslandığında en yüksek hacimsel soğutma kapasitesi değerini R717 göstermiştir. Elde edilen sonuçlar R290, R22 ye benzer termodinamik performansa sahip olsa da R290'ın düşük akış hızına sahip olması ekipmanların da küçük olmasını gerektirmektedir. Bu nedenle R290 daha küçük soğutma yükleri için R22 soğutucu akışkanın yerine kullanılabilirliğini göstermiştir. R717 sahip olduğu yüksek gizli ısıya rağmen yanıcı, zehirleyici etkilerinden dolayı uygulamada fazladan

güvenlik teçhizatları gerektirmektedir. İncelenen doğal soğutucu akışkanlar soğutma, klima ve ısı pompalarında kullanılmak için potansiyel aday olarak görülmektedir [16].

R744 yaygın olarak kullanılan soğutucu akışkanlardan bir tanesidir. Gazoz, kola vb. içecekler için tasarlanan soğutma sistemlerinde kullanılabilen R744, amonyak haricindeki diğer soğutucu akışkanlara kıyasla daha yüksek gizli ısı, özgül ısı, yoğunluk, termal iletkenlik ve daha düşük viskozite göstermesi ile de diğer soğutucu akışkanlara karşı üstünlük sahibidir. Ayrıca sıfır ODP çok düşük GWP'ye sahip olması zehirleyici ve yanıcı olmaması R744'ü halokarbon soğutuculara karşı önemli bir alternatif kılmaktadır. Soğutma sanayisinin başladığı ilk zamanlarda yaygın bir şekilde kullanılan R744 soğutucu akışkanının kritik noktasının sıcaklığı düşük (31,06 °C) ve basıncının yüksek olması (73,8 bar) uygulamalarda kullanılmasını sınırlamaktaydı. Buhar sıkıştırma ısıtma ve/veya soğutma çevrimlerinde bu sorunu çözmek amaçlı geliştirilen transkritik çevrimler ile uygulamaların sayısı artmıştır. Transkritik çevrimlerde R744 soğutucu akışkanı kritik noktasının üstüne çıkabilmektedir. Bu sistemlerde kondenser yerine gaz soğutucu adı verilen ekipman kullanılır. Kim vd. iklimlendirme ve ısı pompası uygulamalarında kullanılan R744 soğutucu akışkanın transkritik çevrim teknolojisi için yapılan son gelişmeleri araştırmışlardır. Araştırmalarında R744'ün hacimsel ısı transfer kapasitesinin 0 °C'de 22,545 kJ/m<sup>3</sup> olduğunu ve HC, HFC, HCFC ve CFC soğutkanlarına kıyasla hacimsel ısı transfer kapasitelerinin 3 ile 10 kat daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir [17]. R744 soğutucu akışkanın yüksek hacimsel ısı transfer kapasitesine sahip olması ısıtma ya da soğutma amaçlı tasarlanan sistemin boyutlarının küçük olması anlamına da gelmektedir. R744 soğutucu akışkanı diğer alternatif soğutucu akışkanlarla karşılaştırıldığında (-5/-30°C) uygulama şartlarında R717'ye kıyasla kompresör süpürme hacmi 1/9 oranında daha küçüktür [18]. R134a'ya göre gizli buharlaşma ısı daha fazla olduğu için soğutmada gerekli olan soğutucu akışkan miktarı daha az olmaktadır. Daha az soğutucu akışkan miktarı beraberinde akışkanın sistem içerisinde hızının da düşük olmasına ve böylece sürtünme kaynaklı enerji kayıplarının daha az olacağı anlamına gelmektedir [19]. Bu avantajlarına rağmen R744 soğutucu akışkanının kritik noktası basınç değerinin diğer soğutucu akışkanlara kıyasla yüksek olması sistem güvenliği açısından tasarımında kullanılacak ekipmanları etkilemektedir. Bu yüzden ekipman

üreticileri, yüksek basınçlarda uygun mukavemeti gösterebilecek ürünler geliştirmelidir.

Dünya üzerinde hemen hemen her yerde ve bolca bulunan su iklimlendirme sistemlerinde kullanılmaktadır. 0 °C'de sıvı fazdan katı faza geçtiği için kullanım alanı sınırlıdır. Bununla beraber yüksek gizli ısıya sahiptir. R718'in kritik noktasının sıcaklık ve basınç değerleri sırasıyla 374,14 °C ve 220,89 bar değerindedir.

Diğer soğutucu akışkanlarla karşılaştırıldığında suyun sahip olduğu avantajların bir kısmı aşağıda verilmiştir [20]:

- Küresel ısınma potansiyeli sıfırdır (GWP = 0).
- Ozon tüketme potansiyeli sıfırdır (ODP = 0).
- Yanıcı olmadığı gibi zehirleyici etkisi de yoktur.
- Çevreye zararlı olmayıp kullanımı kolaydır.
- R718'in kullanımı için gelecekte herhangi bir kısıtlama yoktur.
- Kullanım sonrası imha işlemlerinde sorun oluşturmaz.
- Sistem buharlaşma ve yoğuşma için doğrudan ısı eşanjörleri kullanılabilir. Bu sayede R718 kullanan sistemlerin COP değerleri çok yüksek olabilmektedir.
- Sistemin buharlaşma sıcaklığına bağlı olarak CFC'lerle rekabet edebilecek COP değerine sahiptir.
- Sistemde kullanılacak akışkanın eldesi için musluklar, artırılmış atık sular veya filtre edilen nehir suları kullanılabilir.

Diğer bir yandan, Hidrofloroolefin (HFO) soğutucular, karbon, hidrojen ve floradan oluşan doymamış organik bileşiklerdir. HFO soğutucular, kloroflorokarbonlar (CFC'ler), hidrokloroflorokarbon (HCFC'ler) ve hidroflorokarbonlar (HFC'ler) gibi geleneksel doymuş halohidrokarbon soğutuculardan farklı olan en az bir çift bağ (C = C) içerir. Diğer bir önemli fark, HFO'ların normalde klorsuz olma ve kısa atmosferik ömürlere sahip olma moleküler özellikleri nedeniyle sıfır ODP ve son derece düşük GWP sergilemesidir. Bu nedenle, HFO'lar son on yılda giderek artan bir ilgi görmekte ve bunlardan bazıları gerçek koşullar altında yeni nesil soğutucu akışkanlar için aday olarak görülmektedir. Çünkü mevcut yaygın olarak kullanılan çevre dostu olmayan doymuş halohidrokarbon soğutucuların çoğunun, Montreal Protokolü, Kyoto Protokolü, Paris Anlaşması, F-Gaz Yönetmelikleri dahil olmak üzere uluslararası iklim sözleşmelerinin gerekliliklerine göre aşamalı olarak kaldırılması planlanmıştır. HFO'lar, HFC'lerin GWP'sinin % 0,1'i ile "dördüncü nesil" soğutucu akışkanlar olarak geliştirilmektedir ve bu akışkanlar; HFO-1234yf, HFO-1234ze, HFO-1336mzz-Z, HFO-1336mzz-E'dir. HFO sınıfındaki birçok soğutucu

akışkan, doğal olarak kararlı kimyasal ve inerttir, toksik değildir ve yanmaz veya hafif yanıcıdır. Birçok HFO, ortak sıcaklıklarda soğutma için yararlı olacak uygun donma ve kaynama noktalarına sahiptir. Ayrıca kojenerasyon, ısı geri kazanımı ve orta sıcaklıkta ısı pompaları gibi yüksek sıcaklık uygulamalarının yanı sıra şişirici maddeler olarak, yani yalıtım köpüklerinin üretiminde, gıda endüstrisinde, inşaat malzemelerinde de umut vaat etmektedirler [21].

#### 4. ÇALIŞMALARIN İNCELENMESİ (REVIEW OF STUDIES)

Dikmen ve arkadaşları (2020), kaskad soğutma sisteminde düşük GWP değerine sahip soğutucuları kullanarak sistemin karşılaştırmalı performans analizini yapmışlardır. Yapılan çalışmada en yüksek COP değerini 3,16 ile R454C/R717 soğutucu akışkan çiftiyle çalışan sistemde bulmuşlardır [15].

Boumaza (2010), R22'ye alternatif 3 farklı soğutucu akışkanın (R290, R717, R600) 3 farklı kondenzasyon sıcaklıklarında (30°C, 40°C, 50°C) çalışan akışkanın termodinamik analizinin simülasyonu yapılmıştır. R290 soğutucu akışkanı R22 ile benzer COP değerleri gösterirken R717 ve R600 soğutucu akışkanları R22'den düşük COP değeri göstermiştir. R290 soğutucu akışkanının küçük soğutma yüklerinin karşılanmasında R22'ye alternatif olabileceğini belirtmişler ve buna ek olarak R717 akışkanının yanıcı ve zehirleyici özelliğinden ek güvenlik önlemlerinin alınması gerektiğini vurgulamışlardır [16].

Kızılkın (2015), ozon tahribatına ve küresel ısınmaya yol açan akışkanlara alternatif olabilecek bazı doğal ve klasik akışkanları bir soğuk hava deposu için karşılaştırmış ve termodinamiğin birinci ve ikinci yasasına göre incelemiştir. Çalışmasında en yüksek COP değerini R600 soğutucu akışkan ile 2,5 olarak bulunmuştur. R717 ve R290 soğutucu akışkanların COP değerleri ise sırasıyla 2,462 ve 2,369 olarak hesaplanmıştır. En düşük COP değerleri R744 için 1,482 ve R170 için 1,463 olarak elde edilmiştir [22].

Choudhari ve Sapali (2017), soğutma sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkan R22 ile ODP değeri 0 ve düşük GWP değerine sahip R290 soğutucu akışkanının buhar sıkıştırma çevriminde termodinamik performansını karşılaştırmışlardır. R290 kullanıldığında sistemin COP değerinin R22'ye kıyasla çok az düşük olduğunu ve R290'a yönelik tasarlanacak özel sistemler sayesinde uygulamada R22 ye iyi bir potansiyel alternatif akışkan olabileceğini ifade etmişlerdir [23].

Pitarch, ve arkadaşları (2017), doğal soğutucu akışkanlar kullanarak sıcak su üretmek için farklı ısı pompası tasarımları arasında bir karşılaştırma yapmışlardır. Propan, subkritik çevrimli sistemler mevcut CO<sub>2</sub> sistemleri ile karşılaştırıldığında su sıcaklığı artışına bağlı olarak % 5 ile % 20 arasında daha yüksek bir COP göstermiştir. Propan subkritik çevrimle çalışan sistem CO<sub>2</sub> sistemlere göre COP değerinde %11'e kadar bir iyileşme ile suyu 30°C'den 90 °C'ye kadar ısıtabileceğini ifade etmişlerdir [24].

Erten ve Uludağ (2019), 3,54 kW soğutma kapasiteli R404A ve R290 soğutucu akışkan ile çalışan buhar sıkıştırılmalı iki ayrı soğutma sistemini test etmişlerdir. Testler aynı şartlar altında (Class-3 25 °C sıcaklık %60 bağıl nem) gerçekleştirilmiştir. R290 soğutucu akışkanlı soğutma sisteminin performans katsayısı değeri 2,5 olarak hesaplanmıştır. R404Asoğutucu akışkanlı soğutma sisteminin COP'sini 2,2 olarak hesaplanmıştır. Yani bu sistem R290'lu (Propanlı) sistem ile daha enerji verimli hale getirilmiştir [25].

Shaik ve Babu (2017), propilen (R1270) ve propan (R290) içeren ikili soğutucu akışkan karışımlarını, pencere tipi bir klima cihazında teorik COP değerini araştırarak R22 akışkan ile karşılaştırma yapmışlardır. Çalışmanın sonunda kütleli olarak %75 R1270 ve %25 R290 karışımının R22'ye en yakın COP değerini sağladığını tespit ederek, konut klima uygulamalarında kullanılan R22 akışkan yerine uygun bir alternatif soğutucu akışkan olduğunu tespit etmişlerdir [26].

Özyurt ve arkadaşları (2015), kaskad bir soğutma çevriminin teorik analizini yapmışlardır. Karbondioksit döngüsünde yoğunlaştırıcı sıcaklığının yükseltilmesiyle ekserji yıkımlarında azalma olduğunu ve buna bağlı olarak COP değeri ile ikinci yasa veriminin arttığını gözlemlemişlerdir. R717 yoğunlaştırıcısını sistemdeki ekserji kayıplarının nedeni olarak belirlemişler ve ısı değiştiricideki sıcaklık farkındaki artışın sistemin COP'sini ve ikinci yasa verimini düşürdüğünü tespit etmişlerdir [27].

Cho (2015), güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemlerinin ekserji ve COP analizlerini farklı hava koşullarında yapmıştır. Bulutlu hava koşullarında R22 soğutucu akışkanlı sistemin COP değeri 3,21, R744 soğutucu akışkanlı sistemin COP değeri 2,75; güneşli hava koşullarında ise COP değerleri %20,2 artarken, güneş kolektörünün veriminin yaklaşık %14,2 azaldığını gözlemlemiştir. İkinci yasa verimleri kıyaslandığında da R22 soğutucu akışkanlı sistemin

veriminin R744 soğutucu akışkanlı sistemin veriminden %6,2 daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir [28].

Nguyen ve arkadaşları (2019), R744 soğutucu akışkanlı ısı pompası çevriminde ısıtma modunda ısı değiştiricinin sistem performansı üzerindeki etkisini anlık enerji simülasyonları ile değerlendirmişlerdir. Aynı çalışma şartlarında ara ısı değiştiricili sistemin ara ısı değiştirici kullanılmayan sistemden %22 daha yüksek COP değerine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir [29].

Silva ve arkadaşları (2012), süpermarket uygulamalarında CO<sub>2</sub>-R404A soğutucu akışkanlı kaskad soğutma sistemini (CO<sub>2</sub> subkritik olarak), R404A soğutucu akışkanlı sistemi ve R22 soğutucu akışkanlı sistemi enerji verimliliği yönünden değerlendirmişlerdir. Değerlendirme sonucunda CO<sub>2</sub> kullanılan kaskad soğutma çevrimi diğer iki sistem ile karşılaştırıldığında elektrik enerjisi tüketiminin %24-%13 arasında azaldığı ve düşük sıkıştırma oranı ile CO<sub>2</sub> kompresörünün ömrünün uzadığını gözlemlemişlerdir [30].

Yolcan (2017), güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompası sisteminde buharlaşma sıcaklığı yükseldikçe ve yoğunlaşma sıcaklığı düştükçe, COP değerinin yükseldiğini gözlemlemiştir. Elde etmiş olduğu sonuçlara göre en COP değerini R134a ve R600a, en düşük COP değerini ise R410A ve R507A soğutucu akışkanlarının sağladığını belirtmiştir. Kompresörlerin ekserji verimini %78 - %92, kondenserlerin ekserji verimini %94 - %98, genişleme valflerinin ekserji verimini %69-%95 aralığında ve evaporatörlerin verimini %28-%86 aralığında bulmuştur [31].

Coulbourne ve Ritter (2000), %45,2/54,8 oranında R290/R600a karışımının hidrokarbon karışımları arasında beğenildiğini vurgulayarak, kimyasal kararlılıkta olup hermetik tip kompresörlerde metal olmayan ekipmanlarla tepkime yapmayan özellikte olduğunu göstermişlerdir [32].

Boran ve arkadaşları (2015), farklı miktarlarda kütle içeren R134a/R152a karışımlarının performanslarını deneysel olarak bir ısı pompası sisteminde incelemişlerdir. İncelemelerinde R152a soğutucu akışkanının oranının artması ısıtma COP'sinin %5-23 arasında, soğutma COP'sinin ise %6-28 arasında arttığını tespit etmişlerdir [33].



Lee ve Su (2002), soğutma çevrimine 150 g R600a şarj etmişlerdir. Soğuk depo uygulaması için 4 °C ve dondurma uygulamaları için -10 °C soğutma sıcaklıklarında deneysel olarak karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, COP değeri soğuk depo uygulamasında 4,5 olarak dondurma uygulamasında ise 3,5 olarak tespit etmişlerdir [34].

Ender (2018), R404A soğutucu akışkanlı buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde sadece R404A soğutucu akışkanın yerine R442A ve R453A kullanılmasını deneysel olarak ele almıştır. Yapılan deneyler sonucu R442A ve R453A soğutucu akışkanlarının soğutma kapasitelerinin sırayla R404A'dan %6,92 ve %3,10 daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca iç ısı değiştirici kullanılırsa sistemde soğutma kapasitelerinin %19,63 ve %24,0 artış gösterdiğini de gözlemlemiştir [35].

Hocaoğlu (2018), ısı pompası sistemi ile çalışmakta olan nem alma cihazında sistem parametrelerinin yoğunlaşma performansı ve yoğunlaşma verimi üzerine etkisini teorik hesaplamalar ve deneysel çalışmalar ile incelemiş ve karşılaştırmıştır. Deneysel çalışmalarda 150 g yerine 110 g R290 soğutucu akışkan şarjı kullanılması, buharlaştırıcı kapasitesi ve aşırı ısıtma sıcaklığını çok fazla etkilemiştir. 110 g testlerinde soğutucu akışkanın kullanılan buharlaştırıcıyı doyurmadığı, aşırı kızdırma sıcaklığının istenilen sıcaklık aralığının dışında kaldığını ve faz değişimi için gerekli gizli ısıdan etkin şekilde yararlanamadığını deneysel veriler ile tespit etmiştir. Bunların sonucunda 110 g çalışmalarında 150 g'a göre yoğunlaşma performansı ve yoğunlaşma veriminde %15'lik bir azalma gözlemlemiştir [36].

Başaran (2019), ısı pompalı çamaşır kurutma makinesi deney düzeneğinde farklı soğutucu akışkanların, sistem iç hacminin, kompresör strok hacminin ve kılcal boru uzunluğunun sistemin COP'sine ve kurutma sonu nem oranına etkilerini incelemiştir. R290 soğutucu akışkan 8,2 cm<sup>3</sup> kompresör strok hacmi, 7 mm boru çaplı buharlaştırıcı, 5 mm boru çaplı yoğunlaştırıcı ve farklı kılcal boru uzunlukları ile yapılan testlerde optimum COP değeri 1500 mm kılcal boru uzunluğundadır. R290 soğutucu akışkan, 7 mm boru çaplı buharlaştırıcı, 5 mm boru çaplı yoğunlaştırıcı, 1200 mm kılcal boru uzunluğu ve farklı kompresör strok hacmi ile yapılan testlerde, 6,25 cm<sup>3</sup> kompresör strok hacmi kurutma sonu enerjinin %9 iyileştiği ancak kurutma sonu nem oranının limit dışında olduğunu ve 6,75 cm<sup>3</sup> kompresör hacmi ile yapılan testlerde kurutma sonu enerji %4 seviyesinde azalma göstermiştir [37].

Vural (2019), çalışmasında hidrokloroflorokarbon soğutucu akışkanı ile çalışan klima cihazının ozon dostu HFC-417A ve HFC-422D soğutucu akışkanlarıyla yapılan ölçümleri ile, soğutma kapasitesi ve COP gibi enerji parametrelerini deneysel olarak araştırmıştır. R22 soğutucu akışkanlı sistemin soğutma kapasitesi 2,05 kW iken R417A'nın 1,42 kW ve R422D'nin soğutma kapasitesini 1,32 kW olarak tespit etmiştir. COP değerleri de soğutma kapasitesine oranla R22'li sisteme kıyasla düşmektedir. Yani iklimlendirme cihazlarında R422D akışkanını tercih etmenin akıllıca bir seçim olmayacağını belirtmiştir. Tespit ettiği diğer önemli bir husus ise sıcaklık artarken R22 ile R417A akışkanlarının COP değerlerinin birbirine oldukça yakınsamasıdır; 41°C'de R417A'nın COP değeri, R22'nin COP değerinden sadece %13,28 daha azdır (35°C iken bu oran %16,23 değerindedir). Bu yüzden sıcak bölgelerde iklimlendirme/soğutma uygulamaları yaparken R417A soğutucu akışkanının kullanılabilmesi sonucuna ulaşmıştır [38].

Soylu (2019), düşük GWP'ye sahip R152a, R1234yf ve R1234ze(E) soğutucu akışkanlarının performansları R134a ile karşılaştırmıştır. Deneysel ısı pompası sisteminde farklı soğutucu akışkanlar hem ısıtma, hem de soğutma modunda test edilmiştir. Aynı zamanda sıvı hattına yerleştirilen plakalı bir iç ısı değiştiricinin, düşük performanslı soğutucu akışkanların sistem performans parametreleri üzerine etkisini incelemiştir. R152a soğutucu akışkanının soğutma COP değeri R134a'nın soğutma COP değerinden %11 daha fazla olduğundan sistem üzerinde ısı değiştiricisine ihtiyaç duyulmadığını, iç ısı değiştirici sistemde aktif iken R1234yf'de %5-6 ve R1234ze'de %4-5 oranında soğutucu akışkanının STK'sında artış meydana geleceğini belirtmiştir. Deneysel ısı pompası sistemi ısıtma modunda incelendiğinde R152a'nın ısıtma COP'sinin R134a'dan %2 oranında daha yüksek, R1234yf ve R1234ze(E) soğutucu akışkanlarının ısıtma COP değerleri incelendiğinde ise akışkanların ısıtma COP'ları R134a'dan sırasıyla %4 ve %11 oranında daha düşük gerçekleştiğini gözlemlemiştir [39].

Aksu (2019), farklı çalışma şartlarında CO<sub>2</sub> (R744) soğutucu akışkanlı buhar sıkıştırımlı sudan suya bir ısı pompasının COP'sini subkritik bölgede deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Sudan suya bir ısı pompası sistemi tasarlanarak iki farklı duruma göre deneyler gerçekleştirmiştir. Birinci grup deneylerde; evaporatör su debisi 500 lt/h değerinde sabit tutularak, kondenser ve evaporatör giriş suyu sıcaklıkları 11 °C, 13 °C ve 15 °C değerinde değiştirilerek, 600 lt/h, 700

lt/h ve 800 lt/h değerlerindeki farklı kondenser su debilerinin ısı pompası performansı üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. İkinci grup deneylerde ise; kondenser su debisi 500 l/h değerinde sabit tutularak, kondenser ve evaporatör giriş suyu sıcaklıkları 11 °C, 13 °C ve 15 °C değerlerinde değiştirilerek 600 lt/h, 700 lt/h ve 800 lt/h değerlerindeki farklı evaporatör su debilerinin ısı pompası performansına etkisini gözlemleyerek enerji analizi yapmıştır. Enerji analizi sonuçlarına göre birinci grup deneylerde ısı pompasının COP değerinin 3,75 ile 4,049 aralığında, ikinci grup deneylerde ise 3,192 ile 3,75 aralığında değiştiğini görmüştür. Ekserji analizinden elde edilen sonuçlardan, ısı pompası ekserji veriminin birinci grup deneylerde 0,403 ile 0,428 aralığında, ikinci grup deneylerde ise 0,394 ile 0,416 aralığında değiştiğini belirlemiştir [40].

Arora ve Kaushik (2008), soğutucu akışkan olarak R507A, R502 ve R404A'nın kullanıldığı buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimin de evaporatör sıcaklığı -50°C ile 0°C, kondenser sıcaklığı ise 40°C ile 55°C değerleri arasında değişen koşullarda sistemin ekserji analizini yapmışlardır. Sonuç olarak R502 soğutucu akışkana muadil olarak kullanılacak akışkanlardan R507A akışkanının R404A'ya kıyasla verdiği sonuçların daha iyi olduğu gözlemlenmiştir [41].

Niu ve Zhang (2007), R744/R290 soğutucu akışkan karışımının ozon tabakasına zararının dokunmadığını ve çevre dostu olduğunu belirleyerek, R13'e alternatif olabileceğini COP değerinin ve soğutma kapasitesinin daha yüksek olmasından çıkarmıştır, bu çıkarımı çalışmalarında deneysel olarak ortaya koymuşlardır [42].

Okudan (2020), R-410A soğutucu akışkanlı çatı tipi klima sistemlerinde kullanılacak GWP değeri düşük alternatif soğutucu akışkanlardan R-452B, R-454B ve R-32'nin performans verilerini teorik olarak incelemiştir. R-452B ve R-454B soğutucu akışkanlı sistemlere dönüştürülürken cihaz kapasitelerinde en fazla %6,55 düşüş yaşandığını, öte yandan R-32 soğutucu akışkanlı sistemde soğutma kapasitesinde %6,67, ısıtma kapasitesinde %4,96 artış sağlandığını tespit etmiştir. Şarj miktarları yönünden baktığında tüm alternatif soğutucu akışkanlarla soğutucu akışkan şarj miktarlarında azalma sağlandığını gözlemiştir. R-452B ve R454B soğutucu akışkanlı sistemlerde %13,53 soğutucu akışkan miktarında azalma elde edilmekle beraber en büyük azalmanın R-32 soğutucu akışkanlı sistemde %19,66 oranında sağlandığını belirtmiştir [43].

Padilla ve arkadaşları (2010), soğutma çevrimlerinde R413A (R134a/R218/R600a %88/9/3) karışımını R12 soğutucu akışkanına alternatif olarak çalışmalarında sunmuşlardır. Deneysel çalışmalarının sonucunda ekserji veriminin R12'den daha iyi olduğunu ve enerji tüketiminin de daha az olduğunu göstermişlerdir [44].

Fatouh ve Kafafy (2006), %60 propan ve %40 ticari bütan içeren LPG kullanarak soğutma sisteminin enerji tüketimini deneysel olarak incelemiştir. Deney sonucunda COP değerinin %7,6 arttığını ve enerji tüketiminin %10,8 azaldığını gözlemiştir. LPG'nin sistem şarjı arttıkça deşarj sıcaklığının, elektrik tüketiminin ve soğutma kapasitesinin artacağını böylelikle LPG şarjının optimum 60 g olması gerektiğini tespitini de çalışmalarında yapmışlardır [45].

Kim ve arkadaşları (2004), R32/R134a karışımı akışkanların farklı oranlarda kullanıldığı ısı pompası sistemini deneysel olarak incelemiştir. Deney sonucunda R32 oranının %13 den %26 oranına çıkartılması ile soğutma deneyinde kapasite 2,6'dan 3,4'e, ısıtma deneyinde de kapasite 1,8'den 2,4'e yükseldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca karışımda R32 soğutucu akışkanının oranının artması sonucunda sistemin soğutma ve ısıtma kapasitesinde iyileşme olduğunu gözlemiştir [46].

Jung ve arkadaşları (2000), çok kademeli ısı pompası sisteminde R32/R125/R134a karışımının R22 soğutucu akışkanlı sistemden %4-5 daha yüksek COP değerine sahip olduğunu ve R32/R134a karışımının R22'ye göre COP değerinde %7 artış gözlemlenir iken, R290/R134a azeotropik karışımı kapasite ve COP değerinde %3-4 artış sağlandığını çalışmalarında gözlemiştir [47].

Rohlin (1996), soğutucu akışkan karışımları belirlenirken yerine geçeceği akışkanın özelliklerine yakın olması gerektiğini, mevcut durumlarda bu durumun çok önemli olduğunu ve karışımlarda HFC akışkanları olan R143a, R125, R152a, R134a, ve R32 saf bileşenleri kullanıldığını belirterek bu akışkanlardan bazılarının az miktar da izobütan ve propan içerdiğini belirtmiştir [48].

Jeon ve arkadaşları (2020) düşük GWP soğutucu akışkanlara sahip yeni ejektör genleşmeli klimaların mevsimsel performans özelliklerini incelemiştir. Bir simülasyon modeli kullanılarak, düşük GWP'ye sahip soğutucu akışkan kullanan yeni ejektör genleşmeli klimaların COP değerini, soğutma

mevsimsel performans faktörü ve yaşam döngüsü iklim performansı çeşitli çalışma koşullarında ve modlarında analiz edilmiştir. R290'lı ejektör genleşmeli klimaların, R410A ile temel klimanınkinden sırasıyla% 22 daha yüksek soğutma mevsimsel performans faktörü ve % 23,3 daha düşük toplam CO<sub>2</sub> emisyonları sergilemiştir. Genel olarak R290, mevsimsel performans ve ömür boyu çevre faktörü açısından ejektör genleşmeli klimalar için en iyi çalışma sıvısı olduğunu göstermişlerdir [49].

He ve arkadaşları (2020) transkritik CO<sub>2</sub> ısı pompası su ısıtıcısının performansı modelleyerek, optimum yüksek basınç ve soğutucu akışkan şarjı arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Sistemin optimum şarjı herhangi bir çalışma koşulu altında sabit kalabilirse, sistem sabit soğutucu şarjlı optimum COP' de otomatik olarak çalışacağını gözlemlediler. Değişken çalışma koşulları altında ise optimum şarj değişimini en aza indirerek optimum COP'ye yaklaşmak için sistem tasarım yöntemleri geliştirmişlerdir. Sonuç olarak, ısı eşanjörlerini yeniden boyutlandırdıktan sonra sabit şarjlı sistemin ortalama COP kaybının yalnızca -% 0,8, gaz soğutucunun çıkışındaki yüksek basınçlı bir rezervuarla karşılaştırıldığında, ortalama COP kaybının -% 0,2 kadar düşük olabileceğini gösterdiler [50].

Opalic ve arkadaşları (2020) genel bir enerji yönetim sistemine yerleştirmek için operasyonel CO<sub>2</sub> soğutucu akışkan tabanlı endüstriyel soğutma sistemlerini modellemek için yapay sinir ağı tabanlı bir teknik geliştirmişlerdir. Sunulan model, bireysel kompresör tipi özelliklerini içeren verilerden öğrendiği için genelleştirilmiş bir teorik modelden daha üstündür. Sunulan yaklaşımın, bir vaka çalışması sisteminden düşük çözünürlük ve asenkron veriler kullanılarak, % 5 kadar düşük bir ortalama yüzde hatası ile nispeten kesin olduğunu göstermişlerdir. Aynı zamanda geliştirilen modeli bir laboratuvar ortamında da test edilmişlerdir ve ortalama yüzde hatasının % 1,8 kadar düşük olduğunu bulmuşlardır [51].

Wu ve arkadaşları (2020) 100 °C'nin üzerinde çıkış sıcaklığına sahip yüksek sıcaklıklı farklı ısı pompalarının performansını karşılaştırmak için, altı soğutucu akışkan seçmişlerdir. Doğal soğutucu akışkan olarak R718, HC olarak R600 ve R601, HFO olarak R1234ze ve R1336mzz ve HFC olarak R245fa soğutucu akışkanlarını seçmişlerdir. Simülasyon sonuçları, R718'in tüm bu soğutucu akışkanlar arasında en iyi sistem performansına ve Carnot verimliliğine sahip olduğunu gösterdiler. Ardından,

endüstriyel işlemede R718 yüksek sıcaklık çıkışının fizibilitesini doğrulamak için bir R718 yüksek sıcaklıklı ısı pompasının prototipi oluşturular. R718, R1336mzz, R600 ve R245fa'nın deneysel karşılaştırması, yeni HFO soğutucu R1336mzz, yanıcı HC R600 veya geleneksel yüksek sıcaklıklı ısı pompasının soğutucu R245fa ile karşılaştırıldığında, R718'in yüksek sıcaklıklı ısı pompası uygulamalarında benzersiz avantajlarına sahip olduğunu gösterdiler [52].

Massuchetto ve arkadaşları (2019) iki buhar sıkıştırma çevriminden oluşan kademeli bir soğutma sisteminde üç farklı karışım soğutucunun (R744/R1270, R744/R717, R744/RE170) termodinamik performansını değerlendirmişlerdir. Sistemleri, evaporatördeki 100 kW sabit soğutma hızı dikkate alınarak COP maksimizasyonu için optimize etmişlerdir. Optimizasyondan sonra, saf soğutucu akışkanlar için elde edilen değerlere göre COP' nin %18'den % 32'ye çıktığını hesaplamışlardır. COP değerinin 2.34, ekserji veriminin % 30'a kadar artması, soğutucu akışkan kütle akış hızının %6 ile %34 aralığında olması, kompresör gücününün %20 ile %23 ve ekserji yıkımının %31-%36 kadar düşürülmesiyle R744/RE170 karışımı en iyi sonuçları göstermiştir [53].

Duarte ve arkadaşları (2019) küçük bir doğrudan genleşmeli güneş destekli ısı pompası için soğutucu akışkanlar arasında karşılaştırmalı bir çalışma sunmuşlardır. Soğutucu akışkan olarak R134a'yı referans seçmişler ve doğal soğutucu akışkan olarak R290, R600a, R744 ve R1234yf'yi kullanmışlardır. R290'nın 300 W/m<sup>2</sup> ile 700 W/m<sup>2</sup> arasındaki güneş radyasyonu ve 10 °C ile 35 °C arasındaki ortam sıcaklığı için diğer soğutucu akışkanlardan daha iyi COP' ye sahip olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, 50 W/m<sup>2</sup> güneş radyasyonunda R134a, R290'dan daha iyi COP' ye sahip olduğunu belirtmişlerdir [54].

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Çeşitli özelliklere sahip birçok soğutma ya da ısıtma amaçlı kullanılabilen akışkanlar mevcuttur. Yaygın olarak kullanılan HCFC, HFC gibi sentetik soğutucu akışkanların yanı sıra propan (R290), etan (R170) gibi hidrokarbon soğutucular ve amonyak (R717), karbon dioksit (R744) gibi doğal soğutucu akışkanlar endüstrinin farklı alanlarında kullanılmaktadır. Enerji sistemlerinde doğal soğutucu akışkanlar kullanılırken sahip olduğu özelliklere göre iyileştirme odaklı çalışmalar yapılması, teknolojik olarak doğal soğutucu akışkanların kullanımını

arttıracaktır. Böylece doğal soğutucu akışkanların daha fazla kullanımı ile olumsuz çevresel etkiler azaltılacaktır. Yalnızca sistemin maksimum verimliliğini sağlaması seçilen akışkanın doğru ve kullanılabilir olduğu anlamına gelmemeli ve aynı zamanda çevreye zarar vermiyor olması oldukça önemlidir. Böylelikle düşük ODP ve GWP değerine sahip akışkanların önemi artmıştır. İncelenen araştırmalar ve yapılan çalışmaların neticesinde sentetik soğutucu akışkanlara karşı çevreye daha duyarlı olan doğal soğutucu akışkanların önemi ortaya konulmuştur. Günümüz ve gelecek için alternatif soğutucu akışkanlar üzerine daha fazla çalışmaya, sistem ve sistem elemanlarının seçilen akışkan ile uyumlu olması için araştırmaların artmasının bir ihtiyacının olduğu görülmüştür. Bununla beraber zaman içerisinde gelişen teknoloji sayesinde alternatif soğutucu akışkanların uygulamalarda kullanılabilirliğinin arttığını, akışkana yönelik sistem tasarımları ile tatmin edici sonuçların alınabildiğine yapılan çalışma neticesinde ulaşılmıştır.

Soğutma sistemlerinde soğutma gücüne bağlı olarak sistemde kullanılacak soğutucu akışkan miktarı ve bu soğutucu akışkanın bir şekilde doğaya salımı ile doğaya verebileceği zararlar ve etkileri göz önünde bulundurulmalıdır.

Isıtma ve soğutma sistemi tasarımcıları sistemde soğutucu akışkan seçimi yaparken, hem COP değeri hem de soğutucu akışkanın çevreye verebileceği zararlar ile seçilen soğutucu akışkan kullanımındaki riskleri dikkate almalıdır.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI BİLDİRİMİ (CONFLICT OF INTEREST STATEMENT)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] I. Garg and V.K. Bajpai, “To study various performance parameter of a vapor compression refrigeration system with two evaporators using R-134a”, *Journal of Basic And Applied Engineering Research*, Vol. 5 (4), pp. 268-271, 2018.

[2] M.C. Elvas, I. Peres, S. Carvalho, “Making Science Cooler: Carré’s Apparatus”, *The Circulation of Science and Technology: Proceedings of the 4th International Conference of the Eshs*, Barcelona, vol. 441, pp. 18-20, November, 2010.

[3] T. Koyun, A. Koyun and M. Acar, “Soğutma Sistemlerinde Kullanılan Soğutucu Akışkanlar ve Bu Akışkanların Ozon Tabakası Üzerine Etkileri” *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, vol. 88, pp. 46-53, 2005.

[4] M. Aktaş, M. Koşan, E. Arslan and A.D. Tuncer, “Designing a novel solar-assisted heat pump system with modification of a thermal energy storage unit”, *Proc IMechE Part A: J Power and Energy*. Vol. 233(5), pp. 588-603, 2019. doi: 10.1177/0957650919847934

[5] A. Mcculloch, "CFC and Halon Replacements in the Environment," *Journal of Fluorine Chemistry*, vol. 100 (1-2), pp. 163-173, 1999. doi: 10.1016/S0022-1139(99)00198-0

[6] E. Beşer, “Soğutucu Maddelerle İlgili Dünya’da ve Türkiye’deki Gelişmeler”, *III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, TESKON 1997, İzmir, 20-23 Kasım 1997*, A. Güngör, Z. İlken, A. Hepbaşlı, E. Pelin, Ö. Ertöz, N. Bozokalfa, 1997 Bildiriler Kitabı, MMO Yayın No:203, Cilt 2, pp. 679-697.

[7] N. Abas, A.R. Kalair, N. Khan, A. Haider, Z. Saleem and M.S. Saleem, “Natural and synthetic refrigerants, global warming: A review”. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, vol. 90, pp. 557–569, July 2018. doi: 10.1016/j.rser.2018.03.099

[8] D. Colbourne, K.O. Suen, T.X. Li, I. Vince, A. Vonsild. “General framework for revising class A3 refrigerant charge limits – a discussion” *International Journal of Refrigeration*, vol. 117, pp. 209-217, September 2020. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2020.04.024

[9] K. Harby, “Hydrocarbons and Their Mixtures As Alternatives to Environmental Unfriendly Halogenated Refrigerants: An Updated Overview”, *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, vol. 73, pp. 1247–1264, June 2017. doi:10.1016/j.rser.2017.02.039

[10] R. Yajima, K. Kita, S. Taira, N. Domyo, “R32 as a Solution for Energy Conservation and Low Emission” *Eighth International Refrigeration and Air Conditioning Conference*, USA, 25-28 July, 2000. Available: <https://docs.lib.purdue.edu/iracc/509/> [Accessed: 1 Nov. 2020].

[11] E. Arcaklıoğlu and A. Erişen A, “Soğutucu Akışkan Karışımlarının Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Sisteminde Termodinamik Analizi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*

*Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Vol.9, pp.153-162, Kasım 2003.

[12] A. Mota-Babiloni, M.M. Joybari, J. Navarro-Esbri, C. Mateu-Royo, A. Barragán-Cervera M. Amat-Albuixecha, Molés, F. “Ultralow-temperature refrigeration systems: Configurations and refrigerants to reduce the environmental impact”. *International Journal of Refrigeration*, vol. 111, pp.147-158, March 2020. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2019.11.016

[13] B.O. Bolaji and Z. Huan, “Ozone Depletion and Global Warming: Case For The Use of Natural Refrigerant–A Review”. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, vol.18, pp. 49-54, February 2013. doi: 10.1016/j.rser.2012.10.008

[14] S.B. Riffat, C.F. Afonso, A.C. Oliveira and D.A. Reay, “Natural Refrigerants For Refrigeration and Air-Conditioning Systems”. *Applied Thermal Engineering*, vol. 17(1), pp. 33-42, January 1997. Doi: 10.1016/1359-4311(96)00030-0

[15] E. Dikmen, A.Ş. Şahin, Ö.İ. Deveci and E. Akdağ, “GWP Değeri Düşük Soğutucu Akışkanların Kullanıldığı Kaskad Soğutma Sisteminin Karşılaştırmalı Performans Analizi”, *El-Cezeri Journal of Science And Engineering*, Vol: 7(1), pp. 338-345, 2020. doi: 10.31202/ecjse.630262

[16] M. Boumaza, “Performances Assessment of Natural Refrigerants As Substitutes To Cfc and Hcfc In Hot Climate”. *Int. J. Of Thermal & Environmental Engineering*, vol. 1(2), 125-130, 2010. doi:10.5383/IJTEE.01.02.008

[17] H.M. Kim, J. Pettersen and C.W. Bullard, “Fundamental Process And System Design Issues in CO<sub>2</sub> Vapor Compression Systems”, *Progress in Energy And Combustion Science*, vol. 30, pp. 119-174, 2004. Doi: 10.1016/j.peccs.2003.09.002

[18] E. Ertaş, “Doğal Soğutkanlarla Güncel Uygulamalar”, *TESKON 2003, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, Mayıs 2009*, Bildiriler Kitabı, MMO Yayın No: E/2009/494-1, pp. 846.

[19] H.G. Özcan, H. Günerhan and H. Yaldirak, “Alternatif Soğutkan Karbondioksit ve Otobüs Klimalarında Uygulaması”, *TESKON 2013, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 17-20 Nisan 2013*, Bildiriler Kitabı, MMO Yayın No: E/2013/601-1, pp. 695.

[20] A.A. Kharazi and N. Müller, “Comparing Water (R718) to other Refrigerants”. *Process Industries*, 2006. doi: 10.1115/IMECE2006-13341

[21] W. Xi, D. Chaobin, X. Shiming, E. Hihara, “State of the art on the flammability of hydrofluoroolefin (HFO) refrigerants”, *International Journal of Refrigeration*, vol. 108, pp. 209-223, December 2019. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2019.08.025

[22] Ö. Kızılkın, “A Comparative Investigation of Natural Refrigerants: A Case Study For Cold Storage Application”, *SDU International Journal of Technological Science*, vol. 7(3) December 2015.

[23] C.S. Choudhari and S.N. Sapali, “Performance Investigation of Natural Refrigerant R290 As A Substitute To R22 in Refrigeration Systems”. *Energy Procedia*, vol. 109, pp. 346-352, 2017. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.084

[24] M. Pitarch, E. Navarro-Peris, J. González-Maciá and J.M. Corberán, “Evaluation of Different Heat Pump Systems For Sanitary Hot Water Production Using Natural Refrigerants”. *Applied Energy*, vol. 190, pp. 911-919, March 2017. doi: 10.1016/j.apenergy.2016.12.166

[25] S. Erten and K. Uludağ, “Soğutma Sistemlerinde R404a ve R290 Soğutucu Akışkan Kullanımının Termodinamik Analizi: Deneysel Karşılaştırma” VII. *Uluslararası Fen, Mühendislik ve Mimarlık Bilimlerinde Akademik Çalışmalar Sempozyumu, Ankara, Türkiye, 15-17 Kasım, 2019*, R. Karapınar, A. Güler, Elazığ: Asos Yayınevi, 2019, pp. 254-267.

[26] S.V. Shaik and T.P.A. Babu, “Thermodynamic performance analysis of eco friendly refrigerant mixtures to replace R22 used in air conditioning applications”. *Energy Procedia*, vol. 109, pp. 56 – 63, March 2017. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.049

[27] A. Özyurt, N. Erdönmez, B. Yılmaz, D. Yılmaz M.K. Sevindir and E. Mançuhan, “CO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub> Kaskad Soğutma Sisteminin Termodinamik Analizi ve Performans Değerlendirmesi”, *TESKON 2015, 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 8-11 Nisan 2015*, Bildiriler Kitabı, MMO Yayın No: E/2015/634-1, 2015. pp. 1101-1110.

