



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
DERGİSİ

ÇUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING

Cilt/Vol: 37

Sayı/Issue: 4

Aralık/December 2022

ISSN 2757-9255



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



Sahibi (Owner)

Ulus ÇEVİK
Ç.Ü. Mühendislik Fakültesi Dekanı

Editör (Editor)

Serin MEZARCIÖZ

EDİTÖR KURULU (Editorial Board)

Ramazan ÇOBAN (Çukurova Üniversitesi)

Mutlu AVCI (Çukurova Üniversitesi)

Mustafa GÖK (Çukurova Üniversitesi)

Ahmet DAĞ (Çukurova Üniversitesi)

Hüseyin AKILLI (Çukurova Üniversitesi)

Ulus ÇEVİK (Çukurova Üniversitesi)

Ali KOKANGÜL (Çukurova Üniversitesi)

Mesut BAŞIBÜYÜK (Çukurova Üniversitesi)

Mevlüt Sami AKÖZ (Çukurova Üniversitesi)

Oğuz DEMİRYÜREK (Erciyes Üniversitesi)

Hüsamettin BULUT (Harran Üniversitesi)

Metin GÜRÜ (Gazi Üniversitesi)

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

Azra BİLGİN (University of Colorado Boulder,
ABD)

Ulvi Can ÜNLÜGENÇ (Çukurova Üniversitesi)

Özen KILIÇ (Çukurova Üniversitesi)

Serin MEZARCIÖZ (Çukurova Üniversitesi)

Zeynep ZAIMOĞLU (Çukurova Üniversitesi)

Ali KESKİN (Çukurova Üniversitesi)

R. Tuğrul OĞULATA (Çukurova Üniversitesi)

F. Duygu SABAN (Çukurova Üniversitesi)

Hüseyin VAPUR (Çukurova Üniversitesi)

Hüseyin R. YERLİ (Çukurova Üniversitesi)

Ergun ERÇELEBİ (Gaziantep Üniversitesi)

Nihan ÇETİN DEMİREL (Yıldız Teknik Üniversitesi)

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

Muammer KOÇ (Hamad Bin Khalifa University,
Qatar)

Tamio ENDO (Mie University-Japonya)

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

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

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

YAZIŞMA ADRESİ/CONTACT

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

AMAÇ ve KAPSAM

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

AIM and SCOPE

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

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

Otokodlayıcılar Kullanarak Uzaktan Algılama Görüntülerindeki Eksik Verilerin Yeniden Yapılandırılması.....	853
<i>Reconstruction of Missing Data in Remote Sensing Images Using Autoencoders</i>	
Serkan KARTAL	
Bir Sıcak İş Kazasının Olaylar ve Nedensel Faktörler Analizi ile Araştırılması ve Balık Kılıçığı Diyagramı ile Kök Sebeplerinin Bulunması: Dupont Tedlar Üretim Tesisi Örneği.....	863
<i>Investigation of a Hot Work Accident by Events and Causal Factors Analysis and Finding Root Causes with Fishbone Diagram: The Example of Dupont Tedlar Production Plant</i>	
Onur ŞAHİN, Nuri BİNGÖL ve Uğur SUR	
FMEA Based Fuzzy Topsis for Assessment of Quality Problems in Telescopic Platform Production	875
<i>Teleskopik Platform Üretiminde Kalite Sorunlarının Değerlendirilmesi için FMEA Tabanlı Bulanık Topsis</i>	
Mahire Seray BOCUT ve Nuşin UNCU	
Torque Estimation with Artificial Intelligence Methods in a Brushed Geared Dc Motor	885
<i>Bir Fırçalı Redüktörlü Dc Motorda Yapay Zeka Yöntemleriyle Tork Tahmini</i>	
Serkan BELLER	
Deprem Sonrası Bina Yüzeylerinde Meydana Gelen Çatlakların Tespitinde Sınıflandırma Modellerinin Karşılaştırılması	899
<i>Comparison of Classification Models for Detection of Cracks in Building Surfaces After Earthquake</i>	
Abdullah ŞENER ve Burhan ERGEN	
Tekstilde İstatistiksel Proses Kontrol Uygulaması Örneği-Terbiye İşletmesi	911
<i>Example of Statistical Process Control Application in Textile-Finishing Mill</i>	
Pınar PARLAKYİĞİT	
Bir Ayakkabı İşletmesinin Fine-Kinney Yöntemi ile Risk Değerlendirmesi	925
<i>Risk Analysis Evaluation of a Shoe Factory with Fine-Kinney Method</i>	
İsmail SEYFİOĞLU ve Füsün DOBA KADEM	

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Sincansarnıç Köyü (Mustafakemalpaşa-Bursa) Dolayının Stratigrafisi ve Mesozoyik Kireçtaşının Mermer Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması..... 937**
Stratigraphy of the Sincansarnıç (Bursa–Mustafakemalpaşa) Area and Evaluation of the Mesozoic Carbonates as Marble
Ali Gökhan ÖÇGÜN
- Düşük, Orta ve Yüksek Dayanım için Karar Ağacı Algoritmasıyla Beton Karışım Tasarımı 951**
Concrete Mixture Design with Decision Tree Algorithm for Low, Medium and High Strengths
Coşkun PARİM, Mehmet Şamil GÜNEŞ ve Hasan DİLBAS
- Anhidrit III Katkısının Çimento Esaslı Harcın Performansına Etkisi 959**
The Effect of Anhydrite III Additive on the Performance of Cement Based Mortar
Lütfullah GÜNDÜZ ve Şevket Onur KALKAN
- Modifiye Yaklaşımların Evapotranspirasyon Tahminlerine Etkisi: Van Örneği 973**
The Effect of Modified Approaches on Evapotranspiration Estimates: Case Study Over Van
Ali UZUNLAR, Arif ÖZ ve Muhammet Ömer DİŞ
- N25P5K5 Türü Yeni Nesil Bir Bitki Besininin Kuruma Kinetiğinin Regresyon ve Makine Öğrenme Yöntemleri ile Belirlenmesi 989**
Determination of Drying Kinetics of a N25P5K5 Type New Generation Plant Food by Regression and Machine Learning Methods
İlyas KACAR ve Cem KORKMAZ
- Mekânların Covid-19 Skorlarının Araştırılması: Mimarlık Fakültesi Stüdyoları Üzerinden Bir İnceleme 1005**
Research of Covid-19 Scores of Places: A Review Through Educational Spaces
Damlanur İLİPİNAR ve Gülin YAZICIOĞLU
- Moment Aktaran ve Merkezi Çaprazlı Çok Kath Çelik Yapıların 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre Analizi ve Tasarımı (TBDY-2018) 1107**
Design of Moment Resisting and Concentrically Braced Steel Structures According to Turkish Building Earthquake Code-2018 (TBEC-2018)
Burcu YILDIZHAN SAĞER ve Beytullah TEMEL
- Bor Türevi Atığı Katkılı Şeffaf Sırların Seramik Bünyeler Üzerine Uygulanması..... 1031**
Application of Boron Derivative Waste Containing Transparent Glazes on Ceramic Bodies
Levent KÖROĞLU, Ceren PEKŞEN, Melike İNCE ve Erhan AYAS

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

Uzaktan Eğitim Araçlarının Değerlendirilmesi.....	1039
<i>Evaluation of the Distance Education Tools</i>	
Selin SARAÇ GÜLERYÜZ, Nur Selin ÖZEN ve Fikri EGE	
Chenille Yarn Production Parameters Improvement Studies and Evaluation of Their Effects	1047
<i>Şönil İplik Üretim Parametreleri İyileştirme Çalışmaları ve Etkilerinin Değerlendirilmesi</i>	
Arif ŞENER, Duygu Durdu KOÇ, Kübra YILMAZ, Ece TOSUNOĞLU, Pınar ÇAM, Anıl GÜNDÜBAY ve Tuğçe DEMİRDELEN	
Elektrikli Araç Bataryalarının Bütünleşik Swara-Topsis Metodu ile Değerlendirilmesi	1061
<i>Assessment of Electric Vehicle Batteries Via Integrated Swara-Topsis Approach</i>	
Adnan ABDULVAHİTOĞLU, Aslı ABDULVAHİTOĞLU ve Mustafa KILIÇ	
Investigation of Color, and Fastness Properties of Wool Yarn Dyed with Ternary Plant Combination: A New Dyeing Method for the Production of Eco-Friendly Textiles	1077
<i>Çevre Dostu Tekstil Üretimi için Yeni bir Boyama Yöntemi olarak Üçlü Boya Kombinasyonu ile Boyanmış Yün İpliklerinin Renk ve Haslık Özelliklerinin Araştırılması</i>	
Menderes KOYUNCU	
Closed-Loop Recycled Yarn Production from Yarn Wastes and Investigation of Their Physical Properties within the Scope of Sustainability	1087
<i>İplik Atıklarından Kapalı Döngü Geri Dönüşüm İplik Üretimi ve Fiziksel Özelliklerinin Sürdürülebilirlik Kapsamında Araştırılması</i>	
Seval UYANIK, Pınar PARLAKYİĞİT ve Sabih OVALI	
Mask R-CNN Derin Sinir Ağı ile Demiryolu Hattı Bileşenlerinde Çoklu Hata Tespiti.....	1103
<i>Multiple Fault Detection in Railway Components with Mask R-CNN Deep Neural Network</i>	
Merve YILMAZER, Mehmet KARAKÖSE, İlhan AYDIN ve Erhan AKIN	
Simplified Nonlinear Analysis of RC Columns Exposed to Lateral Loads.....	1113
<i>Yanal Yüklere Maruz Kalan Betonarme Kolonların Basit Nonlinear Analizi</i>	
Sıla AVĞIN ve M. Metin KÖSE	

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

A Decision Model for Examining the Impact of Industry 4.0 on the Human Resources Departments of Iron-Steel Production Companies.....	1127
<i>Demir-Çelik Üretim Şirketlerinin İnsan Kaynakları Departmanlarına Endüstri 4.0'ın Etkisinin İncelenmesi için Bir Karar Modeli</i>	
Tuğba ÖZ ve Yusuf KUVVETLİ	
Çukurova Bölgesi için Kısa Vadeli Yapay Zeka Tabanlı Rüzgar Güç Tahmini.....	1143
<i>Short Term Artificial Intelligence Based Wind Power Forecasting for Çukurova Region</i>	
Pırıl TEKİN	
Çoklu Projeksiyon Yöntemleri ile Kahramanmaraş'ın Gelecek Nüfusunun Belirlenmesi	1155
<i>Determining the Future Population of Kahramanmaraş via Multiple Projection Methods</i>	
Zehra Nur CEYHAN ve Muhammet Ömer DİŞ	

Otokodlayıcılar Kullanarak Uzaktan Algılama Görüntülerindeki Eksik Verilerin Yeniden Yapılandırılması

Serkan KARTAL*¹ ORCID 0000-0001-9801-8986

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

Geliş tarihi: 25.05.2022

Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: KARTAL, S., (2022). Otokodlayıcılar Kullanarak Uzaktan Algılama Görüntülerindeki Eksik Verilerin Yeniden Yapılandırılması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 853-862.

Öz

Uzaktan algılama çalışmalarında uydu görüntülerindeki eksik verilerin yeniden yapılandırılması, veri kullanılabilirliğini artırmak ve analiz süreçlerini kolaylaştırmak açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, bu problemi çözmek için otokodlayıcı adı verilen Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli kullanılmıştır. Çalışmanın amacı, büyük oranda eksik veri içeren ve bu nedenle interpolasyon gibi klasik yöntemlerle yüksek doğrulukla yeniden yapılandırılması zor olan uydu görüntülerini başarılı bir şekilde yeniden yapılandırılacak bir YSA modelinin geliştirilmesidir. Model, Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi (MODIS) sensörleri ile elde edilen 1-km çözünürlüğe sahip günlük (MYD11A1) yüzey sıcaklığı verileri üzerinde test edilmiştir. Çalışma alanı Türkiye'nin güneyinde yer alan, Antalya ilinin kuzeyi ile Burdur ve Isparta il sınırları içerisinde bulunan bir bölgeyi kapsamaktadır. 2017-2020 tarih aralığına ait 306 veri üzerinde yapılan çalışma sonucunda modelin %70 ve üzerinde eksik bilgi içeren verileri 1,79 Ortalama Mutlak Hata (OMH) değeri ile tamamlayabildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yapay sinir ağları, Otokodlayıcılar, Uzaktan algılama, MODIS, Yeniden yapılandırma

Reconstruction of Missing Data in Remote Sensing Images Using Autoencoders

Abstract

Reconstruction of missing data in satellite images in remote sensing studies is of great importance in terms of increasing data availability and facilitating analysis processes. In this study, an Artificial Neural Network (ANN) model called an autoencoder was used to solve this problem. The study aims to develop an ANN model that will successfully reconstruct satellite images that contain largely missing data and are therefore difficult to reconstruct with high accuracy by classical methods such as interpolation. The model was tested on daily surface temperature data (MYD11A1) with 1-km resolution obtained with Moderate Resolution Imaging Spectroradiometry (MODIS) sensors. The study area covers a region located in the south of Turkey, in the north of Antalya province, and within the borders of Burdur and Isparta. As a result of the study carried out on 306 images belonging to the 2017-2020 date range, it was seen that the model was able to reconstruct the images containing 70% or more missing data with a Mean Absolute Error (MAE) value of 1.79.

Keywords: Neural networks, Autoencoders, Remote sensing, MODIS, Reconstruction

* Sorumlu yazar (Corresponding Author): Serkan KARTAL, skartal@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Uzaktan algılama verileri arazi yüzey analizinden iklim değişikliği tespitine, ekosistem analizinden doğal afet durumu tespitine kadar birçok farklı alanda başarıyla kullanılmaktadır [1-10]. Ancak, pasif algılayıcılara sahip uydu sistemlerinin çalışma koşulları ve atmosferik koşullar nedeniyle, uzaktan algılama verileri genellikle eksik bilgiler içerirler [11]. Bu durum başta zaman serisi verileri kullanılarak yapılan çalışmalar olmak üzere birçok uzaktan algılama çalışmasının yapılmasını zorlaştırmakta ya da engellemektedir [12]. Bu nedenle uydu verileri içerisindeki eksik bilgilerin (veri olmayan piksellerin) tamamlanması, uzaktan algılama verilerinin kullanılabilirliğini artırarak bu alanda yapılan çoklu zaman analizi çalışmalarına önemli katkılar sağlayacaktır.

Literatürde, uzaktan algılama görüntülerinde eksik bilgilerin yeniden yapılandırılması için yapılmış çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda, geliştirilen yöntemler dört ana başlık altında sınıflandırılabilir: 1- mekan tabanlı yöntemler; 2- spektral tabanlı yöntemler; 3- zaman tabanlı yöntemler; 4- bu yöntemlerin birkaçını aynı anda içerisinde barındıran hibrit yöntemler. Mekan tabanlı yöntemler, veri içerisindeki eksik bilgileri yine aynı veri içerisindeki diğer bilgileri kullanarak tamamlarlar. Bu yöntemler, aynı veri içerisinde bilgi içeren bölgelerin, eksik bilgi içeren bölgelerle aynı istatistiksel ve dokusal özellikler taşıdığı fikrine dayanır. İnterpolasyon yöntemleri ve k en yakın komşu (knn) yöntemleri bu alandaki çalışmalarda en sık kullanılan yöntemlerdir [13-15]. Mekan tabanlı bir çalışmada veri içerisindeki eksik bilgileri doldurmak için eksik bilgi etrafındaki bilgilerin ağırlıklı ortalamasının kullanılması bu çalışmalara bir örnek olarak verilebilir. Bu yöntemlerin en önemli avantajları basit olmaları ve içerisinde az miktarda eksik bilgi içeren veriler için başarılı sayılabilecek sonuçlar vermeleridir. Ancak bu algoritmalar, içerisinde büyük bilgi eksikliği olan ve karmaşık bir örüntüye sahip olan uzaktan algılama verileri için yeterli değildir.

Alternatif olarak kullanılan bir diğer yeniden yapılandırma yöntemi ise spektral tabanlı

yaklaşımlardır. Bu yöntemler, genellikle farklı spektral veriler arasında yüksek bir korelasyon olduğu fikrine dayanır. Buna göre bulut örtüsü nedeniyle elde edilemeyen bölgelere ait eksik bilgiler, bulutlara duyarlı olmayan spektral bantlardan elde edilen bilgilere dayanarak tamamlanmaktadır. Örnek olarak Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) verileri içerisindeki 6. ve 7. bantlar arasındaki korelasyon göz önünde bulundurularak, 6. banda ait eksik bilgilerin doldurulması için 7. banda ait bilgilerin kullanıldığı birçok çalışma bulunmaktadır [16-18]. Yüksek korelasyona sahip diğer bant bilgileri, eksik bilgilerin tamamlanmasında yüksek tutarlılıkta sonuçlar üretmekle birlikte, bu yaklaşımlarda yine farklı bant bilgilerine bağımlılık oluşturmakta ve kalın bulut örüntülerinin olduğu bölgelerde sorunlar yaşanabilmektedir.

Veriler arasındaki zamansal bağlamdaki korelasyonların kullanıldığı diğer yöntemler ise, uyduların aynı bölge için sabit aralıklarla veri alması koşuluna dayanmaktadır. Bir çalışmada Tseng ve arkadaşları [19], bulut sebebiyle eksik bilgiye sahip olan bölgeleri, zamansal düzlemde aynı konuma sahip en yakın komşu verileri ile doldürmüşlerdir. Benzer bir diğer çalışmada ise Yin ve arkadaşları [20], veri içerisinde eksik bilgilerin olduğu bölgeleri, çok zamanlı uydu görüntüsünün zamansal korelasyonuna dayanarak, ilgili bölgelerin tam olduğu diğer veriler içerisinde kopyalayarak doldürmüştür. Bunlara ilave olarak, literatürde bu üç yöntemin birkaçını aynı anda kullanarak geliştirilmiş birçok hibrit çalışma da bulunmaktadır [21].

Diğer taraftan, son zamanlarda diğer bir çok alanda olduğu gibi, uzaktan algılama alanında da makine öğrenmesi algoritmalarının kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Zhang ve arkadaşları [22] evrişimli sinir ağı tabanlı, birden fazla banttaki verilerden faydalanarak hem zamansal hem de mekansal örüntüler yardımıyla eksik bilgileri dolduran bir algoritma önermişlerdir. Yapılan bir başka çalışmada Das ve Ghosh [23], uzaktan algılamada zaman serisi verilerindeki eksik verileri yeniden yapılandırmak için Deep-STEP_FE adında derin öğrenme tabanlı bir

yöntem önermişlerdir. Shao ve arkadaşları [24] yaptıkları bir çalışmada eksik bilgilerin tamamlanması için evrişim ve dikkat mekanizmalarının bulunduğu iki aşamalı bir yöntem önerirken, daha sonra yaptıkları diğer bir çalışmada [25] üretken çekişmeli ağ tabanlı yeni bir yöntem önermişlerdir.

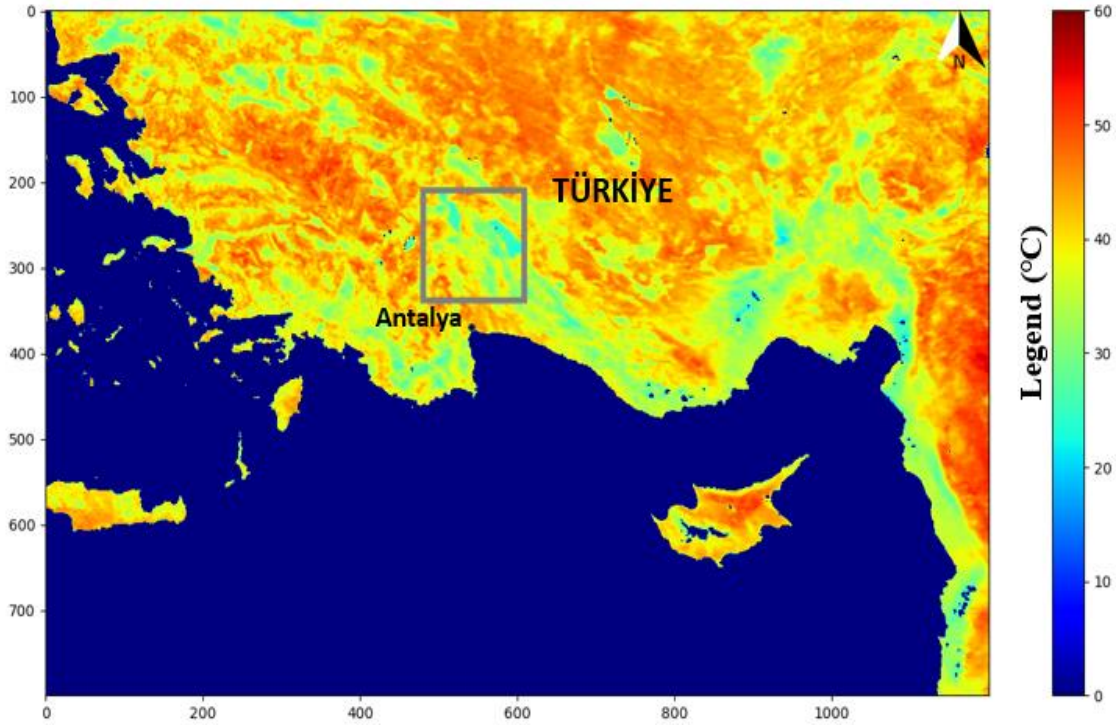
Bu çalışmada ise, uzaktan algılama görüntülerindeki eksik verileri yeniden yapılandırmak için, son zamanlarda özellik çıkarımı, gürültü temizleme, aykırı durum tespiti ve eksik veri doldurma gibi birçok farklı alanda yaygın olarak kullanılan otokodlayıcı Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli kullanılmıştır [26-32]. Çalışmada veri seti olarak 2017-2020 yılları arasındaki MODIS arazi yüzey sıcaklığı (MYD11A1) verileri ele alınmıştır. Çalışmanın temel amacı, yüksek oranda eksik bilgi içermesi nedeniyle klasik algoritmalarla tamamlanması zor olan verileri yüksek başarı oranı ile tamamlayabilecek bir YSA modelinin

geliştirilmesidir. Bu amaçla geliştirilen modelin performansı her biri en az %70 eksik veriye sahip test verileri üzerinde değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı Türkiye'nin güneyinde, Antalya ilinin kuzey kesimleri ile Burdur ve Isparta sınırları içerisinde bir bölgeyi kapsamaktadır. Kullanılan bilgisayarın donanım kısıtları göz önünde bulundurularak, çalışma 128X128 piksellik bir alan üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma için bu bölgenin seçilmesinin en önemli nedeni, bölgedeki yüzey sıcaklığı değerlerinin tek düze olmaması, bölgede hem yüksek hem de düşük sıcaklık değerlerinin ölçülmesi, yani bölgenin kendi içerisinde bir yüzey sıcaklığı örüntüsüne sahip olmasıdır.



Şekil 1. Örnek bir MODIS verisi üzerinde çalışma alanının genel bir görüntüsü. Şekilde kare içerisinde kalan bölge, 128x128 piksel boyutundaki çalışma alanını göstermektedir

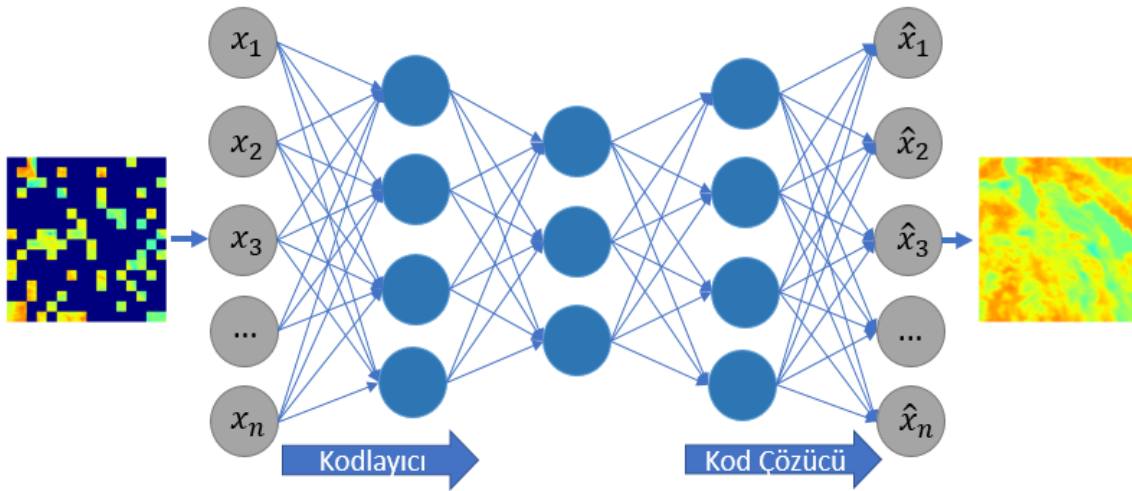
Bu da, interpolasyon gibi klasik algoritmalar yerine, bölgedeki yüzey sıcaklık örüntüsünü öğrenerek eksik veri değerlerini bu örüntü yardımıyla doldurabilecek YSA tabanlı algoritmaların kullanımını gerektirmektedir. Çalışma alanının Türkiye içerisindeki konumu Şekil 1 üzerinde kare içerisine alınarak gösterilmiştir.

Çalışmada 1-km'lik çözünürlüğe sahip günlük MYD11A1 verileri kullanılmıştır. Eğitim veri seti oluşturulurken 2017-2020 yılları arasından %5'ten daha az eksik veriye sahip MYD11A1 görüntüleri ele alınmış ve bu görüntüler içerisindeki eksik kısımlar klasik interpolasyon yöntemi ile tamamlanmıştır. İnterpolasyon yöntemi, veri içerisinde çok az miktarda eksik bilgi olduğunda, yani boş veriye yakın ve interpolasyon için kullanılabilir çok sayıda gerçek veri bulunduğu yüksek başarı oranı ile çalışmaktadır. Bu işlemler sonucunda 306 adet veriden oluşan bir veri seti oluşturulmuştur. Bu verilerin %80'i (246) eğitim, %10'u (30) geçerlilik, geriye kalan %10'luk (30) kısmı ise test amaçlı kullanılmıştır.

2.2. Otokodlayıcılar

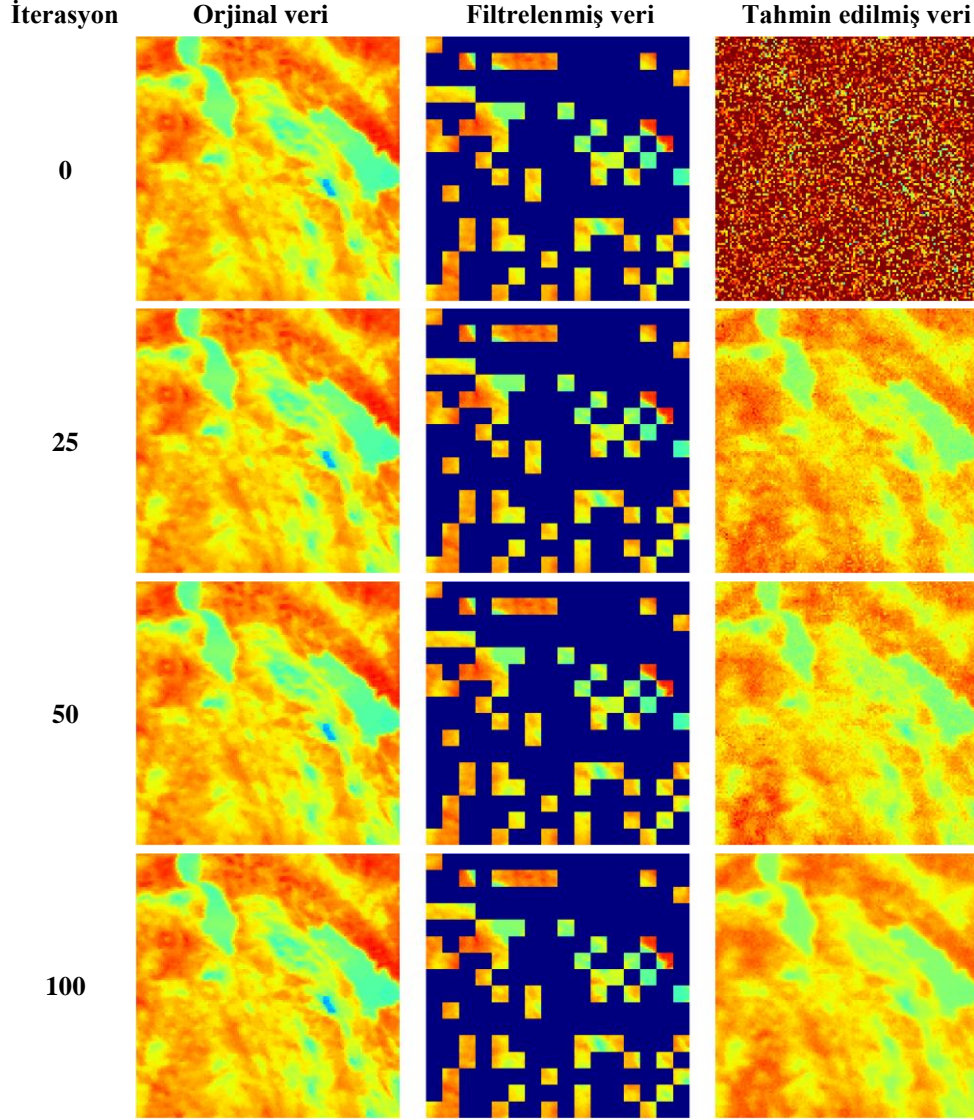
Otokodlayıcılar, ya da diğer bir ismiyle otomatik kodlayıcılar, denetimsiz öğrenmenin gerçekleştiği bir yapay sinir ağı modelidir. Otokodlayıcı modelleri giriş verilerini çıkışa kopyalamaya çalıştıklarından harici olarak etiketlenmiş bir veri setine ihtiyaç duymazlar. Bu nedenle öz-denetimli öğrenme modeli olarak da adlandırılırlar. Model, kodlayıcı (encoder) ve kod çözücü (decoder) adı verilen iki temel bileşenden oluşmaktadır. Modelin genel mimarisi Şekil 2'de verilmiştir.

Kodlayıcı modülü, girdi verisi içerisindeki anlamlı bilgileri öğrenmek için, giriş katmanından gelen verileri bir darboğaza sokar. Bu darboğaz sayesinde kodlayıcı kısım verideki önemli olan özellikleri öğrenmeye mecbur kalır. Daha sonra kodlayıcı kısımda hesaplanan veriler, modelin kod-çözücü bileşenine doğru iletilir. Kod-çözücü ise kodlayıcı tarafından kodlanan bilgileri çözerek, ilk girdi verisini yeniden oluşturmaya çalışır. Girdi verisi ile çıktı verisinin aynı olması amaçlandığından bu işleme yeniden yapılandırma (reconstruction) adı verilir. Girdi ile çıktı arasındaki fark ise modelin hatasını oluşturur ve hatanın geriye yayılarak ağırlıkların güncellenmesi ile modelin öğrenmesi gerçekleşir.



Şekil 2. Otokodlayıcı modelinin genel mimarisi. x_n n inci giriş değerini gösterirken \hat{x}_n n inci çıkış değerini göstermektedir

Çizelge 1. Eğitim sürecinde modelin 0, 25, 50 ve 100. iterasyonlarda aynı test verisi üzerinde yapılan tahmin işlemlerinin sonuçları



Bu süreç, modelin dayandığı temel çalışma prensibini ortaya koymakla birlikte kullanılacak modelin kullanım şekli; gürültü temizleme, eksik verilerin tamamlanması, özellik çıkarımı gibi farklı problemler için ufak farklılıklar gösterebilmektedir.

Bu çalışmada 4 katmanlı bir kodlayıcı ile 4 katmanlı bir kod-çözücü içeren otokodlayıcı

modeli tasarlanmıştır. Modelin eğitimi için Adam (Adaptive Moment Estimation) olarak adlandırılan “Uyarlanabilir Moment Tahmini” optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Modelin hatasını hesaplamak için ise karesel hata fonksiyonu kullanılmıştır. Model Python programlama dili ve Keras kütüphanesi kullanılarak kodlanmıştır. Amaç eksik bilgiler içeren MYD11A1 verilerini tamamlayacak bir model geliştirmek olduğundan,

model, içerisindeki bilgilerin %70'i rastgele silinmiş veriler ile beslenmiş, modelin ürettiği sonuçlar ise verilerin gerçek (tam) halleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen hata değerleri geriye yayılarak modelin eksik verilerden tam bir MYD11A1 verisi oluşturmayı öğrenmesi sağlanmıştır. Model 100 iterasyon boyunca eğitilmiş olup, 0, 25, 50 ve 100. iterasyonlarda örnek bir veri üzerindeki tahmin sonuçları Çizelge 1'de gösterilmiştir. Çizelgedeki sonuçlar modelin iterasyonlar boyunca nasıl öğrendiğini ve %70'i eksik olan bir veriyi nasıl tamamlama yeteneği kazandığını adım adım göstermektedir. Çizelgedeki verilere göre modelin 25. iterasyonda bölgenin yüzey sıcaklığı örüntüsünü kabaca öğrendiği, 50. iterasyonda örüntüyü büyük oranda öğrendiği, devam eden eğitim sürecinde ise örüntü üzerinde küçük değişikliklerin olduğu görülmektedir.

2.3. Hata Ölçüm Metrikleri

Bu çalışmada geliştirilen modelin hatasını ölçmek için, literatürde yaygın olarak Karesel Ortalama Hata (KOH) ve Ortalama Mutlak Hata (OMH) metrikleri kullanılmıştır. Her iki metriğin denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$KOH = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2} \quad (1)$$

$$OMH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \hat{x}_i| \quad (2)$$

burada x_i ve \hat{x}_i , sırasıyla i . gerçek değeri ve i . tahmin edilen değeri temsil etmektedir. n ise veri setindeki toplam veri sayısını tutmaktadır. Tahmin işlemi sırasında düşük hata değeri elde etmek yüksek başarı göstergesidir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada 2017-2020 yılları arasında Antalya'nın kuzeyi ile Burdur ve Isparta illerinin bulunduğu bölgeye ait MYD11A1 verileri içerisindeki eksik bilgilerin otokodlayıcılar ile

tamamlanması incelenmiştir. Toplamda 306 adet veriden oluşan bir veri seti kullanılmıştır. Veri setinin %80'i eğitim ve %10'u doğrulama için kullanılırken, modelin başarısını değerlendirmek için eğitim süresince hiç kullanılmayan ve toplam veri setinin %10 una karşılık gelen 30 adet test verisi kullanılmıştır. Test verileri için elde edilen hata değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

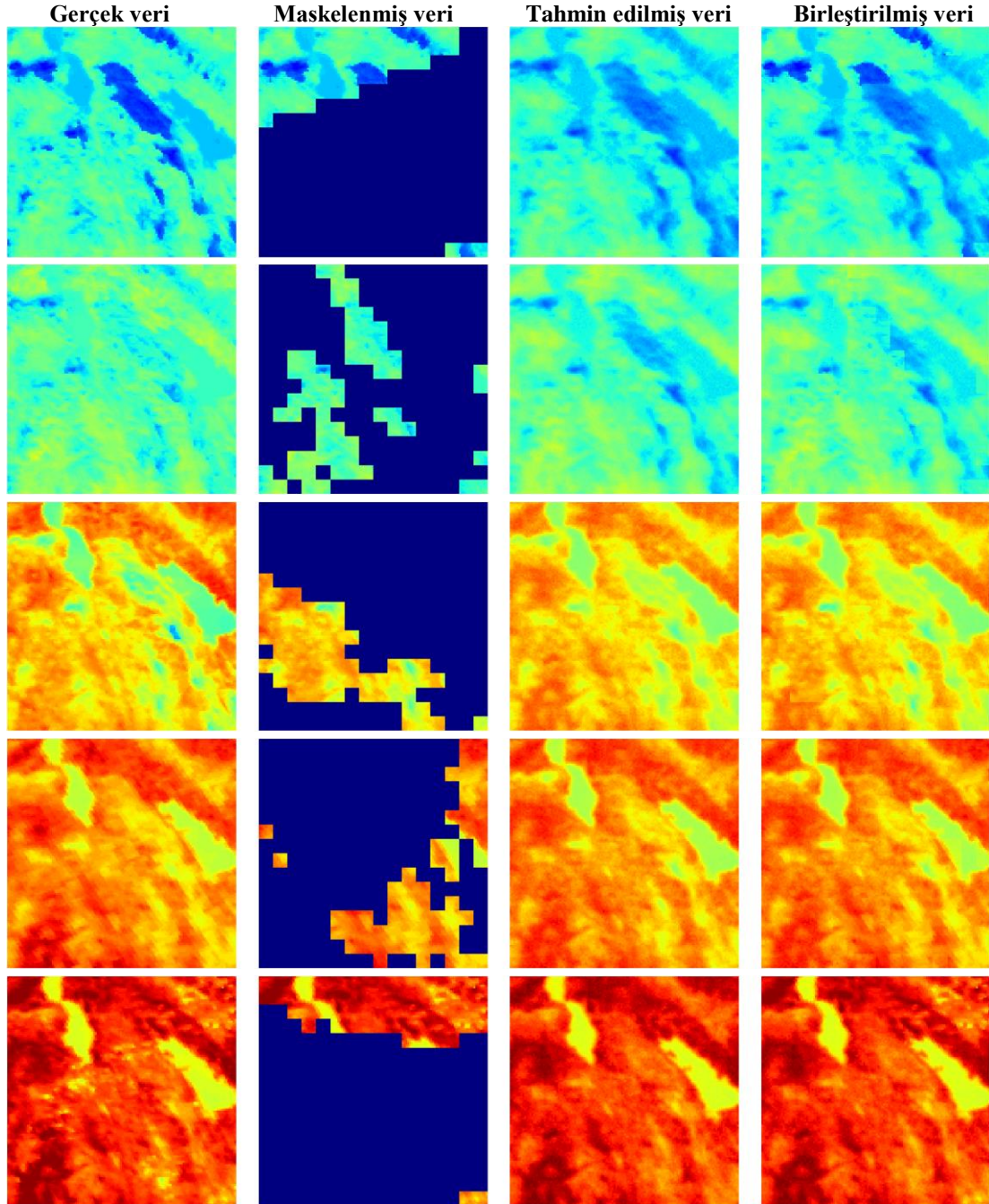
Çizelge 2. Otokodlayıcı modeline ait KOH ve OMH değerleri

KOH	2,28
OMH	1,79

Geliştirilen otokodlayıcının performansı değerlendirilirken, tahmin edilen eksik bilgiler ile bu bilgilerin gerçek değerleri arasındaki farklar göz önünde bulundurulmuştur. Bu çalışmada yapılan tahmin işlemi, belirli bir bölgeye ait tek bir değer tahmini olmadığından ve bölgenin tüm sıcaklık haritası içerisindeki eksik bilgiler doldurulmaya çalışıldığından, tahmin işlemin zorluk derecesi tek bir değer tahmini yapılan çalışmalara kıyasla daha zordur. Bunlara ilave olarak, çalışmanın amacı doğrultusunda tüm bir sıcaklık haritası değil, haritanın içerisindeki eksik bilgiler doldurulmaya çalışılmıştır. Dolayısıyla harita içerisindeki eksik bilgilerin sayısı da tahmin performansını etkileyen bir diğer etkidir. Eksik bilgi sayısının az olduğu verilerde, otokodlayıcı modeline daha fazla referans bilgi sağlanabileceğinden bu görüntüler için çok daha yüksek tutarlılıkta tahmin işlemlerin yapılabilmesi mümkündür. Ancak, eksik bilgi sayısının fazla olduğu verilerde ise otokodlayıcılara daha az referans bilgi sağlanabileceğinden hata miktarının da görece yüksek olması kaçınılmazdır.

Çalışmanın performansı değerlendirilirken, içerisinde en az %70 oranında eksik bilgiler bulunduran 30 adet MYD11A1 verisi seçilmiş ve bu verilerin içerisindeki eksik bilgiler maske olarak test verilerine uygulanmıştır. Maskeleme işleminden sonra test verileri içerisinde kalan bilgiler modele beslenerek verinin tam hali tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 3. Sırasıyla 5 adet gerçek test verisi, bu veriler üzerine gerçek bulut maskesi uygulanması sonucu elde edilen maskelenmiş veriler, otokodlayıcı model ile tahmin edilen veriler ve eldeki referans değerleri ile tahmin edilen değerlerin birleştirildiği nihai veriler



Böylece modelin performansı gerçek dünya senaryoları üzerinde test edilmiştir. Bu kapsamda 5 adet test verisinin gerçek görüntüleri, bu veriler üzerine gerçek bulut maskesi uygulanması sonucu elde edilen maskelenmiş veriler, otokodlayıcı model ile tahmin edilen veriler ve eldeki referans değerleri ile tahmin edilen değerlerin birleştirildiği veriler (nihai çıktı) Çizelge 3 içerisinde verilmiştir.

Test verileri içerisindeki eksik bilgi oranına ilaveten modelin performansını etkileyen bir diğer önemli etken ise, çalışılan bölgedeki yüzey sıcaklığı örüntüsüdür. Bölgesel sıcaklık değişiminin çok fazla gözlemlenmediği deniz yüzeyi gibi bir bölgedeki sıcaklık değerleri üzerinde tahmin yapmak çok daha kolayken, seçilen çalışma alanı gibi yüzey sıcaklığı değişiminin fazla olduğu bölgelerde bu tahmini yapmak daha zordur. Hatta sıcaklık farkının az olduğu bölgeler üzerinde sadece tüm değerlerin ortalamasını alarak bile düşük hata oranı ile tahmin işlemi gerçekleştirmek mümkün olabilmektedir. Ancak, bölgesel koşullara bağlı olarak sıcaklık değerlerin ilgili alan içerisinde farklılıklar gösterdiği bölgelerde, klasik yöntemlerin hesaplama prensiplerinden dolayı yüksek başarı elde edebilmeleri mümkün değildir. Bu noktada, bu bölgedeki sıcaklık örüntülerini yüksek tutarlılıkla öğrenerek sadece az bir referans değeri ile tahmin yapabilme yeteneğine sahip olan otokodlayıcılar gibi YSA tabanlı yöntemler ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda, Çizelge 3 içerisinde verilen örnek tahmin sonuçları ile geliştirilen otokodlayıcı modelinin ilgili bölgedeki yüzey sıcaklığı örüntüsünü öğrenebilme kapasitesini görsel olarak değerlendirmek mümkündür. Elde edilen sonuçlar otokodlayıcı modelinin bölge üzerindeki yüzey sıcaklığı örüntüsünü doğru bir şekilde öğrenerek, bu örüntüye uygun bir şekilde tahmin yaptığını açıkça göstermektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, uzaktan algılama verilerindeki eksik bilgi probleminin çözülmesi için yapay sinir ağı tabanlı otokodlayıcı yöntemi kullanılmıştır. Çalışma, Türkiye'nin Güney kesiminde yer alan

Antalya ilinin kuzey kesimleri ile Burdur ve Isparta il sınırları içerisinde bulunan bir bölgeye ait veriler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Veriler MODIS sensörleri ile elde edilmiş 2017-2020 tarih aralığına ait 306 adet günlük yüzey sıcaklığı verileridir. Çalışma sonuçları, geliştirilen otokodlayıcı modelin, %70'in üzerinde eksik bilgiye sahip olan verileri bile, mevcut yüzey sıcaklığı örüntülerini de koruyarak, sırasıyla KOH ve OMH metrikleri için 2.28'lik ve 1.79'lük hata miktarları ile tamamlanabildiğini göstermektedir. Çalışmanın, klasik interpolasyon yöntemleri ile tamamlanması çok zor olan yüksek miktarda eksik bilgiye sahip verilerdeki problemin giderilmesi için iyi bir alternatif oluşturduğu düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Salmon, B.P., Olivier, J.C., Wessels, K.J., Kleynhans, W., Van Den Bergh, F., Steenkamp, K.C., 2010. Unsupervised Land Cover Change Detection: Meaningful Sequential Time Series Analysis. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 4(2), 327-335.
2. Rahman, A., Aggarwal, S.P., Netzband, M., Fazal, S., 2010. Monitoring Urban Sprawl Using Remote Sensing and GIS Techniques of A Fast Growing Urban Centre, India. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 4(1), 56-64.
3. Ma, L., Li, M., Ma, X., Cheng, L., Du, P., Liu, Y., 2017. A Review of Supervised Object-Based Land-Cover Image Classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130, 277-293.
4. Gómez, C., White, J. C., Wulder, M. A., 2016. Optical Remotely Sensed Time Series Data for Land Cover Classification: A Review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 116, 55-72.
5. Li, F., Song, G., Liu, Z., Yanan, Z., Di, L., 2017. Urban Vegetation Phenology Analysis Using High Spatio-Temporal NDVI Time Series. *Urban Forestry & Urban Greening*, 25, 43-57.

6. Zhou, Y.N., Luo, J., Feng, L., Yang, Y., Chen, Y., Wu, W., 2019. Long-Short-Term-Memory-Based Crop Classification Using High-Resolution Optical Images and Multi-Temporal SAR Data. *GIScience & Remote Sensing*, 56(8), 1170-1191.
7. Kartal, S., Sekertekin, A., 2022. Prediction of MODIS Land Surface Temperature Using New Hybrid Models Based on Spatial Interpolation Techniques and Deep Learning Models. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-20.
8. Zhang, Q., Ge, L., Zhang, R., Metternicht, G. I., Du, Z., Kuang, J., Xu, M., 2021. Deep-Learning-Based Burned Area Mapping Using the Synergy of Sentinel-1&2 Data. *Remote Sensing of Environment*, 264, 112575.
9. Belenguer-Plomer, M.A., Tanase, M.A., Chuvieco, E., Bovolo, F., 2021. CNN-Based Burned Area Mapping Using Radar and Optical Data. *Remote Sensing of Environment*, 260, 112468.
10. Shahabi, H., Shirzadi, A., Ghaderi, K., Omidvar, E., Al-Ansari, N., Clague, J.J., Geertsema, M., Khosravi, K., Amini, A., Bahrami, S., Rahmati, O., Habibi, K., Mohammadi, A., Nguyen, H., Melesse, A.M., Ahmad, B.B., Ahmad, A., 2020. Flood Detection and Susceptibility Mapping Using Sentinel-1 Remote Sensing Data and a Machine Learning Approach: Hybrid Intelligence of Bagging Ensemble Based on K-Nearest Neighbor Classifier. *Remote Sensing*, 12(2), 266.
11. Shen, H., Li, X., Cheng, Q., Zeng, C., Yang, G., Li, H., Zhang, L., 2015. Missing Information Reconstruction of Remote Sensing Data: a Technical Review. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 3(3), 61-85.
12. Wu, W., Ge, L., Luo, J., Huan, R., Yang, Y., 2018. A Spectral-Temporal Patch-Based Missing Area Reconstruction for Time-Series Images. *Remote Sensing*, 10(10), 1560.
13. Zhang, C., Li, W., Travis, D., 2007. Gaps-Fill of SLC-off Landsat ETM+ Satellite Image Using a Geostatistical Approach. *International Journal of Remote Sensing*, 28(22), 5103-5122.
14. Zhang, L., Wu, X., 2006. An Edge-Guided Image Interpolation Algorithm Via Directional Filtering and Data Fusion. *IEEE Transactions on Image Processing*, 15(8), 2226-2238.
15. Criminisi, A., Pérez, P., Toyama, K., 2004. Region Filling and Object Removal by Exemplar-Based Image Inpainting. *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(9), 1200-1212.
16. Wang, L., Qu, J.J., Xiong, X., Hao, X., Xie, Y., Che, N., 2006. A New Method for Retrieving Band 6 of Aqua MODIS. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3(2), 267-270.
17. Shen, H., Zeng, C., Zhang, L., 2010. Recovering Reflectance of AQUA MODIS Band 6 Based on Within-Class Local Fitting. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 4(1), 185-192.
18. Rakwatin, P., Takeuchi, W., Yasuoka, Y., 2008. Restoration of Aqua MODIS Band 6 Using Histogram Matching and Local Least Squares Fitting. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(2), 613-627.
19. Tseng, D. C., Tseng, H. T., Chien, C. L., 2008. Automatic Cloud Removal from Multi-Temporal SPOT Images. *Applied Mathematics and Computation*, 205(2), 584-600.
20. Lin, C.H., Tsai, P.H., Lai, K.H., Chen, J.Y., 2012. Cloud Removal from Multitemporal Satellite Images Using Information Cloning. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 51(1), 232-241.
21. Gao, G., Gu, Y., 2017. Multitemporal Landsat Missing Data Recovery Based on Temporal Spectral Angle Model. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(7), 3656-3668.
22. Zhang, Q., Yuan, Q., Zeng, C., Li, X., Wei, Y., 2018. Missing Data Reconstruction in Remote Sensing Image with a Unified Spatial-Temporal-Spectral Deep Convolutional Neural Network. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 56(8), 4274-4288.
23. Das, M., Ghosh, S. K., 2017. A Deep-Learning-Based Forecasting Ensemble To Predict Missing Data for Remote Sensing Analysis. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(12), 5228-5236.

24. Shao, M., Wang, C., Wu, T., Meng, D., Luo, J., 2020. Context-Based Multiscale Unified Network for Missing Data Reconstruction in Remote Sensing Images. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 19, 1-5.
25. Shao, M., Wang, C., Zuo, W., Meng, D., 2022. Efficient Pyramidal GAN for Versatile Missing Data Reconstruction in Remote Sensing Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 60, 1-14.
26. Zhang, C., Zhou, L., Zhao, Y., Zhu, S., Liu, F., He, Y., 2020. Noise Reduction in the Spectral Domain of Hyperspectral Images Using Denoising Autoencoder Methods. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 203, 104063.
27. Leite, N.M.N., Pereira, E.T., Gurjao, E.C., Veloso, L.R., 2018. Deep Convolutional Autoencoder for EEG Noise Filtering. In 2018 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM), IEEE, 2605-2612.
28. Luo, X., Li, X., Wang, Z., Liang, J., 2019. Discriminant Autoencoder for Feature Extraction in Fault Diagnosis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 192, 103814.
29. Li, Y., Huang, X., Li, J., Du, M., Zou, N., 2019. Specac: Spectral Autoencoder for Anomaly Detection in Attributed Networks. In Proceedings of the 28th ACM International Conference on Information and Knowledge Management, 2233-2236.
30. Tsai, D. M., Jen, P. H., 2021. Autoencoder-Based Anomaly Detection for Surface Defect Inspection. *Advanced Engineering Informatics*, 48, 101272.
31. Chen, Z., Yeo, C.K., Lee, B.S., Lau, C.T., 2018. Autoencoder-Based Network Anomaly Detection. In 2018 Wireless Telecommunications Symposium (WTS) (Pp. 1-5). IEEE.
32. Asadi, R., Regan, A., 2019. A Convolution Recurrent Autoencoder for Spatio-Temporal Missing Data Imputation. *Arxiv Preprint Arxiv:1904.12413*.

Bir Sıcak İş Kazasının Olaylar ve Nedensel Faktörler Analizi İle Araştırılması ve Balık Kılçığı Diyagramı ile Kök Sebeplerinin Bulunması: Dupont Tedlar Üretim Tesisi Örneği

Onur ŞAHİN*¹ ORCID 0000-0003-0712-2978
Nuri BİNGÖL¹ ORCID 0000-0001-6208-7277
Uğur SUR¹ ORCID 0000-0003-1424-6645

¹Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, İstanbul

Geliş tarihi: 17.05.2022

Kabul tarihi: 10.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: ŞAHİN, O., BİNGÖL, N., SUR, U., (2022). Bir Sıcak İş Kazasının Olaylar ve Nedensel Faktörler Analizi İle Araştırılması ve Balık Kılçığı Diyagramı İle Kök Sebeplerinin Bulunması: Dupont Tedlar Üretim Tesisi Örneği. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 863-874.

Öz

Proses endüstrisindeki çoğu kaza tesislerin proses emniyeti sisteminde gerçekleşen ihlallerden kaynaklanmaktadır. 9 Kasım 2010'da Dupont şirketine ait New York'ta ki bir kimyasal tesiste sıcak iş çalışması sırasında vinil florür depolanan tankta meydana gelen patlama da bu kazalardan biridir. Kaza bir ölüm ve bir yaralanma ile sonuçlanmıştır. Bu makale ile endüstriyel tesislerde sıcak iş çalışmalarından kaynaklanan kazaların ve yaralanmaların yaşanmaması için kazanın kök sebeplerini ortaya koyarak endüstrinin faydalanabileceği ve proses emniyeti yönetim sistemlerine entegre edebileceği bir çalışma olması amaçlanmıştır. Olaylar ve nedensel faktörler (events and causal factors) yöntemi ile kazanın oluşmasındaki etkenler belirlenmiş, elde edilen faktörlere göre balık kılçığı diyagramı ile kazanın 5M (Management-Machine-Man-Material-Method) başlıkları altındaki kök sebeplerine ulaşılmıştır. Kazanın ana nedenleri bakım onarım ve alt işveren yönetimindeki kusurlar, emniyete alma sistemindeki belirsizlikler, iş izin yönetim sürecindeki eksiklikler ve tank-borulama sistemindeki tasarım eksiklikleri olarak tespit edilmiştir. Tehlikeli kimyasalların bulunduğu alanlarda yapılan çalışmalarda proses emniyeti gerekliliklerinin eksiksiz olarak yerine getirilmesi ve sürdürülebilirliğinin sağlanması bu tür kazaların önlenmesindeki başlıca unsurdur.

Anahtar Kelimeler: Sıcak işler, Patlama, Bakım yönetimi, Olaylar ve nedensel faktörler analizi, Balık kılçığı yöntemi

*Sorumlu (Corresponding author) yazar: Onur ŞAHİN, onur.sahin@doktas.com

Investigation of a Hot Work Accident by Events and Causal Factors Analysis and Finding Root Causes with Fishbone Diagram: The Example of Dupont Tedlar Production Plant

Abstract

Most accidents in the process industry result from violations of the plant's process safety system. One of these accidents is the explosion of a vinyl fluoride storage tank on November 9, 2010, during hot work at a Dupont company's chemical plant in New York. The accident resulted in one death and one injury. With this article, it is aimed to be a study that the industry can benefit from and integrate it into process safety management systems by revealing the root causes of the accident in order to prevent accidents and injuries caused by hot works in industrial facilities. The factors in the occurrence of the accident were determined by the events and causal factors method and the root causes of the accident under the 5M (Management-Machine-Man-Material-Method) headings were reached with the fishbone diagram according to the factors obtained. The main causes of the accident were identified as defects in maintenance and subcontractor management, uncertainties in the safety system, deficiencies in the work permit management process and design deficiencies in the tank-piping system. Fulfilling the process safety requirements and ensuring its sustainability in the works carried out in the areas where hazardous chemicals are present are the main factors in the prevention of such accidents.

Keywords: Hot works, Explosion, Maintenance management, Events and causal factors analysis, Fishbone method

1. GİRİŞ

Kimyasal maddelerle çalışan tesisler için proses emniyeti yönetimi (Process Safety Management, PSM) özellikle son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Kuruluşlar büyük kazalar yaşamamak için emniyet tedbirlerini artırma yoluna gitmiş ve geliştirilen iyi araçları tesislerinde uygulamaya başlamışlardır [1]. Dupont kendi tesislerinde kullanılmak üzere geliştirdiği proses emniyet araçlarını son yıllarda diğer kuruluşların da kullanımı için dünyaya sunmuş ve bu konuda öncülük etmiştir. Kimya tesisleri için bakım, temizlik, alt işveren faaliyetleri sırasında proses emniyeti yönetimindeki en küçük bir açık felaket ile sonuçlanabilir. Deepwater Horizon kazası, Meksika Körfezi kazası ve Piper Alpha felaketi bu kazalardan sadece birkaçıdır [2]. İngiltere İş Sağlığı ve Güvenliği Kurumu (Health and Safety Executive, HSE) tarafından yapılan araştırmalar

ile kimya endüstrisindeki ölümlerin yaklaşık %30'unun bakımla bağlantılı olduğunu ve bakım faaliyetleri sırasında veya hatalı bakımın bir sonucu olarak meydana gelen faaliyetlerden oluştuğu belirtilmiştir [3]. ABD Kimyasal Güvenlik Kurulu (Chemical Safety Board, CSB)'nin araştırmasını yapıp yayınladığı kazalar Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde sıcak çalışmalara bağlı kazaların tüm kazalar içinde %6 oranında olduğu görülmektedir. Sıcak iş izin sisteminin ihlali endüstriyel tesislerde çok büyük felaketlere yol açmaktadır. Sıcak iş izni beraberinde bir takım ihlalleri de getirmektedir. Örnek olarak seçilen Dupont tesisindeki kaza, görünüşte basit bir sıcak iş onarım kazası gibi görünmekte ancak süreç boyunca birçok ihlal olduğu için olaylar ve nedensel faktörler yöntemi ile analiz edilmiştir.

Çizelge 1. ABD Kimyasal Güvenlik Kurulu'nun araştırması tamamlanmış kaza tipleri dağılımı [4]

Kaza Tipi	Kaza Sayısı	Oran (%)
Kimyasal salınım	18	18,2
Yangın	17	17,2
Petrol ve rafinaj kazası	15	15,2
Reaktif olay	12	12,1
Toz patlaması	8	8,1
Kimyasal toz-yangın	7	7,1
Topluluk etkisi	6	6,0
Buhar kazaları	6	6,0
Sıcak iş kazaları	6	6,0
Kısıtlı alan kazaları	4	4,0
TOPLAM	99	100

Endüstriyel kazalar üzerine yapılan araştırmalara göre, insan hataları nükleer endüstrilerdeki kazaların %90'ından, kimya endüstrilerindeki kazaların %80'inden, deniz kazalarının %75'i ve havacılık kazalarının %70'inden sorumlu olduğu bildirilmiştir [5]. ABD Kimyasal Güvenlik Kurulu, 1990'dan bu yana tanklardaki sıcak çalışma faaliyetlerinden kaynaklanan patlamalar ve yangınlar nedeniyle 60'tan fazla ölüm yaşandığını bildirmiştir. 8 Şubat 2017'de Louisiana da bir konteyner fabrikasında meydana gelen tank patlamasında sıcak iş izni ile ilgili bir takım ihlallerin kök sebepler altında olduğu gösterilmiştir. 11 Ocak 2006'da Florida'da bir belediye atık su arıtma tesisinin metanol depolama tankında patlama meydana gelmiştir. Patlamanın ana nedeni sıcak iş çalışması ihlali olarak gösterilmiştir. Amerika'da kurulu atık ve geri dönüşüm kuruluşu olan Philip Services Corporation'da 35 tonluk bir atık yağ depolama tankının üzerinde bir patlama meydana gelmiş ve kaza incelemesi yapan yetkili itfaiye departmanı kaynak işlemi sırasında tankın havalandırma alanının içine ve çevresine kıvılcım düştüğü sonucuna varmıştır. İtfaiye raporunda tankın içindeki malzemelerin tutuşarak patlamaya ve yangına neden olduğunu, müteahhitlerin tankı çevreleyen alan içinde kaynak yapmaya yetkili olmadığını, kaynak için sıcak çalışma izni verilmediğini ve yanıcı gaz izleme yapılmadığını raporlamıştır. Görüldüğü gibi sıcak iş kaynaklı

kazalar ölüm ve yaralanmalar hatta tesis ve orman yangınlarıyla sonuçlanmaktadır [4]. Ahrens tarafından 2021 yılında yayınlanan bir çalışmada 2014 ile 2018 arasındaki beş yıllık dönemde, yerel itfaiye birimleri, sıcak çalışma ile ilgili ekipmanı içeren yılda tahmini ortalama 4.580 yapı yangınına müdahale ettiğini ve bu yangınların yılda ortalama 22 sivilin ölümüne, 171 sivilin yaralanmasına ve 484 milyon dolarlık doğrudan maddi hasara neden olduğunu bildirmiştir [6]. NFPA (National Fire Protection Association, Amerika Birleşik Devletleri Yangından Korunma Kurumu), birçok ölüm ve hasarın meydana geldiği sıcak çalışma kazalarının %36 oranında kaynak torçundan, %22 oranında kesme torçundan ve %17 oranında lehimleme ekipmanlarından kaynaklandığı bildirilmiştir [7]. Wang ve arkadaşları tarafından 2022 yılında yayınlanan bir çalışmada Çin'de son üç yılda ortalama 150 proses kazası meydana geldiği ve bu kazalarda 225 kişinin öldüğü bildirilmiştir [8].

2. MATERYAL VE METOT

Kazaların nedenlerinin araştırılması ve belirlenmesi için, 5 neden, balık kılıcı analizi, hata ağacı analizi (fault tree analysis, FTA), problem ağacı analizi (problem tree analysis, PTA) ve daha pek çok farklı kök neden analizi yöntemi vardır. Belirli bir vaka çalışması için seçilen teknik, mevcut bilgiler, araştıran personelin teknik bilgisi ve eldeki sorunun karmaşıklığı hakkında duruma göre değişebilir [9] Bu çalışmada olası nedenleri belirlemek ve kategorize etmek için olaylar ve nedensel faktörler (events and causal factors) yöntemi [10] ile kaza nedenleri 5 kısımdan oluşan diyagramlar halinde gösterilmiş ve balık kılıcı metodu (Ishikawa diyagramı) ile analiz edilmiş kök sebeplere ulaşılmaya çalışılmıştır.

Olaylar ve Nedensel Faktörler (ECF) tablosu, bir kazanın meydana gelmesi için gerekli ve yeterli olayları ve nedensel faktörleri mantıklı bir sırayla gösterir. Sadece kazayı analiz etmek ve soruşturma sırasında kanıtları değerlendirmek için değil, aynı zamanda kaza öncesi sistem analizlerini doğrulamaya da yardımcı olur [10]. ECF çizelgesi olayları tek özneler ve etkin fiillerle karakterize

edilen olaylarla birlikte dikdörtgenler içinde soldan sağa kronolojik sırayla kaydeder. Her olay bir öncekinden türetilmiştir. Olaylar için gerekli koşullar, olaylar dizisinin üstünde ve altında ovaler halinde gösterilir. Olaylar düz çizgilerle, koşullar kesikli çizgilerle birbirine bağlanır. Kanıta dayalı olanlar sağlam bir çerçeveye sahipken, varsayıma dayalı olanlar kesikli bir çerçeveye sahiptir. Birden fazla veya dallara ayrılan olaylar dizisi olabilir [10]. İncelenen kazada olaylar ve nedensel faktörler tabloları 5 kısma ayrılarak ve her kısmının bitiminde harf ile bir sonraki tabloya bağlanarak verilmiştir.

Balık kılçığı veya Ishikawa diyagramı, bir odak olayının olası nedenlerini tanımlamaya, analiz etmeye ve sunmaya yardımcı olan bir tekniktir. Bir beyin fırtınası oturumu yapılandırmak ve daha fazla kanıtın aranabileceği fikirler önermek için kullanılabilir. Teknik, Kaoru Ishikawa tarafından icat edilmiştir ve bir olay ile onu etkileyen tüm faktörler arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak gösterir. Bu teknik, görünümünden dolayı "balık kılçığı diyagramı" olarak da anılmaktadır [11].

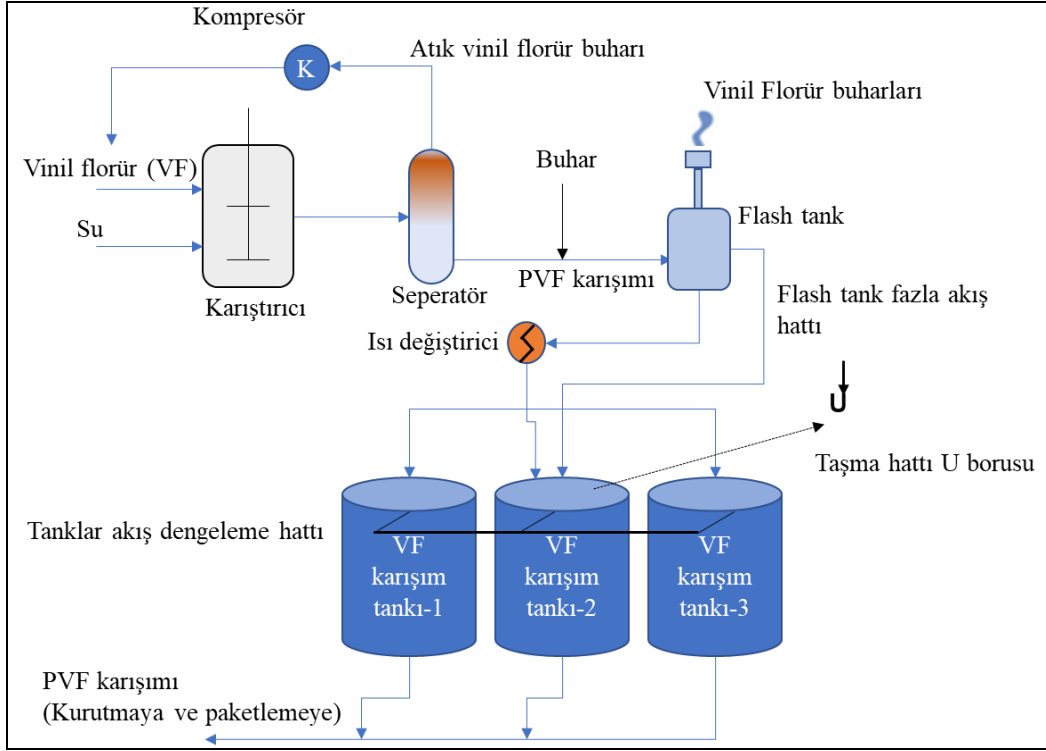
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Proses ve Kaza Açıklaması

DuPont de Nemours & Co Inc.'e ait tesis Bufalo, New York'da kurulmuş olup güneş panellerinin filmini ve mutfak tezgahlarında kullanılan kaplama malzemesini (Tedlar) üretmektedir. Tedlar üretiminde kullanılan vinil florür (VF) Dupont'un başka bir tesisinde üretilip karayolu ile Bufalodaki tesise nakledilir ve yüksek basınçlı tanklarda depolanır. VF, Bufalo tesisinde polivinil florüre (PVF) dönüştürülür [12]. Vinil florür, C_2H_3F kimyasal formülüne sahip organik bir halojenürdür. Eter benzeri bir kokuya sahip renksiz bir gaz olan VF polivinilflorürün hammaddesi olarak kullanılır [13]. NFPA 704 yangın dörtgenine göre yanıcılığı 4, reaktivite seviyesi ise 2 olan [14] ve F radikali ile bağlandığında patlayıcılığı artan bir kimyasaldır. Patlama limitleri %2,6 ile %21,7 arasındadır [14]. Dolayısıyla patlama aralığı oldukça geniştir.

Kazanın meydana geldiği sahada üç adet 3 m çapında vinil florür tankı olduğu ve tankların 6 m yüksekliğinde ve 40 ton kapasiteye sahip olduğu tespit edilmiştir. PVF sistemi bir karıştırıcı reaktör, bir seperatör, bir kompresör ve bir flaş tankından oluşmaktadır (Şekil 1). Tank cidarı ve üst kısmı 6 mm kalınlığında paslanmaz çeliktir. Her tank üstü 60 cm çaplı bir yol üzerinde menteşeli, sızdırmaz çelik bir kapağa ve büyük bir karıştırıcı motor tahrikine ve dişli kutusuna sahiptir. Karıştırıcı tertibatı, doğrudan tank üstüne kaynaklanmış yapısal çelik kirişlere monte edilmiştir. Bulamaç tankı besleme ve tahliye hatları izolasyon vanaları ile donatılmıştır. PVF bulamaç tankları, tankların üst kısmına yakın bir yere bağlı ortak bir taşma hattına sahiptir. Taşma hattına kör flaşlar takılır ve bir veya iki tank çalışıyorsa, üçüncüsü bakımdayken bir tankı diğerinden izole etmesi için yerleştirilmiştir. 1 m çapındaki flaş tankı, küçük konsantrasyonlarda yanıcı buharı doğrudan ortam atmosferine verir, bu nedenle alan patlama tehlikeleri mevcut olduğunda personeli bilgilendirmek için yanıcı bir buhar hava izleme cihazları ile donatılmıştır. Sürekli hava monitörleri bulamaç tankının üç yanında ve flaş tankı havalandırma borusunun yakınında yürüme yolu üzerinde bulunur. Herhangi bir cihaz kendi ayar noktasının üzerinde yanıcı buhar tespit ederse, Tedlar kontrol odasındaki bir alarm devreye girer. Düşük alarm ayar noktası alt patlama sınırının (LEL) %10'u, yüksek alarm ayar noktası LEL'in %2'sidir [12].

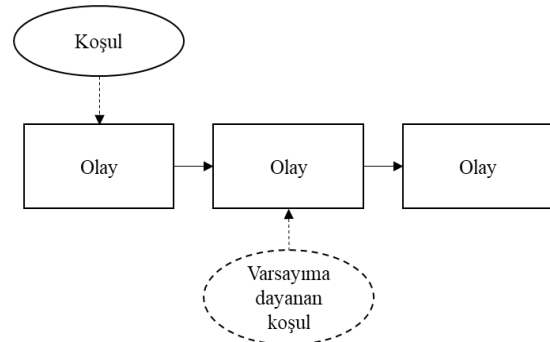
Başka bir tesisten tankerle getirilen VF tanklara aktarıldıktan sonra pompa ile reaktöre iletilir. Burada su ile karışım oluşturulur ve karışım seperatöre verilir. Seperatörde VF atık buharları kompresör ile tekrar reaktör giriş hattına, PVF bulamacı ise flaş tankına nakledilir. Nakil sırasında PVF hattına buhar enjekte edilerek bulamaçta kalan VF buharları uzaklaştırılır. Flaş tankındaki karışım bir boru hattı ile tanklara alınır. Tankların üst kısmında taşma hattı her üç tankı birbirine bağlanmıştır (Şekil 1) [12].



Şekil 1. PVF Prosesi akış diyagramı

3.2. Kazanın ECF ile Analiz Edilmesi

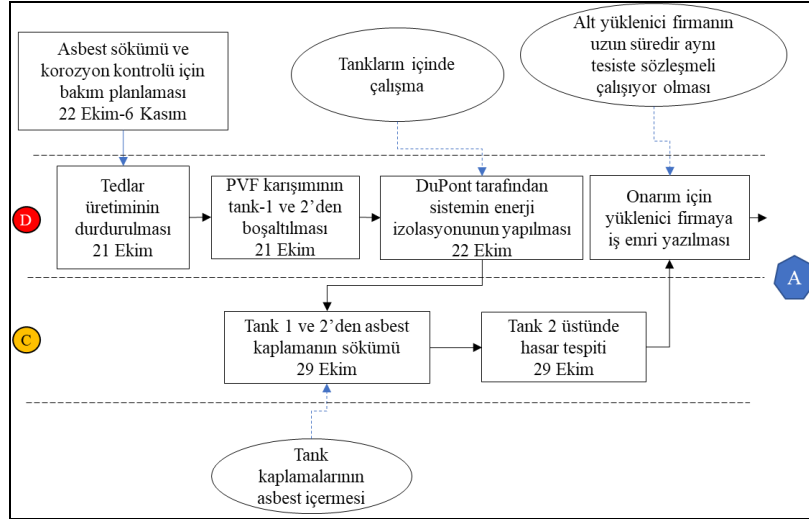
Dupont tesisinde meydana gelen bu kaza ABD Kimyasal Güvenlik Kurulu CSB'nin araştırma raporları, tutanakları ve yayınladığı bültenlerdeki bilgiler ışığında ECF yöntemi ile şematik olarak gösterilmiştir. Bu gösterimde kullanılan mavi altıgen içindeki harf sembolü ile diyagramın diğer sayfada devam ettiği anlatılmaktadır. Ayrıca diyagramda kırmızı yuvarlak içindeki D sembolü sürecin Dupont çalışanları tarafından gerçekleştirildiğini, sarı yuvarlak içindeki C ile belirtilen faaliyetlerin ise alt yüklenici (contractor) çalışanlarından gerçekleştirildiğini göstermektedir. X, y, z ve t sembolleri diğer şekillerde gösterilen diyagramın bağlantı noktalarını göstermektedir. Kaza incelemesi 5 kısma ayrılarak incelenmiştir. Aşağıda tipik bir olay ve koşul diyagramı verilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Olaylar ve koşullar diyagramı tipik gösterimi [15]

Tesiste 22 Ekim ile 6 Kasım tarihleri arasında sürecek bir bakım süreci planlanmıştır. Tanklar asbest içeren izolasyon ile kaplı olduğu tespit edilmiştir. Hem asbestten arındırmak hem de kontrolleri yapmak üzere 22 Ekim'de sistem bakım için durdurulmuştur. Tanklarda ki PVF bulamacı boşaltılarak tanklar LOTO (lockout tagout) ile kilitlenmiştir. Sahada bakım onarım işlerini yapan

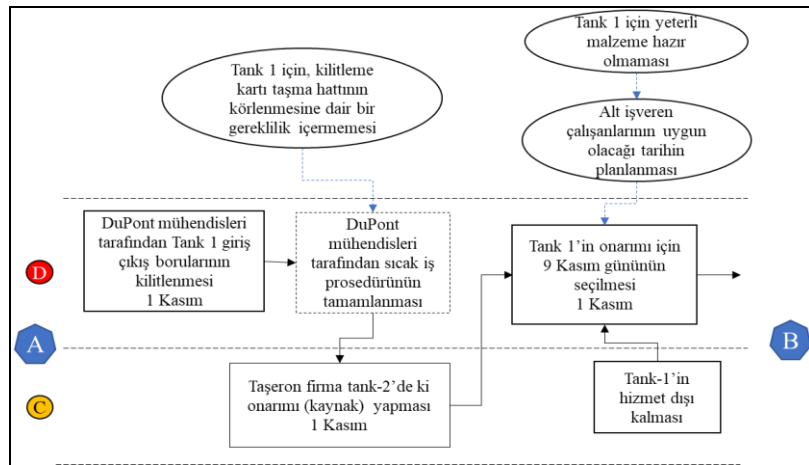
alt işverene bir iş emri ile tanklardaki bakım işi üzerinde hasar tespit edilmiştir. Onarım için verilmiştir. Asbest sökümü ve korzyon kontrolü için bakım planlaması 22 Ekim-6 Kasım



Şekil 3. Kazanın ECF diyagramı (kısım 1)

Bu kısımda bakım faaliyetinin başlaması ile hem ana işveren hem de yüklenici firma normal faaliyetlerde bulunmuştur. Bu kısımda üç adet koşul tespit edilmiştir. Birincisi tankların asbestli malzeme içermesi (sökümü gerektirmiştir), ikincisi tankların içine girilmesi (enerji izolasyonu gerektirmiştir), üçüncüsü de onarım işinin uzun

zamandır sahada iş yapan müteahhite verilmiş olmasıdır. Akış diyagramında D ile gösterilen adımlar DuPont tarafından, C ile gösterilen adımlar alt yüklenici tarafından yapılmıştır. Akışın A (mavi altıgen içinde) ile gösterilen kısım bir sonraki adımda Şekil 4'de devam etmektedir.



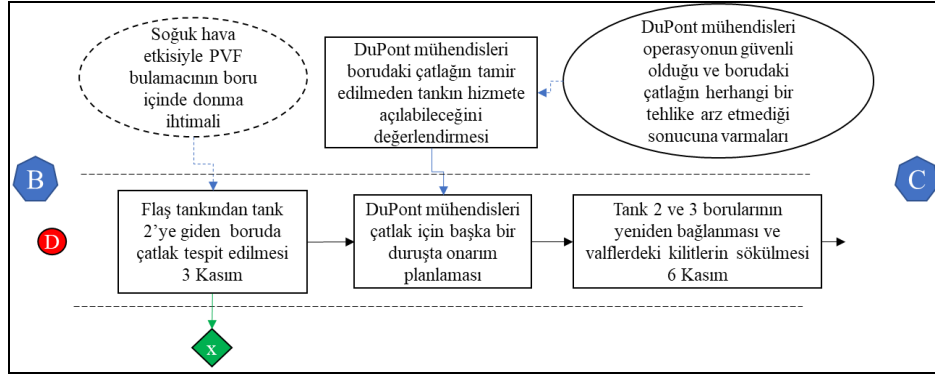
Şekil 4. Kazanın ECF diyagramı (kısım 2)

İkinci kısımdaki ECF diyagramına bakıldığında proses yönetimindeki aksamaların yavaş yavaş

başladığı bir sürece doğru girildiği görülmektedir. Taşma hattının körlenmemesi ve sıcak iş

prosedüründe de buna dair bir gereklilik olmaması bu kısımdaki en önemli nokta olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir diğer zayıf nokta ise bakım ve malzeme planlamasıdır. Tankların üzerinde bakım çalışması yapılırken tank 1 için yeterli malzeme

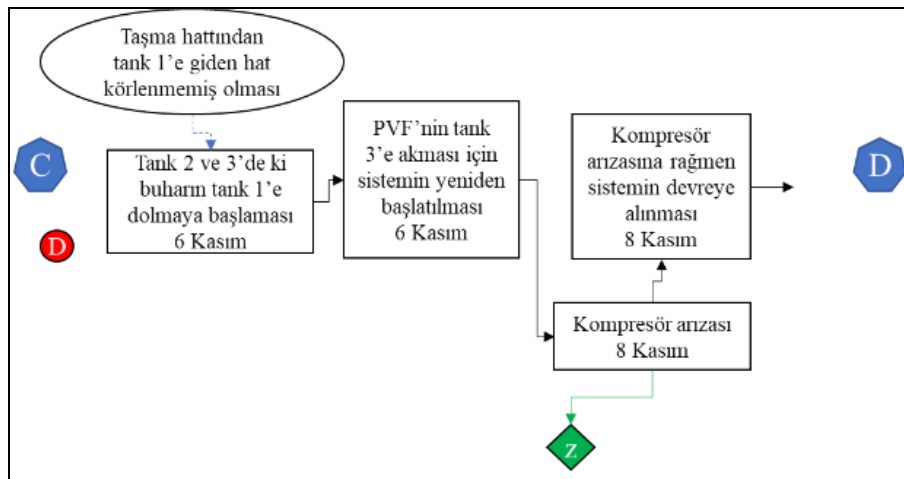
olmaması ve bu yüzden yüklenicinin müsait olacağı başka bir tarihe işin ertelenmesi eylemleri doğuran en önemli koşullar olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 4). Kısım 2'den sonra akış B ile gösterildiği gibi Şekil 5'de devam etmektedir.



Şekil 5. Kazanın ECF diyagramı (kısım 3)

Şekil 5'de ki analizin üçüncü kısmına bakıldığında iki adet koşul görünmektedir. Birincisi soğuk havanın etkisiyle PVF bulamacının boruda donarak boruyu çatlatması ve bu yüzden VF buharının tank 1'e dolma ihtimalidir. Bu koşul kesikli oval çizgiyle belirtilmiştir. İkinci koşul ise tesis mühendislerinin operasyonun güvenli olduğuna ve borudaki çatlakların herhangi bir tehlike arz etmediği sonucuna varmalı olarak belirlenmiştir. Bu koşul ise güçlü kanıtlara dayandığı için düz oval ile gösterilmiştir. Kazanın

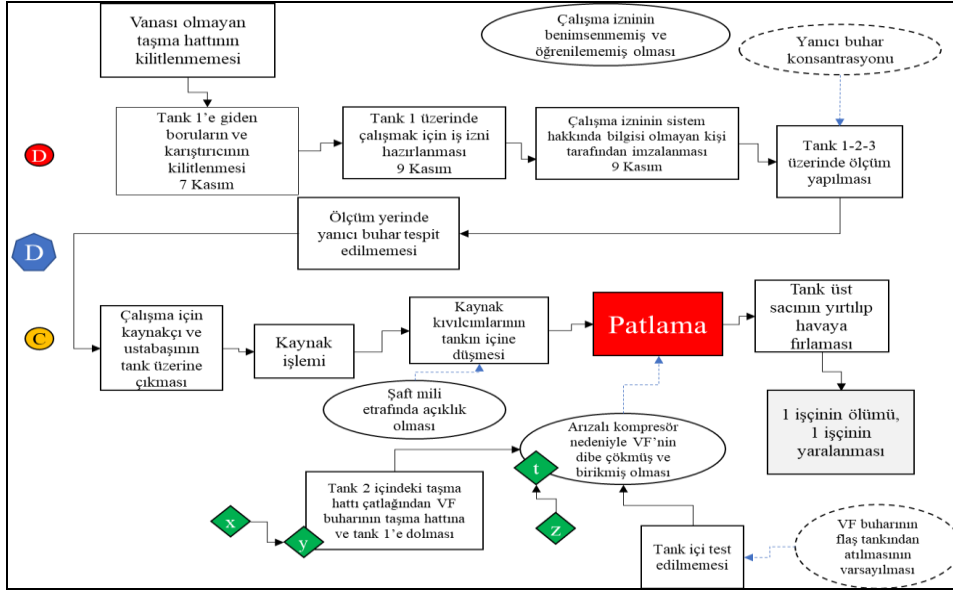
ana nedenlerinden olan VF buharının tank 1'e dolması bu kısımda başlamıştır. Şekil 5'de görüldüğü gibi yeşil dörtgen içindeki x patlamasının gerçekleşeceği kısma bağlanmıştır. Proses yönetimindeki diğer açıklar bu kısımda yine ortaya çıkmıştır. Mühendisler borudaki çatlakların herhangi bir tehlike yaratmayacağı (koşul) fikrine varmaları, tankın hizmete açılabilceği anlamına gelmiştir. Böylece tank 2 ve 3'de ki kilitler kaldırılmış ve sistem devreye alınmıştır. Akış, Şekil 5'den C sembolü ile Şekil 6'ya bağlanmıştır.



Şekil 6. Kazanın ECF diyagramı (kısım 4)

Bu aşamadan sonra borudaki çatlaktan tanklara dolan buhar taşma hattından tank 1'e dolmaya başlamıştır. Bu sırada atık VF'yi tanka döndüren kompresör arızalanmıştır. Bu arızaya rağmen sürece devam edilmiştir (Şekil 6). Kompresör

arızasının sistemdeki VF buharının konsantrasyonunun artmasına ve patlamayı hızlandırıcı etki yapması yeşil zeminde z dörtgeni ile gösterilmiş ve Şekil 7'de ki t dörtgenine bağlanmıştır.



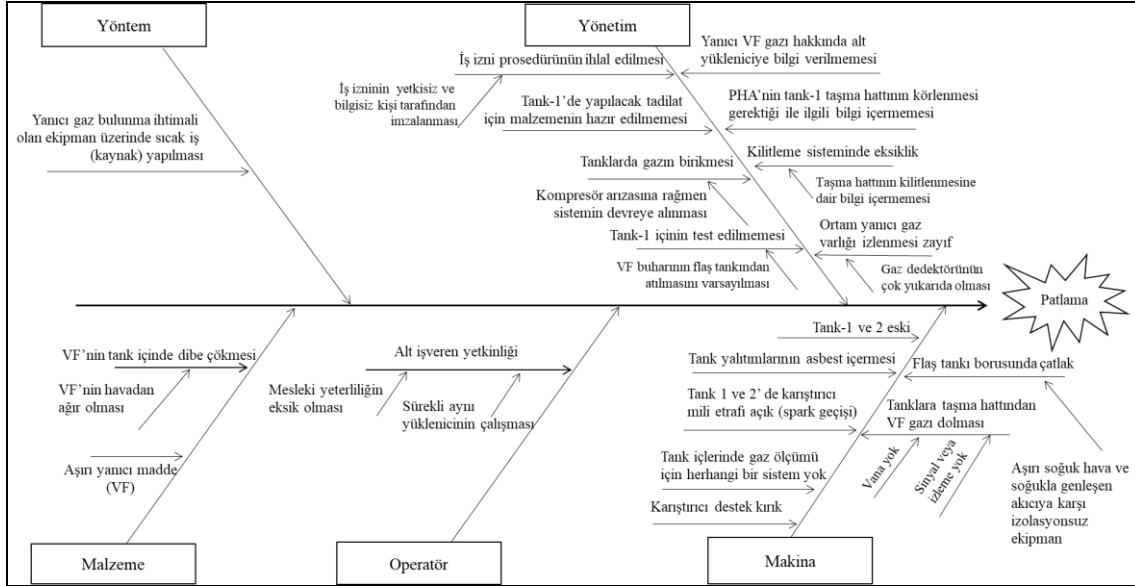
Şekil 7. Kazanın ECF diyagramı (kısım 5)

Son diyagramda (Şekil 7) da görüldüğü gibi patlama ihlallerin yoğunlaştığı 5. kısımda meydana gelmiştir. Patlamayı meydana getiren sürecin koşulları ve eylemleri bu kısımda irdelenmiştir. 7 Kasım günü tank 1 boruları ve tank üzerindeki karıştırıcı kilitlemiştir. 9 Kasım'da tank üzerinde çalışma yapmak için bir sıcak iş izni hazırlanmıştır. Müteahhit süpervizörü, bulamaç tankındaki onarım çalışmaları için gerekli sıcak çalışma iznini tamamlamıştır. İzin, yüklenicilerin bulamaç tankının üstünde yakma, kaynaklama ve taşlama işleri yapacağını belirtmiştir. Bu iznin gereklilik bölümünde, yanıcı malzemenin işin 1,5 m yakınında olup olmayacağı sorulmuştur. Sıcak çalışma, VF'yi atmosfere vermek üzere tasarlanmış bulamaç flaş tankının 1,5 m yakınında gerçekleştirilmesine rağmen bu bölüm risk değerlendirme sırasında atlanmıştır. Müteahhitler, Tedlar sürecine ve ilgili süreç ekipmanı hakkında bilgileri de eksik olduğu tespit edilmiştir. Çalışanlar, flaş tankının ne olduğunu veya içinde hangi kimyasalların bulunduğu hakkında

bilgilerinin olmadığı tespit edilmiştir. Tankların üzerinde buhar ölçümü yapılmış ancak herhangi bir yanıcı gaz tespit edilmemiştir. Bunun üzerine kaynak işlemine başlanmıştır. Kaynak işlemi sırasında kıvılcıklar karıştırıcı şaftı boşluğundan tank 1'in içine girmeye başlamıştır. Taşma hattından gelen VF gazı dibe çökmüş ve arızalı kompresör sebebiyle yoğunluğu artmıştır. Tank içi test edilmediği için kıvılcıklar ve üst tank sacı altında oluşan kaynak dikişinin oluşturduğu sıcaklık ile patlama meydana gelmiştir. Patlama ile üst sac havaya uçmuş ve bir kısmı tanka yapışık kaldığı için menteşe görevi görmüştür. Patlamada 1 işçi ölmüş, diğeri de ağır yaralanmıştır [12].

3.3. Kazanın Balık Kılçığı Yöntemi İle Kök Sebeplerinin Analizi

Kazanın balık kılçığı ile analizinde 5 adet ana başlık kullanılmıştır. Bunlar metod, yönetim, malzeme, insan (operatör) ve makine'dir.



Şekil 8. Kazanın balık kılıçlığı diyagramı

3.3.1. Metod

Tamiratın yapılması için seçilen metod, ark kaynağı yöntemidir. Burada tamirata başlamadan önce tank üzerindeki çelik profilin tanka sabitlenmesi için başka bir yöntem kullanılıp kullanılmayacağı hakkında bir analiz yapılması gerektiği halde yapılmamıştır. Amaç tehlikeyi ortaya çıkarmadan korunma hiyerarşisinin birinci adımını gerçekleştirmek olması gerektiği halde bu adımın atıldığı tespit edilmiştir. Somun cıvata ile birleştirme yapılabilmesi için önceden tankın iç kısmında göz ölçümü yapılması gerektiği eğer uygun ise delik delinerek cıvata sistemi ile birleştirme yapılması gerektiği tespit edilmiştir. İki yöntem arasında ki fark kaynak işleminde tank sac yüzeyinde oluşan sıcaklığın somun cıvata montajında açılan delik sırasında ki sıcaklığa göre daha fazla olmasıdır. Bu sıcaklıkta patlamayı tetikleyen etkenlerden biri olmuştur.

3.3.2. Yönetim

Kimyasal ekipmanların veya ürünlerin bulunduğu tesislerde proses yönetim sistemi kazaların önlenmesi için uygulanan sistemdir. Bu sistemde tanımlanan araçlara uyum son derece önemlidir.

Bu olayda yönetim sisteminde kazayı oluşturan etkenler şu şekildedir: İş izin sistemi yetkisiz kişi tarafından imzalanmış böylece izin sisteminde ihlal oluşmuştur. Yanıcı VF gazı hakkında kaynak yapan personele bilgi verilmemesi de önemli bir eksiklik olarak tespit edilmiştir. Burada alt işveren yönetiminde eksiklikler olduğu göze çarpmaktadır. Proses tehlike analizinin eksik yapılmasından dolayı taşıma hattının körlenmesi gerektiği atlanmış böylece yanıcı buhar kaynak yapılan tanka dolmuştur. Loto prosedürü de bu aşamada herhangi bir gerekliliğe işaret etmediği için proses emniyeti yönetiminde açıkların olduğu tespit edilmiştir.

3.3.3. Malzeme

Patlama vinil florür tankında meydana gelmiştir. Proses gereği vinil florürün tankta bulunması kaçınılmazdır. Burada vinil florür patlamayı oluşturan ana etken olduğu ortadadır. VF havadan ağır olduğu için dibe çökmüş ve gaz algılayıcılar tarafından tespit edilememiştir.

3.3.4. İnsan

Tankta meydana gelen patlamada çalışan kaynakçı bir alt işveren elemanı olarak çalışıyordu. Kaynak

işlemini yapacağı tankın içeriği ve genel proses hakkında bilgisi olmadığı için kazanın önemli etkenlerinden olan insan başlığı oluşturmaktadır.

3.3.5. Makine

Makine başlığı içinde tanklar ele alınmıştır. Tanklarda ki fiziksel eksiklikler kazanın meydana gelmesinde etkili rol oynamıştır. Örneğin patlama yaşanan tankta karıştırıcı mili etrafındaki açıklık kaynak kıvılcıklarının tank içine girmesini sağlamıştır. Bir başka fiziksel hata tankların içinde gaz izleme sistemi olmaması kazanın oluşumuna etki eden etkenlerdendir. Tanklarda ki taşma hattında vana veya herhangi bir körleme sistemi olmaması yanıcı gazın tanka dolmasına olanak sağlamış kaynak sıcaklığı ve kıvılcıklar ile ateş alarak patlamaya sebep olmuştur.

4. SONUÇLAR

Şekil 8'den de anlaşılacağı gibi kazayı oluşturan ihmallerin yaklaşık %80'i (ana kılıçığı oluşturan yan kılıçıklar) yönetim ve makine kısmında toplanmıştır. Bu sonuçta sıcak iş kazalarının proses emniyeti ve tasarım yönetiminde oluşacak ihmallerden kaynaklandığını net olarak ortaya koymaktadır. Proses emniyet yönetimi balık kılıçığının yönetim kısmında yer almaktadır. Proses emniyeti çatısı altında tesislerin emniyetli yönetimi için en önemli 6 prosedür aşağıda verilmiştir.

1. İş İzni Sistemi
2. EKED Sistemi
3. Proses Tehlike Analizi
4. Alt İşveren Yönetimi
5. Bakım Yönetim Sistemi
6. Değişim Yönetim Sistemi

İş izin sistemi uygulamasında sahada yetkisiz ve patlamanın yaşandığı tesis ile ilgili teknik bilgisi yetersiz bir kişi tarafından imzalanmış olması hata sürecinin onaylanmış olması anlamına gelmektedir. Ayrıca işi yapacak olan çalışanları tankların içindeki madde hakkında bilgilerinin yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Sıcak iş izni aynı zamanda bir ön risk değerlendirmesidir ve kaza günü patlamanın yaşandığı tankların hemen yanında tüm ilgililer ile yapılmadığı için kaynakçı

ve ustabaşının yanıcı madde ile ilgili bilgisinin yetersiz kalmış ve süreç devam etmiştir. Sürecin devamında tank içi gaz ölçümü yapılmadan işe başlandığı için sonuç patlama ile neticelenmiştir. Jahangiri 2015'te yayınladığı bir makalede iş izni sürecinde en yüksek insan hatası olasılığının "yanıcı gaz testi" (0,507) ile ilgili olduğunu belirtmiş, ortalama insan hatası olasılığının 0,112 olduğunu göstermiştir [5]. Flaş tankındaki U boru çatlağı tank-2 ye VF'nin akmasına sebep olması ve bu durumun bir tehlike yaratmayacağını varsayılması tesisin PHA (Process Hazard Analysis)'da ki eksik bir konu olarak öne çıkmaktadır. PHA'da tankın içine buhar sızıntısı gibi bir öngörü ile belirtilmiş olsaydı kaynak çalışması öncesi sistem kapatılabilir ve kaynak işlemi iptal edilebilme olasılığının olduğu tespit edilmiştir. Tasma hatlarında vana olmaması ve taşma hattının her 3 tanka doğrudan bağlı olması olası sızıntılarda bakım çalışmalarında tehlike riske dönüşme ihtimalini artırmaktadır. Tasarım hatasına rağmen tank-1 de ki kaynak işlemi öncesinde tanka bağlı olan tüm boru hatlarının körlenmemiş olması patlamayı doğurmuştur. Onarım çalışmasında kaynak yönteminin oluşturduğu kıvılcıklar karıştırıcı mili etrafında ki açıklıktan tank içine girmesi alt işveren yönetimi ve bakım onarım işlerinde uygulanması gereken prosedürde açıklar olduğunu göstermektedir. Örneğin kaynak işlemi sırasında kıvılcıklara karşı herhangi bir önlemin (battaniye gibi) alınmadığı tespit edilmiştir.

ABD Kimyasal Güvenlik Kurulu (CSB) 1990'dan beri sıcak çalışma işlerindeki patlama ve yangınlardan dolayı 60'tan fazla ölüm meydana geldiğini tespit etmiştir. Sıcak çalışmanın tehlikeleri iyi belirlenmiş ve uygulama kılavuzları mevcut olsa da, sıcak işle ilgili yangın ve patlamalarda sık ölümler ve ciddi yaralanmalar meydana gelmeye devam etmektedir. CSB, araştırdığı kazalar arasında işçi ölümlerinin en yaygın nedenlerinden birinin sıcak iş olduğunu tespit etmiştir [12].

Bu çalışmada bir kimya tesisinde meydana gelen sıcak iş kazası olayı kök sebep analiz tekniklerinden ECF ve Balık kılıçığı yöntemleri ile analiz edilmiştir. Balık kılıçığı diyagramından elde

edilen verilere göre kazanın 16 nedeninin 8'i yönetim başlığında bulunmaktadır. Bu sonuca göre tesisler PSM prosedürlerini eksiksiz olarak uygulamalı ve PHA'lerinde bütün tehlikeli alanları dahil etmelidir. Çalışma ayrıca sıcak iş kazası riski bulunan tesislerin PSM'lerinde ki risk değerlendirmeleri ve talimatları için tekrar gözden geçirme ve her bir kılçık (kök) veya her bir ECF kutucuğundaki olgu için aksiyon alma fırsatı oluşturmalıdır. Ayrıca gelecekte bu tip kazanın yaşanmaması için dünyaca kabul görmüş araçlar, tesisler için kırmızı çizgi niteliğinde olmalı ve tolerans gösterilmeden uygulanmalıdır. Diğer iyi güvenlik uygulamalarıyla birlikte aşağıda verilen yedi önemli konuyu uygulamak, sıcak işlerden kaynaklanan ölümleri ve yaralanmaları önleyebilir.

- Alternatif birleştirme yöntemi bulunup bulunmadığını düşünmek ve varsa kıvılcım çıkarmayan işlem tercih edilmelidir.
- Sıcak çalışmaya başlamadan önce, işin kapsamını, potansiyel tehlikeleri ve tehlike kontrol yöntemlerini tanımlayan bir tehlike değerlendirmesi yapılmalıdır. Tüm alanlar kapsama alanına alınmalıdır.
- Yanıcı bir atmosferin beklenmediği alanlarda bile, sıcak çalışma öncesinde ve sırasında kalibre edilmiş bir yanıcı gaz izleme cihazı ile çalışma alanında etkili gaz izleme gerçekleştirilmelidir.
- Tank ve boru sistemlerinde sıcak çalışma yapılmadan önce tüm girişler açılarak sistem havalandırılmalı ve test edilmelidir.
- Yazılı iş izin prosedürünü eksiksiz ve bu konuda bilgisi olan kişiler uygulamalıdır.
- Tüm personele sıcak iş ve tehlikeleri konusunda düzenli aralıklarla eğitilmelidir.
- Sıcak çalışma yürüten yükleniciler için güvenlik denetimi sağlanmalı ve yükleniciler yanıcı malzemelerin mevcudiyeti dail sahaya özgü tehlikeler hakkında bilgilendirilmelidir [16].

Sıcak iş izin formu bir formdan ziyade bir ön tehlike analizidir. Bu sistem yüksek riskli durumlarda (sıcak işler, kapalı alan girişleri, bakım faaliyetleri, tehlikeli madde taşıma ve elektriksel veya mekanik izolasyonlar) kullanılması

gerekebilir. Bu sistemde sorumluluk sahibi bireyler çalışma prosedürlerini değerlendirmeli ve tüm aşamalarında güvenliği kontrol etmelidir. Ayrıca, izinler saha yöneticileri, tesis denetçileri ve operatörler arasında etkili iletişim araçlarıdır [17].

Bu çalışmada incelenen kaza 2010 yılında gerçekleşmiştir. Günümüzde eski iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarına göre birçok gelişme olmasına rağmen benzer kazalar yaşanmaktadır. Bu kazalar ECF yöntemi ile analiz edilip kazayı oluşturan faktörlerin her birisine kalıcı önlemler alınması bu tip kazaların bir daha yaşanmamasına yardımcı olacaktır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmada değerli desteklerini sunan Sn.Sedat Can TÜRK'e ve Sn. Kerem TOPAL'a teşekkürlerimizi sunarız.

6. KAYNAKLAR

1. Behie, S.W., Halim, S.Z., Efaw, B., O'Connor, T.M., Quddus, N., 2020. Guidance to Improve The Effectiveness of Process Safety Management Systems in Operating Facilities. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 68 104257.
2. Nwankwo, C.D., Theophilus, S.C., Arewa, A.O., 2020. A Comparative Analysis of Process Safety Management (PSM) Systems in the Process Industry. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 66(2020) 104171.
3. Hale, A.R., Heming, B.H.J., Smit, K., Rodenburg, F.G.Th., van Leeuwen, N.D., 1998. Evaluating Safety in the Management of Maintenance Activities in the Chemical Process Industry. Safety Science, 28(1) 21-44.
4. Chemical Safety Board (CSB) <https://www.csb.gov/investigations/completed-investigations/?Type=2>, Erişim Tarihi: 10.12.2021.
5. Jahangiri, M., Hoboubi, N., Rostamabadi, A., Keshavarzi, S., Hosseini, A.A., 2015. Human Error Analysis in a Permit to Work System: A Case Study in a Chemical Plant, Safety and

- Health at Work, 7 (6-11).
6. Ahrens, M., 2021. Structure Fires Caused by Hot Work, NFPA Research.
 7. <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/US-Fire-Problem/Fire-causes/osHotWork.ashx>, Son Erişim:30.12.2021.
 8. Wang, B., Zhu, Z., Wu, C., Zhang, H., Liao, X., 2020. PDE Accident Model From A Safety Information Perspective And Its Application to Zhangjiakou Fire And Explosion Accident, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 68, 104333.
 9. NFPA, <https://www.nfpa.org/Training-and-Events/By-topic/Hot-Work>, Erişim Tarihi: 30.12.2021.
 10. BS EN 62740: 2015 C.2, Events and Causal Factors (ECF) Charting, C.8 Fishbone or Ishikawa Diagram.
 11. Sivaraman, S., Varadharajan, S., 2021. Investigative Consequence Analysis: A Case Study Research of Beirut Explosion Accident, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 69, 104387.
 12. U.S. Chemical Safety Board, Investigation Report, 2010, E.I. DuPont De Nemours Co. Fatal Hotwork Explosion. <https://www.csb.gov/e-i-dupont-de-nemours-co-fatal-hotwork-explosion> U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation.
 13. Solomons, T.W.G., 1998, Organic Chemistry, Fourth Edition, 242-446.
 14. Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Vinyl_fluoride, Erişim Tarihi: 21.12.2021.
 15. Inel, B., Inel, C., 1995. Events and Causal Factors Analysis, Technical Research and Analysis Center Scientech, Inc., Idaho, 12.
 16. CSB, 2018. CSB's Drivers of Critical Chemical Safety Change, Safe Hot Work Practices. <https://www.csb.gov/recommendations/hot-work/>, Erişim Tarihi: 10.05.2022.
 17. HSE, <https://www.hse.gov.uk/safemaintenance/permits.htm>, Erişim Tarihi: 15.11.2021.

FMEA Based Fuzzy Topsis for Assessment of Quality Problems in Telescopic Platform Production

Mahire Seray BOCUT¹ ORCID 0000-0003-1251-9486
Nuşin UNCU^{*2} ORCID 0000-0003-3030-3363

^{1,2}Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering,
Department of Industrial Engineering, Adana

Geliş tarihi: 15.04.2022 Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: BOCUT, Ö.S., UNCU, N., (2022). FMEA Based Fuzzy Topsis for Assessment of Quality Problems in Telescopic Platform Production. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 875-884.

Abstract

In order to increase process and product quality fast and least costly, it is very useful to focus on the process that causes the important quality problems. In this study, quality problems and related processes in a company that produces on-vehicle equipment in the automotive industry are examined. The purpose of this study is to provide a quality improvement perspective to reduce process and product defects. Fault Mode and Effects Analysis (FMEA) is applied to detect faults, determine their causes and prioritize them. Prioritization of critical quality errors is revealed using traditional FMEA and FMEA-based fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). The FMEA-based fuzzy TOPSIS method has been proposed because of its ability to handle uncertainty arising from the subjective judgments of decision makers. The results are compared and the preventions are suggested to avoid from the most important process that causes the quality problem.

Keywords: FMEA, Failure, Fuzzy TOPSIS, On-vehicle equipment, Multicriteria decision making

Teleskopik Platform Üretiminde Kalite Sorunlarının Değerlendirilmesi için FMEA Tabanlı Bulanık Topsis

Öz

Proses ve ürün kalitesini hızlı ve en az maliyetli şekilde arttırmak için önemli kalite sorunlarına neden olan prosese odaklanmak oldukça faydalıdır. Bu çalışmada otomotiv sektöründe araç üstü ekipman üretimi yapan bir firmada kalite sorunları ve buna bağlı süreçler incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, süreç ve ürün hatalarını azaltmak için kalite iyileştirme perspektifi sağlamaktır. Arızaları tespit etmek, nedenlerini belirlemek ve önceliklendirmek için Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) uygulanmıştır. Kritik kalite hataları geleneksel HTEA ve HTEA tabanlı bulanık İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama tekniği (TOPSIS) kullanılarak ortaya konulmuştur. HTEA tabanlı bulanık TOPSIS yöntemi,

*Corresponding author (Sorumlu yazar): Nuşin UNCU, nuncu@atu.edu.tr

karar vericilerin öznel yargılarından kaynaklanan belirsizliği ele alma yeteneği nedeniyle önerilmiştir. Sonuçlar karşılaştırılmış ve kalite probleminin neden olan en önemli proses hatası için önlemler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: HTEA, Hata, Bulanık TOPSIS, Araç üstü ekipman, Çok kriterli karar verme

1. INTRODUCTION

Sustainable success in competitive production depends especially on the quality of the products. Quality is the most important factor for companies to be permanent in the local and global market. One of the factors that negatively affect the business in the market is variability in the product or service quality. The main reason for the market losses that businesses face with is the exceeding level of quality variability than the acceptable level.

In the automotive sector, quality variability is experienced more intensely for high variety of products than the other sectors. It has been still labor-intensive in many processes and the process flow consists of multiple tasks. Therefore, the production and process failures may occur. These failures may result in major changes in the quality of the product. The customer dissatisfaction caused by these changes results in large monetary losses to businesses. For this reason, businesses use scientific analysis to identify failures and take action. FMEA (Fault Mode and Effects Analysis) is a useful tool for businesses to classify and prioritize the failures. The major advantage of this method is its applicability to all kinds of sectors. Purpose of the FMEA is to define potential errors of systems, processes or products, and determine their importance levels to take appropriate actions for preventing failures and the quality losses.

In this study, we propose a more reasonable failure evaluation framework using the integration of FMEA and fuzzy TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution). Firstly, the typical failure modes are obtained through brainstorming and the causes, effects and processes for the failure modes are determined. The experts are asked for the importance of failures and weights of FMEA components. As a

result, the proposed FMEA based Fuzzy TOPSIS approach has been proved to be a more accurate tool than the traditional FMEA.

In the second section of this paper, a literature review on the application of FMEA and Fuzzy TOPSIS techniques are given. In the material and methodology section, the problem is defined, the methods are explained and the application of methods in the telescopic platform production process is proposed. Finally, the results and a brief discussion is given in the conclusion.

2. LITERATURE REVIEW

Although FMEA is a very effective and reliable risk analysis technique, it is constantly criticized by researchers for some deficiencies in the calculation of the Risk Priority Numbers (RPN) [1-6]. It is quite difficult for an expert to decide on appropriate values for failure modes. Therefore, multi-criteria decision-making methods are used to make the analysis more objective. There are many multi-criteria decision-making methods integrated with FMEA in the literature. These methods are AHP (Analytic Hierarchy Process), VIKOR (Višekriterijumsko Kompromisno Rangiranje), ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité), PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations), TOPSIS, etc. Among these methods, TOPSIS has been widely used that offers collective analysis and produces more realistic solutions within the framework of fuzzy logic. These approaches have been commonly used at various phases of the product life cycle in several industries such as semiconductor processing, food service, plastic power plant, software and healthcare [7]. Various researchers have used FMEA based Fuzzy TOPSIS to analyse manufacturing and assembly processes. FMEA is used to detect critical failures

in processes for measuring the quality of products. A study of effects analysis for automotive industry was conducted by [8] using fuzzy TOPSIS and fuzzy AHP. Chang's fuzzy AHP approach was used to obtain the weights of the risk factors. Chen's fuzzy TOPSIS was utilized to obtain the closeness coefficients of processes. The AHP and fuzzy TOPSIS is used to assess the implementation of the lean and green supply chain in automotive industry [9]. A fuzzy TOPSIS approach for FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) was proposed in [1]. The fuzzy version of TOPSIS was applied allowing the traditional FMECA factors S, O, and D and their equally important weights to be evaluated using triangular fuzzy numbers. They applied this method for refrigerator production process. In [10], an industrial example regarding the manufacturing process of PCB (printed circuit board) was demonstrated. The failures causing the poor quality of the product were determined by FMEA. An optimization model for improving quality in a steel rolling mill is integrated to MCDM (Multi criteria decision making) in [11] to control the process parameters within the specified limits to improve the quality. An evaluation model based on FMEA used fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS was used in assessing the risk priority of the critical process in the rolling industry. By applying fuzzy TOPSIS integrated with AHP for FMEA, a fuzzy methodology was considered that allows experts to use language variables to describe severity, occurrence, and detectability. Using fuzzy FMEA and FQFD (fuzzy quality function distribution), the interface was implemented for improvement of the process and product development. Other FMEA and fuzzy TOPSIS applications to steel sheet production and knitting process can be found in [12] and [13], respectively. The FMEA and TOPSIS technique applied for risk assessment in a steel production company in [14]. In [15], the potential failure modes of a subsea control module were identified. A variant of Fuzzy TOPSIS based FMEA method was applied to analyse and prioritize the most critical failure modes. A FMEA based fuzzy TOPSIS was used to analyse the risk of human error concerning user experience for in-

vehicle equipment [16]. Another study was conducted as a part of an enterprise-wide cost improvement project in an international food company handling the problem of variability between the planned and the actual costs in [17].

The FMEA and FMEA based fuzzy TOPSIS methods have been used to assess the prioritization of many parameters in previous studies. In this study, the assessment of quality parameters related to processes and products is a new field of implementation of the methodology.

3. MATERIALS AND METHODS

The product is determined by Pareto analysis. The relative importance of the products is measured over their total sales value. The most sold products are in group A in Figure 1. These products are telescopic platform and garbage truck. The sales volume of the telescopic platform and the profit it provides to the company are higher than the other products. The quality of the product plays an important role in the customer satisfaction and the brand value of the company. For this reason, the failures that occur in the telescopic platform production are considered and FMEA is applied to investigate the quality causes.

3.1. Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

FMEA technique is used to answer the questions as in which level the failure affects the process, how often it occurs, and what the chance of detecting this failure. Three components are used to answer these questions mathematically. This value is the product of Severity (S), Occurrence (O) and Detectability (D) that are measurable in some scale. In this study, 1 to 10 scale is given at Table 1. The advantages of this scale are its acceptability of precision level and ease of use than other scales. The prioritization of the failures that are defined as quantitatively is articulated with the RPN (Risk Priority Number) value. RPN is calculated by $(S) \times (O) \times (D)$. RPN below 40 means no need to take precautions while greater than 100 requires precautions. The values between 40 and 100 indicates to take precautions if it is useful.

Table 1. RPN components and associated degrees

Severity	Occurrence	Detectability	Degree
Dangerous	Very high	Absolute uncertainty	10
Warning		Very difficult	9
Very high	High	Difficult	8
High		Very low	7
Middle	Medium	Low	6
Low		Medium	5
Very low	Low	Medium high	4
Small		High	3
Very small	Very Low	Very high	2
No		Almost certain	1

3.2. FMEA Based Fuzzy TOPSIS

of alternatives are considered as linguistic variables in Table 2.

Chen's fuzzy TOPSIS method is used in this study. The importance weights of criteria and the ratings

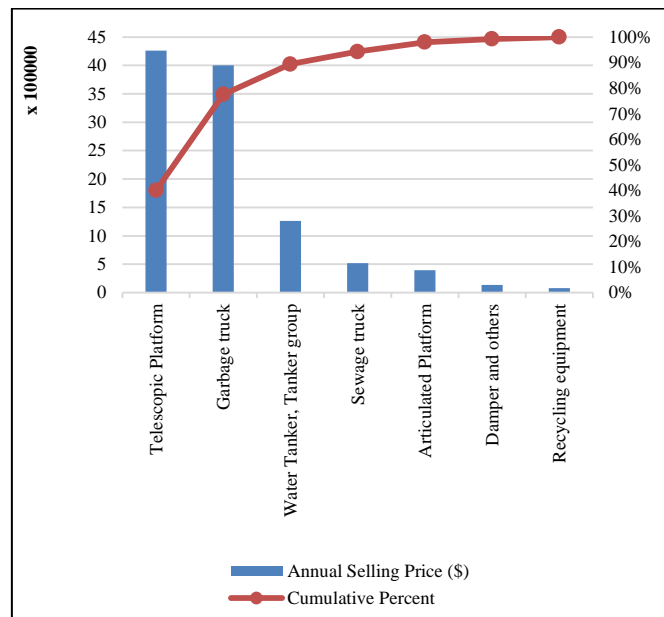


Figure 1. Pareto analysis of products

Table 2. Linguistic variables

For importance weight of each criterion		For importance weight of each alternative	
Very low (VL)	(0;0;0.1)	Very poor (VP)	(0;0;1)
Low (L)	(0;0.1;0.3)	Poor (P)	(0;1;3)
Medium low (ML)	(0.1;0.3;0.5)	Medium poor (MP)	(1;3;5)
Medium (M)	(0.3;0.5;0.7)	Fair (F)	(3;5;7)
Medium high (MH)	(0.5;0.7;0.9)	Medium good (MG)	(5;7;9)
High (H)	(0.7;0.9;1)	Good (G)	(7;9;10)
Very high (VH)	(0.9;1;1)	Very good (VG)	(9;10;10)

The importance weight of all j^{th} criterion \tilde{w}_{ij} and the weight of alternatives \tilde{X}_{ij} with respect to each criterion are calculated by Equations 1 and 2.

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

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

where \tilde{w}_j^k and \tilde{x}_j^k are the importance weight and the rating of the k th decision maker.

Obtaining weights of the criteria (\tilde{w}) and the ratings of alternatives (\tilde{x}) with respect to each criterion, a fuzzy decision matrix (\tilde{D}) can be expressed in matrix format for m alternatives and n criteria as follows:

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}$$

The normalization method is used to ensure the normalized triangular fuzzy numbers are in the [0,1] interval. The normalized fuzzy decision matrix shown by \tilde{R} and calculated by Equation 3.

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad i=1, 2, \dots, m \quad j=1, 2, \dots, n$$

$$r_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right) \quad (3)$$

$c_j^* = \max c_{ij}$, for the benefit criteria

The elements of the weighted fuzzy normalized decision matrix (\tilde{v}_{ij}) are calculated by Equation 4.

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} w_j \quad i=1, 2, \dots, m \text{ and } j=1, 2, \dots, n \quad (4)$$

The fuzzy positive-ideal solution (FPIS) and fuzzy negative-ideal solution (FNIS) are defined according to the weighted normalized fuzzy decision matrix. It is known that triangular fuzzy numbers belong to the closed interval [0,1]. FPIS

denoted as A^* and FNIS denoted as A^- are defined as (Equation 5).

$$A^* = \{ \tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^* \}, A^- = \{ \tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^- \} \quad (5)$$

where $\tilde{v}_j^* = (1,1,1)$ and $\tilde{v}_j^- = (0,0,0)$, $j=1, 2, \dots, n$

The distances (d_i^* and d_i^-) of each alternative A^* and A^- can be calculated by the vertex method which is defined to calculate the distance between two triangular fuzzy numbers. Let $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$ and $\tilde{b} = (b_1, b_2, b_3)$ be two triangular fuzzy numbers, then the formulas are given below (Equations 6, 7 and 8):

$$d(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]} \quad (6)$$

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), \quad i=1, 2, \dots, m \quad (7)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \quad i=1, 2, \dots, m \quad (8)$$

A closeness coefficient (CC_i) is defined to determine the ranking the order of alternatives once the d_i^* and d_i^- of each alternative have been calculated (Equation 9).

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-}, \quad i=1, 2, \dots, m \quad (9)$$

Finally, failure modes are ranked according to CC_i values.

3.3. Application of FMEA and Fuzzy TOPSIS

The processes that are responsible for the failures in products are selected from entire process activities after consulting with the engineers and experts working in the field. Three decision makers are quality engineer, process chief and design engineer. The modes of the failures to corresponding processes are given by their explanations in Table 3. The experts evaluated the failures based on the scale of RPN components.