[28] H. Cho, “Comparative Study On The Performance And Exergy Efficiency Of Solar Hybrid Heat Pump Using R22 and R744”, *Energy*, vol. 93, pp. 1267-1276, December 2015. doi: 10.1016/j.energy.2015.10.016

[29] A. Nguyen, “Influence of an Internal Heat Exchanger on the Operation of a CO<sub>2</sub> Direct Expansion Ground Source Heat Pump”, *Energy & Buildings*, vol. 202, pp. 110, November 2019. doi:10.1016/j.enbuild.2019.109343

- [30] A. D., Silva, E. P. B., Filho, A. H. P., Antunes, “Comparison of a R744 Cascade Refrigeration System with R404A and R22 Conventional Systems for Supermarkets”, *Applied Thermal Engineering*, vol. 41, pp. 30-35, August 2012. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2011.12.019
- [31] O. O., Yolcan “Kütahya Bölgesinde Farklı Soğutucu Akışkan Kullanılan Hava, Toprak Ve Güneş Destekli Toprak Kaynaklı Isı Pompalarının Tekno-Ekonomik Analizi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye, 2017.
- [32] D. Colbourne, T.J. Ritter, “Compatibility of non-metallic materials with hydrocarbon refrigerants and lubricant mixtures”, *IIR – IIR Commission*, Purdue University, USA, 2000.
- [33] K. Boran, T. Menlik ve H. Alpsoy, “R134a/R152a Soğutucu akışkan karışımlarının performanslarının ısı pompasında deneysel olarak araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, vol. 18(4), pp. 251-256, 2015. doi: 10.2339/2015.18.4
- [34] Y.S. Lee, C.C. Su, “Experimental studies of isobutane (R600a) in domestic refrigeration system”, *Applied Thermal Engineering*, vol. 22, pp. 507-519, April 2002. doi: 10.1016/S1359-4311(01)00106-5
- [35] S.Ender, “R404A Soğutucu Akışkanı Kullanan Sistemlerde R442A ve R453A Soğutucu Akışkanları Kullanılarak Sistem Verimlerinin Arttırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Diyarbakır, Türkiye, 2018.
- [36] S.Hocaoğlu, “Sistem Parametrelerinin Hidrokarbon Soğutucu Akışkanlı Isı Pompalı Sistemin Yoğuşma Performansı Üzerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [37] B.Başaran, “Düşük Gwp’li Soğutucu Akışkanların Isı Pompalı Kurutucularda Deneysel Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye, 2019.
- [38] İ.Vural, “R22 İle Çalışan Bir İklimlendirme Sisteminde R417A ile R422D Alternatif Soğutucu Akışkanlarının Kullanılmasının Termodinamik Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Diyarbakır, Türkiye, 2019.
- [39] E.Soylu, “Otomobil İklimlendirme Sistemleri İçin Farklı Alternatif Soğutucu Akışkanların Performanslarının Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yalova, Türkiye, 2019.
- [40] B.Aksu, “Farklı Çalışma Şartlarında CO<sub>2</sub> Soğutucu Akışkanlı Isı Pompası Performansının Deneysel Ve Teorik Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük, Türkiye, 2019.
- [41] A. Arora, and S.C.Kaushik, “Theoretical analysis of a vapour compression refrigeration system with R502, R404A and R507A”, *International Journal of Refrigeration*, vol. 31, pp. 998-1005, 2008. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2007.12.015
- [42] B. Niu, and Y. Zhang, “Experimental study of the refrigeration cycle performance for the R744/R290 mixtures”, *International Journal of Refrigeration*, vol. 30, pp. 37-42, January 2007. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2006.06.002
- [43] M.O.Okudan, “Çatı Tipi Klimalarda R-410a Alternatif Soğutucu Akışkanların Kullanımının Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye, 2020.
- [44] M. Padilla, R. Revellin, J. Bonjour, “Exergy analysis of R413A as replacement of R12 in a domestic refrigeration system”, *Energy Conversion and Management*, vol. 51, pp. 2195-2201, November 2010. doi: 10.1016/j.enconman.2010.03.013
- [45] M. Fatouh, M. El Kafafy, “Experimental evaluation of a domestic refrigerator working with LPG”, *Applied Thermal Engineering*, vol. 26, pp. 1593-1603, October 2006. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2005.11.026
- [46] M. Kim, M.S. Kim, and Y. Kim, “Experimental study on the performance of a heat pump system with refrigerant mixtures composition change”, *Energy*, vol. 29, pp. 1053-1068, June 2004. doi: 10.1016/j.energy.2003.12.004
- [47] D. Jung, Y. Song and B. Park, “Performance des Melanges de Frigorigenes Utilizes Pour Remplacer le HCFC<sub>22</sub>”, *International Journal of Refrigeration*, vol. 23, pp. 466-474, September 2000. doi: 10.1016/S0140-7007(99)00066-3

[48] P. Rohlin, “Zeotropik Refrigerant Mixtures in Systems and in Flow Boiling”, PhD thesis Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1996.

[49] Y. Jeon, S. Kim, S.H. Lee, H.J. Chung, “Seasonal energy performance characteristics of novel ejector-expansion air conditioners with low-GWP refrigerants”, *Applied Energy*, vol. 278, 115715, November 2020. doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115715

[50] Y.J. He, X.Y. Liang, J.C. Cheng, L.L. Shao, C.L. Zhang, “Approaching optimum COP by refrigerant charge management in transcritical CO<sub>2</sub> heat pump water heater”, *International Journal of Refrigeration*, vol. 118, pp. 161-172, October 2020. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2020.06.011

[51] S.M. Opalic, M. Goodwin, L.J. Jiao, H.K. Nielsen, A.A. Pardinias, A. Hafner, M.L. Kolhe, “ANN modelling of CO<sub>2</sub> refrigerant cooling system COP in a smart warehouse”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 260, 120887, July 2020. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120887

[52] D. Wu, B. Hu, R.Z. Wang, H. Fan, R. Wang, “The performance comparison of high temperature heat pump among R718 and other refrigerants”, *Renewable Energy*, vol. 154, pp. 715-722, March 2020. doi: 10.1016/j.renene.2020.03.034

[53] L.H.P. Massuchetto, R.B.C. Nascimento, S.M.R. Carvalho, H.V. Araujo, J.V.H. Angelo, “Thermodynamic performance evaluation of a cascade refrigeration system with mixed refrigerants: R744/R1270, R744/R717 and R744/RE170”, *International Journal of Refrigeration*, vol. 106, pp. 201-212, October 2019. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2019.07.005

[54] W.M. Duarte, T.F. Paulino, J.J.G. Pabon, S. Sawalha, L. Machado, “Refrigerants selection for a direct expansion solar assisted heat pump for domestic hot water”, *Solar Energy*, vol. 184, pp. 527-538, May 2019. doi: 10.1016/j.solener.2019.04.027

### Esra DEMİRCİ

1994 yılında Ankara’da doğdu; ilk ve orta öğrenimini Ankara’da tamamladı. Yenimahalle Anadolu Teknik, Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi’nden mezun oldu. 2014 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü’ne başladı 2015 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Çift Ana Dal Programı (ÇAP)’na başlayıp 2018

yılında iki lisans bölümünden de mezun oldu. 2018 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2020 yılında Nurdil Teknik Soğutma A.Ş.’de çalışmaya başladı. Esra DEMİRCİ halen Nurdil Teknik Soğutma A.Ş.’de Tasarım ve Ürün Geliştirme Uzmanı olarak çalışmaya devam etmektedir.

### Mehmet ÖZKAYMAK

1992 yılında Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünde 1993’de araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. Yüksek lisans ve doktorasını Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde tamamladı. 1999 yılında Dr. Öğr. Üyesi olarak Karabük Üniversitesi’nde göreve başladı. 20 yıldır Karabük Üniversitesi’nde çalışmaktadır. 2010 yılında Doçent, 2015 yılında Profesör ünvanını almıştır. 2010 yılından bugüne kadar Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölüm Başkanlığı, 2015-2017 yıllarında Mühendislik Fakültesi Dekanlığı görevini yürütmüştür. Yenilenebilir enerji, sanayide enerji verimliliği ve soğutma konularında çalışmaları mevcuttur.

### Meltem KOŞAN

1990 yılında Gaziantep’te doğdu. Lise eğitimini 2008 yılında Osmaniye’de tamamladıktan sonra 2014 yılında Osmaniye Korkutata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. 2014 yılında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi’nde araştırma görevlisi olarak işe başladı. 2015 yılında Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak (ÖYP) işe başladı ve aynı zamanda Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisansa başladı. 2017 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda doktora çalışmasını devam ettirmektedir. Güneş Enerjisi, PV teknolojileri, ısı pompası sistemleri ve termal enerji depolama teknolojileri konularında akademik çalışmalar yapmaktadır.

### Ahmet Eren AKKOÇ

1997 yılında Ankara’da doğdu. Lise eğitimini elektrik-elektronik teknolojisi alanında 2015 yılında

Ankara'da tamamladıktan sonra 2020 yılında Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Yenilenebilir enerji kaynakları, ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri, soğutma teknikleri ve uygulamaları konularında akademik çalışmalar yapmaktadır.

### **Mustafa AKTAŞ**

1979 yılında Bolu'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara'da tamamladıktan sonra 2000 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü'nden mezun oldu. 2001 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. 2003 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans çalışmasını ve 2007 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda doktora çalışmasını tamamladı. 2011 yılında doçent unvanını aldı. Kurutma sistemleri, iklimlendirme, enerji verimliliği, soğutma ve güneş enerjisi konularında akademik çalışmalar yapmaktadır. Halen Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde Profesör Doktor olarak görev yapmaktadır.



# Classification of Raisin Grains Using Machine Vision and Artificial Intelligence Methods

Ilkay CINAR<sup>\*a</sup>, Murat KOKLU<sup>b</sup>, Sakir TASDEMİR<sup>c</sup>

<sup>a,\*</sup> Selcuk University, Faculty Of Technology, Department Of Computer Engineering, 42130, KONYA, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Selcuk University, Faculty Of Technology, Department Of Computer Engineering, 42130, KONYA, TÜRKİYE

<sup>c</sup> Selcuk University, Faculty Of Technology, Department Of Computer Engineering, 42130, KONYA, TÜRKİYE

## ARTICLE INFO

Received: 05.08.2020  
Accepted: 17.11.2020

### Keywords:

Image processing,  
Morphological features,  
Machine learning,  
Feature extraction

### \*Corresponding Author:

e-mail:  
ilkay.cinar@selcuk.edu.tr

## ABSTRACT

In this study, machine vision system was developed in order to distinguish between two different variety of raisins (Kecimen and Besni) grown in Turkey. Firstly, a total of 900 pieces raisin grains were obtained, from an equal number of both varieties. These images were subjected to various preprocessing steps and 7 morphological feature extraction operations were performed using image processing techniques. In addition, minimum, mean, maximum and standard deviation statistical information was calculated for each feature. The distributions of both raisin varieties on the features were examined and these distributions were shown on the graphs. Later, models were created using LR, MLP, and SVM machine learning techniques and performance measurements were performed. The classification achieved 85.22% with LR, 86.33% with MLP and 86.44% with the highest classification accuracy obtained in the study with SVM. Considering the number of data available, it is possible to say that the study was successful.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.03.03>

# Kuru Üzüm Tanelerinin Makine Görüşü ve Yapay Zeka Yöntemleri Kullanılarak Sınıflandırılması

## MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 05.08.2020  
Kabul: 17.11.2020

### Anahtar Kelimeler:

Görüntü işleme,  
Morfolojik özellikler,  
Makine öğrenmesi,  
Özellik çıkarımı

### \*Sorumlu Yazar:

e-posta:  
ilkay.cinar@selcuk.edu.tr

## ÖZ

In this study, machine vision system was developed in order to distinguish between two different variety of raisins (Kecimen and Besni) grown in Turkey. Firstly, a total of 900 pieces raisin grains were obtained, from an equal number of both varieties. These images were subjected to various preprocessing steps and 7 morphological feature extraction operations were performed using image processing techniques. In addition, minimum, mean, maximum and standard deviation statistical information was calculated for each feature. The distributions of both raisin varieties on the features were examined and these distributions were shown on the graphs. Later, models were created using LR, MLP, and SVM machine learning techniques and performance measurements were performed. The classification achieved 85.22% with LR, 86.33% with MLP and 86.44% with the highest classification accuracy obtained in the study with SVM. Considering the number of data available, it is possible to say that the study was successful.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.03.03>

## 1. INTRODUCTION (GİRİŞ)

Raisins are a concentrated source of carbohydrates and a nutritious snack, containing antioxidants, potassium, fiber and iron [1]. Turkey is one of the countries that ranks top in the world's grape

production. Approximately 30% of the grapes produced in Turkey are considered as table, 37% as dried, 3% as wine and 30% as other products [2].

There are many applications of traditional methods for assessing and determining the quality of foods.

Bu makaleye atıf yapmak için: I. Cinar, M. Koklu and S. Tasdemir, "Classification of Raisin Grains Using Machine Vision and Artificial Intelligence Methods," *Gazi Journal of Engineering Sciences*, vol. 6, no. 3, pp. 200-209, December, 2020, doi: <https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.03.03>.

However, these can be time consuming and expensive. In addition, human-made procedures from traditional methods can be inconsistent and more inefficient, as well as physical conditions such as fatigue and even people's psychological mood can affect the outcome of the work. These negative situations and problems are the main reasons for developing alternative methods to quickly and precisely evaluate the basic features of products such as raisins. Machine vision system is one of these alternative methods. Using machine vision, it is possible to extract features from images and use them to measure and evaluate the quality of various products [3, 4].

For this reason, when looking at the studies carried out in recent years using machine vision systems and image processing techniques on raisins from food products, it is seen that the products are examined in terms of many physical features such as color, texture, quality and size.

Okamura et al. (1993) extracted wrinkle and shape features from raisin images. They used the Bayesian classifier for classification. According to the results, they stated that the classification was more sensitive than the results of human hand operations [5].

Omid et al. (2010), developed a system for taking images and classifying processes to obtain the size and color features of raisins by using image processing technique. The resulting images were processed and property inferences were made and then classified into two classes in color and size. When the results obtained from the algorithm are analyzed, they obtained approximately 96% classification accuracy [6].

Yu et al. (2011), divided it into four classes according to color, shape, and degree of wrinkle using the support vector machine (SVM) for raisin classification. By using color and texture features on raisin images, they have achieved approximately 95% classification accuracy, which is the highest classification rate by the SVM algorithm. [7].

Mollazade et al. (2012), obtained 36 colors and 8 shape features over color images for four different raisin varieties. They reduced the number of features to 7 by using a correlation-based feature selection process to select the most effective out of a total of 44 features. They have worked with four different algorithms: artificial neural networks (ANN), SVM, decision trees (DT) and Bayes networks (BN) to

classify raisins. They obtained 96.33% with ANN algorithm as the highest classification accuracy [4].

Angadi and Hiregoudar (2016) have used the application of MATLAB for the classification of raisins using image processing techniques. They achieved an average of 95% accuracy in their study using color and size features [8].

Karimi et al. (2017) has designed an expert system for measuring the quality and purity of raisins in his work. Textural features were extracted from 1400 pieces raisin images. Principal component analysis (PCA) was used to find the optimum features of these features. Accordingly, ANN and SVM were used to classify grapes. Compared to ANN, using the top 50 features, they achieved more efficient and accurate classification results with the SVM algorithm [3].

In this study, a machine vision system was developed in order to classify the Besni and Kecimen raisin varieties produced in Turkey. In the second section of the study, information about obtaining the image, the operations performed on the images, feature extraction stage, performance evaluation and cross validation is given. The third section provides information about the classification models used in the study. In the fourth section, the results obtained in the study are explained in detail. In the final section, discussion topics are given.

## 2. MATERIAL AND METHOD (MATERİYAL VE YÖNTEM)

In this study, firstly, raisin sample images were obtained and images were processed by using various image processing techniques. The images obtained were first converted to grayscale images and then converted to binary images. Using the imcomplement function on binary images, black areas are converted to white and white areas to black. Later, the images were cleared of noise. In the next phase, various morphological feature inference operations were applied on the obtained images. During the classification phase, the classification of raisins was performed using LR (Logistic Regression), MLP (Multi-Layer Perceptron) and SVM machine learning techniques. In the final phase, the performances of the techniques used were evaluated. The necessary process steps for the classification of raisins are given in Figure 1.

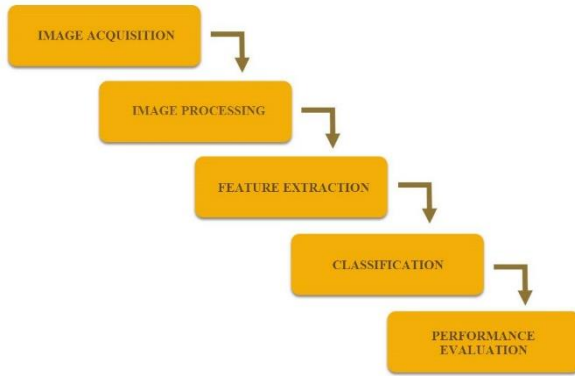


Figure 1. The necessary process steps for classification of raisins (*Kuru üzümün sınıflandırılması için gerekli işlem adımları*)

## 2.1. Image Acquisition (*Görüntünün Elde Edilmesi*)

The images of the raisins used in the study were taken using a four side closed box with a camera on it and a lighting mechanism inside. The reason why the box is enclosed is to prevent it from receiving reverse light from the outside and to prevent shadow formation on the samples. The box floor is set to white so that raisins can be easily distinguished during image processing. Figure 2 shows the system design used to obtain sample images of raisins.

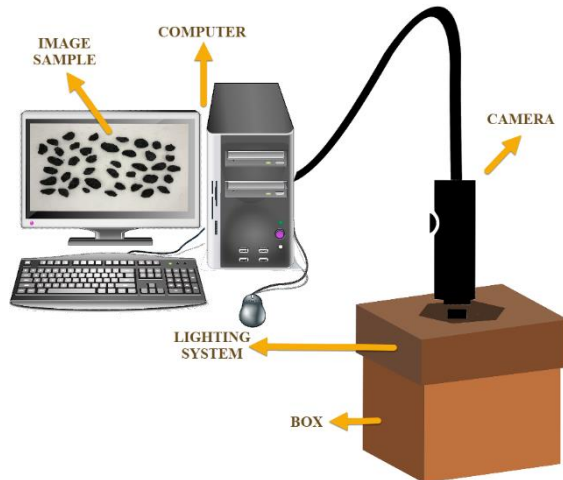


Figure 2. The computer vision system used to acquisition images (*Görüntü elde etmek için kullanılan sistem*)

A total of 900 images of raisins were obtained from both types of raisins used in the study, including 450 pieces. Sample images of the raisin varieties obtained are given in Figure 3.

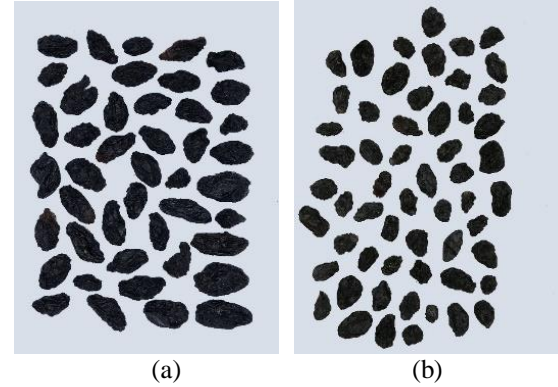


Figure 3. Sample image of raisin varieties used in the study ((a) Besni, (b) Keçimen) (*Çalışmada kullanılan kuru üzüm çeşitlerine ait örnek görüntü ((a) Besni, (b) Keçimen)*)

## 2.2. Image Processing (*Görüntü İşleme*)

In the process of image processing, the pre-processes required for the most accurate way to perform feature extraction and classification are explained. The image processing phase has a critical importance as it directly affects feature inference and thus the classification outcome. All these were taken into account during the processing of the image.

Image processing was performed using the MATLAB application. The images obtained from the camera were converted primarily to grayscale image and then to binary image in preparation for the feature extraction phase. Since raisins are closer to black color, background color tone is chosen white. Therefore, using the imcomplement function on binary images, white areas are converted to black and black areas to white. Finally, the images are free of the noise on them. The preprocessing steps performed on raisin images are given in Figure 4.

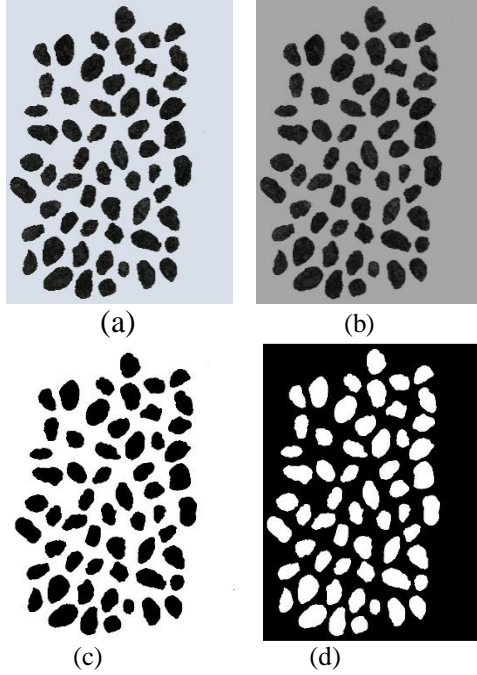


Figure 4. The preprocessing steps performed on images ((a) Real image, (b) Grayscale image, (c) Binary image, (d) Incomplement image) (*Görüntüler üzerinde gerçekleştirilen ön işlem aşamaları ((a) Gerçek görüntü, (b) Gri tonlamalı görüntü, (c) İkili görüntü, (d) Terslenmiş görüntü)*)

### 2.3. Feature Extraction (Özellik Çıkarımı)

During the feature extraction phase, a number of feature inferences were performed for each of the raisins found on the images. Feature extraction process was carried out in terms of morphological features. A total of 7 morphological features were inferred for each one raisin grain.

Morphological feature inference is a wide variety of image processing processes that process images based on the shapes found on the images. In this process, each pixel in the image is adjusted according to the value of the other pixels around it [9]. The morphological features and descriptions used in feature inference are given below.

**Area:** Gives the number of pixels within the boundaries of the raisin grain.

**Perimeter:** It measures the environment by calculating the distance between the boundaries of the raisin grain and the pixels around it.

**MajorAxisLength:** Gives the length of the main axis, which is the longest line that can be drawn on the raisin grain.

**MinorAxisLength:** Gives the length of the small axis, which is the shortest line that can be drawn on the raisin grain.

**Eccentricity:** It gives a measure of the eccentricity of the ellipse, which has the same moments as raisins.

**ConvexArea:** Gives the number of pixels of the smallest convex shell of the region formed by the raisin grain.

**Extent:** Gives the ratio of the region formed by the raisin grain to the total pixels in the bounding box.

### 2.4. Performance Evaluation (Performans Değerlendirmesi)

As a result of creating a new model required for classification problems or using existing models, achieving success on that model is calculated by the number of correct estimates. This situation has an impact on the accuracy of the classification rather than predicting whether the model is good. Therefore, the confusion matrix is used to explain the estimated assessments of the classification. The matrix, which gives information about the estimated classes and real classes performed via a classification model on test data, is the confusion matrix [10]. In Table 1, the confusion matrix used in the classification of raisins is given.

There are four parameters in the confusion matrix. These are named as tp: true positives, fp: false positives, fn: false negatives, tn: true negatives. Examples correctly classified into the positive class are called true positives. Examples correctly classified into the negative class are called true negatives. Examples of positive classes that are falsely classified as negative are called false negatives, and examples of negative classes that are falsely classified as positive are called false positives [11].

Table 1. Confusion matrix used in raisin classification (*Kuru üzüm sınıflandırmasında kullanılan karmaşıklık matrisi*)

		Predicted	
		Kecimen	Besni
Actual	Kecimen	tp	fp
	Besni	fn	tn

The performance metrics for two-class classification are calculated benefiting from Table 1.

Calculation formulas for success criteria are given in Table 2 [12].

Table 2. Calculation formulas for performance success criteria (*Performans başarı ölçütleri için hesaplama formülleri*)

No	Performance Measure	Formula
1	Accuracy	$\frac{tp + tn}{tp + fp + tn + fn} \times 100$
2	Sensitivity	$\frac{tp}{tp + fn} \times 100$
3	Specificity	$\frac{tn}{tn + fp} \times 100$
4	Precision	$\frac{tp}{tp + fp} \times 100$
5	F1-Score	$\frac{2tp}{2tp + fp + fn} \times 100$
6	Negative Predictive Value	$\frac{tn}{tn + fn} \times 100$
7	False Positive Rate	$\frac{fp}{tn + fp} \times 100$
8	False Discovery Rate	$\frac{fp}{tp + fp} \times 100$
9	False Negative Rate	$\frac{fn}{tp + fn} \times 100$

### 2.5. Cross Validation (*Çapraz Doğrulama*)

Cross-validation is a method of error prediction developed with the aim of improving the security of classification. Cross-validation divides the dataset such that it is random to a determined number of

subsets for training and testing. It accepts one of the subsets as a test set, and the system is trained with the remaining sets. This process is repeated up to the number of data sets and the system is tested [13]. Figure 5 shows the cross-validation method.

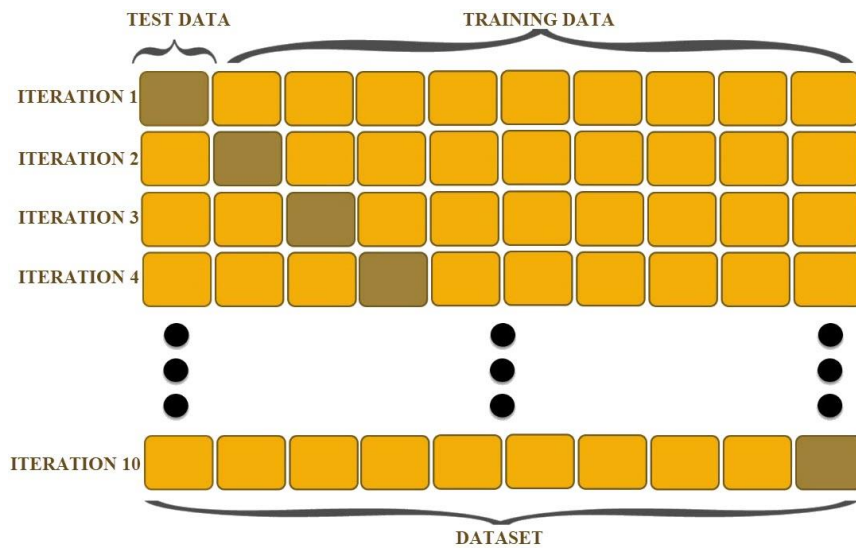


Figure 5. Cross-validation (*Çapraz Doğrulama*)

In the study, the number of cross-validation repeats was selected as k=10. 1/10 of the data set is divided for testing and 9/10 for training. For the entire dataset, these operations are repeated and the system test is completed.

### 3. CLASSIFICATION MODELS (*SINIFLANDIRMA MODELLERİ*)

Classification models are a method of high importance used in various fields. In class determination, classification algorithms are used to determine which class the data belongs to. The classification model is a model based on prediction. The purpose of the classification is to enable the data to be separated using the common features of the data [14]. In this study, models were created using LR, MLP and SVM techniques in order to classify raisin grains according to their features.

#### 3.1. Logistic Regression (LR) (*Lojistik Regresyon*)

LR is one of the widely used statistical models. In LR, the dependent variable is estimated from one or more variables. LR clarifies the relationship between dependent variables and independent variables. In LR, variables do not need to require a normal distribution [15, 16]. Because the predicted values in LR are probabilities, they were bounded by 0 and 1. The reason for this is that LR predicts its probability and not itself in the results [17].

#### 3.2. Multilayer Perceptron (MLP) (*Çok Katmanlı Algılayıcı*)

Today, many artificial neural network models have been developed to be used for specific purposes, and MLP is one of the most widely used in these models. The sequence of neurons in MLP is in layers. Along with two main layers, there is also a hidden layer between these layers. MLP can have multiple hidden layers within it. The input layer, the first of the main layers, contains information about the problem that needs to be solved. The second main layer, the output layer, is the layer from which the output for the information processed in the network is received [18, 19]. Additionally, it is also possible to monitor and modify the network structure during the training period at MLP [20]. MLP parameters are given in Table 3.

Table 3. The parameters of MLP (*MLP parametreleri*)

Parameters	
Activation function	Sigmoid
Learning rate	0.3
Hidden layer number	4
Maximum number of epochs to train	500

#### 3.3. Support Vector Machine (SVM) (*Destek Vektör Makinesi*)

SVM is a core-based method of forming a hyperplane for classification and regressions. SVM has the ability to classify data as linear in two-dimensional space, planar in three-dimensional space and hyperplane in multi-dimensional space with separation mechanisms [21, 22]. SVM finds the best hyper plane separating the data of the classes and performs the classification process. The best hyperplane for an SVM is the one with the largest margin between the two classes [23].

Different types of kernel functions are used in SVM models. In this study, classification was performed using the polynomial kernel function.

### 4. RESULTS (*SONUÇLAR*)

In order to classify the rice varieties used in our study, preprocessing was applied to the images we obtained and a total of 900 pieces raisin grain were obtained and 7 morphological features were inferred for each of these. The minimum, mean, maximum and standard deviation data of morphological features for both types of raisins are given in Table 4. Figure 6 shows the distribution of raisin varieties on the features.

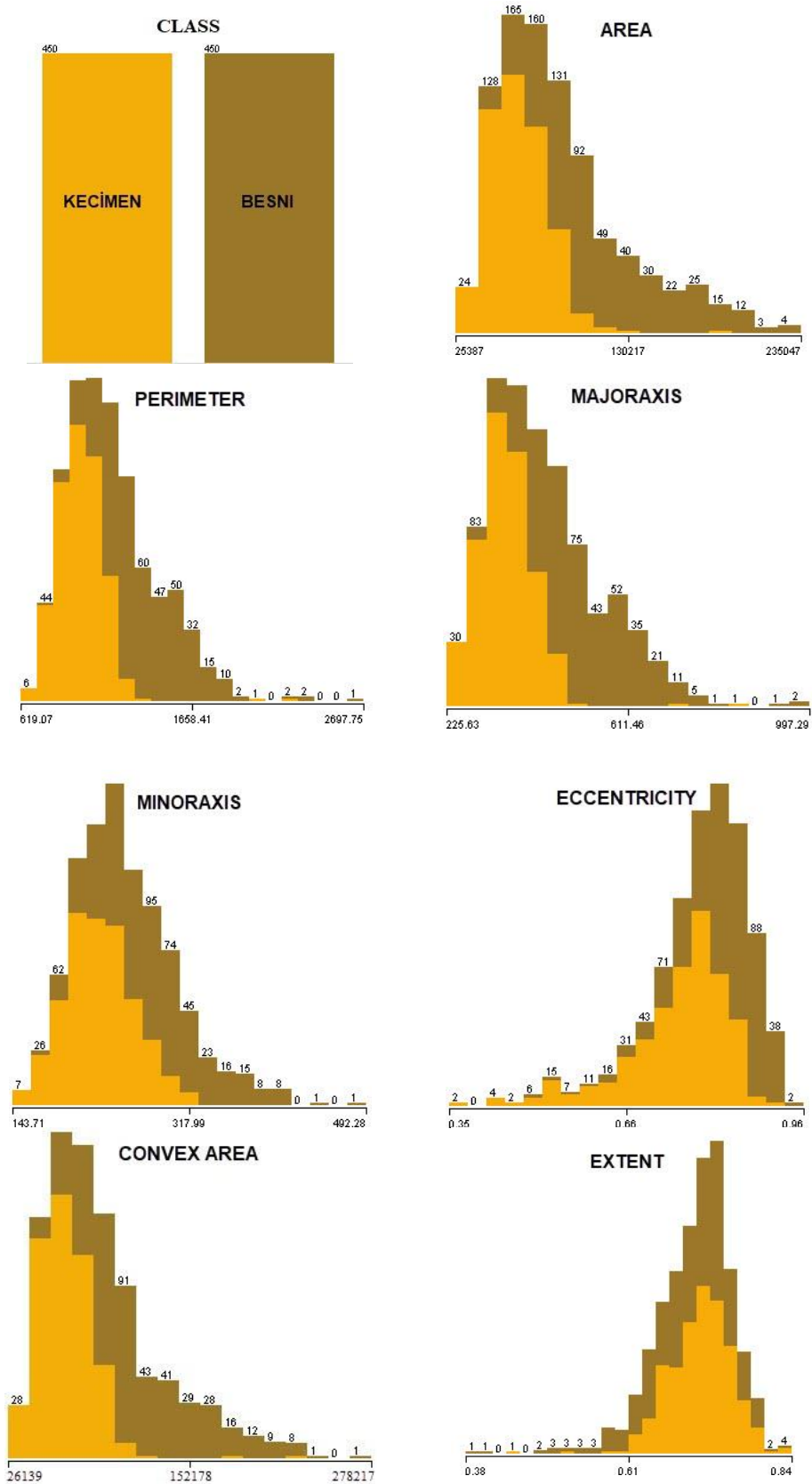


Figure 6. Distribution of raisin varieties on the features (*Kuru üzüm çeşitlerinin özellikler üzerindeki dağılımı*)

Table 4. Statistical data on the properties obtained (*Elde edilen özelliklere ait istatistikî veriler*)

No	Feature	Minimum	Mean	Maximum	Standard Deviation
1	Area	25387	87804.128	235047	39002.111
2	Perimeter	619.074	1165.907	2697.753	273.764
3	MajorAxisLength	225.63	430.93	997.292	116.035
4	MinorAxisLength	143.711	254.488	492.275	49.989
5	Eccentricity	0.349	0.782	0.962	0.09
6	ConvexArea	26139	91186.09	278217	40769.29
7	Extent	0.38	0.7	0.835	0.053

A data set was created for the features obtained in the study and models were created for classification using LR, MLP and SVM machine learning techniques and performance values were obtained. Cross validation k value was chosen as 10 in all models used. In Table 5, the confusion matrix belonging to all the algorithms used in the study is given.

Table 5. The confusion matrix data belonging to the algorithms (*Algoritmalara ait karmaşıklık matrisi verileri*)

Algorithms LR, MLP, SVM		Predicted	
		Kecimen	Besni
Actual	Kecimen	391	59
		400	50
		404	46
	Besni	74	376
		73	377
		76	374

Classification performance measures were calculated using the complexity matrix for each model, such as Accuracy, Sensitivity, Specificity, Precision, F1-Score, Negative Predicted Value, False Positive Rate, False Discovery Rate, and False Negative Rate. Classification performance measurement results are given in Table 6.

Table 6. Classification performance measurement results (*Sınıflandırma performans ölçüm sonuçları*)

Performance Measure	LR	MLP	SVM
Accuracy	85.22	86.33	86.44
Sensitivity	84.09	84.57	84.17
Specificity	86.44	88.29	89.05
Precision	86.89	88.89	89.78
F1-Score	85.46	86.67	86.88
Negative Predictive Value	83.56	83.78	83.11
False Positive Rate	13.56	11.71	10.95
False Discovery Rate	13.11	11.11	10.22
False Negative Rate	15.91	15.43	15.83

As seen in Table 6, a classification success of over 85% was obtained from all the algorithms used in the study. 86.44% accuracy value achieved in the SVM model has the highest value among other models.

## 5. DISCUSSION (TARTIŞMA)

When the results obtained from the study are evaluated, higher classification successes can be achieved by increasing the number of images or features obtained from the products and adding color, shape and texture features in addition to the morphological features.

In addition to the machine learning techniques used in the current study, studies can be carried out with other techniques or hybrid models can be created.

## 6. CONCLUSION (SONUÇ)

In this study, performance measurements of 3 different machine learning algorithms were made using raisin images and morphological properties obtained from these images. Statistical datas obtained from the confusion matrix obtained from the classification result were used as performance measurement. The performance measurement given in Table 6 are obtained and compared for each method and each class. Looking at average classification accuracy, the highest value belongs to the SVM algorithm with 86.44%.

The varieties of raisins used in the study are among the products produced and exported in Turkey. Benefiting the image processing techniques used in this study, data sets can be created using the derived feature inferences and the models created, as well as for other products produced in our country. In this way, automatic systems can be designed by using the created data sets for classification, calibration of the products or to be used in different processing stages.



### CONFLICT OF INTEREST STATEMENT (ÇIKAR ÇATIŞMASI BİLDİRİMİ)

The authors reported no potential conflict of interest.

### REFERENCES (KAYNAKLAR)

[1] Karimi, N., Arabhosseini, A., Kianmehr, M. H., and Khazaei, J., "Modelling of raisin berries by some physical and statistical characteristics," *Int. Agrophys.*, vol. 25(2), pp. 141-147, April 2011.

[2] Semerci, A., Kızıltuğ, T., Çelik, A., and Kiracı, M., "Türkiye bağcılığının genel durumu" *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, vol. 20(2), pp. 42-51, October 2015.

[3] Karimi, N., R.R. Kondrood, and T. Alizadeh, "An intelligent system for quality measurement of Golden Bleached raisins using two comparative machine learning algorithms," *Measurement*, vol. 107, pp. 68-76, September 2017. doi:10.1016/j.measurement.2017.05.009

[4] Mollazade, K., M. Omid, and A. Arefi, "Comparing data mining classifiers for grading raisins based on visual features," *Computers electronics in agriculture*, vol. 84, pp. 124-131, June 2012. doi:10.1016/j.compag.2012.03.004

[5] Okamura, N.K., M. Delwiche, and J. Thompson, "Raisin grading by machine vision," *Transactions of the ASAE*, 1993.

[6] Omid, M., Abbasgolipour, M., Keyhani, A., and Mohtasebi, S. S., "Implementation of an efficient image processing algorithm for grading raisins," *International Journal of Signal Image Processing*, vol. 1(1), pp. 31-34, January 2010.

[7] Yu, X., Liu, K., Wu, D., and He, Y., "Raisin quality classification using least squares support vector machine (LSSVM) based on combined color and texture features," *Food bioprocess technology*, vol. 5(5), pp. 1552-1563, 2012. doi: 10.1007/s11947-011-0531-9

[8] Angadi, S.A. and N. Hiregoudar, "A Cost Effective Algorithm for Grading Raisins Using Image Processing," *International Journal of Recent Trends in Engineering Research* vol. 2, pp. 2455-1457, July 2016.

[9] MathWorks. "Image Processing Toolbox." *mathworks.com*, 2020, [Online]. Available: <https://ch.mathworks.com/help/images/morphologica-l-filtering.html>. [Accessed: May. 05, 2020].

[10] Çataloluk, H., "Gerçek tıbbi veriler üzerinde veri madenciliği yöntemlerini kullanarak hastalık teşhisi," MS thesis, Bilecik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.

[11] Ruuska, S., Hämäläinen, W., Kajava, S., Mughal, M., Matilainen, P., and Mononen, J., "Evaluation of the confusion matrix method in the validation of an automated system for measuring feeding behaviour of cattle," *Behavioural processes*, vol. 148, pp. 56-62, March 2018. doi:10.1016/j.beproc.2018.01.004

[12] Ozkan, I.A. and M. Koklu, "Skin Lesion Classification using Machine Learning Algorithms," *International Journal of Intelligent Systems Applications in Engineering*, vol. 5(4), pp. 285-289, December 2017. doi:10.18201/ijisae.2017534420

[13] Gupta, P. "Cross-Validation in Machine Learning," Jun. 5, 2017. [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/cross-validation-in-machine-learning-72924a69872f>. [Accessed: May. 06, 2020].

[14] Özkan, Y., *Veri madenciliği yöntemleri*. Papatya Yayıncılık Eğitim, 2008, pp. 39-190.

[15] Cruyff, M. J., Böckenholt, U., Van Der Heijden, P. G., and Frank, L. E., "A review of regression procedures for randomized response data, including univariate and multivariate logistic regression, the proportional odds model and item response model, and self-protective responses," in *Handbook of Statistics*. Elsevier, 2016. pp. 287-315. doi:10.1016/bs.host.2016.01.016

[16] Kalantar, B., Pradhan, B., Naghibi, S. A., Motevalli, A., and Mansor, S., "Assessment of the effects of training data selection on the landslide susceptibility mapping: a comparison between support vector machine (SVM), logistic regression (LR) and artificial neural networks (ANN)," *Geomatics, Natural Hazards Risk*, vol. 9(1), pp. 49-69, 2018. doi:10.1080/19475705.2017.1407368

[17] Wikipedia, "Logistic regression," *wikipedia.com*, 2020. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Logistic\\_regression&oldid=955290285](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Logistic_regression&oldid=955290285). [Accessed: May. 05, 2020].

[18] Sabancı, K., Unlarsen M. F., "Farklı Boyuttaki Elmaların KNN ve MLP Algoritmaları Kullanılarak Sınıflandırılması," in *International Multidisciplinary Congree Of Eurasia, Imcofe'16*, Odessa, July 11-13, 2016. pp. 782.

[19] Tümer, A. E., and Koçer, S. "Prediction of team league's rankings in volleyball by artificial neural network method," *International Journal of Performance Analysis in Sport*, vol. 17(3), pp. 202-211, May 2017. doi:10.1080/24748668.2017.1331570

[20] Arora, R., "Comparative analysis of classification algorithms on different datasets using WEKA," *International Journal of Computer Applications*, September 2012. 54(13). doi: 10.5120/8626-2492

[21] Abhang, P.A., B.W. Gawali, and S.C. Mehrotra, *Introduction to EEG-and speech-based emotion recognition*, Academic Press, 2016

[22] Kaynar, O., Yıldız, M., Görmez, Y., and Albayrak, A., "Makine öğrenmesi yöntemleri ile Duygu Analizi," in *International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium, IDAP'16, September 17-18, 2016*. pp. 234-241.

[23] Mathworks. "Support Vector Machines for Binary Classification," *mathworks.com*, 2020. [Online]. Available: <https://ch.mathworks.com/help/stats/support-vector-machines-for-binary-classification.html#bsr5b42>. [Accessed: May. 05, 2020].

### İlkay ÇINAR

ILKAY CINAR was born in Konya in 1987. He graduated from the Department of Computer Systems teaching at Selcuk University in 2012 and from the Department of Computer Engineering at Selcuk University in 2018. He completed his master's degree in Computer Engineering at Selcuk University in 2019. He is a lecturer in Computer Engineering at Selcuk University Faculty of Technology and is currently studying for his PhD. He carries out various studies on image processing and artificial intelligence technologies.

### Murat KÖKLÜ

Murat KOKLU was born in Konya, TURKEY in 1979. He received B.Sc. degrees in Computer System Teaching in 2002 and Computer Engineering in 2019 from the Selcuk University. He received M.Sc. and Ph.D degrees from Selcuk University Electronic and Computer in 2005, and Computer Engineering in 2014 respectively. He has been working as an Assistant Professor in the Department of Computer

Engineering at Selcuk University. His current research interests include data mining and artificial intelligence.

### Şakir TAŞDEMİR

Sakir TASDEMİR was born in Sinop in the year of 1971. After he graduated from high school in Sinop he went to Gazi University in Ankara and he completed his B.S. at there in 1994. Then he studied and completed his M.S. at Selçuk University in 2004. After this he finally had his Ph.D. from Selçuk University, Graduate School of Natural Sciences, Department of Electrical-Electronic Engineering in 2010. As a result of his education and accomplishments he possesses the technical skills such as image processing analysing, ability to work on the field of Artificial Intelligence, digital game designing and programming mobile programming (for android), web programming (HTML-PHP-MYSQL).

# Titreşim takozunun giyotin makas tezgâhında, titreşim yalıtımına etkisinin araştırılması

Abdurrahman KARABULUT<sup>a</sup>, Ahmet KÖKEN<sup>\*b</sup>

<sup>a</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, 03100, AFYONKARAHISAR, TÜRKİYE

<sup>b,\*</sup> Dumlupınar Üniversitesi Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 43290, KÜTAHYA, TÜRKİYE

## MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 10.02.2020  
Kabul: 13.10.2020

### Anahtar Kelimeler:

Giyotin makas,  
Titreşim takozu,  
Sönümlenme,  
Tezgâh zemin yalıtımı

### \* Sorumlu Yazar:

e-posta:  
ahmet.koken@dpu.edu.tr

## ÖZ

Bu çalışmada, giyotin makasın titreşim yalıtımını sağlamak için elastomer titreşim takozlarının tezgâh titreşim yalıtımına etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, ilk önce, giyotin makasın gövdesinde ve zemindeki titreşim büyüklükleri deneysel yollarla belirlenmiştir. Daha sonra, tezgâh ağırlığına ve kapasitesine göre seçilen dört adet titreşim takozu tezgâh ayaklarına yerleştirilmiştir. Titreşim takozunun tezgâh gövdesindeki ve zemine geçen titreşime etkisi incelenmiştir. Tezgâhın ve zeminin titreşim değerleri dört kanallı ivme ölçerle eş zamanlı olarak ölçülmüştür. Titreşim takozlu ve titreşim takozsuz yapılan ölçüm sonuçları arasındaki farklar grafikler üzerinde gösterilmiştir. Sonuç olarak, giyotin makasın zemin bağlantısında titreşim takozu kullanılması hem tezgâh gövdesindeki hem de zemine geçen titreşimi azalttığı görülmüştür.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.03.04>

# Investigation of the effect of the vibration wedge on the vibration isolation of the guillotine shears machine

## ARTICLE INFO

Received: 10.02.2020  
Accepted: 13.10.2020

### Keywords:

Guillotine shears,  
Vibration wedge,  
Damping,  
Workbench ground  
insulation

### \*Corresponding

#### Authors

e-mail:  
ahmet.koken@dpu.edu.tr

## ABSTRACT

In this study, the effect of elastomer vibration wedges on workbench vibration isolation was investigated to provide vibration isolation of guillotine shears. For this purpose, first, vibration magnitudes on the body and the ground of the guillotine shear were determined experimentally. Then, four vibration wedges selected according to the weight and capacity of the machine were placed under the workbench legs. The effect of the vibration wedge on the vibration on the body of the machine and on the floor was examined. The vibration values of the workbench and the floor were measured simultaneously with a four-channel accelerometer. The differences between the measurement results made with and without vibration wedges are shown on the graphs. As a result, it has been observed that by using vibration wedge in the ground connection of the guillotine shears, it reduces the vibration both in the workbench body and the ground.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.03.04>

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Titreşime maruz yapı ya da makine bileşeni uygulanan kuvvetlerin sürekli çevrimsel

değişiminden kaynaklanan malzeme yorulması dolayısıyla malzemede hasara yol açmaktadır. İlaveten yatak ve dişli gibi makine elemanlarının daha çabuk aşınmasına yol açar ve de aşırı gürültüye

Bu makaleye atıf yapmak için: A. Karabulut ve A. Köken, "Titreşim takozunun giyotin makas tezgâhında, titreşim yalıtımına etkisinin araştırılması," *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 6, sayı 3, s. 210-216, Aralık, 2020, doi: <https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.03.04>.

neden olur. Makinelerde titreşim civata bağlantılarını gevşetebilir [1]. Tezgâhta oluşan titreşimleri azaltabilmek için titreşim sönümleyicilerin etkili olduğu belirtilmiştir [2-4]. Araştırmacıların kesme işlemleri esnasında meydana gelen titreşimleri azaltmak için geliştirdikleri sistemlerin, oluşan titreşim ivme seviyelerinde önemli miktarda azalmaya neden olduğu görülmüştür [5]. Makinelerin dinamik davranışlarını kontrol etmek için izolasyon sistemleri ve titreşim izolasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Titreşim yalıtımında genellikle metal yay, kauçuk, esnek yastık ve benzeri malzemeler kullanılır [6]. Titreşim izolasyon sistemleri makinenin kullanılacağı amaç doğrultusunda, pasif, yarı aktif ve aktif izolasyon sistemleri olarak dizayn edilmektedir [7-10].

Her ne zaman makine ya da yapının doğal titreşim frekansı dış zorlanma frekansı ile çakışırsa, orada rezonans olarak bilinen bir olay ortaya çıkar. Rezonans ise aşırı yer değiştirme ve hasara yol açar [1]. Bu gibi durumlarda sistemin dinamik analizlerinin, teorik ve deneysel olarak yapılması ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir [11].

Giyotin makas endüstride geniş bir alanda kullanılmaktadır. Kullanım kolaylığı ve kaliteli imalat yapabilmek için tezgâhın titreşimsiz şekilde çalışması gerekmektedir. İmalatta maliyeti etkileyen bir çok faktör vardır. Bu faktörler içerisinde en önemlilerinden bir tanesi takım ömrüdür. Takım ömrünün ise en çok etkilendiği etkenlerden biri ise titreşimdir. Kontrolsüz olarak oluşan bu titreşimler, iş parçası yüzey kalitesi, kesici takım aşınması ve işleme performansına olumsuz etki etmektedir [12-16]. İstenmeyen titreşim ve gürültünün operatöre, tezgâha, takıma ve üretilen iş parçasına zarar vermemesi için tezgâhın uygun bir titreşim izolasyon sistemine sahip olması gerekir. Giyotin makasın gövdesi makine destek sistemi üzerinde hareket eder. Bir makine yatağı ve zemin arasındaki titreşim karakteristiklerinin titreşim üzerinde büyük etkisi vardır. Bu nedenle, titreşimin genliğini azaltmak için destek sisteminin sönümlemesi önemlidir [17].

Titreşim sönümleyicilerin gerek tasarımı gerekse de titreşim yalıtımları üzerine birçok çalışma

mevcuttur. Küçükrendeci [6] endüstriyel uygulamalar için alüminyum–kauçuk sadviç tip mekanik titreşim yalıtım elemanının tasarımını yapmıştır. Ardıç [18] hassas donanımların titreşim yalıtımını sağlamak için kullanılacak elastomer titreşim takozlarının tasarımı için bir süreç geliştirmiştir. Mori ve arkadaşları [19] takım tezgâhlarındaki titreşimini azaltmak için viskoelastik titreşim takozu modeli geliştirmişlerdir. Önerilen modele göre, titreşim takozunun sönüm alanını ayarlamadan titreşimi azaltmak için çeşitli takım tezgâhlarında kullanılabileceği belirtilmiştir. Eken [20] üretim tezgâhlarının zemin titreşimi ve yalıtımı üzerine yaptığı çalışmada, tezgâh ayaklarında kullanılan titreşim sönümleyicinin zemine geçen titreşim genliğini azaltıcı yönde bir etki yaptığı belirtilmiştir.

Bu çalışmada, giyotin makasın titreşim yalıtımında titreşim takozunun etkileri incelenmiş, bunun için piyasada yaygın olarak kullanılan mekanik titreşim takozları kullanılmıştır. Giyotin makasın kesme esnasında oluşan kuvvet sonucu zemine geçen titreşim ile tezgâh gövdesindeki titreşimlerin büyüklüğü ölçülmüştür. Titreşim parametrelerinden yer değiştirme, hız ve ivme büyüklükleri ölçülerek, titreşim takozunun giyotin makasın titreşim yalıtımına etkisi incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE DENEYSEL KURULUM (*MATERIAL AND EXPERIMENTAL SETUP*)

### 2.1. Tezgâh ve Yalıtım Malzemeleri (*Workbench and Insulation Materials*)

Deneysel çalışmada kullanılan giyotin makas yaklaşık 2 ton ağırlığında ve 1260 x 2.5 mm sac kesim kapasitesine sahiptir. Şekil 1’de titreşim takozunun giyotin makas tezgâhının ayakları altına yerleştirilmesi görülmektedir. Yalıtım elemanı olarak kullanılan titreşim takozunun taşıma kapasitesi 10000 N ve elastomer malzemeden yapılmıştır. Tezgâh ağırlığına ve kapasitesine göre seçilen titreşim takozunun boyutları Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Titreşim takozunun yerleştirilmesi (Installing the vibration wedge)

Tablo 1. Titreşim takozu boyutları (Vibration wedge dimensions) (mm)

D	d	L	H	Ayar mesafesi
120	M16 x 1.5	120	165	15

## 2.2. Titreşim Ölçümü (Vibration Measurement)

Titreşim ölçümü Tablo 2’de teknik özellikleri verilen VB500 – dört kanallı titreşim ölçüm ve kayıt

cihazıyla yapılmıştır. Titreşim ölçümü yapılırken zemin ve tezgâh üzerindeki üç nokta dikkate alınmış; zemin (CH1), tezgâh ayağı (CH2), kesici takımın olduğu nokta (CH3) ve tezgâhın tepe noktasına (CH4) sensörler yerleştirilmiştir. Algılayan sensör çok hassas olduğundan zemin bağlantısının sağlam bir noktadan yapılması gerekir. Zemin titreşimini ölçmek için zemin üzerine metal malzeme sabitlenerek, sensör zemindeki metal malzeme üzerine tutturulmuştur. Datalogger cihazı ile titreşim ölçümü ve ivmeölçer sensörlerinin tezgâh üzerindeki konumlarını gösteren deneysel kurulum Şekil 2’de görülmektedir. Tezgâhın titreşim hareketi 2 mm kalınlığında ve 1000 mm uzunluğundaki St 37 malzemeden siyah sac levha kesilirken bütün noktalardan eş zamanlı olarak titreşim değerleri ölçülmüştür. İvmelenme sensöründen çıkan sinyaller cihazda bulunan bir SD karta excel formatında kaydedilmiştir. Veri kartına kaydedilen titreşim verileri bilgisayar ortamına aktarılarak grafiklere dönüştürülmüştür.

Tablo 2. İvme ölçerin teknik özellikleri (Technical properties of the accelerometer)

İvme	Ölçüm aralığı	Çözünürlük	Hassasiyet
	0.5 ... 199 m/s <sup>2</sup>	0.1 m/s <sup>2</sup>	± (5% + 2digits) 80 - 160 Hz
	0.05 ... 20.39 G	0.01 g	
	2 ... 656 ft/s <sup>2</sup>	1 ft/s <sup>2</sup>	
Kalibrasyon noktası : 50 m/s <sup>2</sup> - 160 Hz			
Hız	0.5 ... 199.9 mm/s	0.1 mm/s	± (5% + 2digits) 80 - 160 Hz
	0.05 ... 19.99 cm/s	0.01 cm/s	
	0.02 ... 7.87 in/s	0.01 in/s	
Kalibrasyon noktası : 50mm/s, 160Hz			
Yer değiştirme	0.003 ... 1.999 mm	0.001 mm	± (5% + 2digits) 80 - 160 Hz
	0.078 in	0.001 in	
	Kalibrasyon noktası : 0.141mm, 160 Hz		
Frekans aralığı	10 Hz ... 1 kHz		
Tepkime süresi	Yaklaşık 1 saniye		
Hafıza	1 – 16 GB		
Veri kayıt aralığı	1 – 3600 saniye aralığında		
Çalışma şartları	0 ... 50 °C, <85%RH (yoğuşmasız)		
Pil	8 x AA veya 9V AC adaptör		
Ebatlar	Cihaz : 203x76x38mm, Prob: 16mm (çap), 37mm (uzunluk)		
Ağırlık	515 g		



Şekil 2. Deneysel kurulum (Experimental setup)

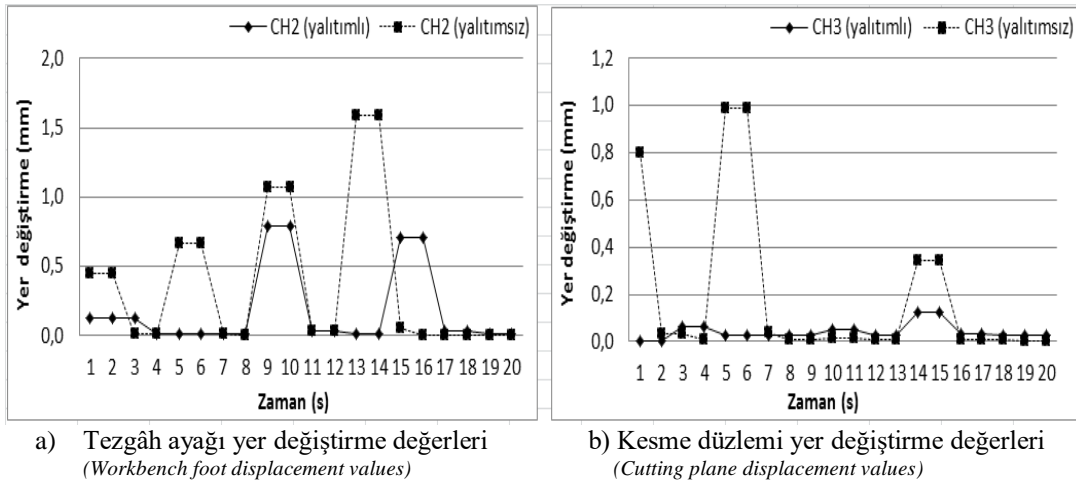
### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Dört kanallı ivme ölçerle yer değiştirme, hız ve ivme büyüklükleri ölçülmüştür. Titreşim takozlu ve titreşim takozsuz yapılan ölçüm sonuçları arasındaki farklar grafikler üzerinde gösterilmiştir. Bu değerlere göre tezgâhın yalıtımlı ve yalıtımsız durumu karşılaştırılmıştır.

#### 3.1. Yer Değiştirme Değerleri (Displacement Values)

Tezgâh ayağı (CH2) ve kesme düzlemindeki (CH3) sensörlerle yer değiştirme değerleri belirlenmiştir (Şekil 3). Grafiklerde yalıtımlı ve yalıtımsız ölçülen titreşim yer değiştirme değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Yalıtımlı ve

yalıtımsız durumda tezgâhta aynı şartlarda kesim yapılmış, ama zemin ve tezgâhtaki titreşim değerlerinin farklı olduğu görülmüştür. Yalıtımsız ölçümde tezgâh ayağında yer değiştirme pik değeri yaklaşık 1.6 mm ve kesme düzleminde yaklaşık 1 mm ölçülen titreşimi takoz sönmüleyerek azaltmıştır. Tezgâh üzerindeki ivme alıcıların bağlandığı noktalardan bakıldığında, tezgâh ayağının yer değiştirme değerlerinin her ikisinin de birbirine yakın olduğu, diğer noktalarda yalıtımsız olanın daha yüksek olduğu görülmüştür. Yalıtım sonucunda, tezgâhtaki ve zemine iletilen titreşim büyük oranda düşmüştür. Eken, 2017' de yapmış olduğu çalışmada benzer sonuçlar elde etmiştir.

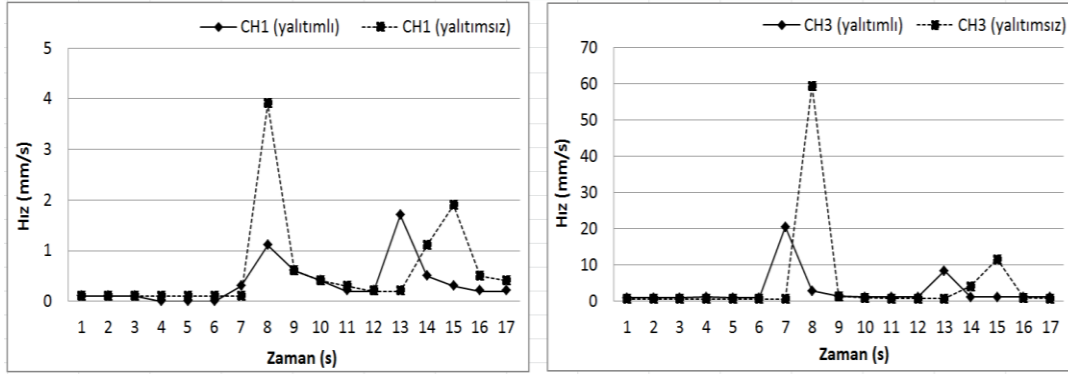


Şekil 3. Yer değiştirme değerlerinin karşılaştırılması (Comparison of displacement values)

### 3.2. Hız Değerleri (Velocity Values)

Şekil 4' de zemin (CH1) ve kesme düzlemindeki (CH3) sensörlerle ölçülen hız değerleri verilmiştir. Yalıtımlı ve yalıtımsız yapılan ölçüm sonuçları arasındaki farklar grafikler üzerinde gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde, kesme düzleminde pik değeri yaklaşık 60 mm/s ölçülen titreşim hız değeri, titreşim takozu sayesinde yaklaşık 20 mm/s seviyelerine düştüğü görülmüştür. Titreşim takozu

tezgâh ayağındaki ve kesme düzlemindeki titreşimi sönmüleyerek azaltmıştır. Hız değerlerinin tezgâh gövdesindeki üst noktalara doğru yükseldiği, zemine yakın yerlerde hız değerlerinin düşük olduğu görülmüştür. Yalıtım malzemesi sayesinde, tezgâhın gövdesindeki hız değerleri yalıtımsız değerlerden aşağıda kalmıştır.



a) Zemin hız değerleri (Ground velocity values)

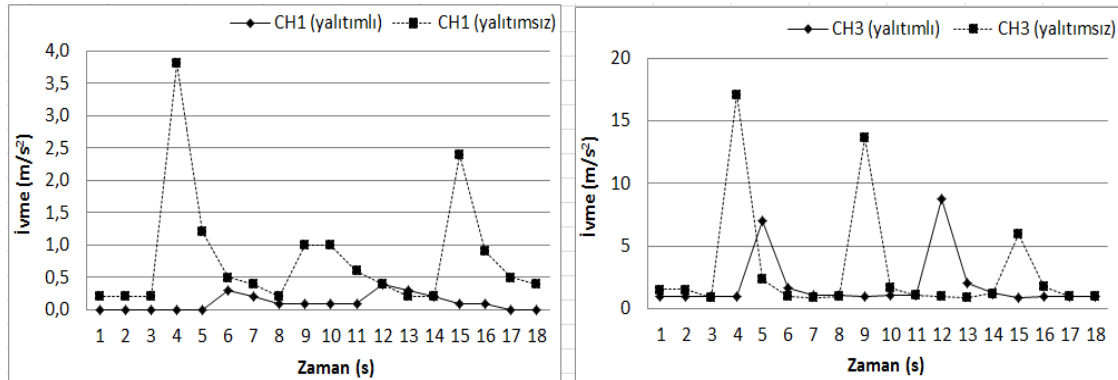
b) Kesme düzlemi hız değerleri (Cutting plane velocity values)

Şekil 4. Hız değerlerinin karşılaştırılması (Comparison of velocity values)

### 3.3. İvme Değerleri (Acceleration Values)

Tezgâh ayakları altına titreşim takozu yerleştirmeden ayakların direkt zemine temasından alınan ölçüm değerleri ve titreşim takozu yerleştirilerek ölçülen ivme değerleri belirlenmiştir. Zemin (CH1) ve kesme düzlemindeki (CH3) sensörlerle ivme değerleri değişimi ölçülmüştür (Şekil 5). Grafiklere bakıldığında, yalıtımsız ölçümde tezgâh ayağında ve gövde üzerinde ölçülen ivme değerlerinin

arttığı görülmüştür. Yalıtımsız yapılan titreşim ölçümünde zemine geçen titreşim ivme pik değeri yaklaşık  $3.8 \text{ m/s}^2$  iken, titreşim takozu sayesinde yaklaşık  $0.3 \text{ m/s}^2$  seviyelerine düşmüştür. Tezgâhın gövdesinde oluşan titreşim ivme değerleri ise tezgâhın ayak ve tepe noktasında yüksek değerde ölçülmüştür. Karabulut, 2019' da yapmış olduğu çalışmada benzer sonuçlar elde etmiştir.



a) Zemin ivme değerleri  
(Ground acceleration values)

b) Kesme düzlemi ivme değerleri  
(Cutting plane acceleration values)

Şekil 5. İvme değerlerinin karşılaştırılması (Comparison of acceleration values)

Yer değiştirme, hız ve ivme grafiklerinden titreşim takozlarının kullanılması, giyotin makasın titreşim değerlerine olumlu yönde etkilemiştir. Titreşim takozlarının doğru seçimi tezgâh gövdesindeki ve zeminde oluşan titreşim değerlerini azalttığı görülmüştür.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Titreşimli çalışan giyotin makasın titreşim ölçümü yapılmış, bu tezgâh için kullanılacak titreşim takozu tespit edilmiştir. Zeminde ve tezgâhın gövdesindeki salınım hareketini azaltmada titreşim takozunun etkili olduğu görülmüştür. Tezgâh ayaklarında titreşim takozu kullanılması tezgâhın yüksek hassasiyette çalışmasını sağlayacaktır. Titreşimin azaltılmasıyla bina ve tezgâh yıpranması da azalacaktır.

Deneyel çalışmadan elde edilen yer değiştirme, hız ve ivme sonuçları değerlendirildiğinde;

- Giyotin makasın ayaklarına yerleştirilen titreşim takozları sayesinde titreşimin büyüklüğünü azaltmak ve titreşimin zararlarını minimize etmek mümkündür.
- Yer değiştirme, hız ve ivme sonuçlarına bakıldığında; hem zeminde hem de tezgâh gövdesinde yalıtımsız değerlerin yalıtımlı değerlerden daha fazla olduğu görülmüştür.
- Titreşim takozu, giyotin makasta oluşan aksenal ve radyal kuvvetleri sönmüleyerek bunların zemine iletilmesini engellemiştir.
- Tezgâhın, ses ve salınım büyüklüğü kontrol altına alınarak daha güvenli çalışması sağlanmıştır.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI (CONFLICT OF INTEREST STATEMENT)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] S.S. Rao, *Mechanical Vibrations*, 5<sup>th</sup> Edition, vol. 1, Prentice Hall, University of Miami, 2010.
- [2] T. Surmann and D. Biermann, "The effect of tool vibrations on the flank surface created by peripheral milling," *CIRP Annals-Manufacturing Technology*,

vol. 57, no.1, pp. 375-378, 2008. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2008.03.059>

[3] A. Rashid and C. M. Nicolescu, "Design and implementation of tuned viscoelastic dampers for vibration control in milling," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 48, no. 9, pp. 1036-1053, July 2008. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2007.12.013>

[4] K. Tatar and P. Gren, "Measurement of milling tool vibrations during cutting during laser vibrometry," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 48, no. 3-4, pp. 380-387, March 2008. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2007.09.009>

[5] A. Devillez and D. Dudzinski, "Tool vibration detection with eddy current sensors in machining process and computation of stability lobes using fuzzy classifiers," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 21, no. 1, pp. 441-456, 2005. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2005.11.007>

[6] İ. Küçükrendeci, "Endüstriyel uygulamalar için alternatif mekanik titreşim yalıtım elemanı tasarımı," *OHÜ Müh. Bilim. Derg./OHU J. Eng. Sci.*, vol. 7, no. 2, pp. 929-936, 2018. doi: 10.28948/ngumuh.445395

[7] Y. Taşkın, "Taşıt titreşimlerinin analizi ve kontrolü," Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2008.

[8] L. Sun, "Experimental investigation of vibration damper composed of acoustic metamaterials," *Applied Acoustics*, vol. 119, pp. 101 – 107, April 2017. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.12.013>

[9] H. Yazıcı, "Çok serbestlik dereceli bir yapının titreşimlerinin bulanık mantıkla kontrolü," Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2006.

[10] V. Kahya and O. Araz, "Yüksek hızlı demiryolu köprülerinde aşırı titreşimlerin azaltılmasında paralel bağlı ayarlı kütle sönmüleyiciler için basit bir tasarım yöntemi," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 35, no.2, pp. 607-618, 2020. doi: 10.17341/gazimmfd.493102

[11] D.D. Gürsoy, "Bir eksantrik presin pasif titreşim kontrolü yöntemleri ile titreşim izolasyonu," Yüksek



Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2008.

[12] A.H. El-Sinawi and R. Kashani, "Improving surface roughness in turning using optimal control of tool's radial position," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 167, no.1, pp. 54-61, August 2005. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.09.079>

[13] H. Dilipak and V. Yılmaz, "AISI 1050 çeliğinin karbür takımlarla frezelenmesinde oluşan titreşimlerin incelenmesi ve istatistiksel analizi," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 27, no. 2, pp. 285-294, Mart 2012.

[14] E. Özcan, "CNC tezgahlarda kullanılan kesici takımlarda takım aşınmasının kesme performansına dinamik etkileri," Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2001.

[15] C.K. Toh, "Vibration analysis in high speed rough and finish milling hardened steel," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 278, no. 1-2, pp. 101-115, November 2004. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2003.11.012>

[16] A. Yardımeden and A. Turan, "Farklı kesme parametreleriyle AISI 1040 çeliğin tornalanmasında oluşan titreşimlerin ve yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi," *DÜMF Mühendislik Dergisi*, vol. 9, no. 1, pp. 269-278, Nisan 2018.

[17] K. Mori, D. Kono, I. Yamaji and A. Matsubara, "Vibration reduction of machine tool using viscoelastic damper support," *Procedia CIRP*, vol. 46, pp. 448-451, May 2016. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.129>

[18] H. Ardiç, "Design and modeling elastomeric vibration isolators using finite element method," Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Doğa ve Uygulamalı Bilimler Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2013.

[19] K. Mori, D. Kono, I. Yamaji and A. Matsubara, "Modeling of viscoelastic damper for reduction in low frequency residual vibration in machine tools," *Precision Engineering*, vol. 50, pp. 313-319, October 2017. doi: <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2017.06.004>

[20] C. Eken, "Üretim tezgahlarında zemin titreşimi ve yalıtımı üzerine bir araştırma," Yüksek Lisans

Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, Türkiye, 2017.

[21] E. Karabulut, "Giyotin sac kesme tezgahı zemin titreşim hareketinin araştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, Türkiye, 2019.

### **Abdurrahman KARABULUT**

Prof.Dr. Abdurrahman KARABULUT, 1962 yılında Yozgat'ta doğdu. 1983'te Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi, Makine Resim ve Konstrüksiyonu öğretmenliğine girdi. Öğrenciliğın son yılında Gazi Üni. Mühendislik Fak. tarafından yürütölen İzmir'de kurulacak sanayi yerleşim ısı fizibilitesi çalışmalarına katıldı. 1987 yılında Anadolu Üniversitesi, Bolvadin Meslek Yüksekokulunda, Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı. 1990 yılında yüksek lisansını, 1996 yılında da doktorasını, Gazi Üni. Fen bilimleri enstitüsünde tamamladı. Proje kapsamında İngiltere ve Almanya'da bulundu. 1996 yılında Yardımcı Doçent ünvanını aldı. 2001-2007 ve 2011-2014 arasında AKÜ-Bolvadin Meslek Yüksekokulu Müdürlüğünü yaptı. 20 Ocak 2011 'de Doçent, 2016 'da Prof. oldu. Şu anda Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde Öğretim Üyesi olarak çalışmaktadır.

### **Ahmet KÖKEN**

1981 Afyonkarahisar doğumlu olan Ahmet KÖKEN, 2001 yılında Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi bölümünden mezun oldu. 2003 yılında mezun olduğu bölümde Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde 2005 yılında Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. 2017 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında doktora eğitimine başladı. Şuan Dumlupınar Üniversitesi Kütahya Teknik Bilimler MYO Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır. Kompozit malzemeler, titreşim konularında çalışmaları olan Ahmet KÖKEN, evli ve 2 çocuk sahibidir.

## Tanıtım Festivalinde Personel Çizelgeleme Problemi: Bir Uygulama

Ahmet CÜREBAL<sup>a</sup>, Serkan KOÇTEPE<sup>b</sup>, Tamer EREN<sup>\*c</sup>

<sup>a</sup> Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71450, KIRIKKALE, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Kırıkkale Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 71450, KIRIKKALE, TÜRKİYE

<sup>c</sup>\* Kırıkkale Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 71450, KIRIKKALE, TÜRKİYE

### MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 07.10.2020  
Kabul: 13.12.2020

**Anahtar Kelimeler:**  
Personel Çizelgeleme,  
Hedef Programlama,  
Analitik Hiyerarşi  
Süreci (AHP)

**\*Sorumlu Yazar:**  
e-posta:  
tamereren@gmail.com

### ÖZ

Tanıtım organizasyonları, kuruluşların, günden güne artan rekabet ortamında ellerinde bulunan en büyük kozlardan birisidir. Özellikle müşterilerinin sınırsız alternatiflere sahip olduğu, turizm sektörü için bu tarz etkinlikler oldukça önemlidir. Artan hizmet beklentisi ve geri dönüşlerin hızlı bir şekilde alınması bu etkinlikleri daha da önemli kılmaktadır. Bu etkinliklerin önemi ve hassaslığından dolayı etkinlik sahipleri bu süreci yöneten profesyonel firmalardan hizmet almaktadır. Organizasyonlar hem hizmeti alan ve hem de sağlayan kuruluşlar için oldukça önemlidir ve titizlikle planlanması gerekmektedir. Süreç boyunca herhangi olumsuz bir durumun yaşanmaması oldukça önemlidir. Bu gibi olası durumların, personellerin yetkin oldukları işlere atanması ile, mümkün olduğunca önüne geçilmesi gerekmektedir. Personellerin yetkin oldukları işlere atanması hem personel memnuniyetine hem de hizmet kalitesine katkı sağlayacaktır. Dolayısıyla bu tarz etkinliklerde bilimsel yöntemlerin kullanıldığı bir çalışma planı yürütmek gerekmektedir.

Bu çalışmada, önemli bir turistik bölge olan Kapadokya’da tanıtım amaçlı yürütülen, özellikle de yabancı turistlere hitap eden bir etkinliğin personel çizelgeleme çalışması yürütülmüştür. 15 gün sürecek etkinlikte 84 adet personel 6 görev altında hizmet verecektir. Çalışma kapsamında organizasyonda yürütülecek görevler AHP yöntemi ile önceliklendirilmiş, ardından personellerin yetkinliklerini ve görevlerin önem derecelerini dikkate alan bir hedef programlama modeli kurulmuştur.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.03.05>

## The Staff Scheduling Problem at The Promotion Festival: An Application

### ARTICLE INFO

Received: 07.10.2020  
Accepted: 13.12.2020

**Keywords:**  
Staff Scheduling, Goal  
Programming,  
Analytic Hierarchy  
Process (AHP)

**\*Corresponding  
Authors**  
e-mail:  
tamereren@gmail.com

### ABSTRACT

Promotion organizations are one of the biggest trump cards of organizations in the increasingly competitive environment. Such events are very important, especially for the tourism sector where customers have unlimited alternatives. Increasing service expectation and rapid feedback make these activities even more important. Due to the importance and sensitivity of these events, event owners receive service from professional companies that manage this process. Organizations are very important for both service providers and organizations and must be carefully planned. It is very important not to experience any negative situations during the process. Such possible situations should be avoided as much as possible by assigning the personnel to jobs in which they are competent. Appointment of personnel to jobs in which they are competent will contribute to both personnel satisfaction and service quality. Therefore, it is necessary to carry out a work plan in which scientific methods are used in such activities.

In this study, a staff scheduling study was carried out for a promotional event in Cappadocia, which is an important touristic region, especially for foreign tourists. 84 personnel will serve under 6 tasks in the 15-day event. Within the scope of the study, the tasks to be carried out in the organization were prioritized with the AHP method, and then a goal programming model was established that takes into account the competencies of the personnel and the importance of the tasks.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde hizmet ağı gelişimi ile firmalar, müşteri kazanmalarının yanında rekabet ettikleri firma sayısında da bir artışla karşılaşmaktadırlar. Özellikle yerel firmalar dünya çapında hizmet veren kuruluşlarla rekabet etmek durumunda kalmaktadır. Artan rekabet ortamı müşteri beklentisini de artırmaktadır ve bu durum bütün sektörler için geçerlidir. Özellikle turizm sektörü düşünüldüğü zaman müşterilerin alternatifleri dünya ile sınırlıdır. Bu ortamda, hizmet sağlayıcıları hizmet kalitelerini artırmanın yanında kendilerini tanıtmaya mecburiyeti de hissetmektedir. Tanıtım organizasyonları firmalar için ilk izlenim niteliğindedir, bu nedenle firmalar bu konuda profesyonel kuruluşlardan hizmet alarak sürecin etkin bir şekilde işlenmesini istemektedir. Bu organizasyonlar hem hizmeti alan hem de sunan firma için bir prestij göstergesidir ve oldukça hassas bir şekilde yürütülmelidir. Dolayısıyla planlama aşamasında bilimsel yöntemler kullanılması oldukça önemlidir.

Türkiye Seyahat Acentaları Birliği (TURSAB) verilerine göre 2018 yılında Türkiye’de, turizm gelirleri toplam gelirlerinin %3,8’ini oluşturmaktadır [1]. Dünya çapında turistik gezilere olan ilginin arttığı düşünüldüğünde bu değer de her yıl artması beklenmektedir. Turizm sektörünün her geçen gün daha global hale gelmesi ile hemen hemen tüm ülkeler bu sektör için rekabet halindedir. Dolayısıyla ülkeler kendi tanıtımlarına ve gelen turistlerin organizasyonlarına oldukça önem göstermek durumundadır. Turistik tanıtım organizasyonları hem ülke tanıtımı hem de gelmiş olan turistlerin beklentilerini karşılamak açısından oldukça önemlidir. Bu organizasyonlarda olabilecek herhangi bir aksama prestij açısından diğer sektörler nazaran daha büyük bir kayıp oluşturacaktır. Bu olumsuz durumun getireceği maddi kayıp da düşünüldüğü zaman bu tarz organizasyonların, tüm aşamalarının etkili bir şekilde planlanması elzemdir. Organizasyon çalışmalarını sürdüren personelin refah şartlarda çalışması ve yetkinliklerine göre uygun işlere atanması organizasyonun sürdürülebilirliği açısından hayati öneme sahiptir. Geri dönüşü en hızlı sektör olan turizm sektöründeki herhangi bir aksama diğer sektörler nazaran daha büyük ve geri dönülemez zararlar verecektir.

Bu çalışmada ele alınan personel çizelgeleme probleminde, görev önceliklerini belirlemek için AHP yöntemi ve görevlerin de önemleri ile orantılı olarak yetkinlik puanlarının en çoklanması amacı ile hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Kapadokya bölgesinde düzenlenen bir festival organizasyonunda müzik, gastronomi, çağdaş sanat ve açık hava sergileri olmak üzere dört etkinlik düzenlenecektir. Düzenlenen etkinliklerin günlere dağılması personel çizelgeleme problemini etkileyen önemli bir noktadır. Bu çalışmada amaç personel memnuniyetini sağlamak, uygun görevlere, uygun personellerin atanması ile kaliteli bir organizasyon hizmeti sunmak ve herhangi olası bir aksamanın önüne geçmektir.

Çalışma planı şu şekildedir; ikinci bölümünde organizasyon çalışmaları hakkında bilgi verilmiş üçüncü bölümünde ise problem çözümünde ele alınan yöntemlerden bahsedilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde konu ile ilişkili literatürde bulunan çalışmalar incelenmiş ve bu çalışmanın literatüre olan katkılarında bahsedilmiştir. Beşinci bölümde çalışma problemi açıklanmış ve çözülmüştür, altıncı bölümde ise çözüm sonuçları değerlendirilmiş ve diğer çalışmalar için öneri ve fikirler tartışılmıştır.

## 2. ORGANİZASYON ÇALIŞMALARI (ORGANIZATIONAL WORKS)

Türkiye’de her yıl çeşitli sektörler adına düzenlenen ve organizasyon olarak nitelendirilebilecek büyük çapta birçok proje gerçekleştirilmektedir. Bu tip projeler her geçen gün niteliklerini artırmakta ve daha fazla talep görmektedir. Bu değişim ile birlikte organizasyon düzenleme işi bir sektör haline gelmiş ve bu işe odaklanarak profesyonel hizmet sunan firmalar ortaya çıkmıştır. Özel bir araştırma şirketinden alınan verilere göre; Türkiye’de sadece eğlence sektöründe yapılan organizasyon sayısı 40.000 civarındadır ve bu organizasyonlara ayrılan bütçe yaklaşık 4 milyar dolardır [2].

Organizasyon çalışmaları, günümüzde birçok sektörün etkinlik ve benzeri ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Firmalar, iş toplantıları, kongreleri, fuarları ve genel şirket içi toplantıları başlıca olmak üzere birçok etkinliklerini profesyonel organizasyon şirketlerinden hizmet alarak gerçekleştirmektedirler. Artan talep ile beraber organizasyon kuruluşları da

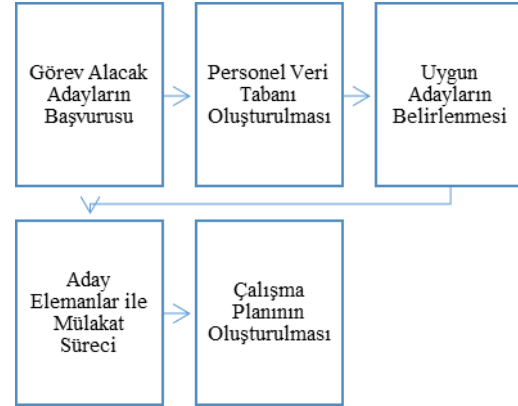
yoğun bir rekabet içerisinde. Bu rekabette fark yaratabilmek için teknik ekipmanlar, personeller ve hizmet alınan tedarikçilerden maksimum verimi almaya çalışmaktadırlar. Organizasyonların kapasitesine göre tedarikçi firmalardan personel hizmeti alınabilmektedir. Bu ekipler belirlenen görevlere atanmak üzere görevlendirilir. Bu yarı zamanlı olarak temin edilen personellere miceden ekibi denmektedir. Organizasyon şirketlerinin ana bileşenleri arasında bulunan bu üç yapı (personel, teknik ekipman ve miceden ekipleri) organizasyonun hem kalitesi hem de müşteri memnuniyeti açısından en önemli faktörler olarak düşünülmektedir. Planlanan organizasyonun istenilen seviyede olabilmesi; organizasyonda görev alan personellerin yetkinlikleri, teknik ekipmanın yeterliliği ve süreci yöneten birimlerin entegre olarak çalışmasına bağlıdır. Personellerin verilen görevin niteliklerine uygun olması, personel memnuniyeti ve organizasyon kalitesi bakımından son derece önemlidir. Organizasyon planlaması yapılırken en önemli hususlardan bir tanesi, personellerin hangi görevlerde ve süreçlerde değerlendirilebileceğidir. Organizasyonun amaçlarının yerine getirilebilmesi açısından personellerin görev dağılımı çalışması oldukça önemli bir süreçtir.

Organizasyonlar genel olarak açık alan organizasyonları ve kapalı alan organizasyonları olmak üzere ikiye ayrılır. Organizasyonlar, aranan personel tipleri ve özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Organizasyon ve Personel Çeşitleri (Organizations and Staff Types)

Organizasyon	Personel Tipleri
Fuar	Sahne teknik ekibi, Stant teknik ekibi, Salon içi görevli ekibi, Stant görevlisi ekip, Birimlerin sorumluları, Genel ekip sorumlusu
Seminer	Sahne teknik ekibi, Salonlarda görevli ekip, Salon genel sorumlusu
Kongre	Sahne teknik ekibi, karşılama ekibi, transfer ekibi, salon ekipleri, Ekip sorumluları, Kayıt ekibi, Gerekli kontak ve akış kontrolü ile ilgili organizasyon yetkilisi ve Genel ekip sorumlusu
Lansman Organizasyonu	Teknik kurulum ekibi, Merchandiser (Satış destek elemanı), Stant ekibi, Stant sorumlusu
Festival, Konser	Teknik kurulum ekibi, Bilet satış ekibi, Bilet kontrol ekibi, Yönlendirme ekibi, Ekip sorumluları, Genel ekip sorumlusu
Eğlence, Parti	Kostümlü veya serbest giyimli eğlence ekibi, eğlence ve müzik için dj, Animatör, Palyaço ekibi, Yönlendirme ekibi, Genel ekip sorumlusu
Sergi	Teknik kurulum ekibi, Stant ekibi, Stant sorumlusu

Organizasyon çalışmaları; anlık olarak geri dönüşlerin alınması ve prestij göstergesi olarak görülmesi açısından oldukça hassas yürütülmesi gereken çalışmalardır. Geri dönüşün hızlı bir şekilde alınması ve herhangi bir aksamanın geri dönülemez oluşundan dolayı görevli personelin yönlendirilmesi birçok sektörden daha önemlidir. Organizasyonlar için personel belirleme süreci en genel hali ile birlikte Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Organizasyonlar için Genel Personel Belirleme Süreci (General Personnel Selection Process in Organizations)

### 3. YÖNTEMLER (METHODS)

Bu bölümde problem çözümünde kullanılan yöntemler anlatılmıştır. Personellerin atanacakları görevler belirlenirken hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Her personelin en uygun olduğu işe atanması amaçlanmıştır. Böylece hizmet kalitesi ençoklanacaktır. Ayrıca çalışma boyunca ihtiyaç duyulan görevler önem derecelerine göre sıralanmıştır. Bu sıralama ise AHP yöntemi ile belirlenmiştir. Görevler önem ağırlıklarına göre sıralanmış ve bu sıralama hedef programlama modelindeki hedeflere yansıtılmıştır. Çalışmada hedef programlama ve AHP yöntemi kullanılmıştır.

#### 3.1. Hedef Programlama Yöntemi (Goal Programming)

Hedef programlama, matematiksel programlama metodlarından en çok kullanılan yöntemlerinden bir tanesidir. Diğer matematiksel yöntemlerden en büyük farkı, karar vericiye alternatif sonuçlar da sunabilmesidir. Karar verici herhangi bir kısıttan herhangi bir oranda sapabildiği taktirde amaç fonksiyonuna ne kadar katkısı olacağını yöntem sayesinde gözlemleyebilmektedir. Hedef programlama yönteminin amacı genel olarak; ulaşılmak istenen hedefler arasındaki sapmaları enküçükmektir. Hedef programlama yönteminin amaç fonksiyonu sadece sapmalardan oluşmaktadır

[3]. Yöntemin genel formülasyonu eşitlik 1-3'te gösterilmektedir.