Table 3. The failure modes and related processes

Process mode	Process	Explanation of modes (Failure mode)
M1	Receiving raw material	Incorrect determination of raw material type (M11)
M2	Pre-assembly	Incorrect assembly of the tower on the chassis (M21)
M3	Assembly	Spot welding the boom without centring the tower (M31) Improper fix of brackets and bolts (M32) Unbalanced basket (M33) Contact of hydraulic hoses under the basket with the vehicle body (M34) Wrong adjustment of the boom and chain (M35) Jolting in the basket while the platform is running (M36) Missing profile welding in the chassis (M37) Swinging booms too much during operation (M38)
M4	Hydraulic	Leaks in front right leg notching roller (M41) Hydraulic hoses touching sharp edges, no weather strip (M42)
M5	Coating	Lack of paint touch-ups and final cleaning (M51)
M6	Labelling	Attached wrong type label on the vehicle (M61) Lack of labelling of leg control valves (M62) Lack of labelling reflector that should be on the basket (M63)
M7	Accessory	Hydraulic control levers getting stuck in the control plate (M71) Not opening the rain holes of the basket and tool box (M72) Limitations used in right and left turns do not work (M73)
M8	Delivery	The platform to be sent is hard to fit in the truck (M81)

FMEA is applied to prioritize the 20 failure modes classified under 8 different processes. RPN values are calculated and given at Table 4. The ranking of RPN values of the failure modes is $M38 > M32 > M81 = M42 > M41 = M11 > M36 > M37 > M51 > M33 > M31 > M34 > M61 > M35 > M21 > M73 > M62 = M72 > M71 > M63$ and given in Table 4.

As a result of the analysis, the RPN values of some failure modes are equal. Thus, the maximum ranking is 17. Decision makers cannot pinpoint precisely which of the failures are more important.

This equality is the concern of unreliable FMEA results.

The shortcomings of traditional FMEA are eliminated by this method. The experts are prioritized the criteria (severity, occurrence, detectability) and alternatives (quality failures) based on the linguistic variables and these terms are converted to fuzzy numbers. The weights of criteria matrix of three decision makers and fuzzy decision matrix are given in Table 5 and Table 6, respectively.

Table 4. FMEA results

Failure mode	S	O	D	RPN	Rank
M11	5.67	2.67	2.67	40	4
M21	8.67	1.33	1.33	15	13
M31	8.67	1.67	1.67	24	9
M32	7.67	2.33	3.33	60	2
M33	4.33	3.67	1.67	26	8
M34	6.00	1.67	2.33	23	10
M35	6.00	2.00	1.33	16	12
M36	6.00	2.67	2.33	37	5
M37	5.33	2.67	2.33	33	6
M38	7.00	6.00	1.67	70	1
M61	3.67	2.00	2.33	17	11
M41	5.67	2.67	2.67	40	4
M42	6.00	3.00	2.67	48	3
M51	4.67	2.33	2.67	29	7
M62	3.33	2.00	1.67	11	15
M63	2.33	1.33	2.67	8	17
M71	3.67	1.33	2.00	10	16
M72	4.00	1.67	1.67	11	15
M73	5.33	1.33	1.67	12	14
M81	8.00	6.00	1.00	48	3

Table 5. Criteria weights of decision makers based on the linguistic variables

Criteria	DM 1	DM 2	DM 3	Weight
Severity (S)	(0.9,1,1)	(0.7,0.9,1)	(0.7,0.9,1)	(0.767,0.933,1)
Occurrence (O)	(0.5,0.7,0.9)	(0.5,0.7,0.9)	(0.3,0.5,0.7)	(0.433,0.633,0.833)
Detectability(D)	(0.7,0.9,1)	(0,0.1,0.3)	(0.5,0.7,0.9)	(0.4,0.567,0.733)

Table 6. Fuzzy decision matrix

Failure modes	Severity(S)			Occurrence (O)			Detectability(D)		
M11	3.333	4.667	6.000	0.333	1.333	3.000	0.333	1.333	3.000
M21	5.667	7.667	9.333	0.000	0.333	1.667	0.000	0.333	1.667
M31	5.667	7.333	8.667	0.000	0.667	2.333	0.000	0.333	1.667
M32	6.000	7.000	7.667	0.000	1.000	3.000	1.000	2.333	4.333
M33	1.667	3.000	5.000	1.000	2.333	4.333	0.000	0.667	2.333
M34	4.000	5.333	6.667	0.000	0.667	2.333	0.000	0.667	2.333
M35	3.333	5.000	7.000	0.000	0.667	2.333	0.000	0.333	1.667
M36	2.667	4.333	6.333	0.000	1.000	3.000	0.333	1.333	3.000
M37	2.667	4.000	5.667	1.000	2.000	3.667	0.333	1.333	3.000
M38	4.667	6.000	7.333	3.000	5.000	7.000	0.000	0.667	2.333
M41	2.667	4.333	6.000	0.333	1.667	3.667	0.333	1.333	3.000
M42	3.000	5.000	6.667	0.667	2.000	3.667	0.333	1.000	2.333
M51	1.333	3.000	5.000	0.000	1.000	3.000	0.000	1.000	3.000
M61	1.000	2.333	4.333	0.000	0.667	2.333	0.000	0.667	2.333
M62	0.333	1.667	3.667	0.000	0.667	2.333	0.000	0.333	1.667
M63	0.333	1.333	3.000	0.000	0.333	1.667	0.333	1.333	3.000
M71	1.000	2.333	4.333	0.000	0.333	1.667	0.000	0.667	2.333
M72	1.333	2.667	4.333	0.000	0.333	1.667	0.000	0.667	2.333
M73	2.000	3.667	5.667	0.000	0.333	1.667	0.000	0.667	2.333
M81	5.000	6.667	8.000	3.000	5.000	7.000	0.000	0.000	1.000

The linear normalization for benefit criteria is applied and related equations are used to construct normalized fuzzy decision and weighted fuzzy normalized decision matrices. Finally, the results of FMEA integrated fuzzy TOPSIS method are given in Table 7. $M38 > M81 > M32 > M42 > M31 > M37 > M41 > M21 > M11 > M36 > M33 >$

$M34 > M35 > M51 > M73 > M61 > M72 > M71 > M63 > M62$. The ranking order of all the alternatives closeness coefficient shows that the failure mode M38 has the highest priority, followed by the failure mode M81. There are no same priorities for failure modes like in FMEA.

Table 7. The distance of each failure to FPIS and FNIS, closeness coefficient

Failure mode	FPIS			d_i^+	FNIS			d_i^-	CC_i	Rank
	S	O	D		S	O	D			
M11	0.337	0.912	0.900	2.148	0.776	0.140	0.165	1.080	0.335	9
M21	0.347	0.871	0.900	2.118	0.734	0.199	0.165	1.098	0.341	8
M31	0.355	0.832	0.678	1.865	0.685	0.259	0.462	1.406	0.430	5
M32	0.757	0.871	0.856	2.484	0.304	0.199	0.233	0.736	0.229	3
M33	0.594	0.766	0.788	2.148	0.465	0.329	0.310	1.105	0.340	11
M34	0.560	0.802	0.788	2.150	0.485	0.269	0.310	1.064	0.331	12
M35	0.695	0.686	0.856	2.238	0.363	0.405	0.233	1.002	0.309	13
M36	0.707	0.832	0.816	2.355	0.360	0.259	0.303	0.922	0.281	10
M37	0.400	0.433	0.947	1.779	0.670	0.719	0.098	1.487	0.455	6
M38	0.818	0.871	0.900	2.589	0.247	0.199	0.165	0.611	0.191	1
M41	0.500	0.871	0.856	2.227	0.549	0.199	0.233	0.981	0.306	7
M42	0.848	0.912	0.788	2.548	0.202	0.140	0.310	0.652	0.204	4
M51	0.529	0.871	0.900	2.300	0.544	0.199	0.165	0.908	0.283	14
M61	0.587	0.832	0.788	2.208	0.482	0.259	0.310	1.051	0.323	16
M62	0.548	0.736	0.829	2.112	0.523	0.342	0.241	1.106	0.344	20
M63	0.757	0.912	0.856	2.525	0.304	0.140	0.233	0.677	0.211	19
M71	0.734	0.912	0.856	2.502	0.316	0.140	0.233	0.689	0.216	18
M72	0.647	0.912	0.856	2.415	0.420	0.140	0.233	0.794	0.247	17
M73	0.612	0.721	0.788	2.121	0.438	0.345	0.310	1.094	0.340	15
M81	0.442	0.433	0.856	1.731	0.612	0.719	0.233	1.565	0.475	2

The comparison of the rankings obtained by FMEA and FMEA based fuzzy TOPSIS method is depicted in Figure 2. The rankings for FMEA and FMEA-based fuzzy TOPSIS methods are illustrated with bold dashed lines and grey lines,

respectively. The number on the lines shows the ranking of the corresponding failure modes on the x-axis. However, the rankings of modes that cannot be distinguished by FMEA for 3,4 and 15.

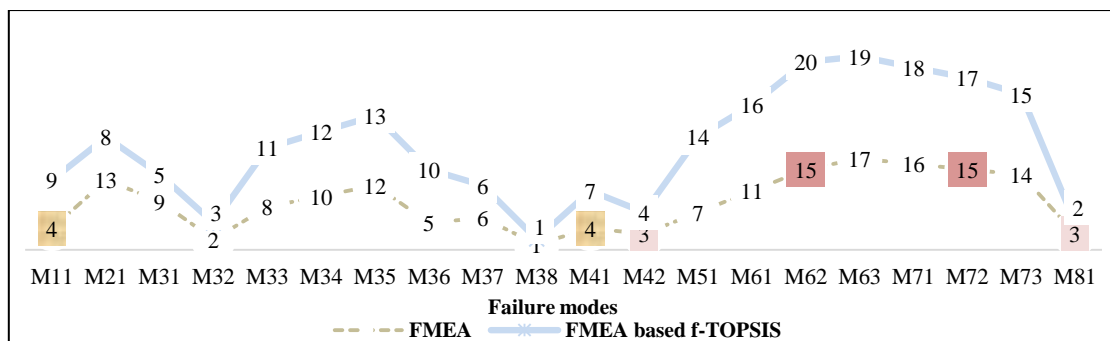


Figure 2. Comparison of rankings of both methods

Both methods indicate the main fault as swinging booms. After analysing the process, it is determined that the failure occur during the interlocking step of the main boom and primary boom. During this process, improper assembly of the booms and failures in the bending of the booms cause excessive swinging of the vehicle.

4. CONCLUSION

In this study, the quality problems are investigated due to the several causes in the telescopic platform production. FMEA and multi criteria decision making methods are used to reveal the critical failures. Traditional FMEA is used to evaluate the alternative failures according to severity, occurrence and detectability. However, the weakness of FMEA in distinguishing between failures that have the same RPN values is tried to be overcome with FMEA based fuzzy TOPSIS method.

As a result of the study, failure mode pairs M11&M41, M42&M81 and M62&M72 have the same rankings in FMEA, fortunately the similar rankings are distinguished by FMEA based fuzzy TOPSIS method. On the other side, the most important failure modes are M38 for both FMEA and FMEA based fuzzy TOPSIS method. According to the experts, these failures arise from the lack of the equipment in the loading platform, wrong calculations of dimensions for fitting in the truck and improper methods used while interlocking the booms. After meetings with decision makers, it is concluded that common quality problems occur due to unstandardized work tasks and unplanned assignment of works to workers.

Furthermore, some quantitative analysis can be done to analyse quality problems in depth, as well as the evaluation of the decision makers. Thus, some concrete improvements can be put forward by exploring the quality problems and quantifying the process improvement.

5. REFERENCES

1. Braglia, M., Frosolini, M., Montanari, R., 2003. Fuzzy TOPSIS Approach for Failure Mode, Effects and Criticality Analysis. *Quality and Reliability Engineering International*, 19(5), 425–443.
2. Meng Tay, K., Peng Lim, C., 2006. Fuzzy FMEA with a Guided Rules Reduction System for Prioritization of Failures. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 23(8), 1047–1066.
3. Zheng, J.J., Wang, X.M., Wang, X.L., Senior, E., 2009. FMEA Analysis of Backfilling Pipeline System and Fuzzy Evaluation of Failure Effects. *China Safety Science Journal (CSSJ)*, 06.
4. Gargama, H., Chaturvedi, S.K., 2011. Criticality Assessment Models for Failure Mode Effects and Criticality Analysis Using Fuzzy Logic. *IEEE Transactions on Reliability*, 60(1), 102-110.
5. Liu, H.C., Liu, L., Li, P., 2014. Failure Mode and Effects Analysis Using Intuitionistic Fuzzy Hybrid Weighted Euclidean Distance Operator. *International Journal of Systems Science*, 45(10), 2012-2030.
6. Liu, H.C., Li, P., You, J.X., Chen, Y.Z., 2015. A Novel Approach for FMEA: Combination of Interval 2-tuple Linguistic Variables and Gray Relational Analysis. *Quality and Reliability Engineering International*, 31(5), 761-772.
7. Sharma, K.D., Srivastava, S., 2018. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Implementation: A Literature Review. *J Adv Res Aeronaut Space Sci*, 5, 1-17.
8. Kutlu, A.C., Ekmekçioğlu, M., 2012. Fuzzy Failure Modes and Effects Analysis by Using Fuzzy TOPSIS-based Fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 61-67.
9. Narayana, S.N., Parthiban, P., Dhanalakshmi, R., 2020. Assessment and Implementation of Lean and Green Supply Chain in Medium Scale Automobile Industries Using AHP and Fuzzy TOPSIS. *Journal of Scientific and Industrial Research (JSIR)*, 79(8), 720-726.
10. Wang, C.H., 2011. A Novel Approach to Conduct Risk Analysis of FMEA for PCB

- Fabrication Process. In 2011 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 1275-1278.
11. Senthilkannan, N., Parameshwaran, R., 2018. Integrated Approach for Product Optimisation in a Rolling Mill Using Fuzzy MCDM Tools. *International Journal of Additive and Subtractive Materials Manufacturing*, 2(1), 25-44.
 12. Vahdani, B., Salimi, M., Charkhchian, M., 2015. A New FMEA Method by Integrating Fuzzy Belief Structure and TOPSIS to Improve Risk Evaluation Process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 77(1-4), 357-368.
 13. Tekez, E.K., 2018. Failure Modes and Effects Analysis Using Fuzzy TOPSIS in Knitting Process. *Textile and Apparel*, 28(1), 21-26.
 14. Ahmadi, M., Molana, S.M.H., Sajadi, S.M., 2017. A Hybrid FMEA-TOPSIS Method for Risk Management, Case Study: Esfahan Mobarakeh Steel Company. *International Journal of Process Management and Benchmarking*, 7(3), 397-408.
 15. Kolios, A.J., Umofia, A., Shafiee, M., 2017. Failure Mode and Effects Analysis Using A Fuzzy-TOPSIS Method: A Case Study of Subsea Control Module. *International Journal of Multicriteria Decision Making*, 7(1), 29-53.
 16. Li, Y., Zhu, L., 2020. Risk Analysis of Human Error in Interaction Design by Using a Hybrid Approach Based on FMEA, SHERPA, and Fuzzy TOPSIS. *Quality and Reliability Engineering International*, 36(5), 1657-1677.
 17. Selim, H., Yunusoglu, M.G., Yilmaz Balaman, Ş., 2016. A Dynamic Maintenance Planning Framework Based on Fuzzy TOPSIS and FMEA: Application in an International Food Company. *Quality and Reliability Engineering International*, 32(3), 795-804.

Torque Estimation with Artificial Intelligence Methods in a Brushed Geared Dc Motor

Serkan BELLER*¹ ORCID 0000-0002-8475-6619

¹Çukurova University, Vocational School of İmamoğlu, Natural Gas, and Fitting Technologies Department, Adana

Geliş tarihi: 25.05.2022 Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: BELLER, S., (2022). Torque Estimation with Artificial Intelligence Methods in a Brushed Geared Dc Motor. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 885-898.

Abstract

Today, with the advances in electricity-electronics, the usage areas of DC motors have increased considerably. DC motors have high starting torques and speed can be adjusted over a wide range. In the present experimental study, different weights connected to the motor shaft were rotated at different speeds, at variable distances, in the angle range of 0°-345° degrees. Thus, different torque values produced by the DC motor were observed. In some cases, the amount of torque produced at low rotational speeds may have non-linear values. This allows the use of artificial intelligence methods for accurate torque estimation. In the present study, different uses of Elman Backpropagation Neural Network (EBNN) and General Regression Neural Network (GRNN) are given for the estimation of the best torque values. Performance comparisons were made according to mean square error (MSE), regression coefficient (R^2), root square error (RSE), and mean absolute error (MAE) values.

Keywords: DC motor, Torque estimation, Artificial intelligence, EBNN, GRNN

Bir Fırçalı Redüktörlü Dc Motorda Yapay Zeka Yöntemleriyle Tork Tahmini

Öz

Günümüzde elektrik-elektronikteki ilerlemelerle birlikte DC motorların kullanım alanları oldukça artmıştır. DC motorlar yüksek başlangıç torklarına sahiptir ve hızları geniş bir aralıkta ayarlanabilir. Mevcut deneysel çalışmada motor miline bağlı olan farklı ağırlıklar, farklı hızlarda, değişken uzaklıklarda, 0°-345° derece açı aralığında döndürülmüştür. Böylece DC motorun ürettiği farklı tork değerleri gözlemlenmiştir. Bazı durumlarda düşük dönme hızlarında üretilen tork miktarı doğrusal olmayan değerlere sahip olabilmektedir. Bu durum doğru tork tahmini için yapay zeka metotlarının kullanılmasına imkan sağlamaktadır. Mevcut çalışmada en iyi tork değerlerinin tahmini için Elman Backpropagation Neural Network (EBNN) ve General Regression Neural Network (GRNN) ağlarının farklı kullanımlarına yer verilmiştir. Performans kıyaslamaları ortalama karesel hata (MSE), regresyon katsayısı (R^2), kök karesel hata (RSE), ve ortalama mutlak hata (MAE) değerlerine göre yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: DC motor, Tork tahmini, Yapay zeka, EBNN, GRNN

*Corresponding author (Sorumlu yazar): Serkan BELLER, sbeller@cu.edu.tr

1. INTRODUCTION

With the development of technology, electronic and motorized systems have become a part of life. DC motor is one of the most used motor types. It provides the necessary energy conversion with the windings and permanent magnets in the DC motor, which converts the straight electric current into mechanical energy. When electric current is applied to the windings in the motor, motion is obtained with the effect of the magnetic force, which is formed in the opposite direction to the permanent magnets inside the motor. The direction of this current must be reversed to create a permanent magnetic field opposite the permanent magnet. This change is made by the brushes in brushed motors, and by electronic speed control circuits in brushless motors [1].

Basically, DC motors, which can be diversified as brushed, brushless, stepper, and servo DC motors, each have different characteristics. Brushed DC motors are the most basic type of DC motor. The use of these motors is easy. But they have worn parts called brushes or coals that must be replaced periodically [1]. Also, DC motors are used in many projects with or without a reducer. A geared brushed DC motor (Pololu, 12V25 mm, 2250 RPM, 48 CPR Encoder [2]) was used in this study. The use of this DC motor is seen in Figure 1. The purpose of use of the reducer is to obtain higher torque by reducing the rotation speed of the motor. There are also gear systems that work in the opposite way, that is, reducing the torque and increasing the speed.

When previous studies are examined, Nouri et. al. (2008) proposed adaptive control for a nonlinear dc motor drive using Recurrent Neural Networks (RNN). A model-following adaptive control structure is suggested for the speed control of a nonlinear motor drive system [3]. Yang et. al. (2009) improved a mechatronic positioning system. It has a manipulator arm, a DC-motor-driven propeller assembly and a positioning control interface. Three different control methods are tried to regulate the displacement of the arm. These are, a fixed gain PID controller, a function-

based variable gain PID controller and a fuzzy gain mixing PID controller.

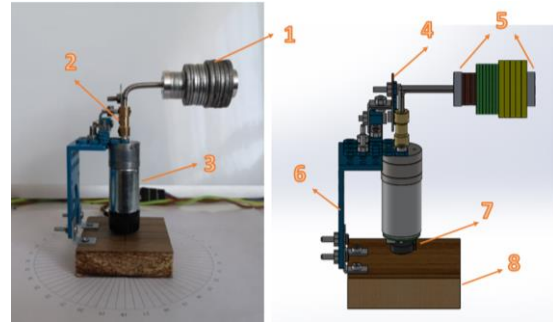


Figure 1. Experiment Set: 1. Test weights, 2. Coupling, 3. DC motor, 4. Stopper, 5. Limiters, 6. Motor holder, 7. Encoder, 8. Bottom table

Third method was more successful in suppressing the overshoot of the arm [4]. Reyes-Reyes et. al. (2010) presented a simple neuro-control law for controlling a geared DC motor. They formalized mathematically the stability of a geared DC motor. The formulation process was done using an artificial neural network and a neuro control law generated by Lyapunov-like analysis. The proposed approach was devoted to angular position regulation [5]. Premkumar et. al. (2014) suggested a novel controller for Brushless DC motor (BLDC). The proposed controller is based on ANFIS. The performance of the ANFIS is compared with PI controller, Fuzzy Tuned PID controller, and Fuzzy Variable Structure controller. Simulation was analyzed for varying load and varying set speed conditions. A more successful control strategy was developed for speed control of the BLDC motor with the ANFIS [6]. Ramadan et. al. (2014) presented an adaptive fuzzy logic speed controller for a DC motor, based on Field Programmable Gate Array (FPGA) hardware. Presented speed control was validated with good tracking results under distinct conditions [7]. Sabir et. al. (2016) considered designing of an optimum PID controller for DC motors of dual axis solar tracker system by using swarm intelligence techniques of Particle Swarm Optimization (PSO), Firefly Algorithm (FFA), and Cuckoo Search Algorithm (CSA) [8]. Rodr'iguez-Molina et. al.

(2017) suggested an adaptive control for the speed regulation of the DC motor using meta-heuristic algorithms. Several adaptive controllers based on the optimizers of Differential Evolution (DE), PSO, Bat Algorithm (BAT), Firefly Algorithm (FFA), and Wolf Search Algorithm (WSA) are suggested. According to the results, PSO based controller is one of the best options [9]. El-samahy et. al. (2018) developed brushless DC motor tracking control using self-tuning fuzzy PID control and Model Reference Adaptive Control (MRAC). The aim of the algorithm was to force the rotor speed to follow the desired reference speed with good accuracy at all times. According to simulation results MRAC had better performance than self-tuning fuzzy PID controller [10]. Gamazo-Real et. al. (2022) proposed ANN-based position and speed sensorless estimation for brushless DC motors. According to the results overall position estimation improved many methods, and the speed estimation improved the traditional methods a little, but it was not very successful in advanced methods [11].

According to the previous studies, it was mostly focused on speed control in DC motors. Afterwards, position control is one of the subjects studied. On the other hand, torque control is not a much studied area in DC motors. Therefore, in this article, torque control is examined with artificial intelligence methods that have not been used before.

2. MATERIAL AND METHOD

When voltage is applied to a DC motor, current starts to flow through the rotor windings. Since these windings are in a magnetic field, each winding is subjected to a force. As the winding conductors are wrapped around the rotor, the rotor starts to rotate with the force it is exposed to. This angular force that causes rotation is called torque. In some cases, unexpected torque values can be seen at low speeds, depending on the DC motor characteristics. This variability can also occur from time to time at high speeds. The use of artificial intelligence methods is extremely beneficial in estimating unstable torque values at low speeds in

DC motors working with high tooth backlash reducer. They also provide an estimate of the deformations and life cycles of the DC motor too. In the present study, machine learning methods Elman Back-propagation Neural Network (EBNN) and feed forward General Regression Neural Network (GRNN) were used. In both methods, they were trained with the supervised learning technique. Serial and parallel+serial uses of these networks are also included.

2.1. Calculation of Torque

The mass rotating around a center is shown in Figure 2. As seen in Equation 1 and Equation 2, multiplying the tangential acceleration (a_t) of the body P with the amount of mass (m) creates the torque force (F_t) in the same direction as the tangential velocity (V). Multiplying this torque force by the perpendicular distance (r) to the center (O) gives the numerical value of the torque (τ) (Equation 1, Equation 2).

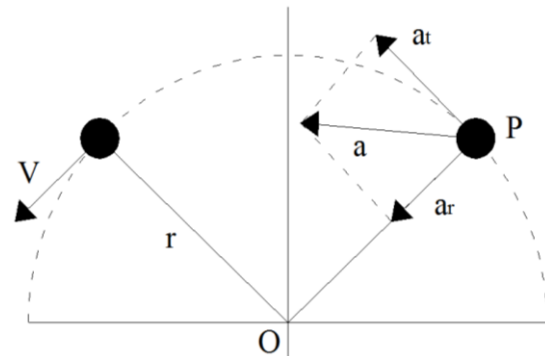


Figure 2. Rotating mass

$$\tau = F_t r \quad (1)$$

$$\tau = (ma_t)r \quad (2)$$

Torque is directly related to the mass of the rotating object (m), its tangential acceleration (a_t) and its distance from the center (r). Increasing one or all of these values also increases the amount of torque to be generated. Firstly in order to calculate the torque, the tangential velocity (V) of the rotating object must be calculated as in Equation 3.

$$v = \frac{x}{t} = \frac{2\pi r \left(\frac{345^\circ}{360^\circ}\right)}{t} \quad (3)$$

Calculating the tangential velocity allows the angular velocity to be calculated as in Equation 4.

$$v = \omega r, \quad \omega = \frac{v}{r} \quad (4)$$

Angular acceleration (α) is calculated as in Equation 5 with the angular velocity equation, which is one of the rotational motion equations with constant angular acceleration.

$$\omega_{last} = \omega_{first} + \alpha t \quad (5)$$

Knowing the angular acceleration (α) enables the tangential acceleration (a_t) to be found as in Equation 6.

$$\alpha = \frac{a_t}{r}, \quad a_t = \alpha r \quad (6)$$

Thus, by finding the tangential acceleration (a_t), the torque calculation is done by Equation 2.

2.2. Elman Backpropagation Neural Network (EBNN)

Elman (1990) neural network has a multi-layer artificial neural network structure. The only difference is that it contains the hidden layer

outputs as a parallel input layer. This artificial neural network starts with the input layer that receives the input data. Then, it continues the neural network operation by returning the initial output values from the hidden layer and adding them to the additional input layer. This structure is seen in Figure 3. Since the return is delayed, the additional layer is also called the delayed input layer [12]. Since the weights (W) of the recycles are constant in this network structure, the Elman network can also be called a partially reversible network. The learning of the Elman Network, is generalized delta learning rule as in multilayer perceptrons [13]. According to the delta rule, the weight values of neuron connections should be constantly changed in order to reduce the difference between the expected result and the result obtained from the network. This rule was developed according to this logic. The generalized delta rule has two stages. In the first stage, forward calculation is made in the network. In the second step, backward calculation is done [13]. While training these network structures, "nntool" neural network toolbox was used in Matlab/Simulink program. In all trials, the epoch number was 1000, goal was 0, and the max_fail value was 6. In this network structure, the toolbox determines the data split rates for training, testing and validation by itself. It cannot be interfered with. While specifying the data, it makes its selections scattered from the data pool. The graphical results of the training are given by the toolbox.

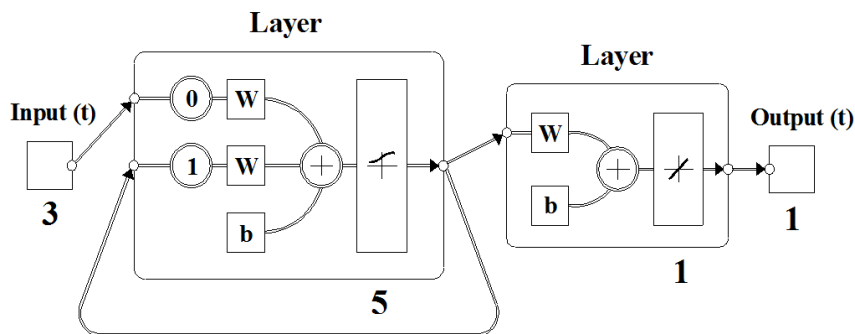


Figure 3. View of EBNN in MATLAB

2.3. General Regression Neural Network (GRNN)

GRNN was presented by Donald F. Specht in 1991. In this network, the learning phase is fast and can be effective with a small number of data. As seen in Figure 4, GRNN structure is a feedforward network structure. There are four layers in this network. The number of input neurons depends on the number of problem inputs. The number of neurons in the pattern layer is equal to the number of samples. The number of neurons in the summation layer is one more than the number of outputs. The number of neurons in the output layer is equal to the number of data types requested in the trainings [14]. During training, the user chooses a *spread* value. For the most suitable performance, the *spread* value must be selected between 0-1 [15]. In this study, maximum nine different spread values (100 between 0.000001) were tried. Since the numbers 10 and 100 are out of the range of 0-1, they were chosen for experimental purposes. Values of 1 and less were chosen by decreasing them by ten digits. Thus, it is easier to understand the result has evolved in which direction. In addition, while determining the smallest *spread* value, it was checked whether the Training R^2 result was 1, the Training RSE result was 0, and the Training MAE result was 0. Because, after reaching these values, the same results are obtained in every next 10-digit reduction of the *spread* value for the training and test results at the four digits after zero. So there is no need to lower the *spread* value further. For this reason, sometimes 7 different *spread* values and sometimes 9 different *spread* values were used in this study.

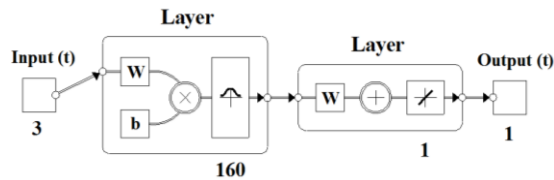


Figure 4. View of GRNN in MATLAB

2.4. System Design

In this study, Pololu 12V brushed geared DC motor (2250 RPM, 48 CPR quadrature encoder) [2], Pololu motor controller card 24V23A [16], Humusoft MF634 DAQ card [17], power source (12V, 16.7A), and a computer (Windows 7, 64 bit, Intel Core i5-7500, 3.40 GHz, 16384 MB ram) were used. DC motor speed capacity was selected also 56.25% percent.

According to the control block in Figure 5, three different data were used as input data. The first is the analog value for the DC motor velocity, the second is the test weight (g) value, and the third is the distance (mm) of the center of gravity of the test weight to the DC motor shaft. The output data is sweep duration (s) the 345° degrees angle. As seen in Figure 6, studies were performed on four different neural network (NN) usage methods in the Matlab/Simulink environment.

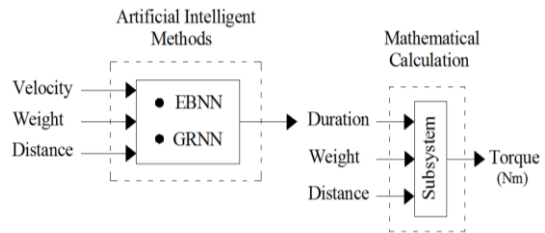


Figure 5. Control block

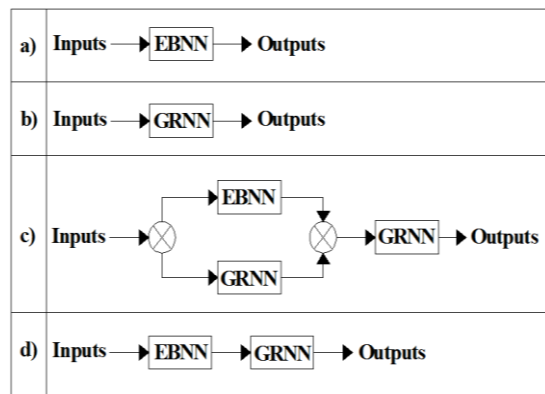


Figure 6. NN usage methods: a) EBNN, b) GRNN, c) (EBNN+GRNN)+GRNN, d) EBNN+GRNN

The neural network (NN) methods in Figure 6a and Figure 6b, namely EBNN and GRNN, consist of using neural networks alone. In the Figure 6c, EBNN and GRNN blocks were first used in parallel, then the output data of both sides were retrained in a second serial connected GRNN block. Also, in Figure 6d, EBNN and GRNN blocks were used serially. Success rates of control blocks are shown in the results section.

2.5. Calculation of Error Values

Performance measurements of training and test results were made with Mean Squared Error (MSE), Regression Coefficient (R^2), Root Square Error (RSE), and Mean Absolute Error (MAE) values. They were calculated in Excel with the help of Equations 8, 9, 10, and 11, respectively.

Mean Squared Error (MSE) [18],

A_j = Actual values, P_j = Predicted values, n = Size of the data set, e_j = Error (Equation 7)

$$e_j = A_j - P_j \tag{7}$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_j^2 \tag{8}$$

Regression Coefficient (R^2) [19],

TSS = Total Sum of Squares, RSS = Residuals Sum of Squares

$$R^2 = \frac{TSS - RSS}{TSS} \tag{9}$$

Root Square Error (RSE) [20],

$$RSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(P_j - A_j)^2}{A_j}} \tag{10}$$

Mean Absolute Error (MAE) [21],

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{(P_j - A_j)}{A_j} \right|}{n} \tag{11}$$

MSE represents the average of the squared difference between the original and predicted values. It measures the variance of the residuals. R^2 represents the proportion of the variance in the dependent variable which is explained by the linear regression model. It summarizes the explanatory power of the regression model and is computed from the sums of squares terms. RSE is the square root of Squared Error. It measures the standard deviation of residuals. MAE expresses the average of absolute errors between forecast and actual value. It measures the average of the residuals in the dataset.

3. RESULTS

In this study, machine learning methods EBNN and GRNN were used. During the training, 160 lines of input data were used. While the DC motor speed value, the amount of test weight and the distance of the weight to the motor shaft were used as input data, the time to finish the 345° degrees tour was requested as output data in the trainings. The relevant experimental set measurement parameters are shown in Figure 7. For the testing of artificial neural networks, 49 lines of data were used. These data were the values found between the first and last row data of the training data, which had never been introduced to the networks before. Thus, an attempt was made to measure the capabilities of neural networks. In addition, performance evaluations of parallel and serial usage of these networks were made. The success rates of the networks were evaluated with the results of MSE, R^2 , RSE, and MAE. With this study, it was seen how close the predictions produced by the networks to the true values. The fact that the results for R^2 were close to 1 and the results for MSE, RSE and MAE were close to 0 determined the success rates of the networks.

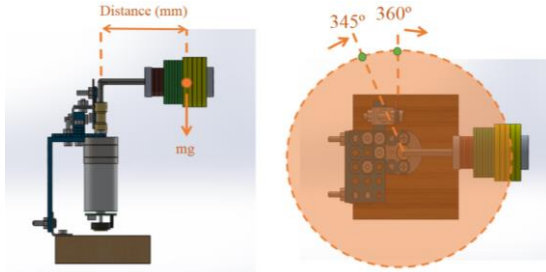


Figure 7. Experiment set measurement parameters

During study, different analog signal values were preferred to drive the DC motor at different speeds. Analog signal values were used during training in the range of 1.6 to 3.0 with an increment of 0.2. Also, analog signal values were used during the test in the range of 1.7 to 2.9 with an increment of 0.2. The values of these signals as tangential velocity on the DC motor shaft are shown in Figure 8a and Figure 9a. The values of tangential velocity are constantly changing according to the analog signal values, test weight amounts, and the distance of the center of gravity of these weights to the DC motor shaft. These changes are seen in Figure 8c, Figure 8d, Figure 9c, and Figure 9d, respectively. In Figure 8b and Figure 9b, completion times of 345^o degrees tours for the training and test weights are shown. The fluctuations in the finishing times at low speeds can also be seen at high speeds from time to time. The best estimation method for these nonlinear cases can be achieved by using artificial intelligence methods.

During the training, 20 different weights were connected to the experimental set at 20 different distances. Trainings were held at 8 different speeds. The weights used are, 17, 24, 34, 42, 53, 58, 65, 78, 84, 88, 97, 104, 116, 124, 129, 139, 145, 152, 166, and 169 grammes, respectively. The distances used are, 42.5, 53.79, 59.75, 61.55, 61.85, 61.59, 60.78, 58.92, 57.85, 57.02, 62.77, 61.67, 59.29, 66.01, 65.53, 64.73, 64.19, 63.53, 61.86, and 61.47 millimeters, respectively. Thus, 160 lines of training data emerged. During the test, 7 different weights were connected to the experimental set at 7 different distances. Tests were carried out at 7 different speeds. The weights used are, 20.5, 48, 70, 92, 119, 143, and 162 grammes, respectively. The distances used are, 49.33, 64.24, 67, 64.58, 62.86, 62.06, and

58.4 millimeters, respectively. Thus, 49 lines of test data were obtained.

3.1. EBNN Experiment Results

As seen in Table 1, four different functions were used as training function during the training of 32 different networks. These are *Trainlm*, *Trainbfg*, *Trainoss*, *Trainscg*. Training was performed with 5 different neuron numbers (5, 10, 15, 20) and two different transfer functions (*Log*, *Tan*) in the hidden layer. In the output layer, the *Purelin* transfer function was preferred. According to Table 2, the best training results were obtained with the first-line neural network structure. The training function is *trainlm*, the hidden layer transfer function is *logsig*, and the number of neuron is 5. The output layer transfer function is *purelin* and the number of neuron is 1. In Figure 10, the training performance graphs of the training results are shown.

3.2. GRNN Experiment Results

In this study, seven different *spread* values (100, 10, 1, 0.1, 0.01, 0.001, 0.0001) were used tried to find the best performance. According to Table 3, it is seen that the training and test results do not change in values where the *spread* value is 0.01 or less for the four digits after zero. The 'Train R²' result is 1, the 'Train RSE' result is 0, and the 'Train MAE' result is 0 at the fifth, sixth, and seventh *spread* values. So, the best performance was accepted by *spread* value of 0.01.

3.3. (EBNN+GRNN)+GRNN Experiment Results

In this control technique, EBNN and GRNN blocks were firstly used in parallel, then the output data of both sides were retrained in a second serial connected GRNN block. According to Table 4, seven different *spread* values (100, 10, 1, 0.1, 0.01, 0.001, 0.0001) were used tried to find the best performance.

Because; the 'Train R²' result is 1, the 'Train RSE' result is 0, and the 'Train MAE' result is 0 at the seventh *spread* value. At lower *spread* values, training and test results will not change for the four digits after zero. The best performance was provided by *spread* value of 0.01.

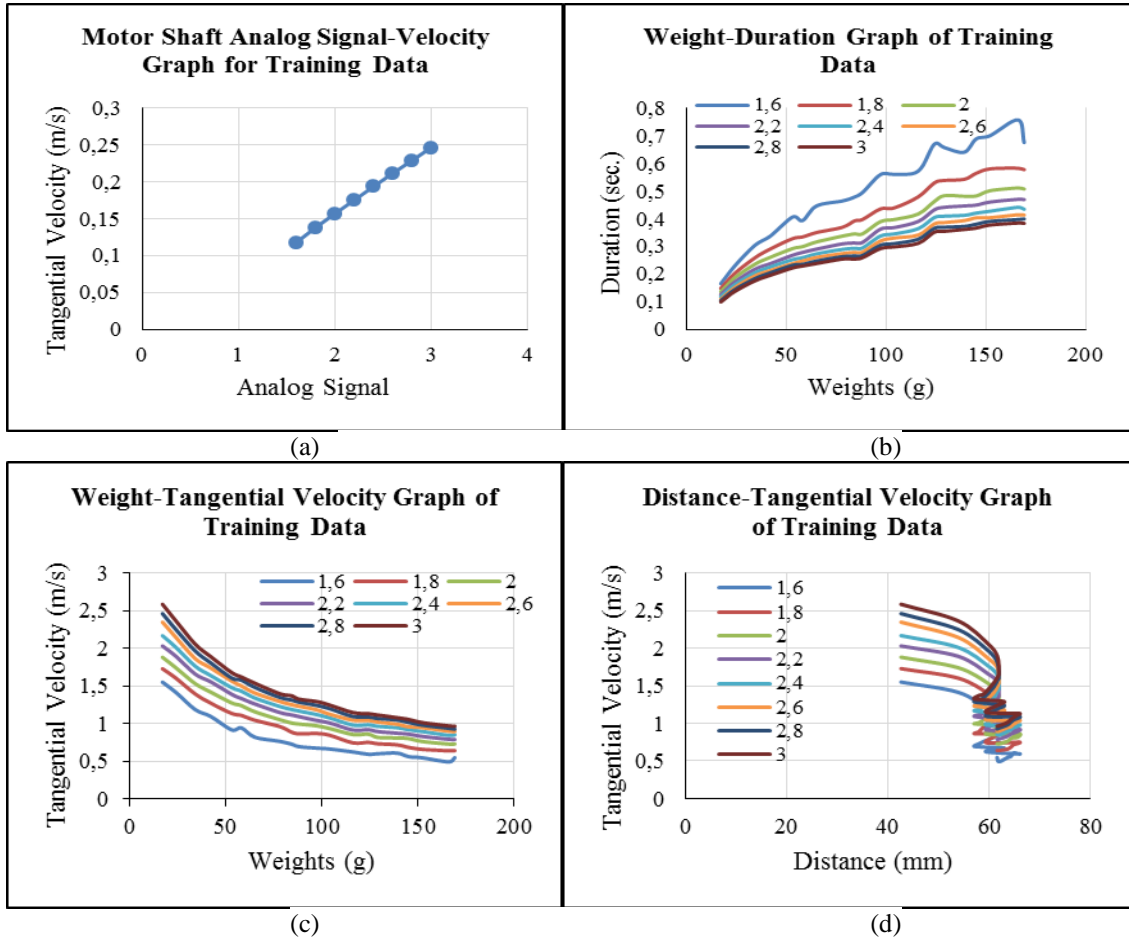
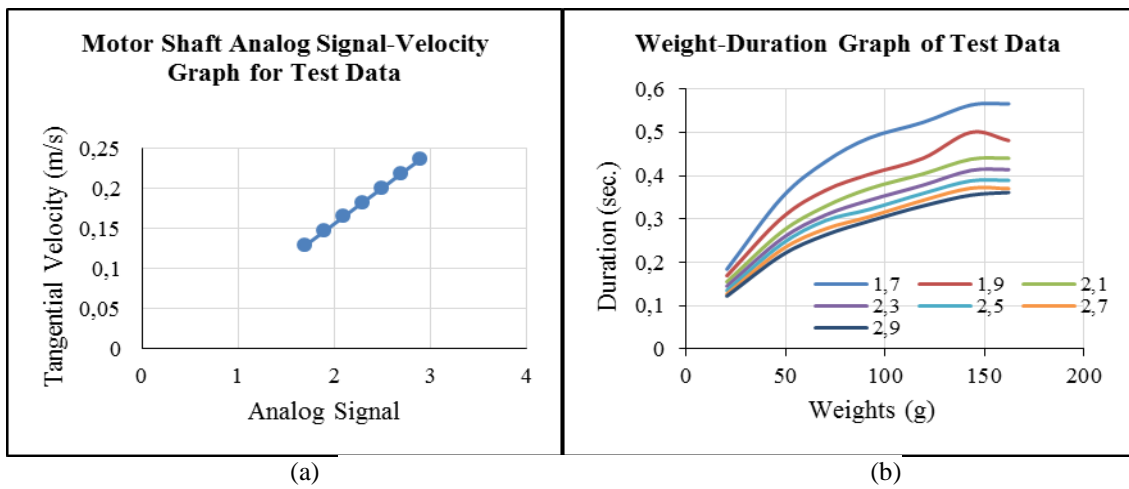


Figure 8. Training data; a) Analog signal-velocity graph b) Weight-duration graph c) Weight-velocity graph d) Distance-velocity graph



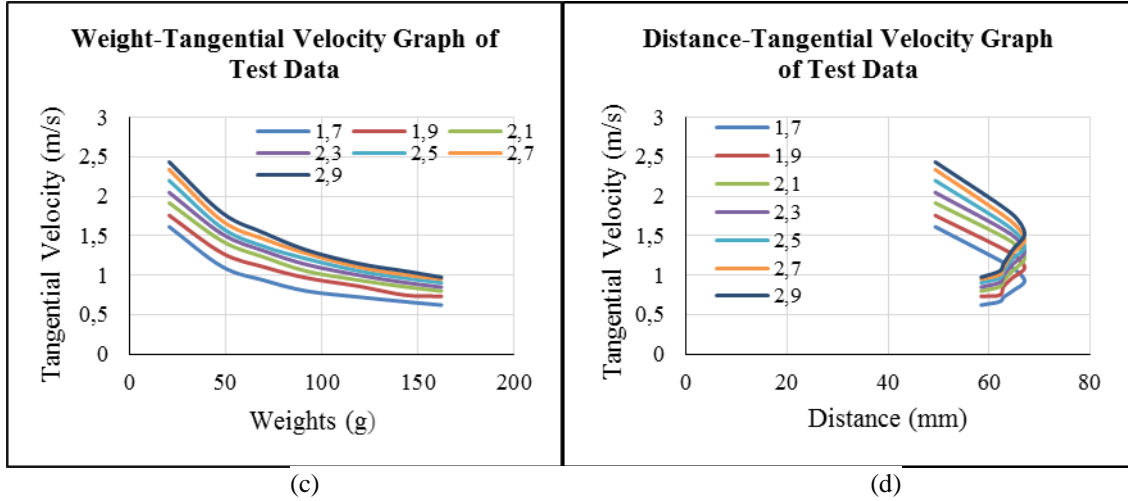


Figure 9. Test data; a) Analog signal-velocity graph b) Weight-duration graph c)Weight-velocity graph d) Distance-velocity graph

3.4. EBNN+GRNN Experiment Results

In this method, EBNN and GRNN blocks were used serial connected. According to Table 5, nine different *spread* values (100, 10, 1, 0.1, 0.01, 0.001, 0.0001, 0.00001, 0.000001) were used tried to find the best performance. Because; the 'Train

R^2 result is 1, the 'Train RSE' result is 0, and the 'Train MAE' result is 0 at the ninth *spread* value. At lower *spread* values, training and test results will not change for the four digits after zero. The best performance was provided by *spread* value of 0.01.

Table 1. EBNN training features

	Network Type	Training Function	Layer 1 Tran. F.	Layer 1 Neuron	Layer 2 Tran. F.	Layer 2 Neuron
1	Elman Back.	TRAINLM	LOGSIG	5	PURELIN	1
2	Elman Back.	TRAINLM	LOGSIG	10	PURELIN	1
3	Elman Back.	TRAINLM	LOGSIG	15	PURELIN	1
4	Elman Back.	TRAINLM	LOGSIG	20	PURELIN	1
5	Elman Back.	TRAINLM	TANSIG	5	PURELIN	1
6	Elman Back.	TRAINLM	TANSIG	10	PURELIN	1
7	Elman Back.	TRAINLM	TANSIG	15	PURELIN	1
8	Elman Back.	TRAINLM	TANSIG	20	PURELIN	1
9	Elman Back.	TRAINBFG	LOGSIG	5	PURELIN	1
10	Elman Back.	TRAINBFG	LOGSIG	10	PURELIN	1
11	Elman Back.	TRAINBFG	LOGSIG	15	PURELIN	1
12	Elman Back.	TRAINBFG	LOGSIG	20	PURELIN	1
13	Elman Back.	TRAINBFG	TANSIG	5	PURELIN	1
14	Elman Back.	TRAINBFG	TANSIG	10	PURELIN	1
15	Elman Back.	TRAINBFG	TANSIG	15	PURELIN	1
16	Elman Back.	TRAINBFG	TANSIG	20	PURELIN	1
17	Elman Back.	TRAINOSS	LOGSIG	5	PURELIN	1
18	Elman Back.	TRAINOSS	LOGSIG	10	PURELIN	1

19	Elman Back.	TRAINOSS	LOGSIG	15	PURELIN	1
20	Elman Back.	TRAINOSS	LOGSIG	20	PURELIN	1
21	Elman Back.	TRAINOSS	TANSIG	5	PURELIN	1
22	Elman Back.	TRAINOSS	TANSIG	10	PURELIN	1
23	Elman Back.	TRAINOSS	TANSIG	15	PURELIN	1
24	Elman Back.	TRAINOSS	TANSIG	20	PURELIN	1
25	Elman Back.	TRAINSCG	LOGSIG	5	PURELIN	1
26	Elman Back.	TRAINSCG	LOGSIG	10	PURELIN	1
27	Elman Back.	TRAINSCG	LOGSIG	15	PURELIN	1
28	Elman Back.	TRAINSCG	LOGSIG	20	PURELIN	1
29	Elman Back.	TRAINSCG	TANSIG	5	PURELIN	1
30	Elman Back.	TRAINSCG	TANSIG	10	PURELIN	1
31	Elman Back.	TRAINSCG	TANSIG	15	PURELIN	1
32	Elman Back.	TRAINSCG	TANSIG	20	PURELIN	1

3.5. Comparison of Experiment Results

In the current study, two different artificial intelligence methods were used in four different

ways to achieve the best results. When looked at Table 6, the serial-connected EBNN+GRNN method obtained the best results.

Table 2. EBNN training performances

	MSE	Train R ²	Test R ²	Train RSE	Test RSE	Train MAE	Test MAE
1	5.0160E-06	0.9967	0.9975	0.1319	0.1249	0.0115	0.0241
2	2.6103E-05	0.9970	0.9949	0.1240	0.1839	0.0103	0.0371
3	2.6134E-05	0.9960	0.9938	0.1423	0.1839	0.0111	0.0354
4	6.7697E-06	0.9970	0.9913	0.1238	0.2156	0.0099	0.0387
5	7.2691E-05	0.9965	0.9972	0.1391	0.1273	0.0120	0.0259
6	3.6900E-05	0.9962	0.9961	0.1612	0.1341	0.0160	0.0251
7	2.0247E-05	0.9965	0.9958	0.1349	0.1403	0.0114	0.0239
8	1.7891E-05	0.9955	0.9950	0.1596	0.1635	0.0121	0.0309
9	9.0484E-05	0.9928	0.9958	0.2178	0.1581	0.0226	0.0294
10	8.8255E-05	0.9924	0.9928	0.2286	0.1681	0.0258	0.0301
11	3.2254E-05	0.9958	0.9967	0.1659	0.1527	0.0163	0.0302
12	4.5193E-05	0.9955	0.9968	0.1659	0.1623	0.0159	0.0322
13	4.8156E-05	0.9944	0.9952	0.2180	0.1640	0.0214	0.0319
14	6.7363E-05	0.9955	0.9966	0.1784	0.1401	0.0180	0.0287
15	4.5285E-05	0.9951	0.9948	0.1734	0.1587	0.0172	0.0304
16	6.8692E-05	0.9940	0.9931	0.1974	0.1632	0.0198	0.0324
17	8.0814E-05	0.9919	0.9936	0.2313	0.1737	0.0246	0.0296
18	7.8762E-05	0.9931	0.9940	0.2200	0.2199	0.0228	0.0441
19	5.0604E-05	0.9919	0.9939	0.2281	0.1966	0.0233	0.0364
20	5.8189E-05	0.9945	0.9958	0.1806	0.1588	0.0178	0.0286
21	5.9081E-05	0.9940	0.9941	0.1987	0.2072	0.0211	0.0403
22	5.0640E-05	0.9939	0.9953	0.2014	0.1964	0.0211	0.0427
23	2.6075E-05	0.9944	0.9946	0.1840	0.1887	0.0178	0.0354
24	5.4275E-05	0.9936	0.9944	0.1988	0.1816	0.0203	0.0339

25	5.1542E-05	0.9955	0.9958	0.1749	0.1759	0.0178	0.0365
26	4.9899E-05	0.9951	0.9938	0.1720	0.1696	0.0171	0.0319
27	3.1127E-05	0.9958	0.9956	0.1606	0.1366	0.0158	0.0266
28	4.7405E-05	0.9956	0.9974	0.1605	0.1438	0.0146	0.0278
29	1.4031E-05	0.9962	0.9966	0.1531	0.1473	0.0142	0.0302
30	1.4414E-05	0.9960	0.9963	0.1521	0.1508	0.0143	0.0299
31	2.1622E-05	0.9957	0.9952	0.1596	0.1608	0.0148	0.0294
32	3.8453E-05	0.9951	0.9963	0.1813	0.1272	0.0171	0.0230

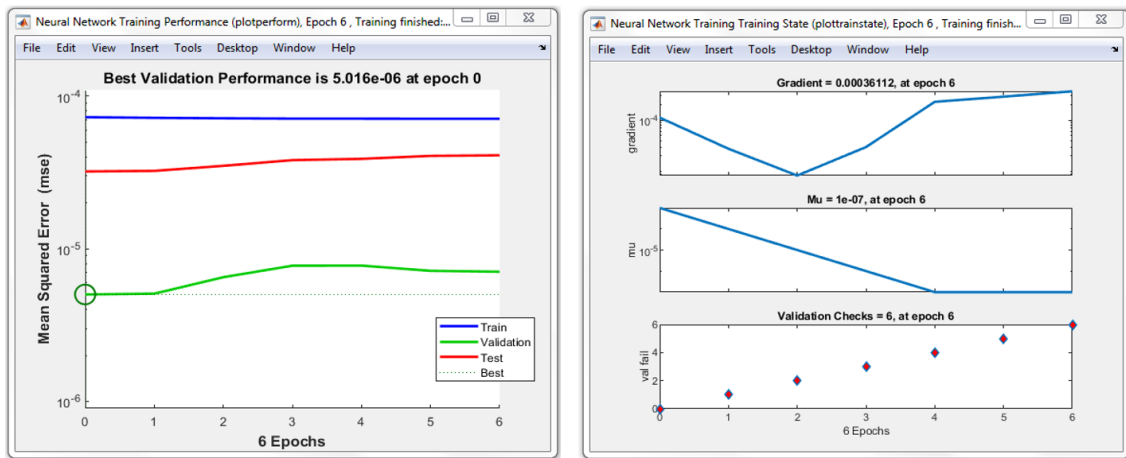


Figure 10. EBNN training performance graphs

Table 3. Performances of spread values for GRNN

Spread	100	10	1	0.1	0.01	0.001	0.0001
Train. R ²	0.6351	0.6533	0.7917	0.9997	1	1	1
Test. R ²	0.6793	0.7138	0.8157	0.9577	0.9577	0.9577	0.9577
Train. RSE	2.6291	1.4714	1.1236	0.0412	0	0	0
Test. RSE	1.3718	0.7173	0.5906	0.3285	0.3285	0.3285	0.3285
Train. MAE	0.3085	0.1642	0.1196	0.0030	0	0	0
Test. MAE	0.2939	0.1493	0.1286	0.0693	0.0693	0.0693	0.0693

Table 4. Performances of spread values for (EBNN+GRNN)+GRNN

Spread	100	10	1	0.1	0.01	0.001	0.0001
Train. R ²	0.9991	0.9991	0.9989	0.9948	0.9997	0.9999	1
Test. R ²	0.9860	0.9860	0.9837	0.9763	0.9783	0.9758	0.9760
Train. RSE	3.1884	3.1867	3.0299	0.5811	0.0408	0.0019	0
Test. RSE	1.7016	1.7007	1.6163	0.3688	0.2325	0.2448	0.2430
Train. MAE	0.3807	0.3805	0.3616	0.0681	0.0045	0.0001	0
Test. MAE	0.3630	0.3628	0.3446	0.0747	0.0445	0.0483	0.0474

Table 5. Performances of *spread* values for EBNN+GRNN

<i>Spread</i>	100	10	1	$1*10^{-1}$	$1*10^{-2}$	$1*10^{-3}$	$1*10^{-4}$	$1*10^{-5}$	$1*10^{-6}$
Trai. R ²	0.9967	0.9967	0.9966	0.9872	0.9975	0.9996	0.9999	0.9999	1
Test. R ²	0.9975	0.9975	0.9972	0.9910	0.9977	0.9963	0.9956	0.9955	0.9955
Trai. RSE	3.1884	3.1875	3.1070	0.9738	0.1168	0.0528	0.0231	0.0011	0
Test. RSE	1.7016	1.7012	1.6568	0.5233	0.1148	0.1289	0.1339	0.1338	0.1338
Trai. MAE	0.3807	0.3806	0.3709	0.1163	0.0105	0.0042	0.0008	2.49E-05	0
Test. MAE	0.3630	0.3629	0.3535	0.1084	0.0238	0.0255	0.0265	0.0265	0.0265

In Figure 11, torque values of 160 different positions for training and 49 different positions for testing are shown. Since eight different speeds for training and seven different speeds for testing are

increased gradually, the torque values in the graphs are seen in increasing steps. Along with tangential velocity, the amounts of weight and the increases in the distance played a role in these changes too.

Table 6. Performance comparisons of the networks

	Network type	Cor. predic. rate of train data for %5 error	Cor. predic. rate of test data for %5 error	Train R ²	Test R ²	Train RSE	Test RSE	Train MAE	Test MAE
1	EBNN+GRNN	% 98.75	% 93.87	0.9975	0.9977	0.1168	0.1148	0.0105	0.0238
2	EBNN	% 98.12	% 93.87	0.9967	0.9975	0.1319	0.1249	0.0115	0.0241
3	(EBNN+GRNN)+GRNN	% 100	% 69.38	0.9997	0.9783	0.0408	0.2325	0.0045	0.0445
4	GRNN	% 100	% 40.81	1.0000	0.9577	0.0000	0.3285	0.0000	0.0693

According to Table 6, in the EBNN+GRNN method, the correct prediction rates for the 5% error value are 98.75% in the training data (561-1175 RPM) and 93.87% in the test data (616-1130 RPM). Most of the errors occurred at low motor speeds. During the training phase, 2 faults occurred at 1.6 motor speed (561 RPM), in the testing phase, 2 of the 3 faults occurred at 1.9 motor speed (701 RPM), and 1 at 2.7 motor speed (1046 RPM). The unstable torque values at low speeds in DC motors working with a gearbox with high tooth spacing force artificial intelligence methods. A similar results are seen in the study of Gamazo-Real et. al. [11]. The relative speed error is 5.5% when the motor speed is 325 RPM. At 725 RPM, it is 4.5%. Brushless DC motor relative speed error is 5% over the full motor speed range (125–1500 RPM) in [11].

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

In DC motors, torque is very important in terms of speed control, position control, amount of load to

be lifted, torque, and traction power. It has a direct relationship with the work to be done. In this study, artificial intelligence methods that will predict the most accurate torque values are presented. The success of these models was determined according to MSE, R², RSE, and MAE results. For the training of the models, 160 lines of data consisting of different speeds, weights and distances were used. For the test, a 49-row dataset, which was not used in the trainings and consisted of different speeds, weights and distances, was preferred. From machine learning methods Backpropagation EBNN network and feed-forward GRNN network were used for the prediction with different arrangements. In the EBNN+GRNN serial connected model, train R², test R², train RSE, test RSE, train MAE, and test MAE values were calculated as 0.9975, 0.9977, 0.1168, 0.1148, 0.0105, and 0.0238, respectively. This model is more successful than other models. The use of the serial-connected model had previously given successful results in the use of feed-forward NN+GRNN [22] too. In this study, serially

connected EBNN+GRNN usage provided similar success.

In future studies, it will be tried to increase the prediction performance of different models with

different artificial neural network methods by increasing the data set. Thus, in robotic studies, more stable movements would be achieved despite unforeseen conditions with accurate torque estimations.

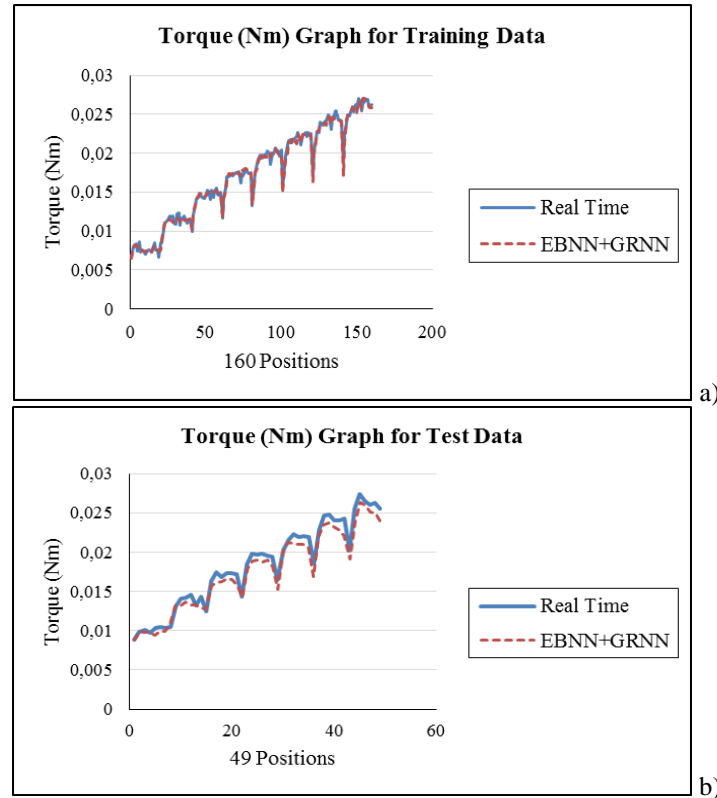


Figure 11. a) Torque graph of real-time and EBNN+GRNN training data b) Torque graph of real-time and EBNN+GRNN test data

5. REFERENCES

1. Direct Current Motor, <https://www.science-direct.com/topics/engineering/direct-current-motor>, Access date: 19.05.2022.
2. Pololu Brushed DC Motor, <https://www.pololu.com/product/3213>, Access date: 03.05.2022.
3. Nouri, K., Dhaouadi, R., Braiek, N.B., 2008. Adaptive Control of a Nonlinear Dc Motor Drive Using Recurrent Neural Networks. *Applied Soft Computing*, 8, 371–382.
4. Yang, S.F., Chou, J.H., 2009. A Mechatronic Positioning System Actuated Using a Micro DC-Motor-Driven Propeller–Thruster. *Mechatronics*, 19, 912–926.
5. Reyes-Reyes, J., Astorga-Zaragoza, C.M., Adam-Medina, M., Guerrero-Ramírez, G.V., 2010. Bounded Neuro-Control Position Regulation for a Geared DC Motor. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23, 1398–1407.
6. Premkumar, K., Manikandan, B.V., 2014. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System based Speed Controller for Brushless DC Motor. *Neurocomputing*, 138, 260–270.

7. Ramadan, E.A., El-bardini, M., Fkirin, M.A., 2014. Design and FPGA-Implementation of an Improved Adaptive Fuzzy Logic Controller for DC Motor Speed Control. *Ain Shams Engineering Journal*, 5, 803–816.
8. Sabir, M.M., Ali, T., 2016. Optimal PID Controller Design Through Swarm Intelligence Algorithms for Sun Tracking System. *Applied Mathematics and Computation*, 274, 690–699.
9. Rodríguez-Molina, A., Villarreal-Cervantes, M.G., Aldape-Pérez, M., 2017. An Adaptive Control Study for a DC Motor Using Meta-Heuristic Algorithms. *IFAC Papers On Line*, 50-1, 13114–13120.
10. El-samahy, A.A., Shamseldin, M.A., 2018. Brushless DC Motor Tracking Control Using Self-Tuning Fuzzy PID Control and Model Reference Adaptive Control. *Ain Shams Engineering Journal*, 9, 341–352.
11. Gamazo-Real, J.C., Martínez-Martínez, V., Gomez-Gil, J., 2022. ANN-Based Position and Speed Sensorless Estimation for BLDC Motors. *Measurement*, 188, 110602.
12. Şen, Z., 2004. *Yapay Sinir Ağları İlkeleri*. Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 183.
13. Öztemel, E., 2012. *Yapay Sinir Ağları*, Third Edition. Papatya Yayıncılık, İstanbul, 232.
14. Sağıroğlu, Ş., Beşdok, E., Erler, M., 2003. *Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları I, Yapay Sinir Ağları*. UFUK Yayıncılık, Kayseri, 426.
15. Sahroni, A., 2013. Design of Intelligent Control System Based on General Regression Neural Network Algorithm. *GSTF Journal on Computing (JoC)*, 2(4), 103–110.
16. Pololu Motor Controller Card, <https://www.pololu.com/product/1383>, Access date: 03.05.2022.
17. Humusoft Data Acquisition Card, <https://www.humusoft.cz/datacq/mf634/>, Access date: 03.05.2022.
18. Karunasingha, D.S.K., 2022. Root Mean Square Error or Mean Absolute Error? Use Their Ratio as Well, *Information Sciences*, 585, 609–629.
19. Chicco, D., Warrens, M.J., Jurman, G., 2021. The Coefficient of Determination R-Squared is More Informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in Regression Analysis Evaluation. *PeerJ Computer Science*, 7:e623, <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.623>.
20. Schubert, A.L., Hagemann, D., Voss, A., Bergmann, K., 2017. Evaluating the Model Fit of Diffusion Models with the Root Mean Square Error of Approximation. *Journal of Mathematical Psychology*, 77, 29–45.
21. Myttenaere, M., Golden, B., Grand, B.L., Rossi, F., 2016. Mean Absolute Percentage Error for Regression Models. *Neurocomputing*, 192, 38–48.
22. Yavuz, H., Beller, S., 2021. An Intelligent Serial Connected Hybrid Control Method for Gantry Cranes, *Mech. Syst. Sig. Process.*, 146, 107011.

Deprem Sonrası Bina Yüzeylerinde Meydana Gelen Çatlakların Tespitinde Sınıflandırma Modellerinin Karşılaştırılması

Abdullah ŞENER*¹ ORCID 0000-0002-8927-5638
Burhan ERGEN² ORCID 0000-0003-3244-2615

¹Bingöl Üniversitesi, Genç Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri
Bölümü, Bingöl
²Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği
Bölümü, Elazığ

Geliş tarihi: 10.02.2022 Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: ŞENER, A., ERGEN, B., (2022). Deprem Sonrası Bina Yüzeylerinde Meydana Gelen Çatlakların Tespitinde Sınıflandırma Modellerinin Karşılaştırılması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 899-909.

Öz

Deprem, can ve mal kaybına neden olan bir doğal afettir. Deprem sonrası hasarların ve can kayıplarının en aza indirilebilmesi için ön hazırlıkların yapılması büyük önem taşımaktadır. Yapılan çalışmada duvar yüzeylerinde meydana gelen küçük veya büyük çaplı çatlakların tespit edilmesi işlemleri, son yıllarda bilgisayar alanında popüler çalışma konularından biri olan görüntü sınıflandırma yöntemleriyle gerçekleştirilmiştir. Çalışmada içerisinde çatlakların bulunduğu ve bulunmadığı 40000 duvar görüntülerinden oluşan veri seti kullanılmıştır. Sınıflandırma işlemlerinde DenseNet-201, VGG-19 ve Xception modelleri ayrı ayrı kullanılmıştır. Modeller kullanılarak görüntüler özellik haritaları çıkartılmıştır. Bir sonraki aşamada ise DenseNet-201 ile %99, VGG-19 ile %94 ve Xception modeli ile %99 doğruluk oranı ile sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sınıflandırma işlemlerindeki başarılar göz önüne alındığında hasar tespiti işlemlerinde kullanılacak alternatif bir yöntem sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Görüntü sınıflandırma, Yapay sinir ağları, Derin öğrenme, DenseNet-201, Xception, VGG-19

Comparison of Classification Models for Detection of Cracks in Building Surfaces After Earthquake

Abstract

An earthquake is a natural disaster that causes loss of life and property. It is of great importance to make preparations to minimize the damage and loss of life after an earthquake. In the study, the detection of small or large cracks on the wall surfaces was performed using image classification methods, which are one of the most popular working topics in the computer field in recent years. A dataset of 40000 wall

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Abdullah ŞENER, asener@bingol.edu.tr

images with and without cracks was used for the study. DenseNet-201, VGG-19 and Xception models were used separately for the classification. Feature maps of the images were extracted using the models. In the next step, the classification processes were performed with DenseNet-201 with 99% accuracy, with VGG-19 with 94% accuracy, and with the Xception model with 99% accuracy. Considering the success in the classification processes, an alternative method that can be used in damage assessment is presented.

Keywords: Image classification, Artificial neural networks, Deep learning, DenseNet-201, Xception, VGG-19

1. GİRİŞ

Deprem, yer kabuğunda beklenmedik bir anda ortaya çıkan enerji sonucunda meydana gelen yeryüzü sarsıntısı olayıdır [1]. Deprem çoğu doğal olaylar gibi öngörülemez bir yapıya sahiptir. Ancak bir bölgede daha önce meydana gelmiş depremler sonrası yapılan çalışmalar aracılığıyla ilerleyen vakitlerde meydana gelebilecek depremler için ön hazırlıklar yapılabilir. Ön hazırlıkların başında binalarda deprem sonrası meydana gelen küçük veya büyük çaplı çatlak hasarlarının tespit edilip düzeltilmesidir. Günümüzde binalarda meydana gelen çatlakları belirlemek için bir dizi pahalı araçlara ve bu araçlardan elde edilen bilgileri insanların tecrübelerine göre yorumlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu işlemlerin bilgisayarlı görme teknikleri kullanılarak tek bir görüntü üzerinden gerçekleştirilmesi hem maliyet hem de zaman açısından daha faydalı olacaktır. Tek bir görüntü üzerinden bina duvarlarında meydana gelen çatlakların tespiti insanlar için basit ve kolay bir işdir. Bu işlem, otonom bir sistem için daha yüksek bir zorluk seviyesine sahiptir. Tek bir görüntüyü giriş verisi olarak alan iyi bir sınıflandırıcı sistem tasarlayarak doğruluk oranı yüksek hasar tespiti gerçekleştirilebilir. Yapılan çalışmada görüntü sınıflandırma yöntemleri kullanılarak binalar üzerinde çatlak tespiti yapılmaya çalışılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Son yıllarda, yeni teknolojilerin tanıtılmasıyla birlikte bilgisayarlı görme alanında gelişmeler hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Bu gelişmelerin bir sonucu olarak, bilgisayarlı görme modellerinin görüntü tanıma, nesne algılama, görüntü

sınıflandırma vb. ile ilgili birçok konunun popülerleşmesini sağlamıştır. Görüntü sınıflandırma yöntemi son yıllarda yapılan çalışmalar göz önüne alındığında hemen hemen her alanda kullanılmaya başlaması popüler bir konu olduğunun göstergesidir [2]. Görüntü sınıflandırma işlemi; kullanıcının belirlediği özelliklere göre görüntüyü meydana getiren piksellerin her bir görüntü üzerindeki diğer piksellerle karşılaştırılıp benzerlik oranı yüksel olanların aynı sınıflarda toplanması işlemidir [3]. Görüntü sınıflandırma işleminin temel amacı aynı spektral özelliklere sahip görüntüleri gruplandırmaktır [4].

Literatür çalışmalarında görüntü sınıflandırma yöntemleri kullanılarak görüntüler üzerinde çatlak, kırık, bozukluk vb. gibi özelliklerin tespiti ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları incelenecek olursa; Thiago Rateke ve Aldo Von Wangenheim yaptıkları çalışmada yol yüzeylerinde meydana gelen farklı boyuttaki çatlak ve hasarların tespit edilmesi işlemini gerçekleştirmişlerdir [5]. Wilson Ricardo Leal da Silva ve Diogo Schwerz de Lucena derin öğrenmede görüntü sınıflandırmaya dayalı beton çatlakları tespiti üzerine çalışmışlardır [6]. Yaptıkları çalışmada beton yüzeylerdeki çatlakları tespit etmek için makine öğrenimi tabanlı bir model geliştirmeyi amaçlamaktadır. Diogo Duarte ve arkadaşları Evrimsel Sinir Ağları ile Bina Hasarlarının Görüntü Sınıflandırması ile tespiti üzerinde çalışmışlardır [7]. Hiroya Maeda ve arkadaşları Akıllı Telefon Görüntüleriyle Derin Sinir Ağlarını Kullanarak Yol Hasar Tespiti ve Sınıflandırması üzerine çalışmışlardır [8]. Niannian Wang ve arkadaşları Durağan

Görüntülere Dayalı Evrişimli Sinir Ağlarını Kullanan Yığma Tarihi Yapılar için Hasar Sınıflandırması üzerine çalışmışlardır [9]. Abhishek Reddy ve arkadaşları Yapay zekâ tabanlı görüntü analitiği kullanılarak rüzgâr türbini kanatlarındaki Çatlakların ve hasarların tespiti üzerine çalışmışlardır [10]. ASM Shihavuddin ve arkadaşları Birleşik bir derin öğrenme yaklaşımı kullanarak yenilenebilir enerji kurulumlarının görüntü tabanlı yüzey hasarı tespiti üzerine çalışmışlardır [11]. K.Y. Choi ve S.S. Kim Dijital görüntü işleme ile yüzey korozyon hasarı türlerinin morfolojik analizi ve sınıflandırılması üzerine çalışmışlardır [12].

Yapılan çalışmada görüntü sınıflandırma yöntemleri kullanılarak bina yüzeylerinde meydana gelen çatlaklar tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada DenseNet, VGG-19 ve Xception görüntü sınıflandırma modelleri ayrı ayrı kullanılarak bina yüzeyinde meydana gelen büyük veya küçük çaplı çatlaklar modele verilen görüntüler üzerinde tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kullanılan modeller karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın diğer bölümleri hakkında özet bilgiler şu şekildedir; 2. bölümde Materyal ve Metotlardan bahsedilmiştir. Ayrıca yine bu bölümde yapılan

çalışmanın detayları ile ilgili bilgiler yer almaktadır. Deneysel analiz sonuçlarına 3. bölümde yer verilmiştir. Tartışma ve sonuçlar ise 4. ve 5. bölümde yer almaktadır.

2. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde sınıflandırma işlemini gerçekleştirilen veri seti ve sınıflandırma işleminde kullanılan modeller hakkında bilgiler içermektedir.

2.1. Veri Seti

Yapılan çalışmada kullanılacak sınıflandırma modellerinin performanslarını değerlendirmek için içerisinde çatlakların bulunduğu ve bulunmadığı görüntülerden oluşan bir veri seti kullanılmıştır. Veri seti; çatlakların bulunduğu pozitif etiketli klasörde 227 x 227 piksel boyutlarında RGB kanallı 20000 görüntü, çatlakların bulunmadığı negatif etiketli klasörde 227 x 227 piksel boyutlarına RGB kanallı 20000 görüntü ile birlikte toplamda 40000 görüntüden oluşmaktadır [13]. Çalışmada kullanılan 2000 görüntünün %40'ı eğitim, %30'u doğrulama ve %30'u ise test için kullanılmıştır. Veri setini oluşturan görüntülerden bazıları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Veri setini temsil eden örnek görüntüler a) Çatlak pozitif, b) Çatlak negatif [13]

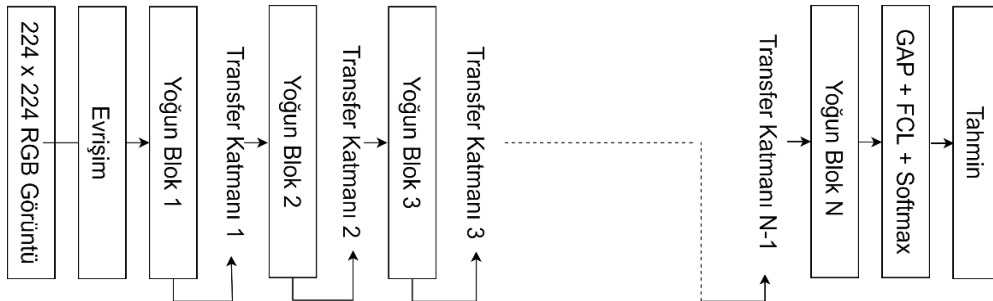
2.2. Derin Öğrenme

Derin öğrenme, üzerinde çalıştığı veri setine uygun sonuçlar üretebilen veya tahmin edebilen birden fazla katmandan oluşmuş makine öğrenme yöntemleridir. Derin öğrenmede amaç, içerdiği yapay sinir ağını kullanarak üzerinde çalıştığı verilerden yeni veriler üretmektir. Derin öğrenme yöntemleri arasında popülerliği en yüksek olan yöntem Evrişimli sinir ağı (CNN) mimarisidir [14]. CNN mimarisi görüntüler üzerinde sınıflandırma işlemlerini gerçekleştirirken, insan beyninin görsel korteksinin çalışma prensibine benzer şekilde ortak özelliklere sahip görüntüleri tanımakta ve bir araya getirmektedir [15]. CNN mimarisinin yapısı evrişim katmanı, doğrusal olmayan katman, havuzlama katmanı, düzeltme katmanı ve tamamen bağlı katmanlarının birleşiminden oluşmaktadır [16]. CNN mimarisini oluşturan katmanların özelliklerine bakıldığında; matematiksel işlemlerin yoğun bir şekilde gerçekleştiği katman evrişim katmanıdır. CNN mimarisinin temelini evrişim katmanı temsil etmektedir. Evrişim katmanında düşük ve yüksek seviyeli özellik saptama işlemi görüntüler üzerinde bazı filtreler uygulayarak gerçekleştirilmektedir. Bir evrişimli sinir ağındaki doğrusal olmayan bir katman, evrişimsel katman tarafından oluşturulan özellik haritasını alan ve çıktı olarak aktivasyon haritasını oluşturan bir aktivasyon fonksiyonundan oluşur. Aktivasyon işlevi, giriş hacmi üzerinde eleman bazında bir işlemdir ve bu nedenle giriş ve çıkışın boyutları aynıdır. Havuzlama katmanı, aktivasyon haritalarının uzamsal boyutunu küçültmekten sorumludur. Genel olarak, hesaplama gereksinimlerini ağ üzerinden aşamalı olarak

azaltmak için diğer katmanların (evrişimli ve doğrusal olmayan katmanlar) birden fazla aşamasından sonra kullanılırlar. Düzeltme Katmanının görevi CNN mimarisinin son katmanı olan tam bağlı katmanın girişi için verileri hazırlamaktır. Genellikle bu katman kendisine gelen verileri tek boyutlu bir matrise dönüştürerek bu işlemi gerçekleştirir. Tam bağlı katman giriş katmanı ve çıkış katmanı arasında ilişki kurma işlemini gerçekleştirmektedir [17].

2.3. DenseNet

DenseNet; yoğun bağlantılı evrişim sinir ağıdır. DenseNet, görüntüler üzerinde nesne tanıma ve sınıflandırma işlevleri için geliştirilen yapay sinir ağlarındaki keşiflerden biridir. DenseNet, yapı olarak ResNet'in mimarisine oldukça benzer. İki mimari arasında bazı temel farklılıklar vardır. Bu farklılıklara bakıldığında; ResNet, önceki katmanda elde ettiğini bilgileri bir sonraki katmanla birleştiren bir toplama yöntemi kullanırken, DenseNet önceki katmanda elde ettiği bilgileri bir sonraki katmanla birleştirme yöntemini kullanmaktadır. DenseNet (Yoğun bağlantılı evrişim ağı), her katmanı diğer katmanlara ileriye doğru bir şekilde bağlamaktadır. DenseNet mimarisinde her katman önceki tüm katmanların özelliklerini girdi olarak kullanmakta ve katmandaki kendi özellikleri de sonraki katmanlara girdi olarak vermektedir [18]. DenseNet mimarilerinin avantajı özellik yayılımını sağlamak ve özelliğin yeniden kullanılmasına olanak sağlayarak parametre sayısını azaltmasıdır [19]. Şekil 2'de örnek bir DenseNet mimarisi gösterilmektedir [20].

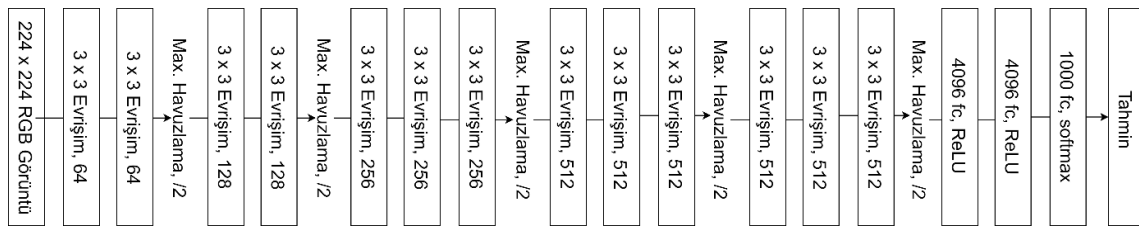


Şekil 2. DenseNet mimarisi [20]

2.4. VGG-19

VGG-19, 24 katman derinliğine sahip evrişimsel bir sinir ağıdır. Bu katmanları 16 evrişimsel, 5 havuzlama ve 3 tam bağlantılı katmandan oluşmaktadır [21]. ImageNet veritabanında bulunan bir milyondan fazla görüntü üzerinde önceden eğitilmiştir. VGG-19 ağı, 224 x 224

piksel boyutlarında bir görüntü girişine sahiptir. VGG-19 mimarisi incelendiğinde yaklaşık olarak 138 milyon parametreden oluştuğu görülmektedir [22]. VGG-19, parametre sayısını azaltmak için evrişimsel katmanda 3x3 piksel boyutunda filtreler kullanmaktadır. Şekil 3'te VGG-19 mimarisi gösterilmektedir.

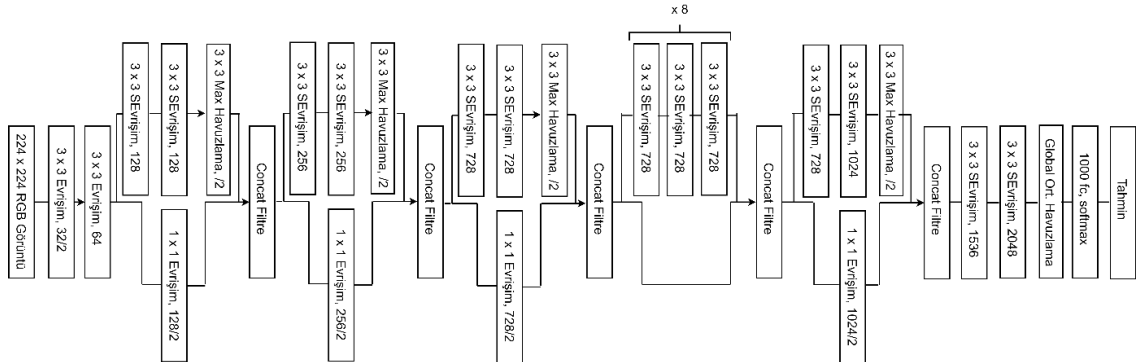


Şekil 3. VGG-19 mimarisi

2.5. Xception

GoogLeNET (Inception V1), Google mühendisleri tarafından "Network-In-Network" çalışmasından esinlenerek oluşturulmuştur [23]. Daha sonra Inception V2 ve Inception V3 versiyonları geliştirilmiştir [24]. Xception mimarisi, standart Inception modüllerini derinlemesine ayrılabılır evrişimle değiştiren Inception mimarisinin bir uzantısıdır [25,26]. ImageNet veritabanında

bulunan bir milyondan fazla görüntü üzerinde önceden eğitilmiştir. Xception ağı, 224 x 224 piksel boyutlarında bir görüntü girişine sahiptir. Girdi olarak alınan verileri sıkıştırılmış parçalara bölmek yerine, her bir çıktı kanalı için uzamsal korelasyonları ayrı eşler ve kanallar arası korelasyona ulaşmak için 1 x 1 derinlikte evrişim gerçekleştirir. Xception mimarisi Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Xception mimarisi

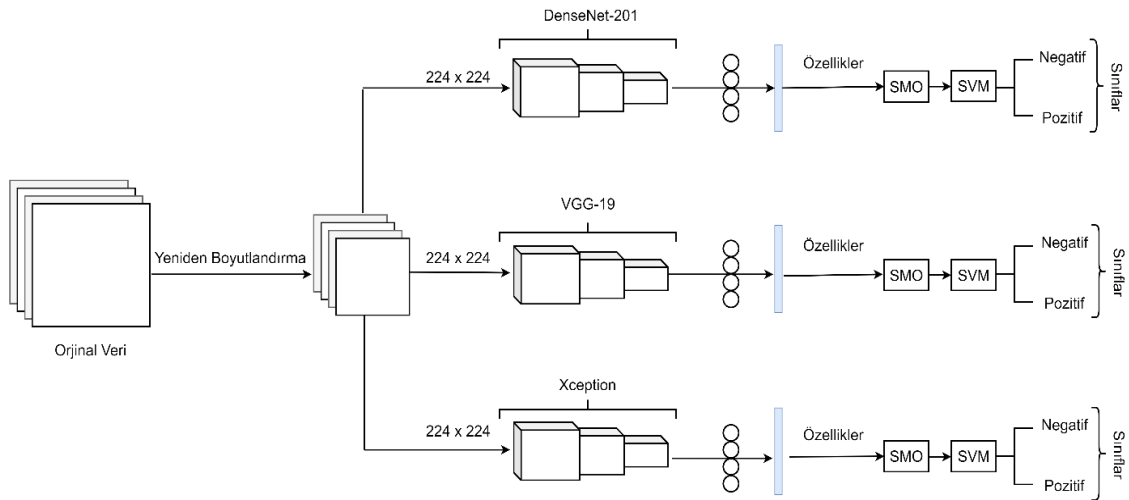
2.6. Çalışma Detayları

Yapılan çalışmada bina duvarları üzerinde meydana gelen küçük veya büyük ölçekli çatlakların tespit edilmesi için sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmanın

genel tasarımı Şekil 5'te gösterilmektedir. Çalışmada ilk olarak görüntülerin yeniden boyutlandırılması işlemi yapılmıştır. Bu işlemin yapılma amacı sınıflandırma işlemi hızlandırmak ve bilgisayar hafızasında fazla yer tüketmesini önlemektir. Yeniden boyutlandırma işleminde

görüntüler önceden belirlenmiş sabit bir boyuta getirilir. Görüntü boyutları sabitleştirilirken gereğinden fazla küçülmemesine dikkat edilmelidir. Görüntüler gereğinden fazla küçültülürse bu sefer görüntünün sınıflandırılması için gerekli olan bilgi çıkarımı zorlaşacaktır. Bu bilgiler doğrultusunda veri setindeki görüntüler sınıflandırma işlemlerine geçilmeden önce 224 x

224 piksel çözünürlüğüne düşürülmüştür. Bir sonraki aşamada yeniden boyutlandırılmış görüntülerin özellik çıkarımı işlemi DenseNet-201, VGG-19 ve Xception modellerinde ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki aşamada ise eğitim ve test işlemleri gerçekleştirilerek sınıflandırma işlemleri yapılmıştır.



Şekil 5. Gerçekleştirilen çalışmanın genel tasarımı

3. DENEYSSEL SONUÇLAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan çalışmada sınıflandırma işlemlerini gerçekleştirilen modellerin performanslarını değerlendirmek için karmaşıklık matrisi kullanılmıştır. Karmaşıklık matrisi oluşturulurken kullanılan terimler; DP: Doğru Pozitif, YP: Yanlış Pozitif, DY: Doğru Negatif ve YN: Yanlış Negatiftir. Bu terimler kullanılarak ayrıca modelin Kesinlik, Duyarlılık, Doğruluk ve F1-Skor değerleri hesaplanabilir. Bu değerleri hesaplamak için aşağıda gösterilen 1, 2, 3 ve 4 te verilen matematiksel işlemlerle hesaplanmaktadır.

$$Kesinlik = \frac{DP}{DP + YP} \quad (1)$$

$$Duyarlılık = \frac{DP}{DP + YN} \quad (2)$$

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

$$F1-Skor = \frac{2DP}{DP + YP + YN} \quad (4)$$

Yapılan çalışmada DenseNet-201, VGG-19 ve Xception modellerinin eğitim ve test işlemleri PyCharm 2021 ile gerçekleştirilmiştir. Modellerde kullanılan veri seti dosyalarının işlenmesi için Python 3.6 kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bilgisayarın işletim sistemi 64-bit Windows 10'dur. Diğer donanım bilgileri ise NVIDIA GeForce® RTX™ 3060 6 GB ekran kartı, 11. Nesil Intel® Core™ i7 2,3 GHz (24M Önbellek, 4,6 GHz'e kadar, 8 Çekirdek) işlemci ve 16 GB bellek.

Yapılan deneysel çalışmaların sonuçları incelendiğinde; her bir modelin eğitim ve test

aşamaları toplamda DenseNet-201 ve VGG-19'da 25, Xception da 20 adımda gerçekleştirilmiştir. İncelen ilk model DenseNet-201'dir. İlk adımında eğitim kaybı ve doğrulama kaybı 0,1034 ve 0,0182 değerlerini gösterirken eğitim doğruluğu ve doğrulama doğruluğu 0,97 ve 0,99 değerlerini göstermiştir. İlk beş adım sonrasında eğitim ve doğrulama kaybı 0,0181 ve 0,0063 değerlerini gösterirken. Eğitim ve doğrulama doğruluğu 0,9933 ve 0,9967 değerlerini göstermiştir. İlk on adım sonrasında eğitim ve doğrulama kaybı 0,0063 ve 0,0133 değerlerini göstermiştir. Eğitim ve doğrulama doğruluğunda ise 0,9992 ve 0,9933 değerleri elde edilmiştir. On beş adım sonrasında eğitim ve doğrulama kaybı 0,0032 ve 0,0168 değerlerini gösterirken, eğitim ve doğrulama doğruluğu 0,9992 ve 0,9967 değerlerini gösterdiği gözlemlenmiştir. Yirmi adım sonrasında eğitim ve doğrulama kaybı değerleri 0,0150 ve 0,0212 hesaplanırken, eğitim ve doğrulama doğruluğu değerleri 0,9967 ve 0,9933 hesaplanmıştır. Son olarak yirmi beş adım sonrasında eğitim ve doğrulama kaybı değerleri 0,0052 ve 0,0222 değerlerini gösterirken, eğitim ve doğrulama doğruluğu 0,9992 ve 0,9933 değerlerini göstermiştir.

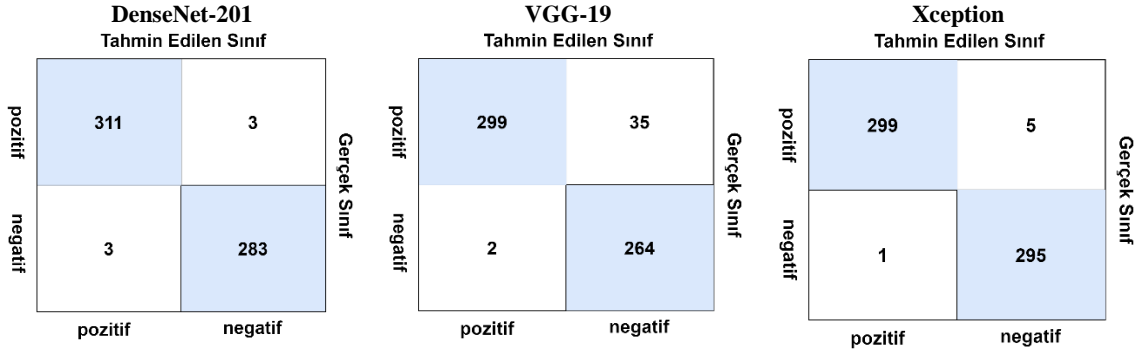
Deneysel çalışmada incelen ikinci model VGG-19'dur. İlk adımında eğitim kaybı ve doğrulama kaybı 0,5102 ve 0,3486 değerlerini gösterirken eğitim doğruluğu ve doğrulama doğruluğu 0,8343 ve 0,92 değerlerini göstermiştir. İlk beş adım sonrasında eğitim ve doğrulama kaybı 0,1263 ve 0,19 değerlerini gösterirken, eğitim ve doğrulama doğruluğu 0,9679 ve 0,9267 değerlerini göstermiştir. İlk on adım sonrasında eğitim ve doğrulama kaybı 0,0877 ve 0,1353 değerlerini göstermiştir. Eğitim ve doğrulama doğruluğunda ise 0,9686 ve 0,955 değerleri elde edilmiştir. On beş adım sonrasında eğitim ve doğrulama kaybı 0,0647 ve 0,118 değerlerini gösterirken, eğitim ve doğrulama doğruluğu 0,9750 ve 0,9583 değerlerini gösterdiği gözlemlenmiştir. Yirmi adım sonrasında eğitim ve doğrulama kaybı değerleri 0,0557 ve 0,1057 hesaplanırken, eğitim ve doğrulama doğruluğu değerleri 0,9843 ve 0,9583 hesaplanmıştır. Son olarak yirmi beş adım sonrasında eğitim ve doğrulama kaybı 0,0476 ve 0,1487 değerlerini gösterirken, eğitim ve

doğrulama doğruluğu 0,9893 ve 0,945 değerlerini göstermiştir.

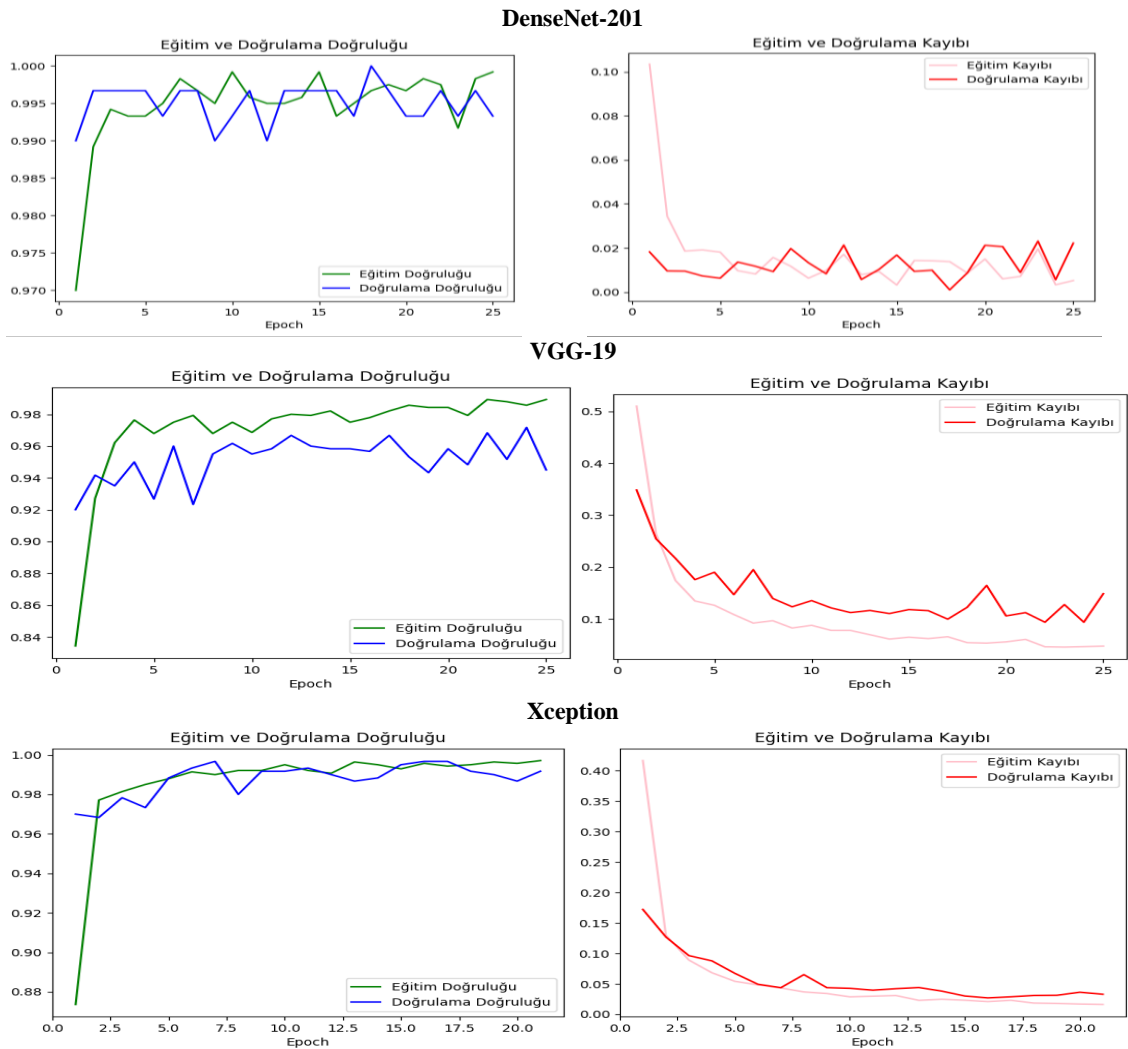
Deneysel çalışmada incelenen üçüncü model Xception'dur. İlk adımında eğitim kaybı ve doğrulama kaybı 0,4166 ve 0,1722 değerlerini gösterirken eğitim doğruluğu ve doğrulama doğruluğu 0,8736 ve 0,97 değerlerini göstermiştir. İlk beş adım sonrasında eğitim ve doğrulama kaybı 0,0542 ve 0,0673 değerlerini gösterirken, eğitim ve doğrulama doğruluğu 0,9879 ve 0,9883 değerlerini göstermiştir. İlk on adım sonrasında eğitim ve doğruluk kaybı 0,0287 ve 0,0427 değerlerini göstermiştir. Eğitim ve doğrulama doğruluğunda ise 0,9950 ve 0,9917 değerleri elde edilmiştir. On beş adım sonrasında eğitim ve doğrulama kaybı 0,0232 ve 0,0301 değerlerini gösterirken, eğitim ve doğrulama doğruluğu 0,9929 ve 0,995 değerlerini gösterdiği gözlemlenmiştir. Yirmi adım sonrasında eğitim ve doğrulama kaybı değerleri 0,0169 ve 0,0363 hesaplanırken, eğitim ve doğrulama doğruluğu değerleri 0,9957 ve 0,9867 hesaplanmıştır. Son olarak yirmi beş adım sonrasında eğitim ve doğrulama kaybı 0,0476 ve 0,1487 değerlerini gösterirken, eğitim ve doğrulama doğruluğu 0,9893 ve 0,945 değerlerini göstermiştir.

4. TARTIŞMA

Günümüzde deprem sonrası meydana gelen bina çatlaklarının tespit edilip onarılması büyük önem taşımaktadır. Bunun nedeni daha sonra meydana gelebilecek küçük veya büyük çaplı deprem sonrası hasarı minimuma indirmektir. Yapılan çalışmada DenseNet-201, VGG-19 ve Xception modelleri ayrı ayrı kullanılarak bina duvarlarında meydana gelen çatlakların tespit edilip sınıflandırılması işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma işlemlerinde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre modellerin gerçek ve sınıflandırıcının tahmin ettiği sınıfların gösterildiği karmaşıklık matrisleri Şekil 6'da gösterildiği gibidir. Sınıflandırma işleminde kullanılan modellerin eğitim-doğrulama doğruluğu grafiği ile eğitim- doğrulama kaybı grafiği Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Modellerin karmaşıklık matrisleri



Şekil 7. Eğitim ve doğrulama grafikleri

Sınıflandırmada işleminde kullanılan modellerinin karışıklık matrislerinin metrik değerleri Çizelge 1’de gösterilmektedir. Modellerin karmaşıklık matrisleri ve karmaşıklık matrislerini oluşturan metrik değerler karşılaştırıldığında; DenseNet-201 ve Xception modelleri %99 doğruluk başarısı gösterirken, VGG-19 ise %94 doğruluk başarısı göstermiştir. Kullanılan veri seti

referans alınarak kullanılan modeller doğruluk başarılarına göre incelendiğinde son sırayı VGG-19 modeli almıştır. Aynı koşullar altında DenseNet-201 ve Xception modellerinin doğruluk başarıları %99,33 ve %99,86 değerlerini gösterdiği tespit edilmiştir. Bu şartlar altında modeller arasında birinci sırayı Xception modeli alırken, ikinci sırayı ise DenseNet-201 modeli almıştır.

Çizelge 1. Modellerin karmaşıklık matrisinin metrik değerleri

Model	Sınıflar	Kesinlik%	Duyarlılık%	F1-Skor%	Doğruluk%
DenseNet-201	Negatif	100	99	99	99
	Pozitif	99	100	99	
VGG-19	Negatif	99	89	94	94
	Pozitif	88	99	94	
Xception	Negatif	100	98	99	99
	Pozitif	98	100	99	

5. SONUÇ

Yapılan çalışmada içerisinde çatlakların bulunduğu ve bulmadığı toplamda 40000 görüntüden oluşan veri setinin %5’i kullanılarak görüntüler üzerinde sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma işlemleri üç farklı model ile yapılmıştır. Daha sonra ise elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmada yapılan sınıflandırma işleminin amacı; bir bölge içerisinde önceden gerçekleşen depremler sonrası oluşan hasarların tespitini otonom ve masrafsız bir şekilde bilgisayarlı göreme işlemleri ile gerçekleştirmektir. Yapılan çalışmada depremler sonrası oluşan

hasarlar bina yüzeylerinde meydana gelen çatlaklar referans alınarak gerçekleştirilmiştir. Oluşan hasarların tespiti ilerleyen vakitlerde meydana gelebilecek depremlerin ön hazırlığı için büyük önem taşımaktadır. Kullanılan veri seti göz önünde bulundurulduğunda elde edilen sonuçlara göre en iyi sınıflandırma işlemi Xception modeli gerçekleştirmiştir. Doğruluk başarısında çok az bir farkla Xception modelini DenseNet-201 ve VGG-19 modelleri takip etmiştir. Yapılan çalışma ile aynı veri setini kullanan diğer çalışmaların analiz sonuçları ve gerçekleştirilen çalışmanın analiz sonuçları Çizelge 2’de gösterilmektedir.

Çizelge 2. Benzer veri setleri ile gerçekleştirilmiş çalışmaların karşılaştırılması

Makale	Yıl	Model/Model	Doğruluk%
Silva and Lucena [6]	2018	VGG-16	92,27
Fan, Z and etc. [27]	2018	CNN	92,44
Yapılan çalışma	2022	Xception	99,29
		VGG-19	94,5
		DenseNet-201	99,33

Çizelge 2 incelendiğinde Yapılan çalışmada kullanılan 3 modeli doğruluk oranları, diğer iki çalışmada elde edilen doğruluk oranlarına kıyasla daha başarılı olduğu görülmektedir. Gerçekleştirilen sınıflandırma işlemlerindeki başarılar göz önüne alındığında bu işlemlerin maliyetinin az olması ve kısa zamanda sonuç vermesi binalar üzerinde meydana gelebilecek hasarların tespitinin yapılabilmesinde iyi bir alternatif yol olarak karşımıza çıkmaktadır.

6. KAYNAKLAR

1. İşçi, C., 2008. Deprem Nedir ve Nasıl Korunuruz. Yaşar Üniversitesi E-Dergisi, 3(9), 959.
2. Liu, X., Deng, Z., Yang, Y., 2019. Recent Progress in Semantic Image Segmentation. Artificial Intelligence Review, 52(2), 1089-1106.
3. Campbell, J.B., Wynne, R.H., 2011. Introduction to Remote Sensing. Guilford Press, 670.
4. Gao, J., 2009. Digital Analysis of Remotely Sensed Imagery. McGraw-Hill Education, 674.
5. Rateke, T., Von Wangenheim, A., 2021. Road Surface Detection and Differentiation Considering Surface Damages. Autonomous Robots, 45(2), 299-312.
6. Silva, W.R.L.D., Lucena, D.S.D., 2018. Concrete Cracks Detection Based on Deep Learning Image Classification. In Proceedings, MDPI AG, 2(8) 489.
7. Duarte, D., Nex, F., Kerle, N., Vosselman, G., 2018. Multi-Resolution Feature Fusion for Image Classification of Building Damages with Convolutional Neural Networks Remote Sens, 10(1636), 10-3390.
8. Maeda, H., Sekimoto, Y., Seto, T., Kashiyama, T., Omata, H., 2018. Road Damage Detection Using Deep Neural Networks with Images Captured Through a Smartphone. arXiv preprint arXiv:1801.09454.
9. Wang, N., Zhao, Q., Li, S., Zhao, X., Zhao, P., 2018. Damage Classification for Masonry Historic Structures Using Convolutional Neural Networks Based on Still Images. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 33(12), 1073-1089.
10. Reddy, A., Indragandhi, V., Ravi, L., Subramaniaswamy, V., 2019. Detection of Cracks and Damage in Wind Turbine Blades Using Artificial Intelligence-Based Image Analytics. Measurement, 147, 106823.
11. Shihavuddin, A.S.M., Rashid, M.R.A., Maruf, M.H., Hasan, M.A., ul Haq, M.A., Ashique, R. H., Al Mansur, A., 2021. Image Based Surface Damage Detection of Renewable Energy Installations Using a Unified Deep Learning Approach. Energy Reports, 7, 4566-4576.
12. Choi, K.Y., Kim, S.S., 2005. Morphological Analysis and Classification of Types of Surface Corrosion Damage by Digital Image Processing. Corrosion Science, 47(1), 1-15.
13. Surface Crack Detection Using DL Models, Veri seti: <https://www.kaggle.com/hanzamanssor/surface-crack-detection-using-dl-models/data>, Erişim tarihi: 28.12.2021.
14. Gu, J., Wang, Z., Kuen, J., Ma, L., Shahroudy, A., Shuai, B., Chen, T., 2018. Recent Advances in Convolutional Neural Networks. Pattern Recognition, 77, 354-377.
15. Min, S., Lee, B., Yoon, S., 2017. Deep Learning in Bioinformatics. Briefings in Bioinformatics, 18(5), 851-869.
16. Hanbay, K., 2020. Hyperspectral Image Classification Using Convolutional Neural Network and Two-Dimensional Complex Gabor Transform. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 35(1), 443-456.
17. Niepert, M., Ahmed, M., Kutzkov, K., 2014. Learning Convolutional Neural Networks for Graphs. In International Conference on Machine Learning, Germany: 2016. 2014-2023.
18. Kumar, R., 2020. Adding Binary Search Connections to Improve Densenet Performance. In 5th International Conference on Next Generation Computing Technologies (NGCT-2019).
19. Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L., Weinberger, K.Q., 2017. Densely Connected Convolutional Networks. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 4700-4708.

20. Li, X., Shen, X., Zhou, Y., Wang, X., Li, T.Q., 2020. Classification of Breast Cancer Histopathological Images Using Interleaved DenseNet with SENet (IDSNet). PloS one, 15(5), e0232127.
21. Toğaçar, M., Ergen, B., Özyurt, F., 2020. Evrişimsel Sinir Ağı Modellerinde Özellik Seçim Yöntemlerini Kullanarak Çiçek Görüntülerinin Sınıflandırılması. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 32(1), 47-56.
22. Mateen, M., Wen, J., Song, S., Huang, Z., 2018. Fundus Image Classification Using VGG-19 Architecture with PCA and SVD. Symmetry, 11(1), 1.
23. Lin, M., Chen, Q., Yan, S., 2014. Network in Network, 2nd Int. Conf. Learn. Represent. ICLR 2014 - Conf. Track Proc.
24. Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., Wojna, Z., 2016. Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2818-2826.
25. Chollet, F., 2017. Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions. in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1251-1258.
26. Söylemez, Ö.F., Ergen, B., 2020. Farklı Evrişimsel Sinir Ağı Mimarilerinin Yüz İfade Analizi Alanındaki Başarımlarının İncelenmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 11(1), 123-133.
27. Fan, Z., Wu, Y., Lu, J., Li, W., 2018. Automatic Pavement Crack Detection Based on Structured Prediction with the Convolutional Neural Network. arXiv preprint arXiv:1802.02208.

Tekstilde İstatistiksel Proses Kontrol Uygulaması Örneği-Terbiye İşletmesi

Pınar PARLAKYİĞİT*¹ ORCID 0000-0001-9235-6239

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

Geliş tarihi: 24.05.2022

Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: PARLAKYİĞİT, P., (2022). Tekstilde İstatistiksel Proses Kontrol Uygulaması Örneği-Terbiye İşletmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 911-923.

Öz

Ülkemizin tekstilde ihracata yönelik bir konumda olması, bizi kalite kontrol konusunda daha dikkatli olmaya yönlendirmektedir. Tekstil endüstrisinde üretim ardı ardına gelen prosesler sonucu gerçekleşmektedir. Bir prosesin sonucu hammaddeden başlayarak iplik, dokuma, terbiye, boya ve en son hazır giyim ünitelerinde kendini göstermektedir. Her processte kalite kontrolle ilgili çalışmaların dikkatlice ve eksiksiz yapılması, uygunsuzlukların processte yakalanması, aksiyon ve önlem alınması önem arz etmektedir. Bu çalışmada bir tekstil işletmesinde apre işlemi uygulanan ipliği boyalı %70 pamuk %30 keten içeren gömleklik bir kumaş seçilmiştir. Bu kumaşa sırasıyla açma, yakma, yıkama, kurutma, ramözde kimyasal apre(silikon yumuşatıcı, buruşmazlık ve su iticilik), kalandır, kondense ve sanfor işlemleri uygulanmıştır. Bu kumaşın proses kontrollerinde yapılan toplam 1343 kontrolde 31 adet uygunsuzluk gözlenmiş olup yapılan pareto analizi ile bu uygunsuzluklardan en çoğunun kumaşın yaş beklemesi sonucu olduğu, diğerlerinin ise sırasıyla rotasyonlardaki dönmeme problemi, kamara ısı problemleri ve dikkatsizlik sonucu yırtılma olduğu ortaya çıkmıştır. Kalite kontrolde yapılan testlerde ise çekmezlik ve kir-yağ problemleri gözlenmiştir. Bu uygunsuzlukların sonuçlarının kalite kontrolde ortaya çıkması nedeni ile kumaş kalitesine direkt yansıyan kök-neden uygunsuzluklar olduğu, dolayısı ile uygunsuzluğu kaynağında yani proses sırasında çözümleyerek ileri safhalara taşınmasının ve kalitede problemlere yol açmasının da önüne geçilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Proses kontrol, Pareto analizi, Terbiye, Tekstil, Uygunsuzluk

Example of Statistical Process Control Application in Textile-Finishing Mill

Abstract

Our position as an export-oriented country in textile, leads us to be more careful about quality control. In the textile industry, production takes place as a result of successive processes. The result of a process, starting from the raw material, shows itself in yarn, weaving, finishing, dyeing and finally ready-made

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Pınar PARLAKYİĞİT, pparlakyigit@adiyaman.edu.tr

clothing units. In every process, it is necessary to carry out the studies related to quality control carefully and completely, to catch the errors in the process, and to take action and precautions. In this study, yarn dyed shirt fabric containing 70% cotton and 30% linen, which was applied finishing operations in a textile mill, was selected. Opening, singeing, washing, drying, chemical finishing in the stenter (silicon softener, anti-crease and water repellency), calendaring, condensation and sanforizing processes were applied to this fabric, respectively. In the process controls of this fabric, 31 improprieties were observed in a total of 1343 controls, and with the Pareto analysis, it was revealed that the most of these improprieties were the result of wet waiting of the fabric during processes, while the others were caused by non-rotation problems in rotations, chamber heat problems and tearing as a result of carelessness. In the tests carried out in quality control, non-shrinkage and dirt-oil problems were observed. It has been concluded that since the results of these improprieties occur in quality control, there are root-cause improprieties that are directly affected the fabric quality. So that by solving the impropriety at its source, that is, during the process, it will be prevented from moving to the next stages and causing quality problems.

Keywords: Process control, Pareto analysis, Finishing, Textile, Impropriety

1. GİRİŞ

Tekstil mamullerinin görünümünü (boyama, basma vs.); tutumunu (yumuşatma, sertleştirme vs.); kullanım özelliklerini (su iticilik, güç tutuşur, kolay ütüleme vs.) geliştirmek amacıyla yapılan işlemlere terbiye işlemleri denilmektedir. Bu terbiye işlemleri tekstil üretiminin çeşitli safhalarında (elyaf, iplik, kumaş, örme veya konfeksiyon) uygulanabilmektedir [1]. Terbiye işlemleri mekanik ve kimyasal olarak iki gruba ayrılmaktadır. Tekstil ürününün bir flotte içerisinde geçirilmesi ya da bir süre muamele edilmesiyle apre maddesinin ürüne aktarılmasına kimyasal terbiye işlemi (kimyasal apre) denilmektedir. Mekanik etkilerle, materyalin kullanım özelliklerini geliştiren apre işlemleri ise mekanik apre olarak adlandırılmaktadır. Mekanik apre işlemlerinde materyal genellikle kuru olarak apre işlemine tabi tutulmaktadır.

Kalite, “belli bir mamul veya hizmetin tüketicinin gereksinimlerini karşılama derecesi” olarak, kısaca “kullanıma uygunluk” olarak da tanımlanmaktadır. Günümüz tekstil endüstrisinde kaliteyi denetlemek ve üretimi izlemek için üretim aşamasında (on-line) kullanılmak üzere çeşitli elektronik ölçme ve kontrol sistemleri geliştirilmektedir. Diğer taraftan üretim hattı dışı (off-line) ölçüm ve performans testler için de gelişmiş test ve kontrol cihazları kullanılarak ürün kalitesinin iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Tekstil ürünlerinin kalite

kontrol işlemleri elyaf, iplik, ham kumaş ve mamul kumaş üretim aşamalarında, yarı mamul ve mamul bazında yapılabildiği gibi ayrıca konfeksiyon sürecinde de yapılabilmektedir. Dolayısı ile çok çeşitli bir ürün yelpazesine göre değişik süreçlerde uygulanacak test ve kalite kontrol yöntemleri geliştirilmesi gerekmektedir. Ancak bu değişik yöntemlerin genelde içermesi gereken ortak özelliklerden en önemlileri; yığının en iyi biçimde örneklenmesi, hızlı ve etkin yöntem ve cihazların kullanılması, standart ya da literatürde geçen yöntemlerin uygulanması, öznel değerlendirmeden arındırılması, sürekli tekrarlanabilir olması ve hassas sonuçların alınabilmesi ile verilerin standart formlarda sunulması hızlı biçimde değerlendirilebilmesi olarak sıralanmaktadır.

Profesör K. İshikawa'ya göre sanayide karşılaşılan sorunların % 95'i basit yedi temel teknikte çözümlenebilmektedir: Bu teknikler; akış diyagramı, çetele diyagramı, pareto analizi, neden-sonuç diyagramı, histogram, dağılım diyagramı ve kontrol kartlarıdır [2,3]. Bir tekstil işletmesinde, yıkama bölümünde yapılan bir çalışmada; dokuma sonrası yapılan denim kumaş kontrolleri bir ay boyunca araştırılmış ve yıkama uygunsuzlukları istatistiksel yöntemler kullanılarak incelenmiştir. Kalite kontrol sonucunda görülen kusurları sınıflandırmak için istatistiksel süreç kontrol yöntemlerinden Pareto analizi, neden-sonuç diyagramı ve P kontrol grafikleri kullanılmıştır [4].

Proses değişkenliğinin varlığını belirlemek ve nedenlerini anlamak, kontrollü ve kaliteli üretim için temel gereksinimlerdir. Bir tekstil işletmesinin eğirme departmanına İstatistiksel Proses Kontrol yöntemlerinin uygulandığı bir pilot çalışmada ise, X Bar ve R süreç kontrol çizelgeleri ile süreç yetenek analizleri çalışılmış olup 29 makine prosesi için yapılan araştırmada hiçbirinin istatistiksel olarak kontrolde olmadığı tespit edilmiştir. İstatistiksel proses kontrolü için kontrol çizelgelerinin pratik hale getirilmesi ve fabrika içindeki tüm süreçlere uygulanması için önerilerde bulunulmuştur [5].