$x_j$  : j. karar değişkeni

$a$  : karar değişkeni katsayı parametresi

$r$  : hedef kısıtı sağ taraf değer parametresi

$d_i^+$  : i. hedefin pozitif sapma değişkeni

$d_i^-$  : i. hedefin negatif sapma değişkeni

$P$  : hedef önem derecesi

Olmak üzere:

$$\text{Min. } Z = \sum_{i=1}^n P * (d_i^+, d_i^-) \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n a * x_j + d_i^+ + d_i^- = r \quad (2)$$

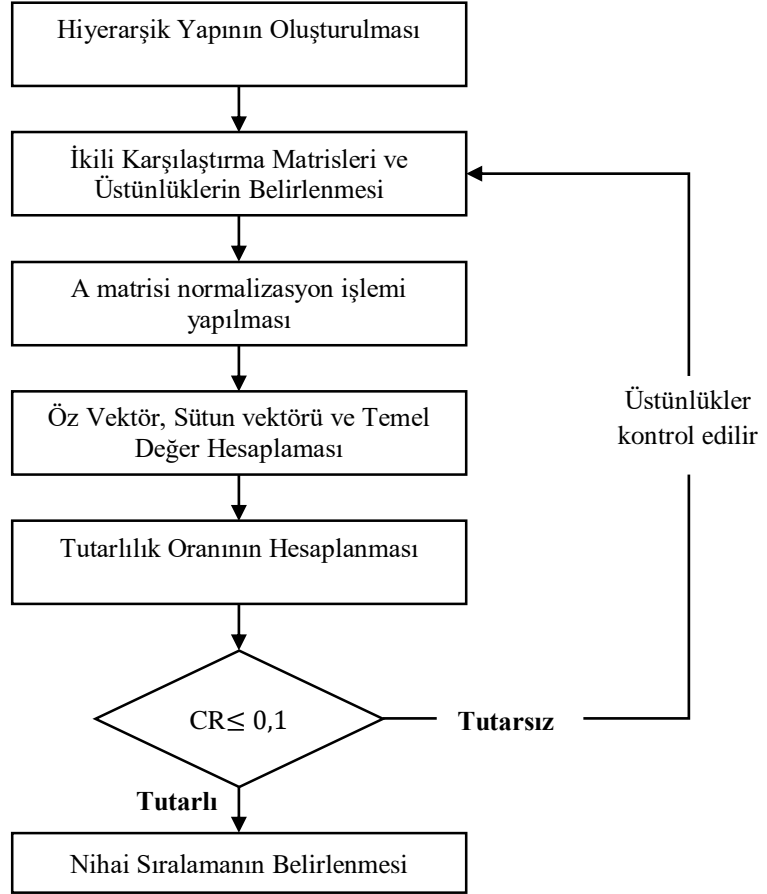
$$x_j, d_i^+, d_i^- \geq 0 \quad (3)$$

$$i = 1 \dots m, j = 1 \dots n$$

çok sayıda alternatif arasından seçim yaparken, çok sayıda karar vericinin bulunduğu, çok kriterli karar verme durumunda kullanılır. Bu yöntem bir karar verme durumunda, veriler kadar değerli olan bilgi ve deneyimlerin de dikkate alınması ilkesine dayanır [4]. AHP yönteminin akış şeması Şekil 2'de gösterilmiştir.

#### 4. LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE REVIEW)

Personel çizelgeleme problemi oldukça fazla çalışılmış ve üzerinde çeşitli yöntemler kullanılmış geniş bir problemdir. Bu bölümde literatürde bulunan benzer çalışmalar özetlenmiştir.



Şekil 2. AHP Yöntemi Akış Şeması (AHP method flow chart)

### 3.2. AHP Yöntemi (Analytic Hierarchy Process)

AHP, 1970'li yıllarda Thomas Saaty (1977) tarafından geliştirilmiş çok kriterli karar verme yöntemidir. Metot, belirlilik veya belirsizlik altında

Tsai ve Li [5] çalışmalarında hemşire çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çalışmalarında hemşire taleplerine de duyarlı bir model oluşturmuşlardır ve

çözüm yöntemi olarak Genetik algoritma ve Tamsayılı programa kullanmışlardır. Girginer ve Kaygısız [6] çalışmalarında AHP ve 0-1 hedef programlama yöntemlerini kullanarak, en uygun istatistiksel yazılımı belirlemişlerdir. Lezaun vd. [7] demiryolu çalışanları için bir vardiya çizelgeleme problemini ele almışlardır ve personel taleplerini de göz önünde bulunduran bir model oluşturmuşlardır.

Çözüm yöntemi olarak Karma tamsayılı programlama kullanmışlardır. Hung-Tso vd. [8] personel çizelgeleme problemini ele almışlardır ve kısıtları dikkate alan matematiksel bir model ile çözüm önerisinde bulunmuşlardır. Bektur ve Hasgül [9] çalışmalarında, çizelgeleme oluşturulması sırasında çalışanların yetkinlikleri, kıdem seviyeleri ve sistemin istekleri göz önünde bulundurularak işgücünün görevlere, vardiyalara ve izin günlerine atanmasını amaçlamışlardır. Kassa vd. [10] otel personelinin eşit sayıda vardiyalara atanmasını sağlayacak bir matematiksel model kurmuşlardır ve özel istek kısıtlarını da modele yansıtılmışlardır. Çözüm yöntemi olarak yöneylem araştırması konularından tamsayılı programlama yöntemini kullanmışlardır. Louly vd. [11] bir Telekomünikasyon şirketinde personellerin çizelgelenmesi problemini ele almışlardır ve bir çözüm önerisinde bulunmuşlardır. Çözüm yöntemi olarak hedef programlama yaklaşımını kullanmışlardır. Labidi vd. [12] banka personellerinin çizelgelenmesi problemini ele almışlardır ve bir çözüm önerisinde bulunmuşlardır. Çözüm yöntemi olarak yöneylem araştırması konularından hedef programlama yöntemini kullanmışlardır. Öztürkoğlu ve Çalışkan [13] çalışmalarında, hastanede görevli hemşirelerin çizelgeleme problemi için tam sayılı matematiksel model oluşturulmaktadır. Klasik modellerin aksine oluşturulan çizelgelemede hemşirelerin işe başlama saatlerine esneklik getirilmiştir. Bu modelin başlıca amacı, hemşirelerin yaptıkları işle kendi içinde buldukları şartları kısa sürede uyumlu hale getirmek için haftalık çizelgelerini kendilerinin hazırlamalarını sağlamaktır. Gerçek veriler kullanılarak oluşturulan bu model bir hastanenin genel cerrahi bölümünde denenmiş ve modelin, hemşirelerin tercihlerini %99,6 oranında yerine getirdiği görülmüştür. Todorovic vd. [14] polis memurlarının çizelgelenmesi problemini ele almışlardır. Özel durum kısıtlarını da model içerisinde değerlendirmişlerdir. Ünal ve Eren [15] çalışmalarında bir devlet kurumundaki nöbet çizelgeleme problemini, ağırlıklandırılmış hedef programlama yaklaşımı ile ele almışlardır. Problemin çözümü GAMS 22.5 paket programı ile sağlanmıştır.

Ciritoğlu vd. [16] güvenlik görevlilerinin vardiyalı çalışma problemi üzerine çalışmalarını yürütmüşlerdir. Çalışmalarında güvenlik görevlilerin günlük atandıkları vardiyaların adil ve dengeli olmasını amaçlamışlardır. Güvenlik görevlilerinin çalışma koşulları farklı açılardan ele alınmış olup, problem çözümünde hedef programlama yönteminden yararlanılmıştır. Bedir vd. [17] Çalışmalarında, ergonomik koşulları da dikkate alan vardiya çizelgeleme çalışmasını ele almışlardır. Problem çözümünde AHP ve hedef programlama yöntemleri kullanılmıştır. Özder vd. [18] çalışmalarında temizlik personeli çizelgeleme problemini ele almışlardır ve personellerin özel kısıtlarını dikkate alarak matematiksel model geliştirmişlerdir. Çözüm yöntemi olarak hedef programlama yaklaşımını kullanmışlardır. Gür vd. [19] çalışmalarında Ankara'da monoray projelerinin seçim problemini ele almışlardır. Belirlenen rotalarda AHP yöntemi kullanılarak kriter önceliklendirmesi yapmışlardır ve bu kriterleri baz alacak şekilde hedefler belirlenmiştir. Birçok duruma göre değişebilen bir çözüm önerisinde bulunmuşlardır. Çözüm yöntemi olarak hedef programlama kullanmışlardır. Varlı vd. [20] bir üniversitede sınav programlama konusunu ele almışlardır. Sınav saatlerinin çakışmama durumu ve öğretim görevlinin uygunluklarını kısıt olarak belirleyecek şekilde matematiksel model kurmuşlardır. Bruecker vd. [21] bakım personellerinin çizelgelenmesi problemini ele almışlardır. Yetkinliklerini kriter olarak alarak yeni bir çizelge önerisinde bulunmuşlardır. Çözüm yöntemi olarak karma tamsayılı programlama kullanmışlardır. Vermuyten vd. [22] sağlık sektöründe görevli personellerin çizelgelenmesi problemini ele almışlardır ve personel taleplerini de dikkate alarak çözüm önerisinde bulunmuşlardır. Koçtepe vd. [23] organizasyon personel çizelgeleme problemini ele almışlardır ve personel yetkinliklerini kriter olarak değerlendirerek, personellerin uygun oldukları görevlere atanması için bir çalışma yapmışlardır. Çizelge oluşturmak için yeni bir çözüm önerisinde bulunmuşlardır. Uslu vd. [24] hemşire çizelgeleme problemini ele almışlardır ve personel taleplerine duyarlı bir çözüm önerisi sunmuşlardır. Özel kısıtlı hemşire taleplerini dikkate alan bir model geliştirmişlerdir. Çözüm yöntemi olarak yöneylem araştırması konularından hedef programlama metodu kullanmışlardır. Yelek vd. [25] Kırıkkale Üniversitesinde kısmi zamanlı çalışan 40 adet öğrencinin bir aylık periyotta çalışma düzeninin belirlenmesi problemini ele almışlardır. Yeni bir çalışma programı önerisinde bulunmuşlardır. Çizelgeyi oluştururken hedef programlama yöntemi

ile çözüm bulmuşlardır. Demirel vd. [26] Ankara'da bulunan Ankaray metro hattındaki dört istasyonda çalışan kırk üç personel için personel çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çalışma planı çizelgelemesi için yeni bir çözüm önerisinde bulunmuşlardır. Çözüm yöntemi olarak yöneylem araştırması konularından hedef programlama kullanmışlardır. Koçtepe vd. [27] çalışmalarında basketbol karşılaşmasında görev alacak personellerin çizelgelenmesi problemini ele almışlardır. Personel yetkinliklerini kriter olarak matematiksel bir model oluşturmuşlardır. 0-1 tamsayı programlama yöntemi ile bir çözüm önerisinde bulunmuşlardır. Kaçmaz vd. [28] ergonomik personel çizelgeleme problemini ele almışlardır ve personelin çalışma sırasındaki pozisyonları REBA yöntemi ile analiz edilmiştir. Aynı zamanda, hedef programlama kullanılarak bir matematiksel model oluşturulmuştur. Çalışma, personelin ergonomik risk seviyelerini düşürmeyi amaçlamaktadır. Danışan vd. [29] Türkiye'deki büyük ölçekli bir hidroelektrik santralde yer alan 1330 elektriksel ekipman incelenmiş ve santral açısından kritiklik seviyesi belirlenmiştir. AHP, TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution) ve tam sayılı programlama yöntemleri kullanılmıştır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde görülmektedir ki; personel çizelgeleme problemlerine birçok farklı sektörde birçok farklı yaklaşım sunulmuştur. Bu çalışmada ele alınan problem bir gerçek hayat problemidir. Söz konusu sektörde bu çalışmalar genel olarak manuel yapılmaktadır. Yapılan çalışma hem hizmeti alan hem de sağlayan firma için oldukça önemlidir. Dolayısıyla personel memnuniyeti ve personellerin doğru işlere atanması sektörün gerekliliklerinden bir tanesidir. Çalışmada kullanılan model bu disiplin çerçevesinde kurulmuştur. Model; adaletli ve görev dağılım bilincini önemsemesinin yanında personellerin yetkinliklerini de aynı derecede dikkate alarak verimliliği optimize etmeyi amaçlamaktadır.

Böylece, literatüre özellikle de çok fazla çalışılmayan bir sektör için farklı yaklaşımlar da kullanarak katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

## 5. UYGULAMA (APPLICATION)

Çalışmada, Kapadokya bölgesinde düzenlenen tanıtım festivalinde görev yapacak 84 adet personelin çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Festivalde dört ana etkinlik bulunmaktadır ve bu etkinlikler günlere göre değişiklik gösterebilmektedir. Festivalde

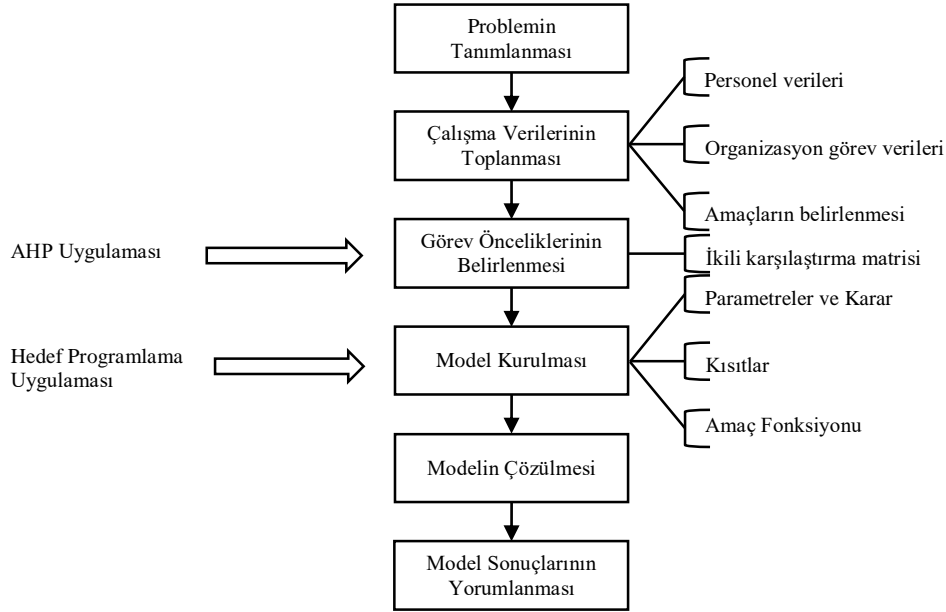
yapılacak her bir etkinlik beraberinde yeni personel ihtiyacı ve farklı yetkinlikler getirmektedir. Bu durum personel çizelgeleme problemi oluşturmaktadır.

Organizasyonda personellerin atanacağı 6 farklı görev mevcuttur. Bu görevler: Süpervizör (SPV), Bilet Satış (BILETS), INFO, Bilet Kontrol (BILETK), Yönlendirme (YOK) ve Karşılama (KAR) şeklindedir. 15 gün boyunca sürecek olan organizasyon ülke turizmi için önem arz etmektedir. Organizasyonun kaliteli bir şekilde hiçbir aksama yaşamadan yürütülmesi temel amaçtır. Bu amaç doğrultusunda her bir görev için en uygun personellerin atanması amaçlanmaktadır.

Uygulama her bir görevdeki yetkinlik düzeyini ençoklamayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda personellerin her bir görev için yetkinlik puanları 0-10 skalasında belirlenmiştir. Ayrıca görevler de önem ağırlıklarına göre sıralanmış ve önem düzeyleri ile orantılı olarak yetkinlikleri ençoklanmıştır. Bu veriler ve sonuçlar, uygulama başlığının “veriler” ve “görev önceliklerinin belirlenmesi” başlıklarında detaylı olarak incelenmiştir. Uygulama akış şeması Şekil 3'te gösterilmiştir.

### 5.1. Problem Tanımı (Problem Definition)

Türkiye'de bulunan ve dünya çapında talep gören Kapadokya bölgesinde, tanıtım festivali organizasyonu düzenlenecektir. 15 gün süren etkinlikle, bölgeye özellikle yabancı turist sayısının artması amaçlanmaktadır. Turizm sektöründeki rekabet ve karlılık düşünüldüğünde böyle bir organizasyonun beklentileri karşılaması oldukça önemlidir. Etkinlikte 84 personel 6 göreve atanacaktır. Organizasyonun herhangi bir aksaklık olmadan verimli bir şekilde yürütülmesi amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda personellerin yetkin oldukları görevlere atanmaları, böylece beklenen hizmetin aksama olmadan sürdürülmesi amaçlanmaktadır. Organizasyon; hazırlık ve etkinlik olmak üzere 2 bölümden oluşmaktadır. Hazırlık bölümü organizasyon planlarının oluşturulduğu ve gerekli ekipmanların sağlandığı bölümdür. Bu bölümdeki hazırlıkların süresi 7 gün olarak belirlenmiştir. Etkinlik bölümü ise organizasyonun gerçekleştiği kısımdır. Hazırlıkların bitmesinin ardından festival bütün birimleri ile ziyaretçi kabul edebilmektedir. Bu bölüm ise 8 gün olarak planlanmıştır.



Şekil 3. Uygulama Akış Şeması (Application Flowchart)

Bu doğrultuda görevler farklı çalışma sürelerine sahiptir. SPV, BILETS ve INFO görevleri organizasyon boyunca (15 gün) aktif olacaklardır. BILETK görevi organizasyonun etkinlik bölümü itibariyle aktif olacaktır (son 8 gün).

YON görevi hazırlık bölümünün son günü ve etkinlik bölümü olmak üzere son 9 gün hazır bulunacaktır. KAR görevi ise organizasyon etkinlik bölümünün başı ve sonu olmak üzere; 7,8,14 ve 15. gün olmak üzere toplam 4 gün aktif olacaktır.

Etkinlik için personel ihtiyacı bir organizasyon firması aracılığı ile karşılanmıştır. Personellerin her bir görev için yetkinlik puanları da söz konusu firmadan temin edilmiştir. Ek olarak organizasyon için tanımlanan 6 farklı görev de önceliklerine göre ağırlıklandırılmış ve ağırlıkları ile orantılı bir şekilde, günlük yetkinlik puanlarının en çoklanması, göz önünde bulundurulmuştur.

## 5.2. Veriler (Data)

Organizasyon için belirlenen görevler ile ilgili bilgiler Tablo 2’de gösterilmiştir.

Görevlerden sadece SPV görevi için çalışacak personeller belirlidir. Diğer bölümler için personel yetkinlikleri göz önüne alınmıştır. 1, 2, ..., 7 numaralı personel uygunluklarından dolayı SPV görevinde çalışacaklardır. Personellerin (P) yetkinlik verileri bir

uzman ve 2 akademisyen görüşleri ile belirlenerek Tablo 3’te gösterilmiştir. Organizasyon firması yetkilisi uzman ve akademisyenlerin çalışması ile 1-9 puan skalasında görevlere göre yetkinlik puanları oluşturulmuştur.

## 5.3. Görevlerin Önceliklendirilmesi (Prioritization of Tasks)

Organizasyon çalışmasında, personellerin görevlendirileceği 6 adet iş AHP yöntemi kapsamında ikili karşılaştırma matrisine tabii tutularak karşılaştırılmıştır. Böylece görevlere önem dereceleri doğrultusunda öncelik verilerek daha kaliteli bir hizmet verilmesi amaçlanmaktadır.

SPV görevine atanacak personeller belirli olduğu için bu görev ikili karşılaştırılma matrisine dahil edilmemiştir. Görevlerin ikili karşılaştırma matrisi uzman görüşleri doğrultusunda oluşturulmuştur. Bu karşılaştırma ve görevlerin önem ağırlıkları 0-100 skalasında Tablo 4’te gösterilmiştir.



Tablo 2. Görev Bilgileri (Task Information)

Görev	Görev Tanımı	Personelde Aranılan Nitelikler	Talep	Aktif günler
SPV (S)	Her birim için seçilen birim sorumlusu personellerdir.	Tecrübeli, problemleri hızlı çözebilecek proaktif, müşteri ile direk iletişim kurabilecek,	7	Hepsi (15)
BILETS (B1)	Organizasyon özelinde hazırlanan biletlerin satışında görev alacak personellerdir.	Bilgisayar bilgisi iyi, ikna kabiliyeti yüksek, diksiyonu iyi seviyede, yabancı dil bilen	10	Hepsi (15)
INFO (I)	Bilgi almak için gelen kişileri doğru birime yönlendirmek için bulunan personellerdir.	Yönlendirme becerisi yüksek, bilet satışa destek olabilecek, yabancı dil bilen	4	Hepsi (15)
BILETK (B2)	Biletli seyircilerin, giriş alanında biletlerini kod okuyucu cihaz kullanarak içeri girebilmelerini sağlayan personellerdir.	Fiziksel olarak uzun boylu olmak	20	Son 8
YON (Y)	Katılımcılara alanda etkinlik noktalarına yönlendirme yapan personellerdir.	Diksiyonu düzgün, festival Alanına hakim olan ve planları takip edebilen	35	Son 9
KAR (K)	Aktivitelerde yer alan konuşmacıların ve sanatçıların havaalanında karşılayıp gerekli yönlendirmeleri yapan personellerdir.	Yabancı dil bilen, Diksiyonu düzgün, Bulunulan bölge hakkında bilgi sahibi (Kapadokya)	8	7,8,14 ve 15.

Tablo 3. Personel Yetkinlik Puanları (Staff Competency Scores)

P	S	B1	I	B2	Y	K	P	S	BK	K	L	S	A
1	9	9	5	8	9	8	43	2	2	5	3	9	5
2	9	8	8	8	8	9	44	4	3	2	5	9	3
3	8	9	8	7	9	9	45	2	2	3	4	8	5
4	9	8	8	7	8	8	46	3	5	2	5	8	2
5	8	9	8	7	7	7	47	6	3	4	3	9	4
6	8	8	8	8	8	8	48	5	6	2	2	9	3
7	9	8	8	8	9	7	49	1	5	2	5	8	5
8	5	9	3	5	4	4	50	2	2	2	6	9	2
9	4	9	3	7	4	5	51	3	1	3	3	8	5
10	4	8	4	7	7	2	52	4	4	5	2	9	4
11	4	9	4	4	4	3	53	2	2	5	1	9	6
12	3	8	2	5	3	1	54	3	3	4	5	9	4
13	2	8	3	6	4	2	55	5	2	1	5	9	5
14	3	9	3	2	4	4	56	5	5	2	3	9	4
15	3	9	2	3	4	3	57	5	3	3	2	8	4
16	4	9	4	3	5	4	58	4	5	2	5	8	5
17	4	9	4	5	5	4	59	4	2	5	3	9	5
18	5	3	9	5	4	4	60	3	3	3	3	9	4
19	4	2	8	4	5	5	61	2	2	2	5	9	4
20	5	3	9	5	3	3	62	1	5	5	5	9	6
21	5	3	8	5	4	4	63	4	2	4	5	8	5
22	4	3	4	9	5	4	64	5	3	2	3	8	4
23	5	4	2	8	5	5	65	2	2	3	2	9	5
24	4	5	3	9	5	5	66	3	5	5	3	9	6
25	3	3	2	8	5	3	67	1	2	2	5	9	4
26	4	5	4	8	4	5	68	4	3	3	3	9	5
27	4	2	5	9	5	4	69	2	2	5	2	8	6
28	5	1	2	9	5	5	70	1	5	2	5	9	4
29	3	4	3	9	8	3	71	3	2	4	6	8	5
30	6	5	2	9	4	5	72	4	3	2	3	8	6
31	2	3	5	8	5	4	73	1	2	3	2	8	4
32	5	2	6	9	8	5	74	2	5	2	5	9	5
33	3	5	3	8	4	3	75	5	2	5	6	8	3
34	2	6	2	8	5	5	76	3	3	2	3	9	2
35	3	2	5	9	4	4	77	2	1	3	2	3	9
36	6	4	4	9	5	5	78	4	5	5	5	5	8
37	3	2	1	9	4	3	79	5	5	2	6	4	9
38	2	3	7	9	5	4	80	2	3	3	3	2	8
39	1	2	2	8	4	5	81	3	2	5	2	3	9
40	5	5	5	9	5	3	82	4	5	4	5	5	8
41	4	3	3	8	9	5	83	2	4	2	2	4	9
42	3	5	6	2	8	4	84	1	4	3	3	2	8

Tablo 4. Görevlerin İkili Karşılaştırma Matrisi (Binary Comparison Matrix of Tasks)

GÖREVLER	INFO	KAR	YON	BILETS	BILETK
INFO	1	2,00	2	3	4
KAR	0,50	1	2	2	4
YON	0,50	0,50	1	3	3
BILETS	0,33	0,50	0,33	1	3
BILETK	0,25	0,25	0,33	0,33	1
Önem Ağırlığı	36	25	20	12	7

#### 5.4. Matematiksel Model (Mathematical Model)

Bu bölümde 84 adet personelin 6 iş özelinde 15 günlük çizelgelemesine yer verilmiştir. Modelde her bir bölümün önem dereceleri ile orantılı yetkinlik puanlarının ençoklanması amaçlanmıştır.

##### 5.4.1. Parametreler (Parameters)

- $n$  : Personel sayısı  $n=84$   
 $m$  : Gün sayısı  $m=15$   
 $t$  : Görev sayısı  $t=6$   
 $i$  : Personel indeksi  $i=1,2,\dots,n.$   
 $j$  : Gün indeksi  $j=1,2,\dots,m.$   
 $k$  : Görev indeksi  $k=1,\dots,t.$   
 $M_{jk}$  : j. Günde k. görevin personel ihtiyacı  $\forall j, k$   
 $F_k$  : k. görevin pasif olduğu günler kümesidir (Tablo 2)  $\forall k$   
 $Y_{ik}$  : i. personelin k. Görevdeki yetkinliği (Tablo 3)  $\forall i, k$   
 $C_k$  : k. görevin hedef yetkinlik değeri (Hedef kısıtı sağ taraf değeri)  $\forall \in 2...6$

#### 5.4.2. Karar değişkenleri (Decision variables)

Modelin karar değişkenleri aşağıda gösterilmiştir.  $i$  personel,  $j$  gün ve  $k$  görev ve indisleri olmak üzere modelin karar değişkeni aşağıda gösterilmiştir.

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & i. \text{ personelin } j. \text{ gün } k. \text{ göreve atanması durumu} \\ 0, & \text{dd} \end{cases}$$

$\forall i, j, k$

Hedef karar değişkenleri aşağıda gösterilmiştir. Bu karar değişkenlerinin sağ taraf değerleri ( $C_k$ ), görevli herkesin yetkinlik puanları 10'a eşit olması durumu ile kabul edilerek, maksimum olacak şekilde hesaplandığı için (toplam atama sayısı \* 10) pozitif sapma beklenmemektedir. Dolayısıyla modelde sadece negatif sapmalar yer almıştır.

$in^-$ : INFO görevinin negatif yetkinlik sapması  
 $ka^-$ : KAR. görevinin negatif yetkinlik sapması  
 $yo^-$ : YON. görevinin negatif yetkinlik sapması  
 $bs^-$ : BILETS. görevinin negatif yetkinlik sapması  
 $bk^-$ : BILETK. görevinin negatif yetkinlik sapması

#### 5.4.3. Matematiksel modelin kısıtları (The constraints of the mathematical model)

Modelin sert ve hedef kısıtları aşağıda açıklamaları ile gösterilmiştir. Dört adet kısıt ve beş adet ağırlıklandırılmış hedef kısıtı bulunmaktadır. SPV, BILETS, INFO, BILETK, YON ve KAR görevlerinin  $k$  indisleri sırası ile 1, 2, 3, 4, 5 ve 6'dır.

**Kısıt 1:**  $j$ . gün  $k$ . görevde ihtiyaç duyulan sayıda personelin atanmasını garanti eden kısıt.

$$\sum_{i=1}^{84} x_{ijk} = M_{jk} \quad \forall j, k \quad (4)$$

**Kısıt 2:** 1, 2, ..., 7 numaralı personeller her gün SPV görevine atanmalıdır

$$x_{ij1} = 1 \quad i=1 \dots 7, \forall j \quad (5)$$

**Kısıt 3:** Bir personel bir günde en fazla bir göreve atanabilir.

$$\sum_{k=1}^6 x_{ijk} \leq 1 \quad \forall i, j \quad (6)$$

**Kısıt 4:** Eğer bir görev ilgili günde yapılmayacak ise o gün için o göreve personel atamasını engelleyen kısıt.

$$\sum_{i=1}^{84} x_{ijk} = 0 \quad \forall k, j \in F_k \quad (7)$$

**Hedef Kısıtı:** Modelde tüm görevlerin günlük yetkinlik puanının en çoklanması amaçlanmaktadır. Ayrıca bu durumu görevlerin önem dereceleri doğrultusunda dikkat edilmiştir. Böylece daha önemli bir görevin yetkinlik değeri daha öncelikli olarak ele alınacaktır. Bu kısıtlar eşitlik 8-12'de gösterilmiştir.

$$\sum_{i=1}^{84} \sum_{j=1}^{15} (x_{ij2} * Y_{i2}) + bs^- = C_2 \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{84} \sum_{j=1}^{15} (x_{ij3} * Y_{i3}) + in^- = C_3 \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^{84} \sum_{j=1}^{15} (x_{ij4} * Y_{i4}) + bk^- = C_4 \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^{84} \sum_{j=1}^{15} (x_{ij5} * Y_{i5}) + yo^- = C_5 \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^{84} \sum_{j=1}^{15} (x_{ij6} * Y_{i6}) + ka^- = C_6 \quad (12)$$

#### 5.4.4. Matematiksel modelin amaç fonksiyonu (Objective function of the mathematical model)

Modelin ağırlıklandırılmış amaç fonksiyonu aşağıda gösterilmiştir. Sapmaların önem katsayıları Tablo 4'ten alınmıştır.

$$\text{Minimize } (12 * bs^-) + (36 * in^-) + (7 * bk^-) + (20 * yo^-) + (25 * ka^-)$$

#### 5.4.5. Matematiksel modelin çözümü (Solution of the mathematical model)

7565 adet karar değişkeninin ve 1452 adet sert kısıtın bulunduğu model IBM Ilog Cplex Optimization Studio programı ile Monster marka Abra a5 v12 model, Intel i5 7300 HQ işlemcili 8 gb ram bulunan bilgisayar kullanılarak çözülmüştür. Yapılan atama ile tüm kısıtlar sağlanırken tüm görevlerin önem derecelerine göre yetkinlikleri en çoklanmıştır. Personellerin her görev altındaki puan verileri ve AHP yönteminden elde edilen görevlerin önem puanları da modele dahil edilerek, bir gerçek hayat problemine uygun çözüm üretilmiştir. Bu sayede etkinlik sürecince, uzman kişilerce belirlenmiş önemli görevler için daha hassas bir çalışma yürütülerek hizmet kalitesi artırılmıştır. Hizmet kalitesinde personel memnuniyetinin önemi de dikkate alınarak personellerin yetkin oldukları işlere atanmasını sağlayan bir model kurulmuştur. Ek olarak bilimsel çalışmanın yürütülmediği bir çizelgeden elde edilen yetkinlik puanları da çözümde verilmiştir. Böylece yapılan çalışmanın önemi daha net bir şekilde anlaşılmaktadır. Model görev (GÖ) atama sonucu Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Model Sonucu (Solution of the Model)

P	Gö	Gün	P	Gö	Gün	P	Gö	Gün	P	Gö	Gün
1	S	1-15	22	B2	8-15	43	Y	7-15	64	Y	7-15
2	S	1-15	23	B2	8-15	44	Y	7-15	65	Y	7-15
3	S	1-15	24	B2	8-15	45	Y	7-15	66	Y	7-15
4	S	1-15	25	B2	8-15	46	Y	7-15	67	Y	7-15
5	S	1-15	26	B2	8-15	47	Y	7-15	68	Y	7-15
6	S	1-15	27	B2	8-15	48	Y	7-15	69	Y	7-15
7	S	1-15	28	B2	8-15	49	Y	7-15	70	Y	7-15
8	B1	1-15	29	B2	8-15	50	Y	7-15	71	Y	7-15
9	B1	1-15	30	B2	8-15	51	Y	7-15	72	Y	7-15
10	B1	1-15	31	B2	8-15	52	Y	7-15	73	Y	7-15
11	B1	1-15	32	B2	8-15,7	53	Y	7-15	74	Y	7-15
12	B1	1-15	33	B2	8-15	54	Y	7-15	75	B2	8-15
13	B1	1-15	34	B2	8-15	55	Y	7-15	76	Y	7-15
14	B1	1-15	35	B2	8-15	56	Y	7-15	77	K	7,8,14,15
15	B1	1-15	36	B2	8-15	57	Y	7-15	78	K	7,8,14,15
16	B1	1-15	37	B2	8-15	58	Y	7-15	79	K	7,8,14,15
17	B1	1-15	38	B2	8-15	59	Y	7-15	80	K	7,8,14,15
18	I	1-15	39	B2	8-15	60	Y	7-15	81	K	7,8,14,15
19	I	1-15	40	B2	8-15	61	Y	7-15	82	K	7,8,14,15
20	I	1-15	41	Y	7-15	62	Y	7-15	83	K	7,8,14,15
21	I	1-15	42	Y	7-15	63	Y	7-15	84	K	7,8,14,15

Çalışma sonucunda elde edilen önerilen düzende çalışıldığında görevlerin ortalama yetkinlik puanları (GOYP) ve mevcut çalışma düzeninde GOYP karşılaştırılması Tablo 6'da gösterilmiştir. Tablodaki veriler, günlük olarak göreve atanan personellerin yetkinliklerinin toplamının personel sayısına bölümü ile elde edilmiştir. Daha sonra tüm günlerin ortalaması alınmıştır.

Tablo 6. Mevcut Durum ve Önerilen Durumda GOYP (Average Competency Scores of The Tasks in Current and Proposed Situation)

Gö	Önerilen Durum GOYP	Mevcut Durum GOYP
S	8,571	8,571
B1	8,700	5,850
I	8,500	5,236
B2	8,500	6,661
Y	8,629	7,500
K	8,500	5,500

Kurulan bu modelde ağırlıklandırılmış amaç fonksiyonu ile sapmalar minimize edilmiştir. Bilimsel

yöntemlerin kullanılmayıp manuel atama yapılması sonucunda elde edilen yetkinlik ortalama puanları ile önerilen durumda elde edilen puanların farkı açık bir şekilde görülmektedir.

Tablo 6'da gösterilen veriler göz önüne alındığında yapılan çalışmanın önemi anlaşılmaktadır. Personellerin yetkin oldukları işlere atanması sonucu görevlerdeki hizmet kalitesi de artacaktır. Bu şekilde daha kaliteli hizmet verilecek olup aynı zamanda aksamaların da önüne geçilebilecektir. Personellerin doğru işlere atanması sonucu personel memnuniyeti de artacaktır. Çalışma başında sadece SPV görevine atanacak personeller belliydi, dolayısıyla SPV görevinin yetkinlik ortalamasında bir değişim gözlenmemektedir. Ancak diğer görevlerin verileri incelendiğinde kurulan modelin başarılı bir sonuç verdiği anlaşılmaktadır.

## 6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME (CONCLUSION AND EVALUATION)

Bu çalışma, önemli bir turizm bölgesinin tanıtımı için düzenlenen bir organizasyonda görevli personellerin çalışma planlaması için gerçekleştirilmiştir. Turizm sektöründeki rekabet en çekişmeli rekabet ortamlarının bir tanesidir. Müşterilerin alternatifleri herhangi bir bölge ile sınırlı değildir. Dolayısıyla bu tarz organizasyonlardan beklenen hizmet kalitesi yüksektir ve bu beklentiyi karşılamak maddi açıdan oldukça karlı bir durumdur. Personellerin yetkin oldukları işlerde görevlendirilmesi hizmet kalitesi sağlama çalışmalarındaki ilk adımlardan birisidir. Çalışmada 15 gün süren bir etkinliğin personel çizelge çalışması yürütülmüştür. Özellikle personellerin yetkin oldukları görevlere atanması amaçlanmıştır. Etkinliğin sürdürülebilirliği için belirlenen görevler de ayrıca önceliklendirilerek, ağırlıklarına göre modele yansıtılmıştır. Ayrıca personel yetkinliklerinin dikkate alınmadığı bir çizelgenin görev yetkinlik sonuçları da çalışmada bir senaryo olarak gösterilmiştir. Model kısıtlara ve amaçlara verimli bir şekilde cevap vermiş ve 15 günlük çalışma çizelgesi oluşturulmuştur.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde görülmektedir ki; personel çizelgeleme problemlerine birçok farklı yaklaşım sunulmuştur. Bu çalışmada ele alınan problem bir gerçek hayat problemidir. Çalışma, personel çizelgelerinin genel olarak manuel yapıldığı bir sektörde uygulanmıştır. Bu sektör diğer işkollarına nazaran en ufak hataların bile büyük zararlara yol açabileceği hassas bir çalışma disiplinine sahiptir.

Personel memnuniyeti ve personellerin doğru işlere atanması son derece önemlidir. Çalışmada kullanılan modelde bu gibi durumlar dikkate alınmıştır. Model, görevleri önem dereceleri ile orantılı olacak şekilde dikkate alarak verimliliği optimize etmeyi amaçlamaktadır. Bu sayede kritik görevlere yapılan atamalar öncelikli olacaktır ve hizmet kalitesi görevin kritikliği ile orantılı şekilde sağlanacaktır. Görevlerin önem dereceleri de yine çalışmada yürütülen bilimsel yöntemle elde edilerek modele dahil edilmiştir. Böylece, literatüre özellikle de çok fazla çalışılmayan ancak çalışılmasının hizmet kalitesi için bir katkıdan çok gereklilik olduğu düşünülen bir sektör için katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

İleride yürütülecek çalışmalara ilham olması açısından, görev önceliklendirme yöntemi tüm sektörler için kullanılabilir. Özellikle belirli işlerin baskın olarak önemli olduğu bir çalışma planında kullanılması verimlilik çıktısını önemli ölçüde artıracaktır. Bu tarz çalışmalarda ayrıca personellerin görev talepleri verisi de modele yansıtılarak, personellerin daha dinamik bir şekilde çalışmalarına katkıda bulunulabilir. Özellikle işlerin değişkenlik gösterdiği organizasyon sektöründe, bu disiplinle kurulan model bir karar destek sistemine dönüştürülerek personel planlama çalışmaları kısa sürede ve devamlılığını koruyacak şekilde yürütülebilir.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI (CONFLICT OF INTEREST STATEMENT)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Association of Turkish Travel Agencies, "Turizm gelirleri," *tursab.or.tr*, [Online]. Available: <https://www.tursab.org.tr/istatistikler-icerik/turizm-geliri>. [Accessed: Sept. 09, 2020].
- [2] "2018'de 18 milyar dolarlık eğlence," *Techinside.com*, *techinside.com*, [Online]. Available: <https://www.techinside.com/2018de-18-milyar-dolarlik-eglenec>. [Accessed: Sept. 09, 2020].
- [3] H. A. Taha, *Operations Research: An Introduction*, 10th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson, 2016.
- [4] Ö. Ünal, "Performans Değerlemede Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Uygulamaları," *Sosyal*

*Bilimler Araştırmaları Dergisi*, cilt 7, sayı 1, s. 37-55, Ocak 2012

- [5] C.-C. Tsai and S. H. Li, "A two-stage modeling with genetic algorithms for the nurse scheduling problem," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 5, pp. 9506-9512, December 2009. doi: 10.1016/j.eswa.2008.11.049.
- [6] N. Kaygısız, N. Girginer ve Z. Kaygısız, "İstatistiksel Yazılım Seçiminde Analitik Hiyerarşi Süreci ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin Birlikte Kullanımı," *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, cilt 10, sayı 1, s. 211-233, Mart 2009
- [7] M. Lezaun, G. Pérez, and E. Sáinz de la Maza, "Staff rostering for the station personnel of a railway company," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 61, no. 7, pp. 1104-1111, July 2010. doi: 10.1057/jors.2009.48
- [8] H.-T. Lin, Y.-T. Chen, T.-Y. Chou, and Y.-C. Liao, "Crew rostering with multiple goals: An empirical study," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 63, no. 2, pp. 483-493, April 2012. doi: 10.1016/j.cie.2012.04.013
- [9] G. Bektur, ve S. Hasgöl, "Kıdem Seviyelerine Göre İşgücü Çizelgeleme Problemi: Hizmet Sektöründe Bir Uygulama," *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, cilt 15, sayı 2, s. 385-402, Aralık 2013
- [10] B. A. Kassa and A. E. Tizazu, "Personnel scheduling using an integer programming model- an application at Avanti Blue-Nile Hotels," *Springerplus*, vol. 2, no. 1, pp. 333, July 2013. doi: 10.1186/2193-1801-2-333
- [11] M. A. O. Louly, "A goal programming model for staff scheduling at a telecommunications center," *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms in Operations Research*, vol. 12, no. 2, pp. 167-178, September 2013. doi: 10.1007/s10852-012-9200-x
- [12] M. Labidi, M. Mrad, A. Gharbi, and M. A. Louly, "Scheduling IT staff at a bank: a mathematical programming approach," *The Scientific World Journal*, vol. 2014, p. 768374, March 2014. doi: 10.1155/2014/768374
- [13] Y. Öztürkoğlu ve F. Çalışkan, "Hemşire Çizelgelemesinde Esnek Vardiya Planlaması ve

Hastane Uygulaması," *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, cilt 16, sayı 1, s. 115-133, Nisan 2014. doi: 10.16953/deusbed.07850

[14] D. Todovic, D. Makajic-Nikolic, M. Kostic-Stankovic, and M. Martic, "Police officer scheduling using goal programming," *Policing: An International Journal*, vol. 38, no. 2, pp. 295–313, May 2015. doi: 10.1108/PIJPSM-11-2014-0124

[15] T. Eren ve F. Ünal, "Hedef Programlama ile Nöbet Çizelgeleme Probleminin Çözümü," *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, cilt 4, sayı 1, s. 28-37, Ocak 2016. doi:10.21541/apjes.59022

[16] C. Ciritcioğlu, S. Akgün, E. Varlı ve T. Eren, "Kırıkkale Üniversitesi Güvenlik Görevlileri İçin Vardiya Çizelgeleme Problemine Bir Çözüm Önerisi," *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, cilt 9, sayı 2, s. 1-23, Haziran 2017. doi: 10.29137/umagd.351463

[17] N. Bedir, T. Eren ve E. N. Dizdar, "Ergonomik Personel Çizelgeleme ve Perakende Sektöründe Bir Uygulama," *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, cilt 5, sayı 3, s. 657-674, Aralık 2017. doi: 10.21923/jesd.331259

[18] T. Eren, E. Özder ve E. Varlı, "Hedef Programlama Yaklaşımı ile Temizlik Personeli Çizelgeleme Problemi İçin Bir Model Önerisi," *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, cilt 7, sayı 2, s. 114-127, Aralık 2017. doi:10.31466/kfbd.342344

[19] Ş. Gür, M. Hamurcu ve T. Eren, "Ankara'da Monoray projelerinin analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemleri ile seçimi," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 23, sayı 4, s. 437-443, Ağustos 2017.

[20] E. Varlı, H. M. Alağaç, T. Eren and E. Özder, "Goal Programming Solution of the Examiner Assignment Problem," *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, vol. 1, no. 2, pp. 105-118, November 2017.

[21] P. De Bruecker, J. Beliën, J. Van den Bergh, and E. Demeulemeester, "A three-stage mixed integer programming approach for optimizing the skill mix and training schedules for aircraft maintenance," *European Journal of Operational Research*, vol. 267, no. 2, pp. 439–452, November 2018. doi: 10.1016/j.ejor.2017.11.047

[22] H. Vermuyten, J. Namorado Rosa, I. Marques, J. Beliën, and A. Barbosa-Póvoa, "Integrated staff scheduling at a medical emergency service: An optimisation approach," *Expert Systems with Applications*, vol. 112, pp. 62–76, June 2018. doi: 10.1016/j.eswa.2018.06.017

[23] S. Koçtepe, N. Bedir, T. Eren ve Ş. Gür, "Organizasyon Görevlileri İçin Personel Çizelgeleme Probleminin 0-1 Tam Sayılı Programlama ile Çözümü," *Ekonomi, İşletme ve Yönetim Dergisi*, cilt 2, sayı 1, s. 25-46, Haziran 2018.

[24] B. Uslu, N. Bedir, Ş. Gür ve T. Eren, "0-1 Hedef Programlama Yöntemi Kullanılarak Hemşire Çizelgeleme Probleminin Çözümü," *Sağlık Akademisi Kastamonu*, cilt 3, sayı 3, s. 148-170, Aralık 2018. doi: 10.25279/sak.383756

[25] T. Eren, A. Yelek, B. Demirel ve H. Alağaç, "Kısmi Zamanlı Çalışan Personellerin Çizelgelenmesi: Kırıkkale Üniversitesi Merkez Kütüphanesi Örneği," *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, cilt 8, sayı 2, s. 313-330, Temmuz 2018.

[26] B. Demirel, A. Yelek, H. Alağaç ve T. Eren, "ANKARAY Güvenlik Personelinin Vardiya Çizelgeleme Probleminin Hedef Programlama Yöntemi ile Çözümü," *Demiryolu Mühendisliği*, sayı 8, s. 1-17, Haziran 2018.

[27] S. Koçtepe, H. Alakaş, Ş. Gür ve T. Eren, "Basketbol Karşılaşmasında Görevli Organizasyon Personellerinin 0-1 Tam Sayılı Programlama Yöntemi ile Çizelgelenmesi," *Başkent Üniversitesi Ticari Bilimler Fakültesi Dergisi*, cilt 3, sayı 2, s. 44-53, Eylül 2019.

[28] S. Kaçmaz, H. Alakaş and T. Eren, "Ergonomic Staff Scheduling Problem with Goal Programming in Glass Industry," *Journal of Turkish Operations Management*, vol. 4, no. 1, pp. 369-377, June 2020.

[29] E. Özcan, T. Danışan ve T. Eren, "Hidroelektrik santrallarda bakım çizelgeleme için hibrid bir model önerisi," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, cilt 35, sayı 4, s. 1815-1828, Temmuz 2020. doi:10.17341/gazimmfd.602774

## Ahmet CÜREBAL

1992 yılında Soma/Manisa'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara'da tamamladı. 2018 yılında

Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliğinden mezun oldu. Kırıkkale Üniversitesinin aynı bölümünde yüksek lisans eğitimine 2019 yılından beri devam etmektedir.

### **Serkan KOÇTEPE**

1991 yılında Sivas'ta doğmuştur. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara'da tamamladı. Kırıkkale Üniversitesi Endüstri mühendisliğinden 2019 yılında mezun olmuştur. Endüstri mühendisliği alanında yüksek lisans programına 2019 yılında Kırıkkale Üniversitesinde başladı.

### **Tamer EREN**

1974 Balıkesir doğumludur. İlk orta ve lise eğitimini Balıkesir'de tamamlamıştır. Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği bölümünden 1996 yılında mezun olmuştur. Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde 1997 yılında araştırma görevlisi olarak göreve başlamıştır. Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde 1999 yılında araştırma görevlisi olarak görevlendirilmiştir. Aynı Üniversitede 2000 yılında yüksek lisansını, 2004 yılında da doktorasını tamamlayıp, Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümüne dönmüştür. 2004-2009 yılları arasında Araştırma Görevlisi Dr. olarak çalışmıştır. Aynı Üniversite'de 2009 yılından itibaren Yardımcı Doçent, 2013 yılından itibaren Doçent, 2019 yılından itibaren ise Profesör olarak çalışmaktadır. Yöneylem Araştırması anabilim dalında çalışan Eren'in çalışma alanı çizelgeleme ve çok ölçütlü karar vermedir.

# IG ve DFIG'lerin Rüzgar Gücü Üretim Sistemleri İçin Karşılaştırılması

Mustafa Ergin ŞAHİN<sup>\*a</sup> 

<sup>a\*</sup>Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 53100, Rize, TÜRKİYE

## MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 16.09.2020  
Kabul: 06.12.2020

**Anahtar Kelimeler:**  
Rüzgar enerjisi, Üretim sistemleri, İndüksiyon generatörü, İki beslemeli indüksiyon generatörü, STATCOM

**\*Sorumlu Yazar:**  
e-posta:  
mustafaerginsahin@yahoo.com

## ÖZ

İndüksiyon ve iki beslemeli indüksiyon generatörleri rüzgar gücü sistemlerinde elektrik üretimi için yaygın olarak kullanılır. İndüksiyon generatörlerin ve iki beslemeli indüksiyon generatörlerin tanımları rüzgar enerji sistemleri için bu çalışmada verilmiştir. Farklı bağlantı tipleri ve koşulları iki farklı rüzgar jeneratörü için şebeke ve rüzgar türbinleri için bu çalışmada incelenmiştir. Bir rüzgar çiftliği modeli indüksiyon generatörü ve iki beslemeli indüksiyon generatörü için MATLAB/Simulink de modellenmiştir. İlk olarak simulasyon sonuçları normal çalışma koşulları için sunulmuş ve tartışılmıştır. İkinci olarak ise rüzgar çiftliği modeli hata durumları için simule edilmiştir. Farklı hata koşulları altındaki bu IG ve DFIG sonuçları statik kompanzatorün bir fonksiyonu olarak verilmiş ve tartışılmıştır. Bu sistemin üstünlük ve dezavantajları verilmiş ve değerlendirilmiştir.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.03.06>

## Comparison of IG and DFIG for Wind Power Generation Systems

### ARTICLE INFO

Received: 16.09.2020  
Accepted: 06.12.2020

**Keywords:**  
Wind energy, Generation Systems, Induction Generator, Doubly Fed Induction Generator, STATCOM

**\*Corresponding Authors**  
e-mail:  
mustafaerginsahin@yahoo.com

### ABSTRACT

Induction and doubly-fed induction generators are widely used in wind power systems for electricity generation. Description of induction generator (IG) and doubly-fed induction generator (DFIG) for wind power generation systems are given in this paper. Different connection types and conditions for two different types of wind generators with the grids and wind turbines are investigated in this study. A wind farm model is simulated using an induction generator and a doubly-fed induction generator in MATLAB/Simulink. The simulation results under normal operating conditions are presented and discussed firstly. Wind farm models are simulated under fault conditions secondly. The results of the IG and DFIG system under various fault conditions as a function of static compensator (STATCOM) are presented and discussed. The superiority and disadvantages of this system are given and evaluated.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.03.06>

### 1. INTRODUCTION (GİRİŞ)

The unfulfilled energy demand and environmental problems caused by conventional fossil fuels have increased wind energy demand all around the world. Although considerable research has been employed to develop wind turbine technology, a lot of problems are not yet solved about wind energy and cannot

become the first energy source in this area. One of these problems is connecting the wind turbine generators to the grid, and it causes power quality problems on the grid. The wind turbine generating voltage and power fluctuations are more than those produced by conventional generators [1, 2]

Bu makaleye atf yapmak için: M.E. Şahin, "Comparison of IG and DFIG for Wind Power Generation Systems," *Gazi Journal of Engineering Sciences*, vol. 6, no. 3, pp. 230-241, December, 2020, doi: <https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.03.06>.

In wind energy systems are commonly used rotating electrical machines, and most of these machines are work as a motor or a generator. Mainly two types of generators are used in wind turbines. One of them is IG, and the other one is DFIG. The generator structures will be given more detail in the next section. Some different types of controllers are also, used to control this generator. These controllers are called pulsed controllers converters. The converter controllers are used for DFIG and energized the double windings [3, 4].

The wind power generation systems are investigated in different ways in the literature. IG and DFIG are investigated in different ways for some novel studies, control, and STATCOM applications. Also, some of them are a focus on reactive power measurement, tests, and energy storage applications [5, 6]. This study mainly focuses on the comparison of MATLAB/Simulink models of different generator types [7]. It is possible to find some novel studies modeling and performance analyses of IG for wind turbines. However, they are not more advantageous than DFIG [8, 9, 10]. On the other side, describing DFIG details, and some novel studies are possible to find in the literature [11, 12]. Some of these studies are related to the power of electronic parts and the converter control part. Also, some of them are related to modeling and dynamic stability analysis for variable speed wind energy generation [11-16]. These studies do not include any comparison of IG and DFIG works under normal operation conditions and fault conditions [17]. One of these studies has made a comparative study with STATCOM, but it is very restricted and does not include more detailed results [4]. Also, another study presents an innovative intelligent control system for the DFIG wind turbines to increase the performance of the wind turbine [18].

In this paper, the general information about induction generators and doubly-fed induction generators for wind power generation systems is given in the material and method section firstly. A 9 MW power wind farm is simulated using an induction generator (IG) and a DFIG in MATLAB/Simulink. Secondly, wind farm models are simulated under fault conditions. The results of the IG and DFIG system under various fault conditions as a function of static compensator (STATCOM) are presented and discussed. The simulation results are evaluated by the way the superiority and disadvantages of this system.

## 2. MATERIAL AND METHOD (MALZEME VE YÖNTEM)

### 2.1. Induction Generator (IG) and Wind Turbines (İndüksiyon jeneratörü ve Rüzgar Türbinleri)

Electrical machines are used in wind energy systems commonly, and most of these can work as either a motor or a generator. There is also another more popular type of three-phase rotating machine, but as well as the synchronous generator. It can be used as a wind turbine generator and called an induction generator. The synchronous generator and the induction generator have similar fixed stator winding arrangement. Three-phase or single-phase voltage output produces a rotating magnetic field that is shown in Figure 1 [3].

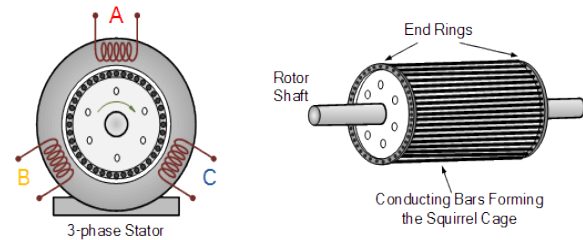


Figure 1. The cross-section and structure of the induction generator [3] (İndüksiyon jeneratörünün yapısı ve kesiti)

The difference between the stators rotating magnetic field and the rotor speed is called slip in an induction machine. In other words, the slip event is the difference in speed between the stators synchronous speed ( $n_s = f/P$ ) in rpm, and the rotors actual speed  $n_r$ , also in rpm, which is expressed as a percentage of slip. The slip ( $s$ ) is given in Equation 1.

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (1)$$

An induction machine operating speed is always less than the rotational speed of the stator field that is called synchronous speed when works as a motor. An induction machine and its operating speed must be above the rated synchronous speed when it works as a generator as shown in Figure 2. At standstill slip is positive and equal to one ( $s = +1$ ), the stators rotating magnetic field have the same rotational speed concerning both the stator and the rotor as the frequency of the rotor and stator currents is the same. The difference between the speed and frequency of the rotor and stator is zero at synchronous speed, so no electricity is consumed or produced, and slip is equal to zero ( $s = 0$ ). As a result, the slip event becomes negative ( $s = -1$ ), and the induction machine generates a current. These situations are shown in Figure 2 torque/speed characteristics.



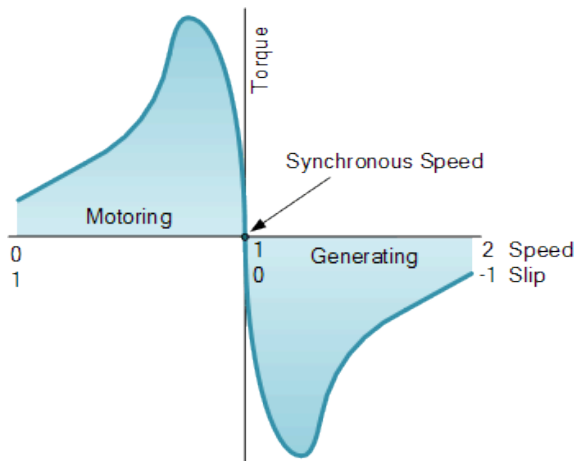


Figure 2. Torque/Speed characteristics of an induction machine (*İndüksiyon makinasının Tork/hız karakteristiği*)

The speed of the induction generator will change with the wind energy rotational force applied to it, and continue to generate electricity until its rotational speed falls below idle. The generator increases or decreases its speed slightly if the torque changes depending on this useful mechanical property. So there will be less wear and tear on the gearbox resulting in low maintenance and long service life. That is the main reason for using an induction generator rather than a synchronous generator on a wind turbine when it is connected to the electrical grid directly.

The induction generator stator must be magnetized from the grid before it can generate electricity. Moreover, it can also run an induction generator by supplying the necessary magnetizing current from excitation capacitors connected across the stator terminals of the machine in an off-grid system. The circuit for a three-phase squirrel-cage induction machine at the off-grid system is shown in Figure 3 with the star connection excitation capacitors.

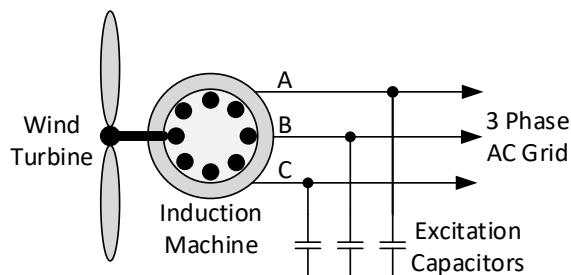


Figure 3. Three-phase squirrel-cage induction machine at the off-grid system (*Şebekeden bağımsız üç fazlı sincap kafesli indüksiyon makinası*)

The excitation capacitors are used to provide the necessary reactive power for excitation otherwise be supplied by the grid. The induction generator is self-excited only if the rotor has sufficient residual

magnetism using these external capacitors. The generator output frequency and voltage are affected by the rotational speed, the turbine load, and the capacitance value in the self-excited mode.

The self-excited induction generator (SEIG) is a better solution in variable wind speed and remote areas, especially for wind-powered electric generation applications. They do not need an external power supply to produce the magnetic field. Two excitation capacitors connected across the three-phase windings and a three-phase induction generator can be converted into a variable speed single-phase induction generator. The capacitance value is  $C$  on one phase, and  $2C$  across the other generator phase is shown in Figure 4.

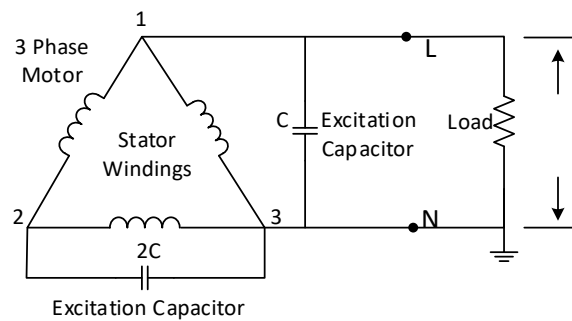


Figure 4. A three-phase IG converted into a single-phase IG (*Üç fazlı bir IG nin tek fazlı IG'ne dönüşümü*)

## 2.2. Doubly Fed Induction Generator (DFIG) and Wind Turbines (*İki Beslemeli İndüksiyon Jeneratörü (DFIG) ve Rüzgar Türbinleri*)

Doubly fed electrical generators have additional features that allow them to run at speeds slightly above or below their natural synchronous speed as to AC generators. It is useful for suddenly change wind speeds and high variable speed wind turbines. When wind hits a wind turbine suddenly, the blades try to speed up, but a synchronous generator is locked to the speed of the power grid and cannot speed up. High forces have occurred in the hub, gearbox, and generator as the power grid pushes back and causes wear and damage to the mechanism. Doubly fed generators are proposed as a solution to this solve this problem. The generated electricity comes out of windings fed with DC and an armature windings instead of the usual field, stationary and rotating windings both separately connected to equipment outside the generator that is shown in Figure 5. While one winding is directly connected to the output and produces three-phase AC power at the desired grid frequency, the other winding is connected to three-phase AC power at a variable frequency. The input power is adjusted in frequency and phase to compensate for changes in the speed of the turbine.

An AC to DC and DC to AC bidirectional converter is required for adjusting the frequency and phase.

DFIG is an electricity generating method which is widely used in wind turbines. It is based on a three-phase wound rotor induction generator and a three-phase slip ring assembly with brushes for access to the rotor windings. A better alternative is a brushless wound-rotor doubly-fed electric machine to avoid the multi-phase slip ring assembly. In the DFIG rotor windings are connected to the grid to controls both the rotor and the grid current via slip rings and back-to-back voltage source converter (AC/DC/AC) that as shown in Figure 5 [7]. Thus, rotor frequency can freely differ from the grid frequency. It can be adjusted to the active and reactive power by using the converter to control the rotor currents fed to the grid from the stator independently of the generator's turning speed. Two-axis current vector control or direct torque control (DTC) is used as a control principle when high reactive currents are required from the generator [1].

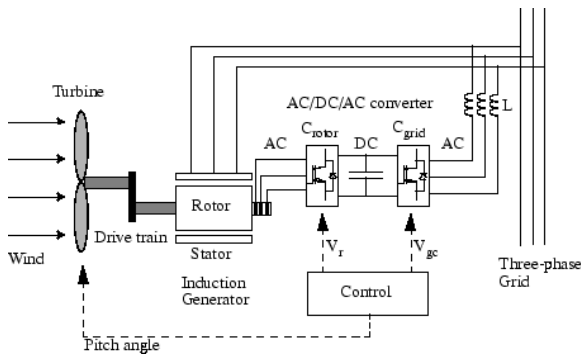


Figure 5. Doubly-fed induction generator with a wind turbine (Rüzgar türbini ve iki beslemeli indüksiyon jeneratör) [7]

Finally, a doubly-fed induction machine is a wound-rotor doubly-fed electric machine and has several advantages in wind power applications over a conventional induction machine. The induction generator can both import and export reactive power as the rotor circuit is controlled by a power electronics converter, which is a significant consequence for power system stability. The control of the rotor voltages and currents enables the induction machine to remain synchronized with the grid while the wind turbine speed changes. At last, the cost of the converter is low when compared with the other variable speed solutions.

The power is controlled by the tracking characteristic to follow a pre-defined power-speed characteristic figure. Such a characteristic by the ABCD curve superimposed to the mechanical power characteristics of the turbine obtained at different

wind speeds is shown in Figure 6. The actual-speed of the turbine  $\omega_r$  is measured, and the related mechanical power of the tracking characteristic is used as the reference power for the power control loop. The tracking characteristic is defined by four points A, B, C, and D. Between point B and point C, the tracking characteristic is the place of the maximum power of the turbine [7].

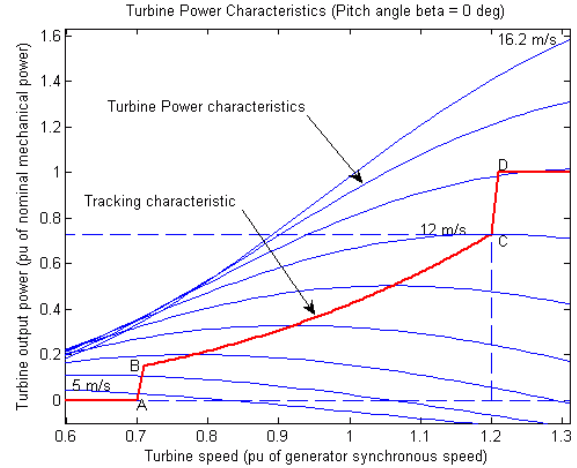


Figure 6. Turbine characteristics and tracking characteristic [7] (Türbin ve takip karakteristikleri)

### 3. SIMULATION RESULTS (BENZETİM SONUÇLARI)

The simulation models and simulation results of IG and DFIG in MATLAB/Simulink are given in this section. The simulation results are obtained for various fault conditions and compared with normal operating conditions.

#### 3.1. IG Used Wind Farm Simulation and Results for Normal Operation (Rüzgar Çiftliği simülasyonunda kullanılan IG ve Normal Çalışma Sonuçları)

Investigated an example simulation model of a 9 MW wind farm using IG driven by variable-pitch wind turbines in MATLAB/Simulink is shown in Figure 7. The wind farm model consisting of six 1.5 MW wind turbines is connected to a 25 kV distribution system that exports power to a 120 kV grid through a 25 km 25 kV feeder. Squirrel-cage induction generators (IG) are used in wind turbines rotor that is driven by a variable-pitch wind turbine. The stator winding is connected directly to the 60 Hz grid, and the pitch angle is controlled to limit the generator output power at its nominal value for winds exceeding the 9 m/s nominal speed. The IG speed must be slightly above the synchronous speed to generate power. The IG speed varies approximately between 1 pu at no load and 1.005 pu at full load.

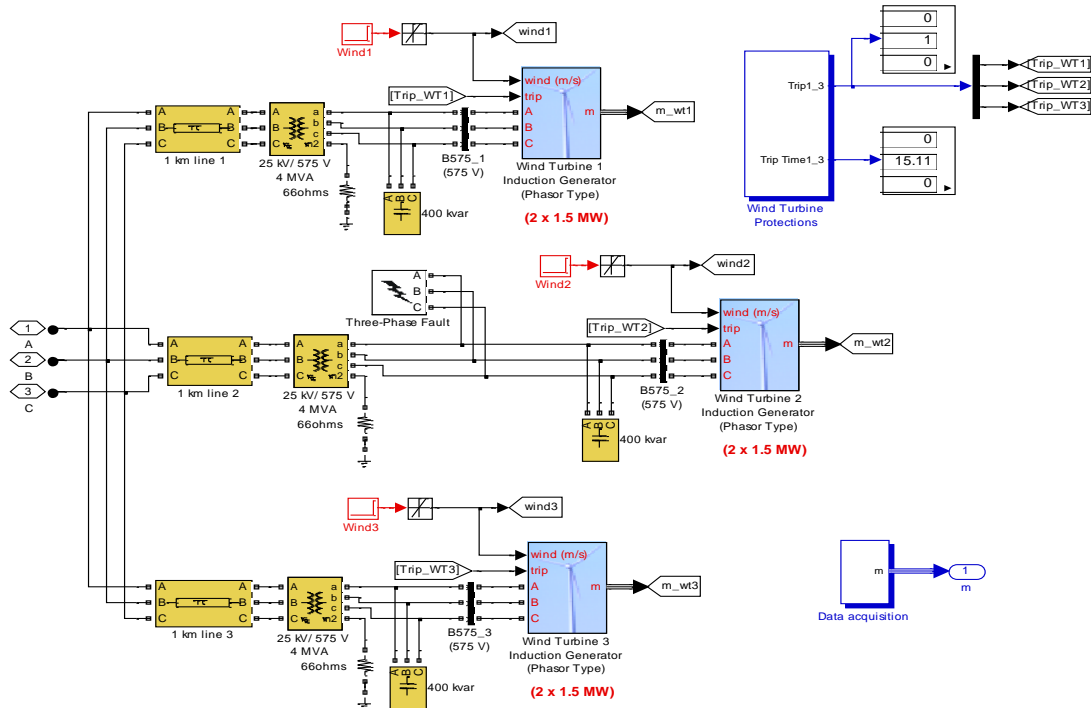
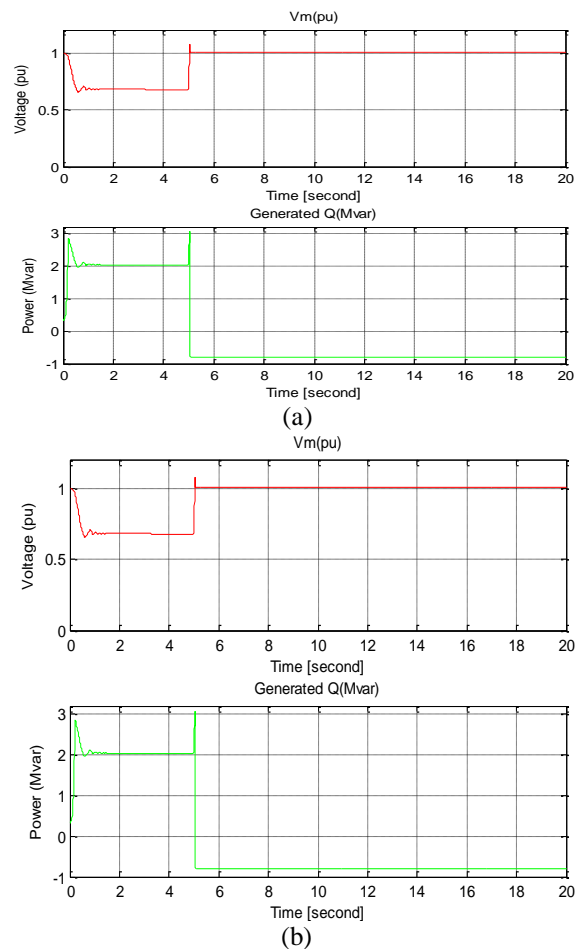


Figure 7. 9 MW wind farm MATLAB/Simulink model using IG [8] (IG kullanılan 9 MW rüzgar çiftliği MATLAB/Simulink modeli)

The simulation results for IG used 9 MW wind farm for normal operating conditions are given in Figure 8. Generated voltage and reactive power as a *pu* for 6 m/s wind speed are given in Figure 8 (a) for pitch angle 0°, and Figure 8 (b) for pitch angle 45°. Generated voltage and reactive power as a *pu* for 9 m/s wind speed are given in Figure 8 (c) for pitch angle 0°, and Figure 8 (d) for pitch angle 45°. Generated voltage and reactive power as a *pu* for 9 m/s wind speed are given in Figure 8 (e) for pitch angle 0°, and Figure 8 (f) for pitch angle 45°.

The simulation results show that for low wind speeds applications depends on the pitch angle, some deformations are acquired on the generated voltage and generated reactive power. Above the critical speed values, the generated voltage and reactive power do not change depending on the pitch angle. It can be said that the pitch angle in the variable speeds tries to stabilize the wind speed, but it does not fully work truly in every condition. So the IG is not the best solution for variable speed under the nominal speeds.



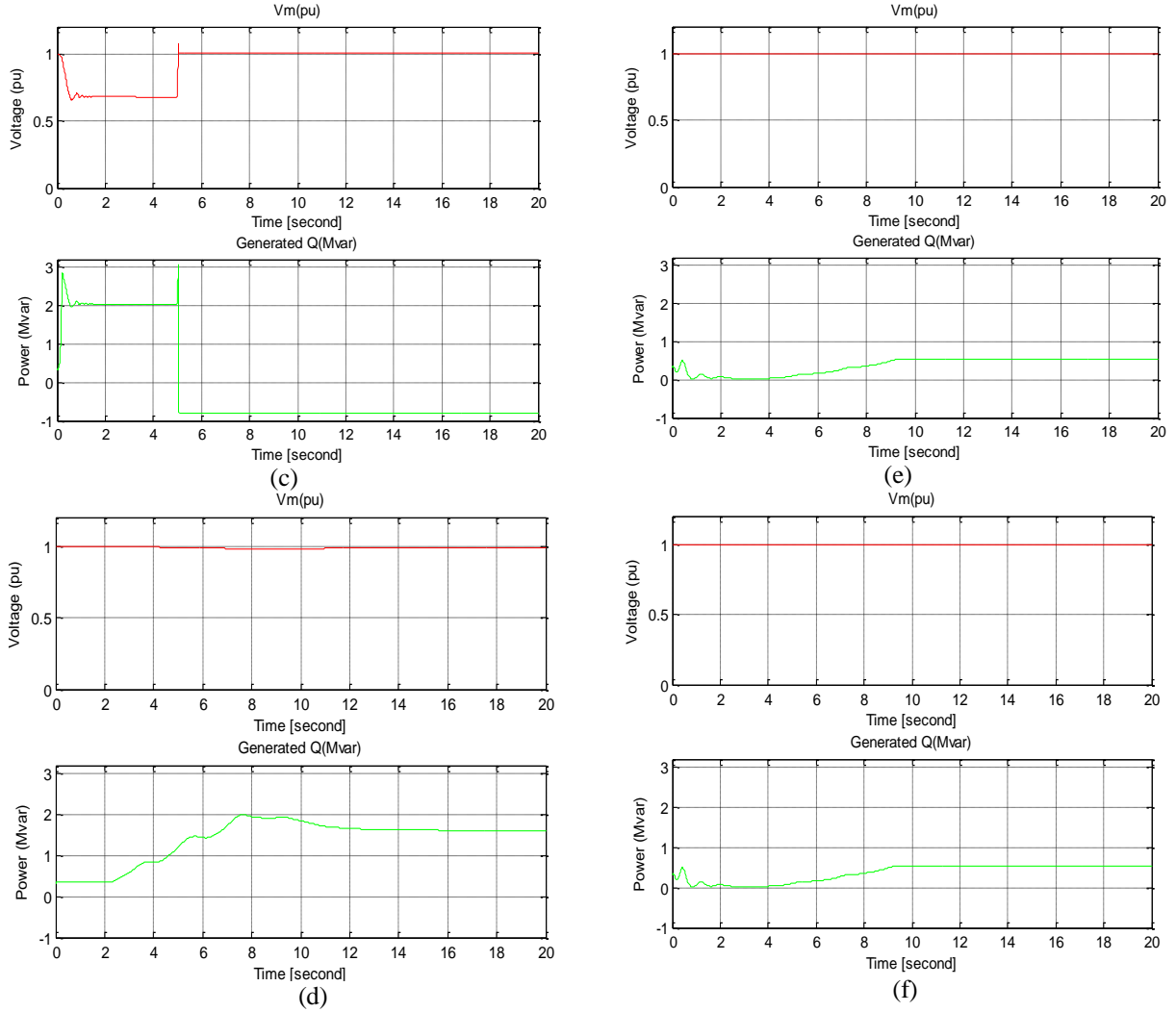


Figure 8. Generated voltage and reactive power as a pu; for 6 m/s wind speed a) Pitch angle  $0^\circ$ , b) Pitch angle  $45^\circ$ ; for 9 m/s wind speed, c) Pitch angle  $0^\circ$ , d) Pitch angle  $45^\circ$ ; for 12 m/s wind speed, e) Pitch angle  $0^\circ$ , f) Pitch angle  $45^\circ$  (*pu olarak üretilen gerilim ve reaktif güç; 6 m/s rüzgar hızı için, a) Kanat açısı  $0^\circ$ , b) Kanat açısı  $45^\circ$ ; 9 m/s rüzgar hızı için, c) Kanat açısı  $0^\circ$ , d) Kanat açısı  $45^\circ$ ; 12 m/s rüzgar hızı için, e) Kanat açısı  $0^\circ$ , f) Kanat açısı  $45^\circ$ )*

### 3.2. DFIG Used Wind Farm Simulation and Results for Normal Operation (*Normal koşullarda kullanılan DFIG kullanılan rüzgar çiftliği simülasyonu ve sonuçları*)

The simulation model of a 9 MW wind farm using DFIG driven by wind turbines is investigated in MATLAB/Simulink is shown in Figure 9. A 9 MW wind farm model consisting of six 1.5 MW wind turbines connected to a 25 kV distribution system exports power to a 120 kV grid through a 30 meter, 25 kV feeder. The DFIG used wind turbines consist of a wound rotor induction generator and an AC/DC/AC IGBT-based PWM converter. The DFIG technology allows extracting maximum energy from the wind for low wind speeds by optimizing the turbine speed while minimizing mechanical stresses on the turbine. The wind speed is maintained at 15 m/s in this model, and the control

system uses a torque controller to maintain the wind speed at 1.2 pu. The reactive power generated by the wind turbine is adjusted at 0 Mvar.

The simulation results for DFIG used 9 MW wind farm for normal operation mode are given in Figure 10. Generated voltage and reactive power as a pu for 6 m/s wind speed are given in Figure 10 (a) for pitch angle  $0^\circ$ , and Figure 10 (b) for pitch angle  $45^\circ$ . Generated voltage and reactive power as a pu for 9 m/s wind speed are given in Figure 10 (c) for pitch angle  $0^\circ$ , and Figure 10 (d) for pitch angle  $45^\circ$ . Generated voltage and reactive power as a pu for 15 m/s wind speed are given in Figure 10 (e) for pitch angle  $0^\circ$ , and Figure 10 (f) for pitch angle  $45^\circ$ .

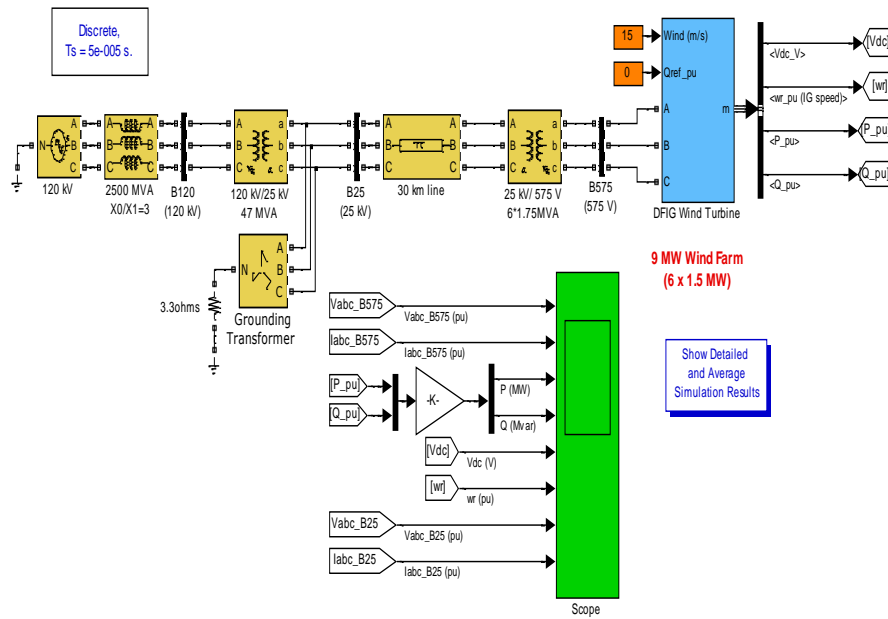
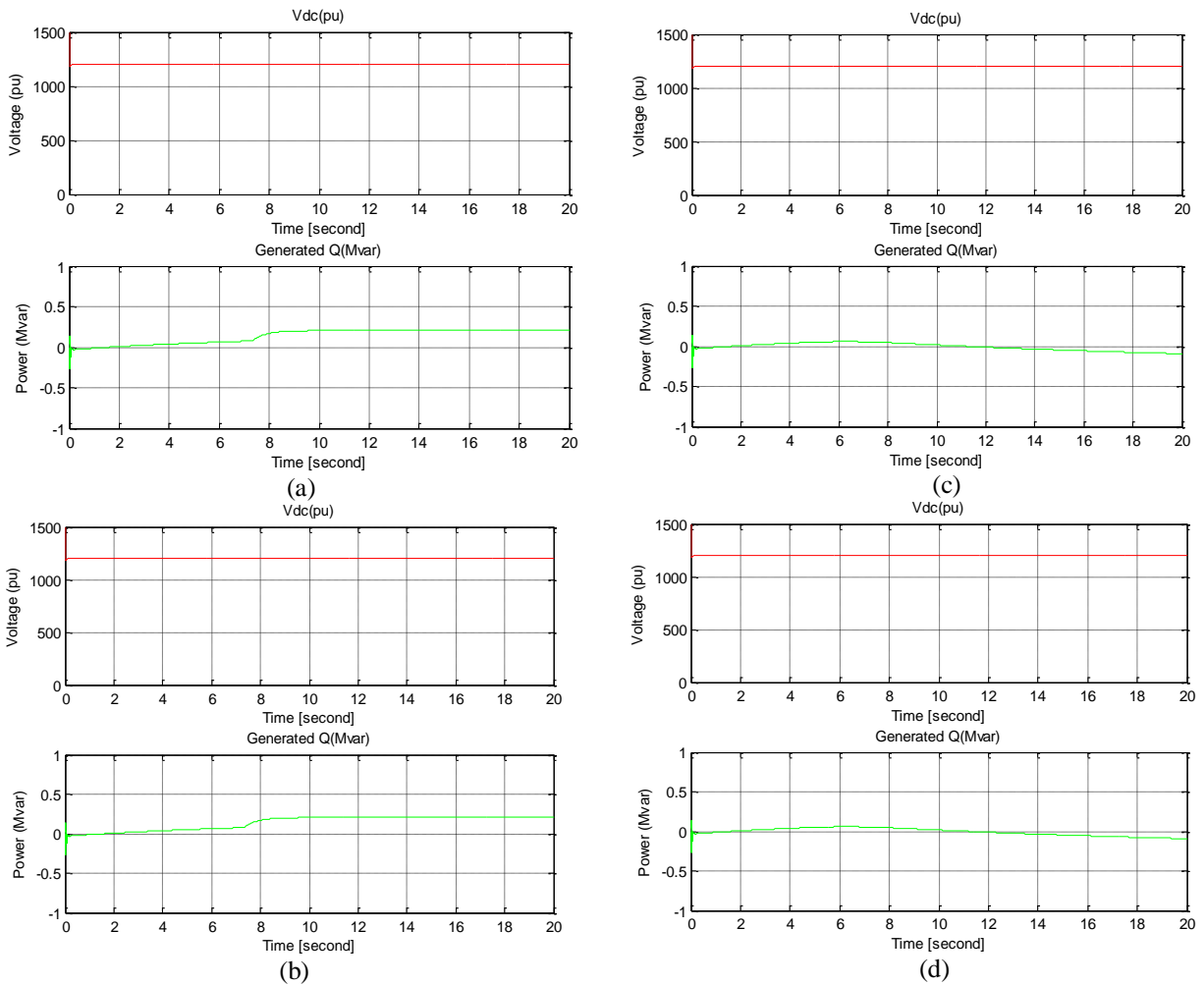


Figure 9. 9 MW wind farm MATLAB/Simulink model of DFIG [6] (9MW DFIG rüzgar çiftliği MATLAB/Simulink modeli)



Bu makaleye atıf yapmak için: M.E. Şahin, “Comparison of IG and DFIG for Wind Power Generation Systems,” *Gazi Journal of Engineering Sciences*, vol. 6, no. 3, pp. 230-241, December, 2020, doi: <https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.03.06>.

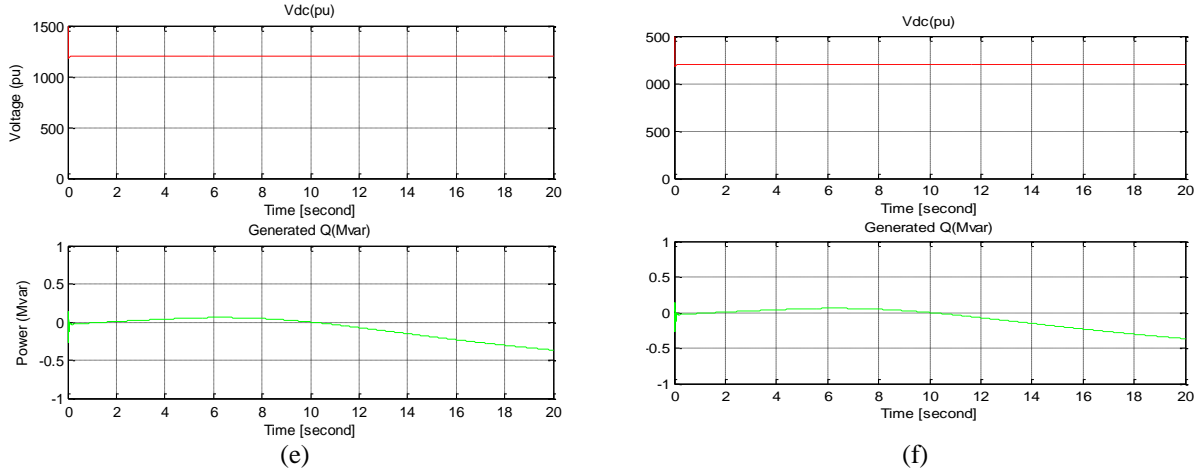
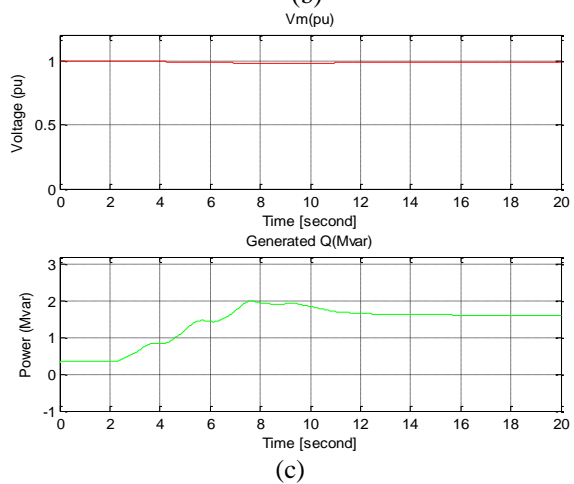
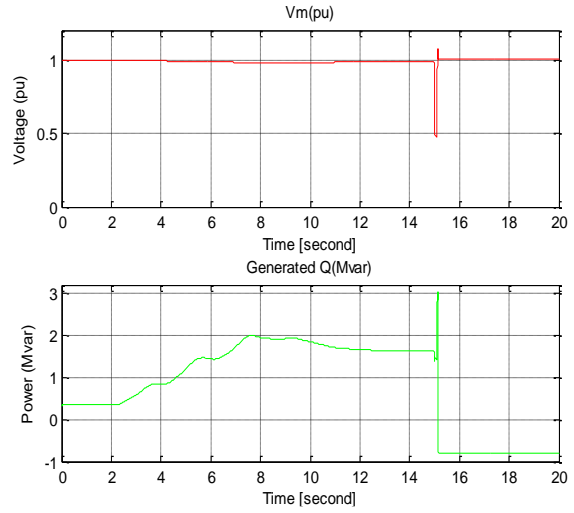
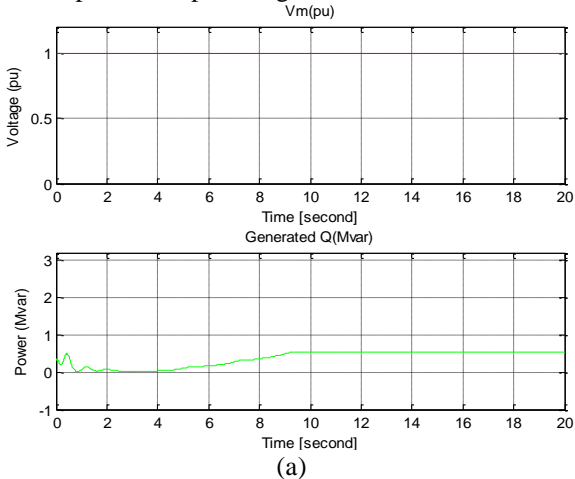


Figure 10. Simulation results for 6 m/s wind speed; a) Pitch angle 0°, b) Pitch angle 45°, for 9 m/s wind speed c) Pitch angle 0°, d) Pitch angle 45°, for 12 m/s wind speed e) Pitch angle 0°, f) Pitch angle 45° (Simulasyon sonuçları; 6 m/s rüzgar hızı için, a) Kanat açısı 0°, b) Kanat açısı 45°; 9 m/s rüzgar hızı için, c) Kanat açısı 0°, d) Kanat açısı 45°; 12 m/s rüzgar hızı için, e) Kanat açısı 0°. f) Kanat açısı 45°)

The simulation results show that for low wind speeds applications depends on the pitch angle, not a lot of deformations are acquired on the generated voltage generated reactive power. Also, above the critical speed values, the generated voltage and reactive power do not change depending on the pitch angle. It can be said that the pitch angle in the variable speeds tries to stabilize the wind speed and works more truly than IG in every condition. So the DFIG is a better solution for variable wind speeds under the nominal wind speeds.