İyileştirme öncesi ve sonrası olmak üzere iki farklı dönem için istatistiksel süreç kontrol çizelgeleri kullanarak süreç izlemeyi içeren bir projede [6] ise baskın kusur ve nedenleri tespit edilmiştir. İyileştirme önlemlerinin uygulanması ile baskın kusurun ortadan kaldırıldığı ancak sürecin kontrolden çıktığı belirtilmiştir. Sonuçlar, test modelin etkili olduğunu ancak istenen duruma ulaşmak için daha fazla yineleme gerektirdiğini göstermiştir. Proses kontrol tabloları, bir prosesin zaman içindeki işleyişine ilişkin verileri kaydetmek ve görüntülemek için kullanılan bir araçtır. Proses içindeki varyasyonu göstererek prosesi kontrol altına almak; özel ve yaygın nedenler arasında ayırım yaparak sorunları veya olası zorlukları belirlemek için kullanılmaktadır. Özel nedenleri ortadan kaldırmak için acil eylem gerektiren durumlara dikkat çekerek, böylece süreci istikrarlı bir duruma döndürmek ya da kaliteyi artırmak ve sürekli iyileştirmeye katkı sağlamak için ortak neden olan varyasyon seviyesini azaltmak, yönetim eylemi gerektiren durumlara dikkat çekerek süreci sürekli kontrol altında tutmak için kullanılmaktadır [7,8]. İstatistiksel proses kontrol, modern imalatta kabul edilebilir ve istikrarlı kalite seviyelerini korumak için en çok kullanılan araçlardan biri haline gelmiştir. İstatistiksel proses kontrol sezgisel hükümlere değil, rakamlara dayanan kararlar verilmesini gerektirmektedir. Modern üretim ortamı, bilgisayarla entegre üretime odaklanmıştır ve istatistiksel proses kontrol görevlerini otomatik olarak uygulamak için gelişmiş bilgisayar

algoritmaları ve süreç kontrolleri geliştirilmektedir [9].

Üretim hattı (on-line) kalite kontrolünde geleneksel istatistiksel proses kontrolü kapsamında yer alan kontrol diyagramları, neden sonuç diyagramları ve süreç yeterlilik ölçümleri kullanılır. Ürün geliştirme sürecinde on-line kalite kontrol çalışmaları tamamıyla üretime yönelmekte ve odaklanmaktadır. On-line istatistiksel proses kontrolünde kullanılan yaygın yöntemler; izleme (monitoring), ölçme ve test yapma ve istatistiksel analizlerdir. Dolayısıyla beklenen hedefler, üretimi kontrol altında tutmak ve üründeki imalat bozukluklarını azaltmak olmaktadır. Üretim hattı dışı (off-line) kalite kontrolünde ise uygulanan iyileştirme çabaları, bir ürünün gelişim süreci içinde hem ürün tasarımı hem de süreç tasarımı aşamaları kapsamına uygulanacaktır. Bu uygulamalar bir anlamda off-line kalite mühendisliği olarak ifade edilmektedir. Temel hedef ürün ve ürünün üretilebilirlik ve güvenilirlik değerini geliştirmek, ömür boyu maliyetlerini azaltmaktır. Bir off-line kalite mühendisliğinde kaliteli ürünlerin üretilebilmesi için tasarım tekrarı ve incelemeleri, duyarlılık analizleri, hızlandırılmış yaşam testleri, prototip testleri ve güvenilirlik çalışmaları gibi yöntemler uygulanması gerekmektedir [10,11].

Her işletmecinin ilk hedefi rasyonel çalışmayı sağlamaktır. Rasyonel çalışma organizasyon bakımından ancak teknolojik prosedürleri geliştirmek ve kısaca kayıpların önüne geçmek olarak tanımlanmaktadır. İşletmelerde kayıplar gereksiz şekilde harcanan enerji, kimyasal maddeler, buhar, organizasyon bozukluğundan dolayı fazla ödenen ücretler; hammadde ve kimyasal maddelerin uygun fiyatlı olarak temin edilememesi ve düşünülmeden verilen yanlış emirler gibi birtakım faktörlerin etkisiyle meydana gelmektedir. Kaliteli ürün üretmek ve maliyeti düşürmek kısacası iyi ve ucuz ürün elde edebilmek için rasyonel çalışmayı etkileyen faktörler arasında ürünün kalitesini bozmamak koşuluyla kullanılan kimyasal ve yardımcı maddelerde mümkün olduğu kadar tasarruf sağlamak yer almaktadır. Bu

kuvvetli bir kontrol ve etüde dayanarak yapılmalı ve ayrıca kontrol sistemleri temel ve basit metotlar olmalıdır. İşletmelerde yapılan bu kontrol sonuçları her gün bölüm sorumlularınca incelenmekte, kabul edilen normlardan sapma görüldüğü takdirde düzeltilmesi için gerekli tedbirler alınmaktadır [12].

2. YÖNTEM

Bu çalışmada, işletmedeki proses kontrol Apre ve Düz Boya /kasar daireleri olmak üzere 2 kısımda incelenmiştir. Belirlenen kumaş tipi için üretim ve kalite parametreleri düzenli olarak üretim esnasında ve üretimden sonra incelenmiştir. Analiz edilen uygunsuzluk nedenlerinin, ürünün kalitesi için önem derecesine göre sıralanmasına izin veren bir teknik olan pareto analizi ile tespit edilen uygunsuzluklar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Pareto prensibine göre uygunsuzlukların çok büyük bir bölümü belli birkaç sebebe dayanmakta ve bu sebeplerin tespiti, sorunların giderilmesinde

kilit rol oynamaktadır. Bir sorunu oluşturan nedenleri önem sırasına göre sıralayarak, önemlileri önemsizlerden ayırt etmeye ve dikkatleri önemli nedenler üzerinde toplamaya yaramaktadır. Bu sayede işletmelerde uygunsuzluklar kolaylıkla irdelenerek baskın uygunsuzlukların kaynağına kolaylıkla ulaşılabilmekte ve çözüm üretme imkanı doğmaktadır.

Bu uygunsuzlukları tespit eden proses kontrol elemanlarının uygunsuzluk kaynaklarını ve hangi uygunsuzluğun kaliteye ne derece yansiyebileceğini bilmesi son derece önemlidir. İstatistiksel proses kontrol için kullanılan çizelgeler esas olarak süreci yöneten operatörler veya işçiler tarafından izlenerek işlenmektedir. İstatistiksel proses kontrol çalışmasına göre kontrol edilen bölümlerin sabit olmaması için günlük kontrol programı oluşturulmuştur (Çizelge 1).

Çizelge 1. Günlük proses kontrol programı

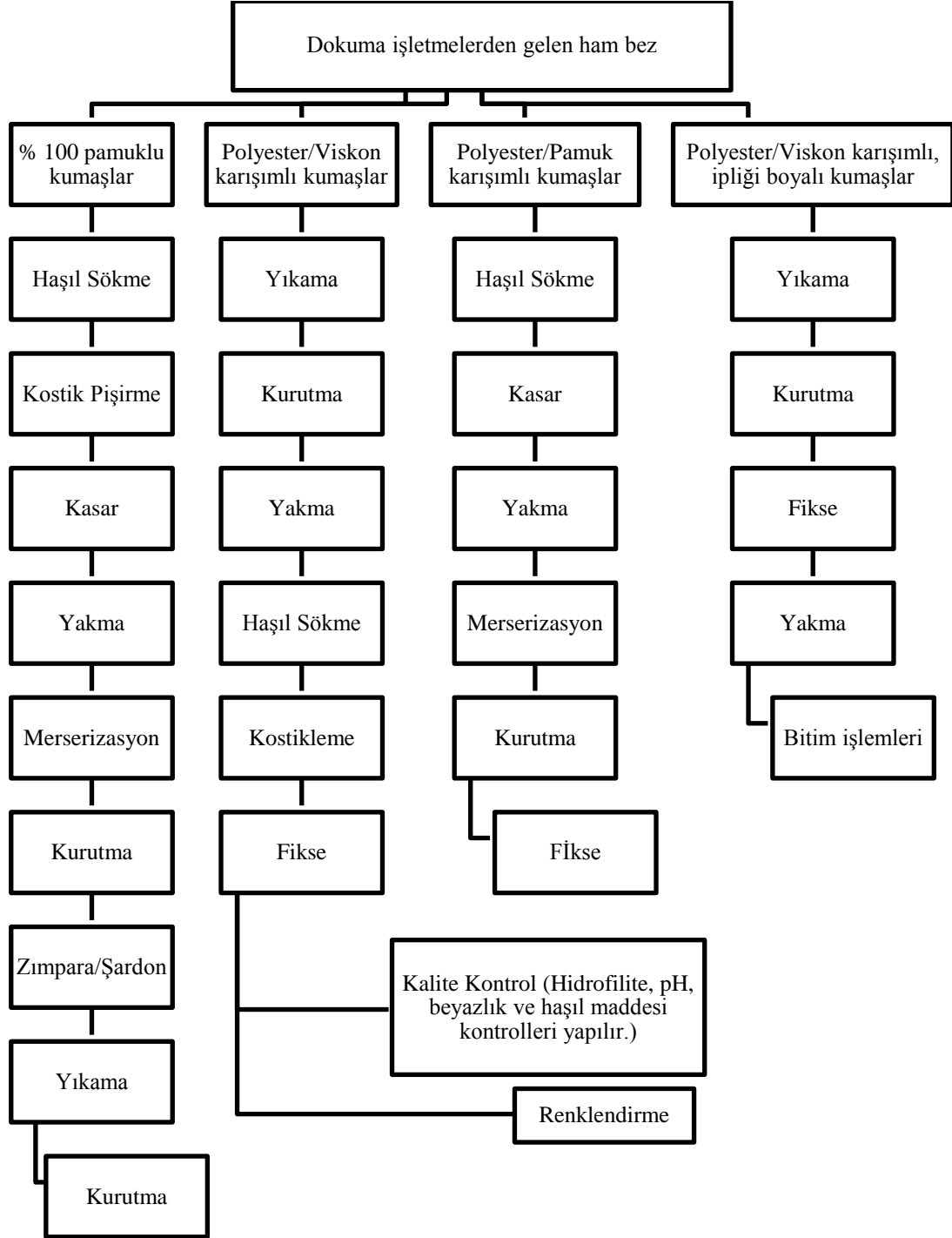
Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi
Kasar	Apre	Düz (Emdirme) Boya	Boya mutfağı	Ara kontrol ve kalite	Baskı dairesi
Merserize alınan flotte oranı (pick-up)	Kamara ısıları	pH kontrolü	Reçete takibi	Kumaş takibi	Baskı metre takibi
Kasar alınan flotte oranı (pick-up)	Reçete kontrolü	Kamara ısıları	Reçete kontrolü	Refakat kartı** takibi	Refakat kartı takibi
pH kontrolü, reçete kontrolü	Alınan flotte oranı (Pick-up)	En takibi		Termin takibi	Isı takibi
	Standart makine çalışma şartları (SMÇŞ)	Reçete kontrolü			Kumaş ve reçete takibi

**İş emri kartı

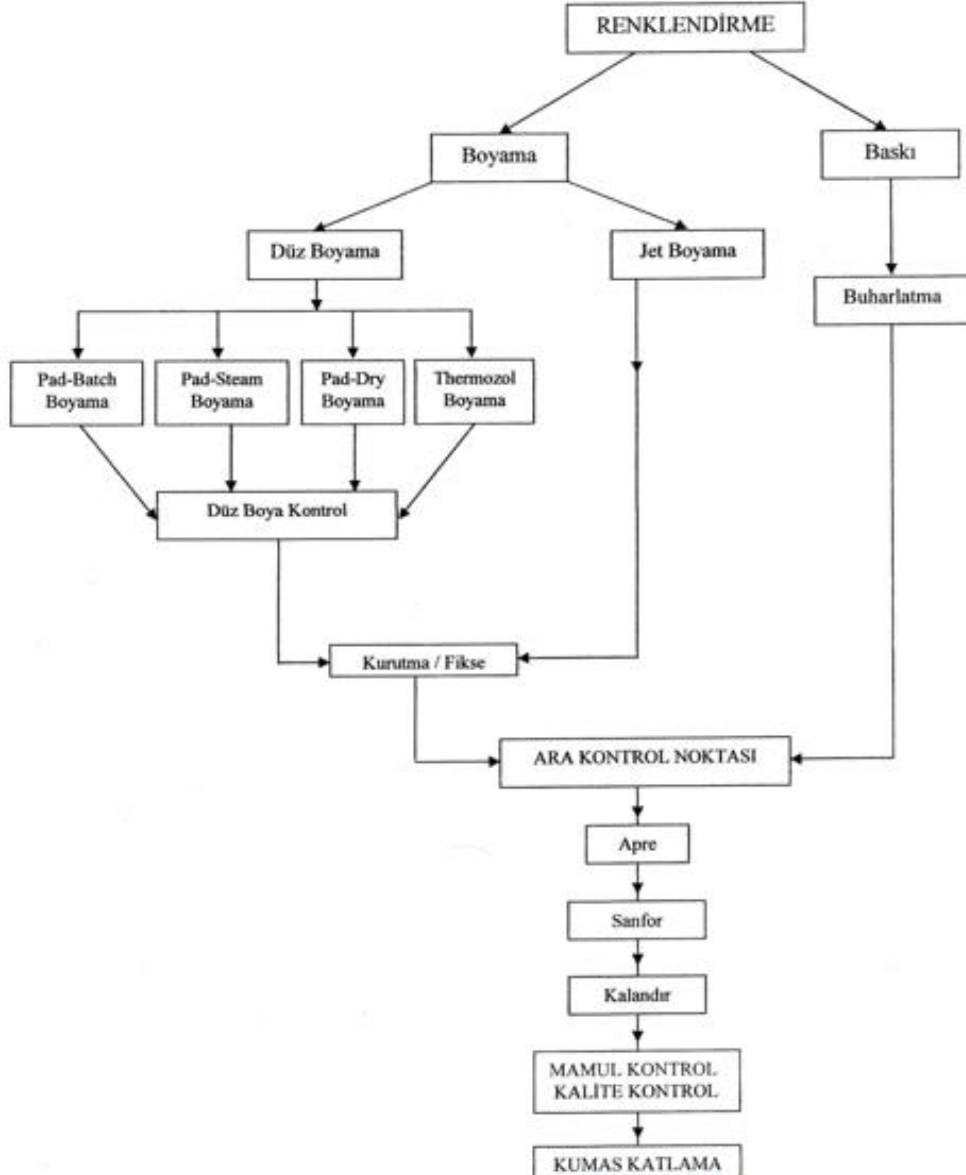
Kontrollerdeki günler her hafta vardiya sistemine göre değiştirilmiştir.

Boya baskı ve terbiye iş akış şeması ise Şekil 2'de gösterilmiştir.

İşletmede makine sırasındaki iş akışı şu şekildedir (Şekil 1):



Şekil 1. Ön terbiye iş akış şeması



Şekil 2. Boya Baskı ve Terbiye iş akış şeması

2.1. Terbiye Prosesleri Kontrol Parametreleri ve Kontrol Sıklıkları

Prosesler sırasında tüm kontroller operatörler tarafından alınmıştır. Proses kontrol elemanları ise sürekli gezerek bu kontrollerin doğru alınıp alınmadığını denetlemişlerdir. Terbiye

işletmesindeki kasar dairesi, boya ve baskı daireleri ve apre dairesindeki makinelerin kontrol parametreleri ve kontrol sıklıkları Çizelge 2’de; Düz boya dairesi makina kontrol parametreleri ve kontrol sıklıkları da Çizelge 3’de sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 2. Terbiye prosesleri makina kontrol parametreleri ve kontrol sıklıkları

Yakma Makinesi					
Isı	pH	Hız	Yakma pozisyonu	Alev boyu	Pick-up*
10 dakikada	10 dakikada	Her partide	Her partide	Her partide	Zaman zaman
Kasar Makinesi					
Isı	pH	Hız	Reçete (titrasyon)	Besleme	
Sürekli	Sürekli	Her partide	Vardiyada 2 kez	Sürekli	
Merserize Makinesi					
Isı	Kostik bome derecesi	Hız			
Sürekli	2 saatte	Her partide			
Silindir kurutma makinesi					
Isı		Hız			
		Her partide			
Zımpara makinesi					
Tansiyon	Devir	Hız	Basınç		
		Her partide			
Şardon makinesi					
Tansiyon		Hız	Basınç		
		Her partide			
Yıkama makinesi					
Isı	pH	Hız	Kimyevi (besleme)	Basınç	
Sürekli	10 dakikada	Her partide	Sürekli	Her partide	

Çizelge 3. Düz boya dairesi makina kontrol parametreleri ve kontrol sıklıkları

Pad-Batch Boyama Makinesi						
Boyaya hazır kaşesi kontrolü	Boya/Kimyevi oranı kontrolü		Hız	Basınç	Isı	
Her partide	Sürekli		İşlenen kumaşa göre	Her partide	Sürekli	
Pad-Steam Makinesi						
Isı	pH	Baraban sıcaklıkları	Hız	Basınç	Boya sıcaklığı ve seviyesi	Su ve kimyevi beslemesi
Sürekli	Sürekli	Sürekli	İşlenen kumaşa göre	Sabit	Sürekli	Sürekli
Pad-Thermazol Makinesi						
Hız	Basınç	En	Tekne boya seviyesi	Ön kurutma	Fikse ısıları (Kamara)	
Sabit	Sürekli	Her partide	Sürekli	Sürekli	Sürekli	
Yıkama Makineleri						
Hız	Fikse ısıları (Kamara)	pH	kimyevi beslemesi			
Her partide	Sürekli	10 dakikada	Sürekli			

Apré dairesi makina kontrol parametreleri-kontrol parametreleri-kontrol sıklıkları ise sırasıyla sıklıkları ve baskı dairesi makina kontrol Çizelge 4 ve Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 4. Apré Dairesi makina kontrol parametreleri ve kontrol sıklıkları

Ramöz makinesi							
Isı	Basınç	Besleme	İğneleme	Çıkış	Dok sarma	Kumaş tuşesi	Kumaş eni kontrolü
Her partide	Sürekli	Sürekli	Sürekli	Sürekli	Sürekli	Sürekli	Her partide en az 3 kere
Sanfor makinesi							
Isı	Hız	Buhar	Basınç	Boydan toplatma miktarı	Kumaş tuşesi		
Sürekli	Her partide	Sürekli	Her partide	Her partide en az 2 kere	Sürekli		
Kalandır makinesi							
Isı		Basınç			Hız		
Sürekli		Her partide			Her partide		

Çizelge 5. Baskı dairesi kontrol parametreleri ve kontrol sıklıkları

Baskı makinesi					
Pat viskozitesi	pH		Şablon ve rakle kontrolü ve temizliği	Basınç	Kumaş yüzey düzgünlüğü, düğüm ve kırık
Her baskıda	Her baskıda		Her baskıda	Sürekli	Sürekli
Yıkama makinesi					
Isı	pH	Kimyevi besleme	Hız	Kumaş kontrolü	
Sürekli	Sürekli	Sürekli	Her partide	Sürekli	
Halat yıkama makinesi					
Isı	pH	Kimyevi besleme	Hız	Kumaş kontrolü	
Sürekli	Sürekli	Sürekli	Sürekli	Sürekli	
Kurutma makinesi					
Isı	pH	Kimyevi besleme	Hız	Kırık kontrolü	
Her partide	Sürekli	Sürekli	Sürekli	Sürekli	
Lazer- gravür makinesi					
Şablon kontrolü	Desen kontrolü	Hız	Temizlik		
Her partide	Sürekli	Her partide	Sürekli		

2.2. Standart Makine Çalışma Şartları Kontrol Formları

Apré dairesi SMÇŞ (Standart Makine Çalışma Şartları) formunda; işlem yapılan her bir makine adı, bu makinede çalışılan tip adı, giren mamulün harmanı, o makinede geçirdiği proses adı, çalışılan ve standart belirtmek suretiyle hız ve sıcaklık

değerleri; besleme şekli (iğneli ya da paletli); J-box’a çalışma şekli (yığımalı ya da yığımsız); giriş ve çıkış en ayarları, çıkış şekli (arabaya ya da doka) belirtilmektedir.

Düz boya/kasar dairesi SMÇŞ formunda ise işlem yapılan her bir makine adı, bu makinede çalışılan tip adı, giren mamulün harmanı, o makinede

geçirdiği proses adı, çalışılan ve standart belirtilmek suretiyle hız ve sıcaklık değerleri, giriş ve çıkış en ayarları, çıkış şekli (arabaya ya da doka), bekleme süresi ve pH değerleri yer almaktadır.

2.3. İncelenen Ürün Genel Özellikleri

Bu araştırma için ipliği boyalı % 70 pamuk %30 keten içeren gömleklik bir kumaş seçilmiştir. Bu

kumaşa sırasıyla açma, yakma, yıkama, kurutma, ramözde kimyasal apre, kalandır, kondense ve sanfor işlemleri uygulanmıştır. Çözücü ve atkısı 24/1 Pamuk/keten 70/30'dir. Ham eni 163 cm olup ham gramajı 109 gr/m²'dir. Numuneye uygulanan proseslerin sırası ise Çizelge 6'da verilmiştir. İstenen en 152 cm olup, gramaj ise 116 g/m² dir. Apre reçetesi ise Çizelge 7'de yer almaktadır.

Çizelge 6. Numuneye uygulanan prosesler

Sıra no	Prosesler	En (cm)	Açıklama	
1	Açma	168		
2	Yakma	167	70 °C/15 dk	Her iki yüze
3	Yıkama	140	30 m/dk	
4	Kurutma (Ram)	150	100 °C, 5 dk	50 m/dk
5	Apre	154	100 °C, 5 dk	60 m/dk
6	Kalandır	152	270 N/mm	180 °C, 20 m/dk
7	Kondense	154	170 °C, 5 dk	30 m/dk
8	Sanfor	152	40 m/dk	
9	Kalite Kontrol	152		

Çizelge 7. Apre reçetesi

Miktar (g/l)	Madde
30	Buruşmazlık Maddesi (Drywear 554)
30	Makro Silikon yumuşatıcı (Rucofin MMS)
20	Mikro Silikon yumuşatıcı (Asem 20)
20	Kaplama maddesi (Rottacoating 1241)
5	Katalizatör 590
5	Su iticilik apre maddesi (Rucostar EEE)
0,5	Asit (Rucoacid ATC)

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Kalite Kontrol Laboratuvarında Yapılan Testler

Kumaşlar da genelde rastlanan uygunsuzluklar; çekmezlik, renk tutmama ve kir-yağ problemleri olmuştur. Çekmezlik problemlerinde kumaş tekrar ramöz'e gönderilip egalize veya sanfor işlemi yapılmaktadır. Renk tutmama olduğu zaman

ramöz'de nüanslama yapılmaktadır. Örnek olarak takip edilen ürün ipliği boyalı gömleklik kumaş olduğu için renk tutmama gibi bir durum söz konusu değildir. Kir veya problemleri yıkama veya lokal tabancalama ile çözümlenebilmektedir. Takip edilen ilgili kumaşa ipliği boyalı olduğu için haslık testleri yapılmamıştır. Yapılan testler; kumaş eni kontrolü, gramaj testi, sıklık testi, dikiş açılması testi, kopma mukavemeti, yırtılma mukavemeti, çekmezlik testleri olup Çizelge 8 de sonuçları verilmiştir.

Çizelge 8. Kalite kontrol test sonuçları

Test adı	Standart adı	Test sonucu
Kumaş eni kontrolü	ISO 3932:1976 [13]	152 cm (Tüm işlemlerden geçtikten sonra)
Gramaj testi	ISO 3801:1977 [14]	118 gr/m ²
Sıklık Testi	ISO 7211-2: 1984 [15]	21 tel/cm (Atkı sıklığı)
Dikiş açılması testi	ISO 13935-2:2014 [16]	Çözümlü yönünde Bezayağı dokuma kısmında 12,75 kg; Çözümlü yönünde Armürlü dokuma kısmında 12,27 kg; Atkı yönünde 17,79 kg. 6 mm açılma
Kopma mukavemeti	ISO 13934-1:1999 [17]	Çözümlü yönünde 39,35 kg; Atkı yönünde 29,20 kg.
Yırtılma mukavemeti	ISO 13937-2:2000 [18]	Çözümlü yönünde 1631 g; Atkı yönünde 1468 g.
Çekmezlik testi	ISO 9866-1:1991 [19]	Çözümlü yönünde ütüsüz % 2,5; ütülü % 1,5; Atkı yönünde ütüsüz % 1,5; ütülü % 0,5.

3.2. Bölümlerde Sıkça Görülen Uygunsuzluklar ve Dikkat Edilmesi Gerekenler

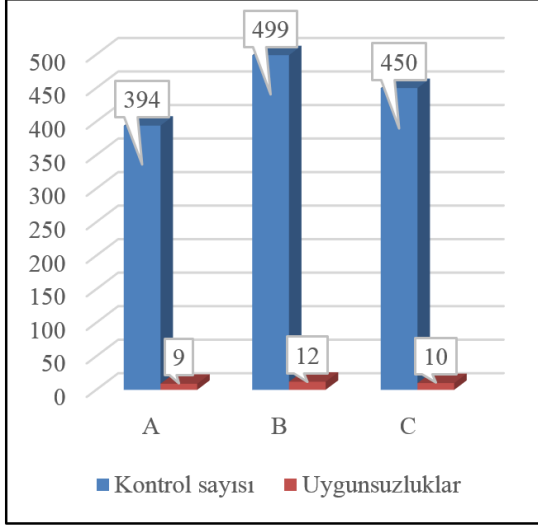
Her bir bölümde sıkça görülen uygunsuzluklar Çizelge 9'da gösterilmiştir.

3.3. Terbiye Dairesindeki İstatistiksel Proses Kontrol Grafikleri

A,B ve C olmak üzere 3 vardiya şeklinde çalışan bu terbiye işletmesinde vardiyalardaki kontrol sayılarının uygunsuzluklara oranı Şekil 6'da gösterilmiştir.

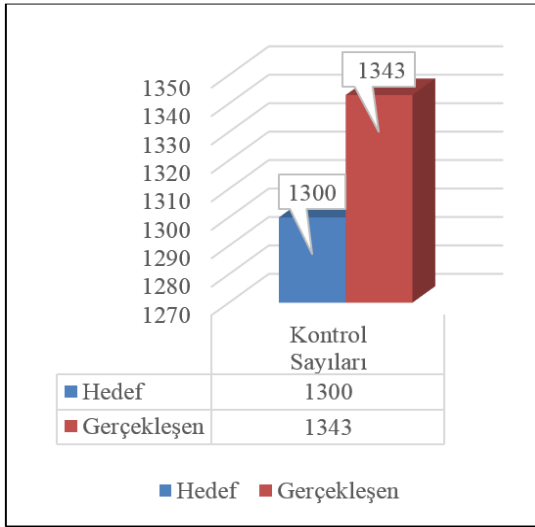
Çizelge 9. Bölümlerdeki uygunsuzluklar

Bölümler	Uygunsuzluklar
Kasar dairesi	Rotasyonlarda dönmeme, Naylonu açık vaziyette dönme, Dönme süresinin standart süreleri geçmesi, gerçek çalışılan değerlerin otomasyon programına girilmemesi
Apré Dairesi	Kumaşların dikkatsizlik sonucu yırtılması, Kumaşların yaş bekleme, kamara ısı problemi
Düz boya dairesi	Kumaşların boyaya hazır testlerinin kontrolünün yapılmaması, Yıkama makinesi son kamara ısı problemi, dozajlama kontrollerinin yapılmamış olması
Baskı dairesi	Tanımsız kumaşlar, her işlemde en kontrolünün yapılmaması, Yıkama makinesi çalışanlarının makine eğitimlerinin eksik olması
Makine enerji dairesi	İlk arıza bildirimleri verildiğinde terminlerin kısa sürmesi



Şekil 6. Vardiyalardaki kontrol sayılarının uygunsuzluklara oranı

Hedeflenen kontrol sayısının gerçekleşen kontrol sayısına oranı Şekil 7’de gösterilmiştir.

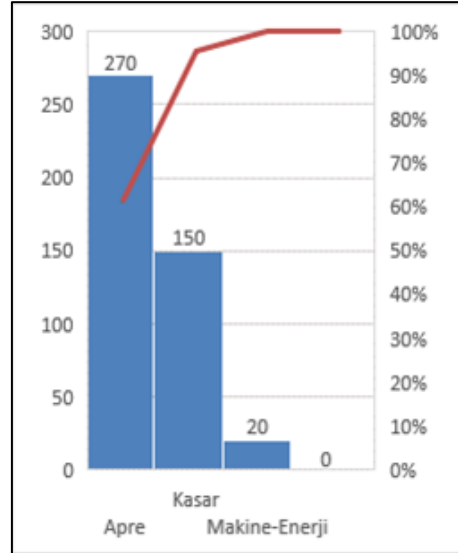


Şekil 7. Hedeflenen kontrol sayısının gerçekleşen kontrol sayısına oranı

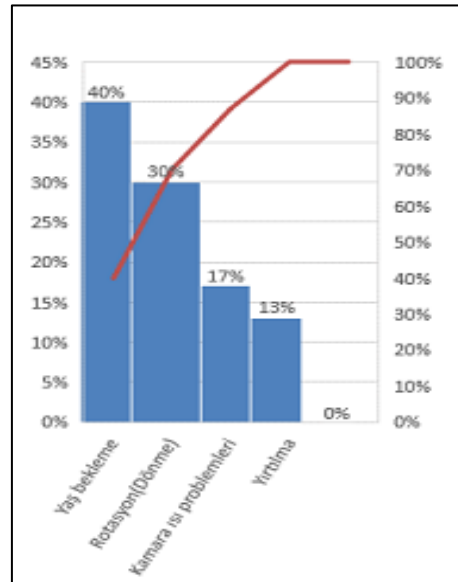
Meydana gelen uygunsuzluklar ile ilgili Şekil 8 ve Şekil 9’da pareto analizi grafikleri verilmiştir.

Uygunsuzluk kaynaklarının 4 ana grupta toplandığı gözlenmiştir:

- Yaş bekleme (% 40),
- Rotasyon (Dönme) (% 30),
- Kamara ısı problemleri (% 17) ve
- Yırtılma (% 13)

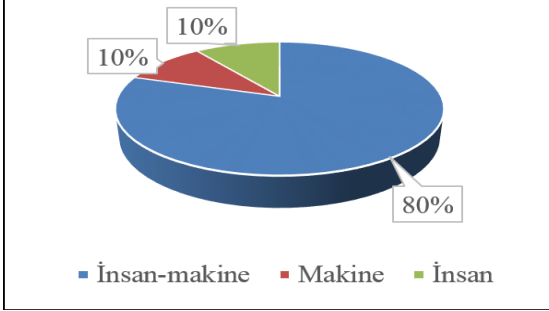


Şekil 8. Her bir bölümde belirlenen uygunsuzluklar için pareto diyagramı



Şekil 9. Kumaşın üretimi sürecinde belirlenen uygunsuzluk nedenleri ve oranları Pareto diyagramı

Bu süreçte uygunsuzluklarda insan ve makine kaynaklı uygunsuzlukların dağılımı ise Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. İnsan ve makine kaynaklı uygunsuzlukların dağılımı

4. SONUÇLAR

Günümüzün dinamik üretim ortamında, süreçlerde sürekli iyileştirme ihtiyacı vardır. Müşteri beklentileri hızla değişmesi ve üretim süreçlerinin talep odaklı hale gelmesi, daha kesin spesifikasyonlar, mevcut süreçlerin ve modern teknolojilerin yükseltilmesini gerektirebilecek yeni bir zorluk ortaya koymaktadır. Sonuç olarak süreç kontrolü gitgide daha zor hale gelmektedir. Zaman ve kaynaklar üzerindeki baskı, daha hızlı teslimat ihtiyacı, hatasız ürünler ve parça ve süreçlerin güvenilirliği ve dayanıklılığı, üretim işletmelerinin karşılaştığı kritik faktörlerden bazılarıdır. Süreç kontrolü, rekabetçi bir pazarda tanınırlık oluşturmada kilit bir rol oynamaktadır. Modern teknoloji, birçok değişkeni aynı anda kontrol etme yeteneğine sahiptir ve verilerin toplanması kolay görünebilir. Lakin süreç kontrolü bazı maliyetleri de içerir, örneğin; sürecin ilk analizinin harcamaları, uygulama ve entegrasyon için yapılan harcamalar [20].

Bu kapsamda klasik proses kontrol yöntemlerinin yerini artık ileri teknoloji ürünü daha hızlı sonuçların alındığı bilgisayar programlarının aldığı gözlenmiştir. İşletmelerde hızlı ve bilgisayar destekli de olsa proses kontrol uygulamalarını denetleyecek proses kontrol elemanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle proses kontrol bölümü her nerede yer alırsa alsın, bu kalite veya Ar-Ge

birimi olabilir, bir işletme için en önem arz eden birimlerin başında gelmektedir. Yürütülen istatistiksel analizin bulguları, süreçte veya operatörlerde tek bir hedef için yapılan değişiklikleri göstermektedir ki bu da kalıcı iyileştirme değildir, alıcının ve sürece dahil olan tüm ticari kuruluşların memnuniyetinde artışa neden olacaktır.

Bu çalışmada büyük bir terbiye işletmesinde kullanılan proses kontrol yöntemleri irdelenmeye çalışılmıştır. Seçilen kumaşın bitim işlemleri sürecinde 3 vardiyada yapılan toplam 1343 kontrolde 31 adet uygunsuzluk tespit edilmiş en çok uygunsuzluğun sırasıyla apre, kasar ve makine enerji dairelerinde meydana geldiği anlaşılmıştır. Yine sırası ile uygunsuzlukların kumaşların yaş beklemesi, rotasyonlarda dönmeme, kamara ısı problemleri ve yırtılmalar olarak meydana geldiği tespit edilmiştir. Bulunan uygunsuzlukların % 10'unun sadece insan, % 10'unun sadece makine kaynaklı, geri kalan % 80'nin ise hem insan hem de makine kaynaklı olduğu gözlenmiştir. Eğer kumaşların yaş beklemesinin önüne geçilir; rotasyonlarda dönmeme problemleri giderilir; ve kamara ısı problemleri çözümlenir ve dikkatsizlik sonucu oluşan yırtılmalar engellenir ve nedenleri araştırılarak ortadan kaldırılmaya çalışılırsa, bu uygunsuzluklar ve sonraki olası kalite problemleri büyük ölçüde giderilmiş olacaktır. Bu uygunsuzluklar ile ilgili düzeltici faaliyetler başlatılmış ve sorumlular atanmıştır. Giderilmesi için süre verilerek sonuçların kalite yönetimi ile birlikte verilen süre bitiminde tekrar değerlendirilmesine karar verilmiştir. Bu uygunsuzlukların giderilmesi neticesinde tamir ve düzeltme gerektiren ya da ıskartaya ayrılan kumaş olmayacağı için ekonomik kazanım elde edilecek ve süreç hızlanacağı için zamandan da tasarruf sağlanarak verim artışı da gerçekleşmiş olacaktır.

5. KAYNAKLAR

1. Yurdakul A., Atav R., 2004. Genel Terbiye Teknolojisi, Ege Üniversitesi, Emel Akın M.Y.O. İzmir, 60.
2. Uğur, N., İstatistik Süreç Kontrol, 1995 (II. Baskı). Kosgeb Eğitim Merkezi, Yayın No: 24. Ankara

3. Asaka, T., Ozeki, K., 1996. Handbook of Quality Tools. Portland: Productivity Press, 315.
4. Ata S., Yıldız M.S., Durak İ., 2020. Statistical Process Control Methods for Determining Defects of Denim Washing Process: A Textile Case from Turkey, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 30(3), 208–219.
5. Girma, D., Sahu, O., 2020. Improving Process Performance of Cotton Spinning by Using Statistical Process Control Techniques, *Research Journal of Textile and Leather (RJTL)*, 1, (1), 15-22.
6. Duraković, B., Bašić, H., 2013. Continuous Quality Improvement in Textile Processing by Statistical Process Control Tools: A Case Study of Medium-Sized Company, *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 1(1), 39-46.
7. Montgomery, D.C., 2013. Introduction to Statistical Quality Control, Seventh Edition, John Wiley & Sons, Inc, 235-279.
8. Trietsch, D., 1998. Statistical Quality Control a Loss Minimization Approach, World Scientific Publishing Co. Pte Ltd., 1-16, 113-165.
9. Perkasa, L., 2021. Benefit Using Statistical Process Control (Spc) For Process Control in Textile Manufacturing: a Review, *Journal of Mechanical Science and Engineering* 8(1), 23-28.
10. *Tekstilde Fiziksel Testler*, 1999. Tübitak-Mam Tekstil Enstitüsü, Sagem Müdürlüğü, Bursa, 95.
11. *Tekstilde Kalite Kontrol*, 1995. Sümer Holding A.Ş. Bursa Araştırma Geliştirme ve Eğitim İşletmesi, Bursa.
12. *Tekstilde Kimyasal Testler*, 1999. Tübitak-Mam Tekstil Enstitüsü, Sagem Müdürlüğü, Bursa, 126.
13. ISO 3932: 1976. Textiles - Woven fabrics - Measurement of Width of Pieces.
14. ISO 3801: 1977. Textiles - Woven Fabrics - Determination of Mass Per Unit Length and Mass Per Unit Area.
15. ISO 7211-2: 1984. Textiles - Woven Fabrics - Construction- Methods of Analysis- Part 2: Determination of Number of Threads Per Unit Length.
16. ISO 13935-2: 2014. Textiles - Seam Tensile Properties of Fabrics and Made-Up Textile Articles - Part 2: Determination of Maximum Force to Seam Rupture Using the Grab Method.
17. ISO 13934-1: 1999. Textiles - Tensile Properties of Fabrics - Part 1: Determination of Maximum Force and Elongation at Maximum Force Using the Strip Method.
18. ISO 13937-2: 2000. Textiles - Tear Properties of Fabrics - Part 2: Determination of Tear Force of Trouser - Shaped Test Specimens (Single Tear Method).
19. Majumdar, A., Das, A., Alagirusamy R., Kothari, V.K., 2012. Process Control in Textile Manufacturing, The Textile Institute, Woodhead Publishing Series in Textile, 475.

Bir Ayakkabı İşletmesinin Fine-Kinney Yöntemi ile Risk Değerlendirmesi

İsmail SEYFİOĞLU¹ ORCID 0000-0002-8327-4319

Füsun DOBA KADEM^{*2} ORCID 0000-0002-7764-5910

¹Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Adana

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

Geliş tarihi: 06.03.2022

Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: SEYFİOĞLU, İ., DOBA KADEM, F., (2022). Bir Ayakkabı İşletmesinin Fine-Kinney Yöntemi ile Risk Değerlendirmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 925-935.

Öz

Bu çalışmada ayakkabıcılık alanında faaliyetlerini yürüten işletmelerin maruz kaldıkları tehlike ve risk durumlarını ortaya koymak amacıyla örnek bir risk değerlendirmesi çalışması yapılmıştır. Adana ilinde faaliyet gösteren bir ayakkabı işletmesinde saha çalışmaları yürütülmüştür. İşletme faaliyetleri sırasındaki tehlike ve risk durumları Fine-Kinney yöntemiyle değerlendirilmiştir. Riskleri ortadan kaldırmak veya kabul edilebilir risk seviyesine indirmek için gerekli düzenleyici önleyici faaliyetler belirlenerek çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Ayakkabı, İş sağlığı ve güvenliği, Risk analizi, Fine-Kinney metodu

Risk Analysis Evaluation of a Shoe Factory with Fine-Kinney Method

Abstract

In this study, an exemplary risk assessment study was carried out in order to reveal the danger and risk situations that businesses operating in the field of shoemaking are exposed to. Field studies were carried out in a shoe company operating in Adana. Danger and risk situations during business activities were evaluated by Fine-Kinney method. In order to eliminate the risks or reduce them to an acceptable risk level, necessary regulatory and preventive actions were determined and solutions were suggested.

Keywords: Shoe, Occupational health and safety, Risk analysis, Fine-Kinney method

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Füsun DOBA KADEM, fusunkadem01@gmail.com

1. GİRİŞ

Ayakkabıcılık sektörü üretim alanında yoğun emek harcanan ve ülkemizde küçük ve orta ölçekli işletmelerin büyük bir istihdam sağladığı, yurtiçi ve yurtdışı pazarında adından söz ettiren önemli sektörlerden biridir. Bu yoğunluk ve döngü sektördeki bazı iş güvenliği risklerini de gün yüzüne çıkarmıştır. Eğitim, teknoloji ve ekonomik anlamında ortaya çıkan çeşitli olumsuzluklar ayakkabıcılık sektöründe iş sağlığı ve güvenliği (İSG) alanındaki çalışmaların önemini fazlasıyla ortaya koymuştur.

İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği'nde "tehlikeli" sınıfta yer alan ayakkabı imalathanelerinde fiziksel ve kimyasal risk oluşturacak birçok farklı çalışma yöntemi kullanılmaktadır. Solvent bazlı kimyasal yapıştırıcılar çalışanlarda deri teması ile dermatit ve deri iltihaplanmalarına; solunum yolları maruziyeti halinde ise astım, bronşit, sinir sistemi rahatsızlıkları ve kanser türleri gibi çeşitli sağlık problemlerine karşı büyük bir risk oluşturmaktadır. Sektördeki mekanik ve elektrik kaynaklı riskler oluşturabilecek el aletleri ve makinelerde kullanılmaktadır. Yanıcı kimyasal malzemelerin depolanması patlamalara yol açabilecek risk unsurlarındandır. Ayrıca işletmenin havalandırma sistemleri, tehlikeli malzeme kullanacak çalışanların izole edilmemesi gibi işletme kaynaklı tehlikeler de çalışan sağlığına zarar verebilecektir.

Meydana gelebilecek tehlikeler, riskler, iş kazaları ve meslek hastalıklarının engellemek amacıyla ayakkabıcılık sektöründe iş sağlığı ve güvenliği çalışmaları kapsamında alınması gereken önlemlerin incelenmesi gerekmektedir [1].

Ayakkabı sektörü ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

Gangopadhyay (2011), ayakkabı imalathanelerinde endüstriyel yapıştırıcıların işçi sağlığına etkisini araştırmak amacıyla bir çalışma yapmıştır. Toz partiküllerinin ve yapıştırıcıların akciğer üzerindeki etkisini araştırmış, bu kimyasal

ürünlerin solunum ve kanser hastalıklarına yol açabileceğini vurgulamıştır [2].

Azari (2012), Doğu Tahran'daki ayakkabı imalatı atölyelerinde çalışanların benzen ve tolüen bileşiklerine mesleki maruziyetinin değerlendirilmesi amacıyla bir çalışma yürütmüştür. Yaptığı araştırmada çalışanların benzen ve tolüene maruziyetlerinin büyüklüğünden, hastalık riski göz önüne alındığında, ayakkabıcıların çalışma koşullarının iyileştirilmesinin zorunluluğundan bahsetmiştir [3].

Saklangıç (2015), fason üretim yapan beş katlı bir ayakkabı atölyesinin risk analizini L tipi Matris yöntemiyle yapmıştır. Risk düzeyinin kabul edilebilir düzeyde olması için çeşitli önerilerde bulunmuştur [4].

Gökkaya Akyol (2016), çalışmasında ayakkabı sektöründe kullanılan kimyasal maddelerden kaynaklı riskleri ele almıştır. Ankara ilinde orta ölçekli ve küçük ölçekli dört ayakkabı firmasında kimyasal ölçümler gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda güvenli çalışma ortamının hazırlanması için çözüm önerilerinde bulunulmuştur [1].

Deb (2018), Bangladeş'te ayakkabı üretim sektöründe çalışanların sağlık sorunlarını ve işyeri ortamını incelemek üzere bir çalışma yapmıştır. Yaptığı incelemeyi anket sonuçları ile desteklemiştir. Değerlendirme sonuçlarına göre çalışanlarda yüksek sağlık problemlerinin yaşandığını ve işyeri ortamının çalışmaya elverişli olmadığını ortaya koymuştur. Bu çalışma ile kimyasallara doğrudan maruz kalmanın veya ergonomik açıdan yetersiz çalışma koşullarının çalışanların sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olduğunu vurgulamıştır. Çalışanların en fazla baş ağrısı, karın ağrısı, göz problemleri ve eklemlerde ağrı yaşadıkları tespit edilmiştir. Yapışkanlar, zayıf aydınlatma, yüksek gürültü nedeniyle çalışanların olumsuz etkilendikleri belirlenmiştir. Bu olumsuzluk ve eksikliklerin önüne geçmek için çeşitli önerilerde bulunulmuştur. Özellikle, kişisel koruyucu donanımların kurallara ve mevzuata uygun kullanımı konusunda farkındalığın artırılmasını ve sağlık sorunlarını ortadan

kaldırarak düzenlemeler yapılması gerektiğini belirtmiştir [5].

Çelik (2020), ayakkabı ve çanta imalat sektöründe risk değerlendirmesi yapmıştır. Ayrıca çalışmada risk faktörleri kabul edilebilir seviyelere düşürücü çeşitli önerilere yer vermiştir [6].

Bu çalışmanın amacı, ayakkabıcılık alanında faaliyetlerini yürüten imalathanelerden birinde saha çalışması yaparak tehlike ve riskleri tespit etmek, risk analizi yaparak iyileştirici önerilerde bulunmaktır.

2. AYAKKABI İMALATHANELERİ

Ayakkabı üretiminde işletmelerin kullandıkları teknolojiye göre geleneksel üretim ve direkt enjeksiyon yöntemi olarak iki farklı yöntem ile üretim yapılmaktadır. Geleneksel üretim yöntemi en yaygın olan üretim yöntemidir. Bu yöntemde ayakkabının bölümleri ayrı aşamalarda üretilerek farklı yöntemlerle birleştirilmekte, üretim esnasında basit aletler, makineler ve presler kullanılmaktadır. Enjeksiyon yöntemiyle üretimde ise ayakkabının tüm bölümleri birlikte oluşturulmaktadır. Bu yöntem daha az maliyetli olduğu için genelde ucuz ayakkabıların üretiminde kullanılmaktadır. Geleneksel üretim yöntemiyle ayakkabı üretiminde ayakkabının saya ve taban kısımları farklı aşamalardan geçerek üretilmektedir.

Çizelge 1. Ayakkabı üretim aşamaları [7]

İşlem sırası	İşlem adı
1	Tasarım ve model hazırlama
2	Kesim
3	Dikim
4	Kalıba çekme
5	Saya ve taban yerleşimi
6	Finisaj

Saya (ayakkabının üst kısmını oluşturan deri, suni deri veya tekstil gibi malzemelerden olan), ayakkabının yumuşak üst kısmıdır. Ayakkabı üretimi genel olarak altı aşamada gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 1’de söz konusu üretim aşamaları yer almaktadır. Ayakkabı üretiminin başlangıç aşaması olan tasarım manuel ya da bilgisayar destekli yazılımlar kullanılarak yapılabilmektedir. Tasarımı tamamlanan ayakkabının saya ve diğer kısımlarını oluşturan parçalar, kesim işlemine gider. Ayakkabının cinsine göre ve işletmedeki imkanlar doğrultusunda makine ve elle kesim yapılabilmektedir. Kesimi tamamlanan deri parçaları, “saya” haline getirilmek üzere sayacılar gönderilir. Burada saya parçaları birbirine dikilerek ya da yapıştırılarak birleştirilir. Saya haline gelmesi için sayayı oluşturan diğer elemanlar üzerinde sıyırma, kıvrırma ve dikim işlemleri de yapılmaktadır. Dikim işlemleri sonunda saya kalıba çekilmeden önce bombe yani ayakkabının ön kısmı ve fort adı verilen arka kısmının güçlendirilmesi sağlanır. Fort ve bombe montajı ayakkabının şekline göre çivilenerek ya da yapıştırılarak gerçekleştirilir. Kalıp şeklini alması için bekletilen sayalar taban montajına hazır hale geldiği zaman ayakkabı cinsine göre yapıştırılarak daha sonra da dikilerek saya ve taban birleşimi sağlanmaktadır. Birleştirme işlemleri tamamlandıktan sonra kalıptan çıkarılmaktadır. Finisaj işlemi, üretim süreci boyunca hasar gören veya fazlalık olarak görülen iplerin yakılması, temizlenmesi için gerekli olan aşamadır. Ayakkabıları ortopedik rahatlığa kavuşturacak olan iç astarları takılır ve vernikleme işlemleri yapılır. Üretimi tamamlanan ayakkabılar kutu ve kolilere koyularak sevkiyata hazır şekilde depolara gönderilir [7].

Ayakkabı üretiminde kullanılan makineler, döner başlıklı kesim makinesi, gezer başlıklı kesim makinesi, lazer kesim makinesi, dikiş makineleri ve pres makineleri olarak sıralanabilir.

2.1. Ayakkabı İmalathanelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Riskleri

Ayakkabı imalathanelerinde üretim sektörlerinin genelinde de olduğu gibi iş kazaları, meslek hastalıklarına yol açabilecek el aletleri, makine ve materyaller kullanılmaktadır. Tespit edilen risk faktörleri önlemler alınmadığı takdirde kazalara, hastalıklara ve ölümlere sebep olabilecektir.

Ayakkabı imalathanelerinde fiziksel (gürültü, titreşim, ışık, termal konfor, toz vb.), kimyasal, mekanik ve işyeri kaynaklı tehlikeler olarak risk etmenleri imalathaneleri olumsuz etkileyen faktörleri oluşturmaktadır. İmalathanedeki fiziksel koşullar nedeniyle görme, dokunma, duyma kaybı gibi problemler yaşanabilmektedir. İşyerindeki gürültü seviyesi de meslek hastalıklarına yol açabilecek unsurlardandır. Uzun süreli titreşim makinelerinde çalışmak çalışanlarda doku rahatsızlıklarına yol açmaktadır. Yüksek seviyelerde titreşimle çalışan çivileme makinelerinde uzun süre çalışma yapılması durumunda çalışanlarda Raynaud Sendromu (Beyaz parmak hastalığı) görülebilmektedir. Hazırlık ve bitirme aşamalarında çalışan ve bu bölümlerde fazla miktarda deri tozuna maruz kalan işçilerde burun kanseri riski artmaktadır. Ayrıca sektörde kullanılan bazı cilalar, boyalar ve tutkallar dermatit riski taşıyabilmektedir. Ayakkabıcılık sektöründe oldukça yoğun olarak kullanılan yanıcı sıvılar işyerlerinde B sınıfı yangınların çıkma riskini artırmaktadır. Kullanılan malzemelerde bulunan spreylere ve solventlere çabuk alevlenebilen sıvılar olup bunların depolandıkları alanlarda iş güvenliğine dikkat edilmesi önem arz etmektedir. Ayakkabı sektöründe kullanılan makineler de yüksek riskler taşımaktadır. Kesiciler, presler, zımba makineleri, bıçaklı ve merdaneli parçalar çalışma sırasında iş güvenliği kurallarına uyulmadığında çalışanlara zarar verebilmektedir [7].

2.2 Alınması Gereken Önlemler

Gürültü ortamında çalışanların gürültü seviyesinin kontrol altına almada zorluk yaşandığı durumlarda, çalışanların kişisel koruyucu donanımları kullanmaları sağlanmalıdır. Tezgahlar ve dikiş makinelerinin ve bu makinelerin çevrelerinin çalışanların vücut yapısına uygun ve ergonomi ilkeleri dikkate alınarak tasarlanması ve düzenlenmesi gerekir. Titreşimli makineleri kullanan çalışanların maruziyet değerlerini azaltmak için çalışma saatleri çalışanlar arasında değişiklik yapılacak şekilde planlanmalıdır. Deri tozu gibi materyallere maruz kalacak çalışanların kişisel koruyucu donanımları, kişiye uygun olarak seçilmelidir. Kullanılan yapıştırıcılar ve tutkalın

deri ile direk temasından kaçınabilmek için çalışanlara fırça ve eldivenler temin edilmelidir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Adana ilinde üretim faaliyeti yürüten A işletmesi ayakkabının kesim, dikim ve montaj aşamalarından geçtiği bir imalathanedir. Ayakkabının taban bölümleri hazır olarak A işletmesine gelmekte, saya ile birleştirilmesi işlemleri A imalathanesinde geleneksel yöntem ile yapılmaktadır (Çizelge 1). Çalışmanın yapıldığı A işletmesinde 105 kişi istihdam edilmektedir. Üretilen ayakkabılar, klasik model erkek ayakkabısıdır. Covid-19 salgın dönemi başlamadan önce saha çalışmasının yürütüldüğü bu işletme, pandemi süresince zaman zaman üretime ara vermiştir.

3.2. Metot

Bu çalışmanın amacı, ayakkabıcılık alanında faaliyetlerini yürüten imalathanelerden birinde doğrudan gözlem yaparak, iş sağlığı ve güvenliği kapsamında tehlike ve riskleri tespit etmek ve çözüm önerileri sunmaktır.

İşletme istatistiklerine doğrudan ulaşılabilmesi ve toplanan veriler doğrultusunda bu metodun uygulanmasının daha gerçekçi sonuçlar vereceği düşünüldüğünden Fine-Kinney metodu kullanılmıştır.

3.2.1 Fine-Kinney Yöntemi

Fine-Kinney metodu risklerin derecelendirilmesini sağlayan bir risk analizi metodudur. Derecelendirilen risklerin sonuçlarıyla öncelik sıraları belirlenir. Bu metot ile önem düzeyine göre sıralanan riskler için kaynakların planlanması sağlanır. Fine-Kinney metodu, Türkiye’de 2012 yılından sonra yaygınlaşan bir metot olmuştur. Çimento, sanayi, inşaat firmalarında kullanımı artmıştır. Fine-Kinney metodu, üç risk faktörü çarpılarak risk puanının elde edilmesiyle oluşur. Bunlar; frekans şiddet ve olasılıktır.

Olasılık: Bir kaza ya da hasarın olasılığı
 Frekans: Tehlike oluşumunun sıklığı
 Şiddet: Bir kaza durumunda sonuçlarının şiddeti.

Üç faktör için oluşturulan çizelgeler (Çizelge 2-4) kullanılarak, işletme için risk skoru belirlenir ve Çizelge 5'ten risk değeri sınıflandırmasına göre yorumlanır. Buradaki sonuçlara göre ne yapılması gerektiğine karar verilir. Eğer Risk 400'den büyük ise çok büyük risk var demektir. Hemen önlem alınmalı ve süreç durdurulmalıdır [8].

Çizelge 2. Frekans değer tablosu [9]

Açıklama	Frekans (F)
Bir saatte birkaç defa	10
Günde bir veya birkaç defa	6
Haftada bir veya birkaç defa	3
Ayda bir veya bir kaç defa	2
Yılda bir kaç defa	1
Yılda bir veya daha seyrek	0,5

Çizelge 3. Olasılık değer tablosu [9]

Açıklama	Olasılık (O)
Kabul edilemez risk	10
Ciddi risk	6
Önemli risk	3
Düşük katlanılabilir risk	1
Anlamsız, önemsiz	0,5
Beklenmez	0,2

Çizelge 4. Şiddet değeri tablosu [9]

Açıklama	Şiddet (S)
Birden fazla ölümlü kaza	100
Öldürücü kaza	40
Kalıcı hasar, iş kaybı	15
Önemli hasar, dış ilk yardım	7
Küçük hasar, dahili ilk yardım	3
Ucuz atlatma	1

Çizelge 5. Risk değerlendirme tablosu [9]

Risk (R)	Risk değerlendirme sonucu
$R > 400$	İş durdurulmalı, hemen önlem alınmalı / YÜKSEK RİSK
$200 \leq R \leq 400$	Çok önemli, aksiyon planına alınmalı / CİDDİ RİSK
$70 \leq R < 200$	Önemli, aksiyon planına alınmalı, takip edilmeli / TAKİP,

	EK KONTROL
$20 \leq R < 70$	Aksiyon planına alınmalı, gözetim altında tutulmalı / GÖZETİM
$R < 20$	Öncelikli değil, aksiyon planına alınmayabilir / ÖNEMSİZ RİSK

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Bir ayakkabı işletmesinde saha çalışması yapılarak tespit edilen tehlike ve riskler Çizelge 6'da listelenmiştir. Fine-Kinney metodu kullanılarak olasılık, frekans ve şiddet değerleri saptanmış ve risk değerleri (R) bulunmuştur. Bulunan risk değerleri ile risk sınıfı ve riskin öncelik durumu belirlenmiştir.

Ayakkabı imalathanesinde hazırlanan risk analizinde tespit edilen tehlike ve riskler için önerilerde bulunularak iyileştirmeler sağlanmıştır. Bu iyileştirmeler ile risk değeri çarpanları olan gerçekleşme olasılıkları ve frekans değeri düşürülerek risk oluşturacak unsurların giderilmesi için önerilerde bulunulmuştur. Çizelge 6 ile önlemler sonucunda yeni risk değerleri (artık risk) hesaplanmıştır. Yeni risk değerleri ile risk değeri düşürülerek kabul edilebilir risk sınırlarına getirilmiştir.

İşletmede tespit edilen risklerin derecelendirilmesi yapılırken, işletmenin yöneticilerine raporlanan veriler, işletmedeki tespit edilen her risk için çalışma şartları, çalışma gruplarındaki çalışan sayıları, çalışanlarla birebir çalışma ortamlarında yürütülen saha araştırmalarında raporlanmış ve/veya raporlanmamış olayların değerlendirilmesi, karşılaşılan kazalar ve kazaların sonuçları doğrultusunda bıraktıkları hasarlar, etki edebileceği hasar oranları, ramak kala olaylar, kazaların gerçekleşme sıklıkları belirlenerek tablolara işlenmiştir. Elde edilen bulgulardan frekans değerleri; tespit edilen her risk durumu için yönetim raporlarına işlenen kazalar, çalışanların ramak kala olay olarak ifade edebilecekleri durumlar, raporlanması yapılmayan fakat gerçekleşen durumların ne sıklıkta gerçekleştiği listelenerek risk oluşturan faaliyet grupları bu

değerlerle değerlendirilmiştir. Listelenen risklerin gerçekleşme sıklıklarına göre Çizelge 2 kullanılarak frekans değerleri tespit edilmiştir. Çalışma alanı büyüklüğü, aynı ortamdaki çalışan sayısı, çalışanların birbirleri ile olan mesafeleri, makine ve ekipman sayıları, imalathane ortamı gibi faktörler de göz önünde bulundurularak işletmenin olasılık değerlendirmeleri yapılmıştır. Gözlenen ve elde edilen veriler doğrultusunda Çizelge 3 kullanılarak olasılık durumu matematiksel olarak karşılıkları tespit edilerek tablolara işlenmiştir. Şiddet değerleri raporlanan kazalar ve çalışan ile belirlenen kazaların sonuçlarındaki hasarların ele alınması ve bunların yanında ramak kala olayların olası durumları karşısında ortaya çıkarabileceği sonuçlar değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda Çizelge 4. kullanılarak şiddet durumlarına karşılık gelecek olan değerler elde edilerek tablolara

işlenmiştir. Elde edilen tüm değerler tablolarda işlenerek risk değerleri tespit edilmiştir. Çizelge 5 kullanılarak risk sınıfı ve alınacak önlem sırası belirlenmiştir.

Çalışmanın sonucunda tespit edilen riskler için önerilerde bulunarak yeni risk değerleri aynı metotlar yardımı ile değerlendirilerek her öneri ve önerinin etkiyeceği durum sonucunda olasılık, frekans ve şiddet değerindeki etkisi ile artık riskin iyileştirilmiş düzeyleri tespit edilmiştir. Alınabilecek önlemlerin listelenmesi sonucunda gözlemlere dayalı olarak risk düzeylerinin seviyeleri farklı öneriler kullanılarak daha farklı seviyelere de indirgenebilmektedir. Bu çalışma esnasında saha çalışmalarında uygulanabilir öneriler sunulmaya çalışılarak risk seviyeleri kabul edilebilir seviyelere indirilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 6. Ayakkabı imalathanesinin Fine-Kinney metodu ile risk değerlendirme tablosu [7]

DERECELENDİRME TABLOSU				DEĞERLENDİRME TABLOSU				YENİ RİSK DEĞERLENDİRME TABLOSU				
No	Faaliyet	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Frekans	Risk değeri	Önlemler	Olasılık	Şiddet	Frekans	yeni risk değeri
1	DEPO	Portatif merdiven kullanım	Raflara uzanma sonucu bel, kol ağrıları, meslek hastalıkları	3	7	3	63	Rafların insan ölçeğine uygun imal edilmesi, tabanında kauçuk ve pabuçlu ayakları olan, sağlam basamaklı merdivenler kullanılması, merdivenlere sabitleme noktaları oluşturulması	0,5	7	1	3,5
2	DEPO	Yüksek depolama	Malzemenin insan üzerine düşmesi tehlikesi	3	7	2	42	Rafların ön kısımlarına engel konulması, üç metreden fazla malzeme istif edilmemesi, istifleme düzeninin sağlanması ve gruplandırılması, rafların taşıma yüklerinden fazla yükleme yapılmaması, yüksek istiflemeye kaçınılması	0,5	7	1	3,5
3	DİKİM	Dikim makinesi	İğne kırılması, iğne fırlaması	3	3	3	27	Makinelere siperlik yapılması, yapılmıyorsa kişisel koruyucu donanım olarak gözlük kullanılması,	1	3	2	6
4	GENEL	Yangın çıkışı kapalı	Acil durumlarda yaralanma, ölüm riski	6	40	1	240	Acil çıkış kapılarının önünün açık olması, bu kapıların kilitlenmemesi, acil kaçış güzergahlarının belirlenmesi ve açık olması	3	40	0,5	60
5	GENEL	Asansör	Asansörün düşmesi, ölüm, yaralanma	3	40	0,5	60	Asansörlerin periyodik bakım ve onarımlarının yapılması, asansörlerin taşıyabileceği yükten fazlasının yüklenmemesi, maksimum yük ibaresinin görünür yerlerde belirtilmesi, yük asansörlerinde insan taşınmaması, kapılara sensör takılması, kapılar tamamen kapalı iken çalışması sağlanacak şekilde yapılması	1	40	0,5	20

Çizelge 6. Ayakkabı imalathanesinin Fine-Kinney metodu ile risk değerlendirme tablosu (devamı) [7]

DERECELENDİRME TABLOSU				DEĞERLENDİRME TABLOSU				YENİ RİSK DEĞERLENDİRME TABLOSU				
No	Faaliyet	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Frekans	Risk değeri	Önlemler	Olasılık	Şiddet	Frekans	Yeni risk değeri
6	GENEL	Ergonomi	Meslek hastalıkları	6	3	6	108	Ergonomi eğitimlerinin verilmesi, iş paylaşımının eşit, dönüşümlü ve çalışma koşullarına uygun düzenlenmesi, deprem ve hareket unsurlarına göre dolapların ve tezgahların sabitlenmesi, ağır yüklerin araçlarla taşınması, çalışma sürelerinin uzun tutulmaması, çalışanların çalışma ortamlarının işe uygun niteliklerde olmasının sağlanması	1	3	2	6
7	GENEL	Kaygan zemin	Kayma, düşme	3	3	6	54	Kaymayı önleyici ayakkabı giyilmesi, zeminlerin sık sık temizlenmesi, yapıştırıcılar ile çalışılan alanların sürekli temizlenmesi ve ayakkabıların zemine yapışmasının engellenmesi, temizlik öncesi ve sonrasında uyarı işaretlerinin kullanılması	1	3	2	6
8	GENEL	Gürültü	Geçici ve kalıcı sağırlık, iletişim kopukluğu	6	7	6	252	Ortam gürültü ölçümü yapılması, gürültü düzeyi yüksek çalışmaların diğer çalışanlardan izole edilmesi, yüksek desibele ulaşan ortamlarda çalışanların kişisel koruyucu donanım olarak kulak tıkacı kullanması	1	7	2	14
9	GENEL	Aşırı Sıcak /Soğuk ortam	Stres, üretim kalitesinin düşmesi, yorgunluk	3	7	6	126	Uygun iklimlendirme sisteminin sağlanması, temiz hava giriş çıkışı ile hava sirkülasyonunun sağlanması	1	7	3	21
10	GENEL	Yüksekte çalışma, asansör altında çalışma	Düşme, yaralanma	3	15	1	45	Yük asansörünün kullanma talimatlarının görünür alanlarda yerleştirilmesi, yük asansörü kullanımı ile ilgili eğitim düzenlenmesi, uyarı ikaz levhalarının artırılması, maksimum kaldırma miktarının belirlenmesi ve asılması, asansörlerin periyodik kontrollerinin yapılması, yük asansörü sensörlerinin düzenli test edilmesi, güvensiz alanların belirlenip işaretlenmesi	1	15	0,5	7,5

Çizelge 6. Ayakkabı imalathanesinin Fine-Kinney metodu ile risk değerlendirme tablosu (devamı) [7]

DERECELENDİRME TABLOSU				DEĞERLENDİRME TABLOSU				YENİ RİSK DEĞERLENDİRME TABLOSU				
No	Faaliyet	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Frekans	Risk değeri	Önlemler	Olasılık	Şiddet	Frekans	Yeni risk değeri
11	GENEL	Elektrik	Elektrik çarpması	3	7	1	21	Yüksek gerilim ve elektrik tesisatı kontrollerinin yapılması için bir elektrik mühendisi ya da elektrik teknikeri istihdamı sağlanması, elektrikle çalışan makine ve el aletlerinin kontrol çizelgesinin oluşturulup takibinin sağlanması, kontrol panolarının önlerinde yalıtkan paspasların kullanılması, uyarı ve levhaların kullanılması, müdahale ekipmanlarının hazırda tutulması, kişisel koruyucu donanımlar olarak yalıtımlı eldiven, yüz maskesi, çizme bulundurulması, panoların kilit altında tutulması ve sadece sorumlu personel tarafından müdahale edilecek şekilde yapılması	1	7	0,5	3,5
12	KESİM	Gezer kafa kesim makinesi	Darbe ezilme	6	7	2	84	Çalışan eğitimlerinin verilmesi, çalışma alanlarının genişletilmesi	3	7	2	42
13	KESİM	Hareketli kesim aletleri	Elektrik kablosunun kesilmesi, Elektrik çarpması, kabloların ayaklara dolanması	6	7	2	84	Kesim masasının üstünde tavana sabitleştirilmiş kablo tesisatı ya da tavana asılı elektrik alma raylarının yapılması	3	7	1	21
14	KESİM	Dik bıçaklı kesim makineleri	El, parmak kesme, yaralanma	6	15	1	90	Kişisel koruyucu donanım olarak metal örgü eldiven kullanılması, kullanıma özendirilmesi, çalışana eğitimi verilmesi	1	15	0,5	7,5
15	MONTAJ	Fort ve bombe montaj	Parmak, el, kol sıkışması	3	15	1	45	Çalışanlara eğitim verilmesi, uzmanından hariç çalışanların kullanımı yasaklanması, makinelerin koruyucu ekipmanlarının kontrollerinin yapılması ve aktif olması	1	15	0,5	7,5

Çizelge 6. Ayakkabı imalathanesinin Fine-Kinney metodu ile risk değerlendirme tablosu (devamı) [7]

DERECELENDİRME TABLOSU				DEĞERLENDİRME TABLOSU				YENİ RİSK DEĞERLENDİRME TABLOSU				
No	Faaliyet	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Frekans	Risk değeri	Önlemler	Olasılık	Şiddet	Frekans	Yeni risk değeri
16	MONTAJ	Sayanın kalıba çivilenmesi	Ezilme, kas ezilmeleri	3	3	6	54	Çalışan eğitimlerinin verilmesi, eğitilmiş personel kullanılması	1	3	2	6
17	MONTAJ	Toz birikmesi, hava kirliliği	Toz, meslek hastalıkları, solunum problemleri	3	7	2	42	Çalışan personele kişisel koruyucu donanım olarak maske, eldiven verilmesi, çalışılan alandaki makinelerden çıkan tozların alttan emilerek toplanması	1	7	1	7
18	YAPIŞTIRMA	Solüsyon, ilaç	Meslek hastalıkları	6	7	3	126	Çalışanlara kişisel koruyucu donanım olarak eldiven verilmesi, eldivenlerin düzenli değiştirilmesinin sağlanması, yapıştırıcıların fırça yardımıyla uygulanması, spreylerin solunmasının engellenmesi için maske verilmesi, mekanik havalandırmaların sağlanması	2	7	2	28
19	YAPIŞTIRMA	Kimyasallar	Göz ve cilt tahrişi, kimyasalların solunması	3	7	2	42	Kullanma talimatlarının hazırlanması ve görülecek yerlere asılması, eğitimlerinin verilmesi, talimatlara uygun kullanımın sağlanması, kişisel koruyucu donanım olarak eldiven, maske, ayakkabı kullanılması,	1	7	1	7
20	YAPIŞTIRMA	Solüsyon	Yangın riski	3	40	1	120	Depolama alanlarında gereğinden fazla malzeme istifinden kaçınılması, malzeme bilgi formlarının oluşturulması, yanıcı maddelerin çalışma ortamlarından uzak ve kontrol altında tutulması, yakıcı maddelerden uzak tutulması, sigara kullanımının yasaklanması, yangın eğitiminin verilmesi, yangın tatbikatı yapılması, yangın tüplerinin sayısının artırılması, kullanımının öğretilmesi, yangın söndürme sistemlerinin yapılması, yangın kaçış güzergahlarının açık ve dış ortama açılmasındaki engellerin ortadan kaldırılması	1	40	0,5	20

5. SONUÇ

Bu çalışmada Adana ilinde üretim faaliyetlerini yürütmüş olan bir ayakkabı işletmesinde kesim, dikim ve montaj aşamaları olmak üzere ürünün geçtiği üretim aşamalarında karşılaşılan tehlike ve risk durumları saha çalışmaları yürütülerek tespit edilmiştir. Risk analizi, Fine-Kinney metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu metot ile risk sınıfları ve önlem öncelikleri belirlenmiş risk analizi sonuçları değerlendirilerek risk sınıflarını kabul edilebilir risk düzeyine getirmek için önerilerde bulunulmuştur.

İşletme geçmişi ve mevcut durum üzerinde yapılan değerlendirmeler sonucunda karşılaşılan muhtemel tehlike, risk ve hastalıklar incelendiğinde yangın oluşması riski ile yangın yollarının kapalı oluşundan kaynaklı ciddi risklerin olduğu görülmüştür. İşletmenin de geçmiş yıllarda yangın kaynaklı kazalarının gerçekleştiği ve imalathanenin tamamının yandığının bildirilmiş olması, yangın riski ve gerçekleşmesi sonucunda ortaya çıkabilecek felaketlerin önüne geçilmesi için gerekli önlemlerin alınmasını hızlandırmıştır.

İmalathanedeki gürültü yoğunluğunun sebep olabileceği kazalar ve meslek hastalıkları çalışanlarda raporlanmamış olsa bile bu konu hakkındaki tehlikelerin ciddiye alınması ve önlemlerle önüne geçilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

İmalathanedeki bir diğer önemli risk grubu kesim makinelerinden kaynaklanabilecek tehlike ve kazalar olarak göze çarpmaktadır. Kesim makinelerinden kaynaklanabilecek kazalar uzuvların sıkışması, darbeler ile ezilmelerin yaşanması, uzuv kopmaları, kesikler ve kas kayıpları gibi durumların yaşanmasına sebebiyet verebilecek potansiyeldeki kazalardır. Bu tehlike ve risklerin önüne geçilmesi için daha sağlıklı çalışma ortamı, izole edilmiş çalışma alanları ve nitelikli işçi gücü için düzenli eğitimlerin yapılmasının sağlanmasının yanında makinelerin düzenli kontrollerinin yapılmasının önemine dikkat çekilmesi gerektiğini göstermiştir. Yapılan çalışma ile bu makinelerdeki tehlike ve riskler de

göz önüne alınarak bu konuya da dikkat çekilmek istenmiş ve alınabilecek önlemler için önerilerde bulunulmuştur. Öneriler sonucunda risk değerleri düşürülmeye çalışılmıştır.

Meslek hastalıklarının oluşmasında etkili olabilecek gizli tehlikelerden biri de imalathanelerde kullanılan kimyasal solüsyonlardır. Temizleme, boyama ve yapıştırma amaçlarıyla imalathanenin farklı alanlarında kullanılan bu kimyasallar deriye doğrudan temas ve solunum yolları ile bu hastalıkların yaşanmasına neden olabilecek tehlikeli ürünlerdir. Saha çalışmalarında bu ürünlerin kullanım alanlarındaki tehlike ve riskler tespit edilmiştir. Elde edilen veriler sonunda imalathanede iyileştirme önerilerinde bulunularak risk değerlerinin aza indirilmesi sağlanmıştır.

Yapılan çalışmada risk değeri en yüksek olan tehlike "Yangın Çıkışı Kapalı" olarak tespit edilmiştir. Risk değeri 240 olan bu tehlikeye karşı alınan "Acil çıkış kapılarının önünün açık olması, bu kapıların kilitlememesi, acil kaçış güzergahlarının belirlenmesi ve açık olması" önlemleri sonucunda risk değeri 60'a düşürülmüştür. Yapılan çalışmada risk değeri yüksek olan bir diğer tehlike "Gürültü" olarak tespit edilmiştir. Risk değeri 252 olan bu tehlikeye karşı alınan "Ortam gürültü ölçümü yapılması, gürültü düzeyi yüksek çalışmaların diğer çalışanlardan izole edilmesi, yüksek desibele ulaşan ortamlarda çalışanların kişisel koruyucu donanım olarak kulak tıkacı kullanması" önlemleri sonucunda risk değeri 14'e düşürülmüştür.

6. KAYNAKLAR

1. Gökkaya Akyol, N., 2016. Ayakkabı İmalatı Yapılan İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Risklerinin Tespiti ve Kimyasal Maruziyetin Belirlenmesi. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, 128.
2. Gangopadhyay, S., Ara, T., Dev, S., Ghoshal, G., Das, T., 2011. An Occupational Health Study of The Footwear Manufacturing

- Workers of Kolkata, India. *Studies on Ethno-Medicine*, 5(1), 11-15.
3. Azari, M.R., Hosseini, V., Jafari, M.J., Soori, H., Asadi, P., Mousavion, S.M.A., 2012. Evaluation of Occupational Exposure of Shoe Makers to Benzene and Toluene Compounds in Shoe Manufacturing Workshops in East Tehran, *Tanaffos*, 11(4), 43-49.
 4. Saklangıç, U., 2015. Ayakkabı, Saya İmalatı Alanında Risk Değerlendirmesi ile Örnek Alan İncelenmesi. İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 88.
 5. Deb, A.K., Chowdhury, M., Azam, F.A.B., Hossain, M.I., 2018. Workers' Health and Workplace Condition Evaluation (WCE) of the Footwear Industries in Bangladesh. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)* e-ISSN, 2319-2402.
 6. Çelik, İ., 2020. Ayakkabı ve Çanta İmalat Sektöründe İSG Risklerinin Belirlenmesi ve Çözüm Önerileri. Gazi Üniversitesi, Doktora Tezi, Ankara, 168.
 7. Seyfioğlu I., 2022. Seçilmiş Ayakkabı İmalathanelerinin İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 93.
 8. Birgören, B., 2017. Fine Kinney Risk Analizi Yönteminde Risk Faktörlerinin Hesaplama Zorlukları ve Çözüm Önerileri. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 9(1), 20-25.
 9. Gülerer S., Sabır E.C., 2022. Bir Konfeksiyon İşletmesinde Seçilmiş Ergonomik Risklerin İş Sağlığı ve Güvenliği Kapsamında Analizi ve Risk Değerlendirmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(1), 237-248.

Sincansarnıç Köyü (Mustafakemalpaşa-Bursa) Dolayının Stratigrafisi ve Mesozoyik Kireçtaşının Mermer Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Ali Gökhan ÖÇGÜN*¹ ORCID 0000-0001-6704-5260

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

Geliş tarihi: 17.05.2022

Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: ÖÇGÜN, A.G., (2022). Sincansarnıç Köyü (Mustafakemalpaşa-Bursa) Dolayının Stratigrafisi ve Mesozoyik Kireçtaşının Mermer Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 937-950.

Öz

Çalışma alanı Bursa İli, Mustafakemalpaşa İlçesi, Sincansarnıç Köyü dolayını kapsamaktadır ve şehir merkezinin yaklaşık 50 km güneybatısındadır. İnceleme alanı H 21-d3 paftasında yer almaktadır. Çalışma alanında Mesozoyik yaşlı kayastratigrafi birimleri yüzeyler. Kırmızı-kahve renkli, hafif derecede metamorfizmaya uğramış birimlerden oluşan Karakaya gurubu Triyas yaşlı olup çalışma alanında geniş yayılmıştır. Jurasik yaşlı Dağakça formasyonu çalışma sahasının kuzey bölümünde yüzeyleyip Karakaya gurubu kayalar üzerine taban çakıltısı ile açısız diskordanslıdır ve çakılları Triyas yaşlı taban biriminden türemez. Üste doğru kumlu marn ve iri taneli kumtaşları ile devam eden birim kumlu kireçtaşına geçer. Fosilli biyomikritik yapılaşlı, Erken Kretase (Berriasiyen-Valanjiniyen) yaşlı İnatlar kireçtaşı bölgede “Bursa Bej Mermeri” olarak tanınır. Dağakça formasyonu üzerine geçişlidir. Bu çalışma ile Sincansarnıç Köyü dolayının 1/25.000 ölçekli ayrıntılı jeoloji haritası, Genelleştirilmiş Stratigrafi Kesiti hazırlanmış, İnatlar kireçtaşının mühendislik özelliklerini saptamaya yönelik deneyler yapılmış ve ilgi kireçtaşının mermer olarak kullanılabilirliğine ilişkin fiziksel ve mekanik özellikler değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İnatlar kireçtaşı, Mesozoyik, Mermer, Sincansarnıç

Stratigraphy of the Sincansarnic (Bursa–Mustafakemalpaşa) Area and Evaluation of the Mesozoic Carbonates as Marble

Abstract

The study area covers Sincansarnic – Mustafakemalpaşa area in the SW of Bursa and 50 Km away from the city center. H21-d3 topographic sheet is used for this study. Mesozoic aged lithostratigraphic units crop out at the study area and at the base of the succession reddish brown coloured, slightly metamorphosed, Triassic aged Karakaya group rocks are largely spread out. Jurassic aged Dağakça formation is placed in the northern part of the study area and begins with basal conglomerates which pebbles derived from Karakaya group rocks. Towards to the upper levels it continuous with sandy marl, sandstone and sandy limestone. At the top of the succession Cretaceous aged İnatlar limestone which is know as “Bursa biege marble”, transitional contact relation on the Dağakça formation. In the study area, 1/25.000 scale detailed geological map of the

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ali Gökhan ÖÇGÜN, gokalit@gmail.com

region, and generalized stratigraphic section was prepared. Besides, tests were made to determine the engineering properties of the carbonates in the İnatlar limestone and the physical and mechanical features of the Early Cretaceous carbonates were assessed to be used as marble.

Keywords: İnatlar limestone, Mesozoic, Marble, Sincansarnıç

1. GİRİŞ

Çalışma alanı Bursa İli Mustafakemalpaşa İlçesi, Sincansarnıç Köyü dolaylarını kapsamaktadır ve Bursa ilinin yaklaşık 50 km güneybatısındadır (Şekil 1). İnceleme alanı H 21-d3 paftasında yer almaktadır. Çalışma alanında Mesozoyik yaşlı kayastratigrafik birimleri yüzeyler. Karakaya grubu Triyas yaşlı olup çalışma alanında geniş yayılmıştır. Rengi kırmızımsı-kahve olup çok az metamorfizmaya uğramış birimlerden oluşur. Dağakça formasyonu jurasik yaşlı olup çalışma sahasının kuzey bölümünde yer alır. Triyas yaşlı taban çakıltaşı ile başlar. Üste doğru kumlu marn ve iri taneli kumtaşları ile devam eder ve kumlu kireçtaşı ile geçiş gösterir. Karakaya grubu ile açılal diskordanslıdır. İnatlar kireçtaşı Erken Kretase (Berriasiyen – Valanjiniyen) yaşlı “Bursa Bej Mermeri” litolojik olarak fosilli biyomikritik kireçtaşı yapılıdır.

Bu çalışma ile Sincansarnıç Köyü (Mustafakemalpaşa-Bursa) dolayının 1/25.000 ölçekli ayrıntılı jeoloji haritası (Şekil 2) yanı sıra, bölgenin Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti (Şekil 3) ve enine kesiti (Şekil 5) hazırlanmıştır. İnatlar kireçtaşından derlenen nokta ve karot örneklerin ince kesitleri petrografik tanımlamalar ile Alizarin Red-S ile boyanarak kalsit-dolomit ayırtı yapılmıştır. Ayrıca karot örnekler üzerinde İnatlar kireçtaşının mühendislik özelliklerine yönelik deneyler yapılmış ve Mesozoyik yaşlı karbonatların mermer olarak kullanılabilirliğine ilişkin fiziksel ve mekanik özellikleri değerlendirilmiştir

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Saha Öncesi Çalışmalar

Çalışmanın bu evresinde öncelikle çalışma alanıyla ilgili olarak bölgenin jeolojisi hakkında bilgi sahibi

olmak üzere daha önce yapılmış araştırmalar incelenerek literatür taraması yapılmıştır. Literatür taraması için değişik üniversiteler ile MTA Genel Müdürlüğü Kütüphanesinden yararlanılmıştır. Bunun sonucunda arazide yapılacak çalışmalara ilişkin yaklaşımlarda bulunulmuştur.

Saha çalışmalarında gerekli olan bölgenin 1/25.000 ölçekli topografik haritası değerlendirilip, buna göre paftalar ve benzeri materyaller temin edilmiştir.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

2.2. Saha Çalışmaları

Çalışmanın en önemli bölümünü oluşturan arazi çalışmaları 2008-2009 yılında özellikle saha çalışmalarına imkan veren yaz aylarında araziye çıkılmıştır. Mesozoyik yaşlı kireçtaşının mermer olarak kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla daha önce mermer ocak işletmecileri tarafından açılmış olan sondaj kuyularına ait karot örnekleri

incelenerek değerlendirilmiştir. Saha çalışmaları ile 1/25.000 ölçekli Bursa H21-d3 paftası kullanılarak; jeolog pusulası, gps, fotoğraf makinesi, lup, seyreltik HCl asit vb. gereçler ile dokanakların izlenmesi yöntemiyle çalışma alanının ayrıntılı jeoloji haritası hazırlanmış, arazide yüzlek veren birimlerden numuneler derlenmiştir.

2.3. Laboratuvar Çalışmaları

Bölgedeki arazi çalışmaları sırasında derlenen numunelerden fosil içerenlerin ince kesitleri Ç.Ü. Jeoloji Müh. Bölümü ince kesit atölyesinde hazırlatılıp mikroskopta incelenmiş mikro fotoğrafları çekilmiştir. Sondajdan alınan karot örnekleri üzerinde İnatlar kireçtaşının fiziksel özelliklerinden Birim Hacim Ağırlık, Yoğunluk, Ağırlıkça Su Emme, Hacimce Su Emme, Görünür Porozite, Boşluk Oranı, Özgül Ağırlık; Mekanik özelliklerinden Tek Eksenli Basma Dayanımı, Nokta Yük Dayanımı değerlerini belirlemek için deneyler yapılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

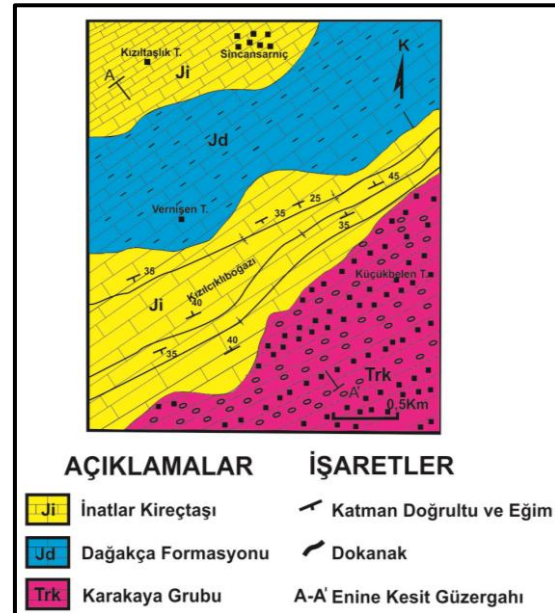
Çalışma alanında yapılan incelemede, Mesozoyik yaşlı üç farklı litostratigrafi birimi ayırtlanmıştır. Bölgede temeli Karakaya grubu oluşturmaktadır. Bu birim kuvarşist ve mermer çakıllı aglomera, kumtaşı, mikalı kumtaşı, grovak, silttaşı, kiltası araldanmasından oluşmuş olup, yer yer yaygın radyolarit, çört, spilit arakatmanlıdır. Orta-Geç Triyas ve Erken Jurasik'te Karakaya kıvrımlanmış, üstüne Erken Jurasik kırıntılıları (Dağakça formasyonu) çökelmiştir. Bu birim ise Erken Triyas yaşlı taban çakıllıtaşı ile başlar. Üste doğru kumlu marn ve iri taneli kumtaşları ile devam eder ve kumlu kireçtaşı ile geçiş gösterir. Geç Jurasik ve Erken Kretase'de ise alttaki kırıntılarla uyumlu olarak (Berriasiyen-Valanjiniyen) yaşlı "Bursa Bej Mermeri" olarak bilinen fosilli biyomikritik kireçtaşı olarak tanımlanan (Yalçınkaya, 1980) İnatlar Kireçtaşı çökelmiştir. (Şekil 2)'deki İnceleme alanı jeoloji haritasında birimlerin yayılımları; ayırtlanan litostratigrafi birimlerinin özellikleri ve birbiri ile olan dokanak ilişkileri Genelleştirilmiş Stratigrafi Kesiti'nde sunulmuştur (Şekil 3).

3.1. Stratigrafi

Çalışma alanında Mesozoyik yaşlı kayastratigrafi birimleri yüzeyler. Bu birimlerin stratigrafi, sedimentolojik, petrografik, paleontolojik özellikleri ve birbirleri ile olan konumları sunulmuştur (Şekil 2, 3).

3.1.1. Mesozoyik

Çalışma alanında Mesozoyik'te üç adet litostratigrafi birim ayırtlanmış olup, bu birimler; Karakaya grubu, Dağakça formasyonu ve İnatlar kireçtaşıdır (Şekil 2, 3).



Şekil 2. Sincansarnıç Köyü (Bursa-Mustafakemalpaşa) dolayının jeolojik haritası

3.1.1.1. Triyas

3.1.1.1.(1) Karakaya grubu

Çalışma alanında geniş yayımlı olup (Şekil 2) Bingöl ve arkadaşları (1973) tarafından adlandırılmıştır. Karakaya formasyonu olarak adlanan Alt Triyas yaşlı bu birim Kazdağ güney ve güneydoğusunda, Uludağ kuzeyinde, Manisa ve Simav kuzeyinde, Bilecik, Eskişehir ve Ankara

dolaylarında, Amasya güneyinde mostra vermektedir (Bingöl, 1968, 1971, 1975; Bingöl ve arkadaşları 1973; Armağan ve arkadaşları, 1973). Karakaya grubu H21-d3 paftasında Küçükbelen ve Belen tepe civarları yüzlek verirken, İ21-a2 paftasının ise kuzeyinde yer almaktadır.

Rengi kırmızımsı-kahve olup çok az metamorfizmaya uğramış birimlerden oluşur. Bu birim kuvarşist ve mermer çakıllı aglomera, kumtaşı, mikali kumtaşı, grovak, siltaşı, kilitaşı ardalanmasından oluşmuş olup, yer yer yaygın radyolarit, çört, split arakatmanlıdır (Uçaklı, 2006), (Şekil 3). Genelde eski temelle olan dokanakları faylıdır. Yanal ve düşey geçişli, yeşil renkte metaspilit, splitik bazalt, metabazalt, metatüf ve volkanitlerden oluşur.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	GRUP	FORMASYON	SİNGE	KALINLIK(m)	LİTOLOJİ	LİTOLOJİK ÖZELLİKLER
MESOZOYİK	A.KRE.	INATLAR	Ji	30	30	Biyomikritik kireçtaşı bej-sarımsı-grimsi renktedir. Orta-kalın katmanlıdır. Alt seviyeleri pembemsi, kumlu kili ammonit fosillidir. Orta seviyelerde çörtlü kireçtaşı bulunur. Üst seviyeleri ise mikrofosilli, mikritik-psödo-oolitik kireçtaşından oluşur. Mermer şletilen üst seviye kireçtaşları kriptu, mikro-kristalen kalsit, pellet ve intraklastıdır.	
	TRİYAS	KARAKAYA	Ttk			Bazik volkanikler, az metamorfize olmuş kumtaşı, çakıltaşı, grovak, arkoz ve radyolaritten oluşur. İçinde yer yer Permo-karbonifer yaşlı kireçtaşı blokları bulunur.	

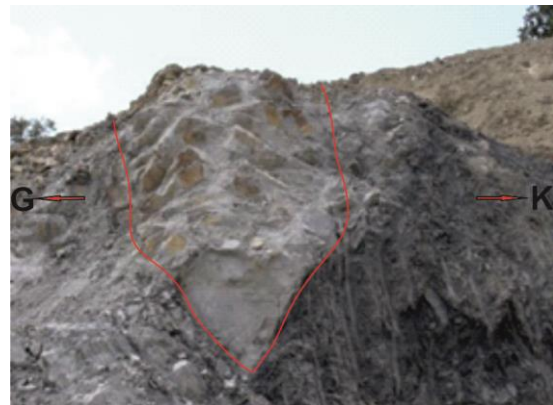
Şekil 3. Sincansarnıç Köyü (Bursa-Mustafakemalpaşa) dolayının geliştirilmiş stratigrafik kesiti

Birimin içindeki dev kireçtaşı blokları siyah-grimsi siyah ve boz renklere olup Permo-Karbonifer yaşlıdır (Şekil 5). Karakaya grubu Triyas yaşlı olup, Dağakça formasyonu ile açılal diskordans göstermektedir.

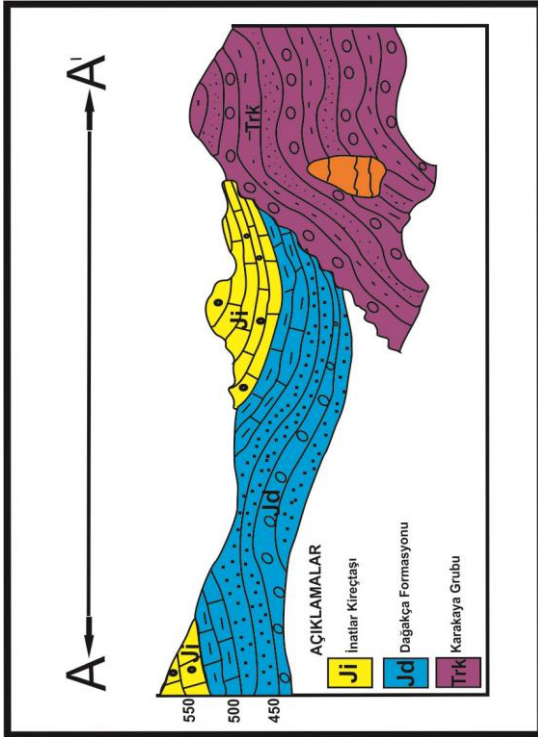
3.1.1.2. Jurasik

3.1.1.2.(1) Dağakça formasyonu

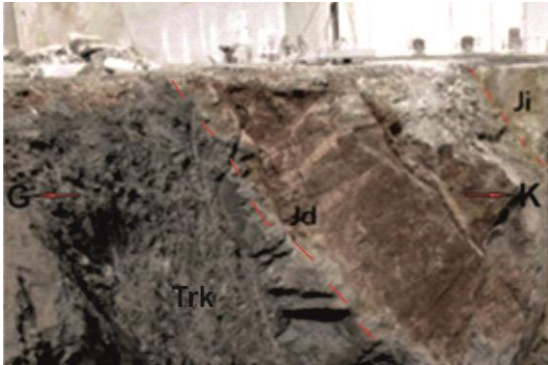
Dağakça formasyonu H21-d3 paftasında Vernişen tepesi ve Kızılaşlık tepesi arasında yüzlek verir. Çalışma sahasının kuzey bölümünde yer alır. Doğu-Batı uzantılı bir görünüm sunar (Şekil 2). Koyu sarı, yeşilimsi gri renklidir. Erken Triyas yaşlı taban çakıltaşı ile başlar. Üste doğru kumlu marn ve iri taneli kumtaşları ile devam eder ve kumlu kireçtaşı ile geçiş gösterir. Altında bulunan ve Karakaya grubu malzemesinden oluşmuş taban çakıltaşları okside olması nedeniyle yer yer kırmızımsıdır. Genel olarak koyu sarı ve yeşilimsi gri renklerin hakim olduğu detritiklerin içerisindeki ince katmanlı marnlar gevşek tutturulmuş, çabuk ayrılabilir konumdadır ve bol lamellibranch fosili içerir (Uçaklı, 2006), Dağakça formasyonu, Karakaya grubu ve İnatlar kireçtaşı arasında yer yer genişleyen ve İnatlar Kireçtaşının uzanımına uygun olan bir yayılım gösterir. Altındaki Triyas yaşlı Karakaya Grubu ile açılal diskordanslıdır. İnatlar kireçtaşı Triyas kırıntılıları üzerine transgressif aşmalı olarak gelmektedir (Şekil 2., 3, 5) Bu birimin kalınlığı 90 metre kadardır ve Jurasik yaşlıdır.



Şekil 4. Karakaya formasyonu içerisinde bloklar halinde yabancı kireçtaşları bulunur



Şekil 5. Sincansarnıç Köyü (Bursa-Mustafakemalpaşa) dolayının enine kesiti

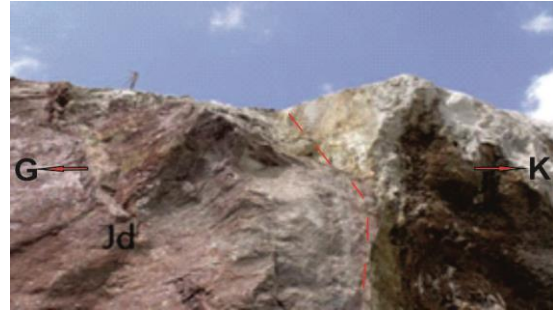


Şekil 6. Çakıltaşı ile başlayan, marn ve kumtaşı ile devam eden Dağakça formasyonun üstüne İnatlar kireçtaşı gelmektedir. Jd: Dağakça formasyonu, Ji: İnatlar kireçtaşı

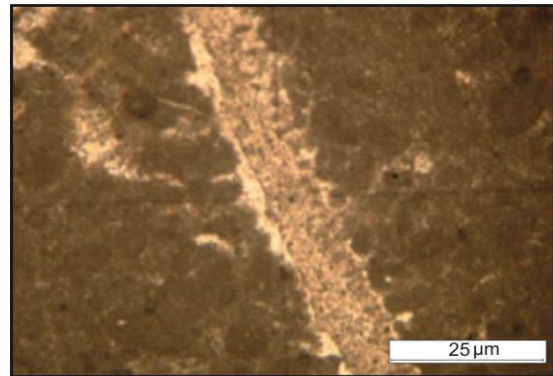
3.1.1.2.(2) İnatlar kireçtaşı

Bu kayalar Yalçınkaya (1980) tarafından İnatlar Kireçtaşı olarak adlandırılmıştır. İnatlar kireçtaşı H21-d3 paftasında Kızıldaşlık tepesi ve

Kızılçıklıboğaz civarı yüzlek vermiştir. Bu birim KD-GB doğrultulu olup eğimi kuzeybatı ve güneydoğuya doğrudur. Ancak kıvrımlanma nedeniyle eğim değerleri çok değişkendir (Şekil 2). Bej, sarımsı-grimsi renklere olan birim ve ortamasif katmanlanma gösterir. Birimin alt seviyeleri pembemsi, çok kalın-masif katmanlı kumlu kili, ammonit fosilli kireçtaşından oluşur. Orta seviyeleri yer yer çörtlüdür. Üst seviyeleri ise bol mikrofosilli, kalın- çok kalın katmanlı mikritik-oolitik kireçtaşlarından oluşmaktadır. **Fosilli intramikrit, Kızılçıklıboğaz'ın NE'si:** Ayrışmış yüzeyi bej, taze kırık yüzeyi koyu bej, mikritik dokulu, yüksek dayanımlı kireçtaşı. Kayaç %5 kadar textularia, miliolidae, algae, bilinmedik foraminifer ve bilinmedik kavkı kesiti (Şekil 8) kapsamaktadır. Fosiller mikritik zıhlı olup kimilerinin içleri ince sparikalsit dolguludur (Şekil 9). Kayaçta hâkim tane bileşeni mikritik yapıllı intraklastlar oluşturur (%50).

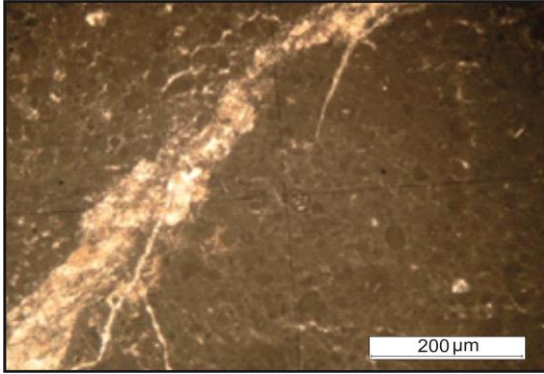


Şekil 7. Kumtaşı ve kumlu kireçtaşı. Jd: Dağakça formasyonu, Ji: İnatlar kireçtaşı

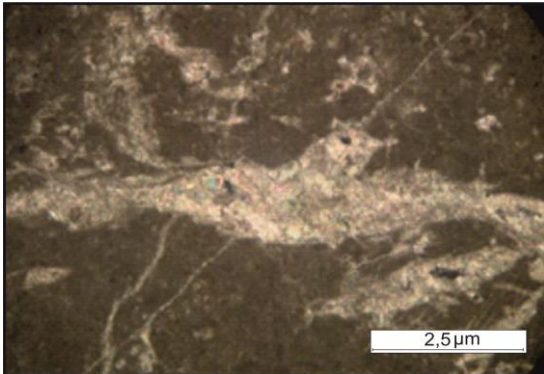


Şekil 8. Fosilli intramikrit %5 kadar textularia, miliolidae, algae, bilinmedik foraminifer bilinmedik kavkı kesiti kapsar, (T.N)

Allokemler mikritik zeminde tane desteklidir. Hâkim iki yönde gelişmiş ince kırıklar ince-orta; erime ile genişletilmiş kırık gözenek alanları düz, orta-kaba sparikalsit dolguludur (Şekil 10). İncelenen kesitte dolomit gözlenmemiştir.

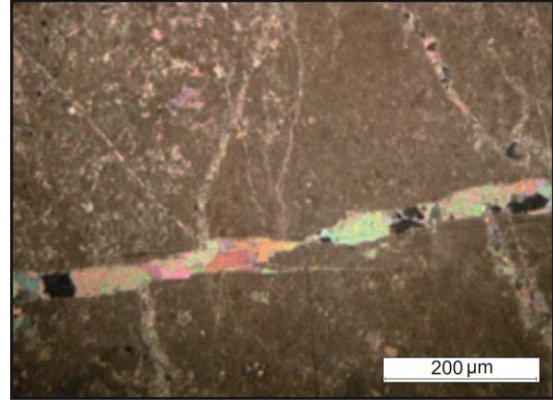


Şekil 9. Fosiller mikritik zıhlı olup, kimilerinin içleri sparikalsit dolguludur (T.N)



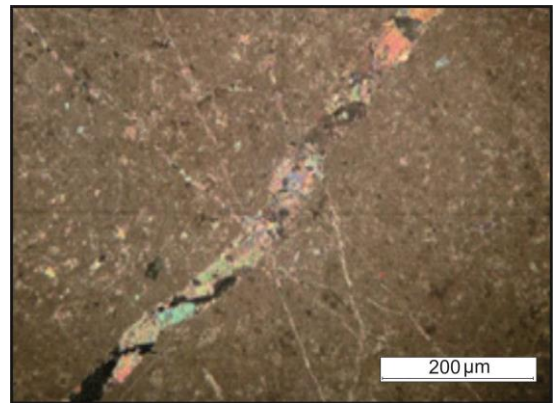
Şekil 10. İki yönde gelişmiş kırıklar ince-orta; erime ile genişletilmiş kırık gözenek alanları düz-orta-kaba sparikalsit dolguludur, (Ç.N)

Seyrek dolomitli fosilli mikrit, Kızılçıklıboğaz'ın NE'si: Ayrışmış yüzeyi bej, taze kırık yüzeyi koyu bej, mikritik dokulu, yüksek dayanımlı kireçtaşı. Mikritik yapıllı kayaçta seyrek ince kavkılı foraminiferler ve çok kıt (%1-2) ince dolomit kristalleri olağandır. İnce-orta-kalın kırıklar ile fosilleri ince-orta sparikalsit dolguludur (Şekil 12). Erime ile genişletilmiş koçuk gözenek alanları seyrek olup orta-iri sparikalsit dolguludur. Fosiller mikritik zıhlıdır (Şekil 13).

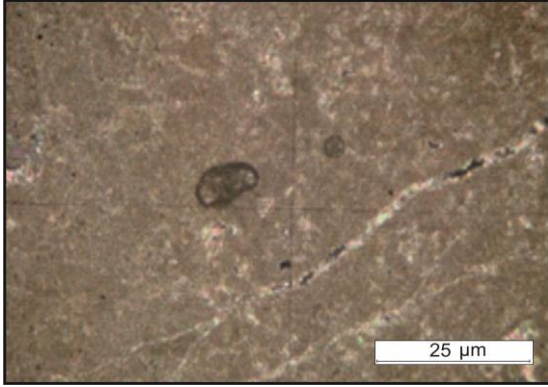


Şekil 11. Algli intramikritte I. evre ince kırıklar hâkim iki yönde gelişmiş olup II. evre daha kalın kırıklar boyunca mikro faylanmalıdır, (Ç.N)

Algli intramikrit, Kızılçıklıboğaz'ın NE'si: Ayrışmış yüzeyi bej, taze kırık yüzeyi koyu bej, mikritik dokulu kireçtaşı. Algae, bilinmedik foram ve iri kavkı kesitlerinden oluşmuş biyoklastlar (%8) ile mikritik yapıllı intraklastlar (%45) mikritik zeminde tane desteklidir. I. Evre ince kırıklar hâkim iki yönde gelişmiş olup II. evre daha kalın kırıklar boyunca belirgin mikro faylanmalıdır (Şekil 11). I. evre kırıklar ince; II. evre kırıklar orta sparikalsit dolguludur. Erime ile genişletilmiş kırık gözenek alanları ve kimi algae gözenek alanları orta-iri sparikalsit dolguludur. İnce kesitte dolomit ve opak mineral gözlenmemiştir.

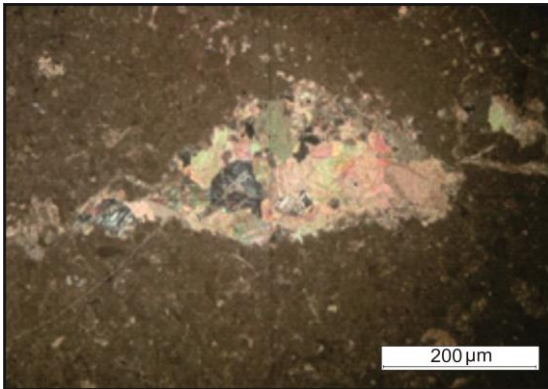


Şekil 12. İnce-orta kalın kırıklar ile fosiller ince-orta sparikalsit dolguludur, (Ç.N)



Şekil 13. Seyrek dolomitli fosilli mikritte fosiller mikritik zıhlıdır, (Ç.N)

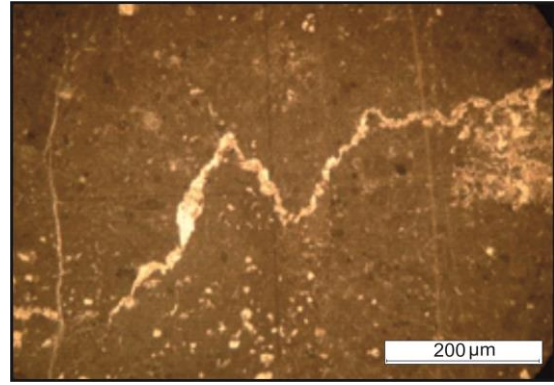
Seyrek dolomitli, fosilli intramikrit, Kızılçıklıboğaz'ın NE'si: Ayrışmış yüzeyi bej, taze kırık yüzeyi koyu bej, mikritik dokulu yüksek dayanımlı kireçtaşı. Mikritik yapılaşlı kayaçta çoğunluk bileşenini (%40) mikritik yapılaşlı intraklastlar oluşturur. Mikritik zıhlı, ince-iri kavkılı lamellibrans, gastropot, textularia, algae, bilinmedik foraminiferlerden oluşmuş biyoklastlar %10 kadardır. Biyoklastların içleri ince sparikalsit dolguludur.



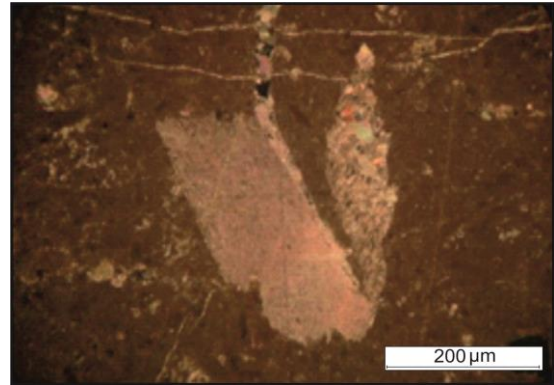
Şekil 14. Seyrek dolomitli fosilli intramikritte erime ile gelen genişletilmiş kırık gözenek alanları orta-kalın sparikalsit dolguludur, (Ç.N)

Erime ile genişletilmiş kırık gözenek alanları orta – kalın sparikalsit dolguludur (Şekil 14). Stilolitik yol boylarında ve yer yer kayanın içinde saçılmış halde ince dolomit kristalleri %4 kadardır (Şekil 15). Hâkim iki yönde, farklı iki evrede

oluşmuş ince – orta – kalın kırıklar ince – kalın sparikalsit dolguludur (Şekil 16). Yer yer iri saf kalsit taneleri, muhtemelen ekinit levhaları olmalıdır (Şekil 16). Kayaçta %1 opak mineral gözlenmiştir (Şekil 17).



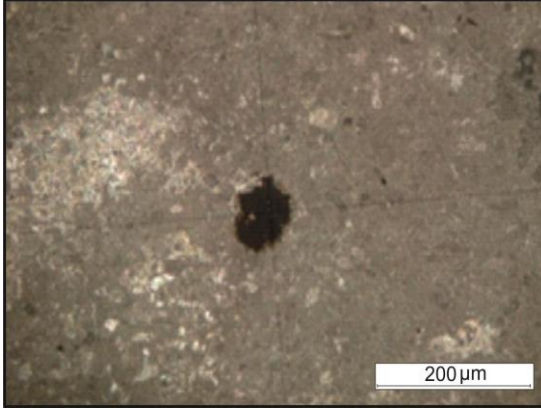
Şekil 15. Stilolitik yol boyları ve kayanın içinde saçılmış halde ince dolomit kristalleri %4 kadardır, (T.N)



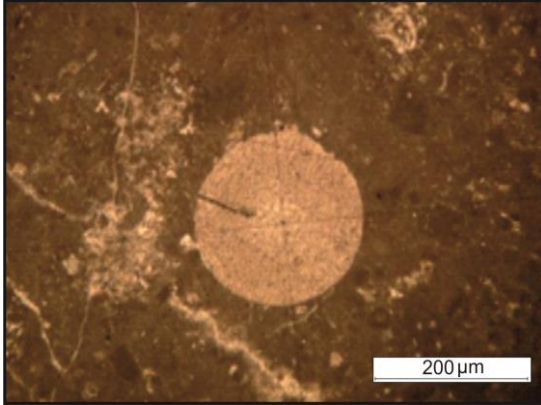
Şekil 16. İki yönde, farklı iki evrede oluşmuş ince-orta-kalın kırıklar ince-kalın sparikalsit dolguludur, şeklin ortasında kalsitik Ekinit kavkı kesiti, (Ç.N)

Algli intramikrit, Kızılçıklıboğaz'ın NE'si: Ayrışmış yüzeyi bej, taze kırık yüzeyi koyu bej, mikritik dokulu yüksek dayanımlı kireçtaşı. Mikritik zeminde textularia, iki kavkı kesiti, ekinit dikenini (Şekil 18), algae (Şekil 19), kavkı kesiti, bilinmedik foraminifer vb. den oluşma biyoklastlar %15 kadar olup, mikritik yapılaşlı intraklastlar %40 kadardır. Opak mineral %1'den azdır (Şekil 20). Dolomit çok seyrek. Hâkim iki yönde

gelişmiş birbirini kesen kırıklar ince-orta sparikalsit dolguludur (Şekil 20).

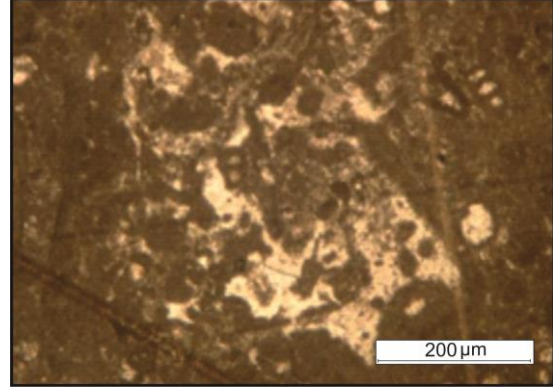


Şekil 17. Kayaçta opak mineral %1 kadardır, (Ç.N)

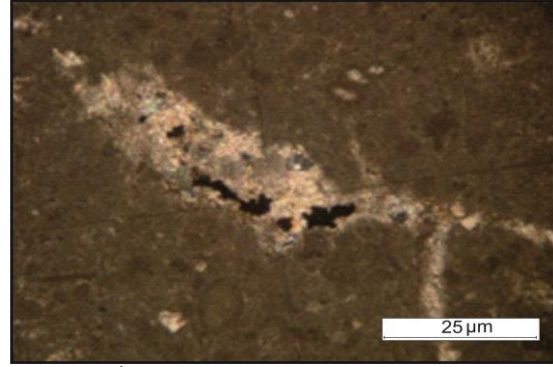


Şekil 18. Algli intramikritikte, ekinit diken kesiti, bilinmedik foraminifer vb. den oluşma biyoklastlar %15 kadardır, (T.N)

Jurasik'te başlayan birim çökelişini Erken Kretase'de tamamlar. Erken Kretase (Berriasiyen - Valanjiniyen) yaşlı "Bursa Bej Mermeri" litolojik olarak fosilli biyomikritik (kireçtaşı) olarak tanımlanır (Yalçınkaya, 1980). Mermer için işlenen üst seviye kireçtaşları kriptomikro kristalen kalsit mineralleri ile mikrofossil kavkaları ve intraklast bileşenlerinden oluşur. Bu kireçtaşı istifi tabanda Triyas yaşlı Karakaya birimi üzerine gelirken üst seviyelerde Geç Kretase yaşlı kaya birimleri tarafından örtülmektedir (Uçaklı, 2006). Bu birim ortalama 30 metre kalınlıktadır.



Şekil 19. Algli intramikrite mikritik yapılaşlı textularia vb. biyoklastlar ve intraklastlar, (T.N)



Şekil 20. İki yönde gelişmiş birbirini kesen kırıklar ince-orta sparikalsit dolguludur. Opak mineral % 1 den azdır, (Ç.N)

3.2. Yapısal Jeoloji

Çalışma alanı Alp Orojenezinin etkisinde kalmış olup önemli blok faylanmalar ile ofiyolit oluşumu ve Pontid - Anatolid kenetlenmesi gibi önemli tektonik hareketlerin etkisinde kalmıştır. Yöre son tektonik dönemde Kuzey Anadolu Fayının etkisi altında şekillenmiştir. (Uçaklı, 2006; Selim ve arkadaşları, 2006). Çalışma alanında Karakaya Grubu Geç Triyas'ta çökelmiş olup, içinde volkanik kırıntılar ve Permo-Karbonifer yaşlı kireçtaşı blokları içerir (Şekil 3,4). Orta-Geç Triyas ve Erken Jurasik'te Karakaya kıvrımlanmış, üstüne Erken Jurasik kırıntılıları (Dağakça formasyonu) çökelmiştir (Şekil 3). Geç Jurasik ve Erken Kretase'de ise İnatlar Kireçtaşı çökelmiştir (Şekil 3).

3.3. İnatlar Kireçtaşının Temel Mühendislik Özellikleri

3.3.1. Fiziksel Özellikler

3.3.1.1. Birim Hacim Ağırlık

Birim hacim ağırlık, kayacın boşluklar ve öteki süreksizlikleri de içeren birim hacminin ağırlığı olarak tarif edilmiştir ve numune ağırlığının, toplam hacme bölünmesi ile bulunur. Erken Kretase yaşlı İnatlar kireçtaşının birim hacim ağırlıkları Çizelge 1’de verilmiş olup alınan karotlar üzerinde yapılan deneyler sonucunda inceleme alanındaki ortalama birim hacim ağırlığı $2,68 \text{ g/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır. Mermer birim hacim ağırlığının belirlenmesi için; hazırlanan küp numuneler, yıkandıktan sonra ilk önce $105 \text{ }^\circ\text{C}$ ’de kurutulur. Kurutma işlemi bittikten sonra ayrı ayrı hassas terazide ($0,01 \text{ g}$) tartılır. Tartılmış numuneler bir kaba konur ve numunelerin %25’i su içinde kalacak şekilde su ilave edilir ve numunelerin tamamen üzerlerini örtecek miktarda su ilavesi yapıldıktan sonra iki gün su içinde bekletilmelidir.

Numuneler doymuş hale geldikten sonra su içerisinde Arşimet terazisi ile tartılarak, ölçüm değerleri ($0,01 \text{ g}$ hassasiyetle) yapılır. Tartılma işlemi bittikten sonra deney numunesi üzerindeki su damlaları ıslak bezle alınır ve bekletmeksizin bu sefer havada $0,01 \text{ g}$ hassasiyetle tartılır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki eşitlikte yerine konularak her bir numune için teker teker birim hacim ağırlığı belirlenir (Eşitlik 1):

$$dh = \frac{Gk}{Gdh - Gds} \quad (1)$$

Burada;

dh=Mermerin hacim ağırlığı, g/cm^3

Gk= Sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuş deney numunesi ağırlığı, g.