**3.3. IG Used Wind Farm Simulation Results under Various Fault Conditions (Rüzgar çiftliğinde kullanılan IG için farklı hata koşullarında simulasyon sonuçları)**

Simulation results under short-circuit fault conditions between any phase and the ground for the induction generator and wind turbine system as a function of STATCOM are given in Figure 11. Different faults for different phases are tried, and the results are shown. The results are obtained for 9m/s wind speed ad 0° pitch angle.



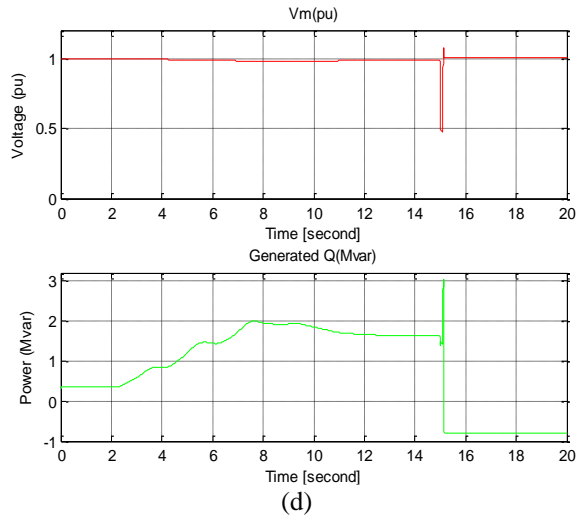


Figure 11. Measured voltage (up), generated reactive power (down) under short circuit fault results between any phase and the ground, a) fault in phase A and B, b) fault in phase B, c) fault in phase C, d) fault in A, B, C phase. (Ölçülen gerilim (üstte) üretilen reaktif güç (altta) herhangi bir faz ile toprak arasında kısa devre hata koşulları altında, a) A ve B fazları arasında hata, b) B fazında hata, c) C fazında hata, d) A, B, C fazlarında hata)

The simulation results show that if the short circuit fault occurred in two-phase voltage drops, reactive power catches up with the previous results before the error. If the fault occurs in one phase to ground, the voltage drops a little, and the reactive power increases small previous results before the error, but the short circuit fault is not shown on STATCOM directly. If the fault occurs in three phases, the short circuit fault is shown on STATCOM temporarily, and the voltage value catches the previous voltage. Also, the reactive power drops the negative values.

### 3.4. DFIG Used Wind Farm Simulation Results under Various Fault Conditions (Rüzgar çiftliğinde kullanılan DFIG için farklı hata koşullarında simülasyon sonuçları)

Simulation results under short-circuit fault conditions between any phase and the ground for doubly-fed induction generator and wind turbine systems are given in Figure 12. Different faults for different phases are tried, and the results are shown for the wind turbine.

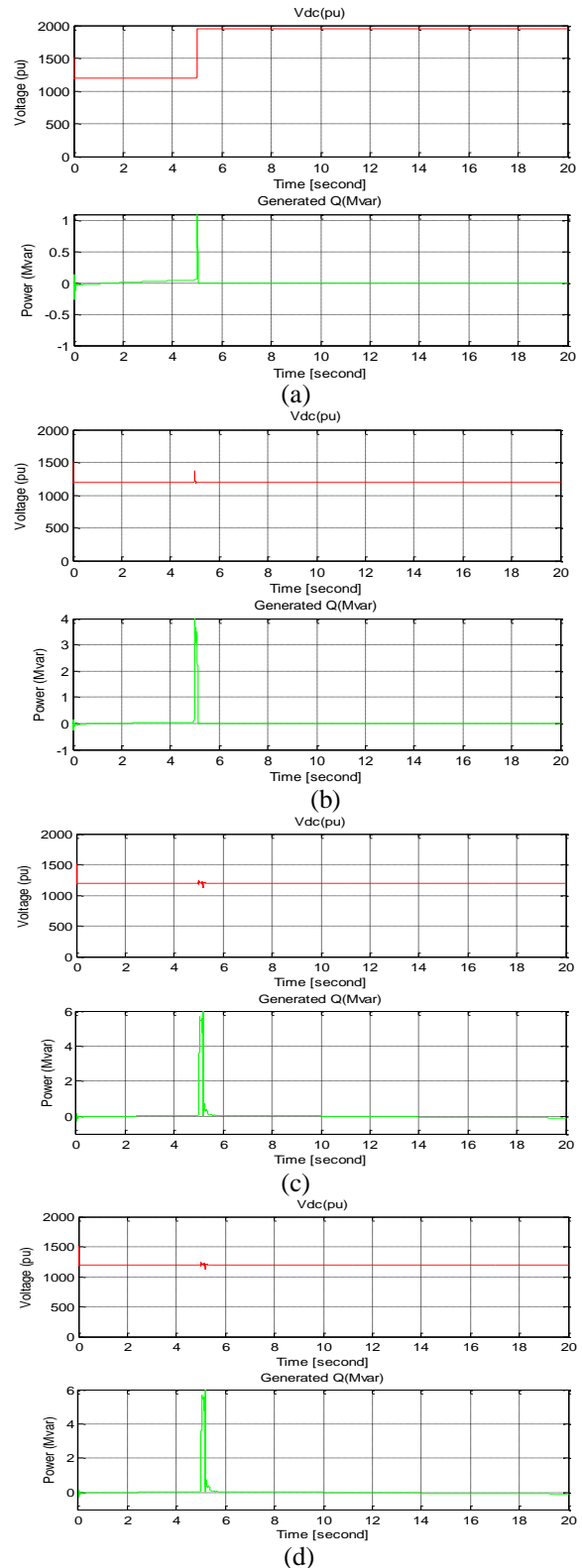


Figure 12. Short circuit fault results between any phase and the ground, a) fault in Phase A, B, C wind turbine b) fault in phase A, B wind turbine c) Fault in phase A wind turbine, d) Fault in phase C wind turbine (Herhangi bir faz ile toprak arasında kısa devre hatası sonuçları, a) Rüzgar türbinin A, B, C fazlarında hata, b) A, B fazlarında c) A fazında, d) C fazında hata)

The simulation results show that if the short circuit fault occurs in one, two, or three phases the simulation results are well because after the fault the simulation results catch up with the previous voltages, power, and speed in every condition. This shows that the DFIG supply better controls the IG in fault conditions. Also, it is better to protect the wind turbines against faults and forced conditions.

The summary of the simulation results is shown in Table 1 and 2. Comparison of IG and DFIG voltage and power variation for different wind speeds and pitch angle under normal conditions are shown in

Table 1. Comparison of IG and DFIG voltage and power variation for 9m/s wind speed and 0° pitch angle under fault conditions are shown in Table 2. The simulation results of DFIG show better results for normal and fault conditions. For DFIG, voltage is more stable, and reactive power has not been affected by the variation of wind speeds and pitch angle for high wind speeds. Although the fault conditions in phases affect the voltage stabilization and generated power for IG, the fault conditions in phases do not affect the voltage stabilization and generated power for DFIG.

Table 1. Comparison of IG and DFIG voltage and power variation for different wind speed and pitch angle under normal conditions (*Farklı rüzgar hızları ve kanat açıları için normal koşullar altında IG ve DFIG'ün gerilim ve güç değişimleri*)

Wind speed	Type	IG		DFIG	
	Pitch angle	Voltage	Power	Voltage	Power
6 m/s	0°	Effected	Effected	Stable	Effected
	45°	Effected	Effected	Stable	Effected
9 m/s	0°	Effected	Effected	Stable	Not effected
	45°	Stable	Not effect	Stable	Not effected
12 m/s	0°	Stable	Not effect	Stable	Not effected
	45°	Stable	Not effect	Stable	Not effected

Table 2. Comparison of IG and DFIG voltage and power variation for 9 m/s wind speed and 0° pitch angle under fault conditions (*9 m/s rüzgar hızı ve 0° kanat açısı için hata koşulları altında IG ve DFIG'ün gerilim ve güç değişimleri*)

Type	IG		DFIG	
Fault in phase	Voltage	Power	Voltage	Power
A, B	Stable	Not effected	Stable	Not effected
B	Effected	Effected	-	-
C	Not stable	Not effected	Stable	Not effected
A, B, C	Effected	Effected	Not stable	Not effected
A	-	-	Stable	Not effected

#### 4. CONCLUSION (SONUÇ ve ÖNERİLER)

In this paper, a description of IG and DFIG for wind power generation systems is given. The advantages and disadvantages of this type of generators are investigated in a comparable form. The simulation setup is described for IG and DFIG. The simulation results under normal operation situation for IG and DFIG are presented and discussed. Also, the simulation results under various fault conditions for the IG system are presented and discussed. The results of the DFIG system under fault conditions are presented and discussed. The DFIG simulation results are seen well than the IG system, especially in fault conditions. This result are compared in a comparison table. It can be said that using DFIG can be preferred in a wind energy conversion system due to its advantages. This simulation model can be implemented experimentally to test realization and reliability.

#### ACKNOWLEDGMENTS (BİLGİLENDİRME)

This study was expanded from a course study at Aalborg University during the postdoctoral research and presented firstly in an ICADET 2019 conference (Bayburt-Turkey). The author wishes to thank TÜBİTAK, 2219 postdoctoral research program with a 1059B191700997 application number.

#### CONFLICT OF INTEREST STATEMENT (ÇIKAR ÇATIŞMASI BİLDİRİMİ)

The authors reported no potential conflict of interest.

#### REFERENCES (KAYNAKLAR)

- [1] S. Müller, M. Diecke, R. W. De Doncker, "Doubly Fed Induction Generator Systems for Wind Turbines," *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 8, no. 3, pp. 27-33, 2002. doi: 10.1109/2943.999610



- [2] F. Zhang, S. Yu, H. Wang, Y. Wang, D. Wang, "Overview of research and development status of the brushless doubly-fed machine system," *Chinese Journal of Electrical Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 1-13, 2016. doi: 10.23919/CJEE.2016.7933122
- [3] Induction Generator, "Alternative Energy Tutorials". [Online]. Available: <http://www.alternative-energy-tutorials.com/wind-energy/induction-generator.html>, [Accessed: 1-March-2019].
- [4] V. Patel, A. Kashiv, K. Aslam, H. K. Verma, "Comparative Analysis between IG and DFIG for Wind Energy Conversion Systems using STATCOM," *International Journal of Energy and Power Engineering. Special Issue: Distributed Energy Generation and Smart Grid*, vol. 3, no. (6-2), pp. 21-26, 2014. doi: 10.11648/j.ijepe.s.2014030602.14
- [5] J. Niiranen, "About the active and reactive power measurements in unsymmetrical voltage dip ride-through testing," *Wind Energy*, vol.11, pp. 121–131, 2008. doi: <https://doi.org/10.1002/we.254>
- [6] P. C. Kjaer, R. Lærke, G. C. Tarnowski, "Ancillary services provided from wind power plant augmented with energy storage," 15th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE), pp. 1-7, 2013. doi: 10.1109/EPE.2013.6634654
- [7] Wind Turbine Doubly-Fed Induction Generator, "Technical Support". [Online]. Available: <https://www.mathworks.com>. [1 March 2019].
- [8] M. E. Şahin, A. M. Sharaf, H. İ. Okumuş, "A novel filter compensation scheme for single phase-self-excited induction generator micro wind generation system," *Scientific Research and Essays*, vol. 7, no. 34, pp. 3058-72, 2012. doi: <https://doi.org/10.5897/SRE11.708>
- [9] A. Garg, R. P. Singh, "Dynamic Performance Analysis of IG based Wind Farm with STATCOM and SVC in MATLAB/Simulink," *International Journal of Computer Applications*, vol.71, no. 23, 2013.
- [10] S. M. Bolik, "Modelling and Analysis of Variable Speed Wind Turbines with Induction Generator during Grid Fault," Ph.D. Dissertation, Aalborg Universitet, Institut for Energiteknik, 2004.
- [11] S. O. Madbouly, A. M. Sharaf, "A Novel Regulation Inter-Coupled Control Scheme for Doubly Fed Wind Induction System," *Turkish Journal of Electromechanics & Energy*, vol. 1, no. 2, pp. 8-16, 2016. doi: <https://sloi.org/urn:sl:tjoee126>
- [12] S. Courseware, "Principles of Doubly-Fed Induction Generators," Technical documents, Festo Didactic Ltee/Ltd, Canada, 2011.
- [13] R. Pena, J. C. Clare, G. M. Asher, "Doubly fed induction generator using back-to-back PWM converters and its application to variable-speed wind-energy generation," *IEEE Proc.-Electr. Power Appl.*, vol. 143, no. 3, pp. 231-241, 1996. doi: 10.1049/ip-epa:19960288
- [14] V. Akhmatov, "Variable-Speed Wind Turbines with Doubly-Fed Induction Generators, Part I: Modelling in Dynamic Simulation Tools," *Wind Engineering*, vol. 26, no. 2, pp. 85-108, 2002. doi: <https://doi.org/10.1260/030952402761699278>
- [15] N. W. Miller, J. J. Sanchez-Gasca, W. W. Price, R. W. Delmerico, "Dynamic Modeling of GE 1.5 and 3.6 MW Wind Turbine-Generators for Stability Simulations," *GE Power Systems Energy Consulting, IEEE WTG Modeling Panel*, Session, July 2003.
- [16] M. Leila, M. Mounira, O. Amel, S. Salah, "Modelling and control of wind turbine doubly-fed induction generator with MATLAB Simulink", *Global Journal of Computer Sciences: Theory and Research*, vol. 7, no. 2, pp. 77-91, 2017.
- [17] M. E. Şahin, "Comparison of IG and DFIG for Wind Power Generation Systems," *3rd International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET 2019)*, Bayburt, Turkey, 2019.
- [18] M. Abouheaf, W. Gueaieb, and A. Sharaf, "Model-free adaptive learning control scheme for wind turbines with doubly fed induction generators," *IET Renewable Power Generation*, vol. 12, no. 14, pp. 1675-1686, 2018. doi: 10.1049/iet-rpg.2018.5353

### Mustafa Ergin ŞAHİN

Mustafa Ergin Şahin was born in, 1978 in Trabzon, Turkey. He received his B.Sc. degree in Electrical & Electronics Engineering from Karadeniz Technical University (KTU), M.Sc. degree from Gazi University in Ankara, and a Ph.D. degree from KTU, Trabzon, Turkey, in 2002 and 2006, 2014, respectively. He was a Guest Researcher with the TUBITAK 2219 postdoctoral research program at the Department of Energy Technology, Aalborg University from September 2018 to September 2019. He is currently an assistant professor in the Electrical and Electronics Engineering Department at RTE University. He worked on different projects on low voltage power

systems and relay manufacturers for power systems. He is an active reviewer for scientific journals in the field. He is also a member of the Chamber of Electrical Engineers in Turkey. His main research interests are power electronics and the utilization of renewable energy. He is the author of two books in circuit analysis and measurement, electronics laboratory.

# AL 5083 Alüminyum Malzemeye Vida Açma İşleminde Kılavuz Geometrisi Etkisinin İncelenmesi

Hüseyin GÖKÇE\*<sup>a</sup> 

\* Çankırı Karatekin Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, 18100, ÇANKIRI, TÜRKİYE

## MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 19.11.2020  
Kabul: 20.12.2020

### Anahtar Kelimeler:

Alüminyum  
Vida açma  
Kılavuz geometrisi  
Vida geometrisi

### \* Sorumlu Yazar:

e-posta:  
huseyingokce@karate  
kin.edu.tr

## ÖZET

Bu çalışmada balistik özellikleri ve yüksek korozyon direnç ile karakterize edilen Al 5083 H116 malzemesine HSS kılavuz takımlarla vida açma işlemi uygulanmıştır. Oluşturulan vida dişleri ile teorik olarak hesaplanan standart vida dişlerine ait diş dibi ve diş üstü ölçüleri arasındaki farklar kesme hızı ve kılavuz geometrisi açılarından incelenmiştir. Deneyler 2, 4 ve 8 m/dk. kesme hızları ile kuru şartlarda yapılmıştır. Oluşturulan vidalar eksenleri doğrultusunda tel erezyon tezgâhında kesilmiş ve elde edilen kesitler optik mikroskop ile görüntülenmiştir. Bu görüntüler bilgisayar destekli tasarım programına aktarılarak gerekli ölçümler yapılmıştır. Ölçümler sonucunda Al 5083 H116 alüminyum alaşımına diş açılmasında helis açısına sahip kılavuzların kullanılması diş profillerinin nispeten daha düzgün çıkmasına ve standart değerlere en yakın sonuçlar elde edilmesine olanak sağladığı görülmüştür.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.03.07>

# Investigation of The Effect of The Tap Geometry on The Al 5083 Aluminium Material in Tapping

## ARTICLE INFO

Received: 19.11.2020  
Accepted: 20.12.2020

### Keywords:

Aluminium  
tapping  
tap geometry  
thread geometry

### \* Corresponding

#### Authors

e-mail:  
huseyingokce@karate  
kin.edu.tr

## ABSTRACT

In this study, threading process with HSS taps was applied to Al 5083 H116 aluminium alloy, which is characterized by its ballistic properties and high corrosion resistance. Differences between screw crest and root dimensions, of the standard screw with calculated theoretically screw with the threads was examined in terms of cutting speed and tap geometry. The experiments were carried out in dry conditions with cutting speeds of 2, 4 and 8 m/min. The screws formed were cut in the direction of their axes on the electrical discharge machine and the sections obtained were viewed with an optical microscope. These images were transferred to the computer-aided design program and necessary measurements were made. As a result of the measurements, it has been observed that the use of helix angle taps in tapping Al 5083 H116 aluminium alloy enables the screw profiles to appear relatively smooth and to obtain results closest to the standard values.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.03.07>

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Düşük yoğunluk ve mekanik özellikler sergileyen saf alüminyum, alaşım elementleri ilave edilmesi ve/veya ısıl işlem yöntemleri ile kimyasal ve mekanik özelliklerinde önemli artışlar göstermektedir. Düşük yoğunluğuna rağmen yüksek mekanik özellikler

sergileyen alüminyum alaşımları günümüzde havacılık, savunma ve tıp alanlarında bütünü en kritik parçalarının üretiminde yer almaktadır [1-3]. Alüminyuma % 4-5 arasında magnezyum ilavesi ile üretilen Al 5083 H116 alaşımının şekillendirilebilme kabiliyeti ve korozyona karşı dayanımı oldukça yüksektir [4].

Bu makaleye atıf yapmak için: H. Gökçe, "AL 5083 Alüminyum Malzemeye Vida Açma İşleminde Kılavuz Geometrisi Etkisinin İncelenmesi," *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 6, sayı 3, s. 242-247, Aralık, 2020, doi: <https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.03.07>.

Talaşlı imalat işlemlerinden olan kılavuzla vida açma diğer talaşlı imalat operasyonlarına kıyasla daha karmaşık bir işlemdir. Vida profillerinin ve yüzeylerinin arzulan toleranslar dâhilinde olması cıvata ve somun bağlantısının doğru ve istenilen kalitede olması için oldukça önem arz etmektedir [5-7]. Toplam işlenebilir zamanının yaklaşık %22'sini alan vida açma operasyonunda kılavuz geometrisinin ve kesme şartlarının doğru belirlenmesi verimlilik açısından da dikkate alınması gereken önemli unsurlardandır [8, 9].

Uzun ve Korkut, Ti6Al4V titanyum malzeme üzerine kriyojenik işlem görmüş ve görmemiş bir dizi kılavuz ile ıslak ve kuru şartlarda vida açma deneyleri yapmışlardır. Deneyler sonucunda kesme kuvveti ve torkunun kriyojenik işlem görmüş kılavuzlarda düşme eğilimine girdiğini belirtmişlerdir [5]. Nabant vd. AISI 1050 malzemesi ile kesme hızını sabit tutarak kılavuz giriş açılarındaki değişimlerin kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Özellikle radyal kuvvetlerin enerji tüketiminde önemli rol oynadıklarını ve ayrıca optimum giriş açısının 30° olduğunu ifade etmişlerdir [6]. Günay yaptığı çalışmada vida açma sürecinde oluşan kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüklerini incelemiştir. Bileşke kesme kuvvetlerinin radyal yüklerden önemli ölçüde etkilendiğini belirtmiştir. Oluşturduğu vida profilleri üzerinde gerçekleştirdiği mikro sertlik ölçümleri neticesinde diş üstünden diş dibine doğru sertlik değerinde artış olduğunu açıklamıştır [7]. Kayır, 5083 alüminyum alaşımı üzerine farklı matkap çapları ile delinmiş deliklere farklı kaplamalara sahip HSS kılavuzlar ile vida açma işlemi uygulamıştır. Matkap çaplarındaki değişimin kesme kuvvetlerini doğrudan etkilediğini ifade etmiştir [9]. Uzun ve Korkut, vida açma işleminde kılavuz kullanımının malzeme cinsi, kılavuz geometrisi, kılavuz çekme metodu, delik tipi ve ölçüleri gibi başlıca faktörlerden etkilendiğini belirtmişlerdir [10]. Gökçe ve Yavuz yaptıkları çalışmada işlenmesi zor olan molibden malzemeye değişen kesme hızlarında bir dizi kılavuz çekme deneyi yapmışlardır. Deney sonuçlarını oluşturdukları diş profillerine ait diş üstü ve diş dibi ölçüleri açılarından mukayese etmişlerdir. Nispeten düşük kesme hızlarında dişlerde kırılmalar ve diş profillerinin bozulduğunu gözlemlemişler, optimum kesme hızının 9 m/dk. olduğunu vurgulamışlardır [11]. Reiter vd. östenitik paslanmaz çeliklere açılmış kör deliklerde PVD TiCN kaplamalı kılavuzların etkilerini incelemişlerdir. Kaplamanın aşınma direncini önemli ölçüde artırdığını ve böylece takım ömrü üzerinde etkili olduğunu ifade etmişlerdir [12]. Jin vd. Ti15V3Cr3Mo3Al titanyum alaşımında CBN

kaplamalı kılavuzun etkilerini incelemişlerdir. CBN kaplamanın vida tamlığı, kesme torku ve takım ömrü üzerinde olumlu açıdan etkili olduğunu belirtmişlerdir [13].

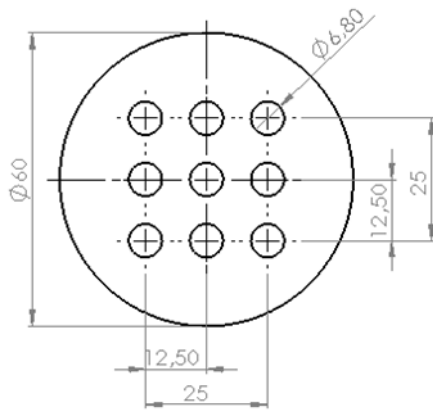
Literatür taraması neticesinde, özellikle yüksek mukavemetli bir alüminyum alaşımı olan Al5083 H114 alaşımı için diş profillerinin temel tanımlamalarından olan diş üstü (DÜ) ve diş dibi (DD) gibi ölçümlerin yeterli düzeyde incelenmediği görülmüştür. Bu amaçla çalışmada, 2 farklı değişken içeren (3 farklı kesme hızı ve 3 farklı HSS kılavuz geometrisi) tam faktöriyel deney tasarımı ile kesme sıvısı kullanılmaksızın kılavuzla vida açma deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları oluşturulan vida profillerine ait DÜ ve DD ölçümleri ile değerlendirilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Tablo 1'de bazı özellikleri verilen Ø60×18 mm ölçülerindeki Al 5083 H116 deney malzemesine M8×1,25 standart vida dişlerinin açılabilmesi için Ø6,8 matkap ile Şekil 1'de gösterilen koordinatlarda boydan boya delikler delinmiştir. Deney malzemesi, CNC dik işleme merkezi tablasına 4 ayaklı bir ayna ile bağlanmış ve parça sökülmezsizin delik delme ve kılavuz çekme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler tam faktöriyel deney tasarımına uygun olarak Tablo 2'de verilen kılavuz çekme parametreleri ve değerleriyle yapılmıştır. Kılavuz takımlar takım tutucuya 30 mm taşma uzunluğunda ve pens marifetiyle bağlanmışlardır. Kılavuzlara ait teknik özellikler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 1. Al 5083 H116 alaşımının bazı özellikleri [14] (*Some properties of Al 5083 H116 alloy*)

Özellik	Birim	Al 5083 H116
Yoğunluk (20°C)	g/cm <sup>3</sup>	2,66
Erime sıcaklığı	°C	590,6 - 638
Brinell sertlik değeri	HB	85
Akma gerilmesi	MPa	228
Çekme gerilmesi	Mpa	317
Elastikiyet modülü	GPa	71
Poisson oranı	-	0,33
Isı transfer katsayısı (20°C)	W/(mK)	117
Kimyasal bileşim	%	Al: 92,4-95,6 Mg: 4,0-4,9 Cr: 0,05-0,25



Şekil 1. Delik koordinatları (Hole coordinates)

Tablo 2. Kılavuz çekme parametreleri ve değerleri (Tapping parameters and values)

Parametre	Değer		
Kılavuz geometrisi (K)	1	2	3
Kesme hızı (m/dk.)	2	4	8

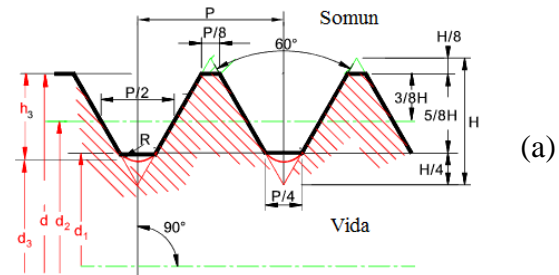
Tablo 3. HSS kılavuzların özellikleri (Properties of HSS taps)

Kılavuz kodu (K)	Kodu	Teknik özellikler	Resim
K:1	MTE B00105 720800	Düz kanallı makina kılavuzu	
K:2	MTE B00105 710800	Eğik ağız bilemeli makina kılavuzu	
K:3	MTE B00105 790137	Helis kanallı makina kılavuzu	

Vida açılan delikler eksenleri doğrultusunda GF CUT 300 SP tel erezyon tezgâhında kesilmiş, kesilen yüzeylerden stereo mikroskop ile fotoğraflar çekilerek görüntüler alınmıştır. Alınan görüntülerden AutoCAD yazılımı kullanılarak diş dibi ve diş üstü değerleri ölçülmüştür (Şekil 2).

18 mm kalınlığında deney malzemesine 1,25 mm adımlı yaklaşık 14 adet M8 vida diş profili oluşturulmuş ve ölçümler ortada bulunan 6 dişin ölçülmesi sonucu elde edilen değerlerin ortalamaları alınarak belirlenmiştir. Daha sonra, değeri kesin olarak bilinen (çalışmamızda adım ( $P=1,25$  mm) alınmıştır) uzunluk ile ölçülmek istenen uzunluk (diş üstü ve diş dibi) karşılaştırılmıştır. Standart M8×1,25 diş geometrisinde, adım ( $P$ ) 1,25 mm, diş dibi ( $P/8$ ) 0,15625 mm ve diş üstü ( $P/4$ ) 0,3125 mm olmalıdır. Çalışmada somun toleransı olarak 7H somun toleransı

temel alınarak hesaplamalara dâhil edilmiştir. Buna göre M8×1,25 için ortalama vida çapı (bögür çapı) minimum 7,188 mm, maksimum 7,388 mm aralığında, diş dibi değeri minimum 0,1565 mm ve maksimum 0,253 mm aralığında ve diş üstü değeri ise minimum 0,313 mm maksimum 0,506 mm aralığında olmalıdır (Tablo 4).



Şekil 2. a) Standart metrik vida ölçüleri ve b) AutoCAD ölçüm noktaları [11] ((a) Standard metric screw dimensions and b) AutoCAD measurement points)

Tablo 4. M8×1,25 7H somun toleransı için minimum ve maksimum DD ve DÜ değerleri (Min. and max. DD and OU values for nut tolerance M8 × 1.25 7H)

Teorik M8×1,25	Diş dibi		Diş üstü	
	Min.	Mak.	Min.	Mak.
7H M8×1,25	0,1565	0,253	0,313	0,506

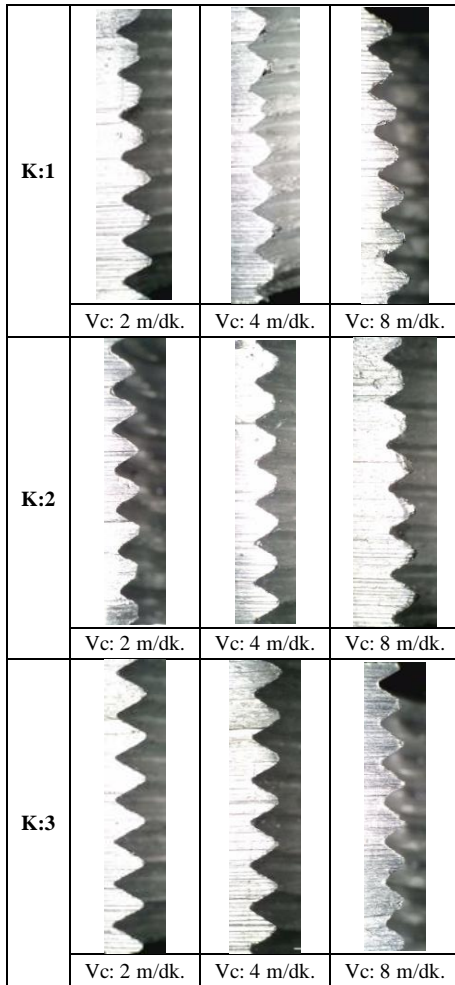
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Deneyler sonucunda oluşan dişlere ait DD, DÜ ve hesaplanan standart değerden farkları Tablo 5'te verilmiştir. Ayrıca Şekil 3'te diş profillerinin optik mikroskopla çekilen görüntüleri deney sırasına göre verilmiştir. DD ve DÜ için standart değerlere (DD: 0,15625 mm ve DÜ: 0,3125 mm) en yakın sonuç 3 numaralı kılavuz ile 2 m/dk. kesme hızında elde edilirken, 1 numaralı kılavuzla 8 m/dk. kesme hızında çekilen vidalarda DD ve DÜ standart değerlerinden nispeten uzaklaşmıştır.

Tablo 5. Deneyler sonucunda ölçülen DD, DÜ değerleri ve standart değerden farkları (DD, DU values measured as a result of the experiments and their differences from the standard value)

Deney no	Vc (m/dk.)	K	DD (mm)	Standart değerden farkı (mm)	DÜ (mm)	Standart değerden farkı (mm)
1	2	1	0,165	0,0085	0,347	0,0348
2	4		0,167	0,0105	0,359	0,0464
3	8		0,173**	0,0163**	0,377**	0,0645**
4	2	2	0,164	0,0082	0,341	0,0284
5	4		0,166	0,0102	0,351	0,0387
6	8		0,171	0,0143	0,358	0,0452
7	2	3	0,161*	0,0044*	0,323*	0,0103*
8	4		0,162	0,0061	0,325	0,0129
9	8		0,163	0,0068	0,331	0,0181

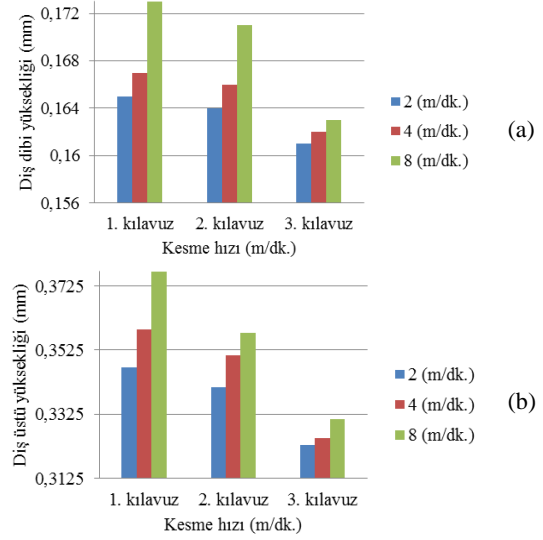
\* En düşük fark, \*\* En yüksek fark



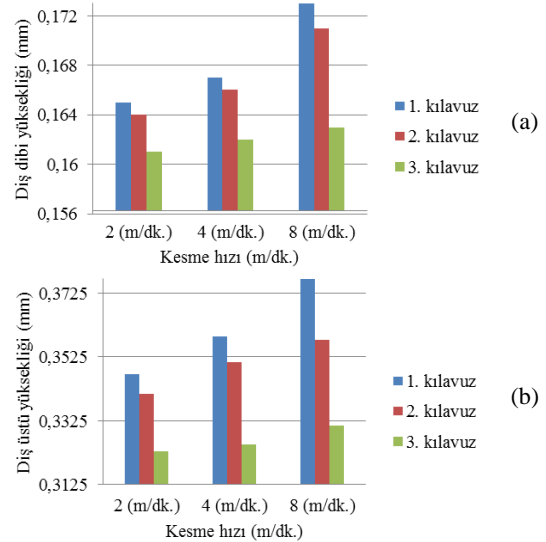
Şekil 3. Deney sonucunda oluşan vida dişi profilleri (Thread profiles formed as a result of the experiment)

Şekil 4 a ve b'de kesme hızına bağlı DD ve DÜ değerlerindeki değişimler, Şekil 5 a ve b'de ise kılavuz profiline bağlı DD ve DÜ değerlerindeki değişimler grafikler yardımıyla gösterilmiştir. Şekil 4

incelendiğinde 3 numaralı helis açılı kılavuz ile standartlara en yakın diş profillerinin elde edilebileceği söylenebilir. Ayrıca kesme hızının artan değerleri diş profillerini standart ölçülerden (DD: 0,15625 mm ve DÜ: 0,3125 mm) uzaklaştırdığı görülmektedir. 3 numaralı helis açılı kılavuz ile en düşük kesme hızı olan 2 m/dk.'da standart diş profilleri için en yakın değerlere ulaşılmıştır.



Şekil 4. Kesme hızına bağlı DD ve DÜ değerlerindeki değişimler a)DD ve b)DÜ (Changes in DD and DÜ values depending on the cutting speed a) DD and b) DÜ)



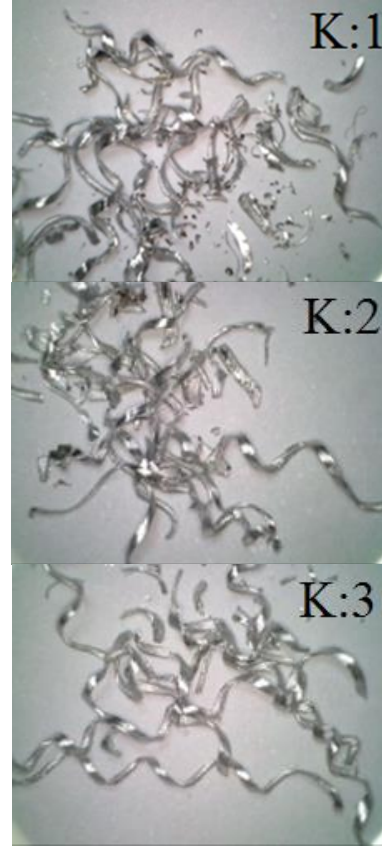
Şekil 5. Kılavuz profiline bağlı DD ve DÜ değerlerindeki değişimler a)DD ve b)DÜ (Changes in DD and DÜ values depending on the taps geometries a) DD and b) DÜ)

Şekil 6'da deliklere kılavuzla vida açılması sonucu kılavuzların delik çıkışlarında (vida sonunda)

kılavuzdan kaynaklanan çapak oluşumlarının görüntüleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde helis kılavuzla vida sonlarında çapak oluşumunun diğer kılavuzlara nazaran azaldığı görülmektedir. Ayrıca çapak oluşumu üzerinde kesme hızı da etkilidir. Kesme hızının düşük değerlerinde nispeten çapak oluşumu azalma eğilimine girmiştir. Şekil 7’de 3 farklı kılavuzla vida çekme sonucu oluşan talaşlar görüntülenmiştir. Şekilde düz kılavuzlarda talaş oluşumunun kısa ve nispeten küçük olduğu, helis kılavuzda ise talaşların spiral şeklinde ve nispeten uzun olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Vida açma sonucunda vida sonlarında oluşan çapaklar (*Burrs at the screw ends as a result of tapping*)



Şekil 7. Kılavuz geometrisine bağlı oluşan talaşlar (*Chips formed due to tap geometry*)

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Al5083 H114 alaşımının 3 farklı kesme hızı ve 3 farklı geometriye sahip kılavuzlarla vida çekme işlemi uygulanmıştır. Kesme sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilen deneylerde oluşan dişlere ait diş dibi ve diş üstü değerleri mukayese edilmiştir. Deneyler sonucunda aşağıdaki çıkarımlar elde edilmiştir.

- DD ve DÜ için standart değerlere en yakın sonuç 3 numaralı kılavuz ile 2 m/dk. kesme hızında elde edilmiştir.
- 1 numaralı kılavuzla 8 m/dk. kesme hızında çekilen vidalarda DD ve DÜ standart değerlerinden nispeten uzaklaşmıştır.
- Kesme hızının artan değerleri diş geometrisini olumsuz yönde etkilemiştir.
- Vida sonlarında çapak oluşumu helis kılavuzlarda nispeten azalmaktadır. Ayrıca helis kılavuzlarda talaşlar spiral şeklinde ve nispeten uzun olmaktadır.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Çankırı Karatekin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Birimi (MYO801202B32)

tarafından desteklenmiştir. Kuruma desteklerinden ötürü teşekkür ederiz.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI (CONFLICT OF INTEREST STATEMENT)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] K. Gülyüz and R. Kaçar, "Effect of Deformation Ageing in The Mechanical Properties of AA 7075 Aluminium Alloy," in *6th International Advanced Technologies Symposium, IATS11, Elazığ, Turkey, May 16-18 2011*, pp. 147-152.

[2] A. Çakır, O. Bahtiyar and U. Şeker, "Farklı soğutma şartları ile farklı kesme parametrelerinin AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımlarında delik delme işlemlerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi," in *16th International Conference on Machine Design and Production, İzmir, Turkey, June 30 - July 03 2014*, pp. 1396.

[3] Z. Demir, "A7075-T651 alüminyum alaşımının ve St37 çelik malzemesinin sürtünmeli delme yöntemi ile delinmesinin deneysel incelenmesi," Ph.D. dissertation, Fırat University Institute of Science and Technology, Elazığ, Turkey, 2012.

[4] N. Fridlyander, V. G. Sister, O. E. Grushko, V. V. Berstenev, L. M. Sheveleva and L. A. Ivanova, "Aluminum alloys: Promising materials in the automotive industry," *Metal Science and Heat Treatment, Translated from Metallovedeniyei Termicheskaya Obrabotka Metallov*, vol. 9, pp. 3-9, 2002.

[5] G. Uzun and İ. Korkut, "The effect of cryogenic treatment on tapping," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 67, pp. 857-864, 2013.

[6] M. Nalbant, M. Günay and Y. Yıldız, "Modelling of the effect of different infeed angles and cutting areas on the cutting forces in external threading," *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, vol. 32, pp. 153-161, 2008.

[7] M. Günay, "Investigation of the effects on screw thread of infeed angle during external threading," *Gazi University Journal of Science*, vol. 24:1, pp. 153-160, 2011.

[8] G. Uzun and İ. Korkut, "The experimental investigation of cutting forms in tapping of Ti6Al4V

alloys," in *International Iron & Steel Symposium, Karabük, Türkiye, Apr 02-04 2012*, pp. 870-876.

[9] Y. Kayır, "The effect of hole diameter on cutting forces for tapping on an AA5083 alloy," *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, vol. 25:4, pp. 671-679, 2010.

[10] G. Uzun ve İ. Korkut, "Kılavuz ile vida açma işlemine kesme yönteminin ve kesme parametrelerinin etkileri," *3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, Ankara, Türkiye, 2012*, pp. 4-5.

[11] H. Gökçe and M. Yavuz, "The effect of cutting speed in tapping process with commercial purity molybdenum material HSS tap," *Gazi Journal of Engineering Sciences (GJES)*, vol. 5:3, pp. 237-243, 2019.

[12] A. E. Reiter, B. Brunner, M. Ante and J. Rechberger, "Investigation of several PVD coatings for blind hole tapping in austenitic stainless steel," *Surface & Coatings Technology*, vol. 200, pp. 5532-5541, 2006.

[13] M. Jin, S. Watanabe, S. Miyake and M. Murakawa, "Trial fabrication and cutting performance of CBN coated taps," *Surface and Coatings Technology*, vol. 133-134, pp. 443-447, 2000.

[14] Material Property Data, [Online]. <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=1efe7441a72f4a22a53c0dc1bd9c87ec&ckck=1>. [Accessed: november 18, 2020].

#### Hüseyin GÖKÇE

Hüseyin GÖKÇE 1982 yılında Çankırı'da doğdu; ilk, orta ve lise öğrenimini Konya'da tamamladı. 2005 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü'nden mezun olmuş, 2007 yılında Selçuk Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde yüksek lisansını bitirmiş ve aynı yıl Ankara'da askerlik görevini tamamlamıştır. 2018 yılında Karabük Üniversitesi İmalat Mühendisliği alanında Doktora derecesi almıştır. Otomotiv yedek parça üretimi, dökümhane otomasyon sistemleri, CNC-CAD-CAM sistemleri konularında özel sektör tecrübesi olan Gökçe, 2009 yılında Çankırı Karatekin Üniversitesi'nde göreve başlamış ve halen aynı kurumda Makine Mühendisliği bölümünde Dr. Öğr. Üyesi olarak görevine devam etmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.



## Karadeniz Yağışlarının Kuzey Atlantik Salınımı ile İlişkisi

Cavit Berkay YILMAZ<sup>a,\*</sup>, Vahdettin DEMİR<sup>b</sup>, Mehmet Faik SEVİMLİ<sup>c</sup>

<sup>a,\*</sup> Karatay Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 42020, KONYA, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Karatay Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 42020, KONYA, TÜRKİYE

<sup>c</sup> Karatay Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 42020, KONYA, TÜRKİYE

### MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 20.07.2020  
Kabul: 15.12.2020

**Anahtar Kelimeler:**  
Homojenlik Testi,  
Trend Analizi,  
Karadeniz Bölgesi,  
Kuzey Atlantik  
Salınımı.

**\*Sorumlu Yazar:**

e-posta:  
cavitberkayyilmaz@g  
mail.com

### ÖZ

Kuzey Atlantik Okyanusu üzerinde meydana gelen KAS (Kuzey Atlantik Salınımı), okyanus yüzeyinde oluşan sıcaklık farklarının okyanus akıntılarıyla taşınarak ulaştığı bölgede hidrolojik parametrelere (sıcaklık ve yağış gibi) etki etmektedir. Oluşan bu etkiler ve son yıllarda su kaynaklarına olan talebin giderek artması doğadaki sınırlı su kaynaklarının ihtiyaçlara cevap verecek en uygun şekilde kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Su kaynaklarının değişiminin incelenmesi amacıyla homojenlik ve trend analizleri yapılmaktadır. Bu çalışmada, National Weather Service Climate Prediction Center tarafından yayımlanan standartlaştırılmış KAS verileri ve Karadeniz Bölgesi'nde yer alan 18 istasyona ait 12 aylık toplam yağış verileri kullanılmıştır (1961-2015 yılları arası). Homojenlik yöntemlerinden Spearman Rho ve trend analizlerinden otokorelasyonu dikkate alan Modifiye Mann-Kendall testi değişimleri tespit etmek için kullanılmıştır. Çalışmada analizler güven aralığının %95'lik kısmında incelenmiştir. KAS ve Karadeniz Bölgesi yağışlarının arasındaki ilişkiyi belirlemek için SRho korelasyon testi kullanılmıştır. Çalışma sonuçları incelendiğinde Kuzey Atlantik Salınımı'na ait veriler ile Karadeniz Bölgesi'nde yer alan 18 istasyona ait yağış verileri arasında trend yönünden negatif yönde zayıf bir ilişki tespit edilmiştir.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.03.08>

## Relationship of Black Sea Precipitation with North Atlantic Oscillation

### ARTICLE INFO

Received: 20.07.2020  
Accepted: 15.12.2020

**Keywords:**  
Homogeneity Test,  
Trend Test, Black Sea  
Region, North Atlantic  
Oscillation.

**\*Corresponding**

**Authors**  
e-mail:  
cavitberkayyilmaz@g  
mail.com

### ABSTRACT

North Atlantic Oscillation (NAO) occurring on the North Atlantic Ocean affects hydrologic parameters such as temperature and precipitation in the region where temperature differences occurring on the ocean surface are transported by ocean currents. These effects and the increasing demand for water resources in recent years have made it necessary to use the limited water resources in nature in the most appropriate way to meet the needs. In order to examine the change of water resources, homogeneity and trend analyzes are carried out. In this study, Spearman Rho test and Modified Mann-Kendall test, which takes into account autocorrelation, were applied for standardized NAO data published by the National Weather Service Climate Prediction Center and 12-month precipitation data (between 1961-2015) of 18 stations in the Black Sea region. The study was examined in 95% of the confidence interval. The SRho correlation test was applied to determine the relationship between NAO index and Black Sea Region precipitation. When the study results are analyzed, a weak negative trend was detected between the data of North Atlantic Oscillation and the precipitation data of 18 stations analyzed in the Black Sea Region.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.03.08>

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sıcaklık, yağış ve KAS'a ait parametrelerdeki zamana bağlı değişiklikler kuraklık, taşkın vb. etkilerle bölgedeki tarım ve hayvancılık gibi alanlarda üretimdeki verimi etkileyerek tarıma yönelik alanların kullanılamaz hale gelmesine ayrıca sınırlı su kaynaklarının tükenmesine sebep olarak hem ekonomik, hem de bölgedeki biyolojik çeşitlilikte büyük kayıplara yol açmaktadır.

İklimler mekâna ve zamana göre değişebilen yapılarıyla sürekli olarak değişkenlik gösterir. Dünyanın büyük bir kısmında kısa ve uzun dönemler içerisinde çeşitli iklimsel değişimler meydana gelmiştir. Uzun dönem iklim değişikliği, herhangi bir iklim değişikliğinin uzun yıllar ortalamasında oluşan belirgin değişimi gösterirken, kısa dönem iklim değişikliği ise herhangi bir iklim değişkenine ait yıllık değerlerin uzun yıllar ortalamasından farkını ifade eder [1].

Ekolojik dengede meydana gelen bir değişiklik zaman içerisinde tüm ekosistemi etkileyebilmektedir. Küresel boyutta ortalama hava sıcaklığındaki artışlar, kutuplar ve karadaki kar ve buzların erimesi, deniz seviyelerinin yükselmesi sonucunda taşkın, kuraklık ve yağışların görülme sıklığı ve şiddetlerindeki yükseliş, bu işaretlerden en önemlisidir [2].

[3], yapmış olduğu çalışmada, Türkiye'de yıllık yağış değişkenliğinin güneyden kuzeye doğru düzenli bir şekilde azaldığı sonucuna ulaşmış ve yaz aylarında Türkiye'nin önemli tropikal kaynaklı hava akımlarının etkisine girmesiyle başta güney ve güneydoğu bölgelerinde olmak üzere, ülkenin büyük bölümünde meydana gelen yağışların büyük sapmalara yol açtığı sonucuna varmıştır, fakat Karadeniz Bölgesi'nin kuzeyinde kuzeyli hava akımlarının oluşturduğu yağışlarında bölgedeki yağış değişkenliğini düşürdüğü sonucuna ulaşmıştır.

Kuzey Atlantik Salınımı atmosferde meydana gelen geniş bir etki alanı olan bir doğa olayıdır. KAS Kuzey Yarımküre'de atmosferin temel etkilerinden birisi olup, özellikle mevsimsel olarak kış mevsiminde Kuzey Yarımküre üzerinde etkisi kuvvetli bir şekilde görülebilmektedir. Kuzey Atlantik Salınımı ülkemizin iklim koşulları üzerinde önemli rol oynamaktadır [4].

KAS, kuzey yarım kürede yıllar arası atmosferik koşullar üzerinde en etkili doğa olaylarından birisidir. Türkiye bulunduğu coğrafi konum itibari ile denizel

subpolar ve subtropikal etkilerin mevsimlik farklarından kaynaklanan sıcak ve kurak yaz mevsimleri ve serin ve nemli kış mevsimleri ile tanımlanan Akdeniz iklim kuşağındadır [5].

Demircan vd. (2018) ortalama sıcaklık farkları ile KAS'ın pozitif fazı ile Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarındaki güçlü ilişki olduğu ve KAS'ın negatif fazı ve ortalama sıcaklık farkları arasındaki ilişkinin KAS'ın pozitif fazına göre çok daha güçlü olduğu ortaya çıkmıştır. İlişkinin görülmediği dönemlerde ise nedenin atmosferik engelleme olduğu düşünülmektedir [6]. Vespremeanu-stroe ve Tătu (2005), Kuzey Atlantik Salınımı Romanya'nın Karadeniz sahillerindeki fırtına karakteristikleri arasında güçlü bir ilişki tespit edilmiştir [7].

Su, yeryüzünde yaşamını sürdüren tüm canlılar için doğal kaynakların ilk sırasında yer almaktadır. Su kaynaklarının yeryüzünde sınırlı olmasına karşın nüfus artışı nedeniyle günümüzde suya olan talep ve suyun kullanım alanları her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle, suyun geçmişteki davranışını inceleyip, gelecekteki davranışını tahmin etmek su ihtiyacını karşılayabilmek için büyük bir önem taşımaktadır. [8], su miktarının zamanla değişiminin bilinmesi, suyun etkili kullanılmasını mümkün kılmaktadır.

Bu çalışmada, KAS'a ait veriler ile Karadeniz Bölgesi'nde bulunan 18 adet MGM istasyonuna ait yağış verileri Spearman Rho ve Modifiye Mann-Kendall yöntemleri uygulanarak aralarındaki ilişki incelenmiştir.

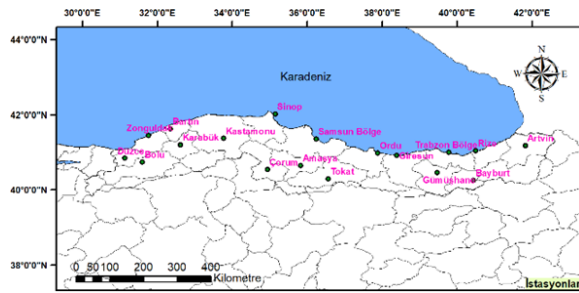
## 2. MATERYAL METOT (MATERIAL METHOD)

Bu çalışmada Karadeniz Bölgesi'nde yer alan ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'ye ait olan 18 istasyonun aylık yağış verileri ve National Weather Service'ye ait Kuzey Atlantik Salınım verileri kullanılmıştır [9]. Yağış ve salınım verilerinin eğilim durumları; Spearman Rho ve Modifiye Mann-Kendall yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca 1961-2015 yılları arasında KAS'ın yağışlarla olan ilişkisi Spearman Rho Korelasyon testi ile incelenmiştir (Denklem 1).

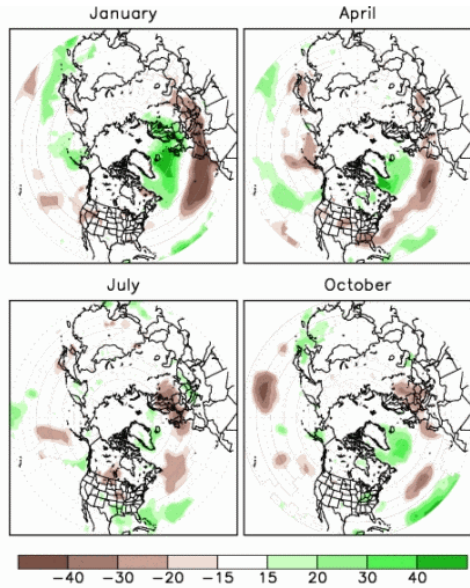
### 2.1. Çalışma alanı (Study Area)

Karadeniz Bölgesi Türkiye'nin en çok yağış alan bölgesi olması nedeniyle bölgedeki yağışlar insan hayatını önemli ölçüde etkilemektedir. Karadeniz Bölgesi bitki örtüsü ormanlardan oluşmaktadır [10]. Coğrafi yapısı çok engebeli olan bu bölgede Yeşilirmak, Kızılırmak, Çoruh Nehri, Kelkit Çayı,

Bartın Çayı, Hurşit Çayı gibi birçok akarsu vb. bulunmaktadır. Taşkın gibi doğal olaylar nedeniyle bölgede yaşayanlar büyük tehlike altındadır [11]. Bölgeye ait periyodu 1961-2015 yılları arası 54 yılı kapsayan verilerde en büyük yağış miktarı 521.60 mm ile Giresun'da ve en düşük yağış miktarı 0 mm ile Bartın, Zonguldak, Sinop, gibi birkaç istasyonda gözlenmiştir. Bölgedeki en yüksek rakım 1584 metre ile Bayburt ilindedir. İstasyonların Karadeniz Bölgesi'nde dağılımı ise Şekil 1'de yer almaktadır. Kuzey Atlantik Salınımının etki alanında kalan bölgelerdeki yağışlar yönünden korelasyonlarının değişimi ise Şekil 2'de yer almaktadır.



Şekil 1. MGM istasyon konumları (MGM station locations)



Şekil 2. Kuzey Atlantik Salınımı ile yağış oluşumları arasındaki korelasyon [12] (Correlation between North Atlantic Oscillation and precipitation formations)

## 2.2. Yöntem (Method)

### 2.2.1. Spearan Rho (SRho) testi (Spearman Rho test)

Parametrik olmayan bu testte trend varlığının araştırılmasında iki gözlem serisi arasında korelasyon olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılır [2]. Korelasyon değerine ait denklem denklem 1'de gösterilmiştir. Eğilim hesap değeri (Z) ise denklem 2 ile hesaplanarak güven aralığının %95'lik kısmına karşılık gelen  $\alpha$  anlamlılık değerinde belirlenen  $Z_{cr}$  ile karşılaştırılır.

$$r_s = 1 - \frac{6[\sum_{i=1}^n (R(x_i) - i)^2]}{(n^3 - n)} \quad (1)$$

$$Z = r_s \sqrt{n - 1} \quad (2)$$

Burada,  $r_s$ : Spearman korelasyon katsayısını ve  $n$ : veri sayısını göstermektedir. Eğer eğilim hesap değeri Z değeri mutlak değerce  $Z_{cr}$  değerinden büyük ise ( $|Z| \geq |Z_{cr}|$ ) anlamlı trend vardır denir, aksi durumda anlamlı trend yoktur.

### 2.2.2. Modifiye Mann-Kendall (MMK) testi (Modified Mann-Kendall test)

1998 yılında Hamed ve Rao tarafından Mann-Kendall testinin zamana bağlı serinin otokorelasyon etkisi kullanılarak düzenlenmesi ile elde edilmiştir [13].

$$sgn(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Bu yöntem yardımıyla Modifiye Mann-Kendall istatistik değeri S denklem 3 yardımıyla denklem 4'de verilmiştir.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n sgn(x_j - x_k) \quad (4)$$

$$r_j = \frac{\frac{1}{N-i} \sum_{k=1}^{N-i} (x_i - \bar{x})(x_{k+i} - \bar{x})}{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_k - \bar{x})^2} \quad (5)$$

$$\frac{N^*}{N} = \left[ 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{j=1}^{n-1} (n-j)(n-j-2)r_j \right] \quad (6)$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \times \left[ \frac{N^*}{N} \right] \quad (7)$$

Denklem 6 ile hesaplanan  $N^*/N$  değerine ait formülde kullanılan  $r_j$  otokorelasyon değeri denklem 5 yardımıyla hesaplanarak kullanılır. Kullanılan

formüllerde  $n$  veri sayısını ve  $j$  otokorelasyon değerinin bulunduğu zaman aralığını temsil eder.

Daha sonra  $Z$  değeri hesaplanarak mutlak değerce  $Z_{cr}$  değeri ile karşılaştırılarak ( $|Z| \geq |Z_{cr}|$ ) istatistiksel olarak anlamlı eğilim olup olmadığı kontrol edilir [14, 15].

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{Var(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{Var(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

### 3. BULGULAR (RESULTS)

Bu çalışmada Karadeniz Bölgesi'nde yer alan 18 istasyona ait 12 aylık toplam yağış verileri ile salınım değerlerinin trend ve homojenlik durumları incelenmiştir. %95 güven aralığı için kritik değerler ( $\pm 1.96$ ) ile karşılaştırıldıktan sonra elde edilen homojenlik ve trend durumları her bir test için Tablo 1-2'de verilmiştir.

Test değerlerinin kritik değerlerini aşması durumunda değerler kalın harflerle (kalın veya altı çizgili olarak) işaretlenmiştir. Trend analizinde hesap değerinin işaretine göre; pozitifse, artan yönde eğilim, negatifse azalan yönde eğilimin vardır.

Tablo 1. Spearman Rho Testi “Z” Değerleri (Spearman Rho Test “Z” Values)

SRho (Z)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
<b>KAS</b>	<u>0.34</u>	<u>0.32</u>	0.24	0.22	-0.12	<b>-0.4</b>	-0.19	-0.18	-0.12	<b>-0.38</b>	<u>0.31</u>	0.25
Bartın/17020	-0.06	-0.07	0.06	-0.11	-0.11	0.14	-0.02	-0.12	0.22	0.28	-0.08	-0.24
Zonguldak/17022	-0.01	-0.01	0	-0.14	-0.07	0.22	-0.08	-0.12	0.17	0.17	-0.05	-0.19
Sinop/17026	-0.07	0.08	<u>0.33</u>	-0.02	-0.17	0.18	0.18	-0.09	0.01	<u>0.29</u>	0.08	0.09
Samsun/17030	0.04	0.02	0.11	-0.11	-0.08	0.13	0.2	0.09	-0.06	0.04	0.08	-0.07
Ordu/17033	0.04	0.07	0.19	0.09	0.16	0.11	-0.13	-0.07	0.1	0.21	0.15	-0.2
Giresun/17034	-0.03	0.08	0.07	-0.05	0.12	0.15	0.02	-0.05	0.11	0.24	0.16	-0.1
Trabzon/17037	0.13	0.23	0.17	0.23	0.03	0.03	-0.03	0.13	0.08	<u>0.29</u>	0.13	0.02
Rize/17040	-0.11	0.06	0.07	-0.1	-0.12	0.2	0.18	0.03	0.25	0.23	0.03	0.02
Artvin/17045	0.1	0.04	0.19	-0.07	0.06	0.01	0.25	0.2	-0.04	0.22	0.05	-0.11
Bolu/17070	-0.1	0.11	0.13	0.05	-0.12	0.11	0.01	-0.12	-0.1	0.21	-0.19	-0.09
Düzce/17072	-0.1	0.02	-0.05	0.02	-0.2	0.2	-0.11	-0.23	-0.08	0.15	-0.21	-0.28
Kastamonu/17074	-0.01	-0.07	0.15	-0.05	0.11	0.12	0.19	0.1	0.12	0.12	0.09	-0.03
Karabük/17078	0.18	0.16	0.36	-0.16	<b>-0.48</b>	0.05	0.14	-0.03	<u>0.33</u>	<u>0.51</u>	0.04	0.25
Çorum/17084	-0.04	-0.14	0.05	-0.13	-0.06	0.11	-0.04	0.03	-0.04	0.06	0.16	-0.22
Amasya/17085	-0.03	0.04	0.16	-0.1	0.17	0.17	-0.08	0.06	0.16	0.21	0.12	-0.27
Tokat/17086	0.12	0.07	0.3	-0.15	-0.08	0.17	0.03	0.28	0.1	<u>0.35</u>	0.28	-0.22
Gümüşhane/17088	0.05	0.27	0.16	0.12	-0.07	-0.06	0.12	0.23	0.19	0.23	0.14	<b>-0.31</b>
Bayburt/17089	0.09	0.24	0.15	<u>0.33</u>	0.15	-0.18	0.27	0.24	0.04	<u>0.29</u>	-0.07	-0.13

Tablo 2. Modifiye Mann-Kendall Testi “Z” Değerleri (Modified Mann-Kendall Test “Z” Values)

MMK (Z)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
<b>KAS</b>	<u>2.32</u>	<u>2.24</u>	1.89	<u>2.12</u>	-0.72	<b>-2.50</b>	-1.51	-1.64	-0.69	<b>-3.18</b>	<u>2.32</u>	<u>2.06</u>
Bartın/17020	-0.36	-0.66	0.51	-0.77	-0.71	1.02	-0.20	-0.52	1.31	<u>2.03</u>	0.00	<b>-1.97</b>
Zonguldak/17022	-0.03	0.02	0.02	-1.08	-0.49	1.60	-0.39	-0.79	1.22	1.28	-0.31	-1.61
Sinop/17026	-0.66	0.52	<u>2.26</u>	-0.15	-1.18	1.39	<u>2.61</u>	-0.67	-0.07	<u>2.18</u>	0.62	0.00
Samsun/17030	0.47	0.13	0.74	-1.09	-0.48	0.88	1.45	0.51	-0.45	0.26	0.70	-0.54
Ordu/17033	0.26	0.36	<u>6.35</u>	0.74	1.30	0.76	-0.94	-0.22	0.68	1.43	1.14	0.00
Giresun/17034	-0.09	0.38	0.49	-0.51	0.72	1.13	0.11	-0.31	0.76	1.75	1.21	-0.69
Trabzon/17037	0.85	1.60	1.07	<u>2.16</u>	0.12	0.15	-0.24	0.85	0.53	<u>4.23</u>	0.98	0.04
Rize/17040	-0.80	0.26	0.56	-0.80	-0.86	1.36	1.21	0.22	<u>2.08</u>	1.72	0.16	0.21
Artvin/17045	0.77	0.26	1.30	-0.44	0.33	0.05	1.85	1.60	-0.38	1.60	0.45	-0.86
Bolu/17070	-0.74	0.71	0.72	0.46	-0.85	0.66	0.04	-0.78	-0.83	1.58	0.00	-0.69
Düzce/17072	-0.74	0.23	-0.48	0.10	-1.43	1.53	-0.68	-1.52	-0.55	1.11	<b>-2.21</b>	-1.83
Kastamonu/17074	-0.14	-0.51	0.93	-0.26	0.71	1.16	0.99	0.71	0.62	0.89	0.57	-0.23
Karabük/17078	1.31	0.93	2.95	-0.98	<b>-4.63</b>	0.86	1.30	-0.26	1.73	<u>3.62</u>	0.06	1.63
Çorum/17084	-0.15	-0.90	0.32	<b>-4.24</b>	-0.49	0.75	-0.29	0.15	-0.11	0.45	1.14	0.00

Amasya/17085	-0.39	0.00	1.10	-0.83	1.45	1.04	-0.44	0.17	0.96	<u>2.56</u>	0.79	<b>-2.65</b>
Tokat/17086	0.84	1.21	<u>3.70</u>	-0.92	-0.34	1.09	0.15	1.17	0.51	<u>2.29</u>	1.62	<b>-2.31</b>
Gümüşhane/17088	0.23	<u>2.51</u>	0.92	0.94	-0.25	-0.22	0.81	1.57	1.34	1.17	0.77	-1.87
Bayburt/17089	0.52	1.57	1.13	<u>3.23</u>	1.04	-1.61	1.73	1.66	0.12	1.87	-0.40	-1.45

Tablo 3. Spearman Rho Korelasyon Testi (Spearman Rho Correlation Test)

SRho (Z - KAS)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Bartın/17020	-0.10	-0.16	-0.14	-0.08	-0.04	0.22	-0.07	0.19	0.05	0.04	0.10	-0.14
Zonguldak/17022	-0.09	-0.09	-0.15	0.02	-0.05	-0.05	0.12	0.23	0.09	0.02	0.11	-0.17
Sinop/17026	-0.01	-0.07	-0.04	0.12	-0.03	0.06	0.10	0.13	0.24	0.05	0.14	-0.10
Samsun/17030	-0.09	-0.05	-0.29	0.00	0.03	-0.13	-0.03	0.21	0.25	0.01	0.02	-0.15
Ordu/17033	-0.05	0.05	-0.11	0.17	-0.15	0.09	0.16	-0.04	0.44	-0.02	0.27	0.13
Giresun/17034	-0.17	0.04	-0.17	0.20	-0.16	0.08	-0.01	0.27	0.45	-0.12	0.27	-0.07
Trabzon/17037	-0.04	0.24	-0.16	0.27	-0.07	0.06	0.25	-0.04	0.00	-0.20	0.26	0.05
Rize/17040	-0.06	0.01	-0.22	0.35	0.05	-0.18	0.14	-0.18	0.27	-0.04	0.25	-0.05
Artvin/17045	0.10	0.02	-0.11	0.38	0.09	0.12	-0.06	-0.14	-0.02	-0.04	0.35	0.18
Bolu/17070	-0.14	-0.17	-0.37	0.00	0.00	-0.01	0.04	0.13	0.18	0.08	-0.11	-0.15
Düzce/17072	-0.10	-0.18	-0.24	-0.05	-0.03	-0.08	0.07	0.09	0.18	0.07	0.08	-0.05
Kastamonu/17074	-0.24	-0.31	-0.33	-0.16	-0.17	0.04	0.09	0.09	0.14	-0.04	-0.02	-0.10
Karabük/17078	-0.02	0.15	-0.01	-0.11	-0.01	0.15	-0.11	0.05	-0.09	0.03	-0.10	-0.08
Çorum/17084	-0.10	-0.37	-0.12	-0.12	-0.15	-0.16	0.12	0.20	0.07	0.21	-0.15	-0.23
Amasya/17085	-0.16	-0.46	-0.36	-0.08	-0.11	-0.16	-0.03	-0.10	0.05	0.05	-0.26	-0.02
Tokat/17086	0.02	-0.22	-0.21	-0.05	-0.13	-0.13	-0.03	0.05	0.13	-0.01	-0.13	0.05
Gümüşhane/17088	-0.05	-0.16	-0.22	0.02	0.03	0.14	0.18	-0.27	-0.01	0.10	0.02	-0.18
Bayburt/17089	-0.13	-0.02	-0.46	0.28	-0.06	0.21	-0.05	-0.04	0.21	-0.05	0.20	-0.20

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ (DISCUSSION AND CONCLUSION)

KAS verileri ve istasyonlara ait veriler arasında Spearman Rho testine ait korelasyon denklemi (Denklem 1) uygulandığında elde edilen sonuçlar Tablo 3’de gösterilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde ise KAS ile MGM istasyonları arasında zayıf bir ilişki görülmüştür.

18 adet istasyona ait 12 aylık veriler için yapılan analiz neticesinde 216 adet sonuç incelenmiş ve bu incelenen sonuçlardan 120 tanesi negatif 96 tanesi pozitif olduğu görülmüştür. Elde edilen bu sonuç oransal olarak ifade edildiğinde ise %56 oranında negatif ve %44 oranında pozitif sonuç elde edildiği görülmüştür.

Sonuçlar değerice kontrol edildiğinde ise minimum değer Amasya istasyonunda Şubat ayı ve Bayburt istasyonunda Mart ayında -0.46 olarak tespit edilmiş ve maksimum değer ise Giresun istasyonunda Eylül ayında 0.45 olarak bulunmuştur.

Tablo 1 ve 2 incelendiğinde Spearman Rho ve Modifiye Mann-Kendall testine ait sonuçlar %28.57 oranında uyum göstermekte ve KAS ile istasyonlar arasında trend yönünden zayıf bir ilişki olduğu görülmüştür.

Türkeş ve Erlat (2003), yapmış oldukları çalışmada KAS indisi ile Türkiye yağışlarının yıllık

farkları arasında ters bir ilişki olduğunu ve KAS indisinin pozitif evresi Türkiye’de yağışların azalmasına yol açarken, negatif evresinde yağışların arttığını gözlemlemişlerdir [16]. Tayanc vd. (2009), gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarında kış mevsimi sıcaklıkları ve yağışlarında istatistiksel olarak anlamlı olmasa da azalış eğilimi olduğunu; bu azalış eğilimlerinin KAS indisinin pozitif devresiyle ilişkili olduğunu belirtmişlerdir [17].

Pozitif yönde elde edilen sonuçların genellikle Haziran ve Ekim ayları arasında yoğunlaştığı ve negatif yönde elde edilen sonuçların ise Aralık ve Mart ayları arasında yoğunlaştığı görülmüştür. Gözlemlenen bu durumun bahsedilen çalışmalarla uyumlu olduğu görülmektedir.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI BİLDİRİMİ (CONFLICT OF INTEREST STATEMENT)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] R.H. Gardner, W.G. Hargrove, M.G. Turner, W. H. Romme, “Climate Change, Disturbances and Landscape Dynamics,” Cambridge University Press. pp. 149–172, 1996.

[2] M. Büyükyıldız, "Sakarya Havzası Yağışlarının Trend Analizi ve Stokastik Modellenmesi," Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, TÜRKİYE, 2004.

[3] M. K. Ölgen, "Türkiye'de Yıllık Ve Mevsimsel Yağış Değişkenliğinin Alansal Dağılımı" *Ege Coğrafya Dergisi*, Vol. 19, pp. 85-95, 2010.

[4] T. Erdik, E. Kahya, "Doğu Karadeniz ve Çoruh Havzalarının Hidrolojik Verilerinde Kuzey Atlantik Salınımının Sinyallerinin Aranması," *researchgate.com*, 2008 [Online]. Erişim: <https://www.researchgate.net/publication/334730384> [Erişim Tarihi: 11.02.2020].

[5] M. Karakoç, "İzmir Ve Ankara'da Yağış Paterni İle Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) Arasındaki İlişki," *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*. Vol. 7, pp. 148-157, 2014.

[6] M. Demircan, H. Girkan, N. Türkoğlu, İ. Çiçek, "Türkiye Sıcaklıklarının Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) İndisi İle İlişkisi," *TUCAUM 30. Yıl Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, 2018, Ankara, TÜRKİYE*.

[7] A. Vespremeanu-stroe, F. Tătui "The Influence Of North Atlantic Oscillation On Romanian Black Sea Coast Wind Regime," *Analele Univ Buc Seria Geografie*, Vol. 54, pp. 17-25, 2005.

[8] B. Efe, E. Özgür, "Standart Yağış İndeksi (SPI) ve Normalin Yüzdesi Metodu (PNI) ile Konya Ve Çevresinin Kuraklık Analizi," *II. Uluslararası Katılımlı Kuraklık ve Çölleşme Sempozyumu, 2013 Konya, TÜRKİYE*.

[9] National Weather Service Climate Prediction Center, 2019 [Online]. Erişim: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii.table> [Erişim Tarihi: 11.02.2020].

[10] Anonim a. "Karadeniz iklimi nedir?" [Online]. Erişim: <http://karadeniz-iklimi.nedir.org/> [Erişim Tarihi: 11.02.2020].

[11] Anonim b. "Karadeniz Bölgesi'nin özellikleri nedir?" [Online]. Erişim: <https://www.ozelliklerinedir.com/karadeniz-bolgesinin-ozellikleri-nelerdir/> [Erişim Tarihi: 11.02.2020].

[12] National Weather Service Climate Prediction Center a, 2019 [Online].

Erişim: [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/nao\\_pm.ap.shtml](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/nao_pm.ap.shtml) [Erişim Tarihi: 11.02.2020].

[13] V. Gümüş, "Fırat Havzası Akımlarının Trend Analizi İle Değerlendirilmesi," *Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, 2006, İstanbul, TÜRKİYE*.

[14] V. Demir, A. Ü. Keskin, "Water level change of lakes and sinkholes in Central Turkey under anthropogenic effects," *Theoretical and Applied Climatology* Vol. 142, pp. 929-943, 2020. doi: <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03347-5>

[15] O. Yağbasan, V. Demir, H. Yazıcıgil, "Trend Analyses of Meteorological Variables and Lake Levels for Two Shallow Lakes in Central Turkey," *Water* 2020, Vol. 12, pp. 414, 2020. doi: <https://doi.org/10.3390/w12020414>

[16] M. Türkes, E. Erlat, "Türkiye'de Kuzey Atlantik Salınımı ile Bağlantılı Yağış Değişiklikleri ve Değişebilirliği," *III. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 2003, İstanbul, TÜRKİYE*.

[17] M. Tayanç, U. İm, M. Doğruel ve M. Karaca, "Climate Change in Turkey for The Last Half Century," *Climatic Change*, Vol. 94, pp. 483-502, 2009.

### Cavit Berkay YILMAZ

Cavit Berkay YILMAZ, 2018 yılında Uşak Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Betonarme Yapı Tasarım, Ulaştırma (Yol Tasarımı) ve Deprem Mühendisliği (Nonlinear Statik İtme) konuları üzerine hazırladığı mezuniyet tezleri ile lisans eğitimini tamamlamıştır. 2019 yılında KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başlamış ve halen devam etmektedir.

### Vahdettin DEMİR

Vahdettin DEMİR, 1992 yılında Gümüşhane'nin Kelkit ilçesinde dünyaya geldi. İlk, orta ve lise eğitimini Kelkit'de tamamladı. 2009 yılında girdiği Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden 2013 yılında birincilikle mezun oldu. Ayrıca 2010 yılında Jeodezi ve

Fotoğrametri Mühendisliği bölümünde Çift Anadal Programına katıldı ve 2013 yılında bölüm birinciliğiyle mezun oldu. 2013 yılında Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2015 yılında Yüksek Lisans programını tamamlayarak 2016 yılında Ondokuzmayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü, hidrolik anabilim dalında doktora eğitimine başladı. Taşkın modellemesi, yapay zeka, trend analizi ve uzaktan algılama alanlarında doktora çalışmalarına devam eden Demir evli ve bir çocuk sahibidir.

### **Mehmet Faik SEVİMLİ**

Mehmet Faik SEVİMLİ, 1965 yılında Isparta'da doğdu. 1987 yılında Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini tamamladı. 1988 yılında aynı bölümde yüksek lisans eğitimine başladı ve araştırma görevlisi oldu. 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde doktora eğitimini tamamladı. Selçuk Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde 2006 yılında Doç Dr., 2011 yılında Prof. Dr. ünvanlarını aldı. Şu anda KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde Prof. Dr. olarak görev almaktadır.

# Kumaraswamy Inverse Lindley Distribution with Stress-Strength Reliability

Saeed E. HEMEDA<sup>a</sup>, Sukanta PRAMANIK<sup>\*b</sup>, Sudhansu S. MAITI<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Obour High Institute for Management & Informatics, CAIRO, EGYPT

<sup>b,\*</sup> Department of Statistics, Siliguri College, North Bengal University, INDIA

<sup>c</sup> Department of Statistics, Visva-Bharati University, 731235, SANTINIKETAN, INDIA

## ARTICLE INFO

Received: 18.05.2020  
Accepted: 13.10.2020

### Keywords:

Kumaraswamy inverse  
Lindley; Maximum  
likelihood; Moments;  
Quantile function;  
Stress-Strength  
reliability; Simulation

### \*Corresponding

### Authors

e-mail:  
skantapramanik@gmail.com

## ABSTRACT

A new generalization of inverse Lindley distribution, called Kumaraswamy inverse Lindley is presented in this study. Some mathematical expressions are determined for the proposed distribution. Significant statistical measures are deduced including quantiles, generating functions, ordinary and incomplete moments, entropies, mean deviations, and order statistics. Some other properties like median, mean, variance, coefficient of variation, coefficients of skewness, and kurtosis are characterized. Moreover, stress-strength reliability is defined. A simulation study of the Kumaraswamy inverse distribution is introduced using maximum likelihood estimation and the performances of their estimates are compared through biases and mean square errors. The applicability and importance of the new distribution are illustrated through two real data sets.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.03.09>

# Kumaraswamy Gerilme-Dayanım Güvenilirliği ile Ters Lindley Dağılımı

## MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 18.05.2020  
Kabul: 13.10.2020

### Anahtar Kelimeler:

Kumaraswamy ters  
Lindley, Maksimum  
olasılık, Anlar; Nicelik  
işlevi, Stress-Strength  
güvenilirliği,  
Simülasyon

### \*Sorumlu yazar

e-posta:  
skantapramanik@gmail.com

## ÖZ

Bu çalışmada, Kumaraswamy ters Lindley adı verilen ters Lindley dağılımının yeni bir genellemesi sunulmuştur. Önerilen dağılım için bazı matematiksel ifadeler belirlenmiştir. Nicelikler, üreten fonksiyonlar, sıradan ve eksik anlar, entropiler, ortalama sapmalar ve sıra istatistikleri dahil olmak üzere önemli istatistiksel ölçümler çıkarılmıştır. Medyan, ortalama, varyans, varyasyon katsayısı, çarpıklık katsayıları ve basıklık gibi diğer bazı özellikler karakterize edilmiştir. Dahası, gerilme mukavemeti güvenilirliği tanımlanmıştır. Kumaraswamy ters dağılımının bir simülasyon çalışması, maksimum olasılık tahmini kullanılarak tanıtılmış ve tahminlerinin performansları, önyargılar ve ortalama kare hataları ile karşılaştırılmıştır. Yeni dağılımın uygulanabilirliği ve önemi iki gerçek veri seti ile gösterilmektedir.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.03.09>



**1. INTRODUCTION**

The inverse Lindley (IL) distribution is an important probability distribution in analyzing lifetime data with some monotone failure rates. It is used in enormous applications, particularly in survival analysis, engineering and agriculture. It is a popular model used in economics. Recently, an extension of inverse Lindley distribution with two parameters is introduced by Merovci and Sharma [1]. Three-parameter inverse Lindley distributions with the application are proposed by Alkarni [2]. Also, Sharma et al [3] has determined the properties of inverse Lindley distribution with stress strength reliability analysis. Another extension of inverse Lindley distribution, called extended inverse Lindley (EIL) is investigated by Sharma and Khandelwal [4].

The inverse Lindley (IL) distribution is proposed by the following probability density function (PDF) and cumulative distribution function (CDF), respectively

$$f(x; \theta) = \frac{\theta^2}{1+\theta} \left( \frac{1+x}{x^3} \right) e^{-\frac{\theta}{x}}; \quad x > 0, \theta > 0, \tag{1}$$

$$G(x; \theta) = \left( 1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x} \right) e^{-\frac{\theta}{x}}. \tag{2}$$

In our work, we have shown in detail a new generalization of inverse Lindley distribution using the Kumaraswamy generator. The Kumaraswamy (Ku) distribution with two parameters is proposed by Kumaraswamy [5] with PDF and CDF as follows  $g(x; \alpha, \beta) = \alpha\beta x^{\alpha-1} (1-x^\alpha)^{\beta-1}; x \in (0, 1), \alpha, \beta > 0$ .

$$G(x; \alpha, \beta) = 1 - (1 - x^\alpha)^\beta,$$

where  $\alpha > 0$  and  $\beta > 0$  are shape parameters. For any baseline cumulative distribution function  $G(x)$ , Nadarajah et al. [6] defined Kumaraswamy generating family of distributions as follows

$$f_{ku-G}(x) = \alpha\beta g(x) (G(x))^{\alpha-1} \left( 1 - (G(x))^\alpha \right)^{\beta-1}, \tag{3}$$

$$F_{ku-G}(x) = 1 - \left( 1 - (G(x))^\alpha \right)^\beta. \tag{4}$$

Cordeiro et al. [4] studied Kumaraswamy Weibull distribution, Paranaiba et al. [7] discussed Kumaraswamy Burr distribution, and Gomes et al. [8] presented Kumaraswamy generalized Rayleigh distribution. Recently, Corderio et al. [9, 10] introduced the Kumaraswamy Exponential-Weibull, and Al-Babtain et al. [11] determined Kumaraswamy-transmuted exponentiated modified Weibull distribution, etc.

**2. THE PROPOSED MODEL**

This section provides the formation of Kumaraswamy inverse Lindley (KuIL) distribution mathematically. The CDF, reliability, hazard rate, cumulative hazard rate function are obtained and studied the behavior and shape of the new model.

By substituting (1) and (2) into (3), the KuIL PDF is given by

$$f_{kuIL}(x) = \frac{\alpha\beta\theta^2}{1+\theta} \left( \frac{1+x}{x^3} \right) \left( 1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x} \right)^{\alpha-1} \left( 1 - \left( 1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x} \right)^\alpha e^{-\frac{\theta\alpha}{x}} \right)^{\beta-1} e^{-\frac{\theta\alpha}{x}}. \tag{5}$$

The CDF is

$$F_{kuIL}(x) = 1 - \left( 1 - \left( 1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x} \right)^\alpha e^{-\frac{\theta\alpha}{x}} \right)^\beta. \tag{6}$$

The reliability  $S_{KuIL}(x)$  and hazard rate  $h_{KuIL}(x)$  functions of KuIL are given as follows

$$S_{kuIL}(x) = \left( 1 - \left( 1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x} \right)^\alpha e^{-\frac{\theta\alpha}{x}} \right)^\beta, \tag{7}$$

$$h_{kuIL}(x) = \frac{\alpha\beta\theta^2 (1+x) \left( 1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x} \right)^{\alpha-1} e^{-\frac{\theta\alpha}{x}}}{(1+\theta)x^3 \left( 1 - \left( 1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x} \right)^\alpha e^{-\frac{\theta\alpha}{x}} \right)}.$$

Additionally, the cumulative hazard rate  $H_{KuIL}(x)$  function is given by

$$H_{kuIL}(x) = -\log S(x) = -\beta \log \left( 1 - \left( 1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x} \right)^\alpha e^{-\frac{\theta\alpha}{x}} \right).$$

It is noticed that when  $\alpha=\beta=1$ , then the KuIL distribution reduces to IL distribution and when  $\beta=1$ , then the KuIL distribution reduces to two parameter IL distribution.

The KuIL function can exhibit different behavior depending on the values of the parameters as shown in Figure 1.

Plots of PDF and hazard rate function of KuIL distribution are shown in Figures 1 and 2 for some values of parameters. Figure 2a shows that the  $h_{kuIL}(x)$  has monotone decreasing and down bathtub shaped failure rate.

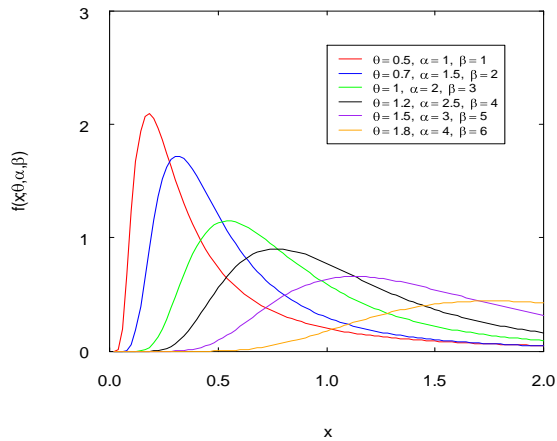


Figure 1: The PDFs of KuIL distribution.

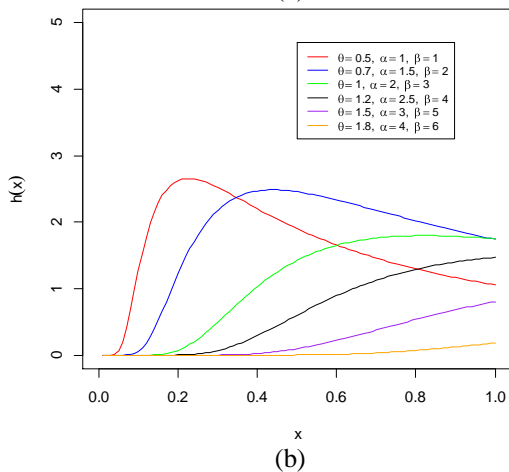
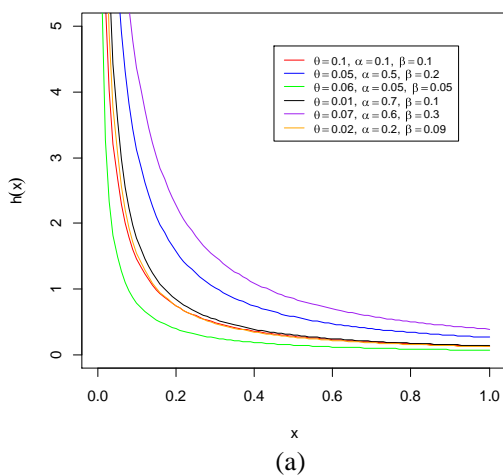


Figure 2. a)The  $h_{KuIL}(x)$  of KuIL distribution, b) The  $h_{KuIL}(x)$  of KuIL distribution.