Gdh= Deney numunesinin (doymuş haldeki) havadaki ağırlığı, g,

Gds= Deney numunesinin (doymuş haldeki) su içindeki ağırlığı, g.

Aşağıdaki formüllerle mermerin suyu emme oranı, ağırlık olarak ve hacimsel olarak hesaplanabilir (Eşitlik 2-3);

$$Sk = \frac{Gdh - Gk}{Gk} \times 100 \quad (2)$$

$$Sh = \frac{Gdh - Gk}{Gdh - Gds} \times 100 \quad (3)$$

Burada;

Sk= Mermerin su emme oranı (ağırlık), %,

Sh= Mermerin su emme oranı (hacim), %.

3.3.1.2. Yoğunluk (Özgül Ağırlık)

Doğal yapı taşlarının gözeneklerinin meydana getirdiği boşluklar düştükten sonra geriye kalan kısmının hacimce eşdeğeri olan su ağırlığı olarak ifade edilir. Erken Kretase yaşlı İnatlar kireçtaşının özgül ağırlıkları Çizelge 1’de verilmiş olup alınan karotlar üzerinde yapılan deneyler sonucunda inceleme alanındaki ortalama özgül ağırlığı $2,70 \text{ g/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanından özgül ağırlık tayini için alınan (2 kg ’lık) temsili numuneler açıklığı $0,2 \text{ mm}$ ’lik eleklerden öğütülür ve ilk olarak sabit aralığa gelene kadar $105 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta etüvde kurutulur daha sonra da oda sıcaklığına kadar kurutulur içerisindedir kurutulması gerçekleşir. $0,01 \text{ gr}$ hassasiyetle piknometre kullanılarak tartılıp ağırlık Gp olarak işlenir.

Piknometreye oda sıcaklığında su doldurarak kapağı kapatılır ve üstündeki su zerrecikleri kurutma kağıdı yardımıyla kurutularak kapaktaki kılcal borudaki su seviyesi tespit edilip tartılarak ($0,1 \text{ g}$ hassasiyetle) ağırlık Gps olarak işlenir. Kurutulduktan sonra soğutulup, öğütülen numuneden 250 g alınarak piknometreye koyulur ve tartılarak ($0,01 \text{ g}$ hassasiyetle) Gpn kütle değeri kaydedilir. İçindeki örnek ile piknometreye örnek seviyesini geçene kadar hacminin %25’i kadar su koyulur ve ısıtılıp ($10-15 \text{ dk.}$), su banyosunda oda sıcaklığına varana dek soğutulur su ilavesi ile birlikte kapağı kapatılır. Piknometre kurularak $0,01 \text{ g}$ hassasiyetle tartılarak $Gpns$ ağırlığı

belirlenir. Deney bulguları ile mermerin özgül ağırlığı şu formül hesaplanmaktadır (Eşitlik 4).

$$do = \frac{Gpn - Gp}{(Gpn - Gp) - (Gpns - Gps)} \quad (4)$$

Burada;

do = Özgül ağırlık,
Gp= Piknometrenin ağırlığı, g,
Gpn= Piknometre ve deney numunesinin ağırlığı, g
Gps= Su ile dolu piknometre ağırlığı, g
Gpns= (Piknometre+deney numunesi+su) ağırlığı, g

3.3.1.3. Görünür Porozite (Gözeneklilik)

Kayaç içindeki gözeneklilik, boşluk hacminin tüm kayaç hacmine oranının % cinsinden ifadesidir. İnceleme alanında İnatlar kireçtaşından alınan örneklerin görünür poroziteleri %0,5 olarak hesaplanmıştır. T.S. 1910'a göre doğal taşlarda gözeneklilik %2'yi aşmamalıdır. Mermerin görünür porozite değeri hacimce su emme ya da hacim kütle su emme oranı ile hesaplanabilir. Mermerin görünür porozite değeri; hacimce su emme oranı kullanılarak aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilmektedir (Eşitlik 5).

$$Pg = \frac{Gd - Gk}{Gd - Gds} \times 100 \quad (5)$$

Burada;

Pg= Mermerin görünür porozitesi, %
Gd= Mermerin doygun haldeki kütlesi, g
Gk= Değişmez kütle kadar kurutulmuş kütle, g
Gds= Doygun halde su içindeki kütle, g

Ayrıca mermerin, hacim kütle ve hacimce su emme oranı yardımıyla da görünür porozite değeri hesaplanabilmektedir (Eşitlik 6).

$$Pg = dh \times Sk \quad (6)$$

Burada;

Pg= Mermerin görünür porozitesi, %
dh= Mermerin hacim kütlesi, gr/cm³
Sk= Mermerin kütle su emme oranı, %

Gerçek porozite ise, mermerin ortalama hacim ağırlığı ve ortalama özgül ağırlığı kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Eşitlik 7-8).

$$P = \left(1 - \frac{dh}{do}\right) \times 100(\%) \quad (7)$$

yada

$$P = (1 - k) \times 100 \quad (8)$$

Burada;

P= Mermerin gerçek porozitesi oranı, %

k= dh/do (doluluk oranı)

dh= Mermerin ortalama hacim ağırlığı (gr/cm³)

do= Mermerin ortalama özgül ağırlığı (gr/cm³)

Doluluk oranı, değişmez kütle kadar kurutulmuş kayacın (105 °C), boşlukları hariç, hacminin (dolu hacim), boşlukları dahil hacmine (bütün hacim) oranıdır. Deney üç deney numunesi üzerinde yapılır. Deneyde kullanılan malzemelerin her birinin üzerinde birim hacim ağırlığı deneyi ve özgül ağırlık deneyi yapılır. Bunların birim hacim ağırlığı ve özgül ağırlık deneyleri sonuçlarından doluluk oranı (Eşitlik 9):

$$k = \frac{dh}{do} \times 100(\%) \quad (9)$$

formülü ile ve tam sayıya yuvarlatılarak hesaplanır.

Burada;

k = Doluluk oranı (%)

dh= Birim hacim ağırlığı (gr/cm³)

do= Özgül ağırlık

3.3.1.4. Su Emme Oranı

Ts 699'a göre ağırlıkça su emme oranı; değişmez kütle kadar kurutulmuş taşın absorbe edebildiği su kütlesinin, taşın kütlesine oranıdır. İnceleme alanındaki İnatlar kireçtaşından derlenen karot örneklerinin su emme oranı ağırlıkça %0,2 olarak hesaplanmıştır. T.S. 1910'a göre doğal taşların atmosfer basıncında ağırlıkça su emme yeteneği

%0,75'den çok olmamalıdır. Sürekli olarak toprak ile temas halindeki yerlerde ise bu özellik kayacın, toprağın nemini emebilirliğini gösterir. Mermerin su emme oranı aşağıdaki formüller ile hesaplanabilir (ağırlıkça ve hacimce) (Eşitlik 10-11).

$$Sk = \frac{Gdh - Gk}{Gk} \times 100 \quad (10)$$

$$Sh = \frac{Gdh - Gk}{Gdh - Gds} \times 100 \quad (11)$$

Burada;

Sk= Mermerin ağırlıkça su emme oranı, %

Sh= Mermerin hacimce su emme oranı, %

Gdh= Suya doygun haldeki deney numunesinin havadaki ağırlığı, gr

Gds= Suya doygun haldeki deney numunesinin su içindeki ağırlığı, gr

Çizelge 1. İnatlar kireçtaşının fiziksel ve mekanik özellikleri

ÖZELLİKLER	BİRİMLER	SONUÇLAR	DEĞERLENDİRME
SERTLİK	Mohs	3-4	3-4 Mohs sertlik derecesi kesilebilme özelliği bakımından iyi nitelikli.
BİRİM HACİM AĞIRLIĞI	g/cm ³	2,68	TS,2513 ve TS,1910'a göre 2,55 g/cm ³ 'ten büyük olduğu için doğal yapı taşı ve kaplama taşı olarak kullanıma uygundur.
ÖZGÜL AĞIRLIĞI	g/cm ³	2,70	TS,2513 ve TS,1910'a göre 2,55 g/cm ³ 'ten büyük olduğu için doğal yapı taşı ve kaplama taşı olarak kullanıma uygundur.
SU EMME	%	0,2	TS,2513'e göre %1,8'ten küçük TS,1910'a göre %0,75'ten küçük olduğu için doğal yapı taşı ve kaplama taşı olarak kullanıma uygundur.
POROZİTE	%	0,5	TS,1910'a göre porozite değeri %2'yi geçmemelidir. %0,5 değeri iyi nitelikli mermer olduğunu gösterir.
SERBEST BASINÇ DİRENCİ	Kg/cm ²	1,665	Bu değer ile Bieniawski 1984'e göre yüksek dayanımlı, ISRM 1981'e göre çok sağlam kayaç sınıflamasındadır.
DON SONRASI SERBEST BASINÇ DİRENCİ	Kg/cm ²	1,335	TS, 10449'a göre don sonrası basınç direnci 300 Kg/cm ² 'den küçük olmalıdır. Bu değer standardına uygundur.
AŞINMA DİRENCİ	cm ³ /50cm ²	14,49	Doğal yapı taşları için < 15 cm ³ /50 cm ² , kaplama taşı için <25 cm ³ /50 cm ² olmalıdır. TS, 10449 standardına uygundur.
ÇEKME DİRENCİ	Kg/cm ²	744	744 Kg/cm ² değeri ile çekme direnci standardına uygundur.

3.3.2. Mekanik Özellikler

3.3.2.1. Tek Eksenli Basma Dayanımı

Tek eksenli basma dayanımı; bu çalışmada incelenen kayaçların belirli ve farklı doğrultuda etkileyen gerilimler karşısındaki davranışları ve

kırılmaya karşı gösterdiği direnç olarak ifade edilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı için TS 699 ve ISRM standartları kullanılmaktadır. Boyu çapının 2 katı olan silindirik veya dikdörtgenler prizması şeklinde hazırlanmış deney numunelerinin tek eksenli preste yüklenmesi ile belirlenmektedir. Erken Kretase yaşlı İnatlar kireçtaşından alınan numunelerle yapılan deneyler sonucunda tek eksenli basınç dayanımı 163,28 MPa olarak hesaplanmıştır. Çizelge 2'de gösterildiği gibi Bieniawski 1984'e göre İnatlar kireçtaşı yüksek dayanımlı kayaç olarak tanımlanabilir.

3.3.2.2. Don Sonrası Basınç Dayanımı

Dış mekanlarda kullanılacak mermerlerin don etkisine dayanıklı olmaları istenmektedir. Don ve donma özelliği kayaçları yıpratır bir nedendir. Önceden kayacın gözeneklerine yerleşen su hacmini arttırarak donar. Bu da kayacın içerisinde basınç oluşmasına neden olur ve parçalanma olayı başlar. Don sonrası basınç dayanımını belirlemek için; numuneler değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutularak 0,1 gram hassasiyetle tartılır.

Daha sonra suya doygun hale getirilerek soğuk hava dolabına konur. -20 derece de 2 saat bekledikten sonra çıkarılır ve 20 °C ± 50 °C sıcaklıkta su bulunan kaba daldırılır. Buzların erimesi için en az iki saat beklenir. Eridikten sonra tekrar buzdolabına konulur ve bu işlem 25 kez tekrarlanır. Bu işlemler sonunda örnekler değişmez ağırlığa gelene kadar kurutulur ve 0,1 gram hassasiyetle tartılır. Araştırma bölgesinden (Şekil 21) alınan numunelerle yapılan deneyler sonucu 1,335 kg/cm² çıkan değer TS, 10449 standardına uygundur.

3.3.2.3. Aşınma Dayanımı

Aşınma dayanımı, mermerlerin yüzeyinde aşındırıcı maddeler ile oluşturulan aşınmaya karşı gösterdiği dirençtir. Aşınma dayanımının belirlenmesi için TS 699'a uygun 71 mm ebadında numuneler hazırlanmalıdır. Bu numuneler ilk olarak 105 °C'de kurutulup tartılır. Daha sonra tartım sonuçları kaydedilir. Bu işlem bittikten sonra numuneler yüzey aşındırma deneyine tabi

tutulur. Aşınma dayanımı $14,49 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}$ çıkan İnatlar kireçtaşı TS 1044 standartlarına göre hem doğal yapıtaşı hem de kaplama taşı olarak kullanılabilirliği kanıtlanmıştır.



Şekil 21. Araştırma bölgesinde diğer bir mermer ocağı görüntüsü

Çizelge 2. Bieniawski 1984'e göre kayaçların tanımlaması

Tanımlama	TEBD (Mpa)
Çok düşük dayanımlı	1-25
Düşük dayanımlı	25-50
Orta dayanımlı	50-100
Yüksek dayanımlı	100-250
Çok yüksek dayanımlı	>250

Çizelge 3. Süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli basma dayanımına ve arazi tanımlamalarına göre sınıflandırılması (ISRM, 1981)

Simge	Tanım	Saha Tanımlaması	Tek Eksenli Basma Dayanımı (Mpa)
R0	Aşırı derecede zayıf kayaç	Kayaçın yüzeyinde çentik ile tırmak oluşturulabilir.	0.25-1.10
R1	Çok zayıf kayaç	Jeolog çekiciyle sert bir darbeye uflanan kayaç, çakı ile doğranabilir.	1.0-5.0
R2	Zayıf kayaç	Kayaç, çakı ile güçlükle doğranır. Jeolog çekici ile yapılacak sert bir darbe kayaçın üzerinde iz bırakır.	5.0-25
R3	Orta derecede sağlam kayaç	Kayaç, çakı ile doğranamaz. Kayaç örneği, jeolog çekici ile yapılacak tek ve sert bir darbeye kırılabilir.	25-50
R4	Sağlam kayaç	Kayaç örneğinin kırılması için, jeolog çekici ile birden fazla darbenin uygulanması gerekir.	50-100
R5	Çok sağlam kayaç	Kayaç örneğinin kırılması için jeolog çekici ile çok sayıda darbe gerekir.	100-250
R6	Aşırı derecede sağlam kayaç	Kayaç örneği, jeolog çekici ile sadece yontulabilir.	> 250

3.4. İnatlar Kireçtaşının Kullanılabilirliği

3.4.1. Doğal Yapı Taşı Olarak Kullanımı

TS 2513' e göre doğal yapı taşı; petrografik ve teknolojik yönlerden yapılarda kullanılmaya elverişli olan, ya tek cins bir mineralin çok sayıda birleşmesinden yada çeşitli minerallerin bir araya gelmesinden, tabii olarak meydana gelen mineral topluluğudur. Yapılarda genellikle yüzeyleri düzleştirilerek parlatılmış doğaltaş ürünleri kullanılır. Yapıların düşey yüzeylerinde (iç-dış), taban döşemesinde, merdiven basamaklarında ve dekoratif amaçlarda gerçekleştirilen her türlü kaplamalarda kullanılan taşlar ticari alanda mermer adıyla anılır. Doğaltaş türleri bazı kireçtaşı örneklerinde olduğu gibi amorf, mermer, granit ve diğer kayaçlardaki gibi kristalin dokuludur. Malzemenin doğal yapı taşı olarak kullanılabilmesi için gerekli şartlar uygulanacağı projeye göre değişmekte olup Erken Kretase yaşlı İnatlar kireçtaşının, ağırlıkça su emme, birim hacim ağırlık ve tek eksenli basma dayanımı deney sonuçları Çizelge 4'de TS 2513'e göre değerlendirilmiştir ve TS 2513'te tek eksenli basma dayanımı, birim hacim ağırlık ve ağırlıkça su emme parametrelerinin standart değerlere uygun olduğu görülmüştür (Çizelge 6). Kayaçların doğal yapı taşı olarak kullanılabilmesi için standartlarda verilen bütün şartlara uygun olması gerekmektedir.

Çizelge 4. Doğal yapı taşları standardı (TS, 2513)

Deney Adı	Deney Sonucu	TS 2513'e göre	Malzeme Niteliği
Birim hacim ağırlık (gr/cm^3)	2,68	> 2,55	Uygun
Ağırlıkça Su emme (%)	0,2	< 1,8	Uygun
Tek eksenli basma dayanımı (kg/cm^2)	1,665	> 500	Uygun

3.4.2. Kaplama Taşı Olarak Kullanımı

Çalışma alanındaki Erken Kretase yaşlı İnatlar kireçtaşının kaplama taşı olarak kullanılabilmesi için TS 1910 standartlarına uygun olması gerekmektedir (Çizelge 5). Yapılan deneyler sonucu kireçtaşının bu şartları sağladığı görülmektedir.

Çizelge 5. Kaplama taşı kullanım standartları (TS, 1910)

Deney Adı	Deney Sonucu	Sınır Değer	Malzeme Niteliği
Birim hacim ağırlık (gr/cm ³)	2,68	> 2,55	Uygun
Ağırlıkça Su emme (%)	0,2	< 0,75	Uygun
Porozite (%)	0,5	< 2	Uygun
Tek eksenli basma dayanımı (kg/cm ²)	1,665	> 500	Uygun

3.4.3. Blok Verimi

Çok kalın – masif katmanlı İnatlar kireçtaşı halen işleyen ocaklara ilişkin fotoğrafta görüldüğü üzere düzenli oldukça yüksek blok verimini işaret etmektedir. Kırık ve koçuk gözenek alanları oldukça düşüktür.

Çizelge 6. Standartlar ile karşılaştırma (TS 10449, TS 1910, TS 2513, ISRM 1981)

STANDARTLAR VE ÖZELLİKLER	TS 10449	TS 1910	TS 2513	ISRM 1981	SONUÇLAR	MALZEME NİTELİĞİ
BİRİM HACİM AĞIRLIĞI g/cm ³		>2,55	>2,55		2,68	UYGUN
ÖZGÜL AĞIRLIĞI g/cm ³		>2,55	>2,55		2,70	UYGUN
POROZİTE %		<2			0,5	UYGUN
SU EMME %	<0,4	<0,75	<1,8		0,2	UYGUN
TEK EKSENLİ BASMA DAYANIMI Kg/cm ²	Döşeme >500 Kaplama >300	>500	>500	0,25-1,10 Aşın derece zayıf kayış >250 Aşın derece sağlam kayış	1,665 (163,28MPa)	UYGUN
DON SONRASI SERBEST BASINÇ DAYANIMI Kg/cm ²	>300				1,335	UYGUN
AŞINMA DİRENCİ cm ³ /50cm ²	Döşeme <15 Kaplama <25	<15	<15		14,49	UYGUN
ÇEKME DİRENCİ Kg/cm ²					744	UYGUN

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Bursa İli, Mustafakemalpaşa İlçesi Sincansarnıç Köyü civarı stratigrafik açıdan incelenmiş, bölgede yer alan İnatlar kireçtaşının blok verimi ile fiziksel, mekanik özellikleri ve

mermer olarak kullanılabilirliği ortaya koyulmuştur.

Bu çalışmada başlıca aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Çalışma alanında 3 adet kaya stratigrafi birimi ayırt edilmiş ve haritalanmıştır. Bu birimler sırasıyla Triyas yaşlı başlıca az metamorfik kumtaşıltaşı - kıltaşı aralanmasından oluşan Karakaya grubu, üzerine açılal diskordansla gelen Jurasik yaşlı kumtaşı ve marn aralanmalı Dağakça formasyonu ve onun üzerine gelen Erken Kretase yaşlı İnatlar kireçtaşıdır.

2. İnatlar kireçtaşına ait fiziksel özelliklerden Birim Hacim Ağırlık, Yoğunluk, Ağırlıkça Su Emme, Görünür Porozite, Özgül Ağırlık TSE standartlarında değerlendirilmiştir. Buna göre; TS 2513'e göre kayacın ağırlıkça su emmesi %1,8'den büyük olmamalıdır. Ortalama ağırlıkça su emmesi %0,2 olan İnatlar kireçtaşı TS 2513 standardına uygunluk göstermektedir; TS 1910'a göre gözeneklilik %2'yi geçmemelidir. İyi nitelikli mermerlerde %0,0002 ile %0,5 arasında olmalıdır.

İnatlar kireçtaşı %0,5 porozite değeriyle hem TS 1910 standardına uyduğunu hem de iyi nitelikli bir mermer olduğunu göstermektedir. Doğal yapı taşı ve kaplama taşı olarak kullanılabilmesi için özgül ağırlığın 2,55 g/cm³ ten küçük olmaması gerekmektedir. İnatlar kireçtaşı 2,70 g/cm³ yoğunluk değeriyle TSE standardına uyduğunu göstermektedir.

3. Mekanik özelliklerinden Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı 163,28 MPa belirlenmiş olup buna göre İnatlar kireçtaşı yüksek dayanımlı kayış grubuna girmektedir.

4. Jurasik-Erken Kretase yaşlı, homojen pembe-bej-gri renkli, kalın-masif katmanlı İnatlar kireçtaşı yüksek blok verimi yan sıra tüm fiziksel ve mekanik özellikleri ile kesilip parlatılarak veya parlatılmadan, yapı ve kaplama taşı olarak kullanılabilir niteliktedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu makale yazarın yüksek lisans tezinden üretilmiştir. Ayrıca makalenin son haline gelmesinde emeği geçen Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi editör ve hakemlerine teşekkürlerimizi sunarız.

6. KAYNAKLAR

1. Afşar, Ö.P., Yalçinkaya, S., 2001. M. Kemalpaşa (Bursa) ve Dolayının Jeolojisi. MTA Arşiv No: 517, Ankara.
2. Armağan, F., Çatal, E., Dökmeci, L., Ercan, T., Kavacıklı, Ö., Keskin, A., Keskin, E., Kırıl, K., Oral, A., Bozcan, A., Özer, S., Sirel E., Sümengen, M., Tekeli, O., 1973. Lâdik-Akdağmadeni Arası Temel Jeolojik Sorunları ve Muhtemel Çözümleri. Cumhuriyetin 50'nci Yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğ Özü, Ankara.
3. Bieniawski, Z.T., 1984. Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling. A.A. Balkema, Rotterdam, 9, 97-133.
4. Bingöl, E., 1968. Contribution à L'etude Geologique de la Partie Centrale et Sud- Est du Massif de Kazdağ (Turquie). These du Doctorat, Fac. Sci. Univ. Nancy, Fransa, 191.
5. Bingöl, E., 1971. Fiziksel Yaş Tayini Metotlarını Sınıflama Denemesi ve Rb-Sr ve K-A Metotlarının Kazdağ'da Bir Uygulaması. T.J.K. Bült., Ankara, XIV(1), 1-16.
6. Bingöl, E., 1975. 1:2 500 000 ölçekli Türkiye Metamorfizma Haritası ve Bazı Metamorfik Kuşakların Jeotektonik Evrimi Üzerinde Tartışmalar. M.T.A. Derg., no. 83, Ankara.
7. Bingöl, E., Akyürek, B., Korkmazer, B., 1973. Biga Yarımadasının Jeolojisi ve Karakaya Formasyonunun Bazı Özellikleri. Cumhuriyetin 50'nci yılı Yerbilimleri Kong. Tebliğleri, Ankara, 70.
8. ISRM., 1981. ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring. E.T. Brown(ed), Pergamon Press, London, 211.
9. Kaya, O., Özkoçak, O., Lisenbee, A., 1989. Jura Öncesi Bloklulu Tortul Kayaların Stratigrafisi, Bursa Güneyi). Maden Tetkik ve Arama Dergisi, Ankara, 109, 22-32.
10. Kaya, O., Özkoçak, O., Lisenbee, A., 1989. Stratigraphy of the Pre-Jurassic Olistostromal Sedimentary Rocks South of Bursa, NW Turkey, MTA Bull., 109(109), 15-24.
11. Selim, H.H., Tüysüz, O., Barka, A.A., 2006. Güney Marmara Bölümünün Neotektoniği, İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 151-160.
12. T.S.E., 1977. TS 1910 Kaplama Olarak Kullanılan Doğal Taşlar, Ankara. T.S.E., 1977. TS 2513 Doğal Yapı Taşları, Ankara.
13. T.S.E., 1987. TS 699 Doğal Yapı Taşları – Muayene ve Deney Metotları. Ankara.
14. T.S.E., 1992. TS 10449 Mermer – Kalsiyum Karbonata Esaslı – Yapı ve Kaplama Taşı Olarak Kullanılan, Ankara.
15. Uçaklı, B., 2006. Sincansarnıç (Bursa–Mustafakemalpaşa) Dolayının Arama Faaliyet Raporu ve Çevresinin Jeolojik Harita ve Kesitleri, Bursa (Yayınlanmamış).
16. Uz, B., Bacak, G., 2008. Beyceköy (Bilecik) Kireçtaşlarının Jeolojisi, Petrografisi ve Mermer Olarak Değerlendirilmesi. Türkiye VI. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu, Bildiriler, Afyon, 249-255.
17. Yılmaz, M., Koral, H., 2007. Yenişehir Havzasının (Bursa) Neotektonik Özellikleri ve Jeolojik Gelişimi, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi, İstanbul, 20(1), 21-32.

Düşük, Orta ve Yüksek Dayanım için Karar Ağacı Algoritmasıyla Beton Karışım Tasarımı

Coşkun PARİM^{*1} ORCID 0000-0002-6412-1325

Mehmet Şamil GÜNEŞ¹ ORCID 0000-0001-5842-5181

Hasan DİLBAS² ORCID 0000-0002-3780-8818

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, İstanbul

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Van

Geliş tarihi: 14.05.2022

Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: PARİM, C., GÜNEŞ, M.Ş., DİLBAS, H., (2022). Düşük, Orta ve Yüksek Dayanım için Karar Ağacı Algoritmasıyla Beton Karışım Tasarımı. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 951-958.

Öz

Bu makale çalışmasında, mineral katkılı (silis dumanı) ve katkısız betonların karışım tasarımı için karar ağacı algoritmasıyla karışım tasarımı parametreleri 470 adet betona ait 3760 veri derlenerek belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar üzerinde yorumlar ve irdelemeler yapılmıştır. Karar ağacı algoritması sonuçları incelendiğinde, beton karışımları üzerinde en etkili parametreler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, her bir basınç dayanımı aralığı için en önemli parametre çimento dozajıdır ve diğer parametreler önem derecesine bağlı olarak daha sonra gelmektedir. Diğer yandan, yüksek basınç dayanımları arzulanması durumunda, ince madde içeriğinin belirtilen değerlere yakın olarak seçilmesi gerekli olup ince agreganın boşluk doldurucu etkisi ve sonucu olarak kompakt beton oluşumu/yüksek basınç dayanımı elde edilmesi ilişkisini göstermektedir denilebilir. Ayrıca elde edilen analiz sonucu farklı dayanım aralıkları için hangi karışım içeriğinden hangi miktarlarda seçilmesi gerektiğine %75 doğrulukla bir çözüm getirilmektedir. Böylelikle, beton karışım tasarımı için geliştirilmiş ilgili standartlardaki (örneğin, TS 802) detaylardan bağımsız olarak hangi dayanım için hangi beton içeriğinin seçilebileceği önerisi literatür verisi ile desteklenerek sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Beton karışım tasarımı, Karar ağacı algoritması, Mineral katkı, Silis dumanı

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Coşkun PARİM, cparim@yildiz.edu.tr

Concrete Mixture Design with Decision Tree Algorithm for Low, Medium and High Strengths

Abstract

In this paper, the mixture design parameters for the mixture design of concretes with and without mineral additive (silica fume) were determined by compiling 3760 concrete data for 470 concrete series with the decision tree algorithm. Comments and analyzes were made on the results obtained. When the results of the decision tree algorithm were examined, the most effective parameters on the concrete mixtures were determined. Obtained results show that the most important parameter for each compressive strength range is cement dosage and other parameters come later depending on their importance. On the other hand, if high compressive strengths are desired, the fine matter content should be chosen close to the specified values, and it can be said that the gap-filling effect of the fine aggregate and the resultant compact concrete formation/high compressive strength relationship are shown. In addition, the result of the analysis obtained provides a solution with 75% accuracy to choose which mixture content and which amounts for different strength ranges. Thus, the suggestion that which concrete content can be selected for which strength, regardless of the details in the relevant standards developed for concrete mix design (for example, TS 802), is supported by the literature data.

Keywords: Concrete mix design, Decision tree algorithm, Mineral admixture, Silica fume

1. GİRİŞ

Beton karışım tasarımı, bilindiği üzere, genellikle ülkelerin beton karışım tasarımına yönelik olarak geliştirdikleri standartlarca tariflenmektedir. Söz konusu standartlarda, karışım tasarım adımları herhangi bir ilgili tarafından takip edilerek istenen hedef basınç dayanımı veya hedef kalıcılık parametresi (korozyon, karbonatlaşma, donma çözünme, vb.) için beton karışım tasarımı kolayca yapılabilmektedir [1–4]. Farklı araştırmacılarca oluşturulmuş beton karışım tasarımı yaklaşımları da ilgili literatürde birçok araştırmaya konu olmuştur [5–10]. İkili karışım yöntemi ve parçacık paketleme yöntemi bunlardan sadece bazılarıdır. Standartlarca belirtilen yaklaşımlar birçok makale çalışmasında kullanılmış ve bu yaklaşımların sonuçları güncel literatürün büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır.

Mevcut literatürdeki sonuçlar hassas şekilde incelendiğinde, betonların ayrıca mineral katkı, fiber katkı, kimyasal katkı gibi bazı bileşenleri de içerdikleri görülmektedir ki bu bileşenler betonları özelleştirip kullanımda bazı beton özelliklerini güçlendirmek maksatlı olarak kullanılmaktadır.

Örneğin, mineral katkıları betonda serbest halde bulunan kireci ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) bağlayarak ek etrenjit (kalsiyum-silika-hidrate diğer tabirle C-S-H jeli) oluşturmakta ve incelikleri sebebiyle boşlukları da tıkararak betonu daha kompakt yapıp daha geçirimsiz hale getirerek betonun hem dayanımını hem de dayanıklılığını artırmaktadır [11]. Bu noktada söz konusu etkilerin araştırıldığı ve sonuçların paylaşıldığı birçok çalışma ilgili literatürde bulunmaktadır. Adil ve arkadaşları tarafından yürütülen çalışmada 2903 adet mineral katkılı ve katkısız beton verisi derlenmiş ve oluşturulan bilgi bankası üzerinde çeşitli irdelemelerde bulunulmuştur [12]. Yapılan çalışmada, derlenen veri kümesi üzerinde yapay sinir ağları ile irdelemeler yapılmış ve yapay sinir ağı nöron sayısı-hidden layer optimizasyonu yapılarak yapay sinir ağı parametreleri optimizasyonu yapılmıştır. Çalışmada ana hedef kazanılacak zaman ve ekonomi üzerinedir.

İstatistikî yaklaşımlar incelendiğinde, karar ağacı yönteminin çeşitli karmaşık problemleri incelemede ve sonuca varmada iyi bir çözüm olduğu rapor edilmektedir [13,14]. Karar ağacı algoritması ayrıca incelenen değişkenlerin önem sırasına göre birinciden sonuncuya kadar karar

adımlarını sıralamakta ve adım adım hangi parametrelerin ne şekilde/oranda/miktarda seçileceği detaylarını da göstermektedir.

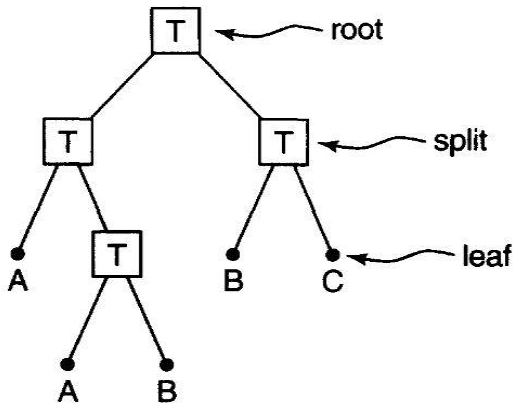
Bu makale çalışmasında, literatürde sonuçları rapor edilen makalelerin derlenmesiyle elde edilmiş mineral katkı (silis dumanlı) ve katkısız betonların karışım parametreleri ile basınç dayanım değerleri bilgi bankası kullanılarak basınç dayanım aralıklarına göre beton karışım tasarımı adımları karar ağacı yöntemiyle incelenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Karar Ağacı Yöntemi ve Kullanılan Veri Seti

Karar ağacı yöntemi, sınıflama ve karar alma süreçlerinde sıklıkla kullanılan bir tekniktir [15]. Bir karar ağacında karar düğümleri ve yaprak düğümleri olmak üzere iki tür düğüm vardır. Bu analiz yöntemi grafiği içerisinde yer alan her düğüm bir özneliği temsil eder ve karar ağacında yer alan her yaprak düğümü ise sınıflandırmayı gösterir. Kategorik veya numerik değişkenleri içerebilir.

Karar ağaçları yöntemi, doğrusal yöntemlerin iyi performans göstermediği durumlarda yaygın olarak kullanılan alternatif bir tekniktir. Bu yöntem çalışmada kullanılan etki değişkenlerinin önem derecesi hakkında bilgi verir ve karar alma mekanizmasını oluşturur [16].



Şekil 1. Karar ağacı örneği

Şekil 1'de her kutu (T), verileri art arda daha küçük gruplara özyinelemeli olarak bölen düğümdür. Her yaprak düğümündeki etiketler (A, B ve C), her gözleme atanan sınıf etiketini temsil eder [17]. Genel olarak karar ağaçları yöntemi, giriş verilerini ana etki özellikleri olarak kullanarak sınıflama işlemi yapar. Karar alma grafiği çıktısı oluştuktan sonra giriş ve hedef etki değişkenleri arasındaki ilişkiler daha iyi oluşturulabilir [18,19]. Bu makale çalışmasında, karar ağacı yöntemi literatürden elde edilen veri seti üzerinde uygulanarak, farklı dayanım aralıklarında bulunan silis dumanlı betonlar için karışım tasarım parametresi önerisi oluşturulmuştur. Dayanım aralıkları için Sojibi ve arkadaşları [20] tarafından belirtilen beton dayanım sınıflaması dikkate alınmıştır. Buna göre, 0-19 MPa aralığı düşük dayanım, 20-39 MPa aralığı normal dayanım, 40-69 MPa aralığı orta dayanım, 70-119 MPa aralığı yüksek dayanım ve 120-1000 MPa aralığı ultra-yüksek dayanım olarak tariflenmiştir.

Karar ağacı yöntemi giriş verileri, Adil ve arkadaşları [12] tarafından sunulan mineral katkı betonlara ait detaylara dayanmakta olup silis dumanı içeren betonlara ait detaylar bu makale çalışmasında incelenmiştir. Toplamda 470 adet betona ait 7 karışım parametresi (su içeriği (kg/m^3), çimento dozajı (kg/m^3), su/çimento oranı (%), silis dumanı içeriği (kg/m^3), hava içeriği (%), iri agrega/tüm hacim ve ince agrega/tüm hacim (%) ile basınç dayanımı (MPa) parametresi dikkate alınmış ve 3760 adet veri bu makale çalışmasında kullanılmıştır.

Bu makale çalışmasında dikkate alınan Karar ağacı analizi için R istatistiksel yazılımında 'Rpart' ve 'rpart.plot' fonksiyonları kullanılmış [21] ve karar ağacı analizinde basınç dayanımlarının aralığına göre her bir düğüm sırasıyla A: Orta (turuncu), B: Yüksek (sarı) ve C: Çok Yüksek (yeşil) olmak üzere üç orana sahiptir (Şekil 2). Elde edilen sonuçlarda her bir düğümde olasılık değeri hangi basınç dayanım aralığında yüksek ise, düğüm o renk ile renklendirilmektedir. Olasılıkların altındaki değerler ise o durum ile karşılaşılma yüzdesini göstermektedir. Karar ağacında düğüm altındaki koşul sağlanırsa, sol tarafa (evet),

sağlanmaz ise sağ tarafa (hayır) ilerlenir. Ayrıca, kök düğüm değişkenler arasında en baskın olanını göstermektedir. Silis dumanı katkılı beton örnekleme kullanılan bu çalışmada, verinin %70'i eğitim ve %30'u da test verisi olarak kullanılmıştır. Literatürde yapılan çalışmalar referans alınarak eğitim verisi %70, test verisi ise %30 olarak alınmıştır [22-24]

3. BULGULAR

Makale kapsamında 3760 adet beton verisi karar ağacı yöntemi ile analiz edilmiş ve Şekil 2'de belirtilen sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 2 ve Çizelge 1, silis dumanı katkılı betonların karışımlarında kullanılacak detayları adım adım göstermektedir. Şekil 2'de oluşan dallanma farklı beton dayanım aralığı değerleri için yöntem tarafından oluşturulmuş yapılarıdır. 470 adet betona ait 3760 adet parametreyi içeren örneklemin kullanıldığı bu çalışmada, silis dumanı içeren betonlara ait basınç dayanımının %75 oranında doğru sınıflandırılabilirdiği tespit edilmiştir.

Karar ağacında kök düğüme bakıldığında, kullanılan silis dumanlı veri setinde basınç dayanımlarının orta, yüksek ve çok yüksek olması olasılıklarının sırasıyla %24, %57 ve %19 olduğu görülmektedir. Beton karışımlarında, 440 kg/m³ altında çimento dozajı kullanılması durumunda basınç dayanımının %91 olasılıkla orta dayanım aralığında yer alacağı söylenebilir. Bu durumda, çok yüksek dayanım aralığında olma olasılığı neredeyse sıfırdır. Diğer bir yönden bakıldığında, çimento dozajı 440 kg/m³'ten az olduğunda diğer içeriklerin hiçbirinin basınç dayanımına etki edemediği görülmektedir. Elde edilen bu durum, basınç dayanımı için çimento içeriğinin önemini göstermektedir.

Sonuçlardan hareketle çimento içeriği 440 kg/m³'ün üzerindeyken, hava içeriği %3,7'nin üzerinde olduğunda çok yüksek basınç dayanımına sahip beton üretmek mümkün olmamaktadır. Teoride elde edilen bu durum, pratikte boşluk etkisinin basınç dayanımını azalttığına dair rapor veren çalışmalarla yakın sonuçlar vermiştir [11, 25-27]. Ayrıca, elde edilen analiz sonuçlarına göre, ince agrega/tüm agrega konsantrasyonu %13'ün

üzerinde iken %86 olasılıkla ve bu konsantrasyon %22'nin üzerinde iken %75 olasılıkla yüksek basınç dayanımına sahip beton elde edilebilmektedir.

İri agrega/tüm hacim oranı %38'den fazla olduğunda, çimento içeriği 586 kg/m³'ün üzerine çıkarılıp su içeriği 163 kg/m³'ün altına düşürülüp hava içeriği de %1,7-3,7 aralığında tutularak su-çimento oranı da 0,24'ten az olacak şekilde ayarlanırsa %61 olasılıkla çok yüksek basınç dayanımına (120-1000 MPa) sahip beton üretmenin mümkün olabileceği tespit edilmiştir. Burada çok yüksek basınç dayanımına (120-1000 MPa) sahip beton için, elde edilen veriler incelendiğinde, beton karışımında çimento içeriği 440 kg/m³'ten fazla hava içeriği %3,7'den az iri agrega/tüm hacim oranı %38'den az ve su içeriği de 179 kg/m³'ü geçmeyecek şekilde ayarlanması durumunda %45 olasılıkla yüksek ve aynı zamanda %52 olasılıkla da çok yüksek basınç dayanımına sahip beton elde etmek mümkün olabilmektedir. Bu karışımda %23'ü geçmeyecek şekilde ince agrega/tüm hacim oranı olması durumunda ise, betonun çok yüksek basınç dayanımına sahip olma olasılığı %52'den %79'a yükselmektedir. İnce agrega kullanımının, boşlukları doldurarak daha kompakt ve yüksek dayanımlara sahip beton elde edilmesinde kullanıldığı yapılan çalışmalarda belirtilmektedir [11,25-28] [11,28-31]. Eğer ince agrega/tüm hacim oranının %23'ü geçmesi durumunda ise su içeriği 141 kg/m³'ün altına düşürülerek yine %70 olasılıkla yüksek basınç dayanımına sahip beton tasarımı yapılabilmektedir.

3.1. Örnek Uygulama

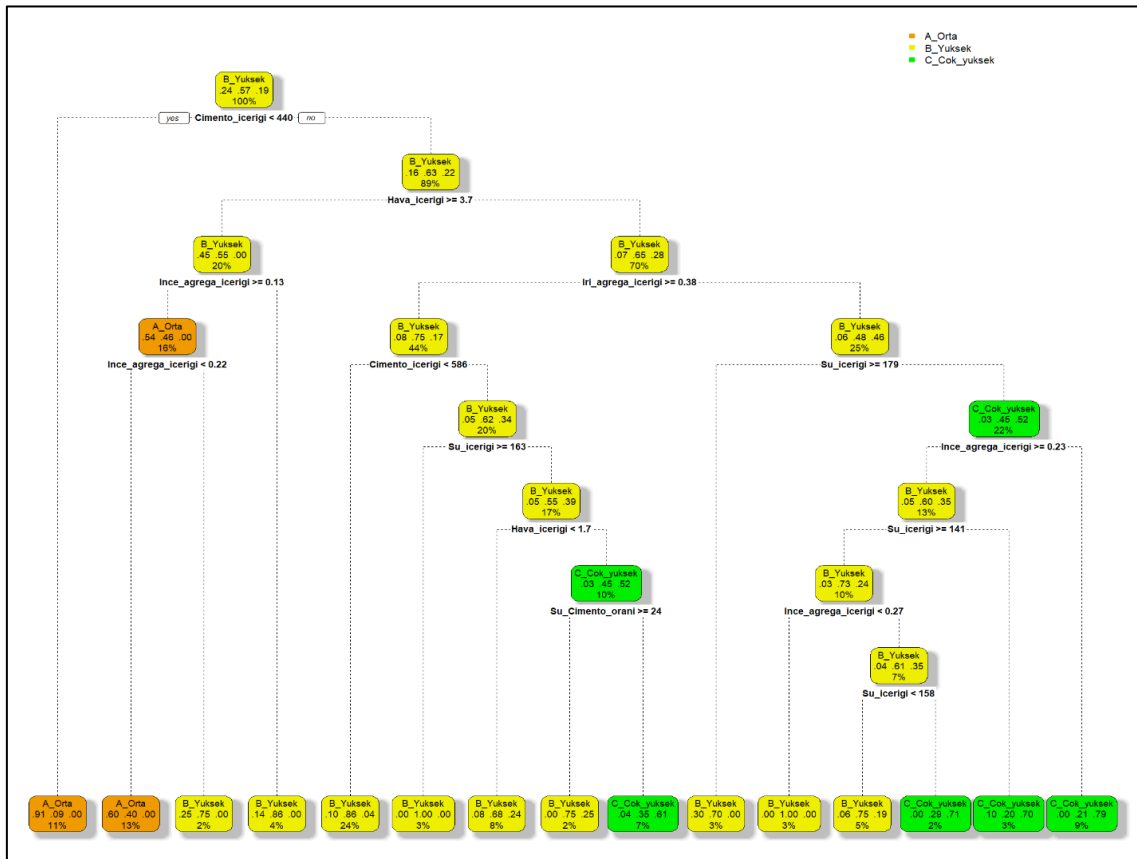
Literatürde yapılan silis dumanı içerikli bir çalışmada, çeşitli çimento dozajlarında, su/bağlayıcı oranlarında ve çeşitli dayanımlarda betonlar üretilmiştir [32]. Atış ve arkadaşları [32] çalışmasındaki parametreler ile Çizelge 1 karşılaştırıldığında; önerilen silis dumanı içerikli beton parametresi tasarım aralıklarının orta ve yüksek basınç dayanımı değerlerini sağladığı görülmüştür. Örneğin, SD-400-0,5-10 ve SD-450-0,3-20 için basınç dayanımı değerleri sırasıyla 62,3 MPa ve 101,0 MPa basınç dayanımı değerlerine sahiptir. Bu betonlardan SD-400-0,5-10 betonunda

çimento dozajı 400 kg, su/bağlayıcı oranı 0,5, hava içeriği %0,325, iri agrega/toplam hacim oranı 37,0 ve ince agrega/toplam hacim oranı 30'dur. Diğer yönden, SD-450-0,3-20 betonunda çimento dozajı 450 kg, su/bağlayıcı oranı 0,3, hava içeriği %1,83, iri agrega/toplam hacim oranı 37,1 ve ince agrega/toplam hacim oranı 30,1'dir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu makale çalışmasında, literatürden derlenen 3760 adet beton karışım parametresi (su/çimento oranı, su içeriği, çimento içeriği, mineral katkı içeriği, hava içeriği, iri ve ince agrega içerikleri) ve beton basınç dayanımı verisi kullanılmış, elde edilen sonuçlar üzerinde yorumlamalarda bulunulmuştur. Karar ağacı algoritması

sonuçlarına dayanarak bazı çıkarımlarda bulunulmuştur. Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, her bir basınç dayanımı aralığı için en önemli parametre çimento dozajıdır ve diğer parametreler önem derecesine bağlı olarak daha sonra gelmektedir. Diğer yönden, yüksek basınç dayanımları arzulanması durumunda, ince madde içeriğinin belirtilen değerlere yakın olarak seçilmesi gerekli olup ince agreganın boşluk doldurucu etkisi ve sonucu olarak kompakt beton oluşumu/yüksek basınç dayanımı elde edilmesi ilişkisini göstermektedir denilebilir. Ayrıca elde edilen analiz sonucu farklı dayanım aralıkları için hangi karışım içeriğinden hangi miktarlarda seçilmesi gerektiğine %75 doğrulukla bir çözüm getirmektedir.



Şekil 2. Silis dumanı içerikli betonların dayanım esaslı (orta dayanım (turuncu), yüksek dayanım (sarı) ve çok yüksek dayanım (yeşil)) tasarımı için Karar Ağacı Yöntemi sonuçları (dallanmalardaki kistalarda doğru ise sol, yanlış ise sağ tarafa devam edilmesi gerekir)

Çizelge 1. Silis dumanı içerikli betonların dayanım esaslı tasarımı için Karar Ağacı Yöntemi ile elde edilmiş karışım içeriği değer aralıkları ve önerilen değer aralıkları

KARAR AĞACI YÖNTEMİ SONUÇLARI								
Beton Dayanım Aralığı	Bağlayıcı, kg/m ³	Su, kg/m ³	Su/bağlayıcı oranı	İri agrega/toplam hacim	İnce agrega/toplam hacim	Hava, %		
Orta Dayanım (40-69 MPa)	X<440	-	-	-	-	-	-	
	X>440	-	-	-	0,13≤X<0,22	3,7≤X		
Yüksek Dayanım (70-119 MPa)	X>440	-	-	-	0,13<X	3,7<X		
		X≥179	-	-	0,13<X			
		179>X≥141	-	X<0,38	0,23≤X<0,27	X<3,7		
		-	-	0,23≤X<0,27				
	586>X>440	-	-	-	-	3,7<X		
	X>440	X≥163	-	-	X≥0,38	-		
		X<163	-	-	-	-		
		X<163	X≥0,24	-	-	-	X<3,7	
Çok Yüksek Dayanım (120-1000 MPa)	586>X>440	X<163	X<0,24	X≥0,38	-			
	X>440	179>X≥141	-	-	X≥0,23	X<3,7		
		-	-	X<0,38	-			
		X<179	-	-	-	X<0,23		
ÖNERİ								
Beton Dayanım Aralığı	Bağlayıcı, kg/m ³	Su, kg/m ³	Su/bağlayıcı oranı	İri agrega/toplam hacim	İnce agrega/toplam hacim	Hava, %	Silis dumanı, %	
Orta Dayanım (40-69 MPa)	300≤X≤440	150≤X≤190	0,35≤X≤0,50	0,15≤X≤0,40	0,10≤X≤35	X≤4	5≤X≤15	
Yüksek Dayanım (70-119 MPa)	440≤X≤550	110≤X≤190	0,25≤X≤0,35	0,10≤X≤0,35	0,15≤X≤35	X≤3	5≤X≤20	
Çok Yüksek Dayanım (120-1000 MPa)	440≤X≤550	110≤X≤130	X≤0,25	0,05≤X≤0,25	0,20≤X≤40	X≤2	10≤X≤20	
X, herhangi bir beton karışım parametresidir								

5. KAYNAKLAR

1. TS 802, 2016. Turkish Standards Institution, Design of Concrete Mixes, Ankara.
2. TS EN 206-1, 2019. Concrete- Specification, Performance, Production and Conformity, Ankara.
3. ACI, ACI-318M-05, 2004. Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, Farmington Hills, MI, USA.
4. SEAONC, 2013. Construction Quality Assurance Committee, Guidelines for Reviewing Concrete Mix Designs in Accordance with the 2010 CBC.
5. Li, N., Shi, C., Zhang, Z., Wang, H., Liu, Y., 2019. A Review on Mixture Design Methods for Geopolymer Concrete, Composites Part B: Engineering. 178, 107490.
6. Dave, S., Bhogayata, A., 2020. The Strength Oriented Mix Design for Geopolymer Concrete Using Taguchi Method and Indian Concrete Mix Design Code. Construction and Building Materials Mat. 262, 120853.
7. Omary, S., Ghorbel, E., Wardeh, G., Nguyen, MD., 2018. Mix Design and Recycled Aggregates Effects on the Concrete's Properties. International Journal of Civil Engineering, 16, 973–992.
8. Kupaei, RH., Alengaram, UJ., Bin Jumaat, MZ., Nikraz, H., 2013. Mix Design for Fly Ash Based Oil Palm Shell Geopolymer Lightweight Concrete. Construction and Building Materials, 43 490–496.
9. Junaid, M., Kayali, O., Khennane, A., Black, J., 2015. A Mix Design Procedure for Low Calcium Alkali Activated Fly Ash-Based

- Concretes. *Construction and Building Materials*, 79, 301–310.
10. Wardeh, G., Ghorbel, E., Gomart, H., 2015. Mix Design and Properties Of Recycled Aggregate Concretes: Applicability of Eurocode 2. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 9, 1–20.
 11. Erdoğan, T., 2007. *Beton*. METU Press, Ankara, 741.
 12. Adil, M., Ullah, R., Noor, S., Gohar, N., 2020. Effect of Number of Neurons and Layers in an Artificial Neural Network for Generalized Concrete Mix Design. *Neural Computing and Applications*, 1-9.
 13. Nowozin, S., Rother, C., Bagon, S., Sharp, T., Bangpeng Y., Kohli, P., 2011. Decision Tree Fields. 2011 International Conference on Computer Vision, IEEE, 1668–1675.
 14. Myles, AJ., Feudale, RN., Liu, Y., Woody, NA., Brown, S., 2004. An Introduction to Decision Tree Modeling. *Journal of Chemometrics*, 18, 275–285.
 15. Kumar, R., Verma, R., 2021. Classification Algorithms for Data Mining: A Survey. *Journal of Innovations in Engineering and Technology*, 1, 7–14.
 16. Güçlüer, K., Özbeyaz, A., Göymen, S., Günaydın, O., 2021. A Comparative Investigation Using Machine Learning Methods for Concrete Compressive Strength Estimation. *Materials Today Communications*, 27, 102278.
 17. Friedl, M., Brodley, C., 1997. Decision Tree Classification of Land Cover From Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment*, 61, 399–409.
 18. Rokach, L., Maimon, O., 2005. *Decision Trees, Data Mining and Knowledge Discovery Handbook*, Springer-Verlag. New York, 165–192.
 19. Karbassi, A., Mohebi, B., Rezaee, S., Lestuzzi, P., 2014. Damage Prediction for Regular Reinforced Concrete Buildings Using the Decision Tree Algorithm. *Computers and Structures*, 130, 46–56.
 20. Sojobi, A., Aladegboye, O., Awolusi, T., 2018. Green Interlocking Paving Units. *Construction and Building Materials*, 173, 600–614.
 21. Milborrow, S., 2017. R Part. Plot: Plot' rpart' Models: An Enhanced Version of 'plot.rpart'. R Package Version 2.1.2.
 22. Joseph, VR., 2022. Optimal Ratio for Data Splitting. *Statistical Analysis and Data Mining: The ASA Data Science Journal*, 15, 531-538.
 23. Gholamy, A., Kreinovich, V., Kosheleva, O., 2018. Why 70/30 Or 80/20 Relation between Training and Testing Sets: A Pedagogical Explanation. Technical Report: UTEP-CS-18-09.
 24. Al-Haidari, H., Al-Haydari, IS., 2022. Artificial Intelligence-based Compressive Strength Prediction of Medium to High Strength Concrete. *Iranian Journal of Science and Technology. Transactions of Civil Engineering*, 46(2), 951-964.
 25. Dilbas, H., Çakır, Ö., 2021. Physical and Mechanical Properties of Treated Recycled Aggregate Concretes: Combination of Mechanical Treatment and Silica Fume. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 33, 04021096.
 26. Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., 2010. *Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık Durabilite*. THBB, 318.
 27. Çakır, Ö., Dilbas, H., 2021. Durability Properties of Treated Recycled Aggregate Concrete: Effect of Optimized Ball Mill Method. *Construction and Building Materials*, 268, 121776.
 28. Ren, M., Wen, X., Gao, X., Liu, Y., 2021. Thermal and Mechanical Properties of Ultra-High Performance Concrete Incorporated with Microencapsulated Phase Change Material. *Construction and Building Materials*, 273, 121714.
 29. Liu, Y., Zhang, Z., Shi, C., Zhu, C., Li, N., Deng, N., 2020. Development of Ultra-High Performance Geopolymer Concrete (UHPCG): Influence of Steel Fiber on Mechanical Properties. *Cement and Concrete Composites*, 112, 103670.
 30. Arunothayan, AR., Nematollahi, B., Ranade, R., Bong, Sh., Sanjayan, J., 2020. Development of 3D-printable Ultra-High Performance Fiber-Reinforced Concrete for

- Digital Construction. Construction and Building Materials, 257, 119546.
31. Jiao, Y., Zhang, Y., Guo, M., Zhang, L., Ning, H., Liu, S., 2020. Mechanical and Fracture Properties of Ultra-High Performance Concrete (UHPC) Containing Waste Glass Sand as Partial Replacement Material. Journal Of Cleaner Production, 277, 123501.
 32. Atış, C., Özcan, F., Karahan, O., Bilim, C., Sevim, U., Demir, A., 2004. Silis Dumanı Kullanımının Beton Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi. Türkiye Mühendislik Haberleri, 426, 54-59.

Anhidrit III Katkısının Çimento Esaslı Harcın Performansına Etkisi

Lütfullah GÜNDÜZ¹ ORCID 0000-0003-2487-467X

Şevket Onur KALKAN^{*1} ORCID 0000-0003-0250-8134

¹İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
Bölümü, İzmir

Geliş tarihi: 26.04.2022

Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: GÜNDÜZ, L., KALKAN, Ş.O., (2022). Anhidrit III Katkısının Çimento Esaslı Harcın Performansına Etkisi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 959-972.

Öz

Yapı alçılarının (kalsiyum sülfat hemihidrat) hızlı sertleşme, düşük maliyet, çevre dostu olma gibi birçok avantajı olmasına rağmen, düşük basınç dayanımı, suya karşı direncinin ve dayanıklılığının nispeten düşük olması sebebi kullanım alanları sınırlanabilmektedir. Bu çalışmada, hemihidrat alçıya oranla fiziksel ve mekanik özellikleri nispeten daha iyi olan anhidrit III üretilmiştir. Çalışma kapsamında, anhidrit III çimento ile birlikte kullanılarak üretilen kompozitlerin verimliliğinin artırılması hedeflenmiştir. Anhidrit III harç bileşimlerinde 0-90 µm, 0-125 µm ve 0-250 µm olmak üzere 3 ayrı boyutta değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, 17 ayrı seri harç üretilmiş, bu serilerde anhidrit III ağırlıkça %1,6'dan %64,8'e kadar kırma kum ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, test örneklerinde Anhidrit III miktarı arttıkça genel bir eğilim olarak birim hacim kütle değeri azalmıştır. Anhidrit III harçlarda kullanıldığı tane boyutuna da bağlı olmak üzere ortalama %29,4-39,5 aralığında kum ile yer değiştirme oranına kadar harcın basınç dayanımını artırmıştır. Bu oranlardan daha yüksek kullanım oranlarında ise basınç dayanımı azalmaya başlamıştır. 0-90 µm, 0-125 µm ve 0-250 µm Anhidrit III tane boyutu değişimine karşın harcın mukavemet değerlerinde yaklaşık $CaSO_4/(SiO_2+CaO) \approx 0,68, 0,68$ ve $1,05$ oran değerine kadar dayanım artışları, bu oran üzerinde değerlerde ise dayanım düşüşü olduğu gözlemlenmiştir. Harç tasarımlarında artan Anhidrit III oranı, sertleşmiş harcın matris yapısında gözenek oluşturmuştur. Matris yapıda gözeneklilik olgusu arttıkça ultrasonik dalga hızı değeri de düşmüştür.

Anahtar Kelimeler: Anhidrit III, Çimentolu harç, Tane Boyutu, Dayanım, Ultrasonik dalga hızı

The Effect of Anhydrite III Additive on the Performance of Cement Based Mortar

Abstract

Although building gypsums (calcium sulfate hemihydrate) are fast hardening, cheap and environmentally friendly materials, their usage areas are limited due to low compressive strength, poor water resistance and low durability properties of them. In this study, anhydrite III, which has relatively better physical and mechanical properties compared to hemihydrate gypsum, was produced. Within the scope of the study, it is aimed to increase the efficiency of the composites produced by using anhydrite III and cement together.

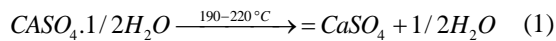
*Sorumlu yazar (Corresponding author): Şevket Onur KALKAN, sevketonur.kalkan@ikcu.edu.tr

Anhydrite III has been evaluated in three different particle sizes as 0-90 µm, 0-125 µm and 0-250 µm in mortar compositions. In this study, 17 different series of mortars were produced, and in these series, anhydrite 3 was used by replacing with crushed sand from 1.6 % to 64.8 % by weight. According to the results, as the amount of Anhydrite III increased, the unit volume mass value decreased. Depending on the grain size of Anhydrite III, it increased the compressive strength of the mortar up to the replacement levels of 29.4-39.5%. At higher usage rates, the compressive strength started to decrease. With the 0-90 µm, 0-125 µm and 0-250 µm Anhydrite III grain size changes, the strength values of the mortar increase up to approximately $CaSO_4/(SiO_2+CaO) \approx 0.68$, 0.68 and 1.05 ratio values, and the strength decrease at values above this ratio formation has been observed. As the porosity phenomenon in the matrix structure increased, the ultrasonic pulse velocity value also decreased.

Keywords: Anhydrite III, Cementitious mortar, Grain size, Strength, Ultrasonic pulse velocity

1. GİRİŞ

Doğal alçı taşı $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ kimyasal formülüne sahip kalsiyum sülfat dehidrattan oluşan yumuşak bir sülfat mineralidir [1-3]. Doğal alçı taşı saf olduğu durumda bileşiminde ağırlıkça yaklaşık %20,93 oranında kristal su ve %79,07 oranında $CaSO_4$ bulunur. Alçı taşının doğal nemi, 45 °C'lik bir sıcaklıkta ısıtılmayla bünyesinden atılabilir. Ancak bu sıcaklıkta kristal suyun bünyeden atılımı gerçekleşmez. Bunun için saf alçının bünyesindeki iki molekül suyun genellikle bir ısıtma işlemi bünyeden uzaklaştırılması sağlanır. Kristal suyun bünyeden uzaklaştırılmasına “dehidrasyon” denilmektedir [1,3-5]. Alçı taşı 190-220 °C aralığında ısıtıldığında ise özgül ağırlığı 2,3'den 2,95 gr/cm³'e yükselerek genellikle bünyesindeki kristal suyunun tamamını kaybeder ve ağırlığı %20,93 oranında azalır. Bu olgu Eşitlik 1'de belirtilen kimyasal reaksiyonla gerçekleşir [1,4].



Bu reaksiyon sonucu kristal suyunun tamamının ayrıştırılmasıyla oluşan kalsiyum sülfat, yapısal özelliğine göre bazen $CaSO_4 \cdot \epsilon H_2O$ formunda veya $CaSO_4$ III formunda olabilir. Bu ürüne genellikle *susuz alçı*, *çözünür heksagonal anhidrit* veya *Anhidrit III* gibi isimlerle adlandırılabilir [4]. Alçı taşının ısıtılma sonucu bu yeni ürünü suya karşı daha duyarlı formda olup, bu bağlamda gerekli önlemler alınarak uygulandığında yüksek mukavemet oluşturan alçı harcı uygulamalarında veya alçı ürünlerin geliştirilmesinde kullanılabilir. Ayrıca ince boyutlarda

öğütülerek sınıflandırılmış mikronize boyutlardaki Anhidrit III, çimento esaslı beton veya harç tasarımlarında katkı malzemesi olarak belirli kullanım oranlarına kadar uygulandığı örnekler görülebilmektedir [6].

Çimento esaslı harç ürünlerinde çimentonun hidrasyonu sırasında etrenjit oluşum miktarında artışa neden olan çeşitli katkı maddelerinin kullanımına yönelik son yıllarda farklı uygulama ve teknolojilerin geliştirilebildiği görülmektedir. Bunların çoğunlukla kalsiyum alüminatlar olduğu görülmektedir. Çimento hidrasyonunda alüminat iyonlarının yanı sıra sülfat iyonları da etrenjit oluşumunu sağlayan gerekli bileşenlerdendir. Bu amaçla en sık kullanılan katkı maddesi ise anhidrit olarak görülebilmektedir [7].

Etrenjit, normalde Portland çimentosunun hidrasyonu sonucu betonun matris yapısında bulunan kalsiyum sülfat alüminatın ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$) mineral adıdır [8]. Alçı taşı gibi kalsiyum sülfat kaynakları, erken hidrasyon reaksiyonlarını düzenleyerek flaş sertleşmeyi önlemek, harcın mukavemet gelişimini iyileştirmek ve kuruma büzülmesini azaltmak amacıyla Portland çimentosuna ilave edilir. Sülfat ve alüminat varlığı ayrıca karışımdaki çimento hariç diğer bileşen malzemelerde de bulunabilir. Karışımdaki bu sülfat ve alüminat varlığı, diğer sülfat bileşikleriyle birlikte suyla karıştırıldıktan sonraki ilk birkaç saatlik zaman dilimi içerisinde çimentodaki kalsiyum alüminat ile etrenjit minerallerini oluşturmak üzere reaksiyona girer [8]. Harçtaki bağlayıcı malzemelerde bulunan sülfatın çoğu normalde erken yaşlarda etrenjit

oluşturmak için tüketilir. Bu bağlamda taze ve plastik betonda etrenjit oluşumu, sertleşmeyi kontrol eden mekanizma olarak görülebilmektedir. Etrenjit, çimento esaslı harçlarda erken mukavemet oluşumu açısından Portland çimentosu hamurdaki önemli mineral bileşenlerdendir [8]. Oluşan etrenjitin kalıcı bir form kazanması durumunda harcın mukavemet değerini de arttırdığı çoğu beton ve harç araştırmalarında tecrübe edinilmiştir [9-13].

Bu makalede Aksaray bölgesinde rezervleri bulunan alçıtaşı ocaklarından piyasa koşullarında doğal kayaç olarak tedarik edilen alçıtaşının 200 °C'lik bir ısıtma işlemiyle dehidratasyonu ve kalsinasyonu sonucu oluşturulmuş Anhidrit III ürününün üç farklı tane boyutunda katkı materyali olarak kullanıldığı çimento esaslı bir dizi harç tasarımlarının deneysel analizlerine ait bulgular özetle tartışılmıştır. Anhidrit III malzemenin çimento esaslı harç kombinasyonunda diğer agrega bileşeni kırmataş kumuyla yer değiştirmeli olarak kullanımında, harcın fiziksel ve mekanik bazı özelliklerine olan etkisi karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgulardan çimento bağlayıcı sistemli bir harç tasarımında, optimum Anhidrit III kullanım oranının belirlenmesi ve ayrıca Anhidrit malzemenin değişken tane boyutunun harç performansına olan etkisi özetle tartışılmıştır. Konu üzerine daha detaylı araştırma yapacak araştırmacılara teknik bir görüş ve yaklaşımlar sunulması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Test Örneklerinde Kullanılan Malzemeler

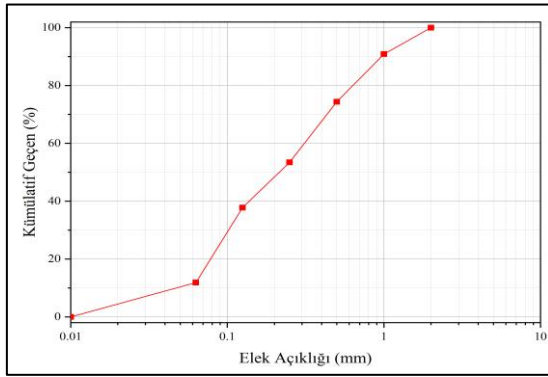
Anhidrit III katkılı çimento esaslı harç (AKH) örneklerinin hazırlanması amacıyla başlıca dört farklı malzeme tüm karışım kombinasyonlarında kullanılmıştır: Portland çimentosu (PÇ), Anhidrit III (AIII), kireçtaşıdan elde edilen kırmataş kumu (KK) ve harmanlanmış polimer katkı (PO) materyali. Bu malzemelerden çimento ana bağlayıcı materyal olarak kullanılmış olup, Anhidrit III ve kırmataş kumu ise agrega materyali olarak değerlendirilmiştir. Harmanlanmış polimer katkı ise harç kıvamını ayarlayıcı, akışkanlaştırıcı

ve kohezyon artırıcı katkı materyalleri olarak kullanılmıştır.

Aksaray bölgesinde rezervleri bulunan alçıtaşı ocaklarından piyasa koşullarında doğal kayaç olarak tedarik edilen alçıtaşı, laboratuvar ortamında birincil bir kırıcıda kırılıp, 1 mm kare göz açıklıklı bir elekten elenmiştir. Alçıtaşı, 0-1 mm boyutunda sınıflandırılarak, 200 °C sıcaklıktaki bir fırın ortamında 15 dakika süreyle dehidratasyon ve kalsinasyon işlemine tabi tutulmuştur. Anhidrit III olarak kabul edilen malzemelerin suya karşı son derece duyarlı oldukları ve ısıtma işlemi sonrası havanın içerisindeki nemle reaksiyona girerek özelliğini kaybetmesi çoğu çalışmalarda genel olarak tecrübe edilmiş bir durumdur. Bu bağlamda, uygulanan ısıtma işlemi sonucu fırın çıkışındaki malzeme bekletmeksizin laboratuvar ortamında nem sızdırmaz bir desikatör içerisine alınarak havadan nem alması engellenerek ortalama 48 saat süreyle soğumaya ve dinlenmeye bırakılmıştır. Sonrasında yapılan kontrollerde ısıtma işlemi sürecinde kaybettiği nem tekrar geri kazanmadığı belirlenmiştir. Isıtma işlemi öncesi ve sonrasında alçıtaşı örneğinin ağırlıkları ölçülmüştür. 200 °C dehidratasyon ve kalsinasyon işlemiyle alçıtaşı örneğinin ortalama %20,60 oranında ağırlığının azaldığı ve bununla birlikte ortalama %98,3 oranında kristal suyunu kaybettiği tespit edilmiştir. Bulunan bu değerler literatürde özellikle anhidrit alçı oluşumu için öngörülen ağırlık azalması oranına (%20,90) ve kristal suyu kaybı oranına (%100) yakınsak değerdedir [1,4,14]. Doğal haliyle alçı taşı ocağından temin edilen örneklerin tamamıyla saf bir doğal alçı taşı karakteristiği sergilemesinin söz konusu olmayacağı dikkate alındığında 200 °C'de ısıtma işlemi tabi tutulmuş örneklerin kristal suyunu tümüyle kaybettiği kabul edilmiş olup, dehidratasyon ve kalsinasyon sonucu elde edilen bu ürün çalışma kapsamında Anhidrit III olarak değerlendirilmiştir. Sonrasında 1 mm boyut altındaki Anhidrit III malzeme öğütülerek maksimum tane boyutu 90 µm, 125 µm ve 250 µm olacak şekilde 3 ayrı boyutta (0-90 µm, 0-125 µm ve 0-250 µm) sınıflandırılmıştır. 0-90 µm, 0-125 µm ve 0-250 µm Anhidrit III malzemelerin ortalama birim hacim kütleleri sırasıyla 2574, 2541 ve 2522 kg/m³'tür. Bu üç ayrı boyuttaki örnekler,

ayrı ayrı tüm harç tasarımlarında Anhidrit III olarak karışımlara ilave edilmiştir.

AKH test örneklerinin karışımlarında maksimum tane boyutu 2 mm olan ve kireçtaşından elde edilen kırmataş kumu agrega olarak kullanılmıştır. Kırmataş kumunun kuru birim hacim kütlesi ortalama 2610 kg/m^3 olup, doygun birim hacim kütlesi ise 2684 kg/m^3 'tür. Su emme değeri ortalama %3,2 olup, tane şekli ise çoğunlukla yuvarlak taneler şeklindedir. Çalışma kapsamında kullanılan kumun elek analizi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Kum elek analizi

Çimento ve alçı esaslı malzemelerde karışım suyunu azaltan ve yüksek akışkanlık özelliği kazandıran, düşük sıcaklıklarda da kullanıma uygun, toz formda melamin esaslı bir süper akışkanlaştırıcı, harç kıvamının dengelenmesi amacıyla karışımlara ilave edilmiştir. Klor iyonu içermeyen toz süper akışkanlaştırıcı katkının pH değeri (%30'luk çözeltide) ortalama 8,5-9,5, özgül ağırlığı ortalama $0,55 \text{ g/cm}^3$ olup, ASTM C 494 standardına uygun "Type G" türü bir katkı malzemesidir [15]. AKH test örneklerinin hazırlanmasında CEM I 42,5R Portland Çimento (özgül ağırlık değeri $3,15 \text{ g/cm}^3$) kullanılmış olup, harç karışımlarının elde edilmesinde karma suyu olarak normal şebeke suyu kullanılmıştır. Bununla birlikte, Anhidrit III katkılı harç karışımlarında harcın rötre oluşumunu minimize edici, harca mukavemet ve bağ kuvvetini artırmak amacıyla ticari piyasa koşullarından temin edilmiş toz formda 2 farklı kimyasal polimer katkı, melamin esaslı süper akışkanlaştırıcı ile birlikte

harmanlanarak tek bir karışım olarak kullanılmıştır. Çalışma kapsamında uygulanan karışımlarda kullanılan çimento, kum, anhidrit ve harmanlanmış polimer katkının oksit bileşenleri XRF yöntemi ile tespit edilmiş olup, Anhidrit III malzemenin CaSO_4 oranı da belirlenerek ortalama değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Çimento, kum anhidrit ve harmanlanmış polimer katkının bazı kimyasal bileşenleri (ağırlıkça %)

Bileşen	Çimento	Kum	Anhidrit	Polimer Katkı
SiO_2	19,12	0,22	0,36	0,07
Al_2O_3	4,75	0,15	-	-
Fe_2O_3	3,53	0,01	-	-
CaO	64,7	55,17	0,55	14,9
Na_2O	0,21	0,01	-	8,99
K_2O	0,88	0,01	-	5,78
MgO	0,94	0,52	-	0,13
K.K.	5,21	43,61	0,01	68,71
CaSO_4	-	-	98,9	-

2.2. Karışım Tasarımı ve Örnek Hazırlama

Çimento esaslı harç tasarımlarında Anhidrit III katkı kullanımının harcın performansına etkisinin analizi amacıyla 17 ayrı karışım tasarımı yapılmış olup, karışım oranları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Harç karışım kombinasyonları (ağırlıkça %)

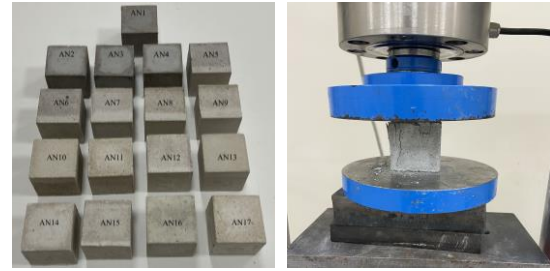
Karışım	PÇ	AIII	KK	PO
AN1	16,3	1,6	78,9	3,2
AN2	16,3	3,4	77,1	3,2
AN3	16,3	6,8	73,7	3,2
AN4	16,3	11,2	69,3	3,2
AN5	16,3	14,7	65,8	3,2
AN6	16,3	20,3	60,2	3,2
AN7	16,3	25,8	54,7	3,2
AN8	16,3	29,4	51,1	3,2
AN9	16,3	33,6	46,9	3,2
AN10	16,3	39,5	41,0	3,2
AN11	16,3	44,6	35,9	3,2
AN12	16,3	48,3	32,2	3,2
AN13	16,3	51,2	29,3	3,2
AN14	16,3	54,7	25,8	3,2
AN15	16,3	58,5	22,0	3,2
AN16	16,3	61,3	19,2	3,2
AN17	16,3	64,8	15,7	3,2

Anhidrit III katkısının çimento esaslı harç tasarımlarında agrega olarak kullanımındaki etkinliği ve performansını analiz etmek amacıyla Anhidrit III ile kırmataş kumu ağırlıkça oranlarda yer değiştirmeli olarak kullanılmıştır. Tasarlanan ilk harç karışımında Anhidrit III miktarı ağırlıkça %1,6 oranı ile karışımlardaki en düşük miktar olarak (AN1) irdelenmiş olup, sonraki 16 karışımda Anhidrit III %64,8 oranına (AN17) kadar artırılarak kullanılmıştır. Tüm karışımlarda çimento miktarı ağırlıkça %16,3 sabit oranda kullanılmıştır. Benzer şekilde harmanlanmış polimer katkı materyali de (%0,4'ü akışkanlaştırıcı, %1,2'si rötre oluşumunu minimize edici, %1,6'sı mukavemet ve bağ kuvvetini artırıcı polimer katkı olmak üzere) ağırlıkça %3,2 sabit oranda kullanılmıştır.

Karışımlarda kullanılan Anhidrit III malzeme, karışımların yapılacağı zamana kadar nemden korunaklı muhafazalı bir kap içerisinde kuru durumda tutulmuştur. Genel bir eğilim olarak kuru formda Anhidrit III malzeme su ile karıştırılınca hızlı şekilde priz alıp topaklanma yapma olasılığı oldukça yüksektir. Harçtaki bu topaklar arası bağ oldukça zayıf olduğu için numunenin basınç dayanımını düşürücü olumsuz bir etki sergileyecektir. Bu bakımdan, kuru durumdaki Anhidrit III malzemenin taze harç karışımı sırasında olası bu dezavantaj oluşturabilecek özelliğini giderici bir ortamın ve/veya karışımın tasarlanması kaçınılmaz olmaktadır. Bu bağlamda, karışıma ilave edilen polimer katkıların harcın teknik performansına olumlu etkilerinin yanı sıra Anhidrit III malzemenin olası hızlı priz almasını da engelleyerek topaklanmaları önleyici bir etki sergilemesi önem kazanmaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan gerek akışkanlaştırıcı katkının ve gerekse diğer polimer katkıların aynı zamanda bu işlev için de son derece önemli katkı sağladığı, prizi geciktirerek ve topaklanma oluşmaksızın işlenebilir düzeyde Anhidrit III katkılı yaş harç formlarının elde edilebildiği görülmüştür. Analizler için tasarlanmış karışım oranlarındaki çimento dahil tüm toz formdaki malzemeler öncelikle kuru formda bir kap içerisinde harmanlanarak homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Daha sonra bu

harmanlanmış tüm toz karışımlara sabit su/çimento oranı (W/C) 0,70 olacak şekilde karma suyu ilave edilmiştir.

Hazırlanan harç karışımları belirlenen su/çimento oranındaki karma suyu ile ortalama 600 dev/dk'lık bir karıştırıcıyla öncelikle 5 dakika boyunca topaklanma olmaksızın homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Elde edilen taze harç yaklaşık 2 dakika dinlendirildikten sonra önceden yağlanarak hazırlanmış 50x50x50 mm³'lük küp kalıplara vibrasyon yapılarak yerleştirilmiştir. Dökümü yapılan test örneklerinin yüzeyleri ilk 24 saat boyunca su, güneş, rüzgâr ve dondan korunmuştur. Ayrıca özel maddeler ile hızlı buharlaştırma gibi benzeri herhangi bir uygulama yapılmamıştır. Küp numuneler Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 0-90 µm anhidrit III katkılı numune örnekleri

Test örnekleri dökümden 1 gün sonra kalıplardan çıkartılmış ve termostatlı bir kür havuzunda test tarihine kadar 20 ± 2 °C sıcaklıktaki su içerisinde kür işlemi uygulanmıştır. Teste tabi tutulacak tüm örnekler, kür havuzundan çıkartılarak kuru bir bez havlu ile yüzeyleri kurularak, yüzey kuru doygun halde birim hacim kütle, dayanım ve ultrasonik dalga hızı testlerine tabi tutulmuştur. Farklı tane boyutlu Anhidrit III katkılı olarak hazırlanan karışımlardaki her bir seride 12'şer adet test numunesi dökümü yapılmış olup, tüm çalışmada toplam 612 adet numune kullanılmıştır. Döküm işleminden itibaren 28 gün kür sonrasında basınç dayanım testleri için her bir seride 10'ar adet örneğin öncelikle birim hacim kütle ve ultrasonik dalga hızı ölçümleri ultrasonik dalga hızı test cihazı (Matest C369N) yardımıyla, 55 kHz probalar ile, ASTM C 597 [16] ve TS EN 12504-4 [17] standartlarına göre yapılmıştır. Bu

örnekler sonrasında 20 ton basma kapasiteli otomatik servo kontrollü bir çimento basma-çekme-eğilme test cihazında kırma işlemi 50x50x50 mm³lük küp numuneler üzerinde ASTM C109 [18] standardına göre gerçekleştirilmiştir. Deneysel analizlerde elde edilen tüm bulguların veri kümeleri oluşturularak, her bir test türü ve veri kümesine ait standart sapmaları belirlenmiş, bu veri kümesine ait aritmetik ortama değeri standart sapma değeriyle düzelterek ortalama test bulgusu olarak bu çalışmada değerlendirilmiştir. Ayrıca her bir karışıma ait 2'şer adet örnek ise yapısal ve gözlemsel incelemeler için değerlendirilmiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Birim Hacim Kütle

Farklı tane boyutlarındaki Anhidrit III ile hazırlanan sertleşmiş AKH test örneklerinin 28 gün kür sonrası kuru yüzey doygun birim hacim kütle değerleri Çizelge 3'te verilmiştir.

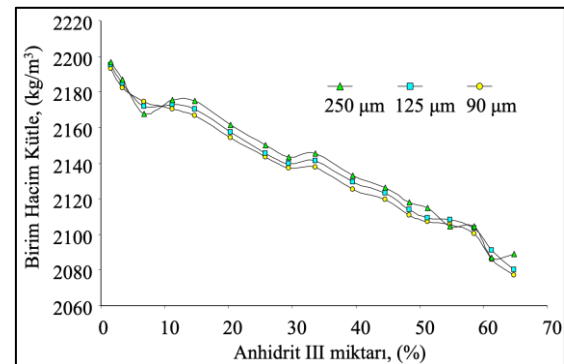
Çizelge 3. Sertleşmiş harç birim hacim kütle analizi (kg/m³)

Karışım	Anhidrit III katkı boyutu		
	90 µm	125 µm	250 µm
AN1	2193	2195	2197
AN2	2182	2185	2187
AN3	2175	2172	2168
AN4	2170	2173	2176
AN5	2167	2170	2175
AN6	2154	2157	2162
AN7	2144	2145	2150
AN8	2137	2140	2144
AN9	2138	2141	2145
AN10	2125	2130	2133
AN11	2120	2123	2126
AN12	2111	2114	2118
AN13	2107	2109	2115
AN14	2106	2108	2105
AN15	2100	2103	2105
AN16	2086	2091	2087
AN17	2077	2080	2089

AKH test örneklerinde Anhidrit III miktarı arttıkça genel bir eğilim olarak birim hacim kütle değeri azalmıştır. Anhidrit III maksimum tane boyutu 90 µm katkılı AKH örneklerinin birim hacim kütle değeri 2193 kg/m³'ten artan Anhidrit III miktarına göre 2077 kg/m³ değerine kadar düşmüştür. En

düşük Anhidrit III miktarının yer aldığı karışım ile en yüksek Anhidrit III miktarının yer aldığı örnekler arasında ortalama %5,3'lük azalma kaydedilmiştir. Anhidrit III boyutu 90 µm'dan 125 µm'e çıktığında ise bu değişim %5,2'lik oranla 2195 kg/m³'den 2080 kg/m³'e azalmıştır. Benzer şekilde maksimum Anhidrit III boyutu 250 µm olan örneklerde ise bu değişim %4,9'lük oranla 2197 kg/m³'ten 2089 kg/m³'e azalmıştır. Khatib ve arkadaşları [19] çalışmalarında alçı ve çimentonun birlikte kullanılması ile matris yapıda daha çok gözenek oluşarak harcın birim hacim kütle değerinin azaldığını tespit etmişlerdir.

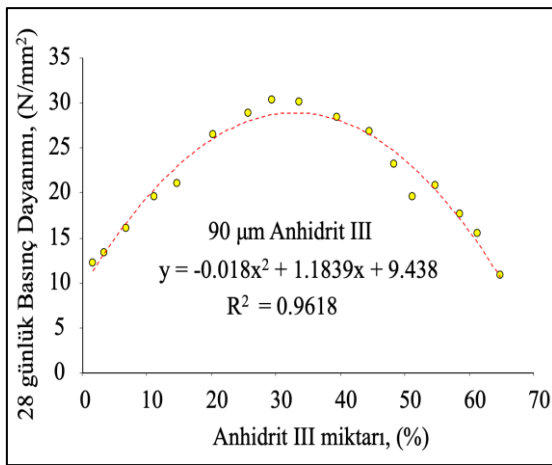
Analizlerde elde edilen bulgular, Anhidrit III tane boyutu büyüdükçe, eşdeğer karışım oranlarında sertleşmiş harç örneklerinde birim hacim kütle değerlerinin genel bir eğilim olarak ortalama %0,15-%0,45 aralığında artış göstermiştir. Bu da maksimum Anhidrit III tane boyutu irileştikçe, boyut dağılımı içerisinde yer alan ince madde oranının kısmen daha yüksek oluşundan kaynaklandığı düşünülmüştür. Anhidrit III boyut farklılığına göre AKH test örneklerinin birim hacim kütle değişimi grafiksel olarak Şekil 3'te gösterilmiştir. Grafiksel gösterimde özellikle Anhidrit III katkı oranının %6,8, %54,7 ve %61,3 olduğu karışım örneklerinde agreganın tane şekli, agrega miktarı ve taze harcın kalıba yerleşebilirliğinden kaynaklandığı düşünülen birim hacim kütle değerlerinde küçük bir dalgalanmanın olduğu gözlenmiştir. Ancak, bu durumun birim hacim kütle değeri değişimindeki eğilimi etkileyecek bir düzeyde olmadığı görülmüştür.



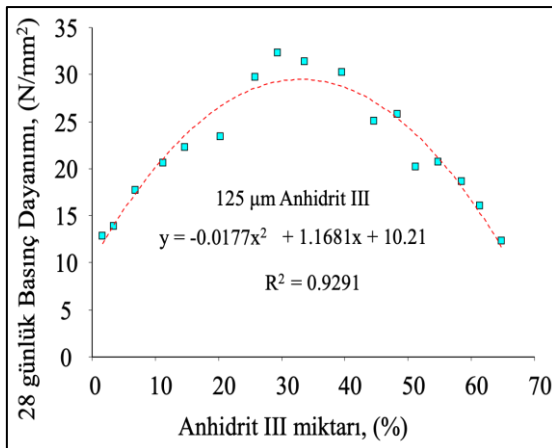
Şekil 3. Anhidrit III miktarı – sertleşmiş harcın birim hacim kütle ilişkisi

3.2. Anhidrit III Tane Boyutunun Sertleşmiş Harcın Basınç Dayanımına Etkisi

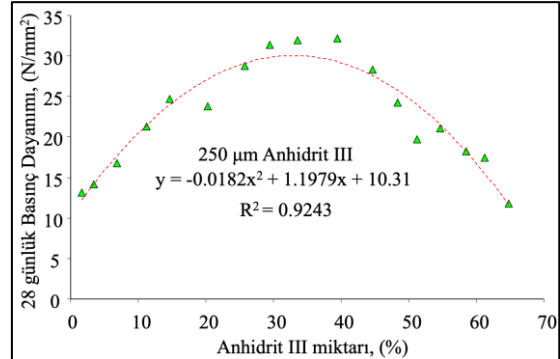
Üç farklı tane boyut dağılımına sahip Anhidrit III katkıları olarak hazırlanan sertleşmiş harcın örneklerinin 28 gün kür sonrası doygun durumda basınç dayanım değerleri analiz edilmiş olup, bulgular her bir boyut aralığı için grafiksel olarak Şekil 4 – Şekil 6’de verilmiştir.



Şekil 4. Anhidrit III miktarı – sertleşmiş harcın basınç dayanımı ilişkisi (0-90 µm Anhidrit III katkı)



Şekil 5. Anhidrit III miktarı – sertleşmiş harcın basınç dayanımı ilişkisi (0-125 µm Anhidrit III katkı)



Şekil 6. Anhidrit III miktarı – sertleşmiş harcın basınç dayanımı ilişkisi (0-250 µm Anhidrit III katkı)

AKH test örneklerinde katkı maddesi olarak kullanılan Anhidrit III miktarının sertleşmiş harcın basınç dayanımına belirli bir kullanım oranına kadar pozitif artan bir dayanım özelliği sağladığı, ancak belirli bir kullanım oranından sonra daha fazla miktarda Anhidrit III katkısı kullanımının ise dayanıma negatif azaltıcı bir etki gösterdiği belirlenmiştir. Bu olgu Anhidrit III malzemenin her 3 farklı tane boyutu için de yakınsak karakteristik sergilemiştir. Elde edilen dayanım bulguları, Anhidrit III miktarı kullanımlarına göre grafiksel olarak analiz edildiğinde (Şekil 4-Şekil 6’da görüldüğü üzere), polinomial birer ilişki oluşmaktadır. Bu ilişkinin regresyonel anlamlılık düzeyinin de oldukça yüksek kabul edilebilecek bir düzeyde olduğu (R^2 değerleri $>0,92$) görülmüştür. Güneşli ve arkadaşları [6] çalışmalarında çimento ve kırmataş agrega kullanarak hazırladıkları beton örneklerinde doğal anhidriti beton bileşeni olarak değerlendirmiş ve beton test örneklerinin basınç dayanım değerlerinde de benzer sonuçları elde etmişlerdir. Güneşli ve arkadaşları [6] yapmış oldukları çalışmada, beton tasarımlarında agrega ile yer değiştirmeli olarak ağırlıkça %3,82-%65,60 oranlarında değişen doğal anhidrit malzemeyi yer değiştirerek hazırlamış oldukları 14 farklı karışımda, anhidrit miktarının ortalama %33,7 oranına kadar, betonun basınç dayanımını artırıcı bir etki sağladığı, bu kullanım oranından sonra ise dayanımı düşürücü bir etki sağladığını rapor etmişlerdir. Ayrıca, belli bir anhidrit III kullanım oranından sonra azalan basınç dayanımı ilgili kullanım oranından sonra matris yapıda meydana

gelen boşlukların hacminin de artması ile de ilişkilendirilebilir [19]. Ayrıca, araştırmacılar çimento ile alçının birlikte kullanımında puzolanik malzemelerin karışımlara ilave edilmesini basınç dayanım kaybının önlenmesi açısından tavsiye etmektedir [20].

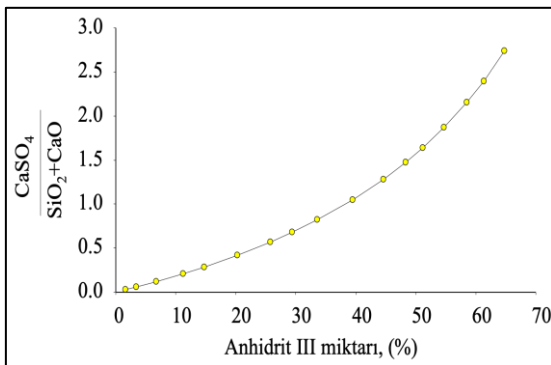
Anhidrit III malzemenin çimento harcında katkı maddesi olarak kullanım etkinliği üzerine yapılan bu çalışmada, 0-90 µm boyutlu Anhidrit III katkılı harç örneklerinde ağırlıkça %29,4 Anhidrit III katkı oranına kadar dayanım değerlerinin 12,2 N/mm²'den 30,3 N/mm²'ye kadar yükseldiği, bu kullanım oranından daha fazla oranda kullanıldığında ise dayanım değerlerinin düşerek 10,9 N/mm² değerine kadar dayanım kaybettiği belirlenmiştir. Diğer bir deyişle ağırlıkça %29,4 oranına kadar kırmataş kumu ile yer değiştirmeli şekilde kullanılan 0-90 µm Anhidrit III katkısı, 28 gün kür sonrasında sertleşmiş harcın dayanımını 2,48 kat artırmıştır. Benzer davranış, 125 µm'lik Anhidrit III için de görülmüştür. Ağırlıkça %29,4 oranına kadar kırmataş kumu ile yer değiştirmeli şekilde kullanılan 0-125 µm Anhidrit III katkısı, basınç dayanımını 2,52 kat artırarak 12,8 N/mm²'den 32,3 N/mm²'ye yükselmiştir. Ancak, Anhidrit III boyutu 250 µm'ye geçtiğinde ise katkı kullanımındaki ağırlıkça bu etkinlik oranı %29,4'den %39,5'e çıkmıştır. Bu kullanım oranında 0-250 µm Anhidrit III katkısı, basınç dayanımını 2,46 kat artırarak 13,1 N/mm²'den 32,2 N/mm²'ye yükselmiştir. Grafikselsel yaklaşım daha detaylı irdelendiğinde, 90 µm ve 125 µm Anhidrit III'ün ağırlıkça %25,8-%33,6 kullanımı ile harçların basınç dayanımlarının birbirlerine yakın değerler aldığı gözlenmiştir. Bu nedenle, 90 µm ve 125 µm boyutlu Anhidrit III kullanımları için bu oranlar harçta maksimum mukavemet elde etmek amacıyla kullanım etkinliği aralığı olabileceği düşünülmüştür. Anhidrit boyutu 250 µm'ye büyüdüğünde ise bu etkinlik aralığının ortalama ağırlıkça %29,5-%40 olabileceği öngörülebilmektedir. Diğer taraftan, Anhidrit III tane boyutu arttıkça eşdeğer katkı kullanım oranlarında sertleşmiş harcın dayanımlarını %1,6 ile %4,3 oranlarında artırdığı belirlenmiştir.

Sertleşmiş harcın basınç dayanımında Anhidrit III katkı kullanımında elde edilen bu etkinlik, normal

koşullarda Anhidrit III malzemenin tek başına kullanımı durumunda bağlayıcı özelliği bulunmasına bağlanabilir. Anhidrit III'ün salt malzeme olarak basınç dayanımı genellikle karışımda agrega olarak kullanılan kırmataş kumunun dayanımından daha düşüktür. Ancak, karışımda Anhidrit III kullanımı arttıkça kırmataş kum agrega oranı azalmakta olup, yukarıda belirlenen oranlara kadar, Anhidrit III ile kırmataş kum arasında oluşan pozitif ilişki, Anhidrit III'ün çimento gibi davranarak bağlayıcı özellik sergilemesi ve ilaveten karışımda çimento varlığı ile birlikte dayanım değerleri iyileşmiştir. Bununla birlikte, bu dayanım değeri artışında mineral katkı malzemelerinin göstermiş olduğu "filler" özelliğinin agregadan daha düşük dayanım gösteren anhidrit III malzemesinin, betonun belli bir noktaya kadar dayanımının artmasında önemli bir rol oynamış olabileceği de düşünülmektedir. Ayrıca, çalışma kapsamındaki tüm karışımlarda sabit oranda kullanılan polimer katkı malzemesinin, test örneklerinin dayanım artışının görüldüğü Anhidrit III kullanım oranına kadar daha etkin bir dayanım iyileştirici etki göstermiş olabileceği ihtimali de düşünülmektedir. Ancak, Anhidrit III'ün tane boyutuna bağlı olarak karışımlarda ağırlıkça %29,4 ve %39,5 oranlarını geçmesi, Anhidrit III'ün bir bağlayıcı nitelik sağlamasından öte, çoğunlukla agreganın yerini alarak agrega gibi davranarak harcın dayanımını düşürmüştür. Anhidrit III'ün tekil malzeme olarak dayanımı, kırmataş agreganın dayanımından daha düşüktür. Anhidrit III bu oranların üzerinde kullanıldığında, harç tasarımında anhidrit III miktarı artışı, her ne kadar bağlayıcı bir malzeme oranı artışı olarak görülse de karışımda dayanımı Anhidrit III'e göre daha yüksek olan agrega miktarının azalması sebebiyle nihai olarak sertleşmiş harcın mukavemeti etkin bir şekilde düşmüştür.

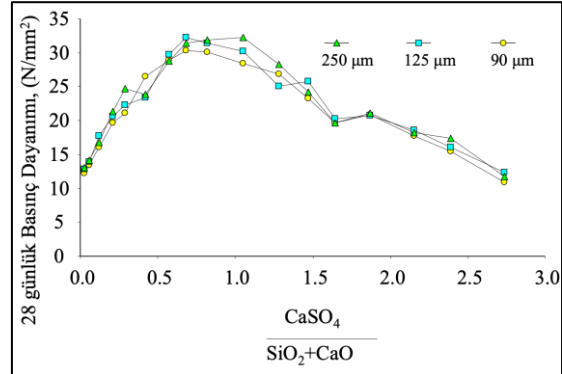
Anhidrit III katkı kullanımının sertleşmiş harcın dayanımı üzerindeki pozitif veya negatif etkinlik davranışı, bu çalışmada bir diğer yaklaşımla harç tasarımında kullanılan tüm malzemelerin oluşturduğu kimyasal majör bileşenleriyle ilişkilendirilerek de özet bir irdelene yapılmıştır. Karışıma giren her bir malzemenin (bağlayıcı çimento da dahil) öncelikle kimyasal majör bileşenleri ayrı ayrı belirlenmiştir. Daha sonra

AN1 – AN17 karışımlarının her biri için karışımda yer alan malzeme kullanım oranlarına göre nihai karışımın CaSO_4 , SiO_2 ve CaO miktarları ağırlıkça “%” değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu % değerler, her bir karışım kombinasyonunun kimyasal içeriğinin yakınsak değerinin temsil edilmesi açısından sayısal bir parametre olarak düşünülmüştür. Anhidrit malzeme CaSO_4 bileşenli bir malzeme olması ve diğer çimento-kırmataş kumu bileşimi de çoğunlukla SiO_2 ve CaO bileşenleri ile temsil edilebilirliği düşünülerek, her bir karışım tasarımının kullanılan malzeme türü ve miktarlarına göre ayrı ayrı “ $\text{CaSO}_4/(\text{SiO}_2+\text{CaO})$ ” oranları görgül birer parametre olarak belirlenmiştir. Örneğin AN1 karışımı için karışımda yer alan malzeme kullanım oranları ve kimyasal majör bileşenlerinin % değerlerine göre yapılan incelemede karışımdaki SiO_2 oranı %3,298, CaSO_4 oranı % 1,582 ve CaO oranı ise %54,561 olarak elde edilmiştir. Bu değerlendirmeye göre AN1 karışımının “ $\text{CaSO}_4/(\text{SiO}_2+\text{CaO}) = 0,027$ ” olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde bir diğer karışım AN17 için ise karışımdaki SiO_2 oranı %3,387, CaSO_4 oranı % 64,087 ve CaO oranı ise %20,041 olarak elde edilmiştir. Bu değerlendirmeye göre de AN17 karışımının “ $\text{CaSO}_4/(\text{SiO}_2+\text{CaO}) = 2,736$ ” olarak elde edilmiştir. Bu oransal değerlendirme diğer tüm karışımlar için de ayrı ayrı yapılmış olup, AN1–AN17 arası karışımlarında yaklaşık 0,03 değerinden 2,74 değerine kadar değişmektedir (Şekil 7). Karışımda Anhidrit III oranı arttıkça $\text{CaSO}_4/(\text{SiO}_2+\text{CaO})$ oran değeri de lineer bir eğilimle artış göstermiştir.



Şekil 7. Anhidrit III miktarı-harç tasarımının $\text{CaSO}_4/(\text{SiO}_2+\text{CaO})$ oranı ilişkisi

Çalışmada bu oran değişimine karşın, her bir Anhidrit III katkı kullanımındaki sertleşmiş harcın basınç dayanımları bağlamında ilişkilendirildiğinde Şekil 8’de verilen değerlendirme elde edilmiştir.



Şekil 8. $\text{CaSO}_4/(\text{SiO}_2+\text{CaO})$ oranı - sertleşmiş harcın basınç dayanımı ilişkisi

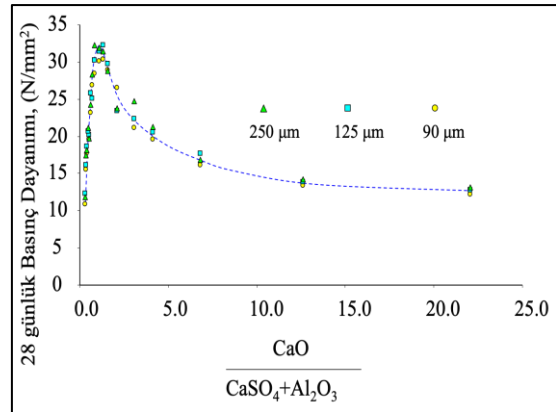
Bu irdelemeden de görüldüğü gibi, 90 µm–125 µm Anhidrit III tane boyutu değişimine karşın harcın mukavemet değerlerinde yaklaşık $\text{CaSO}_4/(\text{SiO}_2+\text{CaO}) \approx 0,68$ oran değerine kadar yakınsak dayanım artışları, bu oran üzerinde değerlerde ise dayanım düşüşü olduğu görülmektedir. Benzer davranış, 250 µm Anhidrit III tane boyutu için harcın mukavemet değerleri yaklaşık $\text{CaSO}_4/(\text{SiO}_2+\text{CaO}) \approx 1,05$ oran değerine kadar değişim göstermiştir. Buradan da görüldüğü üzere, maksimum mukavemet elde etmek için daha ince tane boyutlu Anhidrit III malzeme kullanımında karışımdaki toplam CaSO_4 varlığı daha düşük oranda etkinlik gösterdiği, ancak tane boyutu büyüdükçe bu oranın daha yüksek değerlerde etkin olabildiği gözlenmiştir.

Çimentoadaki C_2S ve C_3S ana bileşenlerinin hidrasyonu, çimento hamuruna bağlayıcılık sağlayan kalsiyum-silika-hidrat (C-S-H) jellerinin yanı sıra, kalsiyum hidroksit (CH) oluşmasına yol açmaktadır. C_4AF ve özellikle C_3A ile çimento içerisinde yer alan alçının ve suyun arasındaki reaksiyonlar ise, etrenjit ($\text{C}_6\text{AS}_3\text{H}_{32}$), ve kalsiyum-alumino-monosülfohidrat ($\text{C}_4\text{ASH}_{12}$) gibi ürünlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Çimento ve su arasındaki reaksiyonlar sonucunda, çimento

hamurunun yapısında yer alan başlıca hidrasyon ürünleri, C-S-H, CH, ve kalsiyum aluminosülfhidratlardır. Hem C_4ASH_{12} , hem de $C_6AS_3H_{32}$, çimento hamurunun genişlemesine yol açmaktadır [21]. Özellikle, etrenjit bünyesinde 32 molekül su bulduran ve oluşumu çimento hamurunda çok büyük genişmelerin meydana gelmesine yol açan bir beton bileşeni olarak değerlendirilmektedir [22].

Bilindiği gibi, çimentolu matris yapılarında etrenjit oluşum oranı sülfat miktarına göre değişiklik gösterebilir. Etrenjit stabilitesi kinetik ve termodinamik parametrelere bağlıdır. Bu parametreler; sıcaklık, nem ve karbonatlaşma direnci olarak tanımlanmaktadır [23]. Hidratların oluşma aşamasında, düşük geçirgenliğe sahip matrisler, geçirgen matrislerden daha farklı bir yol izlemektedir. Plastik bir yapıyı oluşturabilmek adına minimum su miktarı ile oluşturulan şaplar ve tamir harçları için etrenjit oluşumu yüksek önem taşımaktadır [23]. Etrenjit açısından zengin kompozisyonlar genellikle boyutsal kararlılığa sahip olurlar. Fakat çok yüksek miktarda etrenjit olması demek her durumda fiziksel stabilite sağlanacak anlamına gelmemektedir [23]. Bununla birlikte sülfatlı suların çimento hamuru içerisine sızmasıyla yarı kararlı C_4ASH_{12} 'nin etrenjite dönüşmesiyle meydana gelen ve çok büyük genişmeler sonucunda betonda çatlamlara yol açan olaya "sülfat hücumu" denilmektedir [22]. Bu bağlamda, etrenjit oluşumu betonun durabilitesi açısından olumsuz sonuçlar oluşturabilecek durumları gündeme getirebilmektedir. Bu bağlamda çalışma kapsamında, diğer bir yaklaşımda ise Anhidrit III miktarlarına bağlı olarak, hidrasyon sürecinde etrenjit oluşumuna etken olabilecek kimyasal majör bileşenlerin miktarının test örneklerinin basınç dayanımına ne ölçüde olumlu ve/veya olumsuz etkileri olduğu irdelenmeye çalışılmıştır. Bu yaklaşımın temsil edilebilmesi açısından harç tasarımında malzeme türlerinin oluşturduğu majör bileşenlere göre hidrasyon sonrası etrenjit oluşumunda etken olan CaO, $CaSO_4$ ve Al_2O_3 bileşenlerine bağlı olarak " $CaO/(CaSO_4+Al_2O_3)$ " oransal bir yaklaşımın değişimi özetle irdelenmiştir. Yapılan irdelenmede

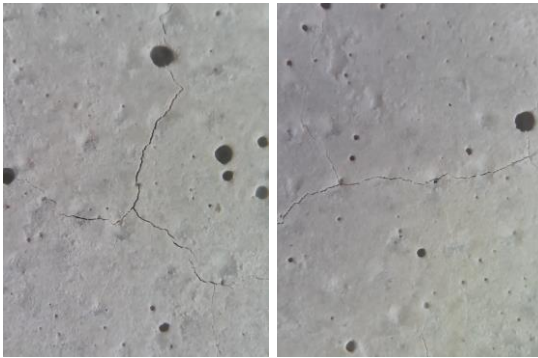
örneğin AN1 karışımı için CaO oranı %54,561, $CaSO_4$ oranı % 1,582 ve Al_2O_3 oranı ise %0,893 olarak elde edilmiştir. Bu değerlendirmeye göre AN1 karışımının " $CaO/(CaSO_4+Al_2O_3)= 22,045$ " olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde bir diğer karışım AN17 için ise CaO oranı %20,041, $CaSO_4$ oranı %64,087 ve Al_2O_3 oranı ise %0,798 olarak elde edilmiştir. Bu değerlendirmeye göre de AN17 karışımının " $CaO/(CaSO_4+Al_2O_3)= 0,309$ " olarak elde edilmiştir. Bu oransal değerlendirme diğer tüm karışımlar için de ayrı ayrı yapılmış olup AN1 – AN17 arası karışımlarında artan Anhidrit III miktarına bağlı olarak 22,045 değerinden 0,309 değerine kadar azalarak değişmiştir. Karışımda Anhidrit III oranı arttıkça $CaO/(CaSO_4+Al_2O_3)$ oran değeri de üstel fonksiyonel bir eğilimle azalma göstermiştir. Bu irdelenmeye göre $CaO/(CaSO_4+Al_2O_3)$ değişimi her bir Anhidrit III katkı kullanımındaki sertleşmiş harcın basınç dayanımları bağlamında ilişkilendirildiğinde Şekil 9'de verilen değerlendirme elde edilmiştir.



Şekil 9. $CaO/(CaSO_4+Al_2O_3)$ oranı - sertleşmiş harcın basınç dayanımı ilişkisi

Bununla birlikte, hidrasyon sonrası anhidrit III katkı oranı arttıkça etrenjit oluşumunun da arttığı gözlemlenmiştir. Ancak, belirli bir oran sonrası Anhidrit III katkı kullanımı sonucu oluşan etrenjit miktarı sebebiyle matris yapıda oluşan genişleme ve buna bağlı gelişen kılcal çatlaklar nedeniyle test örneklerinin basınç dayanımlarının düştüğü görülmüştür (Şekil 10). Diğer bir deyişle, yüksek oranda etrenjit oluşumlarının harç örneklerinin

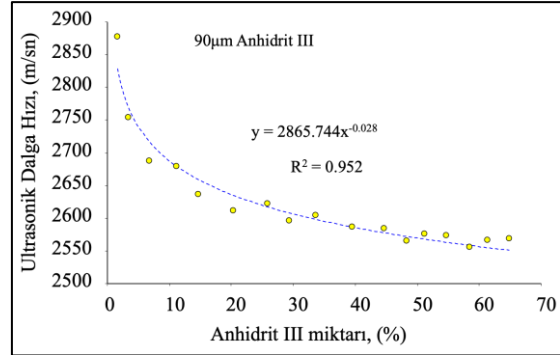
durabilitesini olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir. Bu değerlendirme farklı tane boyutlu Anhidrit III katkı kullanımı ve karışımdaki bileşenlerin $\text{CaO}/(\text{CaSO}_4+\text{Al}_2\text{O}_3)$ oranı bağlamında optimize edilmeye çalışılmıştır. 90 μm –125 μm Anhidrit III tane boyutu değişimine karşın harcın mukavemet değerlerinde yaklaşık $\text{CaO}/(\text{CaSO}_4+\text{Al}_2\text{O}_3) \approx 1.32$ oran değerine kadar yakınsak dayanım artışları, bu oran üzerinde değerlerde ise dayanım düşüşü olduğu görülmektedir. Benzer davranış, 250 μm Anhidrit III tane boyutu için harcın mukavemet değerleri yaklaşık $\text{CaO}/(\text{CaSO}_4+\text{Al}_2\text{O}_3) \approx 0.85$ oran değerine kadar artan eğilimle değişim göstermiştir. Bu bağlamda, 90-250 μm Anhidrit III katkı miktarlarına bağlı olarak belirlenen 1,32 ve 0,85 orandan daha düşük değerlerde harcın hızlı sertleşme, yüksek erken dayanım ve sonrasında yavaş dayanım geliştirme özellikleri sergilediği gözlenmiş olup, dayanım değerinin lineer bir eğilimle düştüğü görülmüştür.



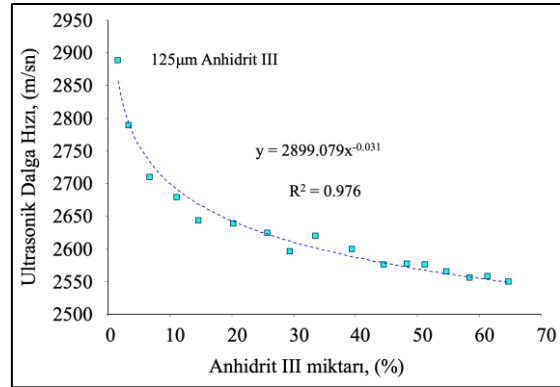
Şekil 10. Yüksek Anhidrit III kullanılan numuneler üzerinde meydana gelen çatlaklar

3.3. Anhidrit III Tane Boyutunun Sertleşmiş Harcın Ultrasonik Dalga Hızı Değerlerine Etkisi

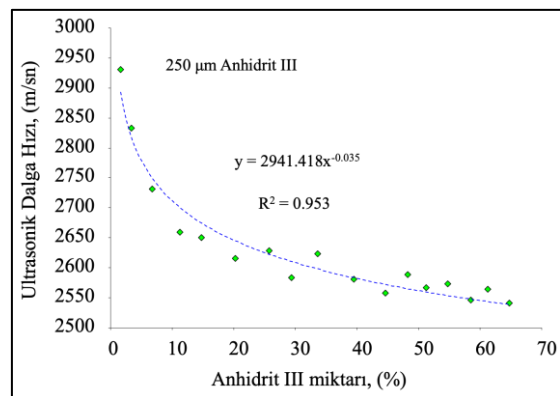
90 μm – 250 μm tane boyutlu Anhidrit III katkı sertleşmiş harç örneklerinin 28 gün kür sonrası doygun durumda ultrasonik dalga hızı değerleri analiz edilmiş olup, bulgular her bir boyut aralığı için grafiksel olarak Şekil 11–Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 11. Anhidrit III miktarı–ultrasonik dalga hızı ilişkisi (0-90 μm Anhidrit III katkı)

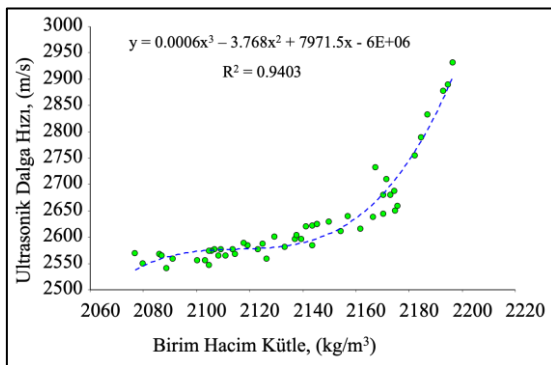


Şekil 12. Anhidrit III miktarı – ultrasonik dalga hızı ilişkisi (0-125 μm Anhidrit III katkı)



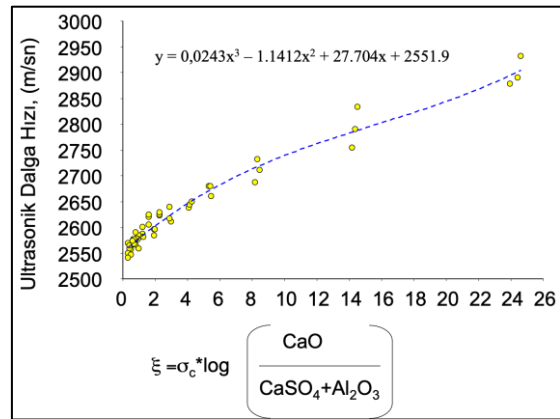
Şekil 13. Anhidrit III miktarı – ultrasonik dalga hızı ilişkisi (0-250 μm Anhidrit III katkı)

AKH test örneklerinde karışımlarda katkı maddesi olarak kullanılan Anhidrit III miktarının sertleşmiş harcın ultrasonik dalga hızı değerleri artan Anhidrit III miktarına bağlı olarak düşmüştür. 0-90 µm boyutlu Anhidrit III katkılı harç örneklerinde ultrasonik dalga hızı değeri 2877 m/s'den 2569 m/s'ye düşmüştür. Diğer taraftan, 0-125 ve 0-250 µm boyutlu Anhidrit III katkılı harç örneklerinde ise ultrasonik dalga hızı değerleri sırasıyla 2889 m/s'den 2550 m/s'ye ve 2931 m/s'den 2541 m/s'ye düşmüştür. Ultrasonik dalga hızı, harcın matris yapısından geçişinde boşlukların bulunması durumunda daha düşük hız değerlerinde geçiş özelliği sağladığı bilinmektedir [24]. Bu bağlamda irdelendiğinde, harç tasarımlarında artan Anhidrit III oranı, sertleşmiş harcın matris yapısını kısmen daha gözenekli bir form kazanmasına da neden olduğunu temsil etmektedir. Matris yapıda gözeneklilik olgusu arttıkça ultrasonik dalga hızı değeri de düşmektedir. Ayrıca, Anhidrit III tane boyutu büyüdükçe matris yapının gözenekliliğinin arttığı gözlenmiştir. Buna bağlı olarak da birim hacim kütle değeri azalmaktadır. Çalışma kapsamında üretilen bütün örneklerin sertleşmiş harç birim hacim kütle değerlerine karşılık ultrasonik dalga hızı değişimleri Şekil 14'te gösterilmiştir. En düşük ve en yüksek miktarlarda Anhidrit III katkı kullanımları arasında ultrasonik dalga hızı değişimleri 0-90 mm, 0-125 mm ve 0-250 mm tane boyutları için sırasıyla %10,71, %11,73 ve %13,31 oranında azalmıştır.



Şekil 14. Birim hacim kütle-ultrasonik dalga hızı ilişkisi

Çalışma kapsamında sertleşmiş harcın matris yapısının fiziksel ve kimyasal parametrelere bağlı durumunu görgül bir yaklaşımla analiz edebilmek amacıyla, AKH örneklerinin ultrasonik dalga hızı, dayanım değeri ve hidrasyon sonrası etrenjit oluşumunun sağlanabilmesi için gerekli olan CaO, CaSO₄ ve Al₂O₃ majör bileşenlerine bağlı olarak oransal bir yaklaşım "ξ" rumuzuyla tasarlanmıştır. Optimum bir değerlendirmeye ξ = σ_c * log[CaO/(CaSO₄+Al₂O₃)] formunda oransal bir yaklaşım olarak ele alınmıştır. Burada σ_c, sertleşmiş harcın 28 gün kür sonrası basınç dayanım değerini temsil etmektedir. Tüm AKH karışımları için elde edilen ξ değerine karşın ultrasonik dalga hızı değerleri grafiksel bir analizle Şekil 15'te verilmiştir.



Şekil 15. ξ - ultrasonik dalga hızı ilişkisi

Bu yaklaşımdan görüldüğü üzere ξ değeri arttıkça, ultrasonik dalga hızı değeri de artmaktadır. Elde edilen bulgular daha detay irdelendiğinde bu yaklaşım bağlamında, artan Anhidrit III miktarına göre hidrasyon sonrasında etrenjit oluşumlarının kalıcı bir form oluşturduğunda matris yapının daha gözenekli bir karakteristik özellik kazandığı, buna bağlı olarak da dayanım değerinde azalma ve ayrıca ξ değeri de azalarak ultrasonik dalga hızı değeri düşmektedir. Yüksek mukavemetli Anhidrit katkılı bir harç elde etmek için -90 µm ve -125 µm boyutlu Anhidrit III kullanımında ξ değerinin ortalama ξ >2 olması gerektiği ve -250 µm boyutlu Anhidrit III kullanımında ise ξ değerinin ortalama ξ >1,3 olması gerektiği belirlenmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 0-90 µm, 0-125 µm ve 0/250 µm olmak üzere üç farklı boyutta kullanılan anhidrit III'ün çimento harçlarında fiziksel ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre;

1. Test örneklerinde Anhidrit III miktarı arttıkça genel bir eğilim olarak birim hacim kütle değeri azalmıştır.
2. AKH test örneklerinde katkı maddesi olarak kullanılan Anhidrit III miktarının sertleşmiş harcın basınç dayanımına belirli bir kullanım oranına kadar pozitif, ancak belirli bir kullanım oranından sonra dayanıma negatif bir etki gösterdiği belirlenmiştir. -90 µm boyutlu Anhidrit III katkılı harç örneklerinde ağırlıkça %29,4 Anhidrit III katkı oranına kadar dayanım değerlerinin 12,2 N/mm²'den 30,3 N/mm²'ye kadar yükseldiği, bu kullanım oranından daha fazla oranda kullanıldığında ise dayanım değerlerinin düşerek 10,9 N/mm² değerine kadar dayanım kaybettiği belirlenmiştir. Ağırlıkça %29,4 oranına kadar kırmataş kumu ile yer değiştirmeli şekilde kullanılan 0-125 µm Anhidrit III katkısı, basınç dayanımını 2,52 kat artırarak 12,8 N/mm²'den 32,3 N/mm²'ye yükselmiştir. Anhidrit III boyutu 250 µm'ye değiştiğinde ise katkı kullanımındaki ağırlıkça bu etkinlik oranı %29,4'den %39,5'e çıkmıştır. Bu kullanım oranında 0-250 µm Anhidrit III katkısı, basınç dayanımını 2,46 kat artırarak 13,1 N/mm²'den 32,2 N/mm²'ye yükselmiştir.
3. Ayrıca anhidrit III kullanımına bağlı harç içerisinde bulunan kimyasal majör bileşenlerle harcın basınç dayanımı da ilişkilendirilmiştir. Bu irdelemenin sonuçlarına göre, 90 µm – 125 µm Anhidrit III tane boyutu değişimine karşın harcın mukavemet değerlerinde yaklaşık CaSO₄/(SiO₂+CaO) ≈ 0,68 oran değerine kadar yakınsak dayanım artışları, bu oran üzerinde değerlerde ise dayanım düşüşü olduğu görülmektedir. Benzer davranış, 250 µm Anhidrit III tane boyutu için harcın mukavemet değerleri yaklaşık CaSO₄/(SiO₂+CaO) ≈ 1,05 oran değerine kadar değişim göstermiştir.

90 µm ve 125 µm Anhidrit III tane boyutu değişimine karşın harcın mukavemet değerlerinde yaklaşık CaO/(CaSO₄+Al₂O₃) ≈ 1,32 oran değerine kadar dayanım artışları, bu oran üzerinde değerlerde ise dayanım düşüşü olduğu görülmektedir. Benzer davranış, 250 µm Anhidrit III tane boyutu için harcın mukavemet değerleri yaklaşık CaO/(CaSO₄+Al₂O₃) ≈ 0,85 oran değerine kadar artan eğilimle değişim göstermiştir.

4. 0-90 µm boyutlu Anhidrit III katkılı harç örneklerinde ultrasonik dalga hızı değeri 2877 m/s'den 2569 m/s'ye düşmüştür. Diğer taraftan, 0-125 ve 0-250 µm boyutlu Anhidrit III katkılı harç örneklerinde ise ultrasonik dalga hızı değerleri sırasıyla 2889 m/s'den 2550 m/s'ye ve 2931 m/s'den 2541 m/s'ye düşmüştür. Harç tasarımlarında artan Anhidrit III oranı, sertleşmiş harcın matris yapısını kısmen daha gözenekli bir form kazanmasına da neden olduğunu temsil etmektedir.
5. Bu çalışma ile çimento harçları için ultrasonik dalga hızı, dayanım değeri ve hidrasyon sonrası etrenjit oluşumunun sağlanabilmesi için gerekli olan CaO, CaSO₄ ve Al₂O₃ majör bileşenlerine bağlı oransal bir yaklaşım önerilmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. İstanbulluoğlu, Y.S., 1997. Alçıtaşı ve Anhidrit Üzerine Bir Çalışma. Madencilik Dergisi, Cilt 36(2-3), 13-23.
2. Fisher, K., Rikhert, K., Burianov, A., Strokova, V., 2016. Recrystallization of Gypsum Particles. International Journal of Environmental & Science Education, 11(18), 12361-12366.
3. Serrano, S., Barreneche, C., Navarro, A., Hauria, L., Fernandez, A., 2015. Study of Fresh and Hardening Process Properties of Gypsum with Three Different PCM Inclusion Methods. Materials, 8(10), 6589–6596.
4. Gürdal, E., 2010. Bir Yapı Malzemesi Olarak Alçı. Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi, (4), 37-43.
5. Thoeny, Z.A.R., 2020. The Effect of Particle Size Distribution on Some Properties of

- Gypsum. Key Engineering Materials, 857, 145-152.
6. Güneyli, H., Yapıcı, N., Karahan, S., 2016. Doğal Anhidritin Beton Bileşeni Olarak Kullanımı. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(2), 7-15.
 7. Małolepszy, J., Kotwica, L., Konik, Z., Żak, R., 2014. Rapid-Hardening Cements with Addition of Anhydrite-Lime Sinters. Cement Wapno Beton, 81, 40-45.
 8. Portland Cement Association, Ettringite Formation and the Performance of Concrete, https://www.cement.org/docs/default-source/fc_concrete_technology/is417-ettringite-formation-and-the-performance-of-concrete.pdf?sfvrsn=412%26sfvrsn=412, Erişim Tarihi: 24.04.2022.
 9. Salih, M., Hussein, A., 2018. Enhancing the Compressive Strength Property of Gypsum used in Walls Plastering by Adding Lime. Journal of University of Babylon for Engineering Sciences, 26(3), 58-66.
 10. Li, C., Li, J., Telesca, A., Marchon, D., Xu, K., Marroccoli, M., Jiang, Z., Monteiro, P.J.M., 2021. Effect of Polycarboxylate Etheron The Expansion of Ye'elimite Hydration In The Presence of Anhydrite. Cement and Concrete Research, 140, 106321.
 11. Jansen, D., Wolf, J.J., Fobbe, N., 2020. The Hydration of Nearly Pure Ye'elimite with a Sulfate Carrier in a Stoichiometric Ettringite Binder System. Implications for the Hydration Process Based on in-situ XRD, H-TD-NMR, Pore Solution Analysis, and Thermodynamic Modeling. Cem. Concr. Res, 127, 105923.
 12. Jansen, D., Spies, A., Neubauer, J., Ectors, D., Goetz-Neunhoffer, F., 2017. Studies on the Early Hydration of Two 793 Modifications of Ye'elimite with Gypsum. Cem. Concr. Res, 91, 106-116.
 13. García-Maté, M., Londono-Zuluaga, D., De la Torre, A.G., Losilla, E.R., Cabeza, A., Aranda, M.A.G., Santacruz, I., 2016. Tailored Setting Times with High Compressive Strengths in Bassanite Calcium Sulfoaluminate Eco-Cements. Cem. Concr. Compos, 72, 39-47.
 14. Brouwers, Q., Yu, H., Korte, A., 2009. Gypsum hydration: A Theoretical and Experimental Study. Energy, 1, 0E-5.
 15. ASTM C494/C494M-13, 2013. Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.
 16. ASTM C597-16, 2016. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.
 17. TS EN 12504-4, 2021. Yapılarda Beton Deneyleri-Bölüm 4: Ultrasonik Atımlı Dalga Hızının Tayini.
 18. ASTM C109/C109M-20, 2020. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens).
 19. Khatib, J.M., Wright, L., Mangat, P.S., 2013. Effect of Fly Ash-Gypsum Blend on Porosity and Pore Size Distribution of Cement Pastes. Adv. Appl. Ceram., 112(4), 197-201.
 20. Hansen, S., Sadeghian, P., 2020. Recycled Gypsum Powder from Waste Drywalls Combined with Fly Ash for Partial Cement Replacement in Concrete. Journal of Cleaner Production, 274, 122785.
 21. Yıldız, M., Elvan, Ü., 2010. Konya İli. Organize Sanayi Bölgesinde Sülfatlı Su İçeren Zeminlerde Oluşturulan Betonarme Kazıklarda Beton Taşıma Gücüne Sülfatın Etkisi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 25(2), 1-12.
 22. Erdoğan T.Y., 2015, Beton, ODTÜ Yayıncılık, ODTÜ Geliştirme Vakfı, Ankara, ISBN No: 9789757064671
 23. Çimsa, 2017. Etrenjit Oluşum Koşullarının Üçlü Sistem Performansına Etkisi, <https://www.cimsa.com.tr/ca/docs/71DDECEE521E470BA4ADA95A091840/70D57CEA99DE4A3793A5876391F709A3.pdf>. Erişim Tarihi: 22.04.2022.
 24. Yavaş, A., Kalkan, Ş.O., Güler, S., Şahin, G.N., Gündüz, L., 2022. A Novel Gypsum-Based Lightweight Composite: A Combined Investigation of Technical and Self-Cleaning Properties. Journal of the Australian Ceramic Society, 1-18.

Modifiye Yaklaşımların Evapotranspirasyon Tahminlerine Etkisi: Van Örneği

Ali UZUNLAR¹ ORCID 0000-0002-3602-3779

Arif ÖZ¹ ORCID 0000-0001-5504-4295

Muhammet Ömer DİŞ^{*1} ORCID 0000-0002-3347-5112

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

Geliş tarihi: 31.01.2022

Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: UZUNLAR, A., ÖZ, A., DİŞ, M.Ö., (2022). Modifiye Yaklaşımların Evapotranspirasyon Tahminlerine Etkisi: Van Örneği. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 973-988.

Öz

Suyun öneminin tartışılmaz olduğu gerçeğini göz önüne alarak, hidrolojik çevrimin ve onun en karmaşık bileşenlerinden biri olan evapotranspirasyon (ET) kaybının iyi belirlenmesi gerekmektedir. Toprakta ve açık su yüzeylerinden buharlaşma ve bitkilerden terleme yoluyla kaybedilen suyun birleşimi olarak tanımlanan ET değerini belirlemek amacıyla birçok ampirik yöntem geliştirilmiş ve bu yöntemler üzerinde modifiye çalışmaları yapılmıştır. Dünyada yaygın olarak bilinen FAO-Penman-Monteith (FAO-PM) denklemi referans alınarak Hargreaves-Samani (HS) ve Blaney-Criddle (BC) denklemleri ile bu iki denklemin modifiye çalışmaları kullanılarak Van ilinde 11 istasyona ait 6 yıllık (2015-2020) günlük meteorolojik veriler ile ET hesabı yapılmış ve modifiye çalışmaların etkileri araştırılmıştır. Pearson Korelasyon Katsayısı (PCC) ve Ortalama Bağlı Hata (OBH) performans değerlendirme indislerinin kullanıldığı çalışmada, tüm sonuçlar incelendiğinde HS ve Modifiye HS (MHS) denklemlerinin iyi sonuçlar verdiği izlenmiştir. HS denklemi içerisindeki sabit değerler üzerinden yapılan modifiye çalışmaları ile oluşan MHS denkleminin, bazı istasyonlarda HS denkleminde daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Yükseklik ile ET arasındaki ilişki dikkate alınarak HS ve BC denklemlerinin yükseklik verisini kullanan modifiye çalışmaları da araştırmaya dâhil edilmiştir. Rakım bazlı modifiye edilen HS denklemi 6 denklem arasında ortalama 0,88 korelasyon değeri ile en kötü sonuçlara sahip denklem olmuştur. BC denklemi üzerinde yapılan modifiye çalışmalar BC denklemine kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Evapotranspirasyon, FAO-Penman-monteith, Hargreaves-samani, Blaney-criddle

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Muhammet Ömer DİŞ, momerdis@ksu.edu.tr

The Effect of Modified Approaches on Evapotranspiration Estimates: Case Study over Van

Abstract

Considering the fact that the importance of water is indisputable, the hydrological cycle and its most complex components, evapotranspiration (ET) loss should be well defined. In order to determine the ET value, which is defined as the combination of water lost from soil and open water surfaces through evaporation and transpiration from plants, many empirical methods have been developed and modified studies have been carried out on these methods. By taking the widely known FAO-Penman-Monteith (FAO-PM) equation as reference, the Hargreaves-Samani (HS) and Blaney-Criddle (BC) equations and the modified studies of these two equations, 6 years (2015-2020) of 11 stations in Van province ET calculations were made with daily meteorological data and the effects of modified studies were investigated. In the study in which Pearson Correlation Coefficient (PCC) and Mean Relative Error (MRE) performance evaluation indices were used, it was observed that HS and Modified HS (MHS) equations gave acceptable results when all the results were examined. At some stations, it has been found that the MHS equation, which is formed by the modification studies made over the constant values in the HS equation, gives better results than the HS equation. Modified evaluations of the HS and BC equations utilizing altitude data were also included in the study to consider the relationship between altitude and ET. Altitude-based modified HS equation was the equation with the lowest PCC results with an average correlation value of 0.88 among the 6 equations. Modified studies on the BC equation gave better results compared to the BC equation.

Keywords: Evapotranspiration, FAO-Penman-monteith, Hargreaves-samani, Blaney-criddle

1. GİRİŞ

Topraktan ve açık su yüzeylerinden buharlaşma (evaporasyon) ile bitkilerden terleme (transpirasyon) yoluyla kaybedilen suyun birleşimi olarak tanımlanan evapotranspirasyon (ET), çok çeşitli atmosferik ve iklimsel parametrelerle ilişkili olduğundan hidrolojik çevrimin en karmaşık bileşenlerinden biridir. Suyun öneminin tartışılmaz olduğu gerçeğini göz önüne alarak iklimsel değişkenliği, suyun kontrolü, tarımsal sulama suyunun belirlenmesi, taşkın kontrolleri ve su hazinesi gibi birçok hesaplama ve değerlendirmelerin daha hassas yapılabilmesi için hidrolojik çevrimin ve dolayısıyla ET kaybının iyi belirlenmesi gerekmektedir. Evapotranspirasyon, hidrolojik döngü içinde atmosfer ve toprak yüzeyi arasında mühim bir bağ olarak kabul edilebileceğinden, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkisinin incelenmesinde evapotranspirasyonun değerlendirilmesi büyük önem arz eder [1].

Toprakta yeterli nem miktarı mevcut olduğunda oluşabilecek maksimum evapotranspirasyona Potansiyel EvapoTranspirasyon (PET), herhangi bir koşulda oluşacak evapotranspirasyona Gerçek (aktüel) EvapoTranspirasyon (GET) denmektedir. Evapotranspirasyonun hesaplanmasına yönelik dört ana yaklaşım geliştirilmiştir: su bütçesi yöntemleri, kütle transferi yöntemleri, enerji dengesi yöntemleri ve ampirik yöntemler [2].

Bitki suyu tüketimi, referans ürün evapotranspirasyonu olarak da isimlendirilen ET'nin doğrudan ölçümü için su bütçesi yöntemlerine dayanan lizimetre ve pan buharlaşma tavaları gibi ölçüm aletleri kullanılmaktadır. Yağış ve nehir akışı gibi ölçümlerine kıyasla çok daha zor ve maliyetli olan ET'nin ölçülmesi, genellikle pratik değildir. Bu nedenle, hidrologlar daha kolay ölçülebilen verilere dayanarak, ET tahminlerini sağlayan bir dizi yöntem geliştirmişlerdir. Bitki su ihtiyacını belirlemek için lizimetre ölçüm yönteminin zor ve maliyetli olduğundan, alternatif

ampirik yaklaşımların uygulanabilirliği birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir [3-6].

ET'nin hesaplanması için yıllarca süren çalışmalara ve iklimsel verilere dayanarak geliştirilen ampirik yöntemler sıcaklığa dayalı, radyasyona dayalı ve enerji dengesi ve kütle transferi yöntemlerinin kombinasyonuna dayalı yöntemler olarak sınıflandırılabilir. Gıda ve Tarım Örgütü (FAO, Food and Agriculture Organization) tarafından tüm dünyada kullanılması için tavsiye edilen kombinasyona dayalı en önemli denklemlerden biri Penman-Monteith (PM) denklemidir. 1998 yılında yapılan çalışmada, yeterince sulanan ve aktif olarak büyüyen tek tip yükseklikte referans kabul edilen çim mahsulü üzerinde söz konusu denklemi geliştirilerek, FAO-56 PM olarak bilinen haliyle önerilmiştir [7].

Dünyada yaygın olarak kullanılan diğer ampirik denklemlerden Thornthwaite, Romanenko, Blaney-Criddle (BC), Kharrufa, Schendel ve Hargreaves-Samani (HS) denklemleri sıcaklık temelli; Makking, Priestley-Taylor ve Jensen-Haise denklemleri ise radyasyon temelli olarak sınıflandırılabilir. Az sayıda istasyon ve ölçülen iklimsel verilerin kısıtlı olması sebebiyle daha az sayıda veriye ihtiyaç duyan ve kullanımı kolay olan bu denklemlerin ET tahmininde kullanılabilirliği birçok araştırmacının konusu olmuştur. Örneğin, Şarlak ve Bağçacı, Konya Kapalı Havzası'nda yapılan çalışmasında, BC, Jensen-Haise, Makking, Turc, Priestley-Taylor ve HS gibi altı ampirik PET performanslarını beş istasyondan alınan günlük meteorolojik veriler kullanılarak FAO-56 PM yöntemi ile karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda, günlük meteorolojik gözlem verilerinin eksikliği durumunda, daha az veriye ihtiyaç duyan Turc, HS ve Priestley-Taylor yöntemlerinin FAO-56 PM'ye alternatif olarak kullanılabilirliği ifade edilmiştir [8]. Diğer bir örnekte, Batı Bengal Nadia bölgesindeki ET değerlerinin tahmini için sıcaklık temelli BC, Thornthwaite, HS yöntemleri ve radyasyon temelli Turc, Priestley-Taylor ve FAO-24 radyasyon modeli yöntemleri kullanılarak FAO-Penman-Monteith denklemi ile karşılaştırılmıştır. 10 yıllık günlük istasyon verileri

kullanılan çalışmada, Turc yöntemi ile hesaplanan ET değerlerinin FAO-Penman-Monteith denklemi ile hesaplanan değerlere en yakın, Thornthwaite denklemiyle hesaplanan ET değerlerinin ise en uzak sonuçlar verdiği belirtilmiştir [9]. Diğer taraftan, sadece sıcaklık verisine ihtiyaç duyan basitliklerinin yanında başarılı sonuçlar da üreten BC ve HS denklemleri yeterli verilerin bulunmadığı durumlarda ET tahmini için kullanılabilirliği de belirtilmektedir [7,10]. Adana bölgesindeki bitki büyüme mevsimi süresince yapılan bir başka çalışmada, 30 yıllık iklim verisi kullanılarak A sınıfı pan buharlaşma tavaısındaki günlük buharlaşma miktarlarını elde etmek için sıcaklığa, radyasyona, kütle transferine ve kombinasyona dayalı on farklı ampirik denklem kullanılmıştır. Ortalama karekök hatası, ortalama sapma hatası ve bağıl hata gibi istatistiksel performans değerlendirilmeleri yapılan çalışmada, Çukurova için en başarılı sonuçlar veren Kohler-Nordenson-Fox (KNF) ve ona en yakın Hanson-Rouze denklemi iken, en başarısız olan denklemin ise Hamon olduğu belirtilmiştir [11]. Çek Cumhuriyeti'nin kuzeyinde yer alan Most gölündeki buharlaşmayı hesap etmek için buharlaşma ve sıcaklık verilerinin regresyonuyla elde edilen üç farklı eşitliğin yanında Kharrufa, HS, Schendel ve Priestley-Taylor ampirik yaklaşımları kullanılarak FAO-PM denklemine kıyasla performansları kıyaslanmıştır. Göldeki buharlaşmanın tahmininde optimum değerlerin HS ile elde edildiği ifade edilmiştir [12].

Belirli iklimsel özelliklere ve toprak yapısına sahip bölgelerde yapılan çalışmalar neticesinde ortaya çıkan ampirik denklemlerin, her ne kadar bazı varsayımlar yapılarak dünya genelinde farklı bölgelerde kullanılsa da benzer başarılı sonuçların alınmayacağı göz önünde bulundurulduğunda; söz konusu denklemler üzerinde gerek yerel kalibrasyon çalışmaları gerekse denklem üzerinde iyileştirme (modifikasyon) çalışmaları yapılmıştır. Örneğin, Pakistan'ın yarı kurak iklim bölgelerinde bulunan üç istasyondan alınan verilerle Modifiye BC ve HS ile aylık ET değerleri hesaplanarak, FAO-56 PM ile elde edilen ET değerleri karşılaştırılmıştır. Her iki yaklaşım da ET değerlerini FAO-56 PM denklemine kıyasla daha fazla hesaplarken, HS ile elde edilen değerlerin

modifiye BC denklemine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [13]. Kahramanmaraş–Gaziantep arasında yer alan Ballıkaya Havzasındaki buharlaşma kayıplarını tahmin etmek için yapılan bir başka çalışmada, sıcaklık bazlı Kharrufa, BC ve modifiye BC yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen değerlerin meteorolojik istasyonlardan alınan verilerle kıyaslandığı çalışmada, BC ve Modifiye BC yöntemlerinin yaz aylarındaki buharlaşma miktarlarını eksik tahmin ederken; Kharrufa yönteminin ise referans değerlerine daha yakın olduğu ifade edilmiştir [14]. Türkiye'nin batısında yer alan Gediz Havzasının farklı nehir kollarında PET tahmin yöntemlerinin test edilmesi ve daha az meteorolojik veri kullanan alternatif denklemlerinin belirlenmesinin amaçlandığı bir başka çalışmada, yirmi bir farklı eşitlik kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, radyasyona dayalı McGuinness-Bordne denkleminin en tutarlı performansı gösteren yaklaşım olduğu, ona en yakın sonuçların ise sıcaklığa dayalı Hamon yöntemi ile elde edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca çalışmada, Hamon denklemi üzerindeki sabit değerlerin yeniden kalibrasyonu sonucunda daha başarılı performans sağladığı da ifade edilmiştir [15].

1985 yılında son halini alan HS eşitliği, modifikasyon çalışmaları arasında en popüler olan denklemlerden biridir. Yapılan modifiye çalışmalarının çoğu eşitlik içerisindeki sabit değerler üzerinde yapılan değişiklikleri kapsıyor olsa da eşitliğe başka iklimsel verileri dâhil eden modifiye çalışmaları da mevcuttur. Örneğin, Türkiye genelindeki 275 istasyona ait meteorolojik veriler kullanılarak yedi coğrafi bölgede yapılan kapsamlı çalışmada, FAO-PM denklemini referans olarak HS denklemindeki üç farklı sabitin en uygun değerleri araştırılmıştır. 2000 ile 2012 yılları arasında denklemindeki söz konusu sabitlerin değişimiyle oluşan modifiye çalışmalarını bir tablo halinde sunan çalışmada, sabitlerin değişimiyle yedi farklı kombinasyon oluşturulmuştur. Ayrıca denkleme rüzgâr hızını açıklayıcı değişken olarak hesaba katan iki farklı kombinasyon eşitliği de çalışma kapsamına dahil edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda, rüzgâr hızını hesaba katan aynı

zamanda denklemin üç farklı sabitinin de modifiye edildiği kombinasyonun tüm bölgeler için en başarılı denklem olduğu belirtilmiştir. Her bir bölge için ayrı ayrı değerlendirmede bulunan çalışmada, ikinci olarak en başarılı olan kombinasyonun ise kıyı bölgeleri için orijinal HS denklemine rüzgâr hızını katan kombinasyon olduğu gözlemlenmiştir [16]. Bir başka çalışmada ise Jensen-Haise (JH) yönteminin Karadeniz bölgesi koşullarındaki aylık ortalama referans ET tahminlerinde kullanılabilirliği ve yöre iklim koşulları ile uyumlu olacak şekilde kalibrasyonunun (JH_modifiye) yapılması amaçlanmıştır. De Martonne kuraklık indeksi yöntemine göre Karadeniz bölgesinin iklim sınıflandırmasının yapıldığı çalışmada, JH denkleminin tüm iklim sınıflarında kötü performans sergilediği belirtilirken, FAO-PM denklemi için yeterli veri bulunmaması durumunda JH_modifiye eşitliğinin daha iyi bir alternatif olduğu ve nemli koşullarda referans ET tahminlerinde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır [17].

Gerek ölçümlerin yüksek maliyetleri, sürdürülebilirliği ve zorluklarından kaynaklı gerekse kısıtlı iklimsel parametrelerden kaynaklı olarak ET kayıplarının daha hassas ve kolay bir şekilde belirlenmesi için geliştirilen alternatif ampirik yaklaşımlar ve bu yaklaşımların modifikasyon çalışmalarının kullanılabilirliği büyük önem arz etmektedir. Bu doğrultuda FAO-PM değerleri referans alınarak Van ili özelinde 11 istasyona ait altı yıllık (2015-2020) iklimsel verilerle BC ve HS denklemleri ile bunların yaygın olarak kullanılan modifiye yaklaşımlarının ET tahmini üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada ayrıca farklı rakıma sahip 11 istasyonda sıcaklığın yükseklikle ilişkili olduğu dikkate alınarak BC ve HS denklemlerinin rakımla ilgili modifiye yaklaşımları da irdelenmiştir.

2. METODOLOJİ

2.1. Çalışma Alanı

Kırsal nüfusun çoğunluğunun geçim kaynağını tarım oluşturmaktadır. Kuraklığın yaşandığı tüm

(kPa/°C) ve γ , psikometrik sabiti (kPa/°C) simgeler.

Çok fazla iklimsel parametreye ihtiyaç duyan FAO-PM denkleminin karşılığı, HS ve Modifiye HS (MHS) denklemleri maksimum, minimum, ortalama sıcaklıklara (T_{max} , T_{min} , T) ek olarak dünya dışı radyasyon (R_a) (MJ/m²-gün) parametrelerini kullanırken; modifiye HS elevation (HS-el) denklemi dünya dışı radyasyona ek olarak sadece rakım parametresini kullanmaktadır. BC denklemi ise ortalama sıcaklık ve gündüz süreleri parametrelerine ihtiyaç duyarken; modifiye BC (MBC) denkleminde söz konusu iki parametreye ilaveten minimum nispi nem (RH_{min}), güneşlenme süresi (n) ve rüzgâr hızı (U) parametrelerinden türetilen katsayılar kullanılmaktadır.

2.2.2. Hargreaves-Samani (HS)

California'da 8-15 cm kırılmış çim evapotranspirasyonunu temsil eden 8 yıllık günlük lizimetre verilerini kullanan Hargreaves (1975) Eşitlik 2'yi ortaya koymuştur [22]. 1982 yılında ise Samani ile birlikte bu yaklaşımın güneş radyasyonunu, R_s (MJ/m²-gün), T_{max} 'a ve T_{min} 'e (°C) bağlı olarak Eşitlik 3'teki gibi hesaplanabileceğini önermiştir [23]. 1985 yılında ise denklem modifiye edilerek Eşitlik 4'teki haliyle sunulmuştur [24].

$$ET = 0,0135 R_s (T + 17,8) \quad (2)$$

$$R_s = K_{rs} R_a \sqrt{T_{max} - T_{min}} \quad (3)$$

$$ET_{hs} = 0,0023 R_a \sqrt{T_{max} - T_{min}} (T + 17,8) \quad (4)$$

Söz konusu eşitliklerde daha önce ifade edilen indislere ek olarak, ET_{hs} , Hargreaves-Samani'ye göre hesaplanan evapotranspirasyonu ve K_{rs} kalibrasyon katsayısını ifade etmektedir.

2.2.3. Modifiye Hargreaves-Samani (MHS)

Allen 1992 yılında yaptığı çalışma neticesinde Hargreaves-Samani denkleminin genel formunun evrensel olarak uygulanabilir olsa da denklemde

benzer tahmin doğruluğu sağlayan çok çeşitli katsayılar olduğunu ifade etmiştir [25]. Birçok çalışmada genellikle denklem içerisindeki sabit değerler (0,0023-0,5-17,8) üzerinden gerek bölgesel olarak gerekse dünya çapında denklemin tahmin doğruluğunu artırmak için modifiye çalışmaları yapılmıştır [26]. Bu çalışmada, modifiye Hargreaves eşitliği olarak Droogers ve Allen [27] tarafından geliştirilen eşitlik kullanılmıştır (Eşitlik 5).

$$ET_{mhs} = 0,0025 R_a \sqrt{T_{max} - T_{min}} (T + 16,8) \quad (5)$$

Eşitlikte kullanılan ET_{mhs} , modifiye edilmiş Hargreaves-Samani'ye göre ET miktarını göstermektedir.

2.2.4. Modifiye Hargreaves-Samani Elevation (HS-el)

El-Salvador ülkesi için elde edilen veriler neticesinde maksimum ve minimum sıcaklıkların rakımla güçlü ilişkisi olduğu bulunmuş ve ET'nin yüksekliğe bağlı olarak elde edilebileceği eşitlik, aşağıdaki gibi önerilmiştir [24]. Eşitlik 6'da el simgesi ilgili istasyonun rakımını ve ET_{hs-el} , rakımında hesaba katıldığı Hargreaves-Samani'ye göre ET miktarını göstermektedir.

$$ET_{hs-el} = R_a (0,348 - 5el \times 10^{-5}) \sqrt{1 - 0,0002el} \quad (6)$$

2.2.5. Blaney-Criddle (BC)

Blaney ve Morin (1942) tarafından önerilen eşitlik, Blaney ve Criddle (1945) tarafından geliştirilip; 1950 yılında revize edilerek Eşitlik 7'deki haliyle sunulmuştur [28-31]. Burada, ET_{bc} , p ve k simgeleri, sırasıyla, Blaney-Criddle'a göre hesaplanmış ET değerlerini, yılın gündüz saatlerinin olası aylık yüzdesini ve mevsimsel mahsul katsayısını göstermektedir.

$$ET_{bc} = k p (0,457T + 8,13) \quad (7)$$

2.2.6. Modifiye Blaney-Criddle (MBC)

Doorenbos ve Pruitt (1977) orijinal Blaney-Criddle

denkleminde, iklimin ET üzerindeki etkisinin yeterince tanımlanmadığını belirterek; eşitlikteki mevsimsel mahsul katsayısının sadece mahsulle değil iklim koşulları ile de çok değişebileceğini ifade etmiştir [32]. Eşitlikteki k katsayısı yerine nem, güneşlenme süresi ve gündüz rüzgâr hızını dikkate alan ayarlama faktörünü (c) dâhil etmişlerdir. 1977 yılına kadar yapılan çalışmalar sonucunda ise, bu değeri daha da netleştirip c faktörü yerine eşitliğe a ve b katsayılarını ekleyerek modifiye edilmiş BC değerlerini (ET_{bc}) bulmak için Eşitlik 8 ortaya konulmuştur. Eşitlik 8’de kullanılan a ve b katsayıları sırasıyla Eşitlik 9 ve 10’daki gibi hesaplanabilir.

$$ET_{mbc} = a + b \left[p(0,457T + 8,13) \right] \quad (8)$$

$$a = 0,0043 RH_{min} - \left(\frac{n}{N} \right) - 1,41 \quad (9)$$

$$b = e_0 + e_1 RH_{min} + e_2 \left(\frac{n}{N} \right) + e_3 U + e_4 RH_{min} \left(\frac{n}{N} \right) + e_5 RH_{min} U \quad (10)$$

Burada a değeri, günlük RH_{min} (%) ve gerçek güneşlenme süresi ile olası maksimum güneşlenme süresi arasındaki oranının (n/N) bir fonksiyonudur. Diğer taraftan, b değeri ise RH_{min} ve n/N ’ye ek olarak günlük gündüz rüzgâr hızı olan U (m/sn) değerlerine bağlı tablodan enterpolasyon yöntemiyle elde edilebilir. Burada kullanılan katsayılar ise e_0, e_1, e_2, e_3, e_4 ve e_5 için, sırasıyla, 0,81917, -0,0040922, -1,0705, 0,065649, -0,0059684 ve -0,0005967 olarak alınabilir [32-33].

2.2.7. Modifiye Blaney-Criddle Elevation (BC-el)

Daha yüksek rakımlarda daha düşük sıcaklıklar olabileceğinden Doorenbos ve Pruitt (1977) her 1.000 m’lik rakımlar için kurak ve yarı kurak bölgelerde %10’luk bir ayarlama yapılabileceğini belirtmiştir [32]. Allen ve Pruitt (1986) tarafından ise yükseklik eşitliğe dahil edilerek, Eşitlik 11’deki şekliyle rakıma bağlı olarak değişebilen BC denkleminin modifiye hali olan ET_{bc-el} elde

edilmiştir [34].

$$ET_{bc-el} = ET_{bc} \left(1 + 0,1 \frac{el}{1000} \right) \quad (11)$$

2.3. Performans Değerlendirme İndisleri

İstatistiksel indisler, tahminlerin referanslara yakınlığının değerlendirilmesini sağlamak amacıyla hidrologlar tarafından sıklıkla kullanılır [35-37]. Bu çalışmada ise farklı metotlara göre hesaplanan ET değerlerinin performanslarını değerlendirmek amacıyla Ortalama Bağlı Hata (OBH) ve Pearson Korelasyon Katsayısı (PCC) kullanılmıştır. OBH indisi tahmin değerlerinin referanslara yakınlığını ifade eder ve Eşitlik 12 ile hesap edilir. OBH değerleri $-\infty$ ile $+\infty$ aralığında olup “0” değeri modelin mükemmel olduğunu gösterir. Burada, negatif değerler eksik tahminlere, pozitif değerler ise fazla tahminlere işaret eder. Diğer taraftan, PCC tahmin ve referans değerleri arasındaki ilişkiyi ifade etmek için kullanılır ve Eşitlik 13 ile hesaplanabilir. PCC değeri -1 ile +1 aralığında değişirken, -1 (+1) referans ile tahminler arasında güçlü negatif (pozitif) bir korelasyon olduğunu göstergesidir.

$$OBH = \frac{\sum_{i=1}^n (ET_{t,i} - ET_{r,i})}{\sum_{i=1}^n (ET_{r,i})} \quad (12)$$

$$PCC = \frac{\sum_{i=1}^n (ET_{r,i} - \overline{ET}_r)(ET_{t,i} - \overline{ET}_t)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (ET_{r,i} - \overline{ET}_r)^2 \sum_{i=1}^n (ET_{t,i} - \overline{ET}_t)^2}} \quad (13)$$

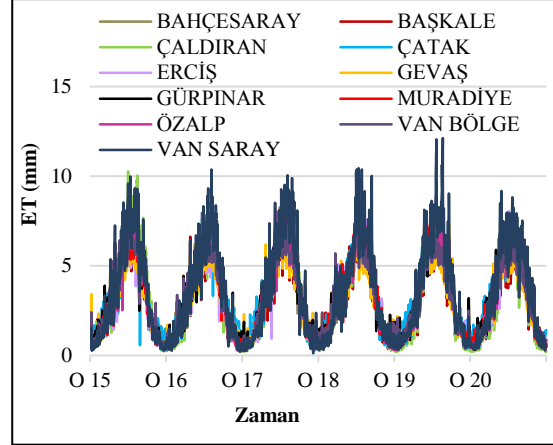
Eşitlikte kullanılan, $ET_{r,i}$ referans yöntem ile hesaplanan evapotranspirasyon değerlerini, $ET_{t,i}$ diğer metotların tahmin edilen çıktı değerlerini ve \overline{ET}_r (\overline{ET}_t) referans yöntemin (tahminlerin) aritmetik ortalamasını temsil eder.

3. BULGULAR

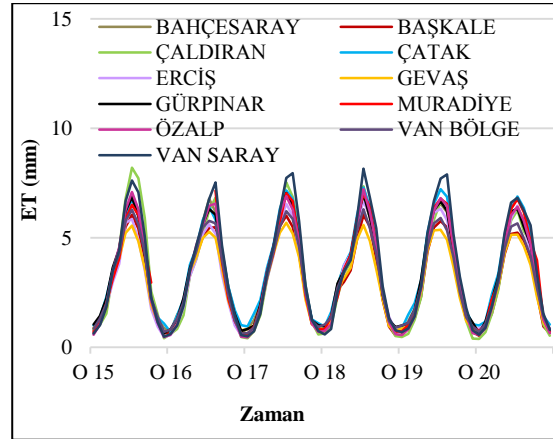
Van ilinde 11 istasyondan 2015 ve 2020 yılları arasında günlük olarak alınan verilerle FAO-PM, BC, MBC, BC-el, HS, MHS ve HS-el denklemleri kullanılarak ET hesabı yapılmıştır. Günlük

değerlerin ortalamaları alınarak aylık periyotta da değerlendirmeler yapılmıştır. Referans olarak alınan FAO-PM denklemiyle her bir istasyon verileri için hesaplanan ET değerleri Şekil 2 ve 3'te görülmektedir. Şekil 2'de günlük değerlere bakıldığında 12,12 mm/gün ile en büyük ET değeri 22/08/19 tarihinde Van Saray istasyonunda oluşmuştur. En küçük değer ise 07/12/17 tarihinde 0,13 mm/gün ile Çatak istasyonunda oluştuğu gözlemlenmiştir. Şekil 2'de birbirini takip eden günlerde ani sıçrama ve düşüşlerin sebepleri incelendiğinde sıcaklık ve nem değerlerinin normal sayılabilecek salınımlarına karşılık, rüzgâr hızındaki ekstrem değişikliklerin olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin, en büyük ET değerinin gözlemlendiği 22/08/19 tarihinde rüzgâr hızı 8,2 m/s iken, ertesi gün 4,7 m/s değerine düşmesiyle ET değerinde 2,8 mm/gün azalma izlenmiştir. Buradan, FAO-PM denklemi için rüzgâr hızının ET değerlerini etkileyen önemli bir unsur olduğu ifade edilebilir; ancak, birinci derecede etken unsur olmadığı belirtilmelidir. Çünkü birbirine yakın hatta aynı rüzgâr hızına sahip farklı günlerde sıcaklık ve nispi nem değişikliklerine bağlı olarak ET değerlerinde çok fazla dalgalanma fark edilmiştir. Aylık ortalama ET değerlerinin gösterildiği Şekil 3 incelendiğinde, en yüksek değer 2015 yılının Temmuz ayında Çaldıran istasyonunda 8,20 mm/gün'dür. En düşük değer ise yine Çaldıran istasyonunda 2020 yılının Ocak ayında 0,38 mm/gün olarak bulunmuştur. Grafikte gözlemlenen bir diğer husus da diğer 5 yılın maksimum değerlerinin altında kalarak 2020 yılındaki aylık ortalama ET değerlerinin 7 mm/gün değerini geçmediğidir. İstasyon bazında bakılacak olduğunda ise, 2015 yılında Çaldıran istasyonunun maksimum ET değerine sahip olduğu ve diğer 5 yılda ise Van Saray istasyonunun maksimum değere sahip olduğudur. ET değerlerinin yüksek olduğu yaz aylarında, en düşük aylık ortalama ET değerlerinin Gevaş istasyonunda meydana geldiği anlaşılmaktadır. Şekil 2 ve 3 birlikte incelendiğinde, genel olarak yüksek ET değerleri Haziran-Temmuz-Ağustos (yaz) aylarında gözlemlenirken, en düşük değerler ise Aralık-Ocak-Şubat (kış) aylarında gözlemlenmiştir. Yıllık ortalama değerler incelendiğinde ise, en düşük değerlerin 2,78 mm ile 2020 yılında Gevaş istasyonunda oluşurken en yüksek değerlerin 3,69

mm ile 2019 yılında Van Saray istasyonunda oluştuğu gözlemlenmiştir.



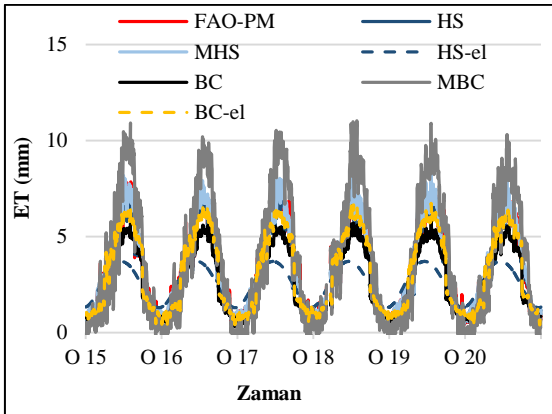
Şekil 2. FAO-PM denklemiyle hesaplanan günlük ET değerleri (mm/gün)



Şekil 3. FAO-PM denklemiyle hesaplanan günlük ET değerlerinin aylık ortalamaları (mm/gün)

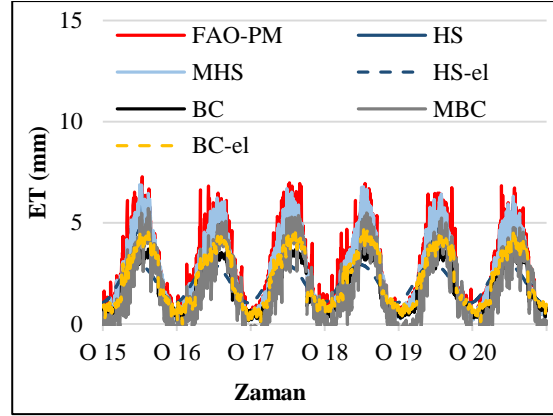
Grafiklerde süreksiz çizgilerin olması veya bazı değerlerin okunmamasının sebebi istasyonlardan alınan verilerin eksik olmasıdır. Eksik veriler ışığında ET hesabı yapılamamış ve bu durum grafiklere yansımıştır. Referans alınan FAO-PM denkleminin çok fazla veriye ihtiyaç duyması, veri eksikliğinde söz konusu denklemde hesap yapılabilmesi için önerilen yardımcı denklemler kullanılmıştır [7,21]. Doğrudan ölçülmesi gereken radyasyon verilerinin eksik olması durumunda

sıcaklık verileri kullanılarak radyasyon hesabının yapılması ya da çığ noktası (işba) sıcaklığının olmadığı durumlarda nispi nem verilerinin kullanılması yardımcı denklemler olarak sayılabilir. Daha az sayıda veriye ihtiyaç duyan HS ve BC denklemleri ve bu denklemlerin modifiye edilmiş diğer denklemleri kullanarak her bir istasyon için yapılan hesaplamaların sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Şekil 4'te I1-Bahçesaray istasyonuna ait verilerle 6 farklı ET tahminlerinin ve FAO-PM değerlerinin 01.01.2015 ile 31.12.2020 tarihleri arasındaki değişimi gösterilmektedir. Bahçesaray istasyonunda hesaplanan en yüksek ET değeri 11,03 mm olarak MBC denklemi ile hesaplanmıştır. FAO-PM denklemiyle hesaplanan ET verilerine en yakın değerler ise HS ve MHS denklemleriyle elde edilmiştir.



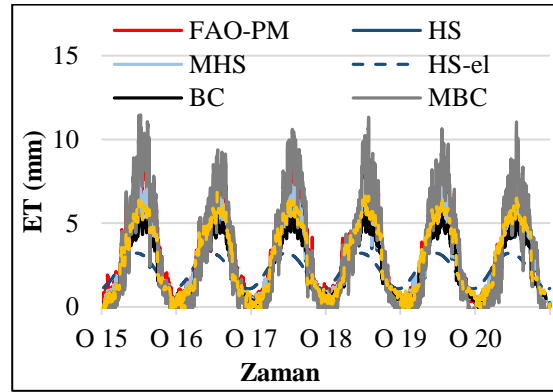
Şekil 4. I1-18235 Bahçesaray istasyonu günlük ET değerleri (mm/gün)

Şekil 5'te I2-Başkale istasyonuna ait en yüksek ET değerlerine bakıldığında, diğer istasyonlara kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. İstasyonlar arasında en yüksek rakıma sahip olan Başkale istasyonunda oluşan düşük ET değerleri, rakımla ET arasında etkileşim olduğunu göstermektedir. İstasyonda oluşan en yüksek ET değeri FAO-PM denklemi ile hesaplanan 7,26 mm değeri olmuştur. Yine Şekil 5 incelendiğinde, diğer istasyonlardan farklı olarak, en yüksek ET değerleri yıl bazında birbirine yakın değerler gösteren FAO-PM ve MHS denklemleriyle oluştuğu görülmektedir.



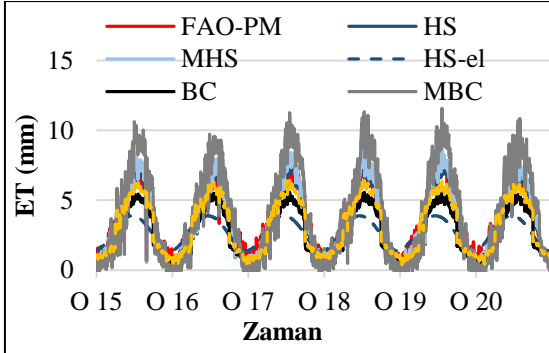
Şekil 5. I2-17880 Başkale istasyonu günlük ET değerleri (mm/gün)

Rakımı yüksek olan I3-Çaldıran istasyonunda yüksek ET değerlerinin oluşmasında bölgedeki volkanik dağın etkisi olmuştur (Şekil 6). Diğer taraftan, yükseklik arttıkça azalan sıcaklık verileri haricinde basınç, nem ve rüzgâr gibi meteorolojik verilerin değişikliği ET değerlerini etkileyen unsurlar olarak gösterilebilir.



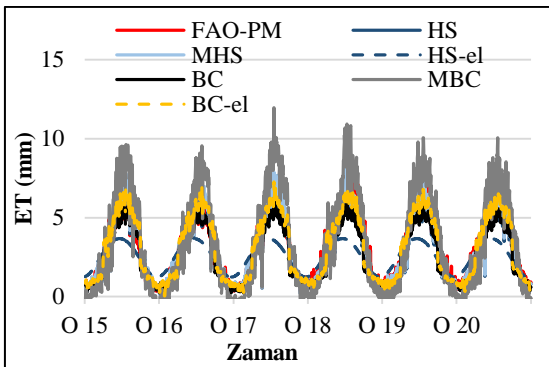
Şekil 6. I3-18238 Çaldıran istasyonu günlük ET değerleri (mm/gün)

Şekil 7'de I4-Çatak istasyonunda oluşan günlük ET değerlerine bakıldığında, diğer istasyonlara benzer olarak yaz aylarında en yüksek, kış aylarında ise en düşük ET değerleri MBC denklemiyle hesaplanmıştır. FAO-PM, HS ve MHS denklemleriyle hesaplanan ET değerleri birbirlerine yakın sonuçlar vermiştir.

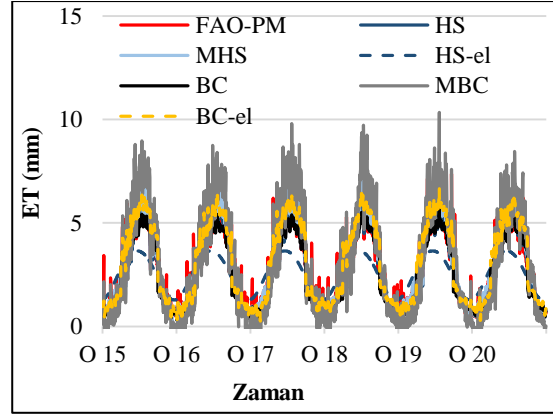


Şekil 7. I4-18583 Çatak istasyonu günlük ET değerleri

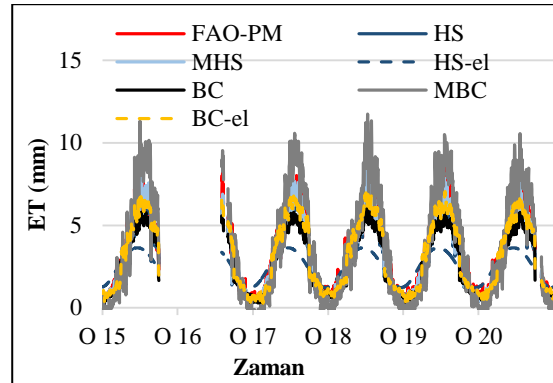
Şekil 8, 9, 10 ve 11'de, yükseklikleri birbirine yakın olan, sırasıyla, I5-Erciş, I6-Gevaş, I8-Muradiye ve I10-Van Bölge istasyonlarının günlük ET değerlerindeki farklılık hâkim rüzgâr yönü ve şiddetinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Diğer istasyonların ekserisine benzer şekilde 4 istasyonda da ekstrem değerler MBC denklemi ile elde edilirken, MBC değerlerinin BC denkleminde kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. BC-el denkleminin ise hem BC hem de MBC denklemlerine göre daha iyi olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, HS ve MHS denkleminin sonuçları birbirine yakın olmakla birlikte her ikisinin de FAO-PM denkleminde en yakın sonuçları verdiği grafiklerden elde edilen diğer bir sonuçtur. Maksimum ET değerlerinin gözlemlendiği yıllar 2017, 2018 ve 2019 olarak ifade edilebilir. Şekil 10'dan da görüleceği üzere, Muradiye istasyonundan 03.10.2015-02.08.2016 tarihleri arasında yaklaşık 10 ay gibi günlük veri alınmamıştır.



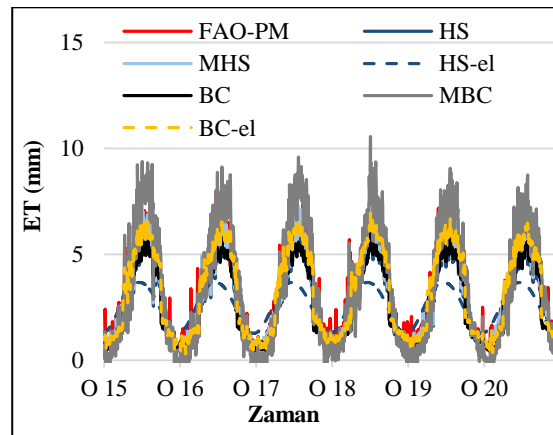
Şekil 8. I5-17784 Erciş istasyonu günlük ET değerleri (mm/gün)



Şekil 9. I6-17852 Gevaş istasyonu günlük ET değerleri (mm/gün)

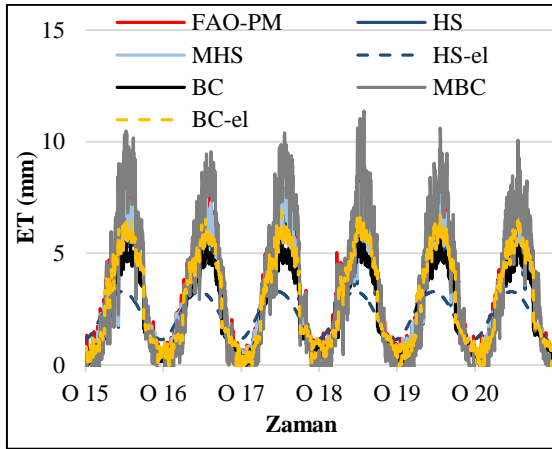


Şekil 10. I8-17786 Muradiye istasyonu günlük ET değerleri (mm/gün)

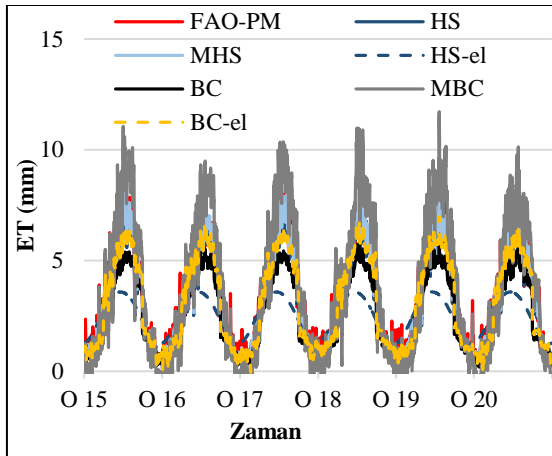


Şekil 11. I10-17172 Van bölge (İpekyolu) istasyonu günlük ET değerleri (mm/gün)

Şekil 12 ve 13'te sırasıyla I9-Özalp ve I7-Gürpınar istasyonlarının günlük ET değerlerine bakıldığında, ekstrem (en yüksek ve en düşük) ET değerlerinin MBC denklemi ile elde edilirken; HS ve MHS denklemlerinin birbirlerine çok yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Diğer taraftan, ET'yi etkileyen çok sayıda parametre olduğundan, söz konusu istasyonlar için ET değerleri arasında rakım farkı nispetinde bir değişme görülmemektedir.



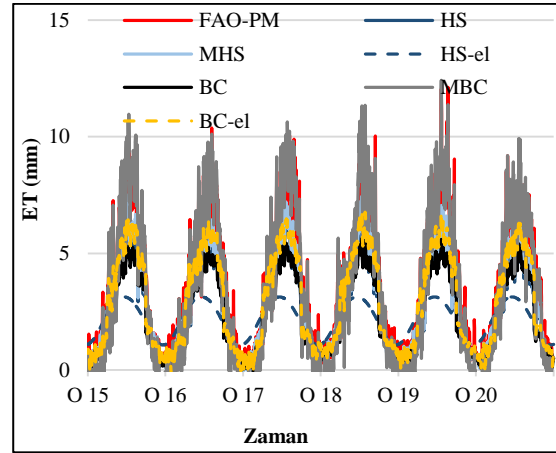
Şekil 12. I9-17812 Özalp istasyonu günlük ET değerleri (mm/gün)



Şekil 13. I7-18237 Gürpınar istasyonu günlük ET değerleri (mm/gün)

Şekil 14'te I11-Van Saray istasyonunda ise FAO-PM denklemine en yakın değerleri MBC denklemi

ile elde edilmiştir. Diğer taraftan, MBC denkleminin ekstrem ET değerlerinin elde edilmesinde diğer denklemlere kıyasla daha hassas olduğu grafikten de görülmektedir. İstasyonun yüksek rakıma sahip olmasının yanı sıra rüzgâr hızı veri setleri incelendiğinde değerlerin yüksek olması sebebiyle, fazla ET değerlerinin oluştuğu düşünülmektedir.



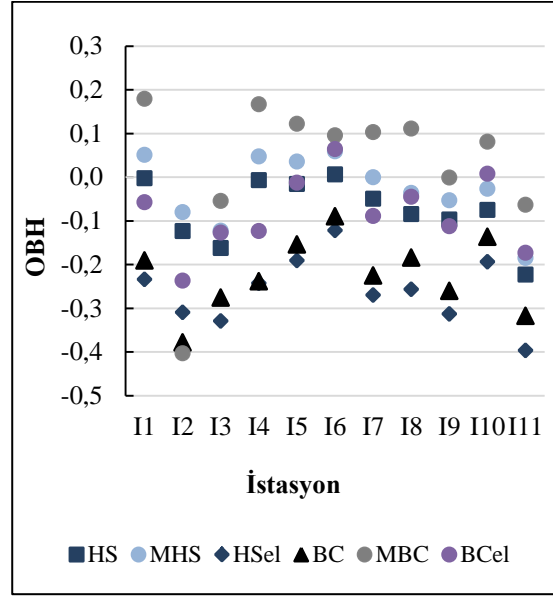
Şekil 14. I11-18585 Van saray istasyonu günlük ET değerleri

İstasyonların günlük ET grafiklerine bakıldığında, HS-el denkleminin yüksek ve düşük ET değerleri arasındaki açıklığın diğer denklemlere göre çok daha az olduğu ve tüm yıllar için düzenli bir eğri takip ettiği görülmektedir. Buna, Eşitlik 6'da sıcaklık verisinin göz ardı edilerek, sadece rakım ve dünya dışı radyasyon değişkenlerinin kullanılmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. BC denklemine bakıldığında, yine tüm yıllar için benzer eğri takip ettiği ve ET değerlerinin arttığı aylarda diğer denklemlere kıyasla (HS-el hariç), ET değerlerini daha az tahmin ettiği gözlemlenmektedir. Orijinal BC denklemi üzerinde yapılan yükseklik ayarlamasıyla oluşan BC-el denkleminin ise BC denklemine kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. MBC denkleminin hesaplanan ET değerlerinin maksimum ve minimum değerleri arasındaki farkın diğer denklemlerle hesaplanan değerler arasındaki farktan daha büyük olduğu görülmektedir. Diğer denklemlerden farklı olarak

günlük değişkenliği fazla olan minimum nem ve rüzgâr hızı parametrelerinin denkleme dâhil olması bu durumun sebebi olarak görülebilir. Tüm grafikler incelendiğinde, FAO-PM denklemiyle hesaplanan ET değerlerine en yakın değerlerin, HS yöntemiyle elde edildiği gözlemlenmektedir. FAO-PM verileri referans alınarak bakıldığında, diğer taraftan, uyumsuzluğun en fazla olduğu yaklaşım ise HS-el denklemi ile elde edilen değerlerden meydana geldiği görülmektedir.

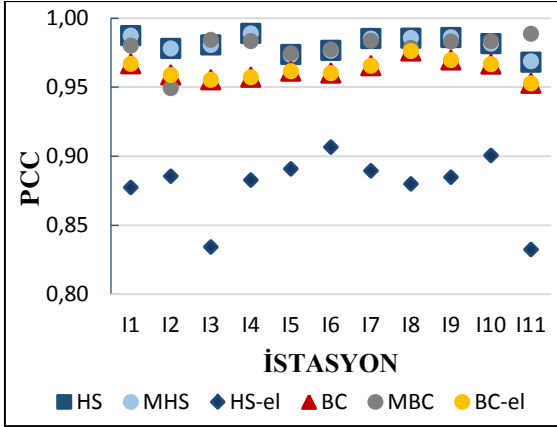
Ortalama bağıl hata değerlerini gösteren Şekil 15 incelendiğinde, FAO-PM referans değerlerine en yakın olan denklemin istasyonlara göre farklılık göstermesine rağmen genel olarak HS ve MHS denklemleri olduğu söylenebilir. MHS denkleminin Muradiye istasyonunda $-0,00041$ OBH değeriyle en iyi sonucu verdiği, Başkale ve Gürpınar istasyonlarında da diğer denklemlerden daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bahçesaray, Çatak ve Gevaş istasyonlarında, yaklaşık olarak sıfır OBH değerleriyle HS denklemi diğer denklemlere göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Diğer istasyonlarda ise, HS eşitliğiyle elde edilen ET değerleri FAO-PM'ye kıyasla, $-0,22$ ile $-0,02$ aralığında değişen negatif yönlü OBH eğilimine sahiptir. Çaldıran, Özalp ve Van Saray istasyonlarındaki OBH sonuçları incelendiğinde ise negatif yönlü ($-0,001$ ile $-0,063$ arasında değişen) MBC denklemi ile en iyi değerler elde edilmiştir. Diğer istasyonlarda ise pozitif OBH değerleri sonucunda ET değerlerini fazla tahmin ettiği görülmektedir. Erciş (OBH= $-0,012$) ve Van Bölge (OBH= $-0,008$) istasyonlarında BC-el denklemi diğer denklemlere göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Tüm istasyonlarda negatif OBH eğiliminde olan HS-el ve BC yaklaşımlarının, ET değerlerini FAO-PM denkleminde göre çok daha az tahmin ettiği ve tüm eşitlikler arasında en kötü sonuçları verdiği görülmektedir. Şekil 15'ten elde edilen diğer bir sonuç ise, ET tahminlerindeki modifikasyonların BC denklemi üzerindeki olumlu etkisidir. Başkale istasyonu hariç olmak üzere sonuçlar incelendiğinde, tüm istasyonlarda BC yönteminin elde edilen ortalaması $-0,207$ ve OBH değerleri $-0,318$ ile $-0,089$ arasında değişirken; bu oran

MBC denklemiyle $0,074$ ortalama ve $-0,063$ ile $0,1796$ aralığında değişmektedir.



Şekil 15. OBH indisi grafiği

Şekil 16'da Pearson korelasyon değerleri incelendiğinde, en kötü sonuçların $0,832$ ile $0,907$ arasında değişen HS-el ile elde edildiği gözlemlenmektedir. Tüm istasyonlarda kullanılan HS, MHS, BC, MBC, BC-el yaklaşımlarının korelasyon değerleri $0,949$ ile $0,989$ gibi yüksek değerler arasında değişmektedir. Ayrıca, PCC bakımından sonuçlar irdelendiğinde, BC denklemi ve onun üzerinden yapılan yükseklik ayarı ile modifiye edilen BC-el denklemlerinin korelasyonlarının birbirinin aynı çıkması doğal bir sonuç olarak görülebilir. Ancak diğer grafikler incelendiğinde, BC-el denkleminin BC denklemine göre daha iyi sonuçlar verdiği ve rakımsal modifikasyon çalışmasının iyi netice verdiği gözlemlenmiştir. Grafikten elde edilen diğer bir sonuç ise HS ve MHS denklemlerinden elde edilen PCC değerlerinin birbirine yakın çıkmasıdır. Metotların tamamının tüm istasyonlardaki korelasyon değerleri bakımından sonuçları incelendiğinde, en iyi PCC değerlerinin $0,98$ ve $0,99$ düzeylerinde değişen HS, MHS ve MBC denklemleri olduğu görülmektedir.



Şekil 16. PCC indisi grafiği

4. SONUÇLAR

Çalışmada Van ilindeki 11 istasyona ait günlük çözünürlüklü meteorolojik verilerden (6 yıllık) yararlanılarak FAO-Penman-Monteith, Hargreaves-Samani, Modifiye Hargreaves-Samani, Hargreaves-Samani-Elevation, Blaney-Criddle, Modifiye Blaney-Criddle ve Blaney-Criddle-Elevation eşitlikleri ile günlük evapotranspirasyon değerleri hesaplanmıştır. Tüm denklemlerden elde edilen sonuçlar referans alınan FAO-PM denklemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve modifiye çalışmaların ET üzerindeki etkisi incelenmiştir.

HS yönteminin FAO-PM ile elde edilen değerlere daha yakın sonuçlar verdiği gözlemlenirken; denklem içerisindeki sabit değerler üzerinden yapılan modifiye çalışmaları ile oluşan MHS denkleminin Başkale, Gürpınar ve Muradiye istasyonlarında, sırasıyla, $-0,08$, $0,00$ ve $-0,4$ OBH değerleriyle HS denkleminde daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. İstasyonlardaki PCC değerleri bakımından sonuçlar incelendiğinde, $0,98-0,99$ aralığında değişen yüksek korelasyona sahip HS ve MHS denklemlerinin FAO-PM denklemi yerine kullanılabilirliği görülmektedir. HS denklemi üzerinde yapılan söz konusu modifiye çalışmalar sonucunda, literatürdeki diğer modifiye denklemlerin de ayrı bir inceleme ve değerlendirilmesi yapılabilir. Sadece dünya dışı

radyasyon ve yükseklik verilerine ihtiyaç duyan HS-el eşitliğinin ise farklı rakım ve bölgelerde bulunan 11 istasyonun olduğu Van ilinde, OBH bakımından yüksek negatif yönlü tahminlerin hâkim olduğu ($-0,39$ ile $-0,12$ arasında değişen), ortalama $0,87$ PCC ($0,83-0,91$) ile diğer yöntemlere kıyasla iyi sonuçlar vermediği görülmektedir. Hargreaves-Samani 1985 yılında ET değerlerinin maksimum ve minimum sıcaklık verilerinin yükseklikle yakın bir ilişkisi olan yerlerde yükseklik verilerini kullanarak hesaplanabileceğini belirtmiştir. ET'yi etkileyen birçok farklı parametre olduğundan söz konusu bu ilişkiye Van ilinde bulunan istasyonlarda rastlanmamıştır.

Ortalama $-0,22$ OBH ve $0,96$ PCC değerlerine sahip BC denkleminde kıyasla ortalama $0,03$ OBH ve $0,98$ PCC değerlerine sahip MBC denkleminin daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. BC denklemi ile aynı korelasyon değerine sahip BC-el eşitliğinin ise ortalama $-0,08$ OBH değeriyle yine BC denkleminde göre daha iyi olduğu görülmektedir. Bu anlamda BC denklemi üzerinde yapılan modifiyeler ET hesabında iyi sonuçlar vermiştir. BC denklemi içerisinde k mevsimsel mahsul katsayısı ayrıntılı bir şekilde incelenebilir. Her iki denklem için de hem k katsayısı hem de a ve b katsayıları daha iyi sonuçlar almak adına ayrıntılı bir şekilde incelenip düzenleme yapılabilir. BC denklemi üzerinde yapılan yükseklik ayarlaması sonucu oluşan BC-el denklemi aynı şekilde daha iyi sonuçlar vermesine rağmen bazı istasyonlarda geri planda kalmıştır. Bu minvalde de aynı yükseklik düzenlemesinin MBC denklemi üzerinde yapılarak sonuçlar incelenebilir.

Evapotranspirasyon tahmininde yaygın olarak kullanılan Hargreaves-Samani ve Blaney-Criddle alternatif ampirik yaklaşımlar ve bu yaklaşımların modifikasyon etkileri Van ili genelinde değerlendirildiğinde, orijinal denklemlerine kıyasla modifiye çalışmalarının sonuçlardaki performansta olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Belirli iklimsel özelliklere ve toprak yapısına sahip bölgelerde yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkan ampirik yaklaşımların farklı çalışma alanlarında da uygulanabilirliğinin test edilmesi

gereğini göz ardı etmeyerek çeşitli modifikasyon çalışmaları da başka bir araştırma konusu olabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Yates, D., Strzebek, K., 1994. Potential Evapotranspiration Methods and their Impact on the Assessment of River Basin Runoff under Climate Change. International Institute for Applied Systems Analysis, WP-94-46, Laxenburg, Austria, 28.
2. Kagele, W.C., 1985. An Evaluation of Potential Evapotranspiration Estimates for Selected Sites within Arizona. Master of Science with a Major in Soil and Water Science. University of Arizona, 77.
3. Dingman, S. L., 2002. Physical Hydrology. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, Second Edition, 646.
4. Doğan Demir, A., Meral, R., 2016. Bingöl İli Koşullarında Referans Bitki Su Tüketiminin Doğrudan ve Farklı Tahmin Yöntemleri ile Belirlenmesi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 3, 45-51.
5. Bağcı, S. Ç., Şarlak, N., 2019. Karaman İli Potansiyel Evapotranspirasyon Tahmini. Soil Water Journal, Special Issue, 1-8. <https://doi.org/10.21657/topraksu.654742>.
6. Liu, B., Cui, Y., Shi, Y., Cai, X., Luo, Y., Zhang L., 2019. Comparison of Evapotranspiration Measurements Between Eddy Covariance and Lysimeters in Paddy Fields under Alternate Wetting and Drying Irrigation. Paddy Water Environment, 17, 725-739. <https://doi.org/10.1007/s10333-019-00753-y>.
7. Allen, R.G., Periera, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agriculture Organization of the UN, Rome, Italy, 300.
8. Şarlak, N., Bağcı, S.Ç., 2020. Ampirik Potansiyel Evapotranspirasyon Tahmin Yöntemlerinin Değerlendirilmesi: Uygulama Konya Kapalı Havzası, Teknik Dergi, 1-18. <https://doi.org/10.18400/tekderg.408019>.
9. Chowdhury, A., Gupta, D., Das, D.P., Bhowmick, A., 2017. Comparison of Different Evapotranspiration Estimation Techniques for Mohanpur, Nadia District, West Bengal. International Journal of Computational Engineering Research (IJCER), 7, 33-39.
10. Brouwer, C., Heibloem H., 1986. Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs, Irrigation Water Management Training Manual No. 3, Land and Water Development Division FAO Via delle Terme di Caracalla 00100 Rome, Italy, 102.
11. Koç, D.L., 2022. Çukurova Yöresi Koşullarında Bazı Buharlaştırma Modellerinin Performanslarının Değerlendirilmesi. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 19 (1), 145-155. <https://doi.org/10.33462/jotaf.938894>.
12. Dlouha, D., Dubovsky, V., Pospisil, L., 2021. Optimal Calibration of Evaporation Models against Penman-Monteith Equation. Water, 13(11), 1484. <https://doi.org/10.3390/w13111484>.
13. Hafeez, M., Chatha, Z.A., Khan, A.A., Gulshan, A.B., Basit, A., Tahira, A., 2020. Comparative Analysis of Reference Evapotranspiration by Hargreaves and Blaney-Criddle Equations in Semi-Arid Climatic Conditions, Current Research in Agricultural Sciences, 7(2), 525-57. <https://doi.org/10.18488/journal.68.2020.72.52.57>.
14. Elağca, A., Diş, M.Ö., 2021. Temperature-Driven Evaporation Analysis over Ballıkaya Catchment. Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A- Applied Science and Engineering, 22(3), 290-298. <https://doi.org/10.18038/estubtda.911741>.
15. Okkan, U., Kıymaz, H., 2020. Questioning of Empirically Derived and Locally Calibrated Potential Evapotranspiration Equations for a Lumped Water Balance Model. Water Supply, 20(3), 1141-1156. <https://doi.org/10.2166/wcc.2019.292>.
16. Çıtakoğlu, H., Haktanır, T., 2016. Türkiye Referans Evapotranspirasyon Değerlerinin Sıcaklığa Bağlı Olarak Tahmini için En Uygun Hargreaves-Samani Denklemi Belirlenmesi. T.C. Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (Proje No. FBA-2014-4875), Kayseri, 24.

17. Usta, S., 2022. Karadeniz Bölgesi İklim Koşullarına Uygun Jensen Haise Yöntemi Referans Evapotranspirasyon Tahmin Eşitliklerinin Geliştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 38, 415-427. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1130701>.
18. Arslan, F., Ergül, M., 2014. Çayören Barajı Sulama Havzası ve Çevresinde Tarımsal Faaliyetler. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(1), 171-190. <https://doi.org/10.16992/ASOS.63>.
19. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., Miller, H. L. (Eds.), 2013. IPCC, Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996.
20. DEM, 2021. Geographic Information Systems, Digital Elevation Model Data Website, <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Erişim Tarihi: 10.09.2021.
21. Penman, H. L., 1948. Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil, and Grass. *Royal Society of London Proceedings, Series A*, 193,120-145. <https://doi.org/10.1098/rspa.1948.0037>.
22. Hargreaves, G. H., 1975. Moisture Availability and Crop Production. *Trans. ASAE*, 18(5), 980-984. <https://doi.org/10.13031/2013.36722>.
23. Hargreaves, G. H., Samani, Z. A., 1982. Estimating Potential Evapotranspiration. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 108(3), 225-230. <https://doi.org/10.1061/JRCEA4.0001390>.
24. Hargreaves, G. H., Samani, Z. A., 1985. Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1 (2), 96-99. <https://doi.org/10.13031/2013.26773>.
25. Allen, R. G., 1992. Evaluation of a Temperature Difference Method for Computing Grass Reference Evapotranspiration. Report Submitted to FAO, Rome, 50.
26. Hargreaves, G. H., Allen, R. G., 2003. History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration Equation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129, 53-63. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2003\)129:1\(53\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2003)129:1(53)).
27. Droogers, P., Allen, R.G., 2002. Estimating Reference Evapotranspiration under Inaccurate Data Conditions. *Irrigation and Drainage System*, 16, 33-45. <https://doi.org/10.1023/A:1015508322413>.
28. Blaney, H.F., Morin, K.V., 1942. Evaporation and Consumptive Use of Water Empirical Formulas. *Transactions American Geophysical Union*, 23, 76-83. <https://doi.org/10.1029/TR023i001p00076>.
29. Blaney, H.F., Criddle, W.D., 1945. Determining Water Requirements in Irrigated Areas from Climatological Data. Processed, 17.
30. Blaney, H.F., Criddle, W.D., 1950. Determining Water Requirements in Irrigation Areas from Climatological and Irrigation Data, United States Department of Agriculture. Soil Conservation Service, Washington, D.C, 48.
31. Blaney, H.F., Criddle, W.D., 1962. Determining Consumptive Use and Irrigation Water Requirements, United States Department of Agriculture in Cooperation with the Office of Utah State Engineer. Technical Bulletin No. 1275, Washington, D.C, 59.
32. Doorenbos, J., Pruitt, W.O., 1977. Crop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy, 144.
33. Shahidian, S., Serraheiro, R., Serrano, J., Teixeira, J., Haie, N., Santos, F., 2014. Hargreaves and Other Reduced-Set Methods for Calculating Evapotranspiration. *Evapotranspiration-Remote Sensing and Modeling*, 23, 59-80.
34. Allen, R.G., Pruitt, W.O., 1986. Rational Use of the FAO Blaney-criddle Formula, *Journal Irrigation and Drainage Engineering*, 112, 139-155. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1986\)112:2\(139\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1986)112:2(139)).
35. Krause, P., Boyle, D.P., Base, F., 2005. Comparison of Different Efficiency Criteria for Hydrological Model Assessment. *Advances in Geosciences*, 5, 89-97. <https://doi.org/10.5194/adgeo-5-89-2005>.
36. Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., Veith, T.L., 2007.

- Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations, Transactions of the ASABE. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 50(3), 885-900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>.
37. Dis, M. O., Anagnostou, E., Mei, Y., 2018. Using High-Resolution Satellite Precipitation for Flood Frequency Analysis: Case Study over the Connecticut River Basin. Journal of Flood Risk Management, 11, 514-526. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12250>.

N25P5K5 Türü Yeni Nesil Bir Bitki Besininin Kuruma Kinetiğinin Regresyon ve Makine Öğrenme Yöntemleri ile Belirlenmesi

İlyas KACAR¹ ORCID 0000-0002-5887-8807
Cem KORKMAZ*² ORCID 0000-0003-1062-4581

¹Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Niğde

²Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 20.05.2022

Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: KACAR, İ., KORKMAZ, C., (2022). N25P5K5 Türü Yeni Nesil Bir Bitki Besininin Kuruma Kinetiğinin Regresyon ve Makine Öğrenme Yöntemleri ile Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 989-1003.

Öz

Gittikçe artan dünya nüfusunun gıda ihtiyacını karşılayabilmek için araştırmacılar tarımsal verimin artırılmasına yönelik yoğun bir şekilde çalışmaktadırlar. Bu çalışmaların önemli bir kısmını; zirai, katı atık vb. ürünlerin kuruma davranışının modellenmesi oluşturmaktadır. Verimli bir kurutma sayesinde kaliteli ürün ve enerji tasarrufu elde edilmektedir. Bu çalışmada yeni nesil bitki besinlerinden biri olan %25 azot, %5 fosfor ve %5 potasyum karışımının kuruma davranışı modellenmiştir. Kurumanın modellenebilmesi için sadece regresyon değil aynı zamanda makine öğrenme yöntemleri de kullanılmıştır. Makine öğrenme yöntemlerinden yapay sinir ağları ve uzun-kısa süreli bellek yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerin hem kuruma verisini modellemede hem de ileriye yönelik verilerin tahminindeki performansları araştırılmıştır.

Kurutma deneylerinden elde edilen nem verisi kullanılmıştır. Veriler eğitim, doğrulama ve test kümelerine ayrılmıştır. Performans değerlendirme kriterleri olarak hata fonksiyonları, korelasyon ve determinasyon katsayıları kullanılmıştır. Sonuç olarak yapay sinir ağı ve uzun-kısa süreli bellek metotlarının hem eğitim hem de test verileri üzerindeki tahmin performanslarının regresyon yöntemlerine göre oldukça iyi olduğu görülmüştür. Yapay sinir ağı tahmin performansının uzun-kısa süreli bellek yönteminden daha başarılı olduğu ve en iyi tahmin performansını verdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kurutma, Yapay sinir ağı, Uzun-kısa süreli bellek, Regresyon, Makine öğrenmesi, Yapay zekâ

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Cem KORKMAZ, ckorkmaz@cu.edu.tr

Determination of Drying Kinetics of a N25P5K5 Type New Generation Plant Food by Regression and Machine Learning Methods

Abstract

To meet the food needs of the growing world population, researchers are working intensively on increasing agricultural productivity. An important portion of these studies are the modelling of drying behaviour of agricultural products, solid waste etc. An efficient drying leads to quality products and energy savings. In this study; the drying behaviour of a new-generation plant food consisting of a mixture of 25% nitrogen, 5% phosphorus and 5% potassium is modelled. For modelling of drying, not only regression but also machine learning methods were used. Artificial neural networks and long short-term memory methods were used as the machine learning technics. The performance of these methods was investigated on modelling the drying behaviour and forecasting the future data.

Moisture data obtained from the drying experiments were used. The data is divided into training, test, and validation sets. Error functions, correlation and determination coefficients were used as the performance evaluation criteria. As a result, it has been seen that the prediction performances of artificial neural networks and long short-term memory methods on both training and test data are quite good compared to regression methods in this study. It has been determined that the artificial neural network prediction performance is more successful than the long short-term memory method and gives the best prediction performance.

Keywords: Drying, Artificial neural network, Long short-term memory, Regression, Machine learning, Artificial intelligence

1. GİRİŞ

Gıda, tarım ürünleri, katı atıkların ayrıştırılması vb. alanlarda ürünlerin kuruma kinetiğinin belirlenmesi ile bu tür ürünleri üreten işletmelerin verimliliğine ve ürün kalitesine önemli katkılar sağlanabilmektedir. Kaliteli ürün ise sekiz milyara yaklaşan dünya nüfusuna yetecek tarım yapabilmek için gereklidir. Bu nedenle ülkemizde bu alanda faaliyet gösteren işletmelerin dünya standartlarında ürün elde edebilmeleri bir zorunluluktur.

Organik gübre üreticilerinin en büyük problemi ise her farklı gübre tipi için optimum işletme parametrelerine ihtiyaç duymalarıdır. Ancak, genellikle bünyelerinde araştırma geliştirme veya ürün geliştirme faaliyetleri bulunmayan küçük ve orta ölçekli işletmelerin deneme-yanılma yöntemi ve kişisel tecrübe ile gerçekleştirdikleri parametre tespiti süreci pahalı hatta bazen tutarsız bir yöntem olmaktadır. Bu tür işletmelerin başka bir çözüm yöntemi ise sektörde endüstriyel olarak gelişmiş firmaları taklit etmeleridir. Optimum kurutma parametrelerin belirlenmesi proses

simülasyonlarının verimliliği için de önemlidir. Zira bu tür simülasyonlar sadece ürünün kuruma davranışı değil aynı zamanda tüm sürecin fiziği hakkında bilgi verebilen yöntemlerdir.

Kurutma davranışının tespiti için kolay bir diğer yöntem ise pek çok araştırmacı tarafından literatüre kazandırılmış olan matematiksel modellerin kullanılmasıdır. Literatürde pek çok hazır matematiksel model mevcuttur [1-3]. Bu modellerin çoğu polinomsal, üstel, logaritmik vb. fonksiyonlardan elde edilen sonuçların, kurutma deneylerinden elde edilen verilere eğri uydurması ile keşfedilmiş ampirik bağıntılardır. Örneğin; nohut tanesinin leblebi üretimi için baharat kaplanmasında logaritmik modelin başarılı olduğu görülmüştür [1]. Doğada çözünebilen ambalaj ve tekstil maddesi üretiminde son yıllarda sıklıkla kullanılan zeytin çekirdeğinin kurutulmasının modellenmesinde ise polinomsal fonksiyonların başarılı olduğu bildirilmiştir [2].

Literatürdeki hazır bağıntıların kullanılması kolay olmakla birlikte farklı ürün türlerinin birbirlerinden

farklı olan kuruma davranışları, hatta aynı ürünün kurutulmasında bile kurutma şartlarındaki olası değişimlerin yol açtığı farklılıklar nedeni ile kuruma davranışı tahminlerinde büyük sapmalar meydana gelebilmektedir. Bu durumda da her bir kuruma deneyini ayrı ayrı gerçekleştirip deneysel sonuçlara eğri uydurulması ile mevcut ilişkiyi tespit etmek mantıklı bir başka seçenektir. Bu nedenle çoğunlukla regresyon yöntemi kullanılmaktadır. Ancak regresyonlar tarımdan tıba kadar her türlü deneysel veri üzerinde kullanılagelen kadim bir yöntem olsa da sadece mevcut veri kümesini temsil edebilmede kullanışlı olmuştur. Aralık ötesindeki durumların tahminindeki başarıları ile ilgili literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu gibi dezavantajları olmayan alternatif bir başka yöntem ise yapay sinir ağları (YSA), yapay zekâ (AI), uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS), uzun kısa süreli bellek (LSTM) gibi pek çok teknik içeren makine öğrenme algoritmalarıdır. Bu yöntemler kuruma davranışını tahmin etmede son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır [4-6]. Biyolojik malzeme olan organik katı atığın kurutulmasında nem içeriğinin zamanla değişimini tahmin etmede YSA'nın umut verici sonuçlar verdiği belirtilmiştir [6]. YSA, insan beynindeki sinir ağlarının çalışmasını taklit eden yazılımsal bir tekniktir. İlk olarak McCulloch ve Pitts (1943) tarafından geliştirilmiş olan ve yıllardır birçok mühendislik uygulamasında kullanılan bir matematiksel araçtır [7]. Enerji santrallerinden [8-10] tıba kadar [11] pek çok alanda kullanılmaktadır. Zirai kurutma işlemlerinin modellenmesinde ise yeni yeni kullanılmaktadır. Sıcak hava ile yapılan bir sebze-meyve kurutma işlemi için sıcaklığa ve hıza bağlı olarak nem difüzyonunu, enerji tüketimini ve kurutma kinetiğini %99 doğrulukta tahmin edilebilen bir YSA modeli oluşturulabildiği görülmüştür [12]. Başka bir kurutma işleminde ise en düşük enerji tüketiminin tahmin edilmesinde YSA modelinin yüksek doğrulukta sonuçlar verdiği görülmüştür [13]. Ancak YSA kullanmada karşılaşılan bir güçlük, YSA oluşturmak için gereken parametrelerin seçiminde henüz belirli bir kuralın mevcut olmamasıdır. Parametrelerin; deneysel veri ve modelle hesaplanan değerler arasındaki korelasyonu en yüksek veya farkı en düşük yapacak şekilde,

deneme-yanılma yoluyla tespit edilmekte olduğu görülmüştür [14,15]. Ayrıca bir YSA eğitimi esnasında gerçekleştirilen iterasyonların gereğinden fazla olması halinde *aşırı öğrenme* [16] olarak adlandırılan bir ağ hatası oluşabilmektedir. Saklı katman ve nöron sayılarının azaltılması ile ağdaki aşırı öğrenme hatasının azaldığı belirtilmiştir. [17]. YSA eğitimi için kullanılan pek çok algoritma arasında Levenberg-Marquardt algoritması hız ve kararlılık sağladığı için çokça tercih edilmektedir [18].

Zaman serileri halinde veriye sahip olaylarda uzun-kısa süreli bellek (LSTM) olarak adlandırılan bir derin öğrenme ağının kullanılabildiği görülmüştür. LSTM ağları bir tür tekrarlı yapay sinir ağı olup makine öğrenmesinin bir başka türüdür [19,20]. Zirai ürünlerin ve yiyeceklerin kurutulmasında kurutma kinetiğinin yüksek doğrulukta belirlenmesi açısından LSTM ağının deneysel çalışma sonuçlarına en yakın tahmini verebildiği belirtilmiştir [21].

Mevcut çalışmalar ışığında tarım, gıda, katı atıklar vb. ürünlerin kuruma davranışının modellenmesi için açık literatürde pek çok çalışmanın olduğu, ancak %25 azot, %5 fosfor, %5 potasyum karışımından oluşan yeni nesil bitki besininin kuruma kinetiğinin belirlenmesine ilişkin çalışmaların yok denebilecek kadar az olduğu görülmüştür. Makine öğrenme yöntemleri ile oluşturulan modellerin ise deneysel sonuçlara yüksek uyum sağlayabildiği görülmüş olup bu yöntemlerin yeni nesil gübre kurutulmasında da kullanım potansiyeline sahip olabileceği hipotezi ortaya atılarak konunun incelenmesine karar verilmiştir. Bu çalışmada; mezkûr bitki besininin; regresyon, YSA ve LSTM yöntemleri ile kurutma modelleri elde edilmiştir. Uygun ağ parametrelerinin nasıl tespit edildiği izah edilmiştir. Yöntemlerin başarı yüzdeleri hata kriterleri kullanılarak karşılaştırılmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. Model Performanslarının Ölçülmesi

Modellerin verimliliğini değerlendirmenin en pratik yolu; deneylerden ölçülen veri ile modeller

tarafından tahmin edilen veri arasındaki farka bakmaktır. Bu amaçla da hata analizi yapmak yaygın bir fark belirleme yöntemidir. En sık kullanılan hata fonksiyonları Eşitlik 1’de verilmiştir. Birden fazla veri arasındaki ilişkiyi tespit etmek için ise korelasyon veya determinasyon katsayılarını kullanmak yaygın bir başka yöntemdir. Korelasyon katsayısının hesaplandığı formül ise Eşitlik 2’de verilmiştir.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (p(t) - o(t))^2 \quad (1.a)$$

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (1.b)$$

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

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{t=1}^N \frac{|p(t)-o(t)|}{o(t)} \quad (1.d)$$

Burada MSE ifadesi hatanın karelerinin ortalaması, $RMSE$ ise MSE ’nin kareköküdür. MAE , ortalama mutlak hata ve $MAPE$ ise ortalama mutlak yüzde hatadır. $o(t)$ değeri; t zaman adımıdaki deneysel olarak ölçülen veri, $p(t)$ değeri ise t adımıdaki tahmin edilen veridir.

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

Burada \bar{p} ve \bar{o} ifadeleri sırası ile tahmin edilen ve ölçülen değerlerin ortalamasıdır. N , veri kümesindeki toplam veri sayısıdır. Korelasyon katsayısının 1’e yakın olması, iki veri kümesi (model sayesinde oluşturulan eğri ile deneysel veri) arasındaki ilişkinin yüksek olduğunu göstermektedir. Korelasyon katsayısının karesine determinasyon katsayısı R^2 , denmektedir. Korelasyona ek olarak Eşitlik 3’te verilen standart sapma e_s ve ortalama kare sapma değeri χ^2 de kullanılabilir.

$$e_s = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N [(p(t)-o(t))]^2}{N}} \quad (3.a)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{t=1}^N [(p(t)-o(t))]^2}{N-Prm} \quad (3.b)$$

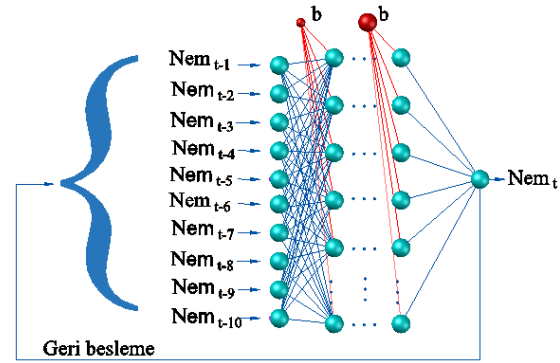
Burada Prm , kurutma modelindeki parametre sayısıdır.

2.2. YSA ile Modelleme

Esasen bir YSA modeli oluşturulabilmesi için aşağıdaki temel ağ özelliklerinin teknik gereği bu modele katılması lâzım olup bunların türü ve sayısı deneme-yanılma yöntemi ile belirlenmektedir. Ve YSA modelinin başarısı üzerinde çok etkilidir.

- Aktivasyon fonksiyonu
- Eğitim algoritması
- Ağın içerdiği saklı katman sayısı
- Saklı katmanlardaki nöron sayısı
- Kümedeki verinin bölünme oranı
- Eğitim esnasında gerçekleşen iterasyon sayısı
- Öğrenme hızı, momentum

Bu çalışmada Şekil 1’de şematik olarak gösterilen ileri beslemeli, çok katmanlı, lineer olmayan, kendini tekrarlayan denetimli bir ağ kullanılmıştır [22]. Bu tür ağlara çok katmanlı algılayıcı (ÇKA) ağı da denmektedir. Çıkış, t zaman adımıdaki nem olup, giriş ise $t-1, t-2, \dots, t-10$ olmak üzere geriye dönük on adet ardışık zaman adımıdaki nem değerleridir. Harici bir giriş yoktur. b terimi, gerektiğinde ağı yönlendirmek için hesaplamaya dahil edilen saptırma (bias) terimleri olup istatistik ve makine öğreniminde bir modelin tahmin değerlerinde iyileşme sağlayabilen özelliklerden biridir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan ÇKA ağ topolojisi

Optimum ağ özelliklerinin tespiti için saklı katmanlarda aktivasyon fonksiyonu olarak lineer, sigmoid ve tanjant hiperbolik kullanılmışken çıkış katmanında lineer fonksiyon kullanılmıştır. Öğrenme

algoritmaları olarak da Levenberg-Marquardt, Bayesian Regularization ve Conjugate Gradient algoritmaları denenmiştir. Saklı katman sayısı 1, 2 ve 3 olarak denenmiştir. Her saklı katmanda sırası ile 5, 10 ve 15 nöron kullanılmıştır. Veri kümesinin %80'i eğitim %10'u doğrulama ve %10'u test amaçlı ayrılmıştır. Öğrenme hızı olarak momentum için varsayılan değerler kullanılmıştır. Eğitim durdurma da maksimum iterasyon sayısı 1000 olarak belirlenmiştir. Ağlar yazılım [23] vasıtasıyla oluşturulmuştur. Bu değerler kullanıldığında elde edilen ağ performansları sırası ile Çizelge 1, 2 ve 3'te verilmiştir. Optimum parametrelerin belirlenmesinde hata değerini en az yapan veya deneysel nem değerine en yakın tahmine sahip olan model parametrelerinin seçilmesi amaçlanmıştır.

Ağların eğitiminde, Çizelge 1'de Levenberg-Marquardt, Çizelge 2'de Bayesian Regularization ve Çizelge 3'de Conjugate Gradient algoritmalarının kullanılmasında elde edilen başarı performans değerleri verilmiştir.

Çizelge 1. Levenberg-Marquardt algoritması ile eğitilen ağların özellikleri ve başarı performansları

Saklı katman sayısı	Nöron sayısı	Aktivasyon fonksiyonu	R	MSE (gr^2)	İterasyon
1	5	Lineer	0,99854	5,86E-05	16
1	5	Sigmoid	0,99868	6,17E-05	36
1	5	Hiperbolik	0,99956	6,57E-05	32
1	10	Lineer	0,9999	7,03E-05	12
1	10	Sigmoid	0,99997	2,36E-01	24
1	10	Hiperbolik	0,99821	8,08E-04	8
1	15	Lineer	0,99983	1,46E-04	20
1	15	Sigmoid	0,99741	4,17E-04	12
1	15	Hiperbolik	0,99878	1,56E-04	84
2	5	Lineer	0,99796	1,79E-04	16
2	5	Sigmoid	0,99741	6,98E-04	8
2	5	Hiperbolik	0,99979	1,60E-04	12
2	10	Lineer	0,99998	1,08E-04	12
2	10	Sigmoid	0,99971	1,57E-04	20
2	10	Hiperbolik	0,99177	8,92E-05	8
2	15	Lineer	0,99703	4,08E-04	8
2	15	Sigmoid	0,99949	1,94E-04	20
2	15	Hiperbolik	0,99704	6,68E-04	8
3	5	Lineer	0,99866	4,99E-05	8
3	5	Sigmoid	0,99987	4,47E-05	12
3	5	Hiperbolik	0,99661	1,33E-05	36
3	10	Lineer	0,99994	2,68E-04	12
3	10	Sigmoid	0,99873	3,44E-04	12
3	10	Hiperbolik	0,99851	8,83E-05	52
3	15	Lineer	0,99836	1,04E-04	16
3	15	Sigmoid	0,99952	2,24E-04	20
3	15	Hiperbolik	0,99956	3,47E-04	8

Çizelge 1 incelendiğinde tek katmanda, bütün aktivasyon fonksiyonları için 5 nöronlu ağın en az hataya sebebiyet verdiği görülmüştür. İki katmanda

bütün aktivasyon fonksiyonları için 10 nöronun en az hataya sebep olduğu görülmüştür. Üç katmanda ise bütün aktivasyon fonksiyonları için 5 nöronlu ağın en az hataya sebep olduğu görülmüştür.

Çizelge 2 incelendiğinde tek katmanda bütün aktivasyon fonksiyonları için 15 nöronlu ağın en az hataya sebep olduğu görülmüştür. İki katmanda bütün aktivasyon fonksiyonları için 15 nöronlu en az hataya sebep olduğu görülmüştür. Üç katmanda ise bütün aktivasyon fonksiyonları için 15 nöronlu ağın en az hataya sebep olduğu görülmüştür. Çizelge 2'den, Bayesian Regularization algoritmasının diğer eğitim algoritmalarına göre daha fazla iterasyon gerektirdiği görülmektedir. Ayrıca yer yer $R=1,0$ korelasyonuna ulaşmıştır. Ancak bu durum, aşırı öğrenme hatasının oluşmuş olabilmesi ihtimalini beraberinde getirmektedir. Yer yer iterasyon sayısının 1000 adet sınırına dayandığı görülmektedir. Yani, yakınsama elde edilemeden hesaplama kesilmiştir. Bu durumlar bu algoritmanın yakınsama hususunda kararlılık sağlamadığını göstermektedir. Üstelik iterasyon sayılarının fazlalığı da hesaplama hızının yavaş olmasına yol açmaktadır. Bu nedenlerle, Bayesian Regularization eğitim algoritmasının kullanılmasına karar verilmiştir.

Çizelge 2. Bayesian Regularization algoritması ile eğitilen ağların özellikleri ve başarı performansları

Saklı katman sayısı	Nöron sayısı	Aktivasyon fonksiyonu	R	MSE (gr^2)	İterasyon
1	5	Lineer	0,99891	2,3E-04	1000
1	5	Sigmoid	0,99999	4,5E-07	60
1	5	Hiperbolik	1	4,0E-07	65
1	10	Lineer	0,99429	1,3E-03	3
1	10	Sigmoid	1	3,0E-07	80
1	10	Hiperbolik	0,99999	3,0E-08	140
1	15	Lineer	0,99894	1,8E-04	1000
1	15	Sigmoid	1	3,6E-09	255
1	15	Hiperbolik	1	2,1E-08	175
2	5	Lineer	0,99429	1,3E-03	2
2	5	Sigmoid	0,99998	7,3E-09	112
2	5	Hiperbolik	0,99429	1,3E-03	2
2	10	Lineer	0,99429	1,4E-03	2
2	10	Sigmoid	0,99999	2,9E-09	122
2	10	Hiperbolik	0,99999	6,7E-09	100
2	15	Lineer	0,99888	2,7E-04	1000
2	15	Sigmoid	1	1,3E-09	114
2	15	Hiperbolik	0,99999	2,6E-13	333
3	5	Lineer	0,99429	1,3E-03	1
3	5	Sigmoid	1	4,4E-09	125
3	5	Hiperbolik	0,99429	1,2E-03	3
3	10	Lineer	0,99429	1,4E-03	2
3	10	Sigmoid	1	1,1E-09	133
3	10	Hiperbolik	0,99429	1,3E-03	2
3	15	Lineer	0,99429	1,2E-03	2
3	15	Sigmoid	1	5,2E-10	180
3	15	Hiperbolik	0,99429	1,3E-03	3

Çizelge 3'te, Conjugate Gradient algoritmasının kullanılması halinde elde edilen değerler verilmiş olup parametrelerin, aktivasyon fonksiyonu, nöron sayısı ve saklı katman sayısına göre değişimi rastgeledir. Yer yer sıfır iterasyon veya 1'e ulaşan korelasyon görülmektedir. Üstelik, parametreler arasında da tutarlı bir ilişki elde edilememiştir. Bu nedenlerle, Conjugate Gradient eğitim algoritmasının kullanılmamasına karar verilmiştir.

Çizelge 3. Conjugate Gradient algoritması ile eğitilen ağların özellikleri ve başarı performansları

Saklı katman sayısı	Nöron sayısı	Aktivasyon fonksiyonu	R	MSE (gr ²)	İterasyon
1	5	Lineer	0,9984	1,0E-04	2
1	5	Sigmoid	0,9995	8,8E-05	21
1	5	Hiperbolik	0,9993	3,5E-05	13
1	10	Lineer	0,9999	2,0E-04	6
1	10	Sigmoid	0,9994	5,8E-04	13
1	10	Hiperbolik	0,9999	5,7E-05	17
1	15	Lineer	1,0000	8,7E-05	3
1	15	Sigmoid	0,9996	2,7E-04	3
1	15	Hiperbolik	0,9987	2,9E-04	14
2	5	Lineer	0,9992	2,9E-04	2
2	5	Sigmoid	0,9999	2,3E-05	5
2	5	Hiperbolik	0,9993	2,6E-05	11
2	10	Lineer	0,9977	3,6E-04	5
2	10	Sigmoid	0,9983	9,8E-05	4
2	10	Hiperbolik	0,9972	4,5E-04	32
2	15	Lineer	0,9999	1,2E-04	10
2	15	Sigmoid	0,9970	4,0E-05	7
2	15	Hiperbolik	0,9979	5,8E-05	45
3	5	Lineer	0,9999	3,6E-05	11
3	5	Sigmoid	0,9899	1,8E-03	0
3	5	Hiperbolik	0,9990	5,0E-05	20
3	10	Lineer	0,9995	4,2E-04	7
3	10	Sigmoid	0,9995	1,6E-04	12
3	10	Hiperbolik	0,9993	1,5E-03	5
3	15	Lineer	0,9999	1,4E-04	15
3	15	Sigmoid	0,9984	4,5E-04	5
3	15	Hiperbolik	0,99188	8,6E-04	0

Netice itibarıyla; eğitim algoritması olarak Levenberg-Marquardt algoritmasının diğer iki algoritmaya göre daha tercih edilebilir olduğu görülmüştür. Ağın, her katmanında 5'er adet nöron bulunan, 3 adet saklı katmanlı ve tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonlu özellikle olmasına karar verilmiştir. Seçilen ÇKA ağı ve eğitimine dair parametreler Çizelge 4'te verilmiştir.

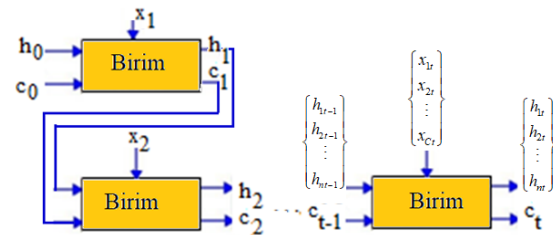
Çizelge 4. Seçilen ÇKA ağının özellikleri

Parametre	Değer
Öğrenme işleminde hata ölçütü	MSE=0,008 gr ²
Maksimum iterasyon sayısı	1000
Saklı katman sayısı	3
Saklı katmandaki nöronların sayısı	5

Saklı katman(lar)daki aktivasyon fonksiyonu	Tanjant hiperbolik
Eğitim algoritması	Levenberg-Marquardt
Bağlı olduğu önceki veri sayısı, <i>d</i>	10 (nem)
Giriş düğümleri	10
Çıkış düğümleri	1 (nem)
Çıkış eşliği	0,99
Öğrenme hızı, η	0,1
Momentum, α	0,1
Öğrenme eşliği	0,0001
Veri kümesi bölünmesi	Eğitim 2882 adet, test 720 adet

2.3. LSTM ile Modelleme

Bir LSTM ağ katmanı şematik olarak Şekil 2'de verilmiş olup $\{x\}$ girdi değişkeni kümesi, $\{h\}$ çıktı değişkeni kümesi ve $\{c\}$ hücre durumunu içeren değişkenlerdir.



Şekil 2. Bir LSTM ağ katmanı

h_t , Eşitlik 4 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$h_t = o_t \odot \tanh(c_t) \quad (4)$$

\odot sembolü Hadamard çarpımını [24] temsil etmektedir. o_t çıkış kapısı olup h_t için hücre durumunu ayarlamaktadır. c_t Eşitlik 5 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$c_t = f_t \odot c_{t-1} + i_t \odot g_t \quad (5)$$

Burada i_t giriş kapısı sayesinde hücre durumunun güncelleme seviyesi belirlenmektedir. f_t unutma kapısı olup hücre durumunun sıfırlama seviyesi kontrol edilebilmektedir. g_t hücre adayı olup hücre durumuna bilgi sağlar. Bu değişkenler Eşitlik 6'da verilen bağıntılar ile hesaplanmaktadır.

$$i_t = f(W_i x_t + R_i h_{t-1} + b_i) \quad (6.a)$$

$$f_t = f(W_f x_t + R_f h_{t-1} + b_f) \quad (6.b)$$

$$o_t = f(W_o x_t + R_o h_{t-1} + b_o) \quad (6.c)$$

$$g_t = \tanh(W_g x_t + R_g h_{t-1} + b_g) \quad (6.d)$$

Burada $f(t)$ ile verilen fonksiyon sigmoid aktivasyon fonksiyonudur. W ve R sırasıyla girdi ve tekrarlayan birimin ağırlıklardır. b ise bias'tır.

Tıpkı ÇKA ağında olduğu gibi LSTM ağında da toplam veri kümesinin ilk %80'i eğitim verisi olarak kullanılmış ve geriye kalan %20'lik kısım ise test amaçlı kullanılmıştır. LSTM ağırları yazılımsal kodlar [25] ile oluşturulmuştur.

2.4. Regresyon ile Modelleme

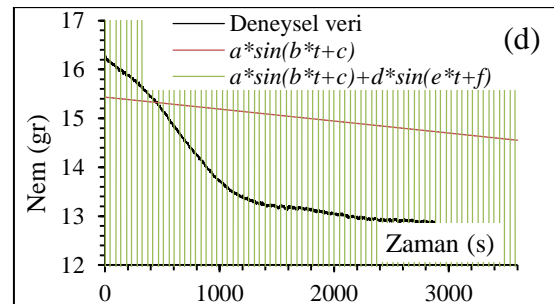
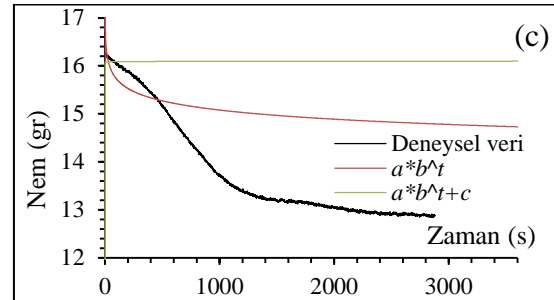
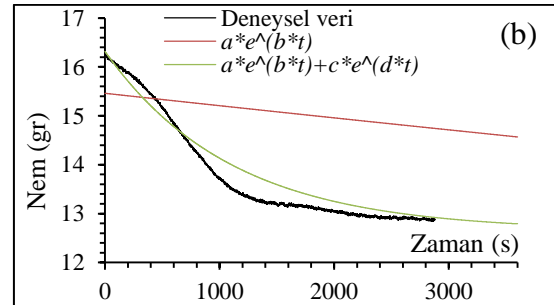
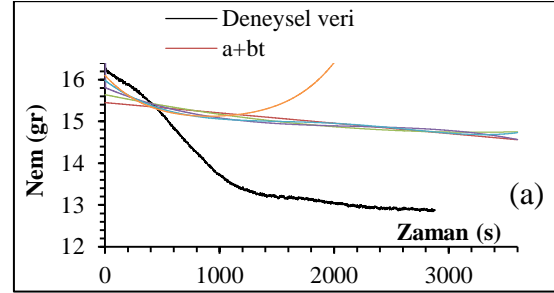
Nem bağımlı, *zaman* ise bağımsız değişkenlerdir. Regresyon için pek çok türde fonksiyon mevcut olup yazarların önceki çalışmasında kullandıkları fonksiyonların [26] burada da uygun olup-olmadığının tespiti amacıyla bir ön inceleme yapılmıştır. Ön incelemede kullanılan fonksiyonların verdiği eğriler Şekil 3'te ve bu fonksiyonların parametreleri, korelasyon ve hata değerleri Çizelge 5 ve 6'da verilmiştir. Regresyonların performanslarının görülebilmesi için ön incelemede bütün deneysel veriler kullanılmıştır. Şekil 3'teki grafikler, verilerin elde edildiği sıraya göre çizdirilmiştir. Şekil 3-b'den görüleceği üzere deneysel veriye en uygun olabilecek fonksiyon türü çok terimli eksponansiyel fonksiyondur. Regresyonlar için güven düzeyi %95 olarak ayarlanmıştır. Maksimum iterasyon limiti 400 olarak belirlenmiş olmasına rağmen tüm modellerin en fazla 11 iterasyonda yakınsadığı görülmüştür. Parametrelerin başlangıç değerleri olarak sıfır kullanılmıştır.

Regresyonda kullanılacak olan eksponansiyel fonksiyonun genel ifadesi Eşitlik 7'de verilmiştir.

$$f(t) = \sum_{i=0}^1 C_i e^{(A_i * t)} \quad (7)$$

Burada, C_i katsayıları ve A_i üsleri fonksiyon parametreleri olup regresyon ile tespit edilmiştir. t zamandır. $f(t)$ zamana bağlı değişen nem fonksiyonudur. Aşırı öğrenmeye engel olmak için de K kez çapraz doğrulama ($K=5$) uygulanmıştır

[17,27]. Regresyonlar yazılım ile gerçekleştirilmiştir [28].



Şekil 3. Deneysel veri ve farklı regresyon fonksiyonların kıyaslandığı ön analiz; (a) polinom, (b) eksponansiyel, (c) üstel, (d) trigonometrik

Çizelge 5. Regresyon fonksiyonlarının katsayıları

Denklem	a	b	c	d
$a+bt$	15,45	-2,47E-04		
$a+bt+ct^2$	15,64	-5,54E-04	8,54E-08	
$a+bt+ct^2+dt^3$	15,81	-1,15E-03	4,98E-07	-7,63E-11
$a+bt+ct^2+dt^3+et^4$	15,98	-2,05E-03	1,62E-06	-5,63E-10
$a+bt+ct^2+dt^3+et^4+ft^5$	16,10	-2,98E-03	3,41E-06	-1,89E-09
$a*e^{(b*t)}$	15,46	-1,65E-05		
$a*e^{(b*t)}+c*e^{(d*t)}$	15,25	-1,10E-05	0,912	-4,52E-03
$a*b^t$	17,11	-1,83E-02		
$a*b^t+c$	0,94	1,31E-01	17,4	
$a*\sin(b*t+c)$	42,2	6,21E-06	2,77	
$a*\sin(b*t+c)+d*\sin(e*t+f)$	86,2	5,07E-04	0,811	71,3

Çizelge 6. Regresyon fonksiyonlarının katsayıları (devam)

Denklem	e	f	R ²	RMSE (gr)
$a+bt$			0,805	0,126
$a+bt+ct^2$			0,889	0,095
$a+bt+ct^2+dt^3$			0,944	0,068
$a+bt+ct^2+dt^3+et^4$	6,75E-14		0,998	0,014
$a+bt+ct^2+dt^3+et^4+ft^5$	4,82E-13		1,000	0,006
$a*e^{(b*t)}$			0,809	0,125
$a*e^{(b*t)}+c*e^{(d*t)}$			0,992	0,026
$a*b^t$			0,9515	0,0629
$a*b^t+c$			0,969	0,050
$a*\sin(b*t+c)$			0,8044	0,1263
$a*\sin(b*t+c)+d*\sin(e*t+f)$	5,60E-04	3,8	0,4786	0,2062

İlave olarak YSA esaslı regresyon da uygulanmıştır. Tür olarak parametrik olmayan ve Bayesian bir yaklaşım olan Gauss regresyonu (GPR) yöntemi kullanılmıştır [29]. GPR yöntemi $i = 1, 2, \dots, n$ olmak üzere $f(x_i)$ şeklinde saklı değişkenler kullanılmaktadır. İşlem, Gauss esaslı gerçekleştirildiğinden dolayı da bir regresyon fonksiyonu yerine her bir veri için ayrı ayrı Eşitlik 8’de genel formda tanımlanmaktadır [30].

$$f(x_i) \sim GP(m(x_i), k(x_i, x_j)) \quad (8)$$

Burada $m(x_i)$ ortalama fonksiyon, $k(x_i, x_j)$ ’ler ise kovaryans çekirdek fonksiyonu olarak adlandırılmaktadır. x_i, x_j ’ler ($i \neq j = 1, 2, \dots, n$) eğitim veri kümesindeki veridir. x_i giriş olup y_i ise cevaptır. N kümedeki toplam veri sayısıdır. Bu çalışmada ortalama fonksiyon sıfır alınmıştır. Kovaryans çekirdek fonksiyonunun pek çok çeşidi mevcut olup bu çalışmada Eşitlik 9 ile verilen karesel eksponansiyel türünde bir kovaryans çekirdek fonksiyonu kullanılmıştır.

$$k(x_i, x_j) = \sigma_f^2 e^{-\frac{r^2}{2\sigma_l^2}} \quad (9)$$

Burada r değeri x_i ve x_j arasındaki Öklid mesafesi olup $r = \sqrt{(x_i - x_j)^T(x_i - x_j)}$ eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bu kovaryans çekirdek fonksiyonunun hiperparametre olarak adlandırılan iki adet parametresi olup bunlar σ_l uzunluk ölçeği ve σ_f sinyalin standart sapmasıdır [31]. GPR modellerinin parametrik olmadığı düşünülse de σ_l , σ_f gibi hiperparametreler bu yöntemin tahmin yeteneklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Kovaryans çekirdek fonksiyonu kısıtsız parametre olarak adlandırılan bir dizi θ ile parametreleştirilmektedir. Hiperparametreler ile olan ilişkisi ise $\sigma_l = e^{\theta_l}$ ve $\sigma_f = e^{\theta_f}$ olarak verilmektedir. Genellikle kovaryans çekirdek fonksiyonunun θ ’ya bağımlılığını açıkça belirtmek için $k(x_i, x_j | \theta)$ şeklinde ifade etmek de mümkündür.

Tıpkı ÇKA ve LSTM’de olduğu gibi regresyon metodunda da modellerin aralık dışındaki tahmin performansını elde edebilmek amacıyla verinin ilk %80’i regresyon ile eğri uydurmada kullanılmışken geri kalanı ise uydurulan eğrinin tahmin performansını belirlemeye ayrılmıştır.

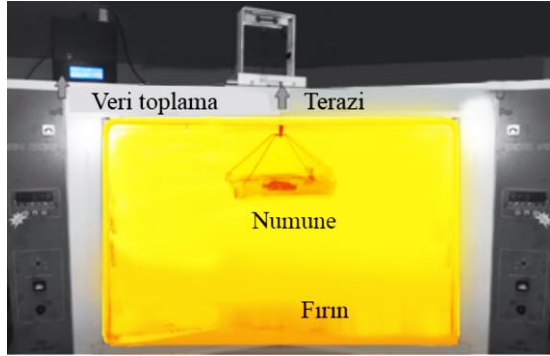
2.5. Nem Tayini Deneyleri

Bu çalışmada numune olarak yeni nesil N25P5K5 bitki besini kullanılmış olup malzemenin nominal içeriği Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 7. N25P5K5 malzemesinin içeriği

İçerik	Ağırlık (%)
Azot (NO ₃)	14,5
Azot (NH ₄ NO ₃)	10,5
Fostat (P ₂ O ₅)	5
Potasyum oksit (K ₂ O)	5
Demir üç oksit (Fe ₂ O ₃)	3,02
Alüminyum üç oksit (Al ₂ O ₃)	1,64
Mangan oksit (MnO)	0,05
Magnezyum oksit (MgO)	0,25
Kalsiyum oksit (CaO)	6,18
Sodyum oksit (Na ₂ O)	1,84
Hidrat (H ₂ O ⁻)	0,7
Nem (H ₂ O ⁺)	33,32
Kükürt trioksit (SO ₃)	8
Organik madde	10

Kurutma deneylerinin yapıldığı ve nem verisinin toplandığı ünite, Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Kurutma deneylerinin yapıldığı ve nem verisinin toplandığı ünite

Sıcaklığı değiştirilerek ayarlanabilen bir ETÜV' de, veri toplama cihazı ile terazideki numunenin üç saniyede bir kütle ölçümü yapılmıştır. Başlangıç kütlesi ile son kütle arasındaki fark uçurulan nem miktarını vermektedir. Deneyler 70°C, 75°C, 80°C sıcaklıklarda uygulanmıştır. Nem ölçümü üç saat boyunca gerçekleştirilmiştir. Her bir deneyde toplam 3602 adet veri toplanmıştır. Grafikler çizileceği zaman veri âdetine göre değil geçen zamana göre çizildiği için zaman eksenini 10806 saniyeye kadar ilerlemektedir.

Her bir deney üç kez tekrar edilmiştir. Tekrarlar arasındaki standart sapma, e_s değeri, başlangıç ve son kütle için Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8. Deney tekrarlarına ilişkin değerler

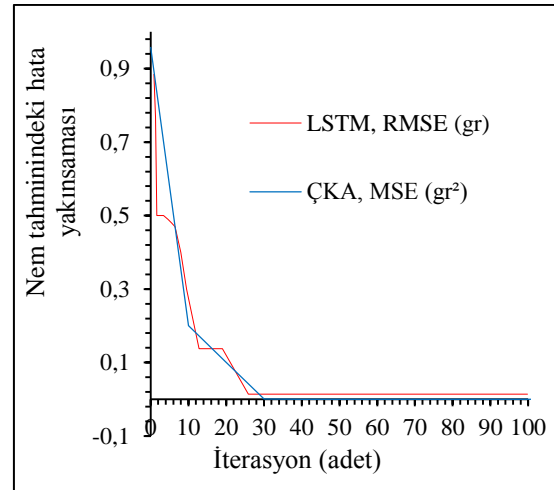
Sıcaklık (°C)	Ortalama nemli kütle (gr)	Ortalama kuru kütle (gr)	e_s (gr)
80	15,81	14,26	0,0156
75	16,58	15,53	0,0195
70	13,66	12,54	0,0134

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Doğrulamalar

Eğitilen ÇKA ve LSTM ağırları test verileri ile doğrulanmış olsa bile ilaveten eğitim süresince hataların değişimi izlenerek Şekil 5'te

gösterilmiştir. Bu şekilde de anlaşılacağı üzere; hata değeri 36 iterasyondan sonra daha da düşmemekte ve kararlılığını korumaktadır. Sonuç olarak, optimum iterasyon sayısı sayesinde aşırı öğrenme hatasının önüne geçilmesinin yanında gereksiz hesaplama maliyeti ve süresinden de kaçınılmıştır.



Şekil 5. Ağların eğitimi esnasında hatanın değişimi

Bu doğrulamalara ilave olarak Çizelge 9'da ÇKA ağırlarının hem eğitim hem de test esnasındaki performans göstergeleri verilmiştir. ÇKA ağırlarının en fazla 0,201 mg hata ile tahminde bulunduğu görülmüştür. Ayrıca, eğitim esnasında yaptığı tahminin, test esnasında yaptığı tahminden daha başarılı olduğu görülmektedir.

Çizelge 9. ÇKA'nın tahmin ve eğitim performansı

Sıcaklık (°C)	Tahmin		Eğitim	
	RMSE (gr)	R	RMSE (gr)	R
80	0,000195	0,919	0,000187	0,992
75	0,000206	0,491	0,000201	0,997
70	0,000208	0,411	0,000186	0,996

Çizelge 10'da LSTM'nin test esnasındaki performans göstergeleri verilmiştir. LSTM'nin kullanılması ile hatanın 14 mg olabildiği görülmüştür.

Çizelge 10. LSTM ağının tahmin performans göstergeleri

Sıcaklık (°C)	RMSE (gr)	MAE (gr)	MAPE (%)	R
80	0,027	0,023	0,153	0,926
75	0,014	0,011	0,071	0,509
70	0,014	0,011	0,085	0,444

Çizelge 11’de; YSA ile yapılan regresyondan elde edilen hiperparametreler ve RMSE değeri görülmektedir. En az 13 mg hata ile tahmin elde edilmiştir. Bütün yöntemler arasında en iyi korelasyonun elde edildiği metot budur. Zira korelasyon katsayısı 1,0’a ulaşabilmiştir.

Çizelge 11. YSA ile yapılan regresyona ait hiperparametreler ve eğitim verisi üzerindeki performans göstergesi

Sıcaklık (°C)	σ_l	σ_f	R^2	RMSE (gr)
80	0,51791	0,01786	1,00	0,015932
75	0,849	0,0382	1,00	0,013400
70	1,583	0,00931	0,99	0,013035

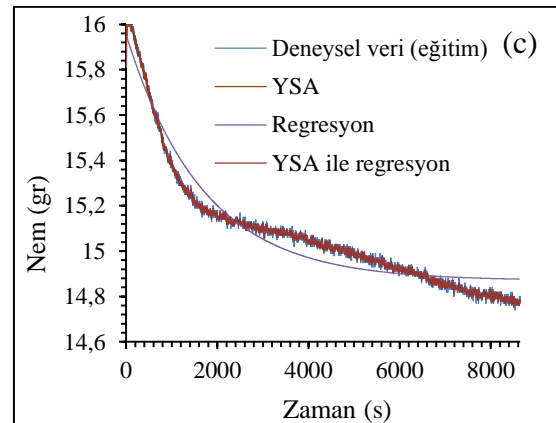
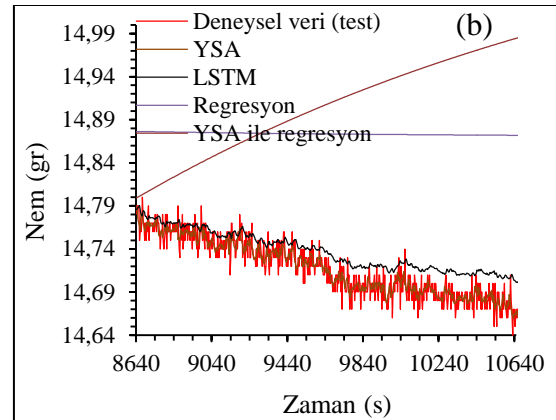
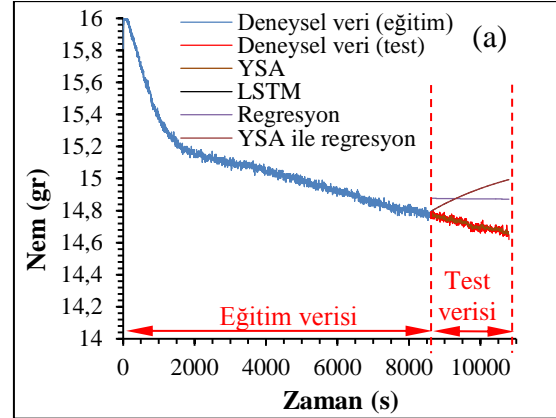
Çizelge 12. Ekspansiyel regresyona ait parametreler ve eğitim verisi üzerindeki performans göstergesi

Sıcaklık (°C)	C_0	C_1	A_1	R^2	RMSE (gr)
80	14,87	1,08400	-0,0005928	0,945	0,064
75	15,79	0,92656	-0,0009295	0,987	0,022
70	12,99	0,79000	-0,0035880	0,973	0,026

Çizelge 12’de ise ekspansiyel regresyondan elde edilen fonksiyon parametreleri ve hata değerleri görülmektedir. Bütün sıcaklıklar için $A_0 = 0$ olmuştur. En az 22 mg hata ile tahmin elde edilmiştir.

3.2. Tahmin Verileri

Deneylerden elde edilen nem değerleri, bu veri üzerinden alınan eğitim, test bölümleri ve modellerin tahmin performanslarını gösteren eğriler Şekil 6-8’de verilmiştir. Şekillerdeki alt şekiller vasıtası ile modellerin performansları gösterilmiştir. LSTM yönteminin performansı sadece test verisi üzerinden elde edilebilmiş olduğundan dolayı eğitim verisi üzerindeki tahmin değerleri verilememiştir.

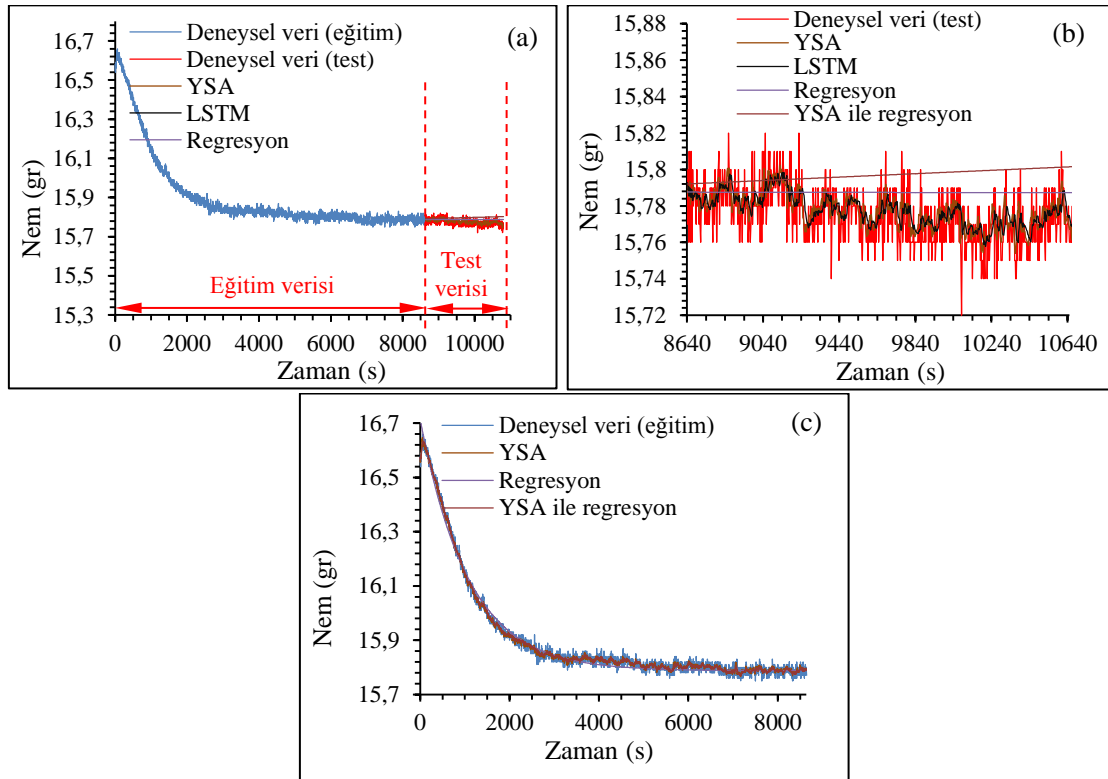


Şekil 6. 80°C’de kurutulan numune için oluşturulan modellerin (a) veri kümesinin bölümlenmesi, (b) test verisini tahmin performansları, (c) eğitim verisini temsil edebilme performansları

80 °C'de kurutulan numune için deneysel ve modellerden elde edilen eğriler Şekil 6'da gösterilmiştir. Eğitim verisi üzerinde eksponansiyel regresyon hariç tüm modellerin eğrilerinin deneysel veri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Test verisinin tahmininde; ÇKA ve LSTM açısından elde edilen eğrilerin, deneysel veriye iyi uyduğu, eksponansiyel ve YSA regresyonlarından elde edilen eğrilerin ise en kötü uyuma sahip olduğu görülmüştür.

75 °C'de kurutulan numune için deneysel ve modellerden elde edilen eğriler Şekil 7'de

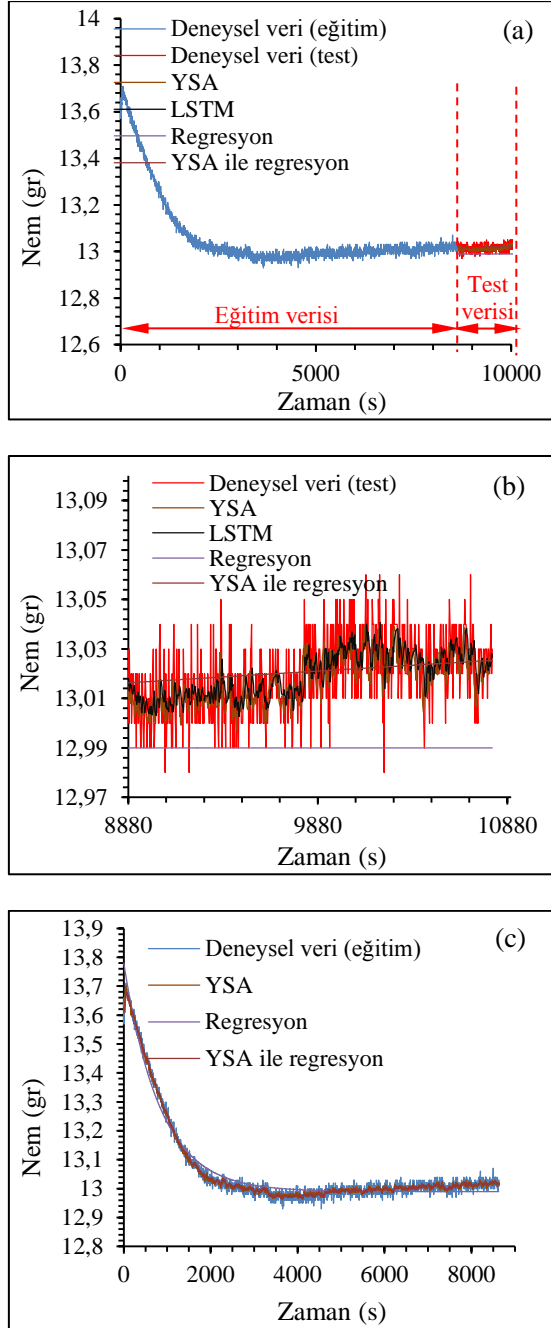
gösterilmiştir. Eğitim verisi için tüm modellerin eğrilerinin deneysel veri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bütün modellerin test verisi üzerindeki performanslarının ise deneysel veriyi tahmin etmede iyi olduğu, ÇKA ve LSTM açısından elde edilen eğrilerin en iyi uyuma sahip olduğu görülmüştür. Regresyonların uyumlu olmasının nedeninin, kurutma eğrisinin sabit bir davranışta olduğu düz bir hale gelmiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Zira regresyonlar hâlâ düz davranışlarını muhafaza etmektedirler.



Şekil 7. 75 °C'de kurutulan numune için oluşturulan modellerin (a) veri kümesinin bölümlenmesi, (b) test verisini tahmin performansları, (c) eğitim verisini temsil edebilme performansları

70 °C'de kurutulan numune için deneysel ve modellerden elde edilen eğriler Şekil 8'de gösterilmiştir. Eğitim verisi üzerinde tüm model eğrilerinin deneysel veri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bütün modellerin test verisi üzerindeki performanslarının, deneysel veriyi tahmin etmede iyi olduğu, ÇKA ve LSTM açısından

elde edilen eğrilerin ise en iyi eğriyi verdiği görülmüştür. Regresyonların uyumlu olmasının nedeninin kurutma eğrisinin sabit bir davranışta olması, düz bir hale gelmiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Zira regresyonlar hâlâ düz davranışlarını muhafaza etmektedirler.



Şekil 8. 70 °C’de kurutulan numune için oluşturulan modellerin (a) veri kümesinin bölümlenmesi, (b) test verisini tahmin performansları, (c) eğitim verisini temsil edebilme performansları

3.3. Tartışma

ÇKA, LSTM, regresyon modellerinin tamamının eğitim verisini tahmin etmede başarılı olduğu görülmüştür. Exponansiyel regresyon eğrilerinde ise diğerlerine göre büyük sapmalar görülmüştür. YSA esaslı regresyon modelinin, eğitim verisini tahmin etmede yüksek performans gösterirken, test verisi üzerindeki performansı daha düşük olmuştur. ÇKA ve LSTM ağlarının eğitim ve test verilerindeki tahmin başarısının diğerlerine göre en iyi olduğu, ÇKA ağının tahmin başarısının da LSTM’den daha iyi olduğu, test verileri üzerinde ortaya çıkmıştır.

Literatürde kurutma modelleme çalışmalarının genellikle regresyon kullanılarak yapılmış olduğu görülmüştür. Bunun nedeni makine öğrenme metodlarının kurutma alanında yeni yeni kullanılmaya başlanmasıdır. Regresyonlarda korelasyon katsayısının 0,981 olarak elde edildiği belirtilmiştir [32]. Çalışmamızda test verisi üzerine uyguladığımız regresyonlarda 0,444-1,0 arasında korelasyon katsayısı elde edilirken eğitim verisi üzerine uyguladığımız regresyonlarda ise 0,992-1,000 arasında korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Elbette ki regresyonların veri ötesindeki tahmin performanslarının düşük olması şaşırtıcı olmayan bir durumdur. YSA regresyonunun uygulanması ile 0,99-1,00 aralığında korelasyon tespit edilmiştir. Bu durum, ÇKA ağının tahmin performansının diğer regresyon türlerinden daha üstün olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Böylece doğasında ileriye yönelik tahmin amacı barındırmayan regresyon işlemleri YSA sayesinde daha isabetli tahminlerde bulunabilir hale gelebilmektedir. ÇKA modelleri kullanılarak 0,255 gr. tahmin başarısı elde edilebildiği raporlanmıştır [6]. Yazarlar önceki çalışmalarında kurutma sıcaklığının da, modellerin tahmin performansı üzerinde etkili olduğunu bildirmişlerdir [26]. Ancak mevcut çalışmada incelenen ürünün türünün, kurutma sürelerinin ve ağ parametrelerinin (bias, gecikme vb...) farklı olması nedeni ile kıyaslanabilir bir ilişki tespit edilememiştir. Mevcut çalışmada kullanılan ÇKA ağı sayesinde 0,000201 gr’lık tahmin hatasına ulaşılabilmektedir. Bu değer ÇKA ağının tahmin

gücünün diğer yöntemlere göre en iyi olduğunu ortaya koymaktadır.

4. SONUÇLAR

Tarım endüstrisinde önemli yere sahip olan N25P5K5 bitki besininin kuruma davranışının tahmin edilmesinde makine öğrenme, YSA ve regresyon modellerinin tahmin performansları araştırılmıştır. Aşağıdaki temel çıkarımlar elde edilmiştir.

- Regresyonlar; sadece mevcut veriyi modellemede kullanışlı iken, ileriye yönelik tahminler için kullanışlı değildir. YSA destekli regresyonlar diğer regresyonlardan daha üstün tahmin yeteneklerine sahiptirler.
- Her katmanında 5'er adet nöron bulunan, 3 adet saklı katmanlı ve tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonlu ÇKA ağı yüksek performans göstermektedir. Eğitimde kullanılan Levenberg-Marquardt algoritması da hız ve kararlılık sağlamaktadır.
- ÇKA ve LSTM ağları ile mevcut verinin modellenmesi ve ileriye yönelik tahminlerde regresyon denklemlerinden daha başarılı olmuşlardır.
- ÇKA ve LSTM yöntemleri ile 0,99-1,00 arasında korelasyon elde edilmiş, 0,201 mg'lık RMSE değeri ise YSA ile elde edilmiştir. ÇKA ve LSTM kendi içerisinde kıyaslandığında, bitki besini kurutma tahminleri için, ÇKA ağının performansının daha yüksek olduğu görülmüştür. LSTM ağları, veri sayısı fazla olduğunda daha verimli hale gelmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Deneysel çalışma için sağladığı altyapı desteklerinden dolayı Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü ve Atölyesi çalışanlarına teşekkür ederiz. Çalışmada kullanılan malzemelerin teminini sağlayan Agrotime Gübre

firmasına desteklerinden dolayı teşekkürlerimizi sunarız. Bilgi desteği ve sabrından dolayı Prof. Dr. Mehmet BİLGİLİ'ye teşekkür ederiz. Hassas teraziden veri toplanması yazılımını kodlayan Arş. Gör. Mustafa ŞEHİRİ'ye teşekkür ederiz. Bu çalışmanın incelenmesi esnasında, zaman ayırıp önerilerde bulunarak desteklerini esirgemeyenlere teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Mansuroğlu, N.P., Yazıcı, E., Önder, S., Karaça, A.C., 2020. Maltodekstrin-Nohut Proteini İzolati Matrisinde Karabiber Tohumu Yağının Püskürtmeli Kurutma Metodu ile Enkapsülasyonu. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9(2), 877-882.
2. Nakilcioğlu-Taş, E., Ötleş, S., 2021. Zeytin Çekirdeği Antioksidanlarının Dondurarak Kurutma Tekniği ile Mikroenkapsülasyonu: Toz Ürünün Fiziksel ve Kimyasal Karakterizasyonu. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10(1), 140-149.
3. Polatoğlu, B., Beşe, A.V., 2017. Kızılcık Meyvesinin (Cornus Mas. L) Konvektif Kurutulması: Kuruma Kinetiği ve C Vitamini Bozulması. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6(2), 406-414.
4. Das, M., Alic, E., Akpınar, E.K., 2021. Detailed Analysis of Mass Transfer in Solar Food Dryer with Different Methods. International Communications in Heat and Mass Transfer, 128, 105600.
5. Onu, C.E., Igbokwe, P.K., Nwabanne, J.T., Ohale, P.E., 2022. Anfis, Ann, and Rsm Modeling of Moisture Content Reduction of Cocoyam Slices. Journal of Food Processing and Preservation, 46(1), e16032.
6. Perazzini, H., Freire, F., Freire, J., 2013. Drying Kinetics Prediction of Solid Waste Using Semi-Empirical and Artificial Neural Network Models. Chemical Engineering & Technology, 36.
7. McCulloch, W.S., Pitts, W., 1943. A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous

- Activity. The Bulletin of Mathematical Biophysics, 5, 115–133.
8. Altan, A.D., Diken, B., Kayışoğlu, B., 2021. Prediction of Photovoltaic Panel Power Outputs Using Time Series and Artificial Neural Network Methods. Journal of Tekirdag Agricultural Faculty, 18(3), 457-469.
 9. Hamzaçebi, C., Kutay, F., 2004. Electric Consumption Forecasting of Turkey Using Artificial Neural Networks up to Year 2010. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 19(3), 227-233.
 10. Şenkal, O., 2016. Yapay Sinir Ağları ile Atmosferik Parametreler Kullanılarak Türkiye için Güneş Radyasyonu Modellemesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(2), 179-186.
 11. Aydın, E.A., 2014. Meme Kanseri Tespitinde Mikrodalgaların Önemi ve Kanserli/Sağlıklı Meme Dokularının Yapay Zeka Algoritmaları ile Tanımlanabilmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(2), 27-38.
 12. Kaveh, M., Sharabiani, V.R., Chayjan, R.A., Taghinezhad, E., Abbaspour-Gilandeh, Y., Golpour, I., 2018. Anfis and Anns Model for Prediction of Moisture Diffusivity and Specific Energy Consumption Potato, Garlic and Cantaloupe Drying under Convective Hot Air Dryer. Information Processing in Agriculture, 18(1), 45.
 13. Omari, A., Behrooz-Khazaei, N., Sharifian, F., 2018. Drying Kinetic and Artificial Neural Network Modeling of Mushroom Drying Process in Microwave-Hot Air Dryer. Journal of Food Process Engineering, e12849.
 14. Amini, G., Salehi, F., Rasouli, M., 2021. Drying Kinetics of Basil Seed Mucilage in an Infrared Dryer: Application of Ga-Ann and Anfis for the Prediction of Drying Time and Moisture Ratio. Journal of Food Processing and Preservation, 45(3), e15258.
 15. Beigi, M., Torki, M., 2021. Experimental and Ann Modeling Study on Microwave Dried Onion Slices. Heat and Mass Transfer, 57, 787–796.
 16. Ögündür, G., 2019. Overfitting, Underfitting and Bias-Variance Contradiction. <https://medium.com>, Yayın tarihi: 2019. Erişim tarihi: 12.12.2020.
 17. Erenturk, S., Erenturk, K., 2007. Comparison of Genetic Algorithm and Neural Network Approaches for the Drying Process of Carrot. Journal of Food Engineering, 78, 905-912.
 18. Çavuşlu, M.A., Becerikli, Y., Karakuzu, C., 2012. Hardware Implementation of Neural Network Training with Levenberg-Marquardt Algorithm. TBV Journal of Computer Science and Engineering, 5(1), 1-7.
 19. Park, I., Kim, H.S., Lee, J., Kim, J.H., Song, C.H., Kim, H.K., 2019. Temperature Prediction Using the Missing Data Refinement Model Based on a Long Short-Term Memory Neural Network. Atmosphere (Basel), 10(11), 718.
 20. Sekertekin, A., Bilgili, M., Arslan, N., Yildirim, A., Celebi, K., Ozbek, A., 2021. Short-Term Air Temperature Prediction by Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (Anfis) and Long Short-Term Memory (Lstm) Network. Meteorology and Atmospheric Physics, 133, 943–959.
 21. Zhou, H., Huang, M., Zhu, Q., Zhang, M., 2021. Developing C-Lstm Model for Evaluating Moisture Content of Carrot Slices During Drying. Drying Technology, 40(14), 1-11.
 22. Lertworasirikul, S., Tipsuwan, Y., 2008. Moisture Content and Water Activity Prediction of Semi-Finished Cassava Crackers from Drying Process with Artificial Neural Network. Journal of Food Engineering, 84, 65-74.
 23. Eaton, J.W., 2022. Gnu Octave. <https://octave.org/about>, Yayın tarihi: 2022. Erişim tarihi: 12.12.2021.
 24. Million, E., 2007. The Hadamard Product, in Linear Algebra. Editör: Beezer R.A., buzzard.ups.edu, Rob Beezer's Home Page, 1-7.
 25. Heris, M.K., 2015. Time-Series Prediction Using Anfis in MATLAB. The Yarpiz Project, Fuzzy Systems.
 26. Kacar, İ., Korkmaz, C., 2022. Prediction of Agricultural Drying Using Multi-Layer Perceptron Network, Long Short-Term Memory Network and Regression Methods.

- Gümüşhane University Journal of Science and Technology, 12(4), 1188-1206.
27. Brownlee, J., 2018. A Gentle Introduction to K-Fold Cross-Validation. <https://machinelearningmastery.com/k-fold-cross-validation/>, Yayın tarihi: 2018. Erişim tarihi: May 23, 2018
 28. Origin, 2019. Originpro 2019b (64-Bit), Copyright © 1991-2019 OriginLab Corporation, OriginLab Corporation, Northampton, MA, USA.
 29. MathWorks, 2022. Statistics and Machine Learning Toolbox. https://www.mathworks.com/help/stats/index.html?s_tid=CRUX_lftnav, Yayın tarihi: 2022. Erişim tarihi: May 23, 2018
 30. MathWorks, 2022. Kernel (Covariance) Function Options. <https://www.mathworks.com/help/stats/kernel-covariance-function-options.html>, Yayın tarihi: 2022. Erişim tarihi: May 23, 2018
 31. Sit, H., 2019. Quick Start to Gaussian Process Regression. <https://towardsdatascience.com/quick-start-to-gaussian-process-regression-36d838810319>, Yayın tarihi: 2019. Erişim tarihi: April 18, 2019.
 32. Karacabey, E., Aktaş, T., Taşeri, L., Seçkin, G.U., 2020. Sultani Çekirdeksiz Üzüm Çeşidinde Farklı Kurutma Yöntemlerinin Kurutma Kinetiği. Enerji Tüketimi ve Ürün Kalitesi Açısından İncelenmesi. Journal of Tekirdag Agricultural Faculty, 17(1), 53-65.

Mekânların Covid-19 Skorlarının Araştırılması: Mimarlık Fakültesi Stüdyoları Üzerinden Bir İnceleme

Damlanur İLİPİNAR^{*1}, ORCID 0000-0001-6523-3487
Gülin YAZICIOĞLU¹ ORCID 0000-0002-3947-0902

¹Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Ankara

Geliş tarihi: 20.01.2022

Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: İLİPİNAR, D., YAZICIOĞLU, G., (2022). Mekânların Covid-19 Skorlarının Araştırılması: Mimarlık Fakültesi Stüdyoları Üzerinden Bir İnceleme. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 1005-1015.

Öz

2019 yılının sonlarına doğru ortaya çıkan Covid-19 virüsü, kısa bir süre içinde tüm dünyayı etkisi altına almış olup, Dünya Sağlık Örgütü tarafından ‘pandemi’ ilan edilmiştir. Covid-19 salgını ile mücadele sürecinde, hastalığın yayılabileceği koşulları azaltan yeni bina düzenlemeleri düşünülmeye başlanmıştır. Bu güvenlik önlemleri arasında maske zorunluluğu, havalandırma sistemlerinin yeniden tasarımı ve sosyal mesafe politikaları yer almaktadır. Yüz yüze eğitime başlayan okullarda dersliklerin sosyal mesafeyi göz önünde bulundurularak yeniden kullanım değerlendirilmesi gibi bazı değişimlere ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Pandemi öncesinde belirli standartlar çerçevesinde oluşturulmuş mekânların, normalleşme ile başlayan süreçle birlikte kapasitelerinin tekrar değerlendirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bu çalışmada, normalleşme sürecinde yüz yüze eğitimin başlaması kararı üzerine, dersliklerin kullanım kapasiteleri değerlendirilerek sürecin daha güvenilir ilerlemesi hedeflenmektedir. Mekânların kullanım kapasitelerini ölçmek için, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi stüdyoları seçilmiştir. Seçilen stüdyolar Autodesk Revit programı ile modellenmiştir. Eklenti olarak çalışan ve bina performans analizleri yapmaya imkan sağlayan Cove.tool uygulaması kullanılarak Covid-19 güvenlik skorları ve mekan kullanım kapasiteleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak, öğrencilerin yüz yüze eğitime sağlıklı devam edebilmeleri için stüdyolarda uygun sosyal mesafede bulunabilecek optimum öğrenci sayısı önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Covid-19 güvenlik skoru, Mekân kapasiteleri, Salgın mimarisi, Mimari stüdyolar

Research of Covid-19 Scores of Places: A Review Through Educational Spaces

Abstract

The Covid-19 virus, which emerged in late 2019, has soon taken over the world and has been declared ‘pandemic’ by the World Health Organization. In the process of fighting the Covid-19 outbreak, new building arrangements have been introduced to reduce the conditions of the disease. These safety

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Damlanur İLİPİNAR, damlanurilipinar@gmail.com

measures include mask requirement, redesign of ventilation systems and social distance policies. In schools that started face-to-face education, some changes were needed, such as reuse evaluation, taking into account the social distance of classrooms. Prior to the pandemic, it has become mandatory to re-evaluate the capacities of the sites created within the framework of certain standards, along with the process beginning with normalization. In this study, the ability to use classrooms is assessed and the process is expected to improve reliably upon the decision to start face-to-face training in the process of normalization. To measure the capacity of use of the spaces, the studios of the Faculty of Architecture of Middle East Technical University were selected. Selected studios are modeled with Autodesk Revit. Covid-19 safety scores and venue usage capacities have been calculated using the Cove.tool application, which works as an add-in and allows building performance analysis. As a result, the optimal number of students who can be within the appropriate social distance in the studios has been recommended to ensure that students can maintain their in-person education.

Keywords: Covid occupancy assessment, Covid score, Architecture in pandemic, Architectural studios

1. GİRİŞ

21. yy'ın ilk çeyreğinde, Çin'in Wuhan kentinde ortaya çıkan Covid-19 virüsü kısa sürede tüm dünyaya yayılarak milyonlarca insanı etkilemiş ve yüzbinlerce insanın ölümüne neden olmuştur. Virüsün yayılma hızı ve etki alanının oldukça yüksek olması nedeniyle, Dünya Sağlık Örgütü, 12 Mart 2020 tarihinde Covid-19'u salgın hastalık olarak ilan edilmiştir [1]. Salgın sürecinin başlamasıyla birlikte, zorunlu bir kısıtlama ile başta yaşam tarzı olmak üzere birçok alışkanlıklar değişmeye başlamıştır. Küresel salgın sağlık, sosyal yaşam, politika, ekonomi ve eğitim alanlarında birçok krize sebebiyet vermiştir.

Covid-19 salgınının sosyal yaşamda oluşturduğu ikilemler, sağlık problemlerinin yanı sıra birçok sorunu da beraberinde getirmiştir. Sosyal izolasyonun sebep olduğu etik ve psikolojik sorunlar, ülke ekonomilerinin durağan bir döneme girmesi, eğitim sisteminin kesintiye uğraması ve turizmin durma noktasına gelmesi ülkeleri ciddi ölçüde etkilemiştir. İnsanlar arasına sosyal mesafe konulmasını gerektiren Covid-19 virüsü, günlük aktiviteleri, çalışma alışkanlıklarını, eğitim-öğretim hayatını, ulaşım, turizm ve hizmet sektörü gibi birçok alanı etkileyerek, bu alanlarda değişimi kaçınılmaz kılmıştır.

Çalışmanın ele alındığı bu günlerde, salgının hala çok sayıda can aldığı ve Covid-19 virüsünün yüzlerce tipte mutasyona uğradığı belirtilmektedir [2]. Salgın sürecini bitirecek kanıtlanmış tedavi

yönteminin ve aşının henüz bulunamamış olması normalleşme sürecine geçişi uzatırken, diğer taraftan kısıtlamaların sosyal ve ekonomik çıkmazlara yol açtığı görülmektedir. Bu nedenle, devletler kontrollü ve kademeli normalleşme programları yaparak sosyal yaşamda, çalışma yaşamında, eğitim- öğretim ve turizm alanında kısmi olarak normalleşme sürecini başlatmışlardır.

Salgının kesintiye uğrattığı önemli alanlardan biri de eğitim ve öğretimdir. 2020 yılının Mart ayında ara verilen eğitim- öğretim süreci son 1 yıldır çevrimiçi olarak uzaktan devam etmektedir. Özellikle, öğrencilerin mesleki yeterlilikleri için uygulamalı öğretilmesi gereken dersler, salgın sürecinde uzaktan devam etmek zorunda kalmıştır. Normalleşme programında ele alınan yüz yüze eğitime geçiş süreci, uygulamalı dersler için gerekli ve ivedi kılınmıştır.

Çalışmanın amacı, yüz yüze eğitime geçiş sürecinde, grupça kullanılacak dersliklerin Covid-19 güvenlik skoru ve optimum kullanım kapasitelerini hesaplamaktır. Bu bağlamda, yüz yüze eğitimin büyük önem taşıdığı mimarlık bölümü ele alınarak, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'nin tasarım stüdyoları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, yüz yüze eğitim için stüdyolarda yapılacak derslerde bulunması önerilen kişi sayıları hesaplanmıştır. Yapılan değerlendirmeler sayesinde daha güvenilir ve sağlıklı çevrede eğitime devam edilmesi hedeflenmektedir.

2. COVID-19 VE EĞİTİM

Bulaşıcılığı yüksek olan Covid-19 virüsünün yayılma sürecinde ortaya çıkardığı zorluklardan biri de, dünya genelinde eğitime uzaktan devam etme zorunluluğu olmuştur. UNESCO (United Nations Educational Scientific And Cultural Organization) ve UNICEF (United Nations International Children's Emergency Fund), Mart 2020 tarihi itibarıyla 22 ülkedeki okullarda yüz yüze eğitime ara verildiğini ve yaklaşık 1,6 milyar öğrencinin eğitiminin kesintiye uğradığını duyurmuştur. Bu durumdan etkilenen öğrenci sayısı Türkiye'de de 25 milyonu bulmuştur [3]. Yüz yüze eğitimin kesintiye uğraması ile birlikte tüm dünyada uzaktan eğitim uygulamaları üzerine çalışmalar başlatılmıştır.

Uzaktan eğitim programları, eğitimdeki aksaklıkları azaltmak ve eğitimde devamlılığı sağlamak amacıyla dijital ortamda materyallerin paylaşarak öğrencilerin evlerinden derslere devam etmelerini amaçlamaktadır [4]. Ancak UNICEF, okulların yüz yüze eğitime geçmesi için çalışmaların acil olarak başlaması gerektiğinin devletlere duyurmuştur. Normalleşme sürecinde bu konuya öncelik verilmesinin büyük önem taşıdığını belirterek, okulların yeniden açılmasına yönelik tavsiyeler yayınlanmıştır [5].

Dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de salgın süreci, mesafe ve izolasyon sebebiyle yüz yüze eğitime tüm sınıflarda ara verilerek acil uzaktan eğitime geçilmiştir [6]. İlköğretim, lise ve üniversite düzeylerinde, salgına hızlı çözüm üretebilmek için çevrimiçi dersler planlanmıştır. Çevrimiçi uzaktan eğitim esneklik, açıklık gibi çözümler sunsa da, özellikle üniversite düzeyinde tıp, eczacılık, diş hekimliği, veterinerlik, mimarlık ve mühendislik gibi uygulamalı olarak devam etmesi gereken bölümler için yüz yüze eğitime geçiş yapmak gerekmektedir.

2.1. Salgın Sürecinde Mimarlık Eğitimi

Salgın sürecinde her alanda mevcut düzenin hızla değiştiği ve dönüştüğü gözlemlenmiştir. Değişim sürecinde, mimarlık eğitimi de dijitalleşme sürecinden öngörülemeyen bir şekilde payını

almıştır. 2019-2020 akademik yılı bahar döneminden bu yana neredeyse her tasarım stüdyosu çevrimiçi hale geldi. Değişen eğitim modu, "acil durum uzaktan öğretimi" veya "geçişli acil durum modeli" olarak adlandırılmıştır [7-8].

Yeni süreç, mimarlık eğitimi için bir risk oluşturacağı gibi, dijital öğrenmenin yeni fırsatlar sunabileceği de düşünülmektedir. Bazı mimarlık okulları; Tulane Üniversitesi Mimarlık Okulu, Kent State Üniversitesi Mimarlık ve Çevre Tasarımı Koleji; çevrimiçi eğitime geçişe hızlı ve kolay bir şekilde adapte olmasına rağmen [9], diğerleri çeşitli engellerle karşılaştı; örneğin Bath Üniversitesi [10]. Bath Üniversitesi, Mimarlık ve İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Covid-19 'un tasarım stüdyolarına etkisi üzerinde yapılan ankete göre, çevrimiçi eğitim ile öğrenme memnuniyeti %58 azaldı, en olumsuz etkilenen akran öğrenmesi oldu ve tasarım stüdyosu kültürü, öğrencilerin kendilerini izole hissetmelerinden zarar gördü [10]. Mimarlık eğitiminde bu süreç, her ne kadar hızlı alışılabilir ve fırsata çevrilebilir gibi gözükse de, anket sonuçlarının da desteklediği gibi birbirinden öğrenme odaklı ve öğrenci merkezli stüdyo ortamının gerekliliğini göstermiş oldu [11].

Ülkemizde de üniversitelerin mimarlık fakülte ve bölümlerinde teorik derslerin yanı sıra Yüksek Öğretim Kurumu'nun (YÖK) kararıyla uygulamalı dersler de Mart 2020'den itibaren çevrimiçi olarak yürütülmektedir. Mimarlık bölümlerinde verilen tasarım eğitimi ve temel konular yeniden değerlendirilerek, yeni normal koşullar altında tekrar ele alınması gerektiği düşünülmektedir [12]. Mimarlık eğitiminin vazgeçilmez mekânları olan stüdyolar ve stüdyo eğitimleri, çevrimiçi süreçte neredeyse tamamen sanal dünyada sayısal ortama indirgenmiş durumdadır. Bu durum geleneksel stüdyo eğitim süreçlerinden uzak olması nedeniyle, daha fazla altyapı ve kabiliyete gereksinim duyulmaktadır [13]. Özellikle mimarlık eğitimine yeni başlayan öğrenciler için stüdyo disiplini büyük önem taşımaktadır. Üst dönem tasarım dersleri çevrimiçi olarak farklı bakış açıları ve deneyimler ile yürütülse de mimarlık alanı ile yeni tanışan öğrenciler için yüz yüze eğitimin normalleşme sürecinde başlaması büyük önem taşımaktadır.

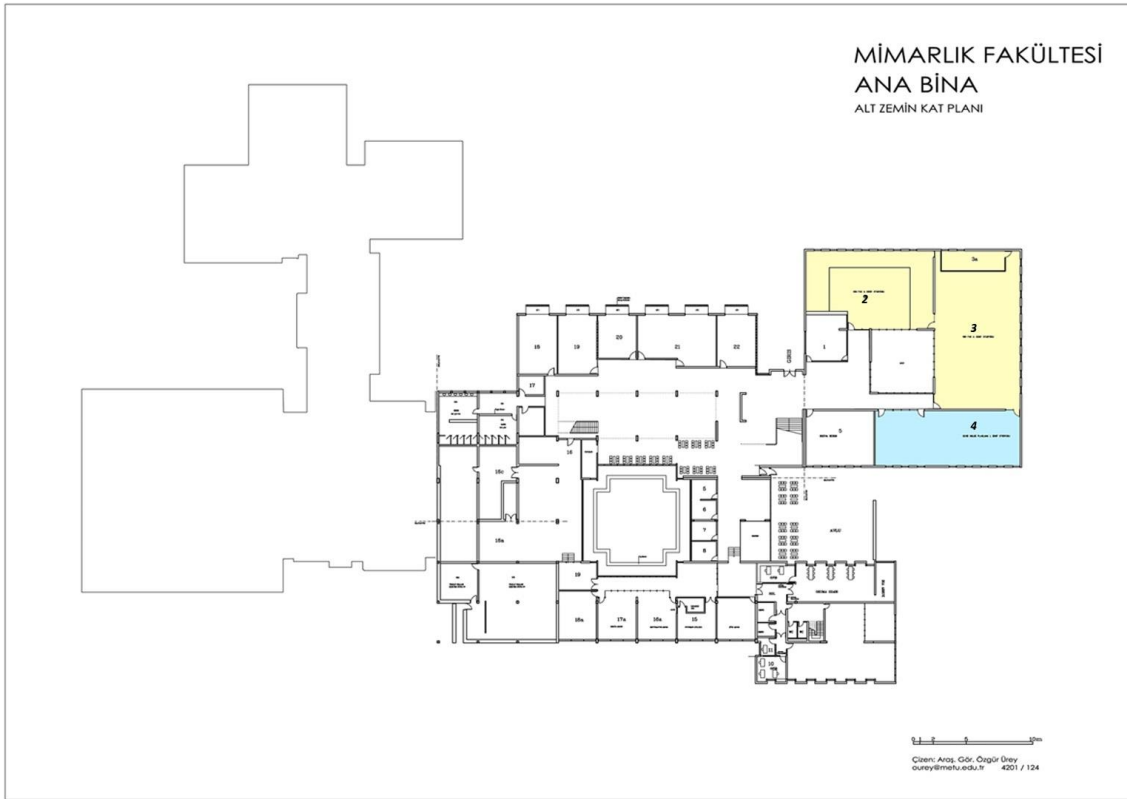
2.2. Eğitimin Normalleşme Sürecinde Alınması Gereken Tedbirler

Yeni normalleşme süreci ile birlikte okullarda kademeli olarak yüz yüze eğitime geçiş kararı verilmiştir. YÖK kararı ile üniversitelerde uygulamalı derslerin bulunduğu bölümlerde, yüz yüze eğitim kaldığı yerden devam edecektir. Bu bağlamda, eğitimin daha sağlıklı ve güvenli çevrede devam edebilmesi için YÖK, 'Yükseköğretim Kurumlarında Sağlıklı ve Temiz Ortamların Geliştirilmesi Kılavuzu' yayınlamıştır. Bu kılavuza göre, mekânların en az 4 m²'ye 1 kişi düşecek şekilde kullanılması, oturma düzeninde en az 1 metre ve faaliyet düzeninde en az 1,5-2 metre sosyal mesafe kuralına uyulması, ders yapılacak sınıfların büyük alanlar olarak tercih edilmesi, ortak malzeme kullanımının minimuma indirilmesi, mekânların sık sık doğal yöntemlerle havalandırılması gerektiği, hijyen kurallarına uyulması ve mekânların maksimum insan kapasitesini belirten uyarıcı levhalar asılarak

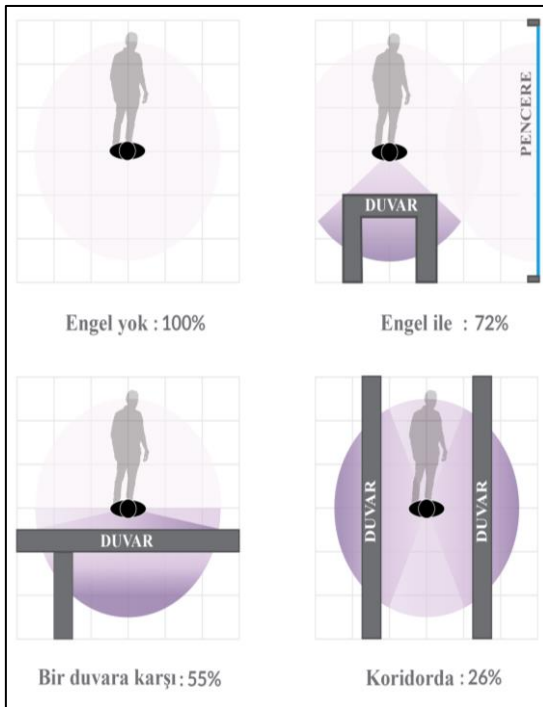
oturma düzeni ve mesafelerin belirlenmesi ile ilgili sosyal ve ortak kullanım alanında alınması gereken tedbirler belirtilmiştir [14].

3. MATERYAL VE METOT

Bu araştırma çalışması kapsamında Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Mimarlık Fakültesi'nin bünyesinde bulunan Mimarlık, Şehir ve Bölge Planlaması ve Endüstri Ürünleri Tasarımı bölümlerine ait stüdyolar (Şekil 1) ele alınmıştır. İlk olarak, 4 adet Mimarlık, 2 adet Şehircilik ve 4 adet Endüstri Ürünleri Tasarımı olmak üzere toplamda 10 farklı stüdyo Autodesk Revit programında mobilyalar eklenmeden modellenmiştir. Daha sonra, Revit eklentisi olarak çalışan ve bina performans analizleri yapmaya imkan sağlayan Cove.tool uygulaması kullanılarak Covid-19 skorları ve mekân kullanım kapasiteleri hesaplanmıştır.

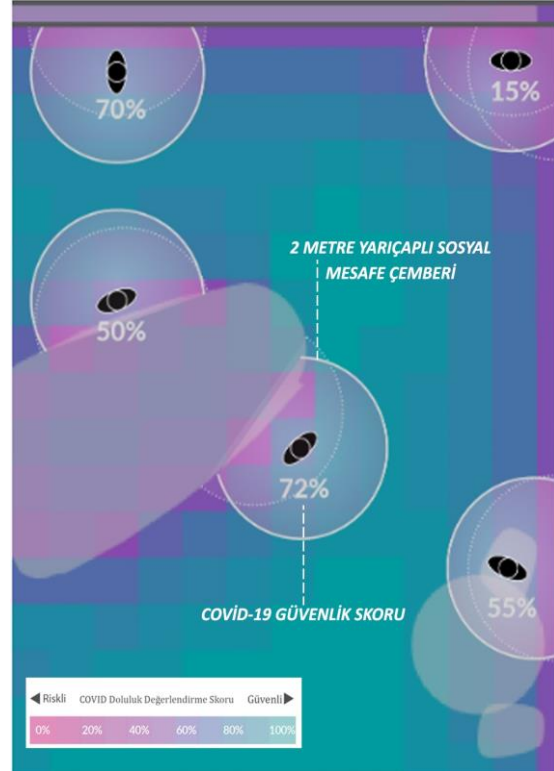


Öncelikle, analiz edilen mekânı 30,48 cm x 30,48 cm (1 fit x 1 fit)'lik ızgara hücrelerine bölmektedir. Ardından her bir ızgara hücrelerinin merkezinden duvar, pencere ve mobilya gibi engellerin olup olmadığını kontrol etmektedir. Eğer bir engel varsa, ızgara merkezinden engelle olan mesafe belirlenip bu bilgi, o ızgara hücrelerinin Covid-19 güvenlik skoru hesaplamasına dâhil edilmektedir. Bu skor yüzdelik olarak ifade edilir (Şekil 3).



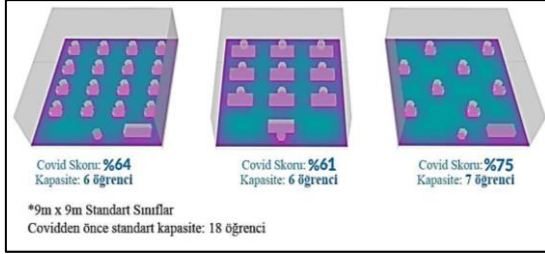
Şekil 3. Mekanlardaki engellerin Covid-19 güvenlik skoruna etkileri [15]

Hesaplama, her bir ızgara hücrelerinin, sanki orta noktada duran bir kişi varmış gibi (Şekil 4) Covid-19 güvenlik skoru hesaplanmaktadır. Analizi yapılan mekânın zemini üzerinde oluşturulan her ızgara hücresi için Covid-19 güvenlik skoru hesaplandıktan sonra, puanlar bir ısı haritası yoluyla görselleştirilmektedir. Isı haritasında riskli alanlar mor ile güvenli alanlar ise mavi ve yeşille ifade edilmektedir. Riskin artması, sosyal mesafeyi korumanın güçleşmesi anlamına gelmektedir.



Şekil 4. Covid-19 skoru değerlendirme örneği [15]

Zemin üzerindeki tüm ızgara hücrelerinin Covid-19 güvenlik skorlarının ortalaması alınır ve o mekânın nihai Covid-19 güvenlik skoru hesaplanmış olur. Başka bir deyişle Covid-19 güvenlik skoru, sosyal mesafeyi koruyabilecek açık alan miktarını temsil etmektedir. Ayrıca, engellerin bir kişinin sosyal mesafeyi sürdürmesini engelleme potansiyelini simüle eden ancak bunu yapmasını doğrudan engellemeyen etkili bir yarıçapı da vardır. Buna bağlı olarak Covid-19 güvenlik skoru, mekân içindeki engellerin boyutuyla ters orantı göstermektedir. Örneğin, aynı metrekare alanına sahip iki sınıfta, büyük sınıflara sahip sınıfın Covid-19 güvenlik skoru, boş bir sınıftan daha düşüktür. Bunun nedeni, sosyal mesafeyi koruyacak serbest alanın azaltılmış ve kısıtlanmış olmasıdır (Şekil 5). Bu nedenle, bu çalışma kapsamında modellemelerde mobilyalar olmadan analizler yapılmıştır.



Şekil 5. Standart bir sınıfta tefriş düzeninin Covid skoruna etkisi [16]

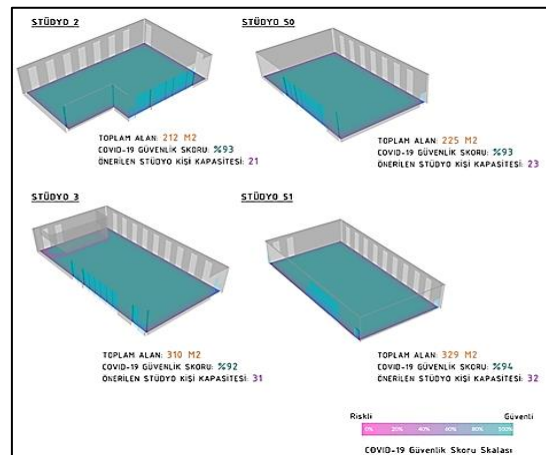
Sonuç olarak Cove.tool, Covid-19 değerlendirmesinde iki temel sonuç sağlar; birincisi yüzde olarak sunulan güvenlik skorlarıdır. Covid skoru, mekânlarda insanlar arasındaki sosyal mesafeyi en iyi koruyabilen serbest alan miktarını temsil eder. İkinci temel çıktı ise, maksimum doluluk kapasitesine yönelik öneriler sağlamak için bir girdi oluşturmaktadır. Uygun mesafe önlemleri sağlandıktan sonra, mekân için tavsiye edilen kullanımdır. Cove.Tool'da tavsiye edilen kullanım kapasitesinin belirlenmesinin arka planında Amerika Birleşik Devletleri Hastalık Kontrol ve Korunma Merkezi tarafından belirlenmiş olan yaklaşık 2 metrelik (6 fit) sosyal mesafe metriği yer almaktadır. Önerilen kullanım kapasitesi hesaplanırken, mekânın zemin alanı yaklaşık 2 metre yarıçaplı (6 fit) dairelerin oluşturduğu alana oranlanır ve çıkan değer tavsiye edilen kişi kapasitesi olarak belirlenir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada, incelenen stüdyoların maksimum kullanım kapasiteleri araştırılmıştır. Stüdyolar modellenirken sadece duvar ve cam gibi bölücü ve sınırlandırıcı mimari elemanlar göz önüne alınmıştır. Mekân içerisindeki hareketli tefrişler modellemeye dâhil edilmemiş olup, hesaplama katılmamıştır. Analizler sonucunda elde edilen veriler sırasıyla mimarlık, şehircilik ve endüstri ürünleri tasarımı stüdyoları kapsamında ayrı ayrı ele alınmıştır. Stüdyoların maksimum doluluk oranları için kullanabilecek kişi sayısı önerisi ve bu durumdaki Covid skorları hesaplanmıştır.

4.1. Mimarlık Bölümü Stüdyolarının İncelenmesi

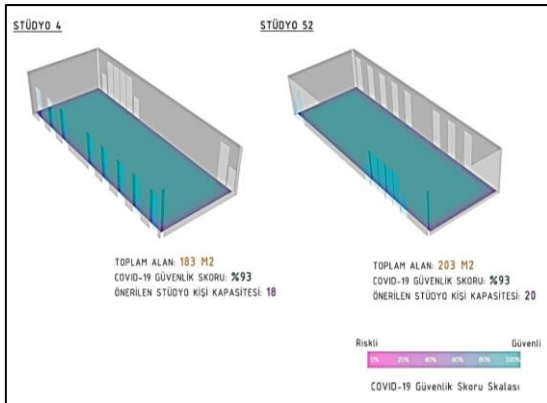
Mimarlık Fakültesindeki farklı metre karelere sahip stüdyo 2, stüdyo 3, stüdyo 50 ve stüdyo 51 olmak üzere 4 mimarlık çalışma ortamının, Covid-19 güvenlik skoru ve tavsiye edilen kullanım kapasitesi, Şekil 6'da gösterilmektedir. Stüdyo 3'ün güvenlik skoru %92 iken Stüdyo 2 ve Stüdyo 50'nin güvenlik skorları %93 ve Stüdyo 51'in %94'tür. Güvenlik skorlarının, stüdyoların toplam metre kare büyüklükleri ile paralellik gösterdiği görülmektedir. 329 m² ile en büyük mimarlık stüdyosu olan Stüdyo 51, aynı zamanda tavsiye edilen kullanım kapasitesi bakımından da 32 kişi ile diğer stüdyolar arasında en yüksek değere sahiptir. Stüdyo 2 ve Stüdyo 50'nin Covid-19 güvenlik skorları aynı olmasına rağmen, kullanım kapasitesi bakımından Stüdyo 50 <23 kişi> Stüdyo 2'den <21 kişi> daha büyüktür. Başka bir deyişle, her iki stüdyoda da sosyal mesafenin korunması için yeterli açık alanın aynı olmasına rağmen toplam taban alanlarının farklılığından dolayı önerilen kullanım kapasiteleri farklılık göstermektedir. Ek olarak Stüdyo 3, 310 m²'lik toplam alana sahip olmasına rağmen, mimarlık stüdyoları arasında en düşük güvenlik skoruna; %92; sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, mekân içindeki bölme duvarlardır. Sonuç olarak, mimarlık stüdyoları arasında hem Covid-19 güvenlik skoru hem de maksimum kapasite bakımından en iyi performans gösteren Stüdyo 51'dir.



Şekil 6. Mimarlık stüdyolarının Covid-19 güvenilirliklerinin karşılaştırılması

4.2. Şehircilik Bölümü Stüdyolarının İncelenmesi

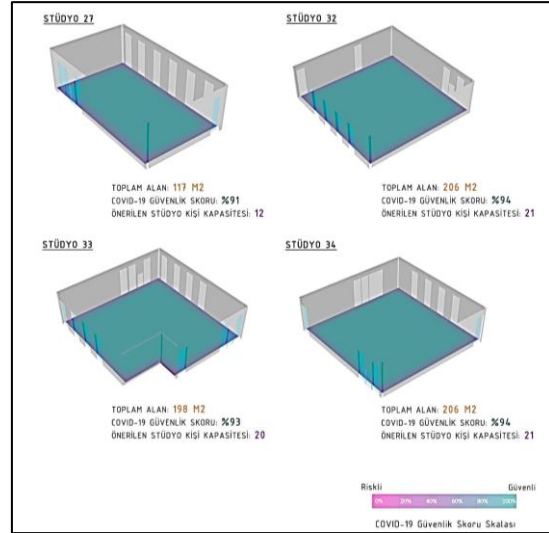
Stüdyo 4 ve Stüdyo 52 olmak üzere iki şehircilik stüdyosu karşılaştırılmıştır ve her iki stüdyonun covid-19 güvenlik skorlarının; %93; aynı olduğu (Şekil 7) görülmektedir. Stüdyo 4, 183 m² olup Stüdyo 52 203 m²'dir. Bunun sonucunda önerilen kullanım kapasiteleri, Stüdyo 4 için 18 kişi iken Stüdyo 52 için 20 kişidir. Sonuç olarak, en iyi performans gösteren şehircilik stüdyosu, Stüdyo 52'dir.



Şekil 7. Şehircilik stüdyolarının Covid-19 güvenilirliklerinin karşılaştırılması

4.3. Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü Stüdyolarının İncelenmesi

Stüdyo 27, Stüdyo 32, Stüdyo 33 ve Stüdyo 34 olmak üzere dört stüdyo incelenmiştir (Şekil 8). Covid-19 güvenlik skoru bakımından, %94 değeriyle en iyi performans gösteren Stüdyo 32 ve Stüdyo 34'tür. Kullanım kapasiteleri bakımından da 21 kişinin kullanması önerilmektedir. İki mekânın hem güvenlik skoru hem de önerilen kapasitelerinin aynı olmasının nedeni, 206 m²'lik taban alanına sahip olmalarıdır. Bunun yanı sıra, önerilen 12 kişilik kullanım kapasitesi ve %91 güvenlik skoruyla Stüdyo 27, en düşük performansa sahiptir. Stüdyo 33 ise, 198 m²'lik toplam alana sahip olmasıyla Stüdyo 27'den, güvenlik skoru %93 ve kapasite açısından 20 kişi, daha iyi performans göstermektedir.



Şekil 8. Endüstri Ürünleri Tasarımı bölümünün stüdyolarının Covid-19 güvenilirliklerinin karşılaştırılması

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Yeni normalleşme planlarının yapıldığı günlerde (Mart 2021), eğitim- öğretim alanında da yüz yüze eğitime geçiş programları yapılmaya başlanmıştır. Özellikle yükseköğretim kurumlarının uygulamalı dersler içeren bölümlerinde, derslerin fiziksel olarak sınıflarda yapılması gerektiği belirtilmiştir. Yüz yüze eğitime geçilmesi programlanan fakültelerden biri de stüdyo ortamında tasarım derslerinin verildiği mimarlık fakültesidir. Toplu olarak verilen, öğrencilerin birbirinden öğrenmelerinin desteklediği tasarım stüdyolarında yüz yüze eğitime geçişin salgın sürecinde güvenilirliğini belirlemek için bu çalışma yapılmıştır. Çalışmada, ODTÜ Mimarlık Fakültesi'nin stüdyoları ele alınarak Covid-19 güvenlik skorları ve mekân kapasiteleri hesaplanmıştır ve aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Çizelge 1).

Hesaplama sonuçlarından görülebileceği gibi, mimarlık fakültesi genelinde Covid-19 güvenlik skoru ve kullanım kapasitesi açısından en iyi performans gösteren stüdyonun, mimarlık bölümüne ait olan Stüdyo 51 olduğu görülmektedir.

Çizelge 1. Mimarlık fakültesi stüdyolarının Covid-19 güvenlik skorları ve mekân kullanım kapasiteleri

Stüdyo numaraları	Toplam alan (m ²)	COVID-19 güvenlik skoru (%)	Güvenli stüdyo kullanım kapasitesi (kişi)
2	212	93	21
3	310	92	31
4	183	93	18
27	117	91	12
32	206	94	21
33	198	93	20
34	206	94	21
50	225	93	23
51	329	94	32
52	203	93	20

LEJAND

■ Mimarlık Stüdyoları	■ Riskli	■ Güvenli
■ Şehir ve Bölge Planlaması Stüdyoları	■ 0%	■ 100%
■ Endüstri Ürünleri Tasarımı Stüdyoları	COVID-19 Güvenlik Skoru Skalası	

Stüdyo 51, kullanım alanı en büyük stüdyo olup içerisinde ek bölme duvar bulundurmadığı için sosyal mesafe bakımından verimli açık alana sahiptir. Bunun yanı sıra, en düşük performans ise 27 numaralı endüstri ürünleri tasarımı bölümüne aittir. En az taban alanına sahip olan stüdyonun covid-19 güvenlik skoru %91 ve kullanması tavsiye edilen kişi sayısı 12'dir. Bir diğer sınırlı kullanım kapasitesiyle; 18 kişi; şehircilik stüdyosu olan Stüdyo 4'tür. Özet olarak, tüm stüdyolar değerlendirildiğinde, yüz yüz eğitim için en iyi performans gösterebilecek stüdyolar mimarlık bölümü stüdyolarıdır.

Stüdyoların Covid-19 güvenlik skorlarına bakıldığında, genellikle hepsinin %90'ın üzerinde ve bir biri ile çok yakın olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, mekânların hareketli mobilyalar olmadan analiz edilmiş olmasıdır. Cove.tool'da Covid skorları hesaplanırken, sadece duvarlar ve pencereler göz önüne alınmıştır. Mekânlar içerisinde engel olmadığı varsayılarak, önerilen kullanım kapasitesi ışığında Covid skorları oluşturulmuştur.

Çizelge 2. Cove.Tool'da hesaplanan ve YÖK tarafından tavsiye edilen mekan kullanım kapasiteleri

Stüdyolar	Toplam alan (m ²)	Cove.tool'a göre güvenli stüdyo kullanım kapasitesi (kişi)	YÖK kılavuzuna göre güvenli stüdyo kullanım kapasitesi (kişi) [10]
2	212	21	53
3	310	31	77
4	183	18	45
27	117	12	29
32	206	21	51
33	198	20	49
34	206	21	51
50	225	23	56
51	329	32	82
52	203	20	50

Cove.Tool'da tavsiye edilen kullanım kapasitesinin belirlenmesinin arka planında Amerika Birleşik Devletleri Hastalık Kontrol ve Korunma Merkezi tarafından belirlenmiş olan yaklaşık 2 metrelik (6 fit) sosyal mesafe metriği yer almaktadır. Diğer yandan, ülkemizde YÖK tarafından da eğitim yapılarının kullanımı için kabul edilen sosyal mesafe uzaklığı belirlenmiştir. Çizelge 2'de belirtilen kullanım kapasitelerine bakılarak, Cove.tool'un önerdiği kullanım kapasitelerinin, toplam alanın %10'una tekabül ettiği görülmüştür. YÖK Kılavuzuna göre bu oran %25'e çıkmaktadır. Önerilen kullanım oranlarındaki farklılıklar, kişi sayıları açısından ciddi farklılıklara yol açmaktadır. Bu nedenle, güvenli bölgede kalmak ve pandemi sürecini en az can kaybı ile atlama için mekanlarda kullanılacak tefrişler ve doğru konumları ile birlikte Cove.tool'da yeniden analiz yapılması gerektiği görülmüştür.

Çizelge 2'de özet olarak verilen sonuçlar, genel standartlar çerçevesinde mekân metrekareleri ile ilişkili olarak hesaplanmıştır. Daha hassas ve güvenilir sonuçlar için Cove.tool'da hareketli mobilyalar ile tekrar analiz yapılarak mekan kapasiteleri ve Covid-19 skorlarına ulaşılabilir. Sonuç olarak, yeni normalleşme sürecinde, tam mesai çalışma saatlerine dönen işyerleri, hizmet

vermeye başlayan kafe ve restoranlar, kütüphane, sinema vb. her mekân için bu çalışmada kullanılan hesaplama yöntemi uygulanabilir. Bu yöntem izlenerek, mekânların yeni kullanım kapasiteleri belirlenebilir. Böylece, normalleşmeye geçiş sürecinde mekânların kullanım kapasiteleri dikkate alınarak daha güvenilir bir çevrede süreç başlamış olacaktır.

6. KAYNAKLAR

1. Arslan, İ., 2020. Küresel Bir Tehdit (COVID-19 Salgını) ve Değişime Yolculuk. Üsküdar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, (10), 1-36.
2. World Health Organization (WHO)., 2021. An update on SARS-CoV-2 virus mutations & variants. The Latest on the Covid-19 Global Situation & The Emergence of New Mutations & Variants, Ankara, https://www.who.int/docs/defaultsource/coronaviruse/risk-comms-updates/update47-sars-cov-2-variants.pdf?sfvrsn=f2180835_4. Erişim Tarihi: 03.03.2021
3. Bozkurt, A., 2020. Koronavirüs (Covid-19) Pandemi Süreci ve Pandemi Sonrası Dünyada Eğitime Yönelik Değerlendirmeler: Yeni Normal ve Yeni Eğitim Paradigması. Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi, 6(3), 112-142.
4. Üstün, Ç., Özçiftçi, S., 2020. COVID-19 Pandemisinin Sosyal Yaşam ve Etik Düzlem Üzerine Etkileri: Bir Değerlendirme Çalışması. Anadolu Kliniği Tıp Bilimleri Dergisi, 25 (Special Issue on COVID 19), 142-153.
5. UNICEF (United Nations International Children's Emergency Fund)., 2021. Salgın Sınıfı, Ankara. <https://www.unicef.org/turkey/bas%C4%B1n-b%C3%BClenleri/unicef-diyor-ki-covid-19-nedeniyle-d%C3%BCnya-genelinde-168-milyondan-fazla-%C3%A7ocu%C4%9Fun>. Erişim Tarihi: 03.03.2021
6. Başaran, M., Doğan, E., Karaoğlu, E., Şahin, E., 2020. Koronavirüs (Covid-19) Pandemi Sürecinin Getirisi Olan Uzaktan Eğitimin Etkililiği Üzerine Bir Çalışma. Academia Eğitim Araştırmaları Dergisi, 5(2), 179-209.
7. Hodges, C., Moore, S., Lockee, B., Trust, T., Bond, A., 2020. The Difference between Emergency Remote Teaching and Online Learning, Ankara. <https://er.educause.edu/articles/2020/3/the-difference-between-emergency-remoteteaching-and-online-learning>. Erişim Tarihi: 03.03.2021
8. Salama, A.M., Crosbie, M.J., 2020. Educating Architects in a Post-pandemic World. Common Edge, Ankara, <https://commonedge.org/educating-architects-in-a-post-pandemic-world/>, Erişim Tarihi: 03.03.2021
9. Archinect, 2020a. Institutional Responses to COVID-19. <https://archinect.com/features/article/150193798/school-of-architecture-deans.voiceinstitutional-responses-to-the-covid-19-crisis-part-i> Erişim Tarihi: 3 Mart 2021, Ankara.
10. Grover, R., Wright, A., 2020. National Design Studio Survey: Initial Results. Report, UK: University of Bath. <https://researchportal.bath.ac.uk/en/publications/national-design-studio-survey-initial-results>. Erişim Tarihi: 5 Mart 2021.
11. Bala, H. A., 2020. Dijital Devrim -Covid19 Eşiğinde- Mimarlık Söyleşileri: Farklı Mimarlık Okullarından Eğitim Deneyimleri. <https://www.arkitera.com/soylesi/dijital-devrim-covid19-esiginde-mimarlik-soylesileri-farkli-mimarlik-okullarindan-egitmen-deneyimleri/> Erişim Tarihi: 6 Mart 2021.
12. Dostoğlu N., 2020. Karantina Sonrasında Mimarlık Eğitime ve Mimarlığa İlişkin Düşünceler. Mimarlık, 414, 19.
13. Kasalı, A., Doğan, F. ve Akış, T., 2020. Afet Nimet midir? Uzaktan Eğitime dair Notlar. Mimarlık, 414, 24-27.
14. Koçak Tufan, Z., Hasançebi, O., Çelik, G. E., İlhan, M. N., Çakır, B., Kayaaslan, B., 2020. Küresel Salgın Bağlamında Yükseköğretim Kurumlarında Sağlık ve Temiz Ortamların Geliştirilmesi Kılavuzu. <https://www.yok.gov.tr/Documents/Yayinlar/Yayinlarimiz/2020/yuksekogretim-kurumlarında-saglikli-ve-temiz-ortamların-gelistirilmesi-kilavuzu.pdf>. Erişim tarihi: 7 Mart 2021.
15. COVID-Ready Office Design: Retrofitting Buildings with Social Distancing in Mind. ArchDaily. <https://www.archdaily.com/957437/covid-ready-office-design-retrofitting->

buildings-with-social-distancing-in-mind.

Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022.

- 16.** Aguirre, M., 2020. COVID Occupancy Assessment. Cove.tool Help Center. <http://help.covetool.com/en/articles/4295290-covid-occupancy-assessment>. Erişim tarihi: 6 Mart 2021.

Moment Aktaran ve Merkezi Çaprazlı Çok Katlı Çelik Yapıların 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre Analizi ve Tasarımı (TBDY-2018)

Burcu YILDIZHAN SAĞER^{*1} ORCID 0000-0001-6632-1550
Beytullah TEMEL¹ ORCID 0000-0002-1673-280X

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

Geliş tarihi: 25.01.2022

Kabul tarihi: 30.11.2022

Atıf şekli/ How to cite: YILDIZHAN SAĞER, B., TEMEL, B., (2022). Moment Aktaran ve Merkezi Çaprazlı Çok Katlı Çelik Yapıların 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre Analizi ve Tasarımı (TBDY-2018). Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 1017-1029.

Öz

Bu çalışmada, moment aktaran ve merkezi çaprazlı çok katlı çelik yapıların 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre tasarımı yapılmıştır. 5 ve 10 katlı konut tipi binaların boyutlandırılmasında Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmeliği 2016 (ÇYTHYE-2016) ile Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) kullanılmıştır. 5 katlı yapıların doğrusal deprem yükü hesaplarında Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, 10 katlı yapıların doğrusal deprem hesaplarında Mod Birleştirme Yöntemi kullanılmıştır. Yapılarda Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yöntemine göre yük birleşimleri oluşturularak tasarım yapılmıştır. Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran ve merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan 5 ve 10 katlı binaların modellemesi ve yapısal analizlerinde SAP2000 v.20.0 paket programından faydalanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çok katlı çelik yapılar, Moment aktaran sistem, Merkezi Çaprazlı Sistem, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Yük ve dayanım katsayıları yöntemi

Design of Moment Resisting and Concentrically Braced Steel Structures According to Turkish Building Earthquake Code-2018 (TBEC-2018)

Abstract

In this study, the design of moment resisting and concentrically braced multi-storey steel structures is made based on the Turkish Building Earthquake Code 2018 (TBEC-2018). Design Rules of Calculation and Construction Requirements of Steel Structures Codes-2016 and Turkish Building Earthquake Code-2018 are used for the designing of 5 and 10-story type of residential buildings. The Equivalent Seismic Load Method has been used for linear earthquake load calculations of 5-story building and also Mode Combination Method has been used for 10-story building. These structures have been designed by generating load combinations according to the Load and Resistance Factor Design Method. SAP2000 v.20.0 program has been used for design and structural analysis of moment-resisting and concentrically braced steel frame systems with high ductility levels.

Keywords: Multi-story steel structures, Moment resisting system, Concentrically braced system, Turkish Building Earthquake Code-2018, Load and resistance factor design method

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Burcu YILDIZHAN SAĞER, burcuyildizhansager@gmail.com

1. GİRİŞ

Bu çalışmanın amacı, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ve 2016 Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmeliği esaslarına göre tasarımı yapılan süneklik düzeyi yüksek 5 ve 10 katlı moment aktaran ve merkezi çaprazlı yapı sistemlerinin analiz sonuçlarının kendi aralarında karşılaştırılarak, moment aktaran sistem ile merkezi çaprazlı sistemin avantaj ve dezavantajlarının incelenmesidir.

Süneklik düzeyi yüksek beş katlı çelik yapılar Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre on katlı çelik yapılar Mod Birleştirme Yöntemine göre analiz edilmiş olup dört farklı yapı örneğinin güncel yönetmelikler çerçevesinde irdelenmiş olması bu çalışmanın önemini göstermektedir.

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı ve moment aktaran çelik yapıların Elazığ ilinde 38.604675° enleminde ve 39.28091° boylamında inşa edileceği varsayılmış olup, binalar “çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar” olan ZC yerel zemin sınıfındadır.

5 ve 10 katlı tasarlanan binaların birbirine dik her iki doğrultudaki yatay yük taşıyıcı sistemi süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden teşkil edilmiştir. Aydınoglu ve arkadaşları [1], süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin basınç etkisindeki çapraz elemanların bazılarının burkulması halinde dahi sistemde önemli seviyede dayanım kaybı olmayacak şekilde boyutlandırılmasının yapılmasının gerekliliğinden bahsetmiştir.

T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü ile İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi arasındaki protokolle hazırlanan “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik Uygulama Kılavuzu”nda [2], ÇYTHYE-2016 Yönetmeliği esaslarına yönelik yapı elemanları ve birleşimlerine ait örnekler Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) ve Güvenlik

Katsayıları ile Tasarım (GKT) yaklaşımları ile ele alınarak çözümlenmiştir.

Yorgun ve arkadaşları [3] tarafından hazırlanan “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik Hakkında Ders Notları”nda ÇYTHYE-2016 yönetmeliği maddeleri açıklanmış, maddeler ile ilgili örneklere yer verilmiştir.

TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası tarafından 2018 tarihinde yayımlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) Eğitim El Kitabında [4], Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine ait bölümler ele alınmış ve örnekler çözülmüştür. TBDY-2018 Bölüm 9 “Deprem Etkisi Altında Çelik Binaların Tasarımı için Özel Kurallar” başlığı altında süneklik düzeyi yüksek moment aktaran, merkezi çaprazlı ve dışmerkez çaprazlı üç farklı çelik çerçeveli bina sistemi ele alınmış; bu binalara ait taşıyıcı sistem hesabı ve tasarımı Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile yapılmıştır.

Tütüncü [5], yüksek lisans tez çalışmasında çok katlı çelik bir yapının TBDY-2018’e göre tasarımı ele almıştır. Tasarımı yapılan çelik yapı 10 katlı olup; boyuna yönde süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çaprazlı çerçevelerden, enine yönde süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistemlerden oluşturulmuştur. Yapı, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre tasarlanmış, Yük ve Dayanım Katsayıları Yöntemine göre hesapları yapılmıştır. Yapı analizlerinde SAP2000 programı kullanılmıştır.

Öz [6] tarafından hazırlanan yüksek lisans tez çalışmasında, süneklik düzeyi sınırlı moment aktaran çelik çerçevelerden oluşan 5 katlı yapı ile süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçevelerden oluşan 5 katlı bir yapı ele alınmış; bu yapıların Yük ve Dayanım Katsayıları Yöntemine (YDKT) ve Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) Yöntemine göre tasarımı yapılmıştır. Yapı analizlerinde SAP2000 programı kullanılmıştır.

Uz [7] tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde çok katlı bir çelik yapının TBDY-2018 ve

ÇYTHYE-2016 yönetmelikleri kullanılarak modellenmesi ele alınmıştır. Çalışmada, 5 katlı ve 13 katlı moment aktaran, X çapraz sistemli ve V çapraz sistemli yapılar tasarlanmıştır; yapıların performansları incelenmiştir. Bu yapıların analizleri ETABS programında yapılmıştır.

Noori ve Doori [8] tarafından yayımlanan makalede, farklı gözenekli çelik petek kirişlerin statik davranışları incelenerek benzer üniform yayılı yükler ve sınır şartları içinde en iyi performansı gösteren kiriş tipinin hangisi olduğu araştırılmıştır.

Lemonis, Hatzigeorgiou ve Asteris [9] tarafından yayımlanan makalede moment aktaran çerçevelerin kiriş kolon bağlantı noktalarındaki enerji dağılımları incelenmiştir.

Sadeghinezhad, Kheyroddin ve Mortezaei [10] tarafından yayımlanan makalede ise sünek olmayan mevcut betonarme çerçevenin doğrudan bağlantı ile çelik çaprazlar kullanılarak güçlendirilmesi ele alınmıştır. Çelik çaprazlar kullanılarak güçlendirilen betonarme çerçevelerin rijitlik, taşıma kapasitesi ve enerji sönümlemesinin artışları incelenmiştir.

5 ve 10 katlı tasarlanan bina örneklerinde genel analiz yöntemi kullanılarak, sonlu elemanlar paket programı SAP2000 [11] yardımı ile tasarımlar yapılmıştır. Genel analiz yöntemi tüm çelik yapı sistemlerinin stabilite tasarımına uygulanabilmekte olup, bu yöntem ile gerekli dayanımın hesabı ikinci mertebeye hesap uygulanarak elde edilmektedir. Sistem hesabında, geometrik ön kusurlar için kullanılan fiktif yükler ÇYTHYE-2016 6.2.2.2'de açıklandığı gibi şekil değiştirmemiş orjinal sistem üzerine etkitilecektir. Fiktif yükler, her kat düzeyinde sisteme etkitilecek olup bu yükler yapı sistemine etkiyen tüm düşey ve yatay yük birleşimlerine eklenecektir.

Binalar her iki doğrultuda süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşmakta olup basınç etkisindeki çapraz elemanların bazılarının burkulmasında dahi sistemde önemli

derecede dayanım kaybı oluşturmayacak şekilde boyutlandırılmıştır.

Kullanım amacı konut olarak tasarlanan binalara ait gerekli dayanımı belirlemek amacıyla karakteristik yüklere uygulanacak yük birleşimlerinde Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım Yöntemi (YDKT) kullanılmıştır. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine [12] göre tasarlanan 5 katlı yapıların doğrusal deprem hesaplarında Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, 10 katlı yapıların doğrusal deprem hesaplarında ise Mod Birleştirme Yöntemi kullanılmıştır.

Celep ve Kumbasar [13], eşdeğer deprem yükü yönteminin taşıyıcı sistemi düzenli ve düzensizliği sınırlı olan binalar için üç yöntemin (mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında çözümlene yöntemine göre) en kullanışlı ve faydalısı olarak belirtmişlerdir. Boyutlamada kapasite kavramının kullanılması, sünekliğin kontrollü şekilde istenilen yerlerde oluşmasının sağlanması ve istenmeyen güç tükenmesi şekillerinin önlenmesi koşulu ile bu yöntem daha karmaşık çözümlere ihtiyaç duyulmaksızın uygulanabilmektedir. Özellikle taşıyıcı sistemi düzenli olan yapılarda yapı davranışını iyi temsil eder.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, binaların kolon ve kirişleri I kesitli profillerden, çaprazlar ise kutu profillerden oluşturulmuştur. Kolonlar S355 yapısal çelik sınıfında olup, Çelik Yapılar Yönetmeliği Tablo 2.1A'ya göre karakteristik akma gerilmesi (F_y) 355 N/mm² ve çekme dayanımı (F_u) 510 N/mm² değerindedir. Kirişler ve çaprazlar ise S275 yapısal çelik sınıfında olup karakteristik akma gerilmesi (F_y) 275 N/mm² ve çekme dayanımı 430 N/mm²'dir. Çapraz kiriş kolon birleşimlerinde ve çapraz uç birleşimlerinde bulon sınıfı 10.9 olup yüksek dayanımlıdır. E550 kaynak metal sınıfı seçilmiştir.

Kiriş, kolon ve döşeme elemanlarından oluşan bina örneklerinde kiriş ve kolon kesit boyutları kendi

uzunluklarından göreceli olarak daha küçük olup kirişler kolonlara bulonlarla bağlanmış ve düzlem çerçeve sistemler oluşturulmuştur. Modelleme aşamasında kirişler çubuk eleman, döşemeler ise plak eleman olarak eşit karesel parçalara ayrılmış ve sonlu eleman ağı oluşturulmuştur. Kolonlar zemine ankastre mesnetlenmiş ve döşemeler rijit diyafram olarak kabul edilmiştir.

Yükler ve Kullanılan Standartlar: Yapıların tasarımı ve yapı elemanlarının boyutlandırılmasında karakteristik yük değerleri olarak “TS498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri” standardından [12] faydalanılmıştır. Kar yükü hesabında “TS EN 1991-1-3”[14], rüzgar yükü hesabında “TS EN 1991-1-4” [15] standartları kullanılmıştır. Deprem yüklerinin hesabında ve karakteristik değerlerin belirlenmesinde “2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği” ilgili maddeleri kullanılmıştır.

Yük Birleşimleri: Sabit ve hareketli yükler ile deprem ve rüzgar yüklerinin belirlenmesi ve bu yüklerin birleştirilerek bina taşıyıcı sistemine etkilmesi ÇYTHYE-2016 5.3.1, TBDY-2018 4.4 ve 9.2.5 maddelerine uygun olarak gerçekleştirilecektir. Binalara ait çelik yapı elemanlarının tasarımı *Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım Yöntemine (YDKT)* göre yapılacak olup, bu tasarım yönteminde gerekli dayanım ÇYTHYE-2016 5.3.1’de ve TBDY-2018 4.4’te belirtilen yük birleşimleri kullanılacaktır.

Yapısal Analizler: Yapıların analizi ve tasarımında 2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, boyutlandırılmasında 2016 yılında yürürlüğe giren Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik esas alınmıştır. Yapının tasarımında her iki yönetmelikte de belirtilen Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) Yöntemi kullanılmıştır. Modelleme ve yapısal analizler SAP2000 v20 paket programında yapılmıştır.

Yapısal analizler sonrasında görelî kat ötelemelerinin kontrolü ve ikinci mertebeye etkilerinin kontrolleri yapılmıştır.

Celep ve Kumbasar [16], deprem yükleri altındaki katlar arası yer değiştirmelerin ve bunlardan oluşan kat toplam yatay yer değiştirmelerinin özellikle narin yapılarda hesap edilmesinin taşıyıcı olmayan elemanda hasarın sınırlandırılması ve ikinci mertebeye etkilerinin gözönüne alınması açısından gerekli olduğunu belirtmişlerdir. Yatay yer değiştirmeler sonucu ortaya çıkan ve düşey yüklerin ek eğilme momenti oluşturmasına sebep olan bu duruma P-Δ etkisi denmektedir.

P-Δ etkileri ikinci mertebeye etkiler olup bazı durumlarda çok küçük olduğundan ihmal edilebilir. Mertol ve Mertol [17], yüksek yapılarda kat yer değiştirmesi büyük olan ve burulma etkisinin önemli olduğu yerlerde, kat yer değiştirmeleri daha fazla büyüyeceğinden ikinci mertebeye etkilerinin dikkate alınmasının gerektiğini belirtmişlerdir. Çelik yapılar, betonarme yapılara kıyasla daha narin yapıda ve genellikle daha fazla yükseklikte tasarlandığından, P-Δ etkileri yani ikinci mertebeye etkileri daha ön plandadır.

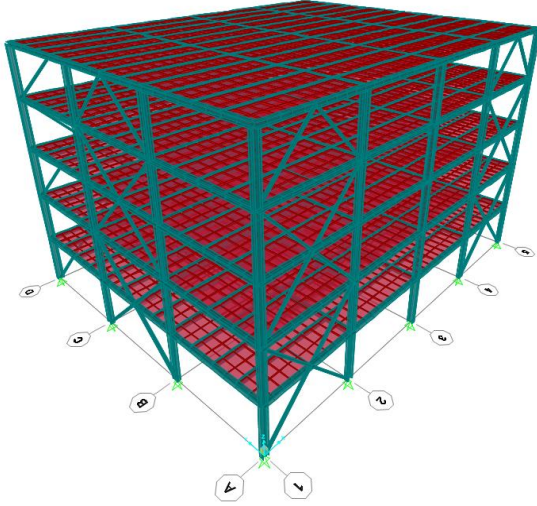
3. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu çalışmada, dört farklı örnek problem çözülmüştür.

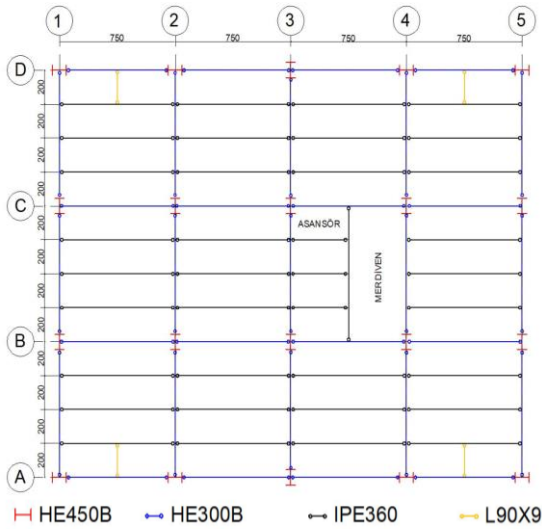
Örnek 1: Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı 5 Katlı Çelik Yapı Sistemi

Her iki doğrultuda süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan 5 katlı yapı 30 metre boyunda 24 metre eninde olup, x yönünde 7,5 metre aralıklarla 5 akstan, y yönünde 8 metre aralıklarla 4 akstan oluşmaktadır. 2 metre aralıklarla ikincil kirişler oluşturulmuş olup, ana kirişlere mafsallı olarak bağlanmıştır. Kirişlerin kolonlara ve çaprazların düğüm noktalarına bağlantısı mafsallıdır. Kolonlar +0.00 kotunda temele her iki eksen yönünde mafsallı mesnetlenmiştir. Binanın tipik kat yüksekliği 4 metredir.

Konut olarak tasarlanan 5 katlı yapıda kolonlar HE450B, ana kirişler HE300B, ikincil ara kirişler IPE360 ve yanal destek elemanları L90x9 olarak seçilmiştir.



Şekil 1. 5 katlı yapının 3 boyutlu bilgisayar hesap modeli



Şekil 2. 5 Katlı Yapıya ait Normal Kat Planı

Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler değişken kesitli kutu profiller olup, A ve D akslarında 140x140x14,2 mm, 140x140x12,5 mm, 140x140x10 mm, 125x125x8 mm ve 125x125x6,3 mm; 1 ve 5 akslarında 160x160x16 mm, 160x160x14,2 mm, 140x140x12,5 mm, 125x125x8 mm'dir. Kolonlar S355; ana kiriş, ara kiriş, yan destek elemanları ve çapraz kutu profiller S275 çelik sınıfındadır.

Sabit ve Hareketli Yükler

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı 5 katlı yapıya ait toplam sabit yük normal katlarda 4,90 kN/m² çatı katında ise 4,0 kN/m²'dir. Hareketli yük hesap değeri oda, koridor ve çatıda 2 kN/m² olarak alınmış ve alansal üniform yayılı yük olarak modele tanımlanmıştır. Normal katlarda dış duvar yükü 3 kN/m, Çatı katında parapet yükü 2 kN/m hesaplanmış ve çizgisel üniform yayılı yük olarak sisteme modeline aktarılmıştır. Maksimum kar yüksekliği 0,80 m olarak alındığından karakteristik zemin kar yükü (S_k) değeri 2 kN/m³ * 0,80 m * 0,80 = 1,30 kN/m² olarak hesaplanmıştır.

Elazığ ilinde bulunan 5 katlı yapının tasarımı için rüzgar yüklerinin belirlenmesinde TS EN 1991-1-4 Standardı kullanılmıştır. TS EN 1991-1-4 Standardına göre konut olarak kullanılan yapıya ait katlara etkiyen toplam rüzgar kuvveti değerleri Çizelge 1 ve Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. b=24m genişliğindeki yüzeye dik olarak etkiyen rüzgar kuvvetleri (x doğrultusu)

Döşeme	Yükseklik	Rüzgar kuvveti (kN)
Çatı katı	2,00	50,27
4. kat	4,00	100,55
3. kat	4,00	100,55
2. kat	4,00	100,55
1. kat	4,00	100,55
Toplam		452,47

Çizelge 2. b=30m genişliğindeki yüzeye dik olarak etkiyen rüzgar kuvvetleri (y doğrultusu)

Döşeme	Yükseklik	Rüzgar kuvveti (kN)
Çatı katı	2,00	62,84
4. kat	4,00	125,69
3. kat	4,00	125,69
2. kat	4,00	125,69
1. kat	4,00	125,69
Toplam		565,59

Deprem Yükleri

5 katlı binanın kullanım amacı konut olduğundan bina kullanım sınıfı BKS=3 ve bina önem katsayısı ise I=1'dir.

Çizelge 3. 38.604675° enlemi ve 39.280981° boylamında bulunan 5 katlı merkezi çaprazlı çelik yapıya ait AFAD deprem haritasından elde edilen bilgiler

Deprem yer hareketi düzeyi	DD2
Yerel zemin sınıfı	ZC
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_s)	1,114
1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1)	0,307
Kısa per. böl. için yerel zemin etki katsayısı (F_s) değeri	1,20
1 sn periyot için yerel zemin etki katsayısı (F_1) değeri	1,50
$S_{DS}=S_s * F_s$ kısa periyot harita spektral ivme katsayısı	1,34
$S_{D1}=S_1 * F_1$ 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı	0,46

Çizelge 3'te bilgileri verilen binanın, bina kullanım sınıfı BKS=3 ve kısa periyot harita spektral ivme katsayısı $S_{DS}=1,34$ olduğundan deprem tasarım sınıfı DTS=1 olmaktadır.

Deprem tasarım sınıfı DTS=1 olan binanın toplam yükseklği $17,5 < H_N=20 \leq 28$ olduğundan bina yükseklik sınıfı BYS=5 olmaktadır.

DTS=1 ve deprem yer hareket düzeyi DD2 için normal performans hedefi kontrollü hasar (KH), değerlendirme/tasarım yaklaşımı ise dayanıma göre tasarımdır (DGT).

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde i'inci kata etkileyen fiktif yükü gösteren F_{fi} değerini bulmak için, F_0 yerine herhangi bir değer verilebileceği belirtilmiş olup 5 katlı çelik bina için F_0 değeri 500 kN alınarak, katlara etkileyen F_{fi} fiktif kuvveti değerleri hesaplanmış ve Çizelge 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. Merkezi çaprazlı 5 katlı çelik yapıda katlara ait fiktif kuvvet F_{fi} değerleri

Kat no	w_i (kN)	H_i (m)	$w_i H_i$ (kNm)	F_{fi} (kN)
Çati	3808,8	20	76176,00	153,87
4	4284	16	68544,00	138,45
3	4284	12	51408,00	103,84
2	4284	8	34272,00	69,23
1	4284	4	17136,00	34,61
Toplam	20945		247536,00	500,00

Çizelge 5. X Doğrultusu için Fiktif Yükler $F_{fi}(x)$ ve Buna Bağlı Kat Yerdeğiştirmeleri $d_{fi}(x)$

Kat no	$F_{fi}^{(x)}$	$d_{fi}^{(x)}$	m_i	$m_i d_{fi}^{(x)2}$	$F_{fi}^{(x)} d_{fi}^{(x)}$
Çati	153,87	0,0038	388,26	0,00559	0,58362
4	138,45	0,0031	436,70	0,00410	0,42408
3	103,84	0,0022	436,70	0,00205	0,22502
2	69,23	0,0013	436,70	0,00077	0,09166
1	34,61	0,0005	436,70	0,00012	0,01800
Toplam	500,00			0,01262	1,34238

Çizelge 6. Y Doğrultusu için Fiktif Yükler $F_{fi}(y)$ ve Buna Bağlı Kat Yerdeğiştirmeleri $d_{fi}(y)$

Kat no	$F_{fi}^{(y)}$	$d_{fi}^{(y)}$	m_i	$m_i d_{fi}^{(y)2}$	$F_{fi}^{(y)} d_{fi}^{(y)}$
Çati	153,87	0,0054	388,26	0,01149	0,83720
4	138,45	0,0043	436,70	0,00823	0,60116
3	103,84	0,0031	436,70	0,00426	0,32429
2	69,23	0,002	436,70	0,00170	0,13665
1	34,61	0,0008	436,70	0,00027	0,02710
Toplam	500,00			0,02596	1,92641

Çizelge 5'e göre x doğrultusundaki hakim doğal titreşim periyodu,

$$T_p = 2\pi \left[\frac{\sum m_i x d_{fi}^2}{\sum F_{fi} x d_{fi}} \right]^{1/2} \quad (1)$$

$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4} \quad (2)$$

$$T_p(x) = 2\pi \left[\frac{0,01262}{1,34238} \right]^{1/2} = 0,6091 \text{ sn}$$

$$T_{pA}^{(x)} = 1,4x0,08x(20)^{3/4} = 1,0592 \text{ sn}$$

$$T_p^{(x)} < 1,4x T_{pA}^{(x)} \text{ olduğundan } T_p^{(x)} = 0,6091 \text{ sn'dir.}$$

Çizelge 6'ya göre Y doğrultusundaki hakim doğal titreşim periyodu,

$$T_p(y) = 2\pi \left[\frac{0,02596}{1,92641} \right]^{1/2} = 0,7293 \text{ sn}$$

$$T_{pA}^{(y)} = 1,4x0,08x(20)^{3/4} = 1,0592 \text{ sn}$$

$T_p^{(y)} < 1,4x T_{pA}^{(y)}$ olduğundan $T_p^{(y)} = 0,7293$ sn'dir.

Düzensizlik Kontrolleri

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan 5 katlı yapı dikdörtgen plana sahip olup A3 planda çıkıntılarının bulunması düzensizlik durumu bulunmamaktadır. Yapıda döşemede boşluk alanları toplamı brüt kat alanının üçte birinden daha az olduğundan A2 döşeme süreksizliği de yoktur.

Düşeyde düzensizlik durumlarından B1 komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat) betonarme binalarda geçerli olduğundan söz konusu çelik yapı için bu düzensizlik türü irdelenmeyecektir. Yapıda çelik kolonların bazı katlarda kaldırılması veya çelik kirişlere oturtulması gibi düşeyde süreksizlik yaratacak B3 türü düzensizlik bulunmamaktadır. A1 türü burulma düzensizliği ve B2 türü rijitlik düzensizliğine ait sonuçlar Çizelge 7 ve Çizelge 8'de gösterilmiştir.

Çizelge 7. X ve Y doğrultuları için A1 türü burulma düzensizliği

Kat	$\Delta_i^{(x)}$ maks	$\Delta_i^{(x)}$ ort	$n_{bi}^{(x)}$	Koşul	$\Delta_i^{(y)}$ maks	$\Delta_i^{(y)}$ ort	$n_{bi}^{(y)}$	Koşul
Çatı	0,000730	0,00069	1,0526	≤ 2	0,00111	0,00105	1,0572	≤ 2
4	0,000916	0,00087	1,0505	≤ 2	0,00128	0,0012	1,0612	≤ 2
3	0,000875	0,00083	1,0517	≤ 2	0,00129	0,00122	1,0607	≤ 2
2	0,000838	0,00080	1,0521	≤ 2	0,00127	0,00119	1,0611	≤ 2
1	0,000545	0,00052	1,0501	≤ 2	0,00083	0,00079	1,0591	≤ 2

Çizelge 8. X ve Y doğrultuları için B2 türü rijitlik düzensizliği (Yumuşak kat)

Kat	$(\Delta_i(x)/h_i)$ ort	$(\Delta_{i-1}(x)/h_{i-1})$ ort	$n_{ki}^{(x)}$	Koşul	$(\Delta_i(y)/h_i)$ ort	$(\Delta_{i-1}(y)/h_{i-1})$ ort	$n_{ki}^{(y)}$	Koşul
Çatı-4	0,000173	-	-	≤ 2	0,00026	-	-	≤ 2
4-3	0,000218	0,00022	0,7953	≤ 2	0,0003	0,0003	0,8731	≤ 2
3-2	0,000208	0,00021	1,0481	≤ 2	0,00031	0,00031	0,9848	≤ 2
2-1	0,000199	0,00020	1,0446	≤ 2	0,0003	0,0003	1,0218	≤ 2
1-Zemin	0,000130	0,00013	1,5347	≤ 2	0,0002	0,0002	1,5181	≤ 2

Eşdeğer Deprem Yüğü Hesabı

Merkezi çaprazlı çelik çerçevesi 5 katlı yapıda eşdeğer deprem yükü hesabı için ilk olarak toplam yatay eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)

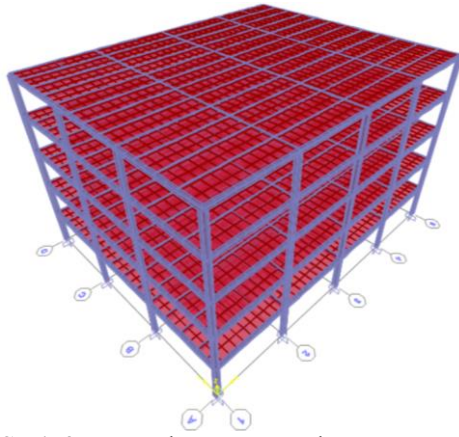
V_{IE} hesaplanmış, daha sonra bu kuvvet katlara dağıtılarak katlara etkiyen yatay eşdeğer deprem yükleri F_{IE} bulunmuştur. (x) ve (y) yönlerine ait katlara etkiyen eşdeğer deprem yükü değerleri Çizelge 9'da yer almaktadır.

Çizelge 9. Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükü değerleri

KAT	w_i (kN)	H_i (m)	$w_i H_i$ (kNm)	$w_i H_i / \sum w_j H_j$	$F_{IE}(x)$	$F_{IE}(y)$
Çatı	3808,8	20	76176	0,3077	1056,73	882,60
4	4284	16	68544	0,2769	844,00	704,93
3	4284	12	51408	0,2077	633,00	528,70
2	4284	8	34272	0,1385	422,00	352,46
1	4284	4	17136	0,0692	211,00	176,23
Σ	20944,8		247536	1	3166,7417	2644,9230

Örnek 2: Süneklik Düzeyi Yüksek Moment Aktaran 5 Katlı Çelik Yapı Sistemi

Bu örnekteki yapı ilk örnekteki yapı ile benzer özelliklerde olup, merkezi çaprazlar iptal edilmiş; moment aktaran çerçeve sisteme dönüştürülmüştür.



Şekil 3. 5 Katlı moment aktaran yapıya ait 3 boyutlu bilgisayar hesap modeli

5 katlı moment aktaran çerçeve yapıda ana çerçeve kirişlerin kolonlara bağlantısı, kolon zayıf eksen doğrultusunda mafsalı, kuvvetli eksen doğrultusunda ankastre olarak bağlanmıştır. Kolonlar $\pm 0,00$ kotunda temele ankastre mesnetlenmiştir.

Yapının (x) ve (y) doğrultularındaki hakim doğal titreşim periyodu Rayleigh teoremi ile 1,9976 sn olarak hesaplanmıştır.

$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4}$$

$$T_{pA} = 0,08x(20)^{3/4} = 0,757 \text{ sn}$$

$T_p > 1,4xT_{pA}$ olduğundan $T_p^{(x)} = T_p^{(y)} = 1,0592 \text{ sn}$ olarak alınacaktır.

Çizelge 10 ve 11’den yapıda A1 ve B2 türü düzensizliklerin bulunmadığı görülmektedir.

Çizelge 10. X ve Y Doğrultuları için A1 türü burulma düzensizliği

Kat	$\Delta i^{(x)}$ maks	$\Delta i^{(x)}$ ort	$n_{bi}^{(x)}$	Koşul	$\Delta i^{(y)}$ maks	$\Delta i^{(y)}$ ort	$n_{bi}^{(y)}$	Koşul
Çatı	0,005415	0,00507	1,0671	≤ 2	0,00461	0,00406	1,1356	≤ 2
4	0,008311	0,00780	1,0652	≤ 2	0,00706	0,00621	1,1376	≤ 2
3	0,010550	0,00991	1,0647	≤ 2	0,00895	0,00785	1,1399	≤ 2
2	0,010791	0,01014	1,064	≤ 2	0,0091	0,00798	1,1409	≤ 2
1	0,006163	0,00580	1,0625	≤ 2	0,00515	0,00451	1,1406	≤ 2

Çizelge 11. X ve Y doğrultuları için B2 türü rijitlik düzensizliği (Yumuşak kat)

Kat	$(\Delta i(x)/h_i)$ ort	$(\Delta i-1(x)/h_{i-1})$ ort	$n_{ki}^{(x)}$	Koşul	$(\Delta i(y)/h_i)$ ort	$(\Delta i-1(y)/h_{i-1})$ ort	$n_{ki}^{(y)}$	Koşul
Çatı-4	0,001278	-	-	≤ 2	0,00102	-	-	≤ 2
4-3	0,001951	0,00195	0,655	≤ 2	0,00155	0,00155	0,6535	≤ 2
3-2	0,002831	0,00283	0,689	≤ 2	0,00196	0,00196	0,7911	≤ 2
2-1	0,002536	0,00254	1,1166	≤ 2	0,002	0,002	0,9838	≤ 2
1-Zemin	0,001450	0,00145	1,7485	≤ 2	0,00113	0,00113	1,7683	≤ 2

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile yapılan analizler ile görelî kat ötelemeleri ve ikincil mertbe etkileri kontrolleri yapılmış, yönetmelik koşullarını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir. Görelî kat ötelemesi değerlerinin yönetmelik koşullarını sağlamaması nedeniyle, sistem rijitliği

arttırılarak analizler tekrarlanmıştır. Etkin görelî kat ötelemeleri ve ikinci mertbe gösterge değerlerine ait sonuçlar “Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı ve Moment Aktaran 5 Katlı Yapı Modellerine Ait Sonuçlar” bölümünde verilmiştir.

Sistem Rijitliği Arttırılmış Moment Aktaran 5 Katlı Çelik Yapı Sisteminin Analizi

Sistem rijitliğini arttırmak için, ana kirişlerin hepsi kolonlara rijit bağlanmış, betonarme döşeme kalınlığı artırılmıştır. Kolon, ana kiriş, ikincil döşeme kirişleri ve yanal destek elemanlarına ait kullanılan profillerde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.

Bina hakim doğal titreşim periyodu Rayleigh teoremi ile,

$$T_p(x) = 2\pi \left[\frac{0,32254}{6,82695} \right]^{1/2} = 1,366 \text{ sn}$$

$$T_{pA}^{(x)} = 0,08x(20)^{3/4} = 0,757 \text{ sn}$$

$$T_p^{(x)} > 1,4x T_{pA}^{(x)} \text{ olduğundan } T_p^{(x)} = 1,0592 \text{ sn'dir.}$$

$$T_p(Y) = 2\pi \left[\frac{0,15551}{4,7398} \right]^{1/2} = 1,138 \text{ sn}$$

$$T_{pA}^{(y)} = 0,08x(20)^{3/4} = 0,757 \text{ sn}$$

$$T_p^{(y)} > 1,4x T_{pA}^{(y)} \text{ olduğundan } T_p^{(y)} = 1,0592 \text{ sn'dir.}$$

Etkin görelî kat ötelemeleri ve ikinci mertebeye gösterge değerlerine ait sonuçlar "Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı ve Moment Aktaran 5 Katlı Yapı Modellerine Ait Sonuçlar" bölümünde verilmiştir. Süneklik düzeyi yüksek 5 katlı moment aktaran çelik çerçevesel yapının rijitliği artırılarak TBDY-2018, 4.9.1.6 maddesi koşulunun sağlandığı ve katlara ait görelî kat ötelemeleri değerinin 0,008 sınır değerinin altında kaldığı görülmüştür. İkinci mertebeye gösterge değerlerinde ise en büyük değer yapının ikinci katında çıkmış olup sınır koşul değerlerini sağladığı görülmüştür. Rijitliğin artırılması ile ikinci mertebeye değerlerinde büyük oranda düşüş gözlemlenmiştir.

Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı ve Moment Aktaran 5 Katlı Yapı Modellerine Ait Sonuçlar

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile yapılan analizler sonucunda her iki yapı modeli için katlara göre yer değiştirme u_b , etkin görelî kat ötelemeleri

ve ikinci mertebeye etkilerine $\theta_{II,i}$ ait sonuçlar Çizelge 12, Çizelge 13 ve Çizelge 14'te bir araya getirilmiştir.

Çizelge 12. (X) yönü katlara göre yerdeğiştirmeler

Kat	Merkezi çaprazlı	Moment aktaran	Moment aktaran (Tam rijit)
Çatı (3716)	0,025787	0,0424	0,095307
4 (2723)	0,020755	0,0378	0,082583
3 (1730)	0,014603	0,03	0,063097
2 (737)	0,008895	0,019	0,038736
1 (6991)	0,003465	0,0082	0,01403

Yapısal analizler ile görelî kat ötelemelerinin kontrolü ve ikinci mertebeye etkilerinin kontrolleri yapılmıştır. Kontrollerde (X) ve (Y) doğrultuları için en büyük etkin görelî kat ötelemeleri değerleri 0,008 değerini aşmamalıdır.

Çizelge 13. (X) yönü etkin görelî kat ötelemeleri

Kat	Merkezi çaprazlı	Moment aktaran	Moment Aktaran (Tam rijit)
Çatı (3716)	0,00223	0,00326	0,00901
4 (2723)	0,00272	0,00552	0,01379
3 (1730)	0,00253	0,00779	0,01725
2 (737)	0,00240	0,00765	0,01749
1 (6991)	0,00153	0,00580	0,00993

Çizelge 14. (X) Yönü İkinci Mertebeye Etkisi Değerleri, $\theta_{II,i}$

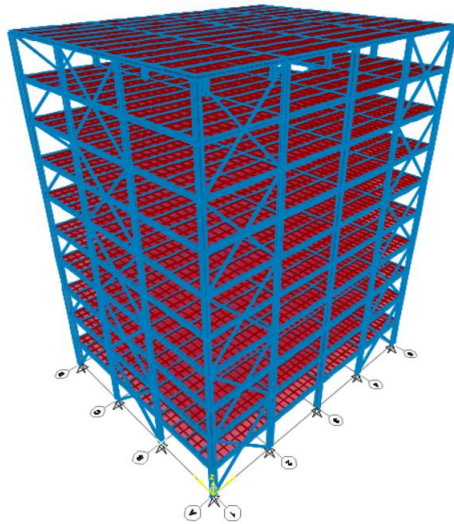
Kat	Merkezi çaprazlı	Moment aktaran	Moment aktaran (Tam rijit)
Çatı (3716)	0,000624899	0,004592312	0,012765645
4 (2723)	0,000928183	0,009370088	0,023139773
3 (1730)	0,001016038	0,014395829	0,033695115
2 (737)	0,00112242	0,018701514	0,039779941
1 (6991)	0,000858165	0,015758499	0,026684331

(X) yönü katlara göre yer değiştirme ve ikinci mertebeye gösterge değerleri sonuçları incelendiğinde, en büyük yer değiştirmelerin moment aktaran çerçeve sistemi modellerine ait olduğu görülmüştür.

(X) yönü etkin görel kat ötelemeleri sonuçları incelendiğinde, en büyük değerlerin moment aktaran çerçeve sistemi modellerinde ortaya çıktığı, sınır koşul olan 0,008 değerine çok yaklaştığı görülmüştür.

Örnek 3: Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı 10 Katlı Çelik Yapı Sistemi

Konut olarak tasarlanan 10 katlı yapıda kolonlar 1-3. katlar arası HE600B, 4-10. katlar arası HE450B, ana kirişler HE300B, ikincil ara kirişler IPE360 ve yanal destek elemanları L90x9 olarak seçilmiştir. Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler ise değişken kesitli kutu profiller olup A ve D akslarında 1-3 katları arası 160x160x16mm, 4-6 katları arası 140x140x14.2 mm, 7-9 katları arası 140x140x12,5 mm ve 10. katta 120x120x6 mm'dir. 1 ve 5 akslarında ise 1-3 katları arası 180x180x20 mm, 4 ve 5. Katlarda 160x160x14.2 mm, 6-8 katları arası 140x140x12.5 mm, 9. katta 140x140x10 mm ve 10. katta 120x120x6 mm'dir. Kolonlar S355; ana kiriş, ara kiriş, yanal destek elemanları ve çapraz kutu profiller S275 çelik sınıfındadır. Yapının analizi ve tasarımında Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) Yöntemi ve Modal Analiz Yöntemlerinden Mod Birleştirme Yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 4. 10 Katlı yapının 3 boyutlu bilgisayar hesap modeli

SAP2000 programında (X) ve (Y) yönlerinde yüzeye dik olarak etkiyen rüzgar kuvvetleri cephe kolonlarına yayılı yük olarak etkilecek olup hesaplar buna göre yapılmıştır.

(X) Yönü Rüzgar Kuvveti

Rüzgar basınç yönü;

$$w(24)=0,870 \times 8,00 \times 1,1=7,66 \text{ kN/m}$$

$$w(40)=1,061 \times 8,00 \times 1,1=9,34 \text{ kN/m}$$

Rüzgar emme yönü;

$$w(24)=0,870 \times 8,00 \times 0,2=1,39 \text{ kN/m}$$

$$w(40)=1,061 \times 8,00 \times 0,2=1,70 \text{ kN/m}$$

(Y) Yönü Rüzgar Kuvveti

Rüzgar basınç yönü;

$$w(30)=0,952 \times 7,50 \times 1,1=7,85 \text{ kN/m}$$

$$w(40)=1,061 \times 7,50 \times 1,1=8,75 \text{ kN/m}$$

Rüzgar emme yönü;

$$w(30)=0,952 \times 7,50 \times 0,2=1,43 \text{ kN/m}$$

$$w(40)=1,061 \times 7,50 \times 0,2=1,59 \text{ kN/m} \quad \text{olarak hesaplanmıştır.}$$

TBDY-2018, 4.8.1.2 maddesine göre Mod Birleştirme Yönteminde hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, (X) ve (Y) deprem doğrultularında her bir mod için hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamı bina toplam kütlelerinin %95'inden daha az olmamalıdır. Ayrıca katkısı %3'ten büyük olan tüm modlar hesaba katılacaktır.

Çizelge 15. Merkezi çaprazlı 10 katlı yapıya ait periyot değerleri ve kütle katılım oranları

MOD	Period	UX	UY	ΣUX	ΣUY
	sn				
1	1,694176	2E-07	0,6832	0,000	0,683
2	1,362557	0,68972	2E-07	0,690	0,683
3	0,930528	1E-06	5E-06	0,690	0,683
4	0,455875	1,4E-08	0,2138	0,690	0,897
5	0,364669	0,20217	7E-09	0,892	0,897
6	0,293333	5,8E-06	1E-07	0,892	0,897
7	0,279767	1,1E-06	8E-05	0,892	0,897
8	0,274398	0,06003	9E-07	0,952	0,897
9	0,266984	2,1E-07	0,0332	0,952	0,930
10	0,255797	9,4E-07	0,0197	0,952	0,950

$$T_{pA}^{(x)} = 0,08x(40)^{3/4} = 1,272 \text{ sn}$$

$$T_p^{(x)} < 1,4xT_{pA}^{(x)} = 1,4x1,272 = 1,781 \text{ olduğundan}$$

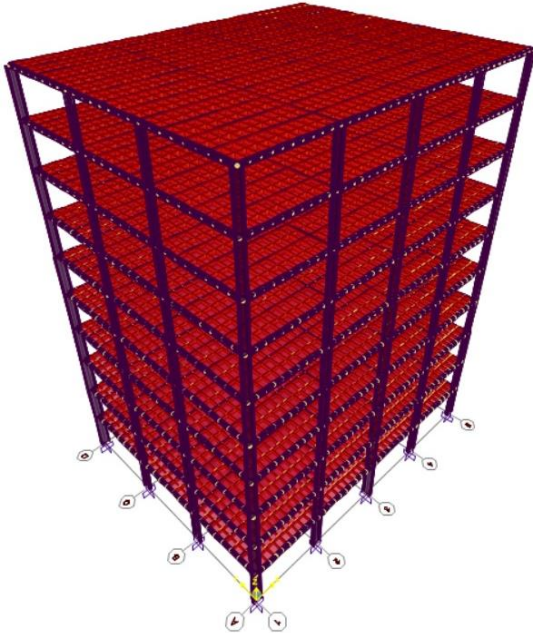
$$T_p^{(x)} = 1,363 \text{ sn'dir.}$$

$$T_p^{(y)} < 1,4xT_{pA}^{(x)} = 1,4x1,272 = 1,781 \text{ olduğundan}$$

$$T_p^{(y)} = 1,694 \text{ sn'dir.}$$

Örnek 4: Süneklik Düzeyi Yüksek Moment Aktaran 10 Katlı Çelik Yapı Sistemi

Bu örnekteki yapı *Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı 10 Katlı Çelik Yapı örneği* ile benzer özelliklerde olup, merkezi çaprazlar iptal edilmiş; moment aktaran çerçeve sisteme dönüştürülmüştür. Konut olarak tasarlanan 10 katlı moment aktaran çelik çerçeve yapıda kolonlar 1-3 katları arası HE900B, 3-6 katları arası HE800B, 7-10 katları arası HE650B olarak tasarlanmıştır. Ana kirişler HE300B, ikincil ara kirişler IPE360 ve yanal destek elemanları L90x9 olarak seçilmiştir. Kolonlar S355; ana kiriş, ara kiriş, yanal destek elemanları S275 çelik sınıfındadır.



Şekil 5. 10 katlı moment aktaran yapıya ait 3 boyutlu bilgisayar hesap modeli

Çizelge 16. Moment aktaran çelik çerçeve 10 katlı yapıya ait periyot değerleri ve kütle katılım oranları

MOD	Period	UX	UY	ΣUX	ΣUY
	sn				
1	1,994877	0,78389	2E-06	0,784	0,000
2	1,51576	1,6E-06	0,7832	0,784	0,783
3	1,387653	1,4E-06	0,0018	0,784	0,785
4	0,650423	0,10406	2E-07	0,888	0,785
5	0,501567	1,3E-07	0,1062	0,888	0,891
6	0,453511	9,1E-08	5E-05	0,888	0,891
7	0,365745	0,04118	4E-08	0,929	0,891
8	0,283166	2,4E-08	0,0411	0,929	0,932
9	0,254571	2,8E-07	3E-06	0,929	0,932
10	0,243786	0,02366	1E-08	0,953	0,932
11	0,19221	5,2E-09	0,0226	0,953	0,955

$$T_{pA}^{(x)} = 0,08x(40)^{3/4} = 1,272 \text{ sn}$$

$$T_p^{(x)} < 1,4xT_{pA}^{(x)} = 1,4x1,272 = 1,781 \text{ olduğundan}$$

$$T_p^{(x)} = 1,363 \text{ sn'dir.}$$

$$T_p^{(y)} < 1,4xT_{pA}^{(x)} = 1,4x1,272 = 1,781 \text{ olduğundan}$$

$$T_p^{(y)} = 1,694 \text{ sn'dir.}$$

Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı ve Moment Aktaran 10 Katlı Yapı Modellerine Ait Sonuçlar

Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılan analizler sonucunda 10 katlı her iki yapı modeli için elde edilen katlara göre yer değiştirme u_i , etkin görel kat ötelemeleri ve ikinci mertebeye etkilerine θ_{ii} ait sonuçlar Çizelge 17, Çizelge 18 ve Çizelge 19'da bir araya getirilmiştir.

Çizelge 17. (X) yönü katlara göre yerdeğiştirmeler, u_i

Kat	Merkezi çaprazlı	Moment aktaran (Tam rijit)
Çatı (493)	0,046708	0,062421
9 (9602)	0,041105	0,060889
8 (8609)	0,035513	0,058026
7 (7596)	0,029826	0,053608
6 (6577)	0,024363	0,047574
5 (3716)	0,019038	0,040562
4 (2723)	0,014208	0,032437
3 (1730)	0,009338	0,0233
2 (737)	0,005698	0,01388
1 (6991)	0,002138	0,005025

Çizelge 18. (X) yönü etkin görelî kat ötelemeleri

Kat	Merkezi çaprazlı $\lambda(\delta_i(x)/h_i)$	Moment aktaran (Tam rijit) $\lambda(\delta_i(x)/h_i)$
Çatı (493)	0,00248	0,00108
9 (9602)	0,00247	0,00203
8 (8609)	0,00252	0,00313
7 (7596)	0,00242	0,00427
6 (6577)	0,00236	0,00496
5 (3716)	0,00214	0,00575
4 (2723)	0,00215	0,00647
3 (1730)	0,00161	0,00667
2 (737)	0,00158	0,00627
1 (6991)	0,00095	0,00356

Çizelge 19. (X) yönü ikinci mertebe etkisi değerleri, $\theta_{II,i}$

Kat	Merkezi çaprazlı $\theta_{II,i}$	Moment aktaran (Tam rijit) $\theta_{II,i}$
Çatı (493)	0,0255	0,0420
9 (9602)	0,0355	0,0539
8 (8609)	0,0334	0,0593
7 (7596)	0,0352	0,0623
6 (6577)	0,0316	0,0603
5 (3716)	0,0284	0,0610
4 (2723)	0,0248	0,0610
3 (1730)	0,0154	0,0582
2 (737)	0,0151	0,0515
1 (6991)	0,0086	0,0296

(X) yönü katlara göre yer değiştirme sonuçları, görelî kat ötelemeleri ve ikinci mertebe gösterge değerleri incelendiğinde, en büyük değerlerin moment aktaran çerçeve sistemi modellerine ait olduğu görülmüştür. 10 katlı moment aktaran çerçeve sistemli yapı örneğinde (X) yönünde ikinci mertebe sınır değerinin aşıldığı gözlemlenmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu araştırmada, 5 ve 10 katlı moment aktaran ve merkezi çaprazlı dört yapının 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ve 2016 Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmeliği esaslarına göre tasarımları yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Moment aktaran çerçeve sistemlere ait (X) ve (Y) yönündeki bina hakim doğal titreşim periyodu, merkezi çaprazlı sistemlere ait bina periyotlarından daha uzun çıkmıştır.
- Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre analizi yapılan 5 katlı yapı modellerinin taban kesme kuvveti ve katlara etkiyen eşdeğer deprem kuvvetleri incelendiğinde, merkezi çaprazlı sistemde bu kuvvetlerin 2 kat kadar fazla olduğu görülmüştür.
- Mod Birleştirme Yöntemine göre analizi yapılan 10 katlı yapı modellerinin taban kesme kuvveti ve katlara etkiyen deprem kuvvetleri incelendiğinde, merkezi çaprazlı sistemde bu kuvvetlerin daha büyük olduğu görülmüştür.
- (X) ve (Y) yönü katlara göre yer değiştirme sonuçları incelendiğinde, en büyük yer değiştirmelerin moment aktaran çerçeve sistemi modellerine ait olduğu görülmüştür.
- (X) ve (Y) yönü etkin görelî kat ötelemeleri incelendiğinde, en büyük değerlerin moment aktaran çerçeve sistemi modellerinde ortaya çıktığı, sınır koşul olan 0,008 değerine çok yaklaştığı görülmüştür.
- (X) ve (Y) yönü ikinci mertebe gösterge değerlerine ait sonuçlar incelendiğinde, moment aktaran çerçeve sistemi modellerinde bu değerlerin sınır değere daha yakın olduğu gözlemlenmiştir. 10 katlı moment aktaran çerçeve sistemli yapı örneğinde (X) yönünde ikinci mertebe sınır değerinin aşıldığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada dört farklı yapı örneği incelenmiş ve merkezi çaprazlı sistemlerde TBDY-2018 yönetmelik sınır koşul değerlerinin daha kolay sağlandığı görülmüştür. Merkezi çaprazların kullanımı ile kolonların daha küçük kesitlerle tasarlanabildiği ve daha ekonomik sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir. Özellikle kat yüksekliği arttıkça merkezi çaprazların ilavesi sistem rijitliklerinin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

5. KAYNAKLAR

1. Aydınöglü, M.N., Özer, E., Celep, Z., Özaydın K., 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Eğitim Semineri, 143.
2. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik Hakkında Uygulama Kılavuzu. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü, Ankara, 448.
3. Yorgun, C., Topkaya, C., Vatansever, C., 2017. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik Hakkında Eğitim Ders Notları. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü, Ankara, 472.
4. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) Eğitim Kitabı, Ankara, Z-I-3/24.
5. Tütüncü, B., 2019. Çok Katlı Bir Çelik Yapının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018'e Göre Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 179.
6. Öz, D., 2018. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Kuralları Doğrultusunda Çelik Yapıların Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 171.
7. Uz, A., 2020. Çok Katlı Bir Çelik Yapının TBDY-2019 ve Çelik Yapılar Yönetmeliği-2016 Kullanılarak Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı, Eskişehir, 61.
8. Noori, A.R., Doori, S.G., 2021. Finite Element Approach for the Bending Analysis of Castellated Steel Beams with Various Web Openings. ALKU Journal of Science, e-ISSN: 2667-7814.
9. Lemonis, M.E., Hatzigeorgiou, G.D., Asteris, P.G., 2022. Seismic Behaviour of Irregular Steel Frames with Beam and Joint Energy Dissipation. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 107052.
10. Sadeghinezhad, S., Kheyroddin, A., Mortezaei, A., 2021. Strengthening of Vulnerable RC Moment Resisting Frames Using Direct Internal Connection of X-Steel Bracing. Periodica Polytechnica Civil Engineering, 65(4), 1174–1189.
11. SAP2000 v20.0, 2019. Structural Analysis Program Berkeley, California.
12. TBDY-2018, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 394.
13. Celep, Z., Kumbasar, N., 2004. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. İstanbul Teknik Üniversitesi Profesörleri, İstanbul, 700.
14. TS 498 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
15. TS EN 1991-1-3, 2007. Yapılar Üzerindeki Etkiler - Bölüm 1-3: Genel Etkiler-Kar Yükleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
16. TS EN 1991-1-4, 2007. Yapılar Üzerindeki Etkiler- Bölüm 1-4: Genel Etkiler-Rüzgar Etkileri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
17. Mertol A., Mertol H.C., 2002. Deprem Mühendisliği Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. Ankara, 644.

Bor Türevi Atığı Katkılı Şeffaf Sırların Seramik Bünyeler Üzerine Uygulanması

Levent KÖROĞLU¹ ORCID 0000-0003-4696-1459

Ceren PEKŞEN^{*2} ORCID 0000-0002-3378-4804

Melike İNCE² ORCID 0000-0001-9893-8969

Erhan AYAS¹ ORCID 0000-0003-0592-3990

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik ve Cam Bölümü, Samsun

Geliş tarihi: 13.01.2022

Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: KÖROĞLU, L., PEKŞEN, C., İNCE, M., AYAS, E., (2022). Bor Türevi Atığı Katkılı Şeffaf Sırların Seramik Bünyeler Üzerine Uygulanması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 1031-1038.

Öz

Çalışmanın amacı, seramik bünyeler üzerine uygulamak üzere şeffaf sırların bor türevi atığının katılanması ile daha ekonomik ve çevreci bir yöntem ile üretimidir. Bor türevi atığı katkılı şeffaf seramik sırları üretilmiş ve bu sırlar üretilen seramik bünyeler üzerine fritleme yapılmadan doğrudan uygulanmıştır. Değişken pişirme sıcaklığı (950 °C-1150 °C) ve atık katkı oranına (0-15 %ağ.) bağlı olarak XRD ve spektrofotometre kullanılarak sırların faz gelişimleri ve optik özellikleri incelenmiştir. 950 °C'de üretilen sırlarda görülen adacık kusuru ve iğne deliği yüzey hataları 1150 °C'de tüm sırların yapısının tamamen amorflaşması ile giderilmiştir ve atık katkılı sırların parlaklık değerleri artmıştır. Düşük sıcaklıklarda atık miktarı ile artan diopsit fazı parlaklık (60°) değerlerinde azalmaya ve beyazlık (L*) değerlerinde artışa sebep olmuştur. Özetle, 1150 °C'de pişirim yapıldığında %5 atık katkılı sırn parlaklık ve beyazlık değerleri (56,6 ve 87,7) katkısız sıra (49,4 ve 85,3) kıyasla daha yüksektir. Üretilen düşük maliyetli ve çevre dostu bor atığı katkılı sırlar sanatsal seramik çalışmalarında kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Şeffaf seramik sır, Seramik bünye, Bor türevi atığı, Faz gelişimi, Optik özellikler

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ceren PEKŞEN, cpeksen@omu.edu.tr

Application of Boron Derivative Waste Containing Transparent Glazes on Ceramic Bodies

Abstract

The study aims to produce transparent ceramic glazes to be applied on ceramic bodies via cost-effective and eco-friendly method by incorporation of boron derivative waste. The boron derivative waste incorporated transparent ceramic glazes were produced and applied on the bodies without frit preparation. Phase evolution and optical properties of glazes were investigated using XRD and spectrophotometer with varying parameters such as firing temperature (950 °C-1150 °C) and waste content (0-15 wt.%). Crawling defect and pinholes identified on glaze surfaces at 950 °C were eliminated by full amorphization of crystalline phases at 1150 °C and, gloss values increased. At lower firing temperatures, the crystalline diopside content increased with waste ratio reduced gloss (60°) values and rise whiteness (L*) values. In briefly, gloss and whiteness values of 5 % waste incorporated glaze (56.6 & 87.7) are higher than these of neat-glaze (49.4 & 85.3) at 1150 °C. The low-cost and environmentally friendly boron derivative waste containing transparent glazes can be used in artistic ceramic works.

Keywords: Transparent ceramic glazes, Ceramic bodies, Boron derivative waste, Phase evolution, Optical properties

1. GİRİŞ

Türkiye; 3,3 milyon tonluk toplam kapasitesi ile dünyadaki bor rezervlerinin yaklaşık %72'sine sahiptir. Kırka/Eskişehir, Bigadiç/Balıkesir, Kestelek/Bursa ve Emet/Kütahya olmak üzere belirli bölgelerde bor yatakları bulunmaktadır. Bor minerali olan boraks pentahidratın ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) tamamına yakını tıncal minerallerinin zengin olduğu Eskişehir'deki Eti Maden İşletmeleri Kırka Fabrikası'nda üretilmektedir. Boraks pentahidrat 20. yüzyıldan itibaren seramik, cam, tarım, yalıtım, tekstil, deterjan, inşaat vb. farklı endüstrilerde kullanılmaktadır. Tıncal minerallerinden boraks pentahidratın üretimi sırasında binlerce ton atık ortaya çıkmaktadır. Atıklarının büyük miktarlarda birikmesi, maliyetli depolama sorunlarına ve ciddi çevre kirliliğine neden olmaktadır [1-3]. Bu nedenle bor atıklarının değerlendirildiği birçok çalışma yapılmıştır. Çalışmalar çoğunlukla, ham atık veya ısıl işlem görmüş atıkların katılanması veya doğrudan kullanılması ile geleneksel seramikler [2,4-6], seramik sırlar [7-10], biyoseramikler [3] ve çimento harçlarının [1,11] üretimine dayanmaktadır.

Seramik sırların üretimine odaklanan dört çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların ikisinde [7,9], borik asit (H_3BO_3) yerine bor oksit (B_2O_3) içeren boraks konsantratör atığı frit kompozisyonu içerisine eklemiştir. 1450 °C'de hazırlanan frit öğütüldükten sonra angoplu duvar karosu ticari bünyelerin üzerine uygulanmıştır. Diğer iki çalışmada ise [8,10], bor oksit kaynağı olarak kullanılan boraks konsantratör atığı ve bor türevi atığı ile katılanmış frit kompozisyonları 1500 °C'de hazırlanmış, öğütülmüş ve ardından porselen karosu ticari bünyelerin üzerine uygulanmıştır.

Bu çalışmada, seramik bünyeler üzerine uygulamak üzere şeffaf seramik sırların bor türevi atığının katılanması ile daha ekonomik ve çevreci bir yöntem ile üretimi amaçlanmıştır. Eti Maden İşletmeleri Kırka Boraks Fabrikası'ndan temin edilen bor türevi atığı şeffaf seramik sır kompozisyonuna katılanmış, hazırlanan kompozisyon öğütülmüş ve ardından üretilen seramik bünyelerin üzerine uygulanmıştır. Bor türevi atığı katkılı şeffaf seramik sırlar seramik bünye üzerine bu çalışma ile ilk defa uygulanmıştır. Ayrıca, literatürden farklı olarak yüksek sıcaklıklarda ergitme ve hızlı soğutma işlemlerini içeren frit hazırlama prosedürü elimine edilmiştir. Çalışma kapsamında, bünye pişirim

sıcaklığı (950 °C - 1150 °C) ve bor türevi atık miktarının (ağırlıkça %0-15), şeffaf seramik sırlarının faz gelişimi ve optik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

2. YÖNTEM

2.1. Bünyelerin Üretimi

Hammadde olarak ticari seramik kuru döküm çamuru (İkizler Seramik) kullanılmıştır. Seramik çamur 25x25 mm boyutlarında presle şekillendirilerek, 800 °C'de elektrikli fırında 10 °C/dak ısıtma hızı ile 1 saat bisküvi pişirmesine tabi tutulmuştur.

2.2. Sırların Üretimi

Eti Maden İşletmeleri Kırka Boraks Fabrikası'ndan temin edilen bor türevi atığı doğrudan şeffaf seramik sırlara katılanmıştır. Bor türevi atığının katılanma oranları ağırlıkça %0, %5, %10 ve %15'tir. Hazırlanan sır kompozisyonları, bilyeli değirmen kullanılarak sulu ortamda 30 dakika boyunca öğütülmüş ve elekten geçirilerek 800 °C'de fırınlanmış bünyelerin yüzeylerine daldırma tekniği kullanılarak uygulanmıştır [12].

2.3. Sırlı Bünyelerin Pişirimi

Sırların bünye yüzeylerine uygulanmasının ardından, sırlı bünyeler elektrikli fırın kullanılarak 950 °C, 1050 °C ve 1150 °C'de 1 saat süresince bekletilerek pişirilmiştir. Isıtma hızı 10 °C/dk'dır. Numune isimleri "TSx-y" olarak kodlanmıştır; x, sır kompozisyonuna katılan ağırlıkça % bor türevi atığı miktarını ve y, pişirim sıcaklığını temsil etmektedir. Bir önceki çalışmada belirtildiği üzere seramik bünyeler kuvars (SiO₂), albit (NaAlSi₃O₈) ve mullit (Al₆Si₂O₁₃) kristal fazlarından oluşmaktadır [13].

2.4. Karakterizasyon

Şeffaf seramik sır ve bor türevi atığının kimyasal kompozisyonu X-Işını Floresansı (XRF) tekniği (Primus ZSX, Rigaku) kullanılarak ve bor türevi atığı içerisindeki bor oksit (B₂O₃) miktarı ise Seramik Araştırma Merkezi (SAM, Eskişehir)'nde gerçekleştirilen titrasyon metodu uygulanarak belirlenmiştir. Şeffaf seramik sır, bor türevi atığı ve farklı sıcaklıklarda pişirilmiş şeffaf seramik sırlı bünyelerin yüzeylerinin kalitatif faz analizi, X-Işını Kırınım cihazı (XRD; Miniflex 600, Rigaku) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şeffaf seramik sırların parlaklık (60°) ve renk değerleri, spektrofotometre (CM-2300d, Konica Minolta) kullanılarak 360-740 nm dalga boyu aralığında ölçülmüştür.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

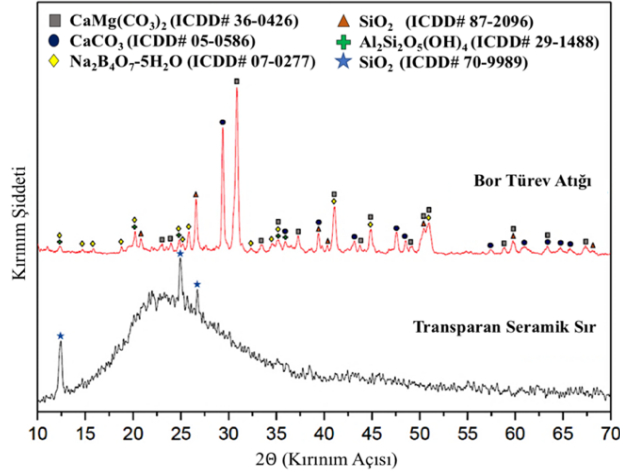
3.1. Şeffaf Seramik Sır ve Bor Türevi Atığının Karakterizasyonu

Şeffaf seramik sır ve bor türevi atığının kimyasal kompozisyonu Çizelge 1'de verilmiştir. Şeffaf seramik sır, başlıca SiO₂, Al₂O₃ ve CaO bileşiklerini içermektedir. Bor türevi atığı ise başlıca SiO₂, CaO, MgO, B₂O₃ ve Na₂O bileşiklerini bünyesinde barındırmaktadır. Şeffaf seramik sır ve bor türevi atığının XRD desenleri Şekil 1'de verilmiştir. Tranparan seramik sır kuvars (SiO₂) fazını içerirken, bor türevi atığı ise dolomit (CaMg(CO₃)₂), kalsit (CaCO₃), kuvars, boraks pentahidrat (tinkalkonit, Na₂B₄O₇·5H₂O) ve kaolinit (Al₂Si₂O₅(OH)₄) kristal fazlarını içermektedir. Şeffaf seramik sırların XRD desen eğrisindeki tümseklik (hump) tozun kısmi olarak amorf yapıya sahip olduğunu göstermektedir [12].

Çizelge 1. Şeffaf seramik sır ve bor türevi atığının kimyasal kompozisyonu (m.%ağ.).

Oksit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	B ₂ O ₃	Na ₂ O	BaO	K ₂ O
Sır	69,0937	12,7568	8,7214	1,1253	-	2,1234	3,4473	1,0998
Atık	18,9267	2,3140	18,4677	13,5513	7,50	5,2884	0,6627	0,7141
Oksit	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	SO ₃	P ₂ O ₅	CuO	Cs ₂ O	Cr ₂ O ₃	
Sır	0,2015	0,1821	0,0278	0,0627	-	-	-	
Atık	0,9111	0,0763	0,7656	0,0246	0,0116	0,1968	0,0383	

Isı Kaybı (1000 °C): 1,1580 (sır); 29,7780 (atık)

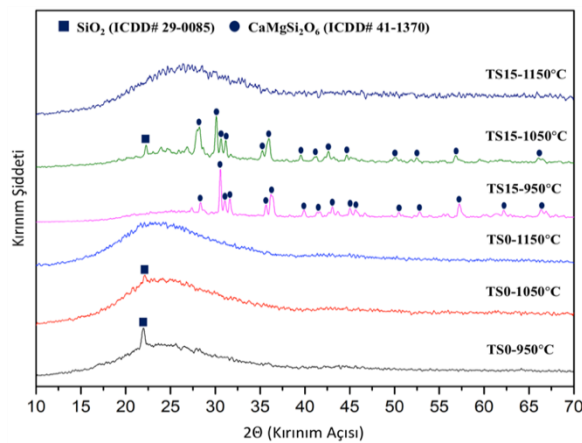


Şekil 1. Şeffaf seramik sır ve bor türevi atığının XRD desenleri

3.2. Şeffaf Seramik Sırların Faz Gelişimi

Farklı sıcaklıklarda pişirilen ve ağırlıkça %0 ve %15 atık içeren şeffaf seramik sırlı bünyelerin yüzeylerine ait XRD desenleri Şekil 2’de verilmiştir. TS0-950 °C ve TS0-1050 °C sırları bünyesinde kuvars (SiO₂) kristal fazı yer almaktadır. Pişirim sıcaklığının 1150 °C’ye yükselmesi ile birlikte katkısız şeffaf seramik sırların yapısı tamamen amorflaşmıştır. %15 atık katkılı sırların XRD deseni incelendiğinde 950 °C ve 1050 °C’de majör olarak diopsit (CaMgSi₂O₆) ve minör olarak kuvars kristal fazları tespit edilmiştir. 700 °C üzerinde bor türevi atığında meydana gelen

faz dönüşümleri sonucunda Ca-Mg-Si esaslı oksit fazların oluşabildiği bilinmektedir [3]. TS15-1050 °C numunesi majör diopsit fazını ve minör kuvars fazını içermektedir. 950 °C ve 1050 °C’lerde pişirilen TS0 ve TS15 sırları karşılaştırıldığında atık katkılanması etkili bir şekilde kristalleşmenin artmasına sebep olmuştur. Fakat sıcaklığın 1150 °C’ye artırılması ile birlikte TS0-1150 °C numunesinde olduğu gibi yapı tamamen amorflaşmıştır. Bor türevi atığının yumuşama sıcaklığı yaklaşık 1080 °C olarak belirtilmiştir [3]. Dolayısıyla bu sıcaklıkta diopsit fazının amorflaşması mümkün olmuştur.

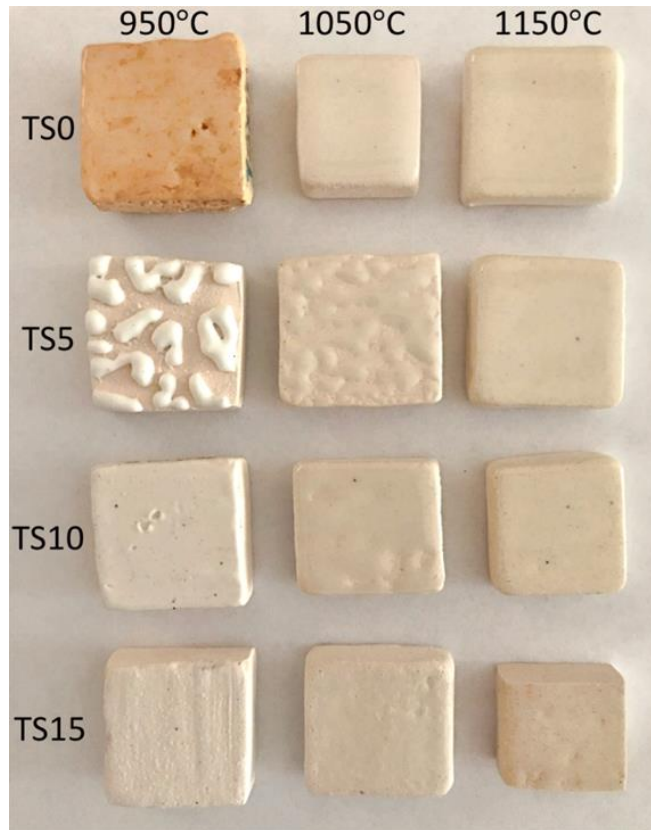


Şekil 2. Farklı sıcaklıklarda pişirilen ve ağırlıkça %0 ve %15 atık içeren şeffaf seramik sırlı bünyelerin yüzeylerine ait XRD desenleri

3.3. Şeffaf Seramik Sırların Optik Özellikleri

Farklı sıcaklıklarda pişirilen ve ağırlıkça farklı oranlarda atık içeren şeffaf seramik sırlı bünyelerin dijital görüntüleri Şekil 3’de verilmiştir. Pişirim sıcaklığının artması ile seramik sırlı matlığı belirgin oranda azalmaktadır. Bunun sebebi ise ışık yansımalarına sebep olan kristal fazların tamamen amorflaşmasıdır [13]. Ayrıca TS5-950 °C numunesinde seramik sırlı yüzeyde homojen olarak yayılmamıştır. Sırlı bünye yüzeyinde toplanması literatürde adacık kusuru (crawling defect) olarak tanımlanmaktadır. Adından da anlaşılacağı üzere sırlı bünye yüzeyini tamamen ıslatamadığı için toplanarak adacıkları oluşturmaktadır. Sırlı yüzey gerilimi, sırlı-bünye arasındaki bağ kuvveti ve sırlı

hızlı büzülmesi adacık kusuruna yol açan sebepler arasındadır [13]. %5’in üzerinde atık katkılı olduğunda ise iğne deliği (pinhole) hatalarının oluştuğu gözlenmiştir. Ham atık içerisinde yüksek oranda bulunan kalsit (CaCO_3) ve dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) 650 °C üzerinde termal ayrışması gerçekleşmektedir [3]. İğne deliklerinin oluşumu termal ayrışma ile ortaya çıkan CO_2 gaz kabarcıkları ile ilişkilendirilmiştir. Pişirim sıcaklığının artışı ile sırlı yüzeyde daha homojen yayılması, azalan sırlı viskozitesi ile ilgilidir. Yeterli akışkanlığa sahip sırlı 1150 °C’de yüzeyi homojen bir şekilde kaplaması sonucunda bahsedilen yüzey hataları giderilmiştir.



Şekil 3. Farklı sıcaklıklarda pişirilen ve ağırlıkça farklı oranlarda atık içeren şeffaf seramik sırlı bünyelerin dijital görüntüleri

Şeffaf seramik sırlı bünyelerin parlaklık (60°) ve renk değerleri Çizelge 2’de, sırdaki atık oranına ve

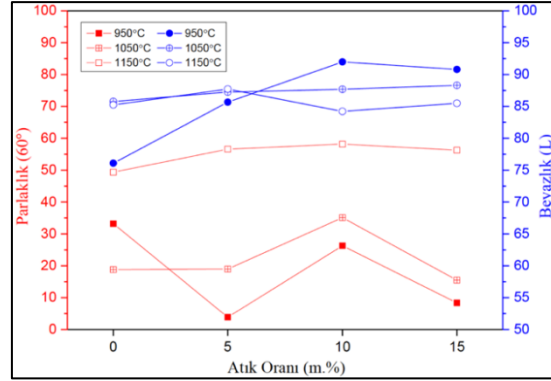
pişirim sıcaklığına bağlı parlaklık (60°) ve beyazlık (L^*) diyagramları ise Şekil 4’de verilmiştir. Katkısız sırlar arasında TS0-1150 °C, 49,4 ile en

yüksek parlaklık değerine sahip iken, TS5-1150 °C, TS10-1150 °C ve TS15-1150 °C numuneleri sırasıyla 56,6, 58,2, 56,3 değerleri ile daha yüksek parlaklığa sahiptir. Ayrıca, aynı oranda atık içeren sır numuneleri kendi arasında kıyaslandığında, pişirim sıcaklığının 1150 °C'ye yükselmesi sonucunda parlaklık değerlerinde belirgin bir artış gözlenmiştir. Bu iki durumun sebebi ise; 950 °C ve 1050 °C'de numunelerin ışık yansımalarına sebep olan kuvars veya diopsit kristal fazlarını içermesidir.

1150 °C'de ise sır yapısı tamamen amorflaşmakta, bor türevi atığı sır viskozitesini düşürmekte ve camsız faz miktarını artırmaktadır. Bor türevi atığı, B₂O₃ başta olmak üzere yüksek miktarda ergitici ajan olarak görev yapan oksitleri içermektedir. Literatürdeki geleneksel seramiklerin ve seramik sırların üretimini içeren çalışmalarda [2,4-10], bor oksit içerikli bor atıkları; borik asit yerine kullanılmak, ergitici ajan olarak üretim sıcaklığını düşürmek ve camsız faz miktarını arttırmak amaçlarıyla değerlendirilmiştir. TS5-950 °C yüzeyinde adacık kusurunun bulunması ve TS15-950 °C numunesinin yüksek atık oranı ile düşük pişirim sıcaklığının sonucu olarak yüksek kristallığe sahip olması parlaklık değerlerini oldukça düşürmüştür. Bahsedildiği üzere yüzey hataları ve kristallik, sırnın bünye yüzeyinde homojen olarak yayılmasını engellemekte ve sırnın matlığını artırmaktadır [13].

Çizelge 2. Şeffaf seramik sırlı bünyelerin parlaklık (60°) ve renk değerleri

Numune Kodu	Parlaklık (60°)	L*	a*	b*
TS0-950 °C	33,2	76,09	10,86	24,54
TS0-1050 °C	18,8	85,77	2,24	8,19
TS0-1150 °C	49,4	85,24	1,71	10,56
TS5-950 °C	3,9	85,67	2,35	6,05
TS5-1050 °C	19,0	87,24	2,66	8,25
TS5-1150 °C	56,6	87,71	1,61	9,91
TS10-950 °C	26,3	91,99	1,49	4,53
TS10-1050 °C	35,1	87,69	2,49	9,06
TS10-1150 °C	58,2	84,22	2,18	11,59
TS15-950 °C	8,4	90,80	1,84	5,50
TS15-1050 °C	15,5	88,30	2,47	8,63
TS15-1150 °C	56,3	85,49	2,62	12,18



Şekil 4. Şeffaf seramik sırlı bünyelerin sırdaki ağırlıkça atık oranına ve pişirim sıcaklığına bağlı parlaklık (60°) ve beyazlık (L*) diyagramları

Sır numunelerinin beyazlık (L*) değerleri incelendiğinde TS0-950 °C numunesi hariç tüm numuneler yüksek beyazlığa sahiptir, L* değerleri 84,2-91,9 aralığında olup birbirine yakındır. Bünyelerin doğal beyaz rengi L* değerinin yükselmesine katkıda bulunmuş olabilir. %5 oranında atık katkılı olduğunda L* değerleri birbirine oldukça yakın iken daha yüksek miktarda atık katkılı olduğunda pişirim sıcaklığının artışı ile beyazlık azalmaktadır. Düşük sıcaklıklarda L* değerlerinin daha yüksek olması kristal formda yer alan beyaz renkli diopsit fazı ile ilişkilendirilmiştir [14,15].

Numunelerin renk skalaları incelendiğinde, TS0-950 °C numunesi haricinde sırların a* (kırmızı-yeşil) ve b* (sarı-mavi) değerleri sırasıyla 1,5-2,6 ve 4,5 - 12,1 aralıklarındadır. Farklı olarak, TS0-950 °C numunesinin L* değeri daha düşük, a* ve b* değerleri ise daha yüksektir. Şekil 3'de görüleceği üzere TS0-950 °C numunesi turuncu benzeri bir renge sahiptir. Saf beyaz kil eldesinin oldukça zor olduğu bilinmektedir. Bünyeye sıcak bir ton kazandıran demir oksitin yanı sıra, pişirim sıcaklığı, süresi ve fırın atmosferi de nihai bünye rengini etkilemektedir. TS0-950 °C numunesinin açık turuncu bir renge sahip olması demir oksit içerikli kilin düşük sıcaklıkta ve bünye içerisinde üretilen gazların yarattığı oksijence fakir atmosferde (indirgeme) pişirimi ile ilişkili olabilir [16-18]. Pişirim sırasında demir oksitin seramik

bünyeden sıra yayılması mümkün olabildiği için şeffaf seramik sıra bor türevi atığı katkılılandırılmasında bu durum gözlenmemektedir [18,19].

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında bor türevi atığı katkılı şeffaf seramik sırlar ticari seramik toz döküm çamurundan üretilen seramik bünyeler üzerine uygulanmış ve ardından sırlı bünyeler farklı sıcaklıklarda (950 °C, 1050 °C, 1150 °C) pişirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, ham şeffaf seramik sır kuvars fazını, ham bor türevi atığı ise yüksek oranda kalsit, dolomit ve kuvars kristal fazlarını içermektedir.

950 °C ve 1050 °C’de uygulanan pişirim sonrasında katkısız sırlar kristal kuvars fazını içermektedir fakat yüksek oranda amorf yapıya sahiptir. Atık katkılı sırlarda ise baskın olarak kristal diopsit fazı tespit edilmiştir. Düşük pişirim sıcaklığı (950 °C) adacık kusuru (crawling defect) ve iğne deliği (pinhole) gibi yüzey hatalarının oluşumuna sebep olmuştur. Adacık kusuru gibi bazı yüzey hataları sanatsal seramik çalışmalarında kasıtlı olarak tercih edilebilir. Pişirim sıcaklığının 1150 °C’ye yükselmesi ile birlikte tüm sırların yapısı tamamen amorflaşmıştır. Azalan sır viskozitesi sayesinde yüzey hataları giderilmiştir ve parlaklık (60°) değerleri yükselmiştir. Bor oksit içerikli bor türevi atığı ilavesi de sır viskozitesini azaltarak sırların akışkanlığını artırmaktadır. Bu sebeple 1150 °C’de pişirim sonrası katkısız sıra (49,4) kıyasla %5, %10 ve %15 atık ilaveli sırların parlaklık değerleri (56,6, 58,2, 56,3) daha yüksektir. Pişirim sıcaklığının azalması ve atık miktarının artması kristal diopsit fazı oluşumuna katkı sağlayarak sırların beyazlık parlaklık (60°) değerlerini azaltmış ve beyazlık (L*) değerlerini artırmıştır. Sonuç olarak, 1150 °C’de gerçekleştirilen pişirim sonrasında bor türevi atığının sır reçetesine ilavesi birçok avantajı beraberinde getirmektedir. %5 atık katkılı sırların parlaklık ve beyazlık değerleri (56,6 ve 87,7) katkısız sıra (49,4 ve 85,3) kıyasla daha yüksektir. Bu sebeple üretilen düşük maliyetli ve çevre dostu bor atığı katkılı sırlar sanatsal seramik

çalışmalarında kullanılabilir. Pişirim sonrası uygulanacak mekanik ve kimyasal testler sonrası elde edilen veriler doğrultusunda, şeffaf sırların farklı endüstriyel alanlarda kullanım potansiyelinin ortaya çıkacağı öngörülmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A - Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı 1919B011903483 no’lu projenin sağladığı destekle tamamlanmış olup yazarlar TÜBİTAK’a teşekkürü bir borç bilirlir.

6. KAYNAKLAR

1. Yakar Elbeyli, I., 2004. Utilization of Industrial Borax Wastes (BW) for Portland Cement Production. Turkish J. Eng. Env. Sci., 28, 281-287.
2. Kurama, S., Kara, A., Kurama, H., 2006. The Effect of Boron Waste in Phase and Microstructural Development of a Terracotta Body During Firing. J. Eur. Ceram. Soc., 26, 755-760.
3. Koroglu L., Ayas, E., 2018. A Systematic Study on Solid-State Synthesis of Monticellite (CaMgSiO₄) Based Ceramic Powders Obtained From Boron Derivative Waste. Adv. Powder Technol., 29(11), 2835-2844.
4. Kavas, T., 2006. Use of Boron Waste as a Fluxing Agent in Production of Red Mud Brick. Building and Environment, 41, 1779-1783.
5. Karasu, B., Kaya, G., Taykurt, M., Çakır A., Kavas, T., 2006. Boraks Atıklarının Hızlı Pişirim Porselen Karo Cam-Seramik Sırlarının Son Özelliklerine Etkisi. III. Uluslararası Bor Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 91-96.
6. Christogerou, A., Kavas, T., Pontikes, Y., Koyas, S., Tabak, Y., Angelopoulos, G.N., 2009. Use of Boron Wastes in the Production of Heavy Clay Ceramics. Ceram. Int., 35, 447-452.
7. Pekkan, K., Karasu, B., Kucuk, A., 2008. Production and Industrial Adaptation of Fast Single Firing Wall Tile Opaque Glass-Ceramic Glazes Containing Borax Solid Wastes,

- REWAS 2008 Global Symposium on Recycling. Waste Treatment and Clean Technology Bildiriler Kitabı, 371-378.
8. Karasu, B., Kaya, G., Cakir, A., Yesilay, S., 2008. Utilization of Borax Solid Wastes in Fast Single-Firing Porcelain Tile Glass-Ceramic Glazes Under Industrial Working Conditions. REWAS 2008 Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology Bildiriler Kitabı, 379-387.
9. Pekkan, K., Karasu, B., 2010. Evaluation of Borax Solid Wastes in Production of Frits Suitable for Fast Single-Fired Wall Tile Opaque Glass-Ceramic Glazes. Bull. Mater Sci., 33(2), 135-144.
10. Kaya, G., Karasu, B., Cakir, A., 2011. Characterization of Diopside-Based Glass-Ceramic Porcelain Tile Glazes Containing Borax Solid Wastes. J. Ceram. Process. Res., 12(2), 135-139.
11. Koroglu, L., Over Kaman, D., Ayas, E., 2021. Optimization of the Particle Size Distribution of Heat-Treated Boron Derivative Wastes in Cement Mortars as Portland Cement Replacements. Constr. Build. Mater., 282, 122640.
12. Cullity, D., Stock, S.R., 2001. Elements of X-Ray Diffraction. Pearson, Third ed., London, 696.
13. Eppler, R.A., Eppler, D.R., 2000. Glazes and Glass Coatings, the American Ceramic Society. Ohio, 332.
14. Cardarelli, F., 2008. Materials Handbook: A Concise Desktop Reference. Springer, Second. ed., Arizona, 2730.
15. Tarhan, M., 2019. Whiteness Improvement of Porcelain Tiles Incorporated with Anorthite and Diopside Phases. J. Therm. Anal. and Calorim., 138, 929-936.
16. Rhodes, D., 2015. Clay and Glazes for the Potter, Martino Fine Books, Connecticut, 248.
17. Hocking, N.R., 2001. Lessons from the Kiln: Reduction Firing in Cypriot Iron Age Pottery. Near Eastern Archaeology, 64(3), 133-139.
18. Lyubomirova, V., Smit, Z., Fajfar, H., Kuleff, I., 2017. Determination of the Chemical Composition of Medieval Glazed Pottery from Drastar (Bulgaria) Using PIXE/PIGE and LA-ICP-MS. Archeo Sciences, 41(1), 69-82.
19. Molera, J., Pradell, T., Salvado, N., Vendrell-Saz, M., 2001. Interactions Between Clay Bodies and Lead Glazes. J. Am. Ceram. Soc., 84(5), 1120-1128.

Uzaktan Eğitim Araçlarının Değerlendirilmesi

Selin SARAÇ GÜLERYÜZ*¹ ORCID 0000-0002-4729-0637

Nur Selin ÖZEN¹ ORCID 0000-0001-8545-8771

Fikri EGE¹ ORCID 0000-0002-9045-4975

¹Toros Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mersin

Geliş tarihi: 05.01.2022

Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: SARAÇ GÜLERYÜZ, S., ÖZEN, N.S., EGE, F., (2022). Uzaktan Eğitim Araçlarının Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 1039-1045.

Öz

Eğitim kurumları ve diğer pek çok kurum COVID-19 pandemisiyle birlikte dijital çalışma ortamına geçmiştir. Bu durumla birlikte, çalışan kişilerin ekranda kalma sürelerinde artış gözlenmiştir. Bu kapsamda kurumların toplantı, eğitim gibi gereksinimlerini uzaktan yürütülebilecek araçlar ve programlar geliştirilmiştir ya da olan bir yazılıma olan talep artmıştır. Kurumların yanı sıra, okul ve üniversiteler eğitimde aksama olmaması ve öğrencilerin eğitimleri konusunda bir problem yaşamamaları için uzaktan eğitim sistemlerine uyum sağlamak durumunda kalmıştır. Salgın döneminde uzaktan çalışma ve eğitim, bireylerin ekran başında geçen süreleri arttırmış ve bireylerin ergonomik açıdan şikâyetlerini arttırmıştır. Bu çalışmada, ekran başında geçirilen sürenin ve uzaktan eğitim sistemlerin ergonomik açıdan etkilerini incelemek amacıyla 45 akademik personelden anket yöntemiyle veriler toplanmıştır. Elde edilen veriler yardımıyla, kullanılan uzaktan eğitim sistemlerinin bilişsel ergonomi açısından değerlendirilmesi bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bilişsel ergonomi, Uzaktan eğitim, Ergonomi, Uzaktan eğitim sistemleri

Evaluation of the Distance Education Tools

Abstract

Educational institutions and many other institutions have switched to the distance working environment with the COVID-19 pandemic, so an increase in the screen time of employees is foreseeable. In this context, tools have been developed for meetings, education, and activities that can be carried out remotely, or the demand for existing software has increased. Such as these systems have a crucial role to conduct important meetings in institutions, schools and universities had to adapt to systems/tools to not have a disruption in education to students not have any problems with their education. Ergonomic complaints of individuals increase with the increase in screen time. In order to examine the ergonomic effects of screen time and distance education systems, data was collected from 45 academic staff by survey method and the evaluation of the distance education systems used in terms of cognitive ergonomics with the help of the obtained data.

Keywords: Cognitive ergonomics, Distance education, Ergonomics, Distance education tools

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Selin SARAÇ GÜLERYÜZ, selin.sarac@toros.edu.tr

1. GİRİŞ

COVID-19 pandemisi başladığından beri ülkelerin uyguladıkları karantina, sokağa çıkma yasağı ve periyodik yasaklara eş zamanlı olarak faydalanılan uzaktan eğitim sistemleri/platformlarının kullanım oranları artış göstermekle birlikte eğitim sistemine yeni bir açı kazandırmıştır. Pandemi sürecinde kullanılan bu sistemlerin, yaşam normale döndüğünde de bazı öğrenim içerikleri için zaman/mekân/performans açısından sağladığı kolaylıklar sebebiyle kullanılmaya devam edilmektedir. Pandemi sonrası kullanım oranının düşmesi öngörülen bu sistemlerden faydalanma oranı pandemi dönemindeki oranda kullanılmayacak olsa da pandemi öncesi dönemdeki kullanımdan daha çok olacağı öngörülen bir durumdur. Uzaktan eğitim ya da çalışma sisteminin yaygınlaşıp benimsenmesi, kullanıcıların en üst potansiyelde adaptasyonuna bağlıdır [1].

Klasik ergonomi 'endüstriyel ergonomi' veya 'mesleki biyomekanik' olarak işin fiziksel yönlerine, kuvvet, duruş ve tekrarlama gibi insan yeteneklerine odaklanırken bilişsel ergonomi bazen 'insan faktörleri mühendisliği' veya sadece 'insan faktörleri' olarak adlandırılır ve hem işin zihni nasıl etkilediği hem de zihnin işi nasıl etkilediği konusunda işin psikolojik tarafıyla ilgilidir [2]. Öğrenciler ve öğretmenler, iç mekânlara bağlı kalarak sürekli elektronik aletler vasıtasıyla eğitim gördüklerinde ergonomik açıdan sorun yaşadıklarını bildirmiştir [3]. 24 öğrenciyle yapılan bir çalışma, öğrencilerin fiziksel ergonomi açısından mazur kaldığı yükü orta şiddetli olarak değerlendirmiştir [4]. 2021 yılında yapılan bir çalışmada uzaktan eğitimle öğrenim gören 100 öğrenciyle ABD İş Güvenliği ve Sağlığı Dairesinin risk analizi anketi uygulanmış ve hem fiziki hem de psikolojik açıdan değerlendirme yapılmıştır. Psikolojik durum ve memnuniyet analizinde ilk sırayı almıştır [5].

Sadece fizik olarak değil, aynı zamanda uzaktan eğitim sistemlerinde yazılım veya ara yüz tasarımıyla öğrenenlerin zihinsel ve psikolojik

yani bilişsel özellikleri dikkate alınmalı ve ara yüz, öğrenenlerin verimliliğini, memnuniyetini ve etkililiğini artıracak nitelikte tasarlanmalıdır [6].

Literatürde uzaktan eğitim sistemlerinin bilişsel ergonomi açısından değerlendirilmesiyle ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Al ve Madran [7], uzaktan eğitim sistemlerinin sahip olması gereken özellikler ve bu sistemlerin standartları hakkında yaptığı çalışmada standartların sadece eğitim içerikleri için geçerli olmadığını, öğrencilerle ilgili önemli bilgilerinde sisteme kaydedilmesinin önemli olduğunu vurgulamıştır. Yalman ve Kutluca [8] çalışmalarını, Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesinde eğitim gören 102 adet matematik öğretmenliği bölümü öğrencilerinin uzaktan eğitimle ilgili fikirlerini ve yaklaşımlarını belirlemek amacıyla tarama yöntemi kullanarak gerçekleştirmiştir. Çalışmada anketin güvenilirliğini ölçmek için Cronbach's Alpha değeri kullanılmış, anket analizinde SPSS programından faydalanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre matematik öğretmenliği bölümü öğrencilerinin derslerin uzaktan eğitimle verilmesine ilişkin yaklaşımları için henüz net bir karara varamadığı gözlemlenmiştir. Derslerin uzaktan eğitimle işlenip işlenmeyeceğini, eğitim aldıkları programın uzaktan eğitime uygun olup olmadığını ve uzaktan eğitim yöntemiyle verilen diplomaları saygın bulmadıklarına dair bulgulara ulaşılmıştır. Herand ve Hatipoğlu [9] ise uzaktan eğitim ile sanal sınıf imkânı sağlayan üç farklı platformun karşılaştırmasını yapmıştır. Çivril ve arkadaşları [6], eğitim uygulamalarında içeriklerin hazırlanması sürecinde ergonominin bilişsel boyutunu göz önünde bulundurarak bir bölüm için hazırlanan ders içeriklerini bilişsel ergonomi ve kullanıcı dostu olma açısından değerlendirmişler ve elektronik ders içeriklerinin amaca uygun olarak tasarlanması için bilişsel ergonominin kapsadığı İnsan Bilgisayar Etkileşimi göz önünde bulundurulmasının gerek olduğunu vurgulamışlardır. Kaya ve Önder'de yine internet yoluyla öğretim için ergonominin iki boyutunu ele aldıkları bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, uzaktan eğitim sisteminin iki önemli ögesi olduğu vurgulanmıştır. Bunlardan ilki kullanıcıların

bulunduğu fiziksel ortam, diğeri ise kullanılan programın kullanıcı ara yüzüdür. Fiziksel ortam, kişilerin özel alanlarında, bireyselliğe bağlı bir durum olabilirken, kullanıcı ara yüzü tamamen yazılımın geliştiricisine bağlıdır. Bir sistem ne kadar kullanıcı dostu bir ara yüze sahipse, bilgi alışverişi o kadar kuvvetli olur [10]. Pandeminin hayatımıza bir anda girmesiyle ortaya çıkan ‘acil uzaktan eğitim’ uygulamalarının öğrenciler üzerindeki etkisini incelemek üzere Çankaya Üniversitesi İç Mimarlık Bölümü’nde yapılan bir çalışmada, öğretim elemanlarından alınan geri bildirimlerle, teorik derslerde uzaktan eğitime adaptasyon sürecinin uygulamalı derslere göre daha hızlı olduğu sonucunda varılmıştır [11]. Yapılan bir başka çalışmada, uzaktan ve yüz yüze eğitim kıyaslanmış ve uzaktan eğitimdeki başarıya etki eden faktörler ortaya konulmak istenmiştir. Çalışmanın sonucunda, bilgisayar kullanma imkânı ve motivasyonun birincil öneme sahip bulunmuştur [12]. Benzer şekilde başka bir çalışmada, öğrencilerin bilgisayar kullanabilme becerilerinin, uzaktan eğitim sisteminin kendi tercihlerine göre uyumlu ve kullanım kolaylığına sahip olması, sistemi tercih etmelerindeki önemli etkenler olarak görülmüştür [13]. 2013 yılında 91 öğretmen adayıyla yürütülen bir başka çalışmada, kişilerin uzaktan eğitim stratejilerinde ve sistem kullanımında kendilerini yeterli buldukları ortaya konulmuştur [14]. Uzaktan eğitim ortamının, sanal bir mekân olarak değerlendirildiği bir çalışmada, öğrenen ve öğreten tarafların farklı kuşaklara ait bireyler olması sebebiyle, farklı değer, tutum ve eğilim içinde olmaları ve bu kişilerin kullanacağı yaş, cinsiyet, engel gibi farklılık gözetmeyen ortak bir araç tasarımının olması gerektiği vurgulanmıştır [15].

Literatür gösteriyor ki, kişilerin uzaktan eğitime bilişsel ergonomi adaptasyonu ve motivasyonu; sistemin doğru tasarlanmış olmasına, kullanan bireylerin teknolojiye hâkimiyetine, işlenen konunun teorik ya da uygulamalı olması gibi pek çok faktöre bağlıdır.

Çalışmada, 45 akademik personele uzaktan eğitim sistemlerinin bilişsel ergonomik açıdan

incelenmesi üzerine anket yapılmıştır. Anketin verdiği çıktılarına göre demografik özellikler tablolandırılmış, güvenilirlik analizi çeşitlerinden biri olan Cronbach’s Alpha değeri hesaplanmıştır. Ardından faktör ve madde analizi yapılmış, Kaiser-Mayer- Olkin ve Barlett’s örneklem uygunluk ölçüleri bulunmuş, döndürülmüş bileşenler matrisi oluşturulmuştur. En sonunda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

2. YÖNTEM

Araştırma, ankete katılan 45 akademik personelin uzaktan eğitim programı hakkında düşünce ve memnuniyeti 5’li Likert ölçeği kullanılarak bir anket uygulanmıştır. Elde edilen veriler IBM SPSS 22.0 paket programı yardımıyla istatistiksel analizleri gerçekleştirilmiştir.

Verilerin istatistiksel analizlerinde, çalışmaya katılan akademisyenlerin demografik özellikleri sıklık analizi ile ortaya konulmuş, soruların bir bütün oluşturup oluşturmadıklarına dair iç tutarlılığı ölçen güvenilirlik analizi Cronbach’s Alpha iç tutarlılık katsayısı ile ölçülmüş, keşfedici faktör analiziyle ölçeğin boyutları belirlenmiş, verilerin faktör analizine uygunluğunu ölçmek için Kaiser-Mayer-Olkin ve Bartlett’in küresellik testi yapılmış, döndürülmüş bileşenler matrisi oluşturulmuştur.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Şubat 2021’de yürütülen bu çalışmada, öğretim elemanlarının uzaktan eğitim sistemlerinden nasıl etkilendiği belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmaya katılan öğretim elemanlarının demografik özellikleri, güvenilirlik analizi, faktör analizi ve madde analizleri bu bölümde paylaşılmıştır.

3.1. Betimleyici İstatistikler

Çalışmaya katılan 45 akademik personelin demografik özellikleri ve uzaktan eğitimde kullanılan programlar Çizelge 1’de paylaşılmıştır.

Çizelge 1. Katılımcıların demografik özellikleri

Demografik değişkenler	Frekans	%	
Cinsiyet	Kadın	23	51,1
	Erkek	22	48,9
Yaş	23-30	16	35,6
	31-50	22	48,8
	50+	7	15,6
Çalışma Yılı	1-5	17	37,8
	6-10	11	24,4
	11-15	4	8,9
	15+	13	28,9
Akademik Unvan	Arş. Gör.	14	31,1
	Öğr. Gör.	13	28,9
	Dr. Öğr. Üyesi	11	24,4
	Doçent	6	13,3
	Profesör	1	2,2
Kullanılan Program	Zoom	5	11,1
	Teams	3	6,7
	Perculus	25	55,6
	Classroom	8	18,6
	Diğer	2	4,6

Çalışmaya katılan öğreti elemanlarının %51,1'ini kadınlar oluştururken %48,9'u erkeklerden oluşmaktadır. Katılımcıların çoğunluğunu %28,9 oranla öğretim görevlileri oluştururken, en çok

Çizelge 3. Maddelerin açıklaması

Madde numarası	Madde açıklaması
M1	Uzaktan eğitim sistemini kolaylıkla öğrendim.
M2	Uzaktan eğitim sistemi yeterlidir.
M3	Uzaktan eğitim sistemi kullanıcı dostudur.
M4	Uzaktan eğitim sistemi az hata verir.
M5	Uzaktan eğitim sisteminde aranılan fonksiyonlar kolaylıkla bulurum.
M6	Uzaktan eğitim sisteminde bilinmeyen bir işlem kolaylıkla erişebilirim.
M7	Uzaktan eğitim sisteminde pek çok modül aktif kullanırım. (sınav, öğrenciyle iletişim...)
M8	Uzaktan eğitim sisteminde öğrenilen bir özelliği rahatlıkla hatırlarım.
M9	Uzaktan eğitimde mevcut programımdan memnumum.
M10	Uzaktan eğitim sisteminin arka plan/yazı renkleri hoşuma gider.
M11	Uzaktan eğitim sırasında kendimi güvende hissediyorum.
M12	Pandemi süresinden sonra da belirli bir oranda uzaktan eğitim yapmayı tercih ederim.

Çizelge 4'te görüleceği üzere anketin düzeltilmiş madde korelasyonlarına göre her bir madde silindiğinde iç tutarlılığın ölçüsü olan Cronbach's

kullanılan uzaktan eğitim sistemi %55,6 oranla Perculus olmuştur.

3.2. Güvenilirlik, Faktör ve Madde Analizleri

İç tutarlılığı ölçen Cronbach's Alpha değerinin kriterleri Çizelge 2'de paylaşılmıştır.

Çizelge 2. Cronbach's alpha değeri kriterleri [16]

Cronbach's Alpha değeri	Güvenilirlik derecesi
$0,00 \leq \alpha \leq 0,40$	Güvenilir değil
$0,40 \leq \alpha \leq 0,60$	Düşük güvenilirlikte
$0,60 \leq \alpha \leq 0,80$	Oldukça güvenilir
$0,80 \leq \alpha \leq 1,00$	Yüksek derecede güvenilir

Çalışmaya katılan öğretim elemanlarının uzaktan eğitim sistemleriyle ilgili cevapladıkları ankete göre bulunan Cronbach's Alpha değeri ise 0,828 olarak bulunmuş ve anketin yüksek derecede güvenilir olduğu çıkarımına varılmıştır.

Çalışmada ankette olan maddelerin açıklamaları Çizelge 3'te verilmiştir.

maddenin çıkartılmasına gerek olmadığı bulgusuna varılabilir. Düzeltilmiş madde korelasyonuna göre ise madde 10 dışındaki tüm değerler 0,25'ten

büyük olduğu için anket sorularındaki ifadelerin birbiriyle ilişkili olduğu görülmektedir.

Çizelge 4. Madde toplam istatistikleri

Madde	Madde silindiğinde ölçek ortalaması	Madde ölçek varyansı ortalaması	Düzeltilmiş madde toplam korelasyon	Madde silindiğinde Cronbach's Alpha değeri
M1	36,77	45,659	,544	,813
M2	38,21	42,122	,533	,812
M3	37,72	46,635	,414	,821
M4	38,05	42,522	,654	,802
M5	37,42	43,011	,712	,799
M6	37,74	43,719	,588	,807
M7	37,14	42,599	,654	,802
M8	36,98	46,357	,508	,816
M9	37,98	44,452	,476	,816
M10	37,33	49,749	,111	,844
M11	38,05	45,331	,372	,826
M12	37,63	44,287	,394	,825

Çalışmada ölçek boyutları Keşfedici Faktör Analizi yapılarak belirlenmiştir. Kaiser-Mayer-Olkin (KMO) örneklem uygunluk ölçüsü 0,719 olarak bulunmuştur. Kaiser-Mayer-Olkin ölçütü 0,5'ten büyük olduğu için faktör analizine uygundur [17]. KMO ve Barlett's örneklem uygunluk ölçüsü değerleri Çizelge 5'teki gibidir.

Çizelge 5. KMO ve Barlett testi

Kaiser-Mayer-Olkin (KMO) örneklem uygunluk ölçüsü		0,719
Barlett'in küresellik testi	Yaklaşık ki-kare	204,635
	Serbestlik derecesi	66
	Anlamlılık düzeyi	0,000

Çizelge 6 incelendiğinde italik olarak gösterilmiş maddelerin yer aldığı faktörlerin eşit yük değerlerinin 0,4 değerinden büyük olduğu görülmüştür. Faktör analizi sonucunda 12 madde dört bileşen altında toplanmıştır. İlk 8 madde ilk, 11. madde ikinci, 9 ve 10. madde üçüncü ve

12. madde dördüncü bileşeni oluşturmuştur.

Çizelge 6. Döndürülmüş bileşenler matrisi

Madde	Bileşen			
	1	2	3	4
M1	,689	-,417	-,113	,192
M2	,614	,345	-,380	,286
M3	,476	,587	-,293	-,204
M4	,723	,354	,020	-,364
M5	,825	-,257	,175	-,084
M6	,745	-,282	-,088	-,055
M7	,792	-,310	0,14	-,011
M8	,673	-,383	-,045	-,279
M9	,409	,323	,603	,104
M10	,141	,119	,847	,042
M11	,341	,490	-,067	-,138
M12	,464	,145	-,041	,781

Tespit edilen dört bileşenin varyans açıklama yüzdesinin 71,085 olduğu hesaplanmış ve ayrıntılı veriler Çizelge 7'de paylaşılmıştır.

Çizelge 7. Toplam açıklanan varyans

Bileşen	Başlangıç özdeğerler			Yüklenen faktörlerin kareleri toplamı		
	Toplam	Yüzde varyans	Kümülatif	Toplam	Yüzde varyans	Kümülatif
1	4,606	38,386	38,386	4,606	38,386	38,386
2	1,530	12,753	51,139	1,530	12,753	51,139
3	1,371	11,424	62,563	1,371	11,424	62,563
4	1,023	8,522	71,085	1,023	8,522	71,085
5	,850	7,081	78,166			
6	,538	4,854	83,020			
7	,546	4,546	87,566			
8	,432	3,599	91,165			
9	,425	3,538	94,704			
10	,304	2,531	97,234			
11	,180	1,500	98,734			
12	,152	1,266	100,00			

4. SONUÇLAR

Keşfedici faktör analizi yapılarak ölçek boyutları belirlenmiştir. Yapılan Kaiser-Mayer-Olkin (KMO) ve Barlett's örneklem uygunluk ölçüsü 0,719 hesaplanmıştır. Faktör analizi sonucunda 12 madde dört bileşen altında toplanmış ve Çizelge 8'de gösterilmiştir.

Çizelge 8. Maddelerin bileşen çizelgesi

Madde	Bileşen
M1	1
M2	1
M3	1
M4	1
M5	1
M6	1
M7	1
M8	1
M9	3
M10	3
M11	2
M12	4

Yapılan anketin güvenilirliği faktör analizi için uygun bulunmuştur.

Yapılan faktör analizi sonucunda, akademisyenler uzaktan eğitim sistemini kolaylıkla öğrendiğini, sistemi yeterli bulduğunu, kullanıcı dostu

olduğunu, sistemin az hata verdiğini, pek çok modülü aktif olarak kullandığını bildirmişlerdir.

İkinci bileşeni oluşturan tek madde; "Uzaktan eğitim sırasında kendimi güvende hissediyorum." ifadesidir. Akademisyenler güven ile ilgili olan bu soruyu ve 4. bileşeni oluşturan tek madde olan "Pandemi süresinden sonra da belirli bir oranda uzaktan eğitim yapmayı tercih ederim." ifadesini ayrı değerlendirdiği görülmüştür. Buradan da bireylerin güvenlik ve uzaktan eğitimin sürekliliği konusunda soru işaretlerine sahip olduğu yorumu yapılabilir.

Faktör analizi sonucunda bireyler uzaktan eğitimin sistemini sorunsuz şekilde kullanabilseler dahi güvenlik açısından endişe taşıdıkları sonucuna varılabilmektedir. Bu kapsamda gelecekte uzaktan eğitim sistemlerinin güvenlik açısından değerlendirilmesi konusu üzerinde çalışmalar yürütülebilir.

5. KAYNAKLAR

1. Armağan, H., Yiğit, T., 2015. E-Studio Modeli ve Eğitim Ergonomisi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 3(3), 149-155.
2. Hollnagel, E., 1997. Cognitive Ergonomics: it's All in the Mind. Ergonomics, 40(10), 1170-1182.

3. Choudhary, M., Choudary, A., Jemal, S., Kumar, R., Jamal, S., 2020. The Impact of Ergonomics on Children Studying Online During COVID-19 Lockdown. *Journal of Advances in Sports and Physical Education*, 3(8), 117-120.
4. Okuyan, C., Beğen, M., 2021. Working from Home During the COVID-19 Pandemic, its Effects on Health, and Recommendations: The Pandemic and Beyond. *Perspectives in Psychiatric Care*, 1-7.
5. Ayyıldız, E., Gümüş, A., 2021. A Novel Distance Learning Ergonomics Checklist and Risk Evaluation Methodology: A Case of Covid-19 Pandemic. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 31(4), 397-411.
6. Çivril, H., Aruğaslan, E., Yakut, G., 2013. Uzaktan Eğitim Ders İçeriklerinde Bilişsel Ergonomi ve Kullanılabilirlik. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 233-246.
7. Al, U., Madran, O., 2004. Web Tabanlı Uzaktan Eğitim Sistemleri: Sahip Olması Gereken Özellikler ve Standartlar. *Bilgi Dünyası*, 5(2), 259-271.
8. Yalman, M., Kutluca, T., 2013. Matematik Öğretmeni Adaylarının Bölüm Dersleri için Kullanılan Uzaktan Eğitim Sistemi Hakkındaki Yaklaşımları. *Dicle Üniversitesi, Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi*, (21), 197-208.
9. Herand, H., Hatipoğlu, Z.A., 2014. Uzaktan Eğitim ve Uzaktan Eğitim Platformları'nın Karşılaştırılması. *Çukurova Üniversitesi, İİBF Dergisi*, 18(1), 65-75.
10. Kaya, Z., Önder, H.H., 2004. İnternet Yoluyla Öğretimde Ergonomi. *Sakarya Üniversitesi, Eğitim Fakültesi Dergisi*, 1(1), 48-54.
11. Uruk, G., Yörükoğlu, P.N., Akbay, S., 2021. Pandemi Sürecinde İç Mimarlık Lisans Eğitim Müfredatının Uzaktan Eğitim Modeline Adaptasyonu: Çankaya Üniversitesi Örneği. *Pandemi Sürecinde Güncel Gelişmeler ve Geleceğe Dönük Yaklaşımlar - Hacettepe Üniversitesi Tasarım Eğitimi ve Uygulamaları Ulusal Eğitim Sempozyumu*, 29 Mart 2021, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
12. İbicioğlu, H., Antalyalı, Ö.L., 2005. Uzaktan Eğitimin Başarısında İmkan, Algı, Motivasyon ve Etkileşim Faktörlerinin Etkileri: Karşılaştırmalı Bir Uygulama. *Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 14 (2), 325-338.
13. Chang, S.C., Tung, F.C., 2008. An Empirical Investigation of Students' Behavioural Intentions to Use the Online Learning Course Websites. *British Journal of Educational Technology*, 39(1), 71-83.
14. Yakın, İ., Tınmaz, H., 2013. Uzaktan Eğitimde Önemli Bir Boyut: Öğretmen Adaylarının E-Hazırlanışlukları. *XIV. Akademik Bilişim Konferansı*, 23-25 Ocak 2013, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
15. Doğan, C., Posta, B., 2021. Uzaktan Eğitim Modelinde Ergonomi ve Çalışma Ortamının Evrensel Tasarım Kriterleri Çerçevesinde İncelenmesi. *İMÜ Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7(1), 163-177.
16. Özdamar, K., 1997. Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi I. *Anadolu Üniversitesi, Fen Fakültesi Yayınları*, Eskişehir, 603.
17. Çokluk, Ö., Şekercioğlu, G., Büyüköztürk, Ş., 2012. *Sosyal Bilimler için Çok Değişkenli İstatistik: SPSS ve LISREL Uygulamaları*. Pegem Akademi Yayıncılık, 424.

Chenille Yarn Production Parameters Improvement Studies and Evaluation of Their Effects

Arif ŞENER¹ ORCID 0000-0003-0726-0027
Duygu Durdu KOÇ^{*1} ORCID 0000-0002-4400-5714
Kübra YILMAZ¹ ORCID 0000-0003-1040-1097
Ece TOSUNOĞLU² ORCID 0000-0001-6680-1714
Pınar ÇAM² ORCID 0000-0002-3528-888X
Anıl GÜNDÜBAY² ORCID 0000-0002-1552-7759
Tuğçe DEMİRDELEN³ ORCID 0000-0002-1602-7262

¹Ulusoy Textile Industry and Commerce Incorporated Company, Adana

²Tosunoglu Textile Incorporated Company, Denizli

³Alparslan Turkes Science and Technology University Institute of Science, Department of Electrical and Electronics Engineering, Adana

Geliş tarihi: 11.02.2022

Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: ŞENER, A., KOÇ, D.D., YILMAZ, K., TOSUNOĞLU, E., ÇAM, P., GÜNDÜBAY, A., DEMİRDELEN, T., (2022). Chenille Yarn Production Parameters Improvement Studies and Evaluation of Their Effects. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 1047-1059.

Abstract

Chenille yarn has an increasing share of use in the upholstery fabric sector recently. To have an important place in chenille yarn production in the world, it has become necessary for manufacturers to improve the quality, durability, and performance of their products and to carry out innovative studies in this field. Increasing the abrasion resistance of the yarns that form the basis of upholstery fabrics will significantly affect the service life performance. In this study, two raw materials selected with different production parameters were examined. These raw materials are determined as viscose and polyester, which are mostly used for chenille yarn in the production facility. The parameters covered in this study are determined and evaluated as the fixed/unfixed state of the yarn, the state of having different twist values, and the presence or absence of melted yarn added to ensure better adhesion of the pile and binder yarn with each other. In this direction, to test the abrasion resistance of the yarns produced from 6 polyester raw materials and 6 viscose raw materials with different properties, they are woven into fabrics by weaving on a 65-density jacquard loom. Each fabricated sample is realized by Martindale test. This test is realized to see the result of friction force and impact effect on the fabric surface. Also, it is aimed to determine the resistance of the samples against pilling and surface change. Based on the results, different parameters affecting the abrasion resistance of upholstery fabrics obtained from chenille yarn were interpreted and it was aimed to be a pioneering study in this field.

Keywords: Chenille yarn, Upholstery fabric, Abrasion, Durability, Energy efficient yarn, Textile industry

* Corresponding author (Sorumlu yazar): Duygu Durdu KOÇ, duygu@samtektestikstil.com

Şönil İplik Üretim Parametreleri İyileştirme Çalışmaları ve Etkilerinin Değerlendirilmesi

Öz

Şönil iplik döşemelik kumaş sektöründe son zamanlarda artan bir kullanım payına sahiptir. Şönil iplik üretiminde dünyada önemli bir yere sahip olmak için üreticilerin ürünlerinin kalitesini, dayanıklılığını ve performansını iyileştirmeleri ve bu alanda yenilikçi çalışmalar yapmaları gerekli hale gelmiştir. Döşemelik kumaşların temelini oluşturan ipliklerin aşınma direncinin artırılması kullanım ömrü performansını önemli ölçüde etkileyecektir. Bu çalışmada farklı üretim parametreleri ile seçilen iki hammadde incelenmiştir. Bu hammaddeler, üretim tesisinde çoğunlukla şönil ipliği için kullanılan viskon ve polyester olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada ele alınan parametreler, ipliğin sabit/sabit olmayan durumu, farklı büküm değerlerine sahip olma durumu ve hav ile binder ipliğinin birbirine daha iyi yapışmasını sağlamak için erimiş ipliğin varlığı veya yokluğu olarak belirlenmiş ve değerlendirilmiştir. . Bu doğrultuda, farklı özelliklere sahip 6 polyester hammaddesi ve 6 viskon hammaddesinden üretilen ipliklerin aşınma direnci test edilmek üzere 65 densite jakarlı tezgâhta dokunarak kumaş haline getiriliyor. Üretilen her numune Martindale testi ile gerçekleştirilir. Bu test, sürtünme kuvvetinin sonucunu ve kumaş yüzeyindeki darbe etkisini görmek için gerçekleştirilir. Ayrıca numunelerin boncuklanma ve yüzey değişimine karşı direncinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre şönil iplikten elde edilen döşemelik kumaşların aşınma direncine etki eden farklı parametreler yorumlanmış ve bu alanda öncü bir çalışma olması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Şönil iplik, Döşemelik kumaş, Aşınma, Dayanıklılık, Enerji verimli iplik, Tekstil sektör

1. INTRODUCTION

With the increase in competition with the volume of production and employment day by day, the importance of correct production, quality product, quality of workforce, timely meeting of customer demands, and R&D activities in the textile sector has increased. In the face of these increasing values, it has become inevitable to innovate and produce new products.

Upholstery fabrics have a privileged place in home textiles, which is the most important part of the textile products produced in Turkey and the world. While the customers want the upholstery fabrics, they use to have a pleasant appearance in terms of design, they expect it to be used for long periods. Therefore, manufacturers who want to ensure continuity in the sector should prioritize durable and aesthetic parameters in their products. Regarding these needs, the use of new materials for the yarns that form the basis of the upholstery fabric sector or the more effective use of existing materials has been preferred. Upholstery fabrics

are expected to have high abrasion resistance, high seam slips endurance, good light, dry, and friction fastness, while it is expected to be resistant to stains and staining and have low rates during the shedding. Upholstery fabrics used in home textiles can be obtained from many raw materials on a natural or chemical basis, depending on their usage areas and expected performance characteristics. Natural raw materials; cotton, wool, cashmere, mohair, linen, hemp, angora, camel hair, silk, ramie, and jute, while chemical raw materials are; polyester, polyacrylonitrile, nylon, acrylic, viscose, bamboo, acetate, rayon, and tencel. Those that are widely used in upholstery fabrics in textiles can be listed under 4 main headings as plain textured fabrics, knitted fabrics, flocked fabrics and chenille fabrics. Chenille yarn, which is used in all areas of home textiles, especially in woven fabrics, stands out compared to other fabrics with its pleasant and voluminous appearance. Chenille yarns are produced from Viscose, Cotton, Viscose/Cotton, Acrylic, Polyester fibers and their blends in the range of Nm 0.5 to Nm 8. It is also colored as skein dyeing and coil dyeing. The chenille yarns

produced are offered to customer service after they become carpet or upholstery fabric. The main subject of this study is the fact that in these products used by customers, the yarn called pile, which gives the yarn a puff appearance, sheds over time, and has low abrasion resistance, and the chenille yarns used in upholstery remain bald in the future.

Fancy yarns are special yarns that have stages such as spinning, twisting, wrapping, texturing, printing and knitting. Since fancy yarns do not have any alternatives in the sector, they are always up-to-date. The interest in yarns with different structures or optical effects is due to their aesthetic structure and decorative appeal. Considering these features, one of the most striking among fancy yarns is chenille yarns. Considering the general structure of chenille yarn, consists of two basic components. One of these two basic structures is pile yarn and the other is binder yarn (Figure 1). Binder yarn is the thin and durable thread that passes through the center of the yarn while creating the chenille yarn. Yarns that are cut short or formed from filament yarn constitute pile yarn. Pile yarns placed one after the other form certain fringes by taking their place between the tie yarn.

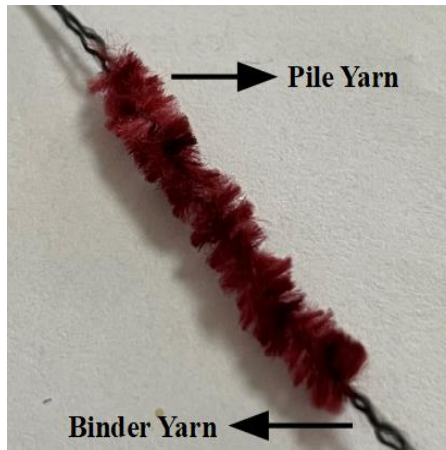


Figure 1. Chenille yarn structure

2. PREVIOUS STUDIES

Chenille yarns used in upholstery fabric production are generally obtained from cotton,

acrylic, polypropylene and polyester fibers. The effective factors in choosing chenille yarn are their properties. The most important of these features is that chenille yarn creates a velvety appearance by reflecting the light in different directions thanks to its pile surface. In addition, the ease of production and low cost of chenille yarn have also provided an advantage in its widespread use.

Chenille yarn can be produced from dyed yarns or it can be dyed finished. However, chenille yarns are generally produced from dyed yarns, since it is a very preferred situation to apply the dyeing process after the chenille is in the form of yarn. Because it is very difficult to homogeneously dye the pile and binder yarns that make up the chenille yarn separately [1]. The reason for this is that pile and binder yarns are often obtained from different yarn types.

The selection of raw materials in the production and appearance of chenille yarn, the numbers of the main components of pile and binder yarns, the pile length and density, and the number of twists (t/m) are important factors. A velvety shiny appearance is created when the pile yarns lie in a certain direction. To preserve this appearance, there must be no pile loss. The factor that causes the pile yarns to shed is the friction force between the pile yarns and the binder yarns [2].

Chenille yarn is preferred because of its bright appearance, plump appearance, pile surface, low drape, and being economical and easy to manufacture. Despite these positive features, there are also negative features of chenille yarn. These are listed as low abrasion resistance, pile shedding, and pile direction. Considering these properties of chenille yarn, it is seen that many studies have been done about it.

Kalaoglu and Demir (2001) studied abrasion resistance and seam slippage for upholstery chenille fabrics in their study. As a result of their experimental study, they determined that the material and twist of the yarn affect the abrasion resistance, while they determined that the fabric design and construction also affect the seam slippage. In short, they concluded that as the twist

of the chenille yarn decreases, the wear increases [3].

Ulku, Ortlek and Omeroglu (2003) produced three different acrylic chenille yarns with 0.7, 0.8- and 1.0-mm diameters with three different twist levels. Produced samples were used in weaving constructions in the form of weft yarn. Afterward, they were tested in a Martindale abrasion test device to observe the abrasion resistance of the samples. Ulku et al. showed that pile length and woven constructions have a significant effect on abrasion resistance [4].

Nergis and Candan (2004) evaluated the dimensional, physical and appearance properties of knitted fabrics obtained from chenille yarns, based on the number of bond yarns, pile length, dry cleaning and washing parameters. In their experimental study, they concluded that the dimensional behavior of knitted fabrics is affected by the washing and dry-cleaning process. They also determined that pile length significantly affects the abrasion resistance of burnt and dry-cleaned fabrics. They mentioned that the bursting strength depends on the properties of the binder yarn. They have seen that as the binder yarn gets thinner, the bursting strength decreases, and as the binder yarn number and the length of the pile yarn get longer, surface properties such as softness, smoothness and brightness improve [5].

Ozdemir and Ceven (2004) produced Nm4 and Nm6 chenille yarns in two different twists and two different pile lengths and turned them into upholstery fabrics. With these chenille yarn samples, they discussed the effect of production parameters on the abrasion resistance of yarn and upholstery fabrics. They determined that the material, yarn twist and pile length affected the abrasion resistance of both fabric and yarn. They found that yarns with a high twist and pile length had less wear. They also determined that chenille upholstery fabrics showed the same properties as chenille yarns and showed a relationship between yarn abrasion resistance and fabric abrasion resistance [6].

Ilhan and Babaarslan (2005) conducted a study in which they examined the effect of pile yarns against abrasion resistance in upholstery fabrics woven from chenille yarns. Within the scope of this study, they produced two different yarn counts, Ne 20/1 and Ne 24/1, as Open-End and Ring pile yarn. They subjected these samples to the Martindale abrasion test. As a result of this test, the samples with Ring pile yarn lost less mass than the samples with Open-End pile yarn [2].

In this study on chenille yarn, about which there are many studies in the literature, the chenille yarn produced as an upholstery fabric has been emphasized. To solve this problem, a third soluble material was added between the pile and binder yarns, which will increase the resistance against friction. In addition to the effects of this material, fixation and twist number parameters were also changed and their effects were investigated. Thus, the effective factors in making the chenille yarn more durable, long-lasting and useful were evaluated [7-8].

3. MATERIAL AND METHOD

3.1. Chenille Yarn Production

In this study, it has been carried out to examine the abrasion resistance of chenille upholstery fabrics and to improve their quality by changing various parameters. It is planned to be produced to test the yarns as Nm 5 and S twisted. Chenille yarn, which has a special place in upholstery fabrics with its appearance and has a flowchart shown in Figure 3, is produced by a machine with different properties compared to other yarns [9-10]. In this machine, there are four binder yarns and two pile yarns in each section called the head (Figure 2). Machines producing chenille have a head section for both spindles. These sections, called the head, are fed from the creels where the binder yarn and pile yarns are located. The binder yarn and pile yarns are combined to form chenille yarn and are wound on the bobbins with the ring twisting and winding system located at the bottom of the machine.



Figure 2. Chenille Yarn Production

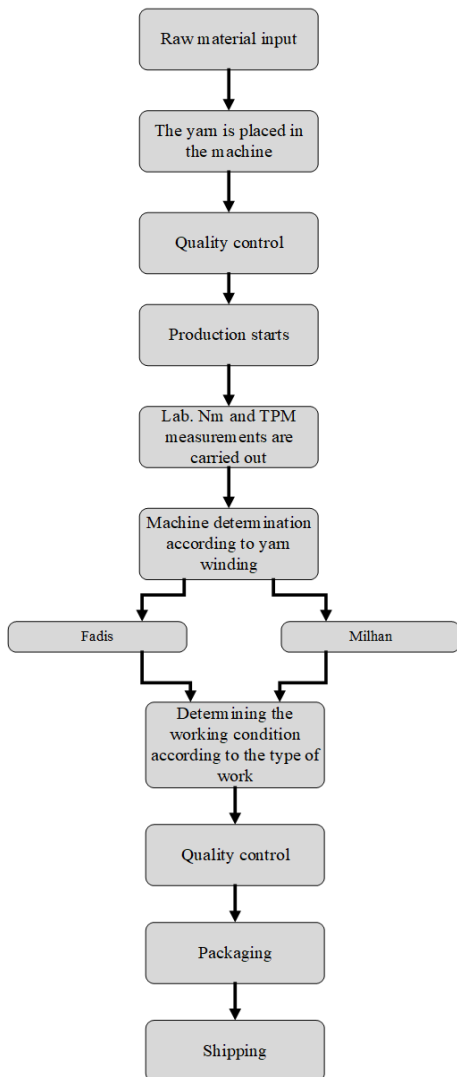


Figure 3. The production process flow chart of chenille yarn

While the production of standard chenille yarn is realized in this way, it is suggested to add a third component, a "melting" material to the chenille yarn produced in this study, in addition to the pile and bond yarns. This variable has been added to prevent pile loss due to friction. In addition, the effect of the number of twists and whether the yarn is fixed or not on the pile loss has been examined in detail.

The melted yarn chosen within the scope of the study has been determined as Polyamide. Polyamide is a polymer containing monomers linked by peptide bonds. This polymer can form both naturally (proteins, wool, silk) and artificially (nylon, kevlar, Sodium poly aspartate). It is used in many sectors such as leather, food, textile, and automotive. In the textile sector, polyamide has inspired us for chenille yarn. The effect of the proposed method on chenille yarn consists of several steps. As shown in Figure 4, the melted yarn is placed between the bond yarn. It is then subjected to the fix process. The melting process takes place, allowing the pile and binder threads to stick together. Thus, with this melted yarn method added, it is aimed to increase the holding effect between pile and binder yarn and to prevent pile loss.

To observe whether the pile and binder yarns have an effect on the holding force to each other, the addition of the melted yarn, the change of twist values, and fixed-unfixed situations have been examined in this study.



Figure 4. Adding fusible yarn to chenille yarn production

Before these examinations, sample yarns produced in Ulusoy Textile have been become fabrics by weaving by Tosunoglu Textile, which cooperated within the scope of the study. Jacquard weaving machines, which have an important place in shedding systems, were used for the weaving process. These machines; It has made it possible to weave complex patterns, pictures, or landscapes, as they can move a large number of warp yarns separately. Jacquard system has a different structure compared to other systems.

In the eccentric dobby system, the warp yarns are moved by the frame groups for the formation of the shed, while in the jacquard system, it is controlled by the harness groups integrated with the plantains for the formation of the shed. Thus, the jacquard system, thanks to its features, allows larger pattern groups to be woven compared to the eccentric and dobby systems [11-12].

The chenille yarn samples, which are prepared considering these features, have been woven into fabric by weaving on the 66-density jacquard loom to determine its performance and strength as a woven fabric (Figure 5).



Figure 5. Weaving machine

In the subsequent fix process; The fabric was passed through the stenter machine shown in Figure 7 at a certain temperature and time (1.5 min). Stenters are machines in which the movement of the fabrics is provided by a pair of walking chains by attaching them from the edges in a transverse manner, and in the meantime, the fabric is dried with the help of hot air. During this process, the desired width and length adjustment can be given to the fabrics. In addition, wrinkles on the individual fabric surface can also be removed. The feature that makes these processes possible is the nozzle system that allows compressed air to be sprayed on the lower and upper surfaces of the fabric. The pressurized and hot air applied from the nozzles turns the water in the fabric into steam. Air containing steam is removed from the fabric by a suction system. As a result of the process, the fabric leaves the machine as dried.

In addition, fibers and dust separated from the fabric by the effect of compressed air during drying are removed from the environment with a special sieve absorber device. There is a cooling system and winding mechanism to prevent excessive drying of the fabric coming out of the stenter after the drying process.

Thanks to this process, the fabric is both dried and the chemicals transferred on it are fixed into the fabric. In addition, thanks to the pre-fix process, the transverse gathering of the fabric in the airo process is prevented.



Figure 6. Stenter machine

After all these processes, the samples are finalized and ready for abrasion tests. The samples taken for the chenille yarn turned into fabric have been tested for abrasion resistance of the fabrics with the TSE EN ISO 12947-1 Martindale method to see the pile loss.

The Martindale test is a physical test used to determine how many cycles or how many hours after a certain force, fiber lumps and pilling occur on fabric surfaces. This test is done to see the result of friction force and its impact effect on the fabric surface. This experiment, it was aimed to determine the pilling resistance and surface change resistance of textile fabrics by using the Martindale device (Figure 7).



Figure 7. Martindale test device

The mass loss status is examined after the Martindale test of the test samples. To determine the mass loss in the test pieces, the test pieces are carefully taken from the gripper guide with the help of forceps. The debris (fiber waste) resulting from abrasion on both surfaces is removed with

the help of a soft brush, taking care not to touch the test pieces with the finger. The mass of each test piece is determined in the 1 mg approach after conditioning under standard atmospheric conditions. The mass loss for each test piece is calculated using the precision balance (Figure 8), using the difference between the masses of the test piece before and after the test, using the approximation of 1 mg.

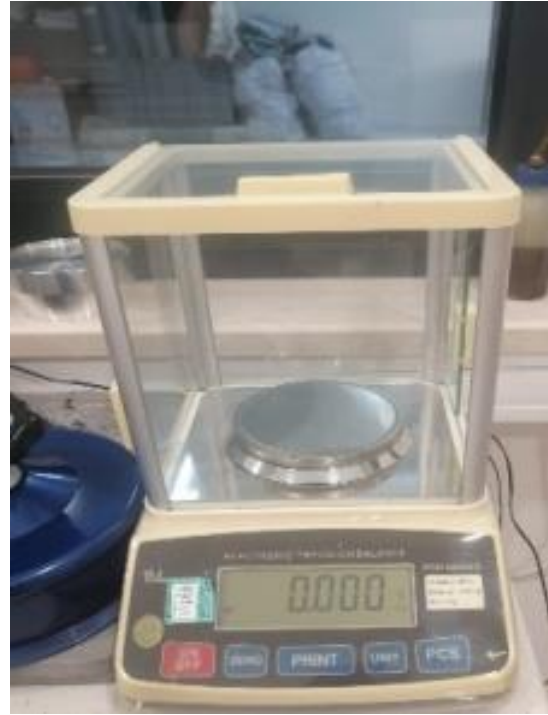


Figure 8. Precision balance

3.2. Selection and Production of Sample Samples

Woven fabrics produced from chenille yarns have a fuller appearance with their yarn structure and pile. Pile density is the most important factor affecting the handle of fabrics produced from chenille yarn. The fuller and more voluminous the fabric become thanks to the higher the pile density. Parameters on which pile density depends, are pile length, pile frequency, and yarn thickness. As the pile length increases, the fabric surface is covered better, while the short pile gives the fabric a denser appearance. The pile frequency is another factor

affecting the pile density; It ensures that the pile does not separate from the surface and forms a tighter bond with the ground. As another factor, the increase in yarn thickness causes a coarser appearance on the fabric. For this reason, it should be paid attention that the structure of the fabric does not change in the studies carried out to prevent the pile in the woven fabric from moving away from the fabric surface as a result of mechanical and physical wear due to its use over time.

In this study, which has been performed considering these situations, it is paid attention that the changes made in the selected samples are in such a way that they would not affect the structure of the fabric. While selecting the samples, the raw materials most used in the production of chenille yarn on a facility basis are taken as a result of the evaluations made in the facility where the production will take place and in line with customer requests. Two different raw materials have been determined for the chenille yarns used in the samples. Pile yarn for polyester and polyester as binder yarn has been selected from the raw materials determined (Figure 9). For viscose, viscose was chosen as the pile yarn, and polyester-viscose has been chosen as the binder yarn [13].

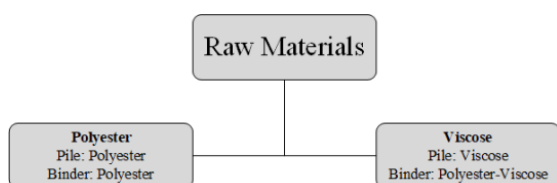


Figure 9. The raw material types

The chenille yarn numbers used in upholstery fabrics are in the range of Nm 4 and Nm 6. For this reason, the chenille yarn produced from the raw materials determined within the scope of this study was determined as Nm 5. The pile length is in line with customer demands; 0.8 mm was the most produced for viscose and 1 mm was the most produced for polyester. After the samples were selected, the yarns produced were woven into fabrics ready for abrasion test, in line with a workflow (Figure 10).

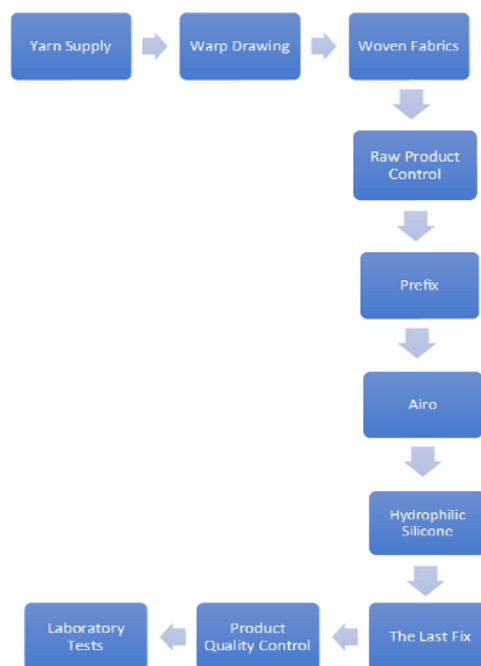


Figure 10. Fabric weaving workflow chart

3.3. Polyester Chenille Fabric Sample

Six main samples were determined for polyester yarn. These samples were produced by changing the parameters as melted and un-melted, fixed and unfixed, 900 and 980 twists. As shown in Table 1, samples were assigned a number and throughout the study process samples were identified with these assigned numbers.

Table 1. Polyester sample properties

No	Raw materials	Yarn	Process
P1.1	Polyester	Melted / 980 twists / Unfixed	180Prefix / AIRO 150/ The last fix
P1.2	Polyester	Unmelted / 980 twists / Unfixed	180 Prefix / AIRO 150/ The last fix
P1.3	Polyester	Unmelted / 980 twists / Fixed	180 Prefix / AIRO 150/ The last fix
P1.4	Polyester	Melted / 980 twists / Fixed	180 Prefix / AIRO 150/ The last fix
P1.5	Polyester	Melted / 900 twists / Fixed	180 Prefix / AIRO 150/ The last fix
P1.6	Polyester	Melted / 900 twists / Unfixed	180 Prefix / AIRO 150/ The last fix

The Martindale abrasion test was applied to polyester samples with different properties, and the

results in Table 2 were obtained. To increase the holding force between the pile and bond yarns, the unfixed P1.1 sample with 980 twist, which contains the melted material included in the production process, has the highest break and pile loss cycle and it has been seen that it gives the best results.

The applied Martindale test was created by taking two samples from each sample. The pile loss results of the samples taken after the test are shown in the Abrasion-Martindale (TSE EN ISO 12947-1) Test-1 and Abrasion-Martindale (TSE EN ISO 12947-1) Test-2 columns in Table 3 below.

Table 2. Pile loss and average breakout cycle of polyester chenille yarn as a result of Martindale test

No	Pile Loss (Cycle)	Average Breakout (Cycle)
P1.1	18.000	31.000
P1.2	15.000	25.000
P1.3	17.000	28.000
P1.4	27.000	29.000
P1.5	5.000	26.000
P1.6	5.000	25.000

Table 3. Appearance and mass loss of polyester chenille yarn Martindale test result






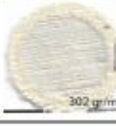












No	Original	Abrasion-Martindale (TSE EN ISO 12947-1) Test-1	Abrasion-Martindale (TSE EN ISO 12947-1) Test-2
P1.1			
P1.2			
P1.3			
P1.4			
P1.5			
P1.6			

Table 3 shows the appearance of the samples as a result of mass losses according to the Martindale test results. According to the results supported by their appearance, 5.9% in P1.1 sample, 5.4% in P1.2 sample, 8.6% in P1.3 sample, 3.3% in P1.4

sample, 0.6% in P1.5 sample and 1.4% in the P1.6 sample occur mass loss. The situation of these losses in mass relative to the original mass is shown in Figure 11.

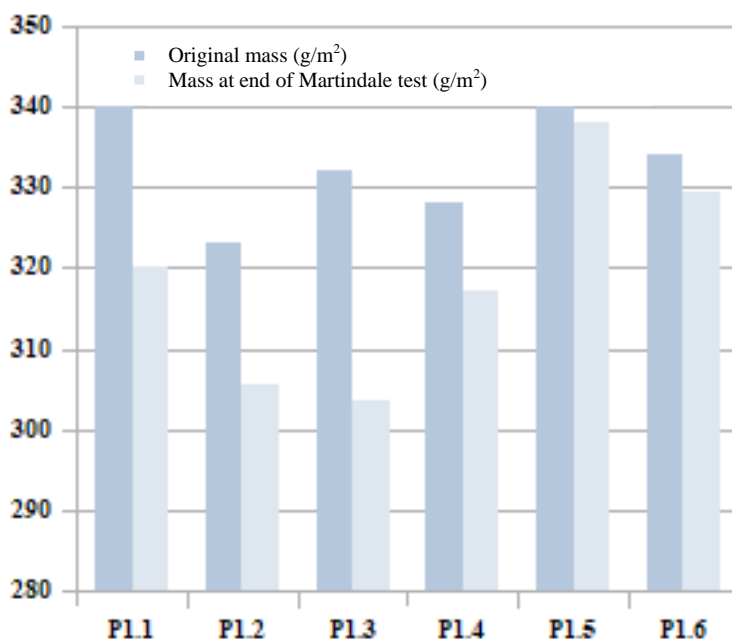


Figure 11. Mass loss for polyester samples

3.4. Viscose Chenille Fabric Sample

As with polyester chenille fabrics, six main samples were determined for viscose chenille fabrics. These samples were determined by changing the parameters as melted and un-melted, fixed and unfixed, 900 and 980 twists. As shown in Table 4, samples were assigned a number and throughout the study process samples were identified with these assigned numbers.

Table 4. Viscose sample properties

No	Raw materials	Yarn	Process
V1.1	Viscose	Melted/900 twists/ Fixed/Yarn Dyed	60 Prefix/AIRO 150/ The last fix
V1.2	Viscose	Melted/900 twists/ Unfixed/Yarn Dyed	60 Prefix/AIRO 150/ The last fix
V1.3	Viscose	Unmelted/980 twists /Unfixed/Yarn Dyed	60 Prefix/AIRO 150/ The last fix
V1.4	Viscose	Unmelted/980 twists /Fixed/Yarn Dyed	60 Prefix/AIRO 150/ The last fix

V1.5	Viscose	Unmelted/900 twists /Unfixed/Yarn Dyed	60 Prefix/AIRO 150/ The last fix
V1.6	Viscose	Unmelted/900 twists /Fixed/Yarn Dyed	60 Prefix/AIRO 150/ The last fix

The Martindale abrasion test was applied to viscose samples with different properties, and the results in Table 5 were obtained. It was observed that the holding force between the pile and bond yarns was better in the unmelted and unfixed V1.3 sample with 980 twists, and it was determined that this sample gave the highest result in the breakage and pile loss cycle. As seen in Example 3 and Example 4, it was observed that the pile losses of 980 twisted samples were lower. Thus, it was concluded that with the increase in the number of twists, the binder yarns hold the pile yarns stronger and this prevents wear.

Table 5. Pile loss and average breakout cycle as a result of viscose chenille yarn Martindale test

No	Pile loss (Cycle)	Average breakout (Cycle)
V1.1	2.500	8.500
V1.2	2.000	10.000
V1.3	10.000	24.000
V1.4	9.000	23.000
V1.5	3.250	23.000
V1.6	2.000	15.000

The Martindale test applied for viscose chenille woven fabric was created by taking two samples from each sample as it was for polyester chenille fabric. The pile loss results of the samples taken after the test are shown in the Abrasion-Martindale (TSE EN ISO 12947-1) Test-1 and Abrasion-Martindale (TSE EN ISO 12947-1) Test-2 columns in Table 6 below.

Table 6. Viscose chenille yarn appearance and mass loss as a result of Martindale test














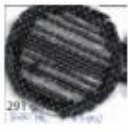
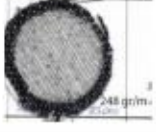



No	Original	Abrasion-Martindale (TSE EN ISO 12947-1) Test-1	Abrasion-Martindale (TSE EN ISO 12947-1) Test-2
V1.1			
V1.2			
V1.3			
V1.4			
V1.5			
V1.6			

Table 6 shows the appearance of the samples as a result of mass losses according to the Martindale test results for viscose chenille fabric. According to the results supported by their appearance, the resulting mass losses were 11.9% in the V1.1 sample, 19.4% in the V1.2 sample, 9% in the V1.3 sample, 18.6% in the V1.4 sample, and % in the V1.5 sample. 19 and 24% in the V1.6 sample. The situation of these losses in mass relative to the original mass is shown in Figure 12.

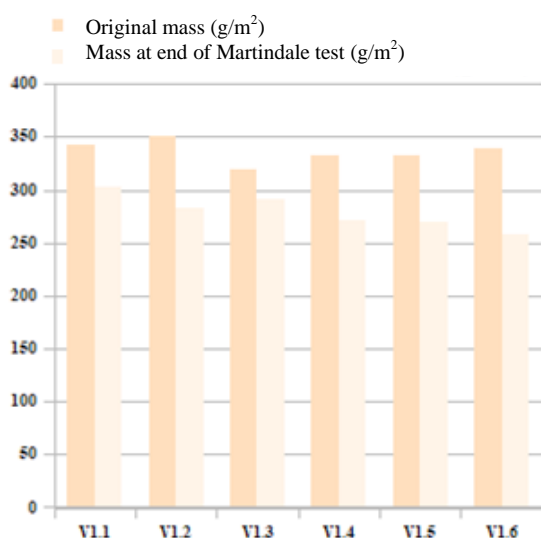


Figure 12. Mass loss for viscose samples

4. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Chenille yarns, which were used effectively in the 1990s, are among the most widely used fancy yarns in upholstery fabrics today. Despite its use for many years, studies on chenille yarns have been limited. However, over time, it has become necessary to carry out studies on these yarns, which are used as upholstery fabrics in home textiles [14]. In this study, which is aimed to be a source for future research, pile loss, which is the most important problem encountered in woven fabrics produced from chenille yarn, is discussed. Polyester and viscose raw materials, which are the most produced based on the facility and required to be improved in line with customer demands, were

selected. While pile and bond yarns for polyester are selected from polyester; For viscose, pile yarn was chosen as viscose and bond yarn as polyester-viscose. Pile lengths were chosen as 0.8 mm for viscose and 1 mm for polyester. To see and improve the factors affecting the pile loss in the selected yarns, some parameters were determined and six pieces were produced for each raw material in line with these parameters. These parameters are discussed whether or not there is a fixation, which is frequently applied in yarn production, the situation of being produced as 900 or 980 twists, and finally, whether or not melted material is added as a yarn improvement study. While determining these conditions, special attention was paid not to changing or affecting the structure of the yarn and fabric.

The yarns produced were turned into fabric by weaving. First of all, pre-fixing was done to prevent the fabric from gathering transversely during the airo process. In the subsequent airo process, surface smoothness is also ensured while drying. With the last fixation, the chemicals transferred to the fabric surface are fixed while the final appearance of the fabric is given.

The chenille fabric, which took its final shape as a result of these processes, was subjected to the Martindale abrasion test in order to see the effect of the changed parameters on the pile loss. One of these parameters is to add melted yarn to the chenille yarn production stage. The purpose of adding the melted yarn is to be between the pile and the bond yarn during the production phase and to melt without damaging the yarn during the fixation process, to ensure that the pile and bond yarn hold each other better. Thus, it is aimed to prevent pile loss caused by friction.

One of the parameters is the twist. The aim here is to increase the amount of twist in the binder yarn and to provide a better grip on the pile yarn. Thus, it is aimed to prevent the loss of pile that will occur [15].

Among the polyester raw materials, it was observed that the fabrics P1.4, P1.1 and P1.3 gave the best results, respectively. When the properties

of these samples are examined, it is seen that the addition of melt to the samples provides a serious improvement in the pile loss and breakage cycle. In addition to this, increasing the number of twists and fixing the yarn provide significant advantages. For this reason, it has been determined that the use of melted material in the chenille yarn produced from polyester raw material, the production of 980 twist and fixed yarn will provide a great advantage in increasing the quality and user satisfaction in woven fabrics. When looking at the yarns produced from viscose raw material, it was seen that the best results were obtained from V1.3, V1.4, and V1.5 samples. In these results, it has been seen that increasing the number of twists for viscose provides a significant improvement in pile loss and breakage cycle, so it has been determined that quality and customer satisfaction will increase thanks to the improvement.

5. REFERENCES

1. Esi, B., Baykal, P.D., 2020. Investigation of Tensile Strength and Elongation Properties of Chenille Upholstery Fabrics Including Recycling Polyester Yarns. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 15, 1–10.
2. İlhan, İ., Babaarslan, O., 2005. Şönil Hav İpliklerinin Döşemelik Kumaş Aşınma Direnci Üzerindeki Etkisi. *Tekstil Maraton*, 15(76), 59-64.
3. Kalaoglu, F., Demir, E., 2001. Chenille Yarn Properties and Performance of Chenille Upholstery Fabrics. *Textile Asia*, 3, 37-40.
4. Ulku, S., Ortlek, H.G., Omeroglu, S., 2003. The Effect of Chenille Yarn Properties on the Abrasion Resistance of Upholstery Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 11(3), 38-41.
5. Nergis, B.U., Iridağ, Y., Candan, C., 2004. A Study on Properties of Knitted Fabrics from Bouclé Yarns, 2nd International Textile, Clothing and Design Conference. October 3-6th.
6. Özdemir, Ö., Çeven, E.K., 2004. Influence of Chenille Yarn Manufacturing. *Textile Research Journal*, 74(6), 515-520.
7. Çeven, K.E., Özdemir, Ö., 2006. Evaluation of Chenille Yarn Abrasion Tests and Images Analysis. *Textile Research Journal*, 315-321.
8. Ünal, B.Z., Kartal, B., Yılönü, S., 2019. The Effect of Water Repellency Finishing on Selected Performance Properties of Upholstery Fabrics Produced from Chenille Yarns. *The Journal of the Textile Institute*, 1754-2340.
9. Cristian, I., Harpa, R., Pirai, C., 2018. Comparative Study on the Quality of Upholstery Woven Fabrics I: Tensile and Shear Resistance. *Buletinul AGIR nr.1*.
10. Özdemir, Ö., Çeven, E.K., 2004. Influence of Chenille Yarn Manufacturing Parameters on Yarn and Upholstery Fabric Abrasion Resistance. *Textile Research Journal*, 74(6), 515-520.
11. Kaplan, S., Üstüntağ, S., Yücel, S.B., Türksoy, H.G., 2020. Improving end Use Potential of Denim Fabric in Cold Climates by Chenille Yarn. *The Journal of the Textile Institute*, 1754-2340.
12. Karakan, Günaydın, G., 2019. Effect of Coating Ratio and Weft Density on Some Physical Properties of Upholstery Fabrics. *Industria Textila*, 70, 4.
13. Haghghat, E., Johari, M.S., Etrati, S.M., Tehran, M.A., 2012. Study of the Hairiness of Polyester-Viscose Blended Yarns. Part IV - Predicting Yarn Hairiness Using Fuzzy Logic. *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, 20,3(92): 39-42.
14. Esi, B., 2020. r-Pet İpliklerin Şönil Döşemelik Kumaşlarında Kullanılabilirliği ve Üretim Maliyetinin Optimizasyonu. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana, 209.
15. Uyanık, S., Zervent, Ünal, B., Çelik, N., 2013. Farklı Büküm Tiplerine Sahip Hav İpliklerinin Havlu Performans Özelliklerine Etkisi. *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture*, 28(1), 101-110.

Elektrikli Araç Bataryalarının Bütünleşik Swara-Topsis Metodu ile Değerlendirilmesi

Adnan ABDULVAHİTOĞLU*¹ ORCID 0000-0002-2659-6709

Aslı ABDULVAHİTOĞLU² ORCID 0000-0002-3603-6748

Mustafa KILIC² ORCID 0000-0002-8006-149X

¹Jandarma ve Sahil Güvenlik Akademisi, Ankara

²Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 14.05.2022

Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: ABDULVAHİTOĞLU, A., ABDULVAHİTOĞLU, A., KILIÇ, M., (2022). Elektrikli Araç Bataryalarının Bütünleşik Swara-Topsis Metodu ile Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 1061-1076.

Öz

Küreselleşme ve dünya nüfusundaki hızlı artış birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bunlardan birisi de İçten Yanmalı Motorla çalışan araçların neden olduğu ulaşım, trafik ve çevre sorunudur. Bu yüzden bilim insanları bir yandan ulaşım ve trafik sorununu çözmeye çalışırken diğer yandan yenilenebilir ve çevre dostu alternatif enerji kaynakları ile bunları kullanan araçlar üzerine yoğunlaşmaktadır. Özellikle elektrik makineleri, bataryalar ve güç elektroniği alanlarında yaşanan teknolojik gelişmeler, girişimcileri elektrikli araç üretimine yönlendirmektedir. Elektrikli Araç çalışmalarında yaşanan ilerlemeler sayesinde batarya ile çalışan Elektrikli araçlar yavaş yavaş fosil yakıt kullanan araçların yerini almaya başlamıştır. Ancak daha iyi performans gösterecek batarya geliştirme çalışmaları devam ettiğinden elektrikli araç kullanımı yavaş, fakat hızlanarak devam etmektedir. Batarya geliştirme çalışmalarında öncelikle hızlı şarj, taşıt menzili, uzun pil ömrü, düşük maliyet, batarya kapasitesi, şarj süresi, batarya verimi ve batarya güç değeri vb. gereksinimler karşılanmaya çalışılmaktadır. Bu noktada Lityum-İyon bataryalar ön plana çıkmaktadır. Ancak geliştirilen Lityum-İyon batarya çeşitlerinin değişik performans özellikleri, Elektrikli Araç üreticilerinin batarya seçiminde karar vermelerini zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi ve İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama kullanılarak, karar vericilere Lityum-İyon batarya seçiminde yardımcı olacak bir model önerilmiştir. Böylece Elektrikli Araç üretim çalışmalarında yer alan işletmelere en uygun bataryayı seçme, elektrikli araçların maliyetini azaltma ve performanslarını artırma çalışmalarında faydalı olunması öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araç, Batarya, Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (SWARA), İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama (TOPSIS), Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV)

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Adnan ABDULVAHİTOĞLU, abdulvahitoglu@gmail.com

Assessment of Electric Vehicle Batteries Via Integrated Swara-Topsis Approach

Abstract

Globalization and the rapid increase in the world population bring along many problems. One of them is the traffic, transportation, and environmental issues brought on by internal combustion engine-powered vehicles. Therefore, scientists focus on renewable and environmentally friendly alternative energy sources and vehicles that use them. Technological developments, especially in the fields of electrical machines, batteries and power electronics, have led entrepreneurs to turn to electric vehicles. Great progress has been made in Electric Vehicle studies, causing battery-powered Electric Vehicles to gradually replace internal combustion engine powered vehicles. However, since the battery development studies that will perform better are continuing, the use of Electric Vehicle continues slowly but accelerated. In battery development studies for Electric Vehicles, first of all, requirements such as fast charging, vehicle range, long battery life, low cost, battery capacity, charge time, efficiency battery, power of battery and etc. are tried to be met. At this point, lithium-Ion batteries come to the fore. The different performance characteristics of the developed lithium-Ion battery types make it difficult for Electric Vehicle manufacturers to decide on battery selection. In this study, a model for lithium-Ion battery selection is proposed by using Step-by-Step Weight Evaluation Ratio Analysis and Ranking of Preferences Based on Similarity to Ideal Solution, which are among the Multi-Criteria Decision Making methods. Thus, it is foreseen that it will be beneficial for the enterprises involved in Electric Vehicle production studies to select the most suitable battery, reduce the cost of Electric Vehicles and increase their performance.

Keywords: Electric vehicle, Battery, Step-by-Step Weight Evaluation Ratio Analysis (SWARA), Ranking of Preferences Based on Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), Multi-Criteria Decision Making (MCDM)

1. GİRİŞ

Hızla gelişmekte ve değişmekte olan dünyada, başta teknolojik gelişmeler olmak üzere bilimde söz sahibi ülkeler, uluslararası ilişkiler ve ekonomide de etkili olmaktadır. Böylece bilim ve teknolojiye sağladıkları üstünlüğü kullanarak dünya nimetlerinin paylaşılmasında belirleyici olmakta ve kendi toplumlarının refah seviyelerini arttırmaktadırlar.

Ancak kullanılan fosil enerji kaynaklarının neden olduğu çevre kirliliğindeki hızlı ve tehlikeli artış ile bu kaynakların hızla tükenmesi, tüm dünyayı alternatif enerji kaynaklarına yönelmektedir. Özellikle, yoğun fosil yakıt kullanımından kaynaklanan çevre kirliliği ve İçten Yanmalı Motor (İYM)'ların sebep olduğu zararlı gaz salınımı önem arz etmektedir.

Dünyada en çok kullanılan fosil enerji kaynaklarından petrol tüketiminin

yaklaşık %60'ını İYM'lar tek başına yapmaktadır. Buna bağlı olarak da dünya CO₂ salınımının %25,5'ine sebep olmaktadır. Karayolu taşımacılığı ise bu kullanımın içinde tüm CO₂ salınımının %16'sına tek başına sebep olmaktadır [1]. Bu sebeplerden dolayı İYM'lar ve fosil enerji kaynakları yerine kullanılacak alternatif çözüm arayışları artarak devam etmektedir. Özellikle Elektrikli Araç (EA) ve EA'lar için batarya kapasitelerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar son yılların en gözde konuları arasında yer almaktadır [2]. Zararlı gaz salınımının olmaması, çevre dostu olması, şanzımana ihtiyaç duymaması, gürültüsüz çalışması, enerji verimliliği vb. sebeplerden dolayı EA kullanımına yönelik çalışmalar hızla artmaktadır. 2020 yılında dünya genelinde EA satışı 2,5-3 milyon olarak gerçekleşirken, 2021 yılında 6,6 milyona ulaşmıştır. Bu artış, firmaların EA'lar üzerine yaptıkları araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) çalışmaları ve üretim faaliyetlerinde artış olduğunu göstermektedir. Otomotiv sektörünün öncü

firmalarının yaptığı açıklamalar bu sayıların daha da artacağını göstermektedir. Jaguar ve Alfa Romeo sırasıyla 2025 ve 2027 yılında, Opel 2028 yılından itibaren ve Mercedes 2030 yılına kadar Avrupa'da ürettikleri tüm araçların elektrikli olacağını beyan etmişlerdir. Audi firması benzinli ve dizel araç üretimini 2026 yılında sonlandıracağını, Land Rover firması da 2024 yılında elektrikli araç üretimine başlayacağını açıklamışlardır. Diğer büyük otomobil firmalarının da benzer açıklamaları bulunmaktadır [3]. İYM pazarında kaçırdığı fırsatı EA pazarında yakalamak isteyen Türkiye'nin bu sektörde var olmasını sağlayacak elektrikli otomobil fabrikasının resmi olarak 29 Ekim 2022'de açılması ve 2023 yılının ilk üç ayında satışa başlaması planlanmaktadır [4].

Literatürde EA'lar üzerine EA şarjının elektrik dağıtım şebekesine etkisi [2], EA'ların geleceği [5], EA bataryası kutu kapaklarının tasarımı [3], esas tahrik unsuru olarak yakıt pilini seçen EA uygulaması [6], bataryalı EA parametrelerinin hesaplanması [7], EA batarya seçimi [8], hibrit EA'ların modellenmesi [9] vb çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalarda ortaya çıkan çok faktörlü problemlerin çözülmesi için çalışan araştırmacılar karar verme sürecinde zorlanmaktadır. Bu yüzden bu çalışmada araştırmacılara bilimsel karar desteği sağlanması sürecinde ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır.

ÇKKV teknikleri karar vericilere çok sayıda kriteri göz önüne alarak değerlendirme yapma fırsatı vermektedir [10]. Abdulvahitoğlu vd karakol kuruluş yeri seçiminde [11], Abdulvahitoğlu İYM motor radyatörlerinde kullanılan farklı nanoakışkanları değerlendirmede [12], Abdulvahitoğlu ve Kilic farklı biodizellerin

özelliklerinin ağırlıklandırılmasında ÇKKV yöntemlerini kullanmışlardır [13]. Son yıllarda geliştirilen ve en yaygın kullanılan ÇKKV tekniklerinden biri olan SWARA tekniği ile ev planı, mimar, personel seçimi [14-16], İYM'ların enerji analizi [17], enerji santrali kuruluş yeri seçimi [18] vb. çalışmalar yapılmıştır. Ancak EA'ların dezavantajlarının neden olduğu sorunlar ile ilgili çalışmalarda ÇKKV yöntemlerinin daha önce hiç kullanılmadığı görülmüştür

Bu çalışmada EA Ar-Ge çalışmalarında karşılaşılan sorunların ÇKKV yöntemleri ile önem değerleri bulunarak, işletmelerin EA stratejilerinin planlanması aşamasında hangi faktöre ne derece ağırlık verileceği, hangi sorunla mücadele için ayrılan kaynak ve emeğin EA çalışmalarına katkı sağlayacağı konularında karar desteği sağlanması amaçlanmıştır. Giriş bölümünde ilgili literatür taraması yapılmıştır. Birinci bölümde EA'lar ile ilgili genel hususlar ve EA'ların avantajları ile dezavantajları üzerine durulmuştur. İkinci bölümde çalışmada kullanılan ÇKKV yöntemlerinden SWARA ve TOPSIS tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde önce EA sorunlarının önem derecelerinin belirlenebilmesinde SWARA yöntemi uygulanmıştır. Daha sonra en önemli sorun olarak ortaya çıkan batarya geliştirme çalışmaları üzerine durulmuştur. Bu noktada batarya özellikleri tespit edilip tekrar SWARA tekniği kullanılarak bu kriterlerin önem dereceleri belirlendikten sonra batarya cinsleri TOPSIS yöntemi ile sıralanarak en uygun seçenek belirlenmiştir. Sonuç bölümünde SWARA, TOPSIS ve diğer ÇKKV yöntemlerinin benzer konularda kullanılabileceğine yönelik teklifler ile çalışma tamamlanmıştır. Çalışmanın aşamaları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışmanın aşamaları

2. MATERYAL VE YÖNTEM

EA'ların hızla yaygınlaşması ve bu araçların en önemli parçaları olan elektrik motorları ve bataryaları ile bataryaların şarj sistemleri araştırmacıların dikkatini çeken konuların başında gelmektedir. Bu konunun öneminin bilincinde olan Türkiye, Bursa ilinin Gemlik ilçesinde kurulan ve sadece elektrikli araç üretecek olan otomobil fabrikasında çalışmalara başlamıştır. Böylece İYM'larda fosil yakıtlar yerine elektrik enerjisi kullanılması her geçen gün daha fazla yaygınlaşacak ve fosil yakıtlara bağlılık azaltılarak ithalatından tasarruf edilmiş olunacaktır.

2.1. Elektrikli Araçlar

EA çalışmaları 19. yüzyılın başlarına kadar gitmektedir. Profesör Stratingh 1835 yılında ilk EA modelini [19], Robert Davidson 1938 yılında ilk elektrikli lokomotifini geliştirmiştir [20]. 1886 yılında Karl Benz'in İYM'u üretilip satışa sunmasından sonra 1895 yılında Morris ve Salomon bir iki koltuklu elektrikli araç üretmişlerdir. İngiltere'de 1897 yılında bir taksi şirketi 15 adet elektrikli taksiyi hizmete almıştır [21]. 1901 yılında New York'ta taksi firmaları elektrikli araçlar ile de hizmet vermişlerdir [22].

Geçmiş 1800'li yıllara dayanan EA'lar, menzil, batarya, şarj imkânları vb sorunlar yüzünden uzun süre hak ettiği ilgiyi görememişlerdir. Bu yüzden 1920-1960 yılları arasında neredeyse tüm EA üreticileri İYM'lu araç üretimi yapmışlardır. Bu dönemde EA'lara ilgi sürekli azalmıştır [5]. 20. yüzyılın ikinci yarısında başlayan küresel iklim değişikliğine duyarlılık, İYM'ların neden olduğu zararlı gaz salınımı ve hava kirliliği bazı küçük işletmeleri çevre dostu EA üretmeye yöneltmiştir [23]. 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi ve dünya ekonomik buhranı başta petrol fakiri Avrupa ülkeleri olmak üzere Amerika, Almanya, İtalya ve Japonya gibi gelişmiş ülkelerin tekrar EA çalışmalarına başlamalarını tetiklemiştir.

Bunlardan biri Siemens firmasının Berlin'de 1982'de elektrikli trolleybüs üretimine başlamasıdır

[24]. Batarya alanında yapılan araştırmalar neticesinde kurşun-asit bataryaların geliştirilerek EA'larda kullanılması [21] bu çalışmaları yaygınlaştırmıştır. Hükümetler de 1980'li yıllardan itibaren çevre dostu EA'lara ilgi duymaya ve EA çalışmalarını resmi hükümet politikaları ile desteklemeye başlamışlardır. Günümüzde elektrikli araçlara olan talep giderek artmaktadır. Bu yüzden elektrikli araç altyapı teknolojileri de geliştirilmektedir. Teknolojik alt yapılardan bazıları batarya sistemleri, iletişim, ağ entegrasyonu ve şarj sistemleridir [25].

Elektrikli araç tasarımında İYM yerine elektrik motoru (EM) kullanılmaktadır. EM'un ihtiyaç duyduğu enerji bataryalardan sağlanmaktadır [19]. Sağlanan bu enerjiyi EM'nu harekete geçirerek aktarma organı ile tekerlere iletmekte böylece araç hareket etmektedir. Araştırmacılar birden fazla çeşit EA üzerinde çalışmaktadır. Bunlar [26];

- Elektrik bataryalı araç,
- Plug-in hibrit EA,
- Menzili genişletilmiş EA,
- Hibrit EA ve
- Yakıt hücreli EA'dır.

Yaygın olarak kullanılan bir EA modelinin kesiti aşağıda Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Bir elektrikli araç kesiti [27]

Günümüzde piyasalarda bulunan EA'lar ve bazıları özellikleri aşağıda Çizelge 1.'de belirtilmiştir.

Çizelge 1. EA'lar ve bazı özellikleri [28]

EA Modeli	Menzil (km)	Batarya kapasitesi (kWh)	Şarj süresi (%80)-Min	Verim (Wh/km)	Güç (kW)
BMW i3 94 Ah	165	27.2	26	125	165
Hyundai kona	395	64	44	162	150
Mercedes EQC 400 4MATIC	370	80	35	216	300
Renault Zoe ZE50 R135	310	52	56	168	100
Smart EQ	100	16.7	40	167	60
Toyota bZ4X	370	71.4	32	193	160
Audi e-tron 50 quattro	280	64.7	25	231	230
Volkswagen ID.4 pure performance	285	52	31	182	124
Peugeot 2008 active	245	45	26	184	136
Citroen e-C4	263	45	26	173	136

2.1.1. Elektrikli Araçların Avantaj ve Dezavantajları

EA'lar İYM'lu araçlara göre daha verimli çalışırlar. Tek bataryadan güç alan bir EA yaklaşık %46 verim ile çalışırken İYM'lu araçlar yaklaşık %18-25'lik verim ile çalışmaktadır [21]. EA'ların fayda ve kısıtları EA çeşidi ve kullanım alanlarına göre de değişmektedir. Araştırmacıların tespit ettiği bu avantajlar ve dezavantajlar aşağıda belirtilmiştir. Bunlar [5,6,21,23,26,29-31];

Avantajları;

- EA'larda çevreye herhangi bir zararlı gaz salınımı olmaz.
- Hava kirliliğini azaltarak çevreci çalışmalara katkı sağlarlar.
- EA'larda kullanılan EM'leri sessiz çalışırlar.
- Gürültü kirliliğini azaltarak çevreci çalışmalara katkı sağlarlar.
- Rejenaratif frenleme sayesinde fren ömürleri daha uzundur.
- Motor ağırlıkları daha azdır.
- İYM'lu araçlara göre daha az enerji kaybı olduğu için motor verimliliği daha yüksektir.
- Araçtaki EM jeneratör gibi kullanılarak bataryalar şarj edilir.
- EA'ların yakıt ve bakım maliyetleri İYM'lu araçlara göre çok daha azdır.
- Yeni nesil teknolojiler ile fotovoltaik enerjiden istifade edilerek bataryalar şarj edilebilir.

- Taşıtın transmisyon sistemi EA'larda İYM'lu araçlara göre daha az karmaşık olduğu için az bakım gerektirir ve yağ değişikliğine ihtiyaç duymaz.
- Küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadeleye katkı sağlarlar.

Dezavantajları;

- EA'ların üretimi kullandığı yüksek teknolojiden dolayı maliyeti de yüksektir. Bu husus satış fiyatına yansımakta ve pazar payının daralmasına neden olmaktadır.
- Zararlı etkilerinin az olması ve yakıt maliyeti daha düşük olması nedeniyle İYM'lu araçlara göre daha fazla ve yaygın kullanılacak olmasının önümüzdeki yıllarda trafik ve otopark sorununun artmasına neden olması beklenmektedir.
- EA'ların kullandığı teknoloji, İYM'lu araçlardan farklı bir bakım ve onarım süreci gerektirmektedir. Araç servis istasyonlarında tüketicinin ihtiyaçlarını karşılayabilecek seviyede ve yeterli miktarda eğitimli teknik personele ihtiyaç duyulacaktır.
- EA performansı henüz tam olarak kanıtlanmamıştır. Örneğin bataryası biten bir EA yolda kalmakta, en yakın şarj istasyonuna çekici ile gitmesi gerekmektedir.
- Oldukça ağır olan bataryalar taşıt menziline sınırlamaktadır.
- Trafik kazalarında deformasyona uğrayan araçta batarya kaynaklı tehlikelerden korunmak için tedbir geliştirmeye çalışılmaktadır.

- EA'larda batarya yerleşimi sorununu çözmeye yönelik çalışmalar devam etmektedir.
- Batarya ağırlığından dolayı yolcu ve faydalı yük taşıma kapasitesi azalmaktadır.
- İYM kullanan araç depoları kısa sürede doldurulabilmesine rağmen EA bataryalarının şarj süresi uzundur. Şarj süresin kısaltılması ise batarya ömrünün kısalmasına neden olmaktadır.
- EA'ların menzili İYM'lu araçlara göre daha kısadır.
- Yeni gelişen ve gelişmekte olan bir teknoloji olması nedeniyle batarya maliyetleri yüksektir.
- Şarj sürelerinin uzundur ve şehirlerin elektrik şebekesine bindireceği yük henüz hesaplanmamıştır.
- Şarj süresini kısaltmak için geliştirilen hızlı şarj teknolojileri için altyapı yeterli değildir ve bazı tehlikeli riskleri barındırmaktadır.

2.1.2. Elektrikli Araç Araştırma ve Geliştirme Çalışmalarında Karşılaşılan Sorunlar

Yukarıda belirtilen avantajlar ve dezavantajlar göz önünde bulundurulduğunda bazı dezavantajlar EA çalışmalarında bir sorun olarak ortaya çıkmakta ve çözülmesi zaruret haline gelmektedir. Bu sorunlar dokuz ana başlık altında özetlenerek, SWARA yöntemi ile önem dereceleri bulunacaktır. Bu kapsamda; mevcut elektrikli araçların sahip olduğu dezavantajlar ve gelecekte yeni tasarlanacak elektrikli araçların artan performans ihtiyacını karşılamak için çözülmesi gereken sorunlar değerlendirilerek, aşağıdaki değerlendirme kriterleri uzmanlar tarafından belirlenmiş ve Çizelge 2'de sunulmuştur. Bu uzmanların, elektrikli araçların tasarımı, üretimi, batarya gruplarının seçimi ve çok kriterli karar verme alanlarında çalışmaları [6,11-13,39] mevcuttur.

Çizelge 2. EA çalışmalarında karşılaşılan sorunlar

S. Nu.	Sembol	Sorun	Sorunun batarya seçim kriteri ile ilişkisi
1	C ₁	EA üretim maliyetinin yüksekliği	Batarya maliyetinin EA maliyetini artırması
2	C ₂	Servis istasyonlarında yeterli seviyede eğitimli teknik personel bulunmaması	Yeni tip bataryaların EA bakım onarım süreçlerini zorlaştırması
3	C ₃	EA menzilin kısa olması	Batarya kapasitesinin EA menzilin sınırlaması
4	C ₄	Trafik kazalarında deformasyondan etkilenen batarya kaynaklı tehlikeler	Bataryadan kaynaklanan arızalar sebebiyle EA kazalarının artması
5	C ₅	Yolcu, yük vb. faydalı yük taşıma kapasitesinin azlığı	Batarya güç değerinin EA yük taşıma kapasitesini sınırlaması
6	C ₆	EA bataryalarının şarj süresinin uzunluğu	Batarya şarj süresinin EA kullanım periyodunu olumsuz etkilemesi
7	C ₇	Batarya şarjı için elektrik şebekesinin altyapı yetersizliği	Batarya şarj istasyonlarının eksikliğine bağlı EA'ların kullanımında sorunlar yaşanması
8	C ₈	Zararlı etkilerinin az olması nedeniyle daha yaygın kullanılacak olmasının gelecek yıllarda trafik ve otopark sorununu artırması	Batarya performansında kaynaklanan olası arızaların trafik akışını engellemesi ve EA'ların şehir içi kullanımının artışına bağlı otopark sorununu arttırması
9	C ₉	Batarya bitince aracın yolda kalması, gibi araç performansındaki bazı eksiklikler	Batarya kapasitesinin ve veriminin az olmasından kaynaklanan EA menzilin sınırlı olması

2.2. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Hayatın hemen hemen her alanında kullanılan ÇKKV yöntemleri karar vericilere çok sayıda faktörü göz önünde bulundurarak değerlendirme yapma imkânı vermektedir. Bir sıralama veya ağırlıklandırma yapılması gereken hemen hemen her alanda ÇKKV yöntemlerinden faydalanılmaktadır. Bu çalışmada uygulanması kolay, basit ve anlaşılır olması nedeniyle tercih edilen SWARA ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır.

2.2.1. SWARA (Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi) Yöntemi

Karar problemlerinde subjektif kriterlerin ağırlıklandırmasını yapabilmek için kısıtlı sayıda yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan biri de SWARA yöntemidir. Bu nedenle tercih edilen SWARA yöntemi, 2010 yılında Kersulene ve arkadaşları tarafından, uzmanların bilgi, tecrübe ve görüşüne dayalı değerlendirmelerde kullanılmak üzere geliştirilmiştir [32,33]. SWARA, çeşitli kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için kullanılan bir ÇKKV yaklaşımıdır. SWARA, karar vericilerin göstergeleri seçmesini, değerlendirmesini ve ağırlıklandırılmasını sağlar. Ağırlıklandırma süreci boyunca göstergeleri tartarken karar vericilerin doğruluğunu değerlendirme kapasitesi, SWARA'nın diğer tekniklere göre en önemli faydasıdır [34]. Yöntem takım çalışmasına imkân vermesi, uygulaması basit, kolay ve anlaşılır olması nedeniyle tercih edilmektedir [35]. Uzman görüşlerini önem vererek etkili bir şekilde kullanılmasını sağladığı için literatürde uzman odaklı bir yaklaşım olarak bilinmekte ve kullanılması tavsiye edilmektedir [17,36].

SWARA yöntemi, diğer yaygın kullanılan yöntem olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemine göre daha az karşılaştırma yapmaya imkân verdiği [37] için çok daha fazla kriterli problemlerde kolaylıkla kullanılabilir. AHP yönteminde Saaty [38] tarafından önerilen 1-9 ölçeği kullanılırken SWARA yönteminde karar vericiler fikirlerini ifade etmede daha fazla özgürlüğe sahiptir [39].

Bu durum karar vericilerin AHP ve BWM (İyi-Kötü Yöntemi) yöntemine göre daha rahat değerlendirme yapmalarına imkân vermektedir [34,40]. SWARA yöntemi üç adımdan oluşan bir uygulama sürecine sahiptir [41]. Bu yöntemin karar verme sürecinde sağladığı katkılardan biri de, bazı problemlerde işletme, kurum, kuruluş veya hükümetlerin politikalarına göre sıralama yapılabilmesine imkân vermesidir. Yani uzmanların bilgi ve tecrübe sahibi oldukları durumlar ile önceliklerin bilindiği problemlerde SWARA yönteminin kullanılması önerilmektedir [41,42].

Bu çalışmada EA çalışmalarında karşılaşılan sorunların ve devamında batarya seçim çalışmalarında batarya özelliklerinin önem derecelerinin belirlenmesi için kullanılacak olan SWARA yönteminin adımları aşağıda Şekil 3'te açıklanmıştır.



Şekil 3. SWARA yönteminin aşamaları

Adım 1: Kriterler ve Karar Vericilerin Belirlenmesi; İlk aşamada karar probleminde yer alan faktörler ve bu faktörleri değerlendirecek olan karar vericiler tespit edilir. Karar probleminde n adet kriter ($C_n, n=1,2, \dots, n$) ve karar takımında m adet karar verici ($K_m, m=1,2, \dots, m$) bulunur.

Adım 2: Kriterlerin Önem Sırasının Belirlenmesi; Bu yöntemde uzmanlar her bir kriterinin önemini kendine göre belirledikten sonra kriterleri en önemliden en önemsiz doğru sıralarlar [30]. Bir önceki aşamada sıralanmış olan kriterler, j . kriterin ($j+1$) kritere göre hangi miktarda önemli olduğu belirleyerek kriterlerin göreceli önem dereceleri tespit edilir. Bu değer " s_j " olarak ifade edilir.

Karar vericiler bu değerlendirmede en önemli faktöre 1,00 tam puan verirler. Diğer faktörlere ise 0 ile 1 arasında 5'in katları ile ifade edilen değerleri verirler. Sonra sırasıyla " k_j " ve " q_j " katsayıları belirlendikten sonra her bir kriter için her bir karar vericinin belirlediği önem dereceleri " w_j " hesaplanır.

Her bir uzman " k_j " katsayıları her bir kriter için ayrı ayrı (1) numaralı formül ile belirler.

$$k_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ s_j + 1 & j > 0 \end{cases} \quad (1)$$

Her bir uzmanın her bir kriter için formül (2) ile belirlediği ağırlıklar " q_j " ile gösterilir.

$$q_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ \frac{q_{j-1}}{s_j}, & j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

Her bir uzman her bir kriterinin göreceli ağırlığını " w_j " (3) numaralı formül ile hesaplar.

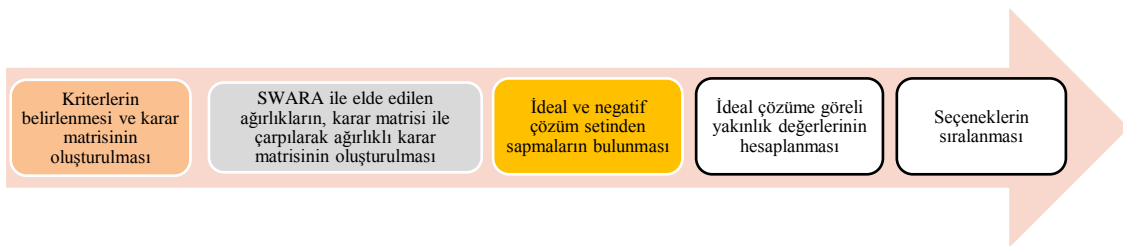
$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{j=1}^n q_j} \quad (3)$$

Adım 3: Her Bir Kriterin Nihai Göreceli Ağırlıklarının Belirlenmesi; Birden fazla uzman ile yapılan hesaplamalarda uzmanların yaptığı

değerlendirmeler sonucu elde edilen göreceli ağırlıklar " w_j " değerlerinin geometrik ortalaması alındıktan sonra nihai sonuç elde edilir [42].

2.2.2. TOPSIS (İdeal Çözüm Benzerliğe Göre Tercih Sıralama) Yöntemi

TOPSIS tekniği çok kriterli sorunların çözümünde, mevcut seçenekleri belirlenen faktörlere göre sıralamak için Hwang ve Yoon tarafından geliştirilmiştir. Bu teknikte faktörler ideal çözüme olan pozitif ve negatif uzaklıklarına göre değerlendirilerek alternatifler sıralanır ve en iyi çözüm ortaya konur [43]. Tesis yeri seçimi, yatırım değerlendirme, tedarikçi seçimi, araç tercihi, silah ve teçhizat seçimi, hedef belirleme gibi hayatın çok değişik alanlarında seçeneklerin belirlenen faktörlere göre değerlendirilmesinde karar vericilere yardımcı olan ÇKKV tekniklerinden biridir [44]. Bu tekniğin temelinde en iyi değerlere sahip ideal çözüme en çok yakın olan seçeneği belirlemek bulunmaktadır. Aynı zamanda istemediğimiz negatif çözüme veya sonuçlara en uzak olan seçenek de belirlenmektedir. TOPSIS hayatın hemen her alanında karşılaşılan gerçek dünya problemlerinde karar vericiye kolaylık sağladığı için akademik çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır [11,13]. TOPSIS aşağıda Şekil 4'de belirtilen sıraya göre uygulanır.



Şekil 4. TOPSIS yönteminin aşamaları

Adım 1. Kriterlerin tanımlanması ve karar matrisinin oluşturulması; Oluşturulan karar matrisinde, seçenekler satırlara bu seçeneklerin değerlendirileceği faktörler de sütunlara yazılarak D karar matrisi (4) oluşturulur.

$$D_j = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

(5) numaralı formül kullanılarak standart karar matrisi R oluşturulur.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (5)$$

Adım 2. Ağırlıklı karar matrisinin oluşturulması;

Daha önce SWARA yöntemi ile belirleyeceğimiz ağırlık değerleri (w_i) kullanılır. R matrisinin sütunlarında bulunan değerler, o sütundaki w_i değeri ile çarpılarak ağırlıklı karar matrisi V oluşturulur. V matrisindeki değerlerden (6) numaralı formül ile ideal çözüm seti elde edilir.

$$S^* = \left\{ (\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J') \right\} \quad (6)$$

Benzer şekilde V matrisindeki değerlerden (7) numaralı formül ile negatif ideal çözüm seti elde edilir.

$$S^- = \left\{ (\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J') \right\} \quad (7)$$

Adım 3. İdeal ve negatif çözüm setinden sapmaların bulunması; Yukarıda formüllerde belirtilen J fayda (maksimizasyon) değeri, J' ise kayıp (minimizasyon) değeridir. TOPSIS yönteminde Euclidian Uzaklık Yaklaşımı kullanılarak formül (8) ile ideal ve formül (9) ile negatif ideal çözüm setinden sapmalar yani ayırım ölçümleri bulunur.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (8)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (9)$$

Adım 4. İdeal çözüme görelî yakınlık değerlerinin hesaplanması; Karar alternatifleri ideal ve negatif ideal ayırım ölçüleri kullanılarak sıralanır. İdeal çözüme görelî yakınlık değerleri formül (10) ile hesaplanır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (10)$$

Adım 5. İdeal çözüme yakınlık değerleri ile

seçeneklerin sıralanması; Burada C_i^* 0 ile 1 arasında bir değer alır. $C_i^* = 1$ olması karar noktasının ideal çözüme, $C_i^* = 0$ olması ise karar noktasının negatif ideal çözüme yakınlığını gösterir [43]. Seçenekler aldıkları değerlere göre sıralanarak en uygun tercih yapılır.

3. EA ÇALIŞMALARINDA ÇKKV YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

Bu çalışmada EA çalışmada karşılaşılan sorunların SWARA yöntemi ile önem dereceleri bulunarak en önemli sorun ortaya konacaktır. Daha sonra en önemli sorunun çözümüne yönelik araştırmaların incelenmesi sonucu elde edilen veriler tekrar ÇKKV yöntemlerinden SWARA ve TOPSIS ile tümleşik olarak değerlendirilecek ve bir yol haritası çıkarılacaktır.

3.1. Elektrikli Araç Çalışmalarında Karşılaşılan Sorunların SWARA Yöntemi ile Önem Derecelerinin Bulunması

EA'ların avantaj ve dezavantajları göz önüne alınarak belirtilen sorunlar Çizelge 1'de ortaya konmuştur. Bu sorunlar konusunda uzman üç karar verici [6,11-13,39] tarafından SWARA yöntemi ile değerlendirilmiş olup, karar vericilerin yaptığı sıralama aşağıda Çizelge 3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. Uzmanların EA çalışmalarında karşılaşılan sorunları değerlendirmesi

K.V.	Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9
KV ₁	Kriter	C ₉	C ₆	C ₃	C ₁	C ₅	C ₄	C ₇	C ₂	C ₈
	s_j	-	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6
KV ₂	Kriter	C ₃	C ₆	C ₁	C ₇	C ₅	C ₄	C ₂	C ₉	C ₈
	s_j	-	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6
KV ₃	Kriter	C ₉	C ₃	C ₁	C ₂	C ₇	C ₄	C ₆	C ₅	C ₈
	s_j	-	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6

Her bir uzman sorunların göreceli önem derecelerini belirledikten sonra formül (1)-(3)'ten yararlanılarak diğer hesaplamalar yapılmıştır. 1'nci

uzmanın (KV1) yaptığı örnek hesaplama sonuçları Çizelge 4'de gösterilmiştir. Çizelgelerde virgülden sonra sadece ilk iki rakam gösterilmiştir.

Çizelge 4. SWARA ile KV₁'in değerlendirilmesi

K.V.	Önem sırası	1	2	3	4	5	6	7	8	9
KV ₁	Sorun	C ₉	C ₆	C ₃	C ₁	C ₅	C ₄	C ₇	C ₂	C ₈
	s _i	-	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6
	k _i	1	1,95	1,9	1,85	1,8	1,7	1,65	1,6	1,5
	q _i	1,00	0,51	0,27	0,15	0,08	0,05	0,03	0,02	0,01
	w _i	0,47	0,24	0,13	0,07	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01

KV₁ için Çizelge 4'te yapılan örnek hesaplamalar her bir uzman görüşü için ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Elde edilen "w_j" değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak nihai ağırlıklar elde edilmiştir. Daha sonra kriterler bu ağırlıklarına göre önem derecesi en büyükten en küçüğe doğru sıralanmıştır. Bu ağırlıklar sıralamadan önceki hali ile her bir kriter ve her bir uzman karar verici (KV_j) için Çizelge 5'de gösterilmiştir.

Çizelge 5. Uzmanlara göre EA sorunlarının önem dereceleri

Sorun	KV ₁	KV ₂	KV ₃
C ₁	0,068937	0,127913	0,127913
C ₂	0,008534	0,012912	0,069142
C ₃	0,127534	0,473919	0,243035
C ₄	0,022528	0,021950	0,021950
C ₅	0,038298	0,038412	0,007825
C ₆	0,242314	0,243035	0,012912
C ₇	0,013654	0,069142	0,038412
C ₈	0,005689	0,004891	0,004891
C ₉	0,472512	0,007825	0,473919

Müteakiben elde edilen, sorunların nihai önem derecelerinin sıralaması Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 6. EA sorunlarının birleştirilmiş önem derecelerine göre nihai sıralaması

Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sorun	C ₉	C ₃	C ₆	C ₁	C ₇	C ₂	C ₅	C ₄	C ₈
Önem dereceleri (w _j)	0,318085	0,281496	0,166087	0,108255	0,040403	0,030196	0,028179	0,022143	0,005157

Kriterlerin SWARA yöntemi ile elde edilen önem dereceleri Çizelge 6'da gösterilmiştir. SWARA ile yapılan değerlendirme sonucunda;

- EA üretim maliyetinin yüksekliği: %11 önem derecesinde,
- Servis istasyonlarında yeterli seviyede eğitilmiş teknik personel bulunmaması: %3 önem derecesinde,
- EA menziline kısa olması: %28 önem derecesinde,
- Trafik kazalarında deformasyondan etkilenen batarya kaynaklı tehlikeler: %2 önem derecesinde,
- Yolcu, yük vb. faydalı yük taşıma kapasitesinin azlığı: %2,5 önem derecesinde,
- EA bataryalarının şarj süresinin uzunluğu: %17 önem derecesinde,
- Batarya şarjı için elektrik şebekesinin altyapı yetersizliği: %4 önem derecesinde,
- Zararlı etkilerinin az olması nedeniyle daha yaygın kullanılabilir olmasının gelecek yıllarda trafik ve otopark sorununu artırması: %0,5 önem derecesinde,
- Batarya bitince aracın yolda kalması, gibi araç performansındaki bazı eksiklikler: %32 önem derecesinde sonucu belirlediği tespit edilmiştir.

Bu sonuçlara göre; toplamda %77 önem derecesi ile C₉, C₃, C₆ olarak belirtilen üç sorunun da bataryalardan kaynaklandığı görülmektedir. Bu

yüzden öncelikle batarya kaynaklı sorunlar üzerine durulması önerilmektedir.

3.2. Elektrikli Araç Bataryaları

Literatürde EA bataryaları ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Ayrıca EA üreticileri de batarya sorunu üzerine durarak değişik batarya çeşitlerini geliştirmektedirler. Bu batarya çeşitlerinden biri de Li-ion bataryalardır. Li-ion bataryaların kullanılmama sebepleri enerji verimliliği, daha uzun kullanım ömrü ve diğer bataryalara göre daha hızlı şarj olabilmeleri olarak sıralanabilir.

Elektrikli araç üreticileri bataryayı seçerken bazı performans kriterlerini (Özgül enerji yoğunluğu, Özgül güç, güvenilirlik, Güvenlik ve maliyet olarak) göz önünde bulundurmaktadırlar [46]. Literatürde Li-ion batarya çalışmalarını; Lityum Kobalt Oksit, Lityum Manganez Oksit, Lityum Demir Fosfat, Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit, Lityum Titanat olmak üzere 5 çeşit üzerinde yoğunlaştığı görülmüştür [47]. Bu bataryalar sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

Lityum Kobalt Oksit (LiCoO₂) Bataryalar; İlk olarak 1991 yılında Sony tarafından geliştirilen lityum kobalt oksit pil, yüksek enerji yoğunluğu, uzun ömür döngüsü ve kolaylığı nedeniyle çoğu kişisel elektronik cihaz için tercih edilen pil olmuştur. Katot elektrotu LiCoO₂ iken anot elektrotu grafitdir. Bu pilde kullanılan katot malzemesi sıcaklığa karşı reaktiftir ve bu nedenle çalışma sırasında güvenli olmayan koşullara yol açabilecek şekilde termal olarak kararsız hale gelirler. Kobaltın sınırlı mevcudiyeti, EA'larda kullanım için uygun bir seçenek olmayı daha pahalı ve zor hale getirir. LCO'nin özgül enerji yoğunluğu, diğer pillere kıyasla mükemmeldir. Bu özellik, orta yük altında uzun süre en iyi şekilde çalışmasını sağlar [46,47].

Lityum Manganez Oksit (LiMn₂O₄) Bataryalar; Lityum manganez oksit piller (LMO) ilk olarak 1980'lerin başında piyasaya sürülmüştür. Ancak ticarileştirilmesi yaklaşık 15 yıl sürmüştür. Lityum kobalt oksit pilden daha iyi termal kararlılık sağlar, ancak yaklaşık %33 daha düşük kapasite ve daha düşük bir kullanım ömrü vardır. Lityum-

Manganez Oksit ve grafit sırasıyla katot ve anot için malzeme olarak kullanılır. Ayrıca kullanım için güvenlidir ve en ucuzudur. Ancak, Li-manganez, LCO'ya kıyasla orta düzeyde özgül enerji yoğunluğuna ve daha kısa ömre sahiptir [46,47].

Lityum Demir Fosfat (LFP) Bataryalar; yüksek akım derecesi ve uzun çevrim ömrünün yanı sıra düşük dirençli iyi elektrokimyasal performans sunar. Fosfat, yüksek aşırı şarj sıcaklığında fiziksel ve kimyasal özellikleri koruyarak kararlılığı artırır. Katot malzemesi olarak Lityum Demir Fosfat ve anot elektrotu olarak grafit kullanılır. İyi güç-ağırlık oranı, yüksek güvenlik özellikleri LFP pilleri daha popüler hale getirmiştir. Bu pillerin sınırlamaları, orta düzeyde özgül enerji yoğunluğu ve yüksek kendi kendine deşarj olmalarıdır [46,47].

Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit (LNMC0) Bataryalar; Nikel, yüksek özgül enerjisi, ancak zayıf stabilitesi ile bilinir. Manganez, düşük iç direnç elde etmek için bir spinel yapı oluşturma avantajına sahiptir. Nikel ve manganezin birleştirilmesi birbirinin gücünü artırarak NMC'yi en başarılı Li-ion sistemi ve EA güç aktarma organları için uygun hale getirir. Bu piller, yüksek özgül enerji ve mükemmel termal özelliklerinden dolayı şu anda yüksek talep görmektedir [46,47].

Lityum Titanat Bataryalar; Lityum-Titanat Pil (LTO) adı, anot için kullanılan malzemenin adından türetilmiştir, diğer piller ise katot malzemesinin adını almıştır. Li-titanat nanokristaller, 20 kat daha az anot yüzey alanı veren grafitte kıyasla anotta daha fazla yüzey alanı sağlar. Bu, elektronların hızlı bir şekilde içeri ve dışarı akmasına izin verir ve böylece hızlı yeniden şarj olmasını sağlar. Bu pil malzemesinin düşük elektronik iletkenliği, yüksek güç seviyelerinde düşük performansla neden olabilir [47].

Araştırmacıların daha çok EA'larda kullanım bataryaların bazı teknik özellikleri üzerine durdukları görülmektedir. Bu çalışmada ise EA bataryalarında tespit edilen dezavantajlarının neden olduğu sorunlar birbirleri ile karşılaştırılıp önem değerleri tespit edilerek, önceliklerine göre alınacak tedbirlerin belirlenmesi gerektiği üzerine

durulmuştur. Bu hesaplamalarda araştırmacılara bilimsel destek sağlanması amacıyla ÇKKV yöntemlerinden SWARA ve TOPSIS yöntemi tümleşik olarak kullanılmıştır.

3.3. SWARA-TOPSIS Yöntemlerinin Tümleşik Kullanımı ile En Uygun EA Batarya Çeşidinin Belirlenmesi

Yukarıda belirtilen batarya çeşitlerinin değişik özellikleri bulunmaktadır. Belirli konularda avantajları dezavantajları da bulunmaktadır. Bu nedenle araştırmacıların batarya çalışmalarında göz önünde bulundurduğu beş temel özelliğe göre değerlendirme yapılacaktır. Bu özellikler aşağıda Çizelge 7’de gösterilmiştir.

Çizelge 7. Batarya özellikleri

S. Nu.	Sembol	Özellik
1	\hat{O}_1	Özgül güç
2	\hat{O}_2	Özgül enerji yoğunluğu
3	\hat{O}_3	Güvenilirlik
4	\hat{O}_4	Güvenlik
5	\hat{O}_5	Fiyat

Bu özelliklerin SWARA yöntemi ile değerlendirmesi Çizelge 8’de gösterilmiştir.

Çizelge 8. Uzmanların batarya özelliklerini değerlendirmesi

Uzman	Sıra	1	2	3	4	5
KV ₁	Kriter	\hat{O}_1	\hat{O}_2	\hat{O}_3	\hat{O}_5	\hat{O}_4
	s_j	-	0,95	0,9	0,85	0,8
KV ₂	Kriter	\hat{O}_2	\hat{O}_1	\hat{O}_4	\hat{O}_5	\hat{O}_6
	s_j	-	0,95	0,9	0,85	0,8
KV ₃	Kriter	\hat{O}_5	\hat{O}_2	\hat{O}_4	\hat{O}_5	\hat{O}_6
	s_j	-	0,95	0,9	0,85	0,8

Her bir uzman sorunların göreceli önem derecelerini belirledikten sonra formül (1)-(3)’ten yararlanılarak diğer hesaplamalar yapılmıştır. 1’nci uzmanın (KV₁) yaptığı örnek hesaplama sonuçları Çizelge 9’da gösterilmiştir. Çizelgelerde virgülden sonra sadece ilk iki rakam gösterilmiştir.

Çizelge 9. SWARA ile KV₁’nin değerlendirilmesi

Uzman	Sıra	1	2	3	4	5
KV ₁	Kriter	\hat{O}_9	\hat{O}_6	\hat{O}_3	\hat{O}_1	\hat{O}_5
	s_j	-	0,95	0,90	0,85	0,80
	k_j	1,00	1,95	1,90	1,85	1,80
	q_j	1,00	0,51	0,27	0,15	0,08
	w_j	0,50	0,26	0,13	0,07	0,04

KV₁ için Çizelge 9’da yapılan örnek hesaplamalar her bir uzman görüşü için ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Elde edilen “w_j” değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak nihai ağırlıklar elde edilmiştir. Daha sonra kriterler bu ağırlıklarına göre önem derecesi en büyükten en küçüğe doğru sıralanmıştır. Bu ağırlıklar sıralamadan önceki hali ile her bir kriter ve her bir uzman karar verici (KV_j) için Çizelge 10’da gösterilmiştir.

Çizelge 10. Karar vericilere göre batarya özelliklerinin önem dereceleri

Kriter	KV ₁	KV ₂	KV ₃
\hat{O}_1	0,497593	0,255176	0,072596
\hat{O}_2	0,255176	0,497593	0,255176
\hat{O}_3	0,134303	0,040331	0,497593
\hat{O}_4	0,040331	0,134303	0,134303
\hat{O}_5	0,072596	0,072596	0,040331

Müteakiben yapılan kriterlerin nihai önem derecelerinin sıralaması Çizelge 11’de gösterilmiştir.

Çizelge 11. Batarya özelliklerinin birleştirilmiş önem derecelerine göre nihai sıralaması

Sıralama	1	2	3	4	5
Kriterler	\hat{O}_1	\hat{O}_2	\hat{O}_3	\hat{O}_4	\hat{O}_5
Önem dereceleri (w _j)	0,336	0,2751	0,2241	0,103	0,0618

Çizelge 11’e göre bataryaların özgül güç ve özgül enerji yoğunlukları en önemli özellik olarak ortaya çıkmıştır. Hesaplamalar Microsoft Excel yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Bu ağırlıklar kullanılarak yukarıda belirtilen 5 batarya çeşidi TOPSIS metodu ile sıralanacak ve istenilen özellikleri en çok karşılayan batarya seçilmiş olacaktır. İlk aşamada 1-5 ölçeği kullanılarak oluşturulan D karar matrisi aşağıda Çizelge 12’de gösterilmiştir.

Çizelge 12. D karar matrisi

Batarya çeşidi	\hat{O}_1	\hat{O}_2	\hat{O}_3	\hat{O}_4	\hat{O}_5
LCO	5	3	3	3	2
LNMCO	5	4	4	4	2
LMO	4	4	4	3	4
LFP	3	5	5	5	4
LTO	3	4	5	5	5

Daha sonra formül (4) kullanılarak karar matrisi normalize edilmiştir. Normalize edilmiş matrisinin

sütun değerleri SAWARA ile elde edilmiş wi değerleri ile çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize matris elde edilmiştir. (5) ve (6) numaralı formüller kullanılarak pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerleri bulunmuştur. (7) ve (8) numaralı formüller kullanılarak pozitif ideal ve negatif ideal çözüm noktalarına uzaklık değerleri elde edilmiştir. (9) numaralı formül ile elde edilmiş olan pozitif “ S_i^+ ” ve negatif ideal “ S_i^- ” değerler kullanılarak ulaşılan nihai sonuç “ C_i^* ” Çizelge 13’de gösterilmiştir.

Çizelge 13. Nihai sonuç çizelgesi

Batarya çeşidi	S_i^+	S_i^-	C_i^*
LCO	0,0833	0,0733	0,4682
LNMC0	0,0462	0,0835	0,6441
LMO	0,0582	0,0553	0,4872
LFP	0,0737	0,0815	0,5250
LTO	0,2093	0,2128	0,5041

Sıralamada en yüksek değere LNMC0 cinsi batarya ulaşırken, en düşük değeri LCO cinsi batarya almıştır. Hesaplamalar Microsoft Excel yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

4. SONUÇLAR

EA çalışmalarında karşılaşılan sorunlar arasında ilk üç önem sırasında batarya kaynaklı sorunlar olması batarya geliştirme çalışmalarını ön plana çıkarmaktadır. Tüm dünyada daha verimli EM ve EA bataryalarının geliştirilebilmesi için yapılan yoğun çalışmalardaki en belirgin amacın bataryaların enerji yoğunluğunu artırarak araç menziline de artırmak olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada da batarya özelliklerinden özgül güç ve özgül enerji yoğunlukları en önemli iki özellik olarak tespit edilmiştir. Literatürde araştırmacıların yoğunlaştığı Li-ion bataryalar hakkında pek çok çalışma olmasına rağmen ÇKKV metodlarından SWARA ve TOPSIS metodunun tümleşik kullanıldığı başka bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma ile literatüre katkıda bulunulması planlanmıştır.

Elde edilmiş olan sonuçlara göre;

- Önem dereceleri değerlendirildiğinde; %32 önem derecesi ile “Batarya bitince aracın yolda kalması”, %28 önem derecesi ile “EA menziline kısa olması” ve %17 önem derecesi ile “EA bataryalarının şarj süresi uzunluğu/zaman kaybı” olarak sıralanmıştır. Bu üç sorunun toplam ağırlıkların yaklaşık %77’sini oluşturduğu görülmektedir.
- Bu yüzden EA bataryalarının özellikleri araştırılarak, bu özellikler TOPSIS metodu ile sıralanmıştır.
- LNMC0 olarak belirtilmiş olan Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit bataryalar en yüksek sıralamaya sahip olmuş ve değerlendirilen kriterler içinde makul fiyatlı, güvenilir, emniyetli, özgül enerji yoğunluğu yüksek batarya olarak gözlemlenmiştir.

Gelecekte EA araç bataryaları ile ilgili çalışmalarda meydana gelen gelişmeler göz önünde bulundurularak, batarya özellikleri veya kriterlerinin sayısı artırılarak, bu çalışma tekrarlanabilir. Ayrıca, ÇKKV yöntemleri kullanılarak EA’ların diğer alt sistemleri ile ilgili benzer çalışmalar yapılabilir veya aynı çalışma farklı ÇKKV yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçların karşılaştırılabileceği değerlendirilmiştir.

5. KISALTMALAR

Ar-Ge	: Araştırma Geliştirme
İYM	: İçten Yanmalı Motorlar
EA	: Elektrikli Araç
Li-ion	: Lityum-iyon
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
SWARA	: Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi
TOPSIS	: İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama
EM	: Elektrik Motoru
LNMC0	: Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit
LiCoO ₂	: Lityum Kobalt Oksit
LiMn ₂ O ₄	: Lityum Manganez Oksit
LFP	: Lityum Demir Fosfat
LNMC0	: Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit
LTO	: Lityum Titanat

6. KAYNAKLAR

1. Xu, F., Yu, G.Q., 2009. Tentative Analysis of Layout of Electric Vehicle Charging Stations, East of China Electric Power, 10, 1678-1682.
2. Yıldız, B., Çiftçi, H., Ayan, O., Türkay, B.E., 2018. Elektrikli Araçların Dağıtım Şebekesine Etkisinin Maliyet Analizi ve Genetik Algoritma ile Optimizasyonu. Güç Sistemleri Konferansı, 16-18 Kasım, Ankara.
3. Nişancı, D.Ş., Kurtuluş, E., 2022. Elektrikli Araçların Batarya Kutularında Tasarımın Yapıştırma Uygulamasına Etkisi. 2nd International Congress of Engineering and Natural Sciences Studies (ICENSS-2022), Mayıs 07-09, Ankara.
4. Hisarcıkhoğlu, R., 2022. TOBB Başkanı Hisarcıkhoğlu yanıtladı: Togg Ne Zaman Trafığe Çıkacak, <https://www.ntv.com.tr/otomobil>, ERT: 25 Ağustos 2022.
5. Kerem, A., 2014. Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5(1), 1-13.
6. Kilic, M., 2002. Esas Tahrik Unsuru Yakıt Pili Olan Elektrikli Araç Uygulaması ve Konfigürasyonu (Kılıç-1 Projesi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Müh. ABD Y. Lisans Tezi, İstanbul, 110.
7. Adedeji, B.P., 2022. A Novel Method for Estimating Parameters of Battery Electric Vehicles. Intelligent Systems with Applications, 15:200089.
8. Hamurcu, M., Çakır, E., Eren, T., 2021. Kullanıcı Perspektifli Çok Kriterli Karar Verme ile Elektrikli Araçlarda Batarya Seçimi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 13(2), 733-749.
9. Boyalı, A., 2010. Hibrid Elektrikli Araçların Modellenmesi ve Kural Tabanlı Kontrolü. İTÜ dergisi/d Mühendislik, 9(2), 83-94.
10. Gök Kısa, A.C., Ayçin, E., 2019. Evaluation of the Logistics Performance of OECD Countries with EDAS Method Based on SWARA. Çankırı Karatekin Üniversitesi, İİBF Dergisi, 9(1), 301-325.
11. Abdulvahitoğlu, A., Macit, İ., Koyuncu, M., 2021. Jandarma Karakolu Kuruluş Yerinin AHP-TOPSIS Tabanlı Bir Matematiksel Model ile Seçimi ve CAS/CBS ile Analizi; Bir İlimizde Uygulama. Güvenlik Bilimleri Dergisi, 10(2), 305-338.
12. Abdulvahitoglu, A., 2019. Using Analytic Hierarchy Process for Evaluating Different Types of Nanofluids for Engine Cooling Systems. Thermal Science 23 (5 Part B), 3199-3208
13. Abdulvahitoglu, A., Kılıç, M., 2022. A New Approach for Selecting the Most Suitable Oilseed for Biodiesel Production; The Integrated AHP-TOPSIS Method Ain Shams Engineering Journal, 13, 101604.
14. Juodagalvienė, B., Turskis, Z., Šaparauskas, J., Endriukaiytė, A., 2017. Integrated Multi-Criteria Evaluation of House's Plan Shape Based on the EDAS and SWARA Methods. Engineering Structures and Technologies, 9(3), 117-125.
15. Keršulienė, V., Turskis, Z., 2011. Integrated Fuzzy Multiple Criteria Decision-Making Model for Architect Selection. Technological and Economic Development of Economy, 17(4), 645-666.
16. Karabašević, D., Stanujkić, D., Urošević, S., Maksimović, M., 2016. An Approach to Personnel Selection Based on SWARA and WASPAS Methods. Journal of Economics, Management and Informatics, 7(1), 1-11.
17. Zavadskas, E.D., Cereska, A., Matijosius, J., Rimkus, A., Bausys, R., 2019. Internal Combustion Engine Analysis of Energy Ecological Parameters by Neutrosophic MULTIMOORA and SWARA Methods. Energies, 12, 1-26. doi:10.3390/en12081415.
18. Yücenur, G.N., İpekçi, A., 2021. SWARA/WASPAS Methods for a Marine Current Energy Plant Location Selection Problem. Renewable Energy, 163, 1287-1298.
19. Sayın, A.A., Yüksel, İ., 2011. Elektrikli Renault Fluence Aracı, Lityum-İyon Bataryasının Modellenmesi ve Batarya Yönetimi. Mühendis ve Makine, 52(616), 75-82.
20. Chan, C.C., 2013. The Rise and Fall of Electric Vehicles in 1828–1930: Lessons Learned. Proceedings of the IEEE, 101(1), 206 – 212.
21. Ünlü, N., Karahan, Ş., Tür, O., Uçarol, H., Özsu, E., Yazar, A., Turhan, L., Akgün, F.,

- Tırıs, M., 2003. Elektrikli Araçlar. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, Gebze.
22. Larminie, J., Lowry, J., 2003. Electric Vehicle Technology Explained, John Wiley and Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.
23. Leitman, S., Brant, B., 2008. Build Your Own Electric Vehicle, The McGraw-Hill Companies Second Edition, USA.
24. Singh, M., 2013. Green Energy for Metropolitan Transport. International Journal on Power Engineering and Energy (IJPEE), 4(1), 338-342.
25. Cuma, M.U., Cengiz, A.H., Tümay, M., 2016. Simulation of Urban Electric Vehicle Transport and Charging Station Implementation at Çukurova University. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(2), 343-354.
26. Öztürk, T., 2013. Asenkron Motor ile Sürülen Elektrikli Aracın Modellenmesi. Karabük Üniversitesi, Fen Bil. Ens. Yüksek Lisans Tezi, 97.
27. UKIP, 2014. Electric and Hybrid Vehicle Technology International, January 2014, Surrey, UK, 40.
28. Web: <https://ev-database.org/car> Erişim Tarihi: 22 Kasım 2022.
29. EEA Report, 2018. Electric Vehicles from Life Cycle and Circular Economy Perspectives, TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism Report, European Environment Agency, Rapor No: 13.
30. Ertaç, Y., 2008. Elektrikli Araçların Tasarımı ve Simülasyonu. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 150.
31. Akyüz, E., 2021. Kentsel Ulaşım: Elektrikli Araçların Artıları ve Eksileri Hagia Sophia 3. International Conference on Multidisciplinary Scientific Studies, Full Texts Book, 15-16 Eylül, İstanbul, 685-696.
32. Keršulienė, V., Zavadskas, E.K., Turskis, Z., 2010. Selection of Rational Dispute Resolution Method by Applying New Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA). Journal of Business Economics and Management, 11(2), 243-258.
33. Maghsoodi, A.I., Maghsoodi, A.I., Mosavi, A., Rabczuk, T., Zavadskas, E.K., 2018. Renewable Energy Technology Selection Problem Using Integrated H-SWARA-MULTIMOORA Approach. Sustainability, 10, 4481. doi:10.3390/su10124481.
34. Xuan, H.A., Trinh, V.V., Techato, K., Phoungthong, K., 2022. Use of Hybrid MCDM Methods for Site Location of Solar-Powered Hydrogen Production Plants in Uzbekistan. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 52, 101979. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.101979>.
35. Özbek, A., Demirkol, İ., 2018. Lojistik Sektöründe Faaliyet Gösteren İşletmelerin SWARA ve GIA Yöntemleri ile Analizi. Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 8(1), 71-86.
36. Adalı, E.A., Işık, A.T., 2017. The Decision Making Approach Based on SWARA and WASPAS Methods for the Supplier Selection Problem. International Review of Economics and Management, 5(4), 56-77.
37. Mostafaeipour, A., Jahangiri, M., Haghani, A., Dehshiri, S.J.H., Dehshiri, S.S.H., Issakhov, A., Sedaghat, A., Saghaei, H., E.T., Akinlabi, Sichilalu, S.M., Chowdhury, S., Techato, K., 2020. Statistical Evaluation of Using The New Generation of Wind Turbines in South Africa. Energy Reports 6:2816–27.
38. Saaty, T.L., 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York, US, 19-22.
39. Abdulvahitoğlu, A., Abdulvahitoğlu, A., 2022. İHA Kullanım Sorunlarının SWARA Yöntemi ile Önceliklendirilmesi. 2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences/(10.05.2022-13.05.2022)
40. Stanujkic, D., Karabasevic, D., Zavadskas, E.K., 2015. A Framework for the Selection of a Packaging Design Based on the SWARA Method. Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics, 26(2), 181-187.
41. Salamai, A.A., 2021. An Integrated Neutrosophic SWARA and VIKOR Method for Ranking Risks of Green Supply Chain. Neutrosophic Sets and Systems, 41, 113-126
42. Zolfani, S.H., Saparauskas, J., 2013. New Application of SWARA Method in Prioritizing Sustainability Assessment Indicators of Energy

- System. Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics, 24(5), 408-414.
43. Hwang, C.L., Yoon, K., 1981. Multiple Attribute Decision Making, Springer-Verlag, Berlin, 58-191.
44. Chen, S., Hwang, C., 1992. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making-Methods and Applications. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems.
45. Özcan, E.C., Ünlüsoy, S., Eren, T., 2017. AHP ve TOPSIS Yöntemleriyle Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi. Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 5(2), 204-219.
46. Miao, Y., Hynan, P.K., von Jouanne, A., Yokochi, A., 2019. Current Li-Ion Battery Technologies in Electric Vehicles and Opportunities for Advancements. Energies, 12, 1074; doi:10.3390/en12061074
47. Loganathan, M.K, Mishra, B., Tan, C.M., Kongsvik, T., Rai, R.N., 2021. Multicriteria Decision Making (MCDM for Selection of Li-ion Batteries Used in Electric Vehicles (EVs) Materials Today Proceedings 41, 1073-1077.

Investigation of Color, and Fastness Properties of Wool Yarn Dyed with Ternary Plant Combination: A New Dyeing Method for the Production of Eco-Friendly Textiles

Menderes KOYUNCU*¹ ORCID 0000-0002-4900-9327

¹Department of Textile, Van Vocational School, Van Yuzuncu Yil University, Van

Geliş tarihi: 16.03.2022

Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: KOYUNCU, M., (2022). Investigation of Color, and Fastness Properties of Wool Yarn Dyed with Ternary Plant Combination: A New Dyeing Method for the Production of Eco-Friendly Textiles. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 1077-1086.

Abstract

Lately, the utilization of natural colorants in textile dyeing and printing has come to the forefront of the manufacturing of textile goods due to increased environmental troubles. In this study, wool yarns were dyed with ternary dye combinations (Scutellaria Orientalis L, Rubia Tinctorium L, and Punica Granatum L). The color coordinates and washing and light fastness were investigated. Washing fastness and light fastness are fair to good. Dyed wool yarns were worked calorimetrically and their color coordinates CIELAB (L*, a*, and b*) and color strength (K/S), and ΔE^* values were given. Fourier transform Infrared Spectrophotometer (FTIR), and Scanning Electron Microscopy (SEM) morphological studies have also been carried out on dyed and undyed yarns. From the results, it could be said that the natural dye extracted from ternary dye combinations plants has good potential in wool yarns dyeing and can be exploited further.

Keywords: Natural dyeing, Wool yarn, Coloring compound, Fastness, FTIR, SEM

Çevre Dostu Tekstil Üretimi için Yeni bir Boyama Yöntemi olarak Üçlü Boya Kombinasyonu ile Boyanmış Yün İpliklerinin Renk ve Halk Özelliklerinin Araştırılması

Öz

Son zamanlarda artan çevre sorunları nedeniyle tekstil boyama ve baskıda doğal renklendiricilerin kullanımı tekstil ürünleri imalatında ön plana çıkmıştır. Bu çalışmada, yün iplikleri üçlü boya (Scutellaria Orientalis L, Rubia Tinctorium L, and Punica Granatum L) kombinasyonları ile boyama işlemi yapılmıştır. Boyanmış ipliklerin, yıkama ve ışık haslıkları yapılarak orta - iyi ve iyi değerlerde olduğu görülmüştür. CIELAB (L*, a*, and b*) renk koordinatları, and K/S, ve ΔE^* değerleri incelenmiştir. Ayrıca FTIR ve SEM analizleri yapılarak boyamadan sonra değişimler incelenmiştir. Sonuçlardan, üçlü

*Corresponding author (Sorumlu yazar): Menderes KOYUNCU, menderes@yyu.edu.tr

boya kombinasyonlu bitkilerden ekstrakte edilen doğal boyanın, yün iplikleri için iyi bir potansiyele sahip olduğu ve daha fazla yararlanılabileceği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Doğal boyama, Yün ipliği, Renk bileşimi, Haslık, FTIR, SEM

1. INTRODUCTION

Rubia tinctorium L. is manufactured from rhizomes of *Rubia tinctorium*. It is known as Turkish red. It has been used for hundreds of years to color carpet and kilims yarns. Rhizomes from three- or four-year-old plants are collected for dyeing. It gives different colors with different mordants. Such as, when CaCO_3 is used, the color becomes brick red. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, the color dark orange; CuSO_4 , the color light brown, etc. [1].

It is also known by different local names such as *Punica granatum* anar, and pomegranate. It belongs to the family of *Punicaceae*. *Punica granatum* is commonly found in the Mediterranean basin and Southern Asia in warm, temperate climates. The parts that give dyestuff are the bark and flowers [2]. *Scutellaria orientalis* L is a type of flowering plants belonging to the *Lamiaceae* family. They are known commonly as skullcaps and include about 350–400 species The main flavonoids of this kind are baicalein, wogonin, chrysin [3].

Wool has historically played an important role in various human cultures due to its unique properties. The behavior of wool differs from one fiber to another because each wool fiber has its own structure; diameter crystalline microfibrils (degree of crystallinity) and amino acids that directly affect their behavior [4]. Protein-based materials such as wool and cashmere are highly valuable renewable natural resources. The total world consumption of products made from such materials has increased steadily over the past fifty years [5]. Natural dyes are known for their use in the coloring of food dyes, leather, and textiles as well as natural protein fibers like wool, silk, mohair, etc. as major areas of application since prehistoric times. The use of natural dyes with poor to moderate wash and light fastness properties has declined drastically since the industrial revolution in the 19th century introduced

widely available and less expensive synthetic dyes with moderate to excellent color fastness properties [6]. However, there has recently been a renewed interest in the application of natural dyes on natural fibers due to worldwide environmental factors. Today, natural dyes have little or no economic importance and are used in limited quantities by craftsmen. However, due to the increasing interest of consumers in environmentally friendly clothing, the use of natural dyes has been reconsidered [7]. Natural dyeing of different and textile materials have been continued mainly in the decentralized sector for specialty products long with the use of synthetic dyes in the large scale sector for general textiles-garments owing to the specific advantages and limitations of natural dyes and synthetic dyes. Although synthetic dyes have performed better recently, the use of natural dyes on textile materials is attracting more scientists to research this issue due to the non-allergic, non-toxic and environmentally friendly properties of natural dyes. In dyeing studies of textile products with natural dyestuffs (Seeds, leaves, flowers, and bark etc.) and using different analytical devices, and different mordants, and, ternary combinations, etc. with high fastness values are carried out [8]. Gharari et al. Studied the simultaneous determination of baicalein, chrysin, and wogonin in four Iranian *Scutellaria* species by high-performance liquid chromatography [9-10]. Different mordants and other complexing agents, mordanting kinds, and dyeing methods have been extensively studied in the literature. [11-13]. However, not much has been reported in the literature about the dyeing of wool yarns with three different plant solution. Therefore, to gain this dyeing method understanding, in the present work, the dyes have been extracted from *Rubia Tinctorium* L. and *Scutellaria Orientalis* L and *Punica Granatum* L. and the application of the extracted dye on wool yarns without mordants. The effect of three different plant solutions mixed

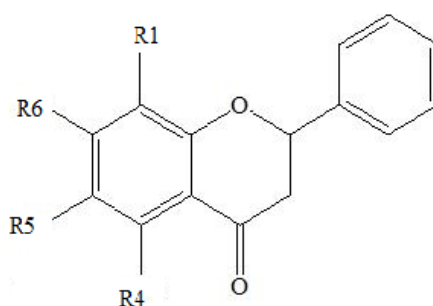
on dyeing quality was also examined, and the color properties of dyed wool yarns have been assessed.

2. METHOD

2.1. Wool Yarns and the Natural Dyes

In the study, 100% wool with a weight of 1.0 g, and 2.5 Nm strayhgarn yarns were used for experiments. Yarns were also obtained from wool

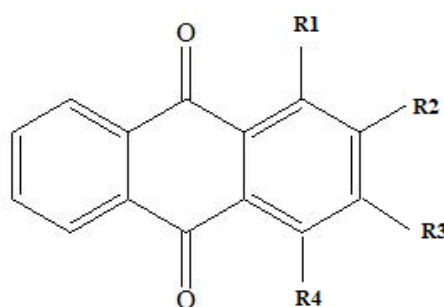
yarn factories in Turkey. Natural plants were collected in the season in Van-Turkey. Plants collected were dried under shady and airy conditions and the flower of *Scutellaria orientalist L.*, roots of *Rubia Tinctorium L.*, and bark of *Punica Granatum L.* was ground to powder form using an electrically operated grinder. The molecular structures and molecular weight of the three dyes are shown in Figures 1, 2, and 3.



Color compounds in *Scutellaria orientalist L.*

Compounds	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	The molecular formula, and Mol.Wt.
Baicalein	-	-	-	OH	OH	OH	C ₁₅ H ₁₂ O ₅ , 272,25
Wogonin	CH ₃	-	-	OH	-	OH	C ₁₆ H ₁₄ O ₄ , 270,28
Chrysin	-	-	-	OH	-	OH	C ₁₅ H ₁₂ O ₄ , 256,25

Figure 1. Chemical structure of *Scutellaria Orientalist L.* [3]



Color compounds in *Rubia Tinctorium L.*

Compounds	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	The molecular formula, and Mol.Wt
Alizarin	OH	OH	-	-	C ₁₄ H ₈ O ₄ , 240,21
Purpurin	OH	OH	H	OH	C ₁₄ H ₈ O ₅ , 256,21
Pseudopurpurin	OH	COOH	OH	OH	C ₁₅ H ₈ O ₇ , 300,22
Rubiadin	OH	CH ₃	OH	H	C ₁₅ H ₁₀ O ₄ , 254,24
Munjistin	H	OH	COOH	OH	C ₁₅ H ₈ O ₆ , 284,22

Figure 2. Chemical structure of the *Rubia Tinctorium L.* [1]

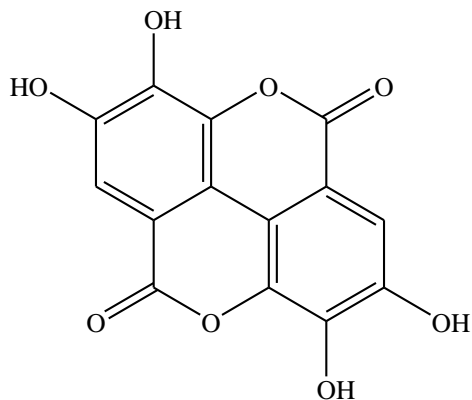


Figure 3. Chemical structure of *Punica Granatum L.* [2]

The molecular formula is $C_{14}H_6O_8$ and molecular weight is Mol.Wt.: 301,01 m/e: 302,01 (100,0%), 303,01 (15,5%), 304,01 (2,8%)

2.2. Dye Extraction

The extraction temperature is an important element acting on extraction efficiency. Nevertheless, high temperatures can cause various chemical structure degradations or undesirable components may be in the extraction.

As a general rule, the extraction temperature range varies to a large extent, from 50 to 220 °C, depending on the extraction technique [14-17]. In addition, small particle sizes are generally suitable for high extraction efficiency. However, the particle size is too small can result in the formation of agglomerates that reduce extraction, and also the solvent-feed ratio must be determined in the extraction. This study used the solid-liquid extraction method, and due to the evaporation of the solvent in the extraction process, the temperature was not increased above the boiling point of the solvent. About 1 g of dried plants (*Punica Granatum L.*, *Rubia Tinctorium L.*, and *Scutellaria Orientalist L.*) were weighed respectively, taken in the 250 ml beaker, and dissolved in 100 ml of solvent (H_2O). After heating the beaker at 70-80 °C for 1h, the extract was filtered, and stored and stored in liquid form after cooling at room temperature, and used for dyeing.

2.3. The Procedure of the Dyeing

The dyeing process was done in a laboratory type dyeing machine. (Atac YK-12). The wool yarns were dyed without mordants. The wool yarns were immersed in the dye solution in the dyeing machine and according to the dyeing prescription as given below. The procedure of the dyeing is shown in table 1. The colored samples were washed with distillate water and the samples were dried at room temperature. In this study, the pH value of the triple dye mixture was kept between 3-5 with acetic acid. In previous studies, it was found that low pH values increase dye uptake on textile materials. It is known that the alkaline solution, a reaction with hydroxide ions (OH^-) converts the ammonium ion (NH_3^+) to amino (NH_2) groups and the fiber contains more carboxylate ion (COO^-) Thus, electrostatic repulsion between the anionic colorants and the protein fibers occurs, which leads to a decrease in dye absorption [14-17]. In general, color uptake of natural dyes temperature increases between 60-90 °C. While the maximum dye uptake is in the temperature range of 60-80 °C for some natural dyes, it is at a temperature of 90 °C for some natural dyes. Similarly, Mongkhlorattanasit et al. [15]. Reported that the maximum hue obtained for natural dyes at 90 °C found to be suitable for wool dyeing. It causes less aggregation and more expansion in wool fiber at high temperatures. This allows dye molecules to penetrate the wool yarn.

Table 1. The process of the dyeing

Dyeing no	Dyeing prescription	Temperature	Time	pH Values
2	Rubiatic: 10 mL	90 ±2 °C	45 min	up to pH : 3-3.5
	Punica granatum: 70 mL			
	Scutellaria: 20 mL			
3	Rubia tinc: 25 mL	90 ±2 °C	45 min	up to pH: 4.5-5
	Punica granatum: 18 mL			
	Scutellaria: 50 mL			
4	Rubia tinc :12 mL	90 ±2 °C	45 min	up to pH: 5.0
	Punica granatum: 6 mL			
	Scutellaria: 75 mL			

2.4. Colour Measurement and Analysis

The dyed samples were evaluated in terms of color coordinates using a Konica Minolta CM-3600d color data software CM-S100w Spectra Magic NX (D65 illuminant, 100 standards observed) spectrophotometer in terms of CIE Lab is the lightness (L), (+a) red, and (-a) green coordinates, (+b) yellow, and (-b) blue coordinates shows. Color Strength (K/S) values were calculated by on Kubelka- Munk (Equation 1) [16].

$$\frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (1)$$

Where K is the absorption coefficient, S is the scattering coefficient and R is the reflectance of dyed samples.

2.5. Fastness Testing

The dyed wool yarns were tested according to ISO standard test methods. washing fastness was assessed as per ISO 105 C03, and light fastness was assessed as per ISO 105 B02.

2.6. Fourier Transform Infrared (FTIR) Analysis

Fourier transform infrared (Bruker ALPHA model) dyed and undyed wool yarns were analyzed for

yarn-dye interactions (with a resolution of 4 cm⁻¹). Bands in the FTIR spectra were analyzed in accordance with the literature data.

2.7. Scanning Electron Microscopy (SEM) Analysis

The morphologies of dyed wool yarns were characterized using a scanning electron microscope (Carl Zeiss Sigma 300 Field Emission). The operating voltage is 10 kV.





3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Colour Analysis

In terms of the color change observed in triple dye combinations at different pH and different dyeing prescriptions of dyed yarns were tested for changes in the color of shades. The results of color measurements of shades obtained are shown in Table 2. The L* takes a value between 0 and 100, where where the value of 0 indicates black and 100 indicates white. The values of a* and b* indicate red (+a*) and yellow (+b*) and indicates green (-a*) and blue (-b*).

Table 2 shows the colorimetric data and color strength value of the dyed yarns. All samples dyed with ternary dye solutions were found in the red-yellow quadrant of the CIELab color space.

Table 2. The colorimetric data and K/S of the dyed wool yarns based on CIELab coordinate

Dyeing no	L^*	a^*	b^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE	K/S	
Control	70.090	-1.654	9.123						
2	30.22	3.14	10.32	-39.87	4.794	1.197	40.18	5.19	
3	25.12	8.76	7.12	-44.97	10.414	-2.003	45.98	4.52	
4	52.23	1.12	25.42	-17.86	2.774	16.297	24.336	4.11	

It was found that the redness (a^*), and yellowness (b^*) of shades have increased, and the brightness value L decreased compared to control samples. However, changes in dyed sample values have shown a different trend of variation. Color strength value (K/S) of dyed woolen on the wool yarn. This could be explained by the amount of ternary solution gradient arising between dye in the solution phase and wool fibers [19]. The high K/S was observed at pH 3.5 and the less K/S was observed at pH 4 and pH 5. Color strength (K/S) values have been shown to decrease with an increase in pH. The in alkaline solution, a reaction with hydroxide ions (OH^-) converts the ammonium ion (NH_3^+) to amino (NH_2) groups and the fiber contains more carboxylate ions (COO^-) [17]. Thus electrostatic repulsion between the anionic colorants and the protein fibers occurs, which leads to a decrease in the dye uptake [17,18]. There are several studies have shown that the color strength value decreases with the increase in with the increase in pH [19,20].

3.2. Fastness Properties

The fastness properties of wool yarns dyed without mordants are shown in Table 3. Samples (2-4) dyed without mordant with three different plant extracts had a fair to good light fastness rating of 3-4. The dyed wool yarns showed good washing

fastness for color change. This is attributed to the wool's ability to form strong coordination complexes with amine and carboxyl groups, which can ionize and serve as both anionic and cationic dye molecule binding sites; thereby resulting in a good fixation on the wool yarn [21-23].

Table 3. Fastness properties for the dyed samples without mordant

Samples	Washing fastness (Color change)	Light fastness
2	4	3-4
3	4	3-4
4	4-5	3-4

3.3. FTIR Analysis

The wool fiber is complex in structure, and it composed of 20 amino acids that can be divided into 4 different groups: cationic, anionic, polar, and non-polar. The main functional groups of amino acids are carboxylic ($-\text{COOH}$) and amino ($-\text{NH}_2$) groups [4-21]. In FTIR spectra (Figure 4) of un-dyed wool yarn, the main characteristic peaks are between 2160.45 and 1000 cm^{-1} which include peaks for amide I, amide II and amide III appearing at $1632,55 \text{ cm}^{-1}$, $1529,38 \text{ cm}^{-1}$, and $1455,37 \text{ cm}^{-1}$ respectively. Which indicates the asset of the amide group. This indicates that it is a

protein-based fiber. Measuring changes in the secondary structure of dyed yarns were evaluated in three ranges: 2500-2000 cm^{-1} , 2000-1500 cm^{-1} 1500-1000 cm^{-1} . It was found that the wavenumber shift of the amide groups (amide I, amide II, and AmidIII) were affected distinctly by the dye [24]. A comparison of the raw wool yarn and dyed wool yarns spectra (Figure 4) revealed that two and one new peaks 1227.62 cm^{-1} , and 1039,08 cm^{-1} ; and 1042.05 cm^{-1} ; and 1035 cm^{-1}) appeared after

dyeing No: 2 and dyeing No:3 and dyeing No: 4 two and one new peaks appeared after dyeing respectively. In dyed and undyed yarns, all peaks remained except 1000-1227 cm^{-1} peak, the peaks at 1000-1227 are an indication of the presence of a disulfide linkage [25,26]. The bands formed as a result of the ionic interaction between the yarn and the dye were not wide, they appeared below 600 cm^{-1} as shown in figure 4 dyeing No: 2,3 and 4 respectively.

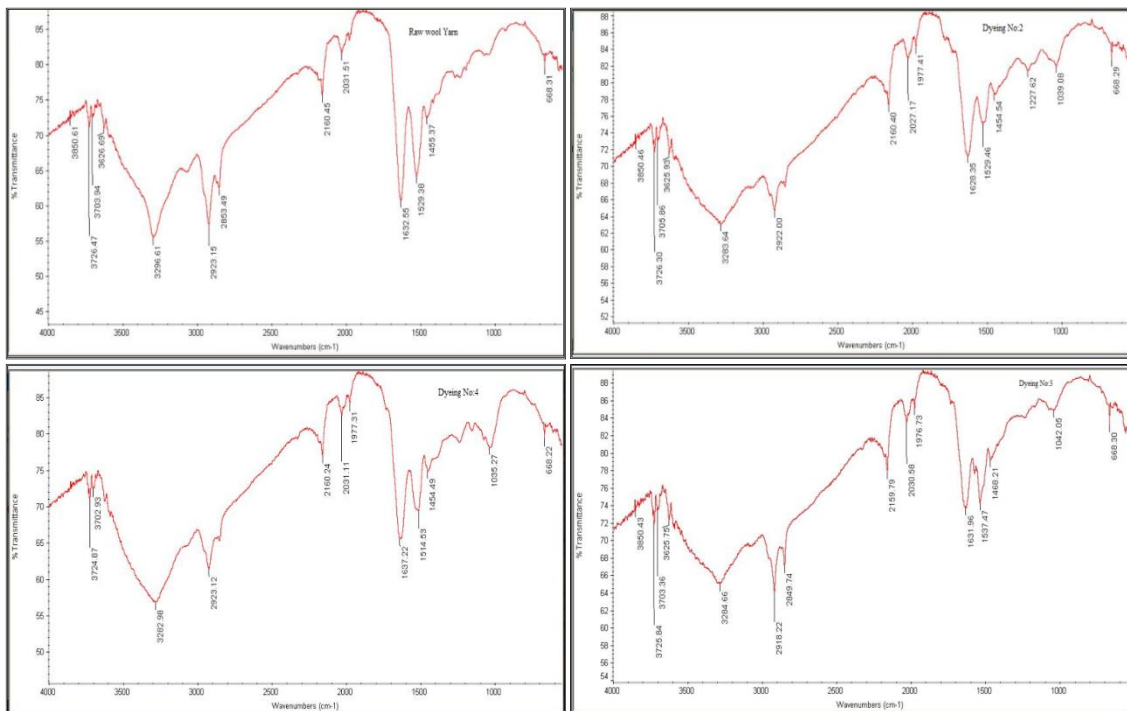


Figure 4. FTIR Spectra of raw wool yarn and dyed wool yarns

3.4. Scanning Electron Microscopy (SEM) Analysis

The morphological properties of raw wool yarn and dyed wool yarns are displayed in (Figure 5a and b, c, and d) Scanning electron microscopy micrographs of undyed wool yarn. The undyed wool yarn consists mainly of core cells surrounded by an outer layer containing cuticle cells. As presented in Figure 5a. It is observed from the undyed wool yarn that there is the cuticular cells of the surface can be clearly distinguished, overlap one another, and are much cleaner and smoother,

and cortical cells are arranged in an overlapping manner. Hassan and Car (2019) investigated the structure and morphologies of wool fiber similar results were found. As seen in SEM micrographs of dyed wool yarns, the visibility and sharpness of the scales decreased after dyeing in figure 5b,c,and d. However, It presented that the dyed yarns were seen without any physical changes such as surface roughness, cracks, etc. In addition, it was observed that the surfaces of the dyed yarns did not change due to the dyeing process. This consequences are in good agreement with a previous study [9,19,26].

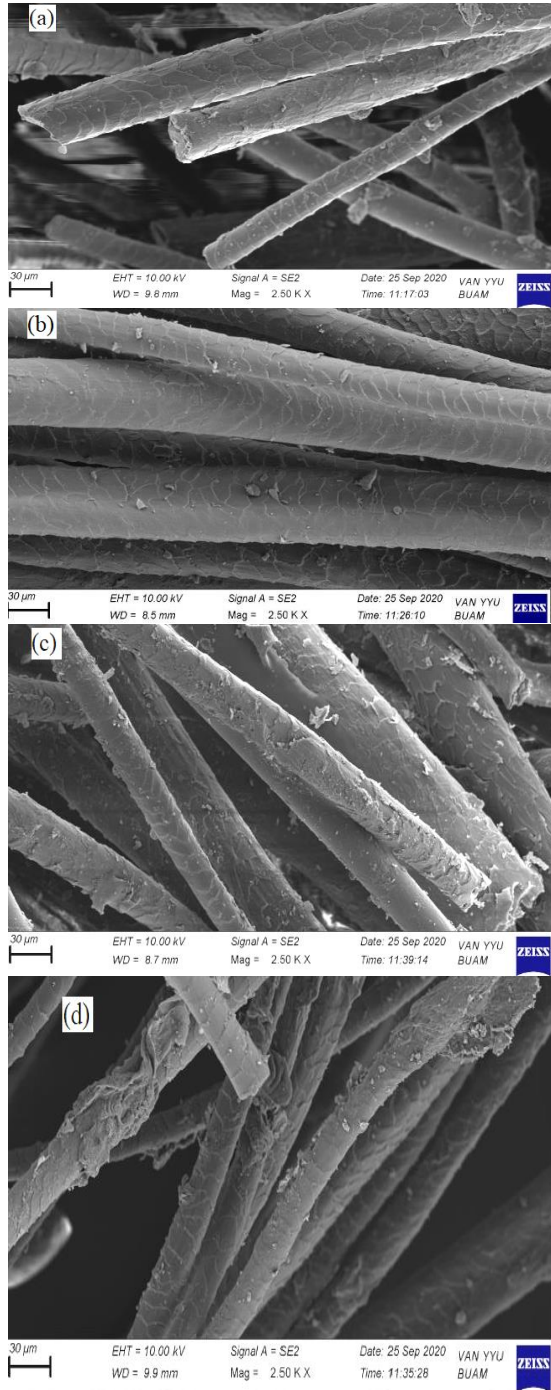


Figure 5. The SEM images of the raw wool yarn (a) and Dyeing No 2 (b) Dyeing No 3 (c) and Dyeing No 4 (d)

4. CONCLUSION

It was found in the study that a combination of ternary dye extracts can be successfully used for dyeing wool yarn to obtain to develop naturally beautiful shades of different colors. Color strength (K/S), and CIE L* a * b* values of dyed yarns were improved with triple dye solution combination, which may be profitably acceptable according to another dyeing process. Also dyeing with ternary dye solution combination method has more overdriven effects than the other conventional methods and this dyeing method will be more eco-friendly due to the use of fewer plants. Moreover, the dyeing process in the laboratory is simpler and more efficient and the dyeing performance is superior. As a result dyeing method with a triple dye solution combination could be a promising and fruitful dyeing method to produce beautiful shades of varying color depths with fair to good light and wash fastness properties.

5. REFERENCES

1. Ozgokce, F., Yılmaz, I., 2003. Dye Plants of East Anatolia Regin (Turkey), Economic Botany, 57(4), 454-460.
2. Nitave, S.A., Patil, V.A., 2014. Study of Antibacterial and Antifungal Activity of Punica Granatum Peel and its Phytochemical Screening. Word Journal of Pharmaceutical Research, 3(10), 505-512.
3. Gharari, Z., K., Bagheri, H., Danafar, K., Sharafi, A., 2020. Simultaneous Determination of Baicalein, Chrysin and Wogonin in Four Iranian Scutellaria Species by High Performance Liquid Chromatography. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 16, 1-7.
4. Bouagga, T., Harizi, T., Sakli, F., Zoccola, M., 2018. Correlation Between the Mechanical Behavior and Chemical, Physical and Thermal Characteristics of Wool: a Study on Tunisian Wool. Journal of Natural Fibres, 1-13, doi: 1080/15440478.2018.1461727.
5. Dusenbury, J.H., Wakelin, J.H., 1958. Effects of Crimp and Cross-Sectional Area on The Mechanical Properties of Wool Fiber. Textile

- Research Journal, 28:989–1004. doi: 10.1177/004051755802801203.
6. Pattinson, R., Wilcox, C., Williams, C., Curtis., S.K., 2015. Trends and Drivers for the Global and Australian Wool Industry, NSW Wool Industry and Future Opportunities. 1st ed. 2015, Australia: NSW Department of Primary Industries.
 7. Hamley, I.W., 2020. Introduction to Peptide Science. John Wiley Sons United States, 1-240.
 8. Nawaza, N., Rehmana, A., Hussainb, M-H., Safdara, F., Iqbala, K., 2021. Dyeing of Wool with Dalbergia Sisso as an Eco-Friendly Substituent of Conventional Hazardous Synthetic Dye. *Journal of Natural Fibres*, 1-14.
 9. Samata, A.K., Agarwal, P., 2009. Application of Natural Dyes on Textiles. *Indian Journal of Fiber and Textile Research*, 34, 384-399.
 10. Tayade, P.B., Adivarekar, R.V., 2013. Dyeing of Cotton Fabric with Cuminum Cyminum L. as a Natural Dye and its Comparison with Synthetic Dye. *The Journal of the Textile Institute*, 104(10), 1080-1088. doi: 10.1080/00405000.2013.774944.
 11. Shukla, S.R., Patil, S.M., 2000. Colour Matching on Wool Using Natural and Synthetic Dyes. *Indian Journal of Fiber and Textile Research*, 25(4), 303-308.
 12. Anonymous, Dyeing Wool Fibres with Dyes Derived from Plants. 1991. Republic of Turkey, Industry and Trade Ministry, Ankara/Turkey
 13. Güzel, E.T., Karadag, R., 2019. Sustainability of Organic Cotton Fabric Dyeing with A Natural Dye (Gallnut) and Analysis by Multi-Technique Approach. *Journal of Natural Fibres*, 1-12. Advance online publication. doi: 10.1080/15440478.2019.1687064
 14. Mongkholrattanasit, R., Krystufek, J., Wiener, J., 2009. Dyeing of Wool and Silk by Eucalyptus Leaves Extract. *Journal of Natural Fibres*, 6(4), 319-330.
 15. Ketema, A., Worku, A., 2020. Review on Intermolecular Forces between Dyes Used for Polyester Dyeing and Polyester Fiber. *Hindawi Journal of Chemistry*, 1-7
 16. RATHERA, L.J., SHABBIR, M., MOHAMMAD, F., LI, Q., 2020. Terminalia arjuna Dyed Woolen Yarn - Effect of Binary and Ternary Metal Salt Combinations: A Greener Route for Production of Ecofriendly Textiles. *Journal of Natural Fibres*, 17(12), 1693-1705.
 17. Punrattanasina, N., Nakpathom, M., Somboon, B., Narumol, N., Rungruangkitkrai, N., Mongkholrattanasit, N., 2013. Silk Fabric Dyeing with Natural Dye from Mangrove Bark (*Rhizophora Apiculata* Blume) Extract. *Industrial Crops and Products*, 49, 122-129.
 18. Yusuf, M., Shahid, M., Khan, S.A., Khan, S., Islam, F. M., Khan, M. A., 2012. Eco-Dyeing of Wool Using Aqueous Extract of the Roots of Indian Madder (*Rubia Cordifolia*) as Natural Dye. *Journal of Natural Fibres*, 10, 14-28, doi: 10.1080/154404782012.738026.
 19. Montazer, M., Parvinzadeh, M., 2004. Effect of Ammonia on Madder-Dyed Natural Protein Fiber. *Journal of Applied Polymer science*, 93(6), 2704-2710.
 20. RAZZAQ, A., KIRAN, S., AHMAD, T., HASSAN, A., UR REHMAN, H., 2021. A Comparative Study on Sustainable Dyeing of Silk and Wool with Acid Red 138 Dye. *Journal Natural Fibres*. 1-10.
 21. Kumar Samata, A., Konar, A., Chakraborti, S., 2011. Dyeing of Jute Fabric with Tesu Extract: Part 1- Effects of Different Mordants and Dyeing Process Variables. *Indian Journal of Fibres &Textile Reseach*, 36, 63-73.
 22. Yusuf, M., Mohammad, F., Shabbir, M., Khan, M.A., 2016. Eco-Dyeing of Wool with Rubia Cordifolia Root Extract: Assessment of the Effect of Acacia Catechu as Biomordant on Color and Fastness Properties. *Textiles and Clothing Sustainability*, 2-10
 23. Adeel, S., Razzag, A., Kiran, S., Ahmad, T., Hassan, A., Urrahman, H., 2021. A Comparative Study on Sustainable Dyeing of Silk and Wool with Acid Red 138 Dye. *Journal Natural Fibers*, 1-10.
 24. Boominathan, S., Karthi, V., Balakrishanan, S., 2020. Optimization of Process Parameters on Color Strength and Antimicrobial Activies of Cotton Fabric Dyed with Rubia Cordifolia Extract. *Journal of Natural Fibres*, 1-15.
 25. Rehab, A.A., Manal, K., E.B., 2021. Improvement of the Dyeability and Salt-Free Dyeing for Wool Fabrics with Anionic Dyes by Pretreatment with Whey and Soybean Proteins.

Investigation of Color, and Fastness Properties of Wool Yarn Dyed with Ternary Plant Combination: A New Dyeing Method for the Production of Eco-Friendly Textiles

Journal of Natural Fibers, 1-18. doi:
10.1080/154404782021.2009394

- 26.** Hassan, M.M., Carr, C.H., 2019. A Review of The Sustainable Methods in Imparting Shrink Resistance to Wool Fabrics. Journal of Advanced Research, 18, 39-60.

Closed-Loop Recycled Yarn Production from Yarn Wastes and Investigation of Their Physical Properties within the Scope of Sustainability

Seval UYANIK*¹ ORCID 0000-0002-9513-5746

Pınar PARLAKYİĞİT¹ ORCID 0000-0001-9235-6239

Sabih OVALI¹ ORCID 0000-0002-6370-1977

¹Adıyaman University, Faculty of Engineering, Department of Textile Engineering, Adıyaman

Geliş tarihi: 10.06.2022 Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: UYANIK, S., PARLAKYİĞİT, P., OVALI, S., (2022). Closed-Loop Recycled Yarn Production from Yarn Wastes and Investigation of Their Physical Properties within the Scope of Sustainability. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 1087-1101.

Abstract

Recycling in textile is very popular in terms of sustainability, and a lot of studies were made by many researchers in this area and are still being made. In this study, yarns containing 10-50% waste using cotton as the main fiber were obtained in 3 different yarn counts, Ne 10, Ne 20, and Ne 30, and it was aimed to reveal the effects of waste on yarn properties. As a result of the graphical and statistical evaluations of the obtained data, it was determined that the waste did not affect the yarn properties as negatively as expected. Ne 10 is the most suitable yarn count in the production of waste yarn, considering that the waste content and ratio in the blended yarns affect the yarn properties less and even do not make a significant difference. The optimum blend ratio of waste, in terms of yarn unevenness and yarn imperfections, is 30%. While a 30% waste rate is the most suitable in terms of all properties of Ne 20 yarns, it seems reasonable to obtain yarn with lower waste rates in Ne 30 yarns in terms of hairiness and breaking strength.

Keywords: Yarn waste, Sustainability, Recycling, Blend yarn properties, Waste ratio

İplik Atıklarından Kapalı Döngü Geri Dönüşüm İplik Üretimi ve Fiziksel Özelliklerinin Sürdürülebilirlik Kapsamında Araştırılması

Öz

Tekstilde geri dönüşüm sürdürülebilirlik açısından oldukça popülerdir ve bu alanda birçok araştırmacı tarafından birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Bu çalışmada, Ne 10, Ne 20 ve Ne 30 olmak üzere 3 farklı iplik numarasında, ana lif olarak pamuk kullanılarak %10-50 telef içeren iplikler elde edilmiş ve telefin iplik özelliklerine etkilerinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Elde edilen verilerin grafiksel ve istatistiksel değerlendirmeleri sonucunda telefin iplik özelliklerini beklendiği kadar olumsuz

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Seval UYANIK, suyanik@adiyaman.edu.tr

etkilemediği belirlenmiştir. Harmanlanmış ipliklerdeki telef içeriği ve oranının iplik özelliklerini daha az etkilediği ve hatta önemli bir fark yaratmadığı düşünüldüğünde, telef iplik üretiminde Ne 10 en uygun iplik numarasıdır. İplik düzgünsüzlüğü ve iplik hataları açısından teleflerin optimum karışım oranı %30'dur. Ne 20 ipliklerin tüm özellikleri açısından %30 fire oranı en uygunu iken, Ne 30 ipliklerde tüylülük ve kopma mukavemeti açısından daha düşük fire oranlarına sahip iplik elde etmek makul gözükmektedir.

Anahtar Kelimeler: Üstüğü, Sürdürülebilirlik, Geri dönüşüm, Karışım iplik özellikleri, Telef oranı

1. INTRODUCTION

Sustainability is an important approach used in the solution of production, environment, and economy-related problems in different industries in recent years. In today's competitive environment, producing with limited resources, reducing the environmental effects resulting from production, reducing costs, and ensuring customer satisfaction are only possible with sustainability [1]. Sustainability is examined in three different dimensions economic, environmental, and social indicators.

The textile and ready-made clothing industry has a significant sustainability impact due to intense mass consumption, fast fashion trends, short-term use of products, and increasing textile waste [2]. When the global fiber consumption data for 2021

is analyzed, it is stated that the total fiber consumption is 113 million tons. While synthetic fibers take the first place in total fiber consumption with a share of 64%, cotton fiber follows the second place with a share of 22% [3].

In an evaluation made by Made-By, 28 different textile fibers were classified in different sustainability categories in terms of their environmental impacts. Fibers were evaluated according to criteria for greenhouse gas emissions, human toxicity, ecotoxicity, energy, water, and land use. Based on the criteria, each fiber was scored and placed in 5 categories from Classes A-E as shown in Table 1. Fibers with insufficient data could not be classified. In this classification, recycled and organic fibers have high sustainability, while conventional fibers have lower sustainability [4].

Table 1. Classification of textile fibers in terms of sustainability

Made-By Environmental Benchmark Fibres					
Class A	Class B	Class C	Class D	Class E	Unclassified
Mechanically Recycled Nylon	Chemically Recycled Nylon	Conventional Flax (Linen)	MODAL® (Lenzing Viscose Product)	Bamboo Viscose	Acetate
Mechanically Recycled Polyester	Mechanically Recycled Polyester	Conventional Hemp	Poly-acrylic	Conventional Cotton	Alpaca Wool
Organic Flax (Linen)	CRAILAR® Flax	PLA	Virgin Polyester	Generic Viscose	Cashmere Wool
Organic Hemp	In Conversion Cotton	Ramie		Rayon	Leather
Recycled Cotton	Monocel® (Bamboo Lyocell Product)			Spandex (Elastane)	Mohair Wool
Recycled Wool	Organic Cotton			Virgin Nylon	Natural Bamboo
	TENCEL® (Lenzing Lyocell Product)			Wool	Organic Wool
					Silk
More Sustainable				Less Sustainable	

It is stated that the CO₂ emission of the textile industry, which has a high production and

consumption volume, is about 2% of the total industrial CO₂ emissions in the world, which is

about 1.2 billion tons/year; 21 times more than those of all international flights and maritime shipping combined. [5]. Therefore, the sustainable textile industry needs to identify and develop solutions to eliminate these environmental effects. If certain environmental impacts in the textile sector are to be considered; these can be listed as fibers, yarn fabric production, finishing dyeing processes, garment quality control, packaging, transportation, use, and disposal.

While fiber-based products are increasing day by day to meet the needs of the industry due to changing living standards, they also create negative effects on the environment and human health. For example, the cultivation processes of cotton, which is a sensitive plant, cause 1-6% of the world's freshwater area to be consumed. Synthetic fertilizers produced using a significant amount of energy resources (1.5% of the world's annual energy consumption) release large amounts of carbon dioxide and increase global warming [6]. In addition, synthetic-based products do not degrade in nature for many years, increasing the consumption of limited petroleum-derived natural resources and the amount of waste.

It is stated that 41% of the electrical energy consumed between textile processes belongs to the spinning processes. Weaving and wet processes follow this order [7]. Specific water consumption for dyeing varies between 30-50 liters per kg of fabric, depending on the type of dye used [8]. It is estimated that an average of 1.000-3.000 m³ of wastewater is generated because of the production of approximately 12-20 tons of textile per day [9].

From the point of view of transport, use and disposal, while there is energy consumption during the delivery of the products to the consumer, energy, water, and detergents are used during the use of textile products. What happens to the product at the end of its useful life is also important within the scope of this evaluation. According to a study report called 'Carbon Footprint Study' made in 2009, the carbon footprint (CO₂e) of a 100% cotton shirt with a size of 40-42 and a weight of 220 g was calculated as 10.75 kg throughout its life cycle. The CO₂

emission emitted into the atmosphere is approximately 50 times higher than the net weight of the shirt [10].

Textile wastes can also be classified as solid, liquid, or gaseous wastes according to the phase they are in. Solid wastes include basic textile wastes in the form of fiber, yarn, fabric, cardboard, plastic, etc. other auxiliary materials. Liquid wastes are wastewater containing dyes and chemicals, especially after finishing processes. Gas-phase wastes are many different substances that are released after textile processes and cause emissions.

Wastes can be evaluated in different ways according to waste management strategies. The waste hierarchy is given in Figure 1. The 3R principle (Reduce, reuse, recycle) is generally adopted as a textile waste treatment strategy. [11].

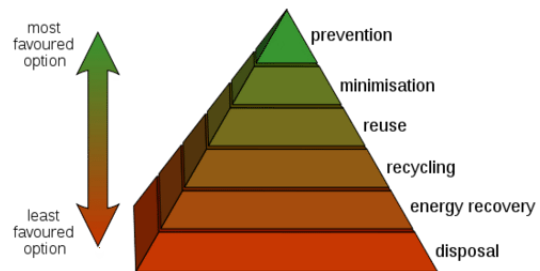


Figure 1. Waste hierarchy

Recycling is seen as the best solution for both natural and regenerated and synthetic-based textile wastes, for reasons such as reducing environmental impacts in production processes, preventing problems that may arise due to wastes, and being able to benefit from depleted oil for a longer period. Recycling is classified as closed and open-loop recycling. In closed-loop recycling, the material of a product is recycled and used in the production of the same product, while in open-loop recycling, the material of a product is recycled and used in the production of another product [12,13].

The recycling process of cotton starts with proper classification. At this stage, pre-consumption

wastes within the enterprise and post-consumption wastes from outside the enterprise can be used. Pre-consumption wastes arise in yarn production, weaving, knitting, finishing, sewing, or quality-control stages. A classification is made according to the quality and color of the incoming wastes. In this classification, different criteria such as the structure of the waste (yarn number, production method, fabric weight, etc.), raw material, size, and color are used. The quality of the fibers obtained as a result of the recycling process is closely related to the characteristics of the waste material.

Recycling in textile is very popular because of the reasons mentioned above, and a lot of studies were made by many researchers in this area and are still being made.

Koo et al investigated the effects of mechanical and chemical recycling processes on yarn properties (breaking strength, elongation at break, melting temperature, degradation behavior). Conventional yarns and chemically recycled yarns showed similar processability, physical and mechanical properties, and long-term degradation behavior [14].

Duru and Babaarslan investigated the influence of opening roller speed on quality properties of the open-end spun yarn made from 40/60 blend of spinning cotton waste and virgin polyester fibre. From the results, a high opening roller speed was recommended. while spinning waste content does not provide the expected results [15].

Gun et al. investigated the conventional open-end yarn produced using 50/50% polyester/recycled cotton blended open-end yarn and 100% conventional cotton fiber with the addition of polyester fibers by removing cotton waste. Knitted socks with 3 different loop lengths, with and without elastane, were produced from these yarns and their performance properties were examined. Socks produced from recycled fibers showed higher loop density, weight, thickness, pilling tendency, and lower air permeability than conventional cotton socks. It was found that socks produced from recycled fibers show less mass loss,

higher color strength, and lower color variation after wear [16].

Khan et al. researched the effect of blending ratio (17/83% and 33/67%), blending techniques (blow room and draw frame blend), roller speed (800 and 850 rpm), and rotor speed. (80000 and 85000 rpm) on the properties of cotton/recycled waste, fiber blended yarns. It was found that the most effective parameters on yarn properties are waste rate and rotor speed. Reducing the rotor speed had a positive effect in terms of yarn evenness, faults, and strength. A high roller speed is recommended in the draw mix and mixes with high waste [17].

Wanassi et al. in their study of different rotor speeds (65000, 70000, and 80000 rpm), opening roller speed (7700, 8200, and 8700 rpm), and twist factor (137, 165, and 183) 100% recycled cotton open-end yarn quality investigated the effect on the parameters. As a result, it was seen that rotor speed increased the hairiness, thin place, thick place, and unevenness values. The twist factor does not have a significant effect on the quality of 100% recycled cotton yarns [18].

Yelkovan investigated the properties of yarns spun from cotton and recycled cotton fibers in her graduate study. Ring, Rocos compact, and Rieter 46 compact yarns were produced by mixing 3 different wastes (blend, hat, and pneumafil) with cotton at rates of 5-40%. When yarn hairiness and nep values were examined, room waste gave the best results, and when other yarn properties were examined, hat waste gave the best results. Compact yarns gave better results in terms of hairiness, strength, and elongation compared to conventional ring yarns. Since the yarns produced from pneumafil wastes are very clean, it was suggested that they can be used at high ratios such as 40%, while dirty waste such as hat and room waste should be used at lower ratios [19].

Gun et al. investigated the thermal properties of socks in the continuation of their study According to the results of the study, the addition of elastane caused an increase in thermal conductivity, thermal resistance, and thermal absorption values, and a decrease in water vapor permeability values.

Socks produced from recycled fibers showed lower thermal conductivity and thermal absorption and higher thermal resistance than cotton socks. While the water vapor permeability results of socks produced from recycled fibers without elastane were found to be higher than cotton socks without elastane, there was no statistical difference between the samples containing elastane [20].

In the Ph.D. thesis study of Telli, open-end yarns with the number Ne 12 were produced by using conventional cotton (CO), recycled cotton (r-CO), and r-PET fibers at certain mixing ratios. Denim fabrics were produced by using these recycled yarns in the weft direction and Ne 20/2 100% cotton ring carded yarns in the warp direction, and enzyme and stone washing processes were applied to the denim fabrics. The results of the mixtures of CO/r-CO and CO/r-PET were found to be compatible. In r-CO/r-PET mixtures, as the r-PET ratio increased, yarn breaking strength and elongation increased, while unevenness, yarn defects, and hairiness values decreased. r-CO fiber negatively affected the breaking and tear strength, while r-PET fiber increased the breaking strength, elongation at break and tear strength, and decreased the softness [21].

In the study of Yuksekkaya et al. (open-end yarns and single jersey knitted fabrics were produced from these yarns by using conventional and recycled cotton and polyester fibers at certain mixing ratios (100% and 50/50%). According to the results of the study, it was found that the yarns produced from recycled fibers showed better properties in terms of unevenness and yarn defects. Yarn breaking strength and fabric bursting strength are higher in conventional yarns and fabrics than in recycled samples. The coefficients of kinetic friction and pilling values of all fabrics were found to be close to each other [22].

Vadicherla and Saravanan investigated the quality parameters of recycled polyester/conventional cotton blended ring yarns, which have three different yarn counts (23.6; 29.5, and 39.4 tex), and different blends ratios (0/100%, 33/67%, 50/50%, 67/33%, and 100/0%). As the recycled polyester content increased, the strength,

elongation, hairiness values of the yarns increased, and the values of unevenness, thin-thick places, and neps decreased. As yarn counts decrease, strength, elongation, unevenness, thin-thick place, neps, and hairiness values increase [23].

Sarioğlu and Kaynak investigated the quality characteristics of ring and compact yarns produced from PET/CO and r-PET/CO fibers at 100%, 70/30%, 50/50%, and 30/70% blend ratios. With the study, it was found that spinning technology, raw material, and blend ratio have a significant effect on yarn properties. It was concluded that yarns containing r-PET had lower strength values than yarns containing PET. The lowest evenness values for both spinning technologies were obtained from conventional PET yarn. Higher yarn evenness values in r-PET yarns caused more yarn defects and lower strength [24].

Béçir et al. investigated the effect of blending ratios of cotton fibers recycled from waste with conventional cotton fibers on yarn quality parameters and estimated the quality of recycled cotton fiber blends utilizing a mathematical model. When the recycled cotton ratio in the blends increases from 40% to 75%, 20%, 13%, 32%, 50%, and 20% increases are seen in the yarn unevenness, thin places, thick places, neps, hairiness values, respectively, strength decrease was observed as 16%. Increasing the number of passages decreased many fiber quality parameter values [25].

Demiroz Gun and Oner investigated the effects of different yarn counts (Ne 30, Ne 20, Ne 12), fiber blend ratios (60/40%, 70/30%, 85/15%), different waste sources, yarn twist coefficients and rotor diameters on yarn quality. According to the results of the study, the effects of blend ratio, yarn count and twist coefficient on yarn quality parameters were found to be statistically significant. The addition of conventional polyester to the structure caused an increase in quality parameters. Considering the maximum use of recycled fibers and the minimum use of conventional polyester fiber, yarns with 60/40% blending ratio in Ne 30 count, yarns with 70/30% blending ratio in Ne 20 count, and 85/15% blending rate in Ne 12 count

could be produced [26].

Uyanik aimed to determine the optimum yarn count and fiber blend ratio in yarns using recycled polyester fibers. For this, recycled polyester, conventional polyester, and viscose fiber in different blend ratios (100% PET, 100% r-PET, 100% CV, 65/35% r-PET/CV, 50/50% r-PET/CV, and 35-65% r-PET/CV), were produced in different yarn counts (Ne 10, Ne 20, Ne 30, Ne 40). The study showed that rPET fibers had usually negative effects on the yarn properties, especially in fine yarns, due to the physical and chemical deteriorations caused by the contaminants that pollute rPET fibers during their re-processing. The findings revealed that rPET fibers are found suitable for thick yarns as either pure or in all different blend ratios, especially for Ne 10 and Ne 20, and are also found suitable if they are used in lower ratios than 65% for Ne 30 yarns, whereas they are suitable if they are used in lower ratios than 35% for Ne 40 yarns [27].

Ute et al. produced single jersey knitted fabrics with Ne 20/1 O.E. yarns in different blend ratios (10/90%, 30/70%, 50/50%) from conventional cotton and different cotton waste types (blowroom, carding, drawframe, and fabric) and examined the quality characteristics. Blowroom and comb wastes contain a large amount of short fibers and foreign matter as they are formed during the cleaning of the fibers. While the strength of yarns containing 50% carding waste was found to be lower than the others, the use of blowroom waste up to 30% did not change the yarn properties except for thick places and neps. Fibers recycled from fabric waste showed similar behavior as recycled fibers from blowroom waste. As the proportion of waste fibers increased, the air permeability of the fabrics decreased depending on the yarn hairiness. For pilling values, the highest results were obtained for fabrics with card waste with the highest short fiber content [28].

Utebay et al. investigated the effects of different types of waste (interlock/single jersey, dyed/raw, large/small size, 2/3/4/5 different number of passages in the opening machine, and different mixing ratios) on the recycled fiber properties. It

has been observed that recycled fibers obtained from loose-structured raw fabrics give better results. Feeding small-sized fabrics to the opener increased the rate of short fiber. As the number of passages increased, the short fiber content in the recycled fibers increased, but no change in yarn properties was observed. When the number of passages exceeded 3, the yarn properties started to decrease [29].

In the study by Kilic et al. the performance properties of open-end yarn and knitted fabrics produced with conventional and recycled cotton fibers and their blends (100%, 75/25%, 50/50%, and 25/75%) were investigated. Yarn and fabrics produced from 100% cotton gave the best results among all samples. The results of the study revealed that the use of recycled cotton in up to 75% of the mixture did not make a significant difference in the results [30].

Sarioğlu produced ring and compact yarns obtained from PET/CO and r-PET/CO fibers at 100%, 70/30%, 50/50%, and 30/70% blend ratios, and worked on the optimization of its features. It was found that the blend type (raw material type), blend ratio, and yarn production technology have a significant effect on burst strength and air permeability of fabrics. The mixture type did not show a significant effect on the weft-warp directional capillary absorbency ratio. As a result of the optimization, it was observed that the knitted fabrics produced from compact yarns with a PET/CO ratio of 58.62/41.38% gave the most optimum value with a value of 0.72 [31].

In the second part of her study, Uyanik investigated the bursting strength properties of knitted fabrics, having blend yarns with recycled polyester fiber (100% PET, 100% r-PET, 100% viscose, 65/35% r-PET/viscose, 50/50% r-PET/viscose and 35-65% r-PET/viscose) at different yarn counts (Ne 10, Ne 20, Ne 30, and Ne 40). The study results revealed that the rPET fibers provided the bursting strength values which are close to that of virgin PET fibers for the knitted fabrics having coarse yarns, whereas they do not contribute positively to the knitted fabrics having fine yarns. As become in the first study, it is once

more proved that the use of rPET fiber is more suitable for the knitted fabrics containing coarse yarns, and it is not definitely proper for the ones having Ne 40 yarns. [32].

In our study, determining the properties of the yarns containing mechanical recycled fiber from waste yarns was aimed at different yarn counts. The study will contribute to the literature by revealing the effect of the blend ratio of waste fiber on the yarn properties in different yarn count and determine which count and blend ratio are more suitable for waste fiber usage.

2. EXPERIMENTAL

8 different cotton yarns containing waste of cotton ring spun yarn were produced in different yarn counts and different blend ratios in rotor spinning to determine the optimum blend ratio of waste for yarn quality. Wastes were obtained by converting back into fiber form with rapid rotation and pulling of the needle drums in the rag puller machine.

HVI test results of cotton fiber are SCI: 113; Mic: 4.3; UHML: 27.3 mm; Ul: 80%; SF: 2.3%; Str: 27.9 g/tex; Elg: 6.9%; Rd 77.9; +b: 10.3; CGrd (upland): 12-2; TrCnt: 25; Tr Ar: 0.25%; Tr Grd 2.

Blend ratios of waste were applied between 10-50% for rotor spun yarns. Yarn types containing the blend ratios of fiber recycled from waste yarn, yarn counts in the obtained cotton yarns, process parameters, and rotor machine parameters for spinning were given in Tables 2-4 respectively.

Table 2. Yarn types

Yarn count	Twist factor	Yarn type	Abbreviation
Ne 10	œ 3.4	100% cotton	100% CO
		90% cotton – 10% waste	90-10% CO-WST
		80% cotton – 20% waste	80-20% CO-WST
		70% cotton – 30% waste	70-30% CO-WST
		60% cotton – 40% waste	60-40% CO-WST
		50% cotton – 50% waste	50-50% CO-WST
Ne 20	œ 3.6	100% cotton	100% CO
		90% cotton – 10% waste	90-10% CO-WST
		80% cotton – 20% waste	80-20% CO-WST
		70% cotton – 30% waste	70-30% CO-WST
		60% cotton – 40% waste	60-40% CO-WST
		50% cotton – 50% waste	50-50% CO-WST

Ne 30	œ 3.8	100% cotton	100% CO
		90% cotton – 10% waste	90-10% CO-WST
		80% cotton – 20% waste	80-20% CO-WST
		70% cotton – 30% waste	70-30% CO-WST
		60% cotton – 40% waste	60-40% CO-WST
		50% cotton – 50% waste	50-50% CO-WST

Table 3. Process parameters

Blow Room	Rieter Unifloc A11		
	Trützscher Axi-Flow Cleaner		
	Trützscher MPM Mixer		
	Trützscher CVT4 Cleanomat		
	Trützscher Dustex		
Card	Rieter C70	55 kg/h	Ne 0.100
Draw Frame-1	Rieter SB-D 45	750 rpm	Ne 0.100
Draw Frame-2	Rieter RSB-D 45	750 rpm	Ne 0.100
O.E. Rotor	Model	Rieter R20	
	Opening roller type	B174-DN-64	
	Rotor type (Ne 20-30)	34-XT-BD-AE1	
	Rotor type (Ne 10)	40-XT-BD-AE1	
	Navel type	Spiral	

Table 4. Rotor machine parameters

Yarn count	Opening roller speed	Rotor speed	Rotor diameter
Ne 10	8.500 rpm	65.000 rpm	40 mm
Ne 20	8.500 rpm	75.000 rpm	34 mm
Ne 30	8.700 rpm	105.000 rpm	34 mm

The obtained yarns were tested repeating five times to determine yarn characteristics according to relevant standards. Before the tests, all samples were conditioned according to TS EN ISO 139 standard performed in a standard atmosphere of 20±2 °C and 65±2% humidity. By using Uster Tester 6 at 400 m/min test speed unevenness, imperfections, hairiness values of the produced yarns were measured Tenacity and breaking elongation values of yarns were measured with Uster Tensorapid 5 at 500 mm/min test speed and 500 mm gauge length.

For the statistical analysis including analysis of variance (ANOVA) and Pearson correlation tests, SPSS 25 software package was used to interpret the experimental data. All test results were assessed at a 95% confidence interval. ANOVA and correlation tests were carried out by considering waste ratios as the main factor in the cotton blended yarns, and the results obtained were interpreted as the effect of waste (WST) ratios on yarn properties.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The yarn properties and statistical results were

given in Tables 5-7 respectively. The results were interpreted considering experimental-statistical test results with subtitles showing yarn properties.

Table 5. ANOVA results

Factor waste	Ne 10		Ne 20		Ne 30	
	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
CVm	5.595	.001	3.107	.027	3.268	.022
Thin	1.952	.123	3.465	.017	.830	.541
Thick	2.623	.050	2.604	.050	26.823	.000
Neps	.593	.706	5.096	.003	50.953	.000
Hairiness	.668	.651	52.785	.000	25.090	.000
Elongation	16.311	.000	14.687	.000	.787	.570
Tenacity	14.561	.000	5.980	.001	8.742	.000

Table 6. Pearson correlation results

Factor waste	CVm	Thin	Thick	Neps	Hairiness	Elongation	Tenacity
Ne 10	-.150	.072	-.117	-.036	-.009	-.520**	-.737**
Ne 20	-.255	-.469**	-.373*	.448*	-.530**	.273	.403*
Ne 30	-.287	.104	-.072	-.194	-.064	-.112	-.057

Table 7. Yarn properties

Yarn		CVm %	Thin -50%	Thick +50%	Neps +200%	H	Tenacity cN/tex	Elongation %
Ne 10	100% CO	13.94	1.60	62.20	4.80	8.69	15.19	8.09
	90-10% CO-WST	13.12	0.60	21.40	3.40	8.36	13.21	7.46
	80-20% CO-WST	13.81	0.60	34.40	4.20	8.52	13.86	8.15
	70-30% CO-WST	13.02	3.60	28.60	3.60	7.92	12.76	7.52
	60-40% CO-WST	12.94	1.20	29.20	2.20	8.53	13.12	7.34
	50-50% CO-WST	13.85	1.20	47.60	5.20	8.68	12.05	7.52
Ne 20	100% CO	15.83	158.60	280.20	26.20	6.00	9.26	4.94
	90-10% CO-WST	18.34	305.20	372.20	70.40	7.71	9.25	5.23
	80-20% CO-WST	15.95	47.80	195.80	87.20	7.24	11.84	7.73
	70-30% CO-WST	14.86	4.60	86.80	47.20	4.97	11.93	7.42
	60-40% CO-WST	14.70	10.20	103.80	74.20	5.47	11.54	7.16
	50-50% CO-WST	16.24	20.80	209.60	89.40	5.56	10.39	5.33
Ne 30	100% CO	17.37	35.80	113.80	83.20	5.43	8.13	5.63
	90-10% CO-WST	15.63	28.20	150.80	152.80	4.51	10.16	5.61
	80-20% CO-WST	16.57	30.60	207.40	269.20	4.77	9.46	5.50
	70-30% CO-WST	15.21	22.80	40.20	42.40	5.48	8.30	5.68
	60-40% CO-WST	16.35	40.20	96.60	65.80	5.36	8.14	5.70
	50-50% CO-WST	15.93	36.60	162.80	118.60	4.67	9.35	5.41

3.1. Unevenness

As seen in Figure 2, the unevenness values increase from Ne 10 yarns to Ne 30 yarns, that is, from coarse yarns to fine yarns, as expected. On the other hand, comparing based on each yarn count, there are no big differences between the

unevenness values, except for 90-10% CO-WST yarn of Ne 20 group. For this yarn, it is thought that this result is due to a momentary error during yarn production. Also, when each yarn count group is evaluated separately, an increasing trend in unevenness was not observed in parallel with the increase in the waste rate in the yarn.

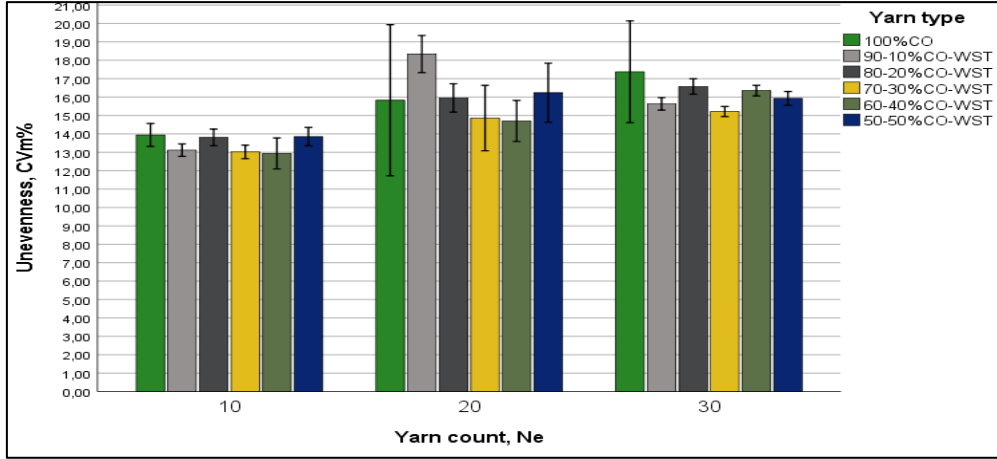


Figure 2. Unevenness

According to the ANOVA test results given in Table 5, all p , which is significance, values ≤ 0.05 in all yarn counts, and waste content in the blended yarn have a significant effect on yarn unevenness. On the contrary, when correlation results are examined in Table 6, it is seen that the relationship between waste content and unevenness is much weak and negative

3.2. Thin Places

According to Table 5 and Figure 3 showing the thin places of samples, when the thin places are evaluated excluding Ne 20 yarns, while it is the highest for Ne 30 yarns, it is the lowest for Ne 10 yarns. It is possible to say that the thin places for Ne 10 yarns are quite close to each other, even almost the same. Ne 30 yarns have a similar situation, and the thin places are close to each other, but the thin places are slightly higher in yarns containing 40% and 50% waste, which is higher than the others.

In Ne 20 yarn group, 100% CO and 90-10% CO-WST yarns have considerably higher thin places than expected, which is thought to be due to any problems experienced during low sample-based production. Except for these yarns, it is seen that the thin places increase, albeit slightly, with the increase in the waste ratio. Excluding the aforementioned Ne 20 yarns, which have more thin places than expected, we can say that the thin

places generally increase from coarse yarns to fine yarns, and the increase in waste ratio partially increases the thin places in the yarn.

According to ANOVA test results given in Table 5, p values for Ne 10 and Ne 30 yarns are greater than 0.05, which was chosen as the significance level, with the values of 0.123 and 0.541 respectively. This result indicates that the changes in the waste ratio do not have a statistically significant effect on the thin places in the yarn. In Ne 20 yarns, waste has a significant effect on thin places with a p -value of 0.017. From Table 6, it is also seen that for Ne 20 yarns, the relationship between waste and thin places is moderately strong and negative, whereas these relationships are not strongly and positive for the other yarn counts. This means that waste content partially decreases thin places in Ne 20 yarns.

3.3. Thick Places

As can be seen from Figure 4 and Table 5, the thick places for Ne 10 yarns are close to each other and 100% CO has the highest value. In Ne 20 yarns, 90-10% CO-WST yarn has the highest thick places, while 70-30% CO-WST yarn has the lowest value, and a tendency to increase in the thick places is observed with the increase in the waste ratio in the yarn, excluding yarns containing 10, 20 and 30% waste in general. In Ne 30 yarns, 80-20% CO-WST yarn has the highest thick places

and 70-30% CO-WST yarn has the lowest value as in 20 number yarns. Although there is a zigzag trend with the increase in the waste ratio, there is an increase in the thick places, as in Ne 20 yarns. When all yarn counts are considered together, it should be stated that thick places are seen at least in Ne 10 yarns, most in Ne 20 yarns, and closer to Ne 20 yarns in Ne 30 yarns, but at lower values.

ANOVA results given in Table 5 show that waste content has significant effect on the thick values for all yarn counts, based on p values of ≤ 0.05 . However, when correlation results in Table 6 are investigated there is only close to moderately and negative relationship between waste and thick places for Ne 20 yarns. This indicates that increasing waste content partially decreases thick places for Ne 20 yarns.

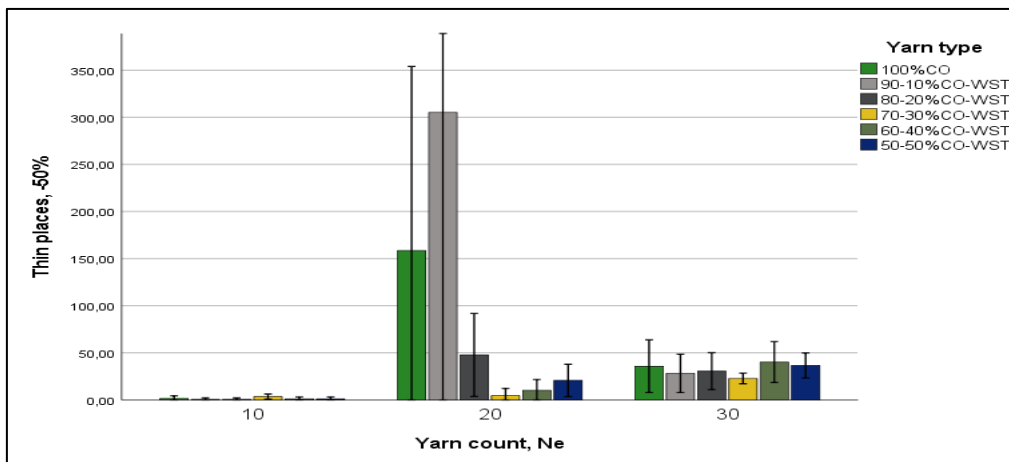


Figure 3. Thin places

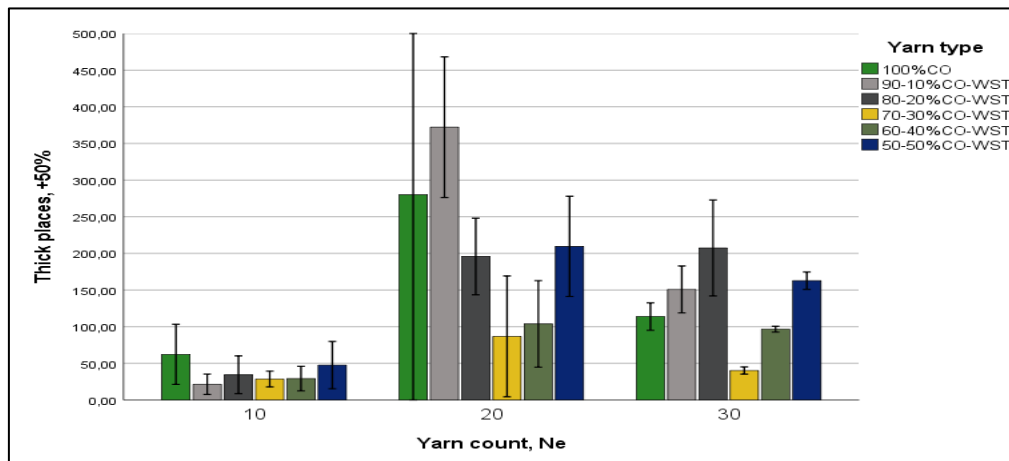


Figure 4. Thick places

3.4. Neps

From Figure 5 and Table 5, it is seen that the neps values of all blended yarns in Ne 10 yarns are almost the same and almost non-existent. Zigzag

trends are observed for both Ne 20 and Ne 30 yarns, and it is seen that neps values increase from 100%CO yarn to 80-20% CO-WST yarns, decrease when it comes to 70-30% CO-WST yarns, but increase again from 70-30% CO-WST

yarns to 50-50% CO-WST yarns. On the other hand, 100%CO yarn has the lowest neps value in Ne 20 yarns, while 30-70% CO-WST yarn has the lowest neps value in Ne 30 yarns. According to the highest neps values, it is seen that the max values are close to each other in yarns with different waste ratios in Ne 20 yarns, and 80-20% CO-WST yarn in Ne 30 yarns has the highest neps value with a much higher value than expected. In general, when evaluated in terms of all blended yarns, it can be said that Ne 30 yarns have higher neps values than Ne 20 yarns, except for 30-70% CO-WST and 40-60% CO-WST yarns, and the neps values of these yarns are slightly higher in Ne

20 yarns than that of Ne 30 yarns.

Based on ANOVA results, p value for Ne 10 is greater than 0.05, whereas p values for Ne 20 and Ne 30 yarns are lower than 0.05. These results show that waste content does not have a statistically significant effect on neps of Ne 10 yarn, but it has significant effect on neps in Ne 20 and Ne 30 yarns. Correlation results in Table 6 display that the relationship between waste and neps is moderately strong and positive for Ne 20 yarns, whereas these relationships are not strongly for the other yarn counts. This means waste content in Ne 20 yarns partially increases neps.

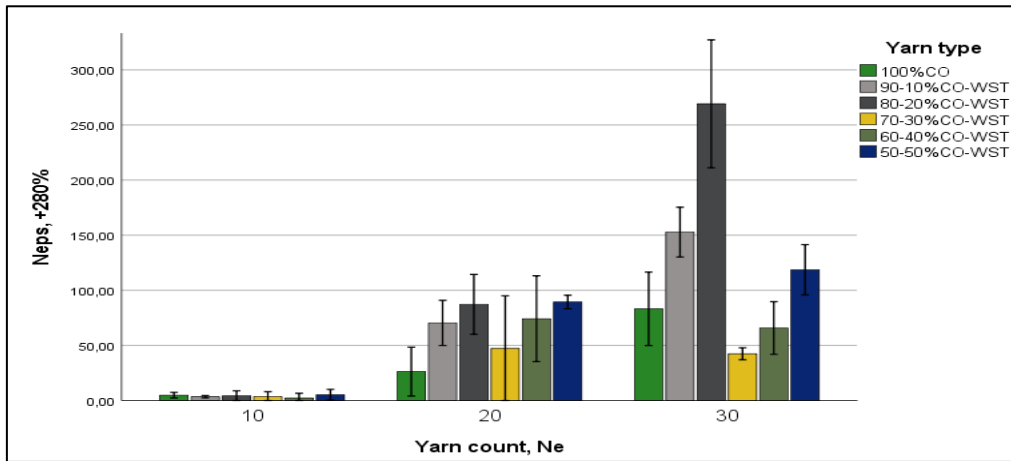


Figure 5. Neps

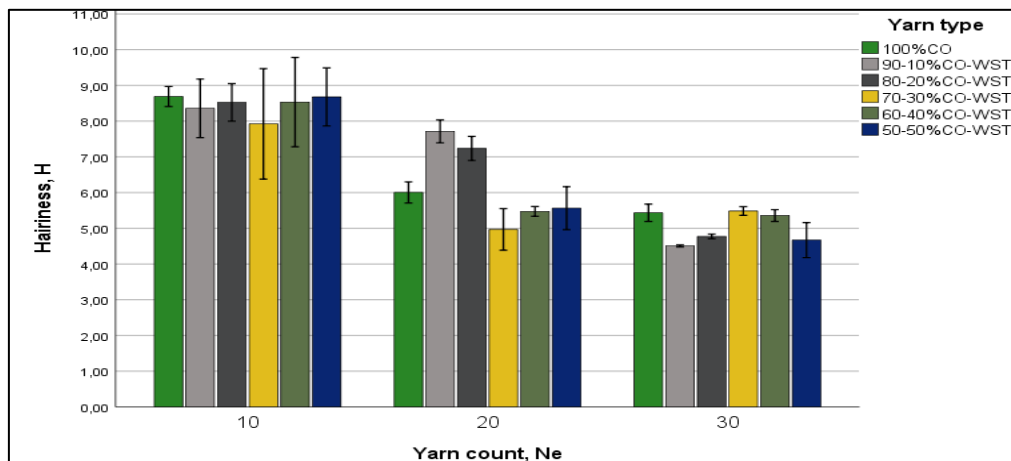