### 3. USEFUL MATHEMATICAL FORMULAS

Some useful mathematical formulas of KuIL are computed in this section. By applying the binomial theorem and substituting in the PDF (5)

$$\left[1 - \left(1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x}\right)^\alpha e^{-\frac{\theta\alpha}{x}}\right]^{\beta-1} = \sum_{j=0}^{\infty} (-1)^j \binom{\beta-1}{j} \left(1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x}\right)^{\alpha j} e^{-\frac{\theta\alpha j}{x}}$$

$$f_{KuIL}(x) = \sum_{j=0}^{\infty} (-1)^j \binom{\beta-1}{j} \frac{\alpha\beta\theta^2}{1+\theta} \left(\frac{1+x}{x^3}\right) \left(1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x}\right)^{\alpha(j+1)-1} e^{-\frac{\theta\alpha j}{x}}$$

Also, using the rule of exponential function as a power series:

$$\left(1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x}\right)^{\alpha(j+1)-1} = \sum_{k=0}^{\infty} \binom{\alpha(j+1)-1}{k} \frac{\theta^k}{(1+\theta)^k x^k}$$

Therefore, the PDF of KuIL can be written in the following expression:

$$f_{KuIL}(x) = \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \alpha\beta(-1)^j \binom{\beta-1}{j} \binom{\alpha(j+1)-1}{k} \left(\frac{\theta^{k+2}}{(1+\theta)^{k+1}}\right) \left(\frac{1+x}{x^{k+3}}\right) e^{-\frac{\theta\alpha(j+1)}{x}}$$

$$f_{KuIL}(x) = \sum_{j,k=0}^{\infty} \Xi_{j,k} \left[ \left(\frac{1}{x}\right)^{k+3} e^{-\frac{\theta\alpha(j+1)}{x}} + \left(\frac{1}{x}\right)^{k+2} e^{-\frac{\theta\alpha(j+1)}{x}} \right], \tag{8}$$

where,  $\Xi_{j,k} = \alpha\beta(-1)^j \binom{\beta-1}{j} \binom{\alpha(j+1)-1}{k} \left(\frac{\theta^{k+2}}{(1+\theta)^{k+1}}\right)$

The corresponding CDF will be:

$$F_{KuIL}(x) = 1 - \sum_{m,p=0}^{\infty} \Xi_{m,p} \left(\frac{1}{x}\right)^p e^{-\frac{\theta\alpha m}{x}}, \tag{9}$$

where,  $\Xi_{m,p} = \sum_{m,p=0}^{\infty} (-1)^m \binom{\beta}{m} \binom{\alpha m}{p} \left(\frac{\theta^p}{(1+\theta)^p}\right)$ .

Additionally, the reliability function is defined in the following series expansion:

$$S_{KuIL}(x) = \sum_{m,p=0}^{\infty} \Xi_{m,p} \left(\frac{1}{x}\right)^p e^{-\frac{\theta\alpha m}{x}}. \tag{10}$$

### 4. SIGNIFICANT STATISTICAL MEASURES

Some significant statistical properties of KuIL distribution, specifically quantile function, moments, moment generating function, mean residual life, Rényi and q-entropies and order statistics will be provided.

#### 4.1. Quantile function and Median

The quantile function of the KuIL distribution  $q(u) = F^{-1}(u)$  is computed by inverting CDF (6) as follows

$$\ln\left(1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x_q}\right) - \frac{\theta}{x_q} = \frac{1}{\alpha} \ln\left(1 - (1-u)^{\frac{1}{\beta}}\right), \quad (11)$$

where,  $x_q = q(u)$ , and  $u$  has the uniform distribution. By solving equation (11) numerically for  $x_q$ , the quantile function is to be calculated.

Hence, the median  $x_M$  of the distribution is derived by substituting  $u = 0.5$  in (11) as follows

$$\ln\left(1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x_M}\right) - \frac{\theta}{x_M} = \frac{1}{\alpha} \ln\left(1 - (0.5)^{\frac{1}{\beta}}\right), \quad (12)$$

where  $x_M = q(0.5)$ .

**4.2. Moments, Skewness and Kurtosis**

Moments play an important role in most statistical analyses. It is mostly used to study the characteristics of any probability distribution such as the measures of central tendency and the measures of dispersion.

The  $n^{th}$  moment for KuIL distribution about zero will be obtained here. The  $n^{th}$  moment of random variable  $X$  can be determined from (8) as follows

$$E(X^n) = \int_0^\infty x^n f_{KuIL}(x) dx,$$

$$E(X^n) = \sum_{j,k=0}^\infty \Xi_{j,k} \left[ \frac{\Gamma(k-n+2)}{(\theta\alpha(j+1))^{k-n+2}} + \frac{\Gamma(k-n+1)}{(\theta\alpha(j+1))^{k-n+1}} \right]. \quad (13)$$

Specifically, the mean  $E(X)$  and variance  $V(X)$  of KuIL distribution are computed as follows

$$E(X) = \sum_{j,k=0}^\infty \Xi_{j,k} \left[ \frac{\Gamma(k+1)}{(\theta\alpha(j+1))^{k+1}} + \frac{\Gamma(k)}{(\theta\alpha(j+1))^k} \right]. \quad (14)$$

$$E(X^2) = \sum_{j,k=0}^\infty \Xi_{j,k} \left[ \frac{\Gamma(k)}{(\theta\alpha(j+1))^k} + \frac{\Gamma(k-1)}{(\theta\alpha(j+1))^{k-1}} \right],$$

$$V(x) = \sum_{j,k=0}^\infty \Xi_{j,k} \left[ \frac{\Gamma(k)}{[\theta\alpha(j+1)]^k} + \frac{\Gamma(k-1)}{[\theta\alpha(j+1)]^{k-1}} \right. \\ \left. - \left[ \sum_{j,k=0}^\infty \Xi_{j,k} \left[ \frac{\Gamma(k+1)}{[\theta\alpha(j+1)]^{k+1}} + \frac{\Gamma(k)}{[\theta\alpha(j+1)]^k} \right] \right]^2 \right] \quad (15)$$

where,  $\Xi_{j,k} = \alpha\beta(-1)^{j+1} \binom{\beta-1}{j} \binom{\alpha(j+1)-1}{k} \left( \frac{\theta^{k+2}}{(1+\theta)^{k+1}} \right)$

By Using (13), the skewness(Skew) and kurtosis (Kur) coefficients of KuIL distribution can be calculated using the following relations

$$Skew = \frac{\mu_3 - 3\mu_2\mu_1' + 2\mu_1'^3}{(\mu_2' - \mu_1'^2)^{3/2}}, \quad Kur = \frac{\mu_4 - 4\mu_3\mu_1' + 6\mu_2\mu_1'^2 - 3\mu_1'^4}{(\mu_2' - \mu_1'^2)^2}.$$

where  $\mu_1, \mu_2, \mu_3$  and  $\mu_4$  are the first four moments about origin.

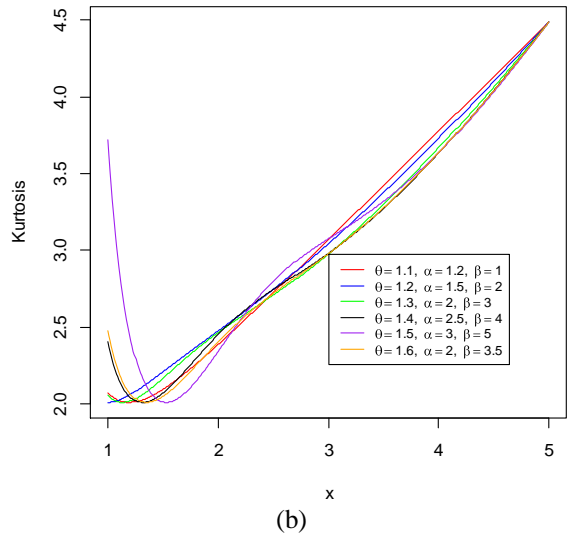
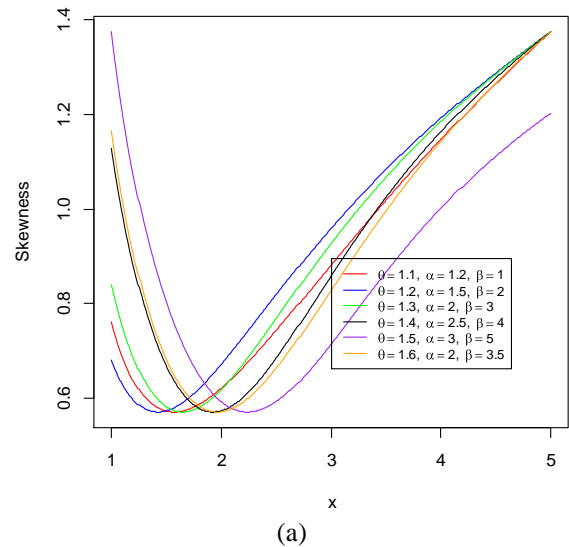


Figure 3. a) Skewness of KuIL distribution, b) Kurtosis of KuIL distribution.

**4.3. Moment generating and mean residual life functions**

The moment generating function  $M_g(t)$  of KuIL distribution can be determined as follows.

By the definition  $M_g(t) = \sum_{n=0}^\infty \frac{t^n \mu_n'}{n!}$  and using (13), the moment generating function is obtained as

$$M_g(t) = \sum_{j,k,n=0}^\infty \frac{\Xi_{j,k} t^n}{n!} \left[ \frac{\Gamma(k-n+2)}{(\theta\alpha(j+1))^{k-n+2}} + \frac{\Gamma(k-n+1)}{(\theta\alpha(j+1))^{k-n+1}} \right].$$

Given that a component survives up to time  $t \geq 0$ , the residual life is the period beyond  $t$  until the time of failure and defined by the conditional random variable  $[(X-t)|X > t]$ . In reliability, it is well known that the mean residual life function and ratio of two consecutive moments of residual life determine

the distribution uniquely [12]. The mean residual life of KuIL distribution  $[m(t)]$  is defined by

$$m(t) = \frac{1}{1 - F(t)} \int_t^\infty x f(x) dx - t.$$

Hence, by using PDF (8) and reliability function (10) of KuIL distribution, the mean residual life time is derived as follows

$$m(t) = \frac{\sum_{j,k=0}^{\infty} \Xi_{j,k} \left[ \int_t^\infty \left(\frac{1}{x}\right)^{k+2} e^{-\frac{\theta\alpha(j+1)}{x}} dx + \int_t^\infty \left(\frac{1}{x}\right)^{k+1} e^{-\frac{\theta\alpha(j+1)}{x}} dx \right]}{\sum_{m,p=0}^{\infty} \Xi_{m,p} t^{-p} e^{-\frac{\theta\alpha m}{x}}} - t.$$

Replacing  $\Gamma(v, t) = \int_t^\infty x^{v-1} e^{-x} dx$ , the incomplete gamma function, we have

$$m(t) = \frac{\sum_{j,k=0}^{\infty} \Xi_{j,k} \left[ \frac{\Gamma(k+1, t)}{(\theta\alpha(j+1))^{k+1}} + \frac{\Gamma(k, t)}{(\theta\alpha(j+1))^k} \right]}{\sum_{m,p=0}^{\infty} \Xi_{m,p} t^{-p} e^{-\frac{\theta\alpha m}{x}}} - t.$$

#### 4.4. Rényi and d-Entropies

We study Rényi [13] and  $d$  entropies in this section. The Rényi entropy  $[Ren(\zeta)]$  of a random variable  $X$  is defined by

$$Ren(\zeta) = \frac{1}{1 - \zeta} \text{Log} \left[ \int_0^\infty f^\zeta(x) dx \right],$$

where,  $\zeta > 0$  and  $\zeta \neq 1$ . Substituting (5) into last equation and after some mathematical abbreviations, we get

$$Ren_{KuIL}(\zeta) = \frac{1}{1 - \zeta} \text{Log} \left[ \sum_{s,\omega,v=0}^{\infty} \Lambda_{s,\omega,v} \frac{\Gamma(\omega + 3\zeta - v - 1)}{(\theta\alpha(s + \zeta))^{\omega + 3\zeta - v - 1}} \right],$$

where,

$$\Lambda_{s,\omega,v} = \sum_{s,\omega,v=0}^{\infty} (-1)^s \binom{\zeta}{v} \binom{\zeta(\beta-1)}{s} \left( \frac{\alpha s + \zeta(\alpha-1)}{\omega} \right) \alpha^\zeta \beta^\zeta \theta^{\omega+2\zeta} (1+\theta)^{\omega+\zeta}$$

The d-entropy  $[I(d)]$  is determined by the following relation

$$I(d) = \frac{1}{d-1} \text{Log} \left[ 1 - \int_0^\infty f^d(x) dx \right], \text{ where } d > 0 \text{ and } d \neq 1$$

The d-entropy of KuIL will be

$$I_{KuIL}(d) = \frac{1}{d-1} \text{Log} \left[ 1 - \sum_{s,\omega,v=0}^{\infty} \Upsilon_{s,\omega,v} \frac{\Gamma(\omega + 3d - v - 1)}{(\theta\alpha(s + q))^{\omega + 3d - v - 1}} \right]$$

where,

$$\Upsilon_{s,\omega,v} = (-1)^s \binom{d}{v} \binom{d(\beta-1)}{s} \left( \frac{\alpha s + d(\alpha-1)}{\omega} \right) \alpha^d \beta^d \theta^{\omega+2d} (1+\theta)^{d+\omega}$$

#### 4.5. Stress-Strength Reliability

The stress-strength reliability is defined as the probability that the system is strong enough to defeat the stress applied on it.

Let  $X$  and  $Y$  be independent stress and strength random variables, respectively follow KuIL distribution with parameters  $\gamma_1 = (\theta_1, \alpha_1, \beta_1)$  and  $\gamma_2 = (\theta_2, \alpha_2, \beta_2)$ , respectively. Then, the stress-strength reliability is defined as

$$R_{KuIL} = P(Y < X) = \int_0^\infty f_{KuIL}(x; \gamma_1) F_{KuIL}(x; \gamma_2) dx,$$

By substituting from (8) and (9), we obtain

$$R_{KuIL} = \int_0^\infty \sum_{j,k=0}^{\infty} \Xi_{j,k} \left[ \left(\frac{1}{x}\right)^{k+3} e^{-\frac{\theta_1\alpha_1(j+1)}{x}} + \left(\frac{1}{x}\right)^{k+2} e^{-\frac{\theta_1\alpha_1(j+1)}{x}} \right] \left[ 1 - \sum_{m,p=0}^{\infty} \Xi_{m,p} \left(\frac{1}{x}\right)^p e^{-\frac{\theta_2\alpha_2 m}{x}} \right] dx$$

$$= \int_0^\infty \left\{ \sum_{j,k=0}^{\infty} \Xi_{j,k} \left[ \left(\frac{1}{x}\right)^{k+3} e^{-\frac{\theta_1\alpha_1(j+1)}{x}} + \left(\frac{1}{x}\right)^{k+2} e^{-\frac{\theta_1\alpha_1(j+1)}{x}} \right] \right\} dx$$

$$= \int_0^\infty \left\{ \sum_{j,k=0}^{\infty} \sum_{m,p=0}^{\infty} \Xi_{j,k} \Xi_{m,p} \left[ \left(\frac{1}{x}\right)^{k+p+3} e^{-\frac{(\theta_1\alpha_1(j+1) + \theta_2\alpha_2 m)}{x}} + \left(\frac{1}{x}\right)^{k+p+2} e^{-\frac{(\theta_1\alpha_1(j+1) + \theta_2\alpha_2 m)}{x}} \right] \right\} dx$$

The stress-strength reliability of KuIL distribution finally takes the following formula

$$R_{KuIL} = \sum_{j,k=0}^{\infty} \Xi_{j,k} \left[ \frac{\Gamma(k+2)}{(\theta_1\alpha_1(j+1))^{k+2}} + \frac{\Gamma(k+1)}{(\theta_1\alpha_1(j+1))^{k+1}} \right] - \sum_{j,k=0}^{\infty} \sum_{m,p=0}^{\infty} \Xi_{j,k} \Xi_{m,p} \left[ \frac{\Gamma(k+p+2)}{[\theta_1\alpha_1(j+1) + \theta_2\alpha_2 m]^{k+2}} + \frac{\Gamma(k+p+1)}{[\theta_1\alpha_1(j+1) + \theta_2\alpha_2 m]^{k+1}} \right]$$

where,  $\Xi_{j,k,m,p} = \Xi_{j,k} \Xi_{m,p}$ .

Note that  $R_{KuIL}$  does not depend on  $\beta$ . Additionally, when  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ , then  $R_{KuIL}$  is defined by the following equation:

$$SR = \sum_{j,k=0}^{\infty} \Xi_{j,k} \left[ \frac{\{\theta_1\alpha(j+1) + k + 1\} \Gamma(k+1)}{\{\theta_1\alpha(j+1)\}^{k+2}} \right] - \sum_{j,k,m,p=0}^{\infty} \Xi_{j,k,m,p} \left[ \frac{\{k+p - \theta_1\alpha(j+1) - \theta_2\alpha(m+1)\} \Gamma(k+p+1)}{[\alpha\{\theta_1(j+1) + \theta_2 m\}]^{k+2}} \right]$$

#### 4.6. Distribution of Order Statistics

In this subsection, a closed form expression for the PDF of the  $p^{\text{th}}$  order statistics of the

Kull distribution will be derived. Let  $X_1, X_2, \dots, X_n$  be a simple random sample from Kull distribution with PDF (5), CDF (6) and  $X_{1:n}, X_{2:n}, \dots, X_{n:n}$  denote the order statistics obtained from this sample. By the definition of order statistics distribution:

$$f_{p:n}(x) = \frac{1}{B(p, n-p+1)} [F(x)]^{p-1} [1-F(x)]^{n-p} f(x).$$

Using the binomial series expansion of  $[1-F(x)]^{n-p}$ , then,  $f_{p:n}(x)$  can be written as

$$f_{p:n}(x) = \frac{1}{B(p, n-p+1)} \sum_{\varepsilon=0}^{n-p} (-1)^\varepsilon \binom{n-p}{\varepsilon} [F_{Kull}(x)]^{p+\varepsilon-1} f_{Kull}(x). \tag{16}$$

By substituting from (5) into (16), we obtain

$$f_{p:n}(x) = \frac{1}{B(p, n-p+1)} \sum_{\varepsilon=0}^{n-p} (-1)^\varepsilon \binom{n-p}{\varepsilon} \frac{\alpha\beta\theta^2}{1+\theta} \left(\frac{1+x}{x^3}\right) \left(1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x}\right)^{\alpha-1} \left[1 - \left(1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x}\right)^\alpha e^{-\frac{\theta\alpha}{x}}\right]^{\beta-1} \left[1 - \left(1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x}\right)^\alpha e^{-\frac{\theta\alpha}{x}}\right]^\beta e^{-\frac{\theta\alpha}{x}}.$$

using

$$\left[1 - \left(1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x}\right)^\alpha e^{-\frac{\theta\alpha}{x}}\right]^\beta = \sum_{\delta=0}^{\infty} (-1)^\delta \binom{\beta}{\delta} \left(1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x}\right)^{\alpha\delta} e^{-\frac{\theta\alpha\delta}{x}},$$

therefore

$$f_{p:n}(x) = \frac{1}{B(p, n-p+1)} \sum_{\delta=0}^{\infty} \sum_{\varepsilon=0}^{n-p} (-1)^{\varepsilon+\delta} \binom{n-p}{\varepsilon} \binom{\beta}{\delta} \frac{p+\varepsilon-1}{\delta} \frac{\alpha\beta\theta^2}{1+\theta} \left(\frac{1+x}{x^3}\right) \left(1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x}\right)^{\alpha-1} \left(1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x}\right)^{\alpha\delta} e^{-\frac{\theta\alpha}{x}} e^{-\frac{\theta\alpha\delta}{x}}. \tag{17}$$

since

$$\left(1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x}\right)^{\alpha(\delta+1)-1} = \sum_{\eta=0}^{\infty} (-1)^\eta \binom{\beta(\delta+1)-1}{\eta} \left(1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x}\right)^{\alpha\eta} e^{-\frac{\theta\alpha\eta}{x}}$$

$$\left(1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x}\right)^{\alpha(\eta+1)-1} = \sum_{\tau=0}^{\infty} \binom{\alpha(\eta+1)-1}{\tau} \frac{\theta^\tau}{(1+\theta)^\tau x^\tau}.$$

Therefore, the  $f_{p:n}(x)$  in equation (17) takes the following formula

$$f_{p:n}(x) = \frac{1}{B(p, n-p+1)} \sum_{\delta, \eta, \rho=0}^{\infty} \sum_{\varepsilon=0}^{n-p} \Lambda_{\delta, \eta, \varepsilon} \left(\frac{1+x}{x^{p+3}}\right) \exp\left\{\frac{-\theta\alpha(\eta+1)}{x}\right\} \tag{18}$$

where,

$$\Lambda_{\delta, \eta, \varepsilon} = \frac{1}{B(p, n-p+1)} \sum_{\delta=0}^{\infty} \sum_{\eta=0}^{\infty} \sum_{\varepsilon=0}^{n-p} (-1)^{\varepsilon+\delta+\eta} \binom{n-p}{\varepsilon} \binom{p+\varepsilon-1}{\delta} \binom{\beta(\delta+1)-1}{\eta} \binom{\alpha(\eta+1)-1}{\tau} \frac{\alpha\beta\theta^{\varepsilon+2}}{(1+\theta)^{\varepsilon+1}}.$$

Specially, the smallest and the greatest order statistics can be computed by taking  $p = 1$  and  $p = n$  in equation (18), respectively.

### 5. MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION

Assume  $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  be set of independent and identical (iid) random variables of size  $n$  from Kull distribution. Then, the likelihood function based on observed sample  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  is

$$L(x) = \prod_{j=1}^n f_{Kull}(x_j).$$

The log-likelihood function corresponding to  $L(x; \alpha, \beta, \theta)$  will be

$$\log L(x) = n \ln \left(\frac{\alpha\beta\theta^2}{1+\theta}\right) + \sum_{j=1}^n \ln \left(\frac{1+x_j}{x_j^3}\right) + (\alpha-1) \sum_{j=1}^n \ln \left(1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x_j}\right) + (\beta-1) \sum_{j=1}^n \ln \left[1 - \left(1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x_j}\right)^\alpha e^{-\frac{\theta\alpha}{x_j}}\right] - \theta\alpha \sum_{j=1}^n \frac{1}{x_j}$$

Assuming  $Z_j = \left(1 + \frac{\theta}{(1+\theta)x_j}\right)$ , then

$$\log L(x) = n \ln \left(\frac{\alpha\beta\theta^2}{1+\theta}\right) + \sum_{j=1}^n \ln \left(\frac{1+x_j}{x_j^3}\right) + (\alpha-1) \sum_{j=1}^n e^{-\frac{\theta\alpha}{x_j}} \ln z_j + (\beta-1) \sum_{j=1}^n \ln(1-z_j) - \theta\alpha \sum_{j=1}^n \frac{1}{x_j}. \tag{19}$$

The partial derivatives of  $\log L(x)$  with respect to the model parameters  $(\alpha, \beta, \theta)$  are

$$\frac{\partial \log L(x)}{\partial \alpha} = \frac{n(1+\theta)}{\alpha} + \theta(\beta-1) \sum_{j=1}^n \left(\frac{Z_j}{x_j} \left(1 - Z_j e^{-\frac{\theta\alpha}{x_j}}\right)^{-1} e^{-\frac{\theta\alpha}{x_j}}\right) + \sum_{j=1}^n \ln Z_j - \theta \sum_{j=1}^n \frac{1}{x_j},$$

$$\frac{\partial \log L(x)}{\partial \beta} = \frac{n}{\beta} + \sum_{j=1}^n \ln \left(1 - Z_j e^{-\frac{\theta\alpha}{x_j}}\right),$$

$$\frac{\partial \log L(x)}{\partial \theta} = \frac{n(\theta+2)}{\theta(\theta+1)} + (\alpha-1) \sum_{j=1}^n \left(\frac{Z'_{j\theta}}{Z_j} - \frac{\alpha \ln Z_j}{x_j}\right) e^{-\frac{\theta\alpha}{x_j}} - (\beta-1) \sum_{j=1}^n \frac{Z'_{j\theta}}{1-z_j} - \alpha \sum_{j=1}^n \frac{1}{x_j},$$

where,  $Z'_{j\theta} = \frac{\partial Z_j}{\partial \theta} = \frac{1}{x_j(1+\theta)^2}.$

The maximum likelihood estimators of the model parameters  $(\alpha, \beta, \theta)$  are determined by solving the non-linear equations

$$\frac{\partial \log L(x)}{\partial \alpha} = 0, \quad \frac{\partial \log L(x)}{\partial \beta} = 0, \quad \frac{\partial \log L(x)}{\partial \theta} = 0.$$

These equations cannot be solved in closed form; so software package will be used to solve these equations simultaneously.

To find the interval estimation of the parameters, we have to get the  $3 \times 3$  observed information matrix  $I(\psi)$  for  $(\alpha, \beta, \theta)$ . Under the regularity conditions, the known asymptotic properties of the maximum likelihood method ensure that  $\sqrt{n}(\hat{\psi} - \psi) \xrightarrow{d} N_3(0, I^{-1}(\psi))$  as  $n \rightarrow \infty$ , where  $\xrightarrow{d}$  means the convergence in distribution, with mean  $O = (0,0,0)^T$  and  $3 \times 3$  covariance matrix  $I^{-1}(\psi)$  then, the  $100(1-q)\%$  confidence intervals for  $\alpha, \beta$  and  $\theta$  are given, respectively, as follows

$$\hat{\alpha} \pm Z_{q/2} \sqrt{\text{var}(\hat{\alpha})},$$

$\hat{\beta} \pm Z_{q/2} \sqrt{\text{var}(\hat{\beta})}$ , and  
 $\hat{\theta} \pm Z_{q/2} \sqrt{\text{var}(\hat{\theta})}$ , where  $Z_{q/2}$  is the standard normal at  $q/2$ ,  $q/2$  is significance level and  $\text{var}(\cdot)$ 's denote the diagonal elements of  $I^{-1}(\psi)$  corresponding to the model parameters.

**6. SIMULATION**

A simulation study for KuIL model is conducted. We have sets of sample of size  $n = 20, 40, 100$  from KuIL distribution are created and the parameters have been estimated by the maximum likelihood method. 1000 such iterations are made to compute the bias and mean square error (MSE) of these estimates using the following formula:

$$\text{Bias}(\hat{\xi}) = \frac{1}{1000} \sum_{i=1}^{1000} (\hat{\xi}_i - \xi),$$

$$\text{MSE}(\hat{\xi}) = \frac{1}{1000} \sum_{i=1}^{1000} (\hat{\xi}_i - \xi)^2,$$

where,  $\hat{\xi}$  is any parameter of a probability distribution.

From Table 1 shows that:

- i) While the sample size  $n$  increases, the bias decreases. That denotes accuracy of the MLE of the parameters.
- ii) While the sample size  $n$  increases, the MSE decreases. That denotes consistency (or preciseness) of the MLE of the parameters.

**7. APPLICATIONS**

Kumaraswamy inverse Lindley distribution is fitted comparing with some of the other distributions.

Two groups of real data are applied in this section.

**Data set 1:** The first data group represents the survival times of patients suffering from Head cancer disease [14]. The patients in this group were treated using radiotherapy (RT): 6.53, 7, 10.42, 14.28, 16.1, 22.7, 34, 41.55, 42, 45.28, 49.4, 53.62, 63, 64, 83, 84, 91, 108, 112, 129, 133, 139, 140, 140, 146, 149, 154, 157, 173, 176, 218, 225, 241, 248, 273, 277, 297, 405, 417, 420, 440, 523, 583, 594, 1101, 1146, 1417.

The summarized results of estimated values of the parameters, the Log-likelihood, Akaike information criteria (AIC) [15] and Kolmogorov-Smirnov test statistics are in Table 2.

The PDF of Inverse Rayleigh Distribution [16] is

$$f(x; \theta) = \frac{2}{\theta x^3} e^{-\frac{1}{\theta x^2}}; x > 0, \theta > 0.$$

Table 1. Bias and MSE of the MLE of parameters for KuIL distribution

		$\hat{\theta} = 0.1$		$\hat{\alpha} = 0.1$		$\hat{\beta} = 0.1$	
n		BIAS	MSE	BIAS	MSE	BIAS	MSE
20		-0.1104	0.0124	-0.0957	0.0092	-0.0517	0.0030
40		-0.1102	0.0121	-0.0955	0.0091	-0.0514	0.0027
100		-0.1101	0.0120	-0.0954	0.0091	-0.0511	0.0027
		$\hat{\theta} = 0.1$		$\hat{\alpha} = 0.1$		$\hat{\beta} = 0.3$	
n		BIAS	MSE	BIAS	MSE	BIAS	MSE
20		-0.1099	0.0123	-0.0963	0.0093	-0.2506	0.0630
40		-0.1099	0.0121	-0.0962	0.0093	-0.2504	0.0629
100		-0.1097	0.0121	-0.0960	0.0092	-0.2502	0.0628
		$\hat{\theta} = 0.1$		$\hat{\alpha} = 0.2$		$\hat{\beta} = 0.3$	
n		BIAS	MSE	BIAS	MSE	BIAS	MSE
20		-0.1099	0.0123	-0.1963	0.0385	-0.2525	0.0638
40		-0.1097	0.0121	-0.1960	0.0384	-0.2510	0.0631
100		-0.1097	0.0121	-0.1960	0.0384	-0.2509	0.0630
		$\hat{\theta} = 0.2$		$\hat{\alpha} = 0.2$		$\hat{\beta} = 0.3$	
n		BIAS	MSE	BIAS	MSE	BIAS	MSE
20		-0.2099	0.0443	-0.1961	0.0384	-0.2512	0.0632
40		-0.2099	0.0441	-0.1959	0.0384	-0.2509	0.0630
100		-0.2098	0.0440	-0.1959	0.0384	-0.2508	0.0630
		$\hat{\theta} = 0.2$		$\hat{\alpha} = 0.3$		$\hat{\beta} = 0.2$	
n		BIAS	MSE	BIAS	MSE	BIAS	MSE
20		-0.2099	0.0443	-0.2962	0.0877	-0.1513	0.0230
40		-0.2099	0.0441	-0.2960	0.0876	-0.1510	0.0229
100		-0.2098	0.0441	-0.2959	0.0876	-0.1508	0.0229
		$\hat{\theta} = 0.5$		$\hat{\alpha} = 0.1$		$\hat{\beta} = 0.1$	
n		BIAS	MSE	BIAS	MSE	BIAS	MSE
20		-0.5100	0.2601	-0.0959	0.0092	-0.0517	0.0028
40		-0.5100	0.2601	-0.0958	0.0092	-0.0517	0.0027
100		-0.5100	0.2600	-0.0956	0.0092	-0.0514	0.0027
		$\hat{\theta} = 0.1$		$\hat{\alpha} = 0.5$		$\hat{\beta} = 0.1$	
n		BIAS	MSE	BIAS	MSE	BIAS	MSE
20		-0.1109	0.0123	-0.4953	0.2453	-0.0508	0.0030
40		-0.1107	0.0123	-0.4952	0.2452	-0.0500	0.0029
100		-0.1107	0.0123	-0.4949	0.2449	-0.0499	0.0027
		$\hat{\theta} = 0.1$		$\hat{\alpha} = 0.1$		$\hat{\beta} = 0.5$	
n		BIAS	MSE	BIAS	MSE	BIAS	MSE
20		-0.1102	0.0122	-0.0962	0.0093	-0.4510	0.2035
40		-0.1100	0.0121	-0.0959	0.0092	-0.4502	0.2031
100		-0.1100	0.0121	-0.0959	0.0092	-0.4498	0.2025
		$\hat{\theta} = 0.5$		$\hat{\alpha} = 0.5$		$\hat{\beta} = 0.5$	
n		BIAS	MSE	BIAS	MSE	BIAS	MSE
20		-0.5099	0.2601	-0.4960	0.2460	-0.4514	0.2038
40		-0.5099	0.2600	-0.4959	0.2459	-0.4513	0.2038
100		-0.5099	0.2600	-0.4952	0.2453	-0.4511	0.2035

Table 2. The results of fitting different distributions to the 1st data.

Distribution	Estimate of the parameter	Log-likelihood	AIC
Ku ILD	$\hat{\alpha} = 5.66, \hat{\beta} = 0.70, \hat{\theta} = 7.97$	-319.26	644.52
ILD	$\hat{\theta} = 55.45$	-340.75	683.50
IRD	$\hat{\theta} = 27.228$	-419.06	840.13

The histogram shows that the data set is positively skewed. Kumar et al. [17] fitted this data to the inverse Lindley distribution. We have fitted this data with the Kumaraswamy inverse Lindley distribution (KuILD) compared with the inverse Rayleigh distribution (IRD) and inverse Lindly distribution (ILD).

The histogram, fitted PDF, and estimated CDF of the models to this data have been shown in Figure 4a and 4b.

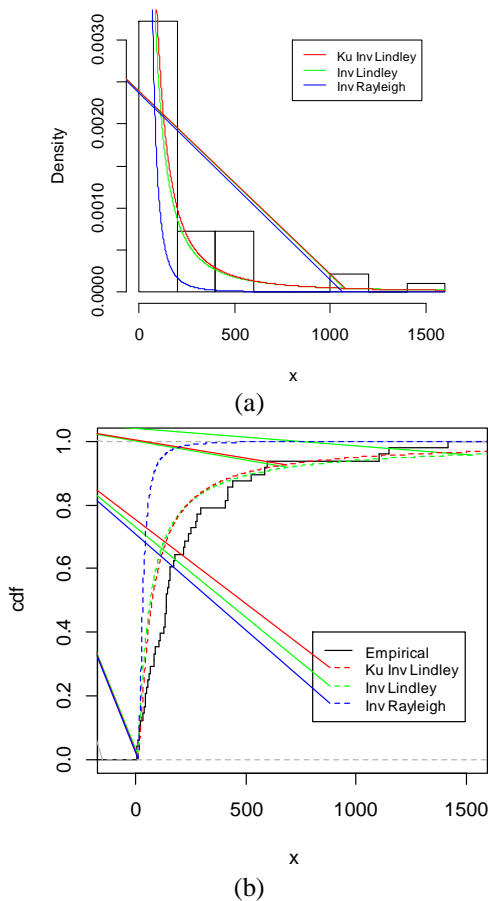


Figure 4. a) Plots of histogram and fitted PDF with compared models for 1<sup>st</sup> data, b) Plots of estimated CDF with compared models for 1<sup>st</sup> data.

**Data set 2:** The second data set shows the survival times of patients suffering from Neck cancer disease [14]. The patients in this group were treated using a combined radiotherapy and chemotherapy (CT+RT): 12.2, 23.56, 23.74, 25.78, 31.98, 37, 41.35, 47.38, 55.46, 58.36, 63.47, 68.46, 78.26, 74.47, 81.43, 84, 92, 94, 110, 112, 119, 127, 130, 133, 140, 146, 155, 159, 173, 179, 194, 195, 209, 249, 281, 319, 339, 432, 469, 519, 633, 725, 817, 1776.

Kumar et al. [17] fitted this data to the inverse Lindley distribution. We have fitted this data with KuILD compared with ILD and IRD. The summarized results of the estimated values of the parameters (Log-

likelihood, AIC and Kolmogorov-Smirnov test statistics) are in Table 3. The histogram, fitted PDF, and estimated CDF of the KuIL curve to data have been shown in Figure 5a and 5b.

The selection criterion is that the lowest Log-likelihood and AIC correspond to the best model fitted. The MLEs, AIC are shown in Table 3. From the Table, we observe that the Kumaraswamy inverse Lindley distribution shows the smaller Log-likelihood and AIC than other competing distributions. Thus, the KuIL distribution fits well with the second real data set.

We observe from plots of probability density and fitted cumulative distributions of KuIL are shown in Figure 4a and 4b for the 1<sup>st</sup> data and figure 5a and 5b for the 2<sup>nd</sup> data. Figures also indicate that the KuIL distribution is a well fitted model for the real data sets.

Table 3. The results of fitting different distributions to the 2<sup>nd</sup> data.

Distribution	Parameter estimates	Log-likelihood	AIC
Ku ILD	$\alpha \approx 7.97, \beta \approx 1.17, \theta \approx 11.54$	-279.32	564.64
ILD	$\theta \approx 77.67$	-344.10	690.21
IRD	$\theta \approx 50.474$	-480.35	962.71

### 8. CONCLUSION

We present a new three-parameter distribution KuIL which generalizes IL distribution. Some of their structural properties are obtained as shapes, quantiles, moments, incomplete moments, and moment generating functions. Additionally, mean, median, stress strength reliability, and order statistics are deduced. The new distribution is explored with the estimation of the parameters via the maximum likelihood method. The KuIL model supplies a consistently better fit than the other models selected from the literature. Finally, the results provide that the KuIL has many applications in reliability, medicine, engineering, and survival analysis.

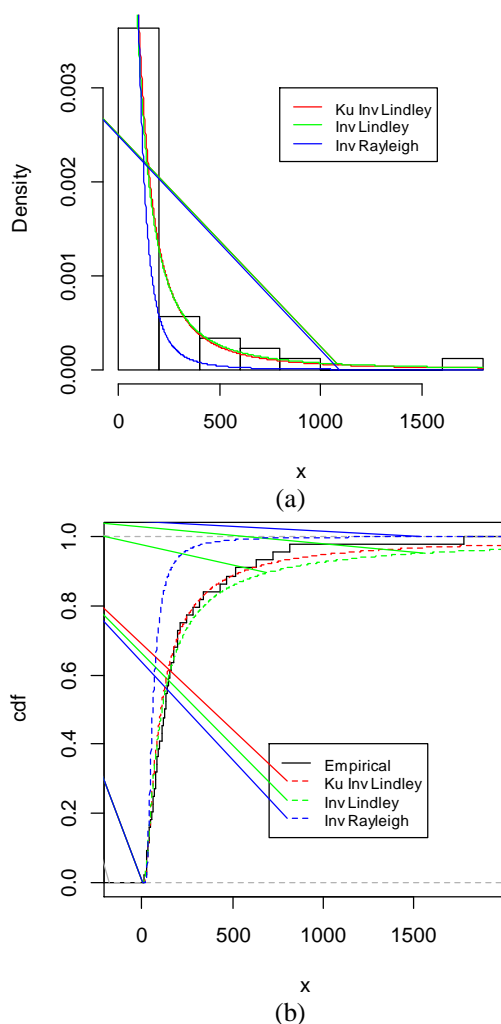


Figure 5. a) Plots of histogram and fitted PDF with compared models for 2<sup>nd</sup> data, b) Plots of estimated CDF with compared models for 2<sup>nd</sup> data.

### CONFLICTS OF INTEREST

The authors reported no potential conflict of interest.

### REFERENCES

- [1] Merovci, F., and Sharma, V. K. "The beta-Lindley distribution: properties and applications". *Journal of Applied Mathematics*, 5(4), 24-47. 2014
- [2] Alkarni, S. H. "Extended inverse Lindley distribution: properties and application". *Springer Plus*, vol. 4, no. 1, pp. 690, 2015.
- [3] Sharma, V. K., Singh, S. K., Singh, U., and Merovci, F. "The generalized inverse Lindley distribution: A new inverse statistical model for the study of upside-down bathtub data". *Communications*

*in Statistics-Theory and Methods*, vol. 45, no. 19, pp. 5709-5729, 2016.

[4] Sharma, V. K., and Khandelwal, P. "On the extension of inverse Lindley distribution". *Journal of Data Science*, vol. 15, no. 2, pp. 205-220, 2017.

[5] Kumaraswamy, P. "A generalized probability density function for double-bounded random processes". *Journal of Hydrology*, vol. 46, no. 1, pp. 79-88, 1980.

[6] Nadarajah, S., Cordeiro, G. M., and Ortega, E. M. "General results for the Kumaraswamy-G distribution". *Journal of Statistical Computation and Simulation*, vol. 82, no. 7, pp. 951-979, 2012.

[7] Paranaíba, P. F., Ortega, E. M., Cordeiro, G. M., and de Pascoa, M. A. "The Kumaraswamy Burr XII distribution: theory and practice". *Journal of Statistical Computation and Simulation*, vol. 83, no. 11, pp. 2117-2143, 2013.

[8] Gomes, A. E., da-Silva, C. Q., Cordeiro, G. M., and Ortega, E. M. "A new lifetime model: the Kumaraswamy generalized Rayleigh distribution". *Journal of Statistical Computation and Simulation*, vol. 84, no. 2, pp. 290-309, 2014.

[9] Cordeiro, G. M., Ortega, E. M., and Nadarajah, S. "The Kumaraswamy Weibull distribution with application to failure data". *Journal of the Franklin Institute*, vol. 347, no. 8, pp. 1399-1429, 2010

[10] Cordeiro, G. M., Saboor, A., Khan, M. N., Ozel, G., and Pascoa, M. A. "The Kumaraswamy Exponential-Weibull Distribution: Theory and Applications". *Hacetatepe journal of mathematics and statistics*, vol. 45, no. 4, pp. 1203-1229, 2016.

[11] Al-Babtain, A., Fattah, A. A., Ahmed, A. H. N., and Merovci, F. "The Kumaraswamy-transmuted exponentiated modified Weibull distribution". *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, vol. 46, no. 5, pp. 3812-3832, 2017.

[12] Gupta, P. L. and Gupta, R. C. "On the moments of residual life in reliability and some characterization results". *Communications in Statistics-Theory and Methods*, vol. 12, no. 4, pp. 449-461, 1983.

[13] Rényi, A. "On measures of entropy and information", *Proceedings of the 4th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and*



*Probability*, University of California Press, Berkeley, vol. 547-561, 1961.

[14] Efron, B. “Logistic regression, survival analysis, and the kaplan–meier curve”, *Journal of the American Statistical Association*, vol. 83, pp. 414–425, 1988.

[15] Akaike, H. “A new look at the statistical model identification”. *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 19, no. 6, pp. 716-723, 1974.

[16] Voda, V. G. “On the inverse Rayleigh distributed random variable”. *Reports of Statistical Application Research*, vol. 19, pp. 13-21. 1972.

[17] Kumar, P., Sharma, R., Ray, S., Mehariya, S., Patel, S. K., Lee, J. K., and Kalia, V. C. “Dark fermentative bioconversion of glycerol to hydrogen by *Bacillus thuringiensis*”. *Bioresource technology*, vol. 182, pp. 383-388, 2015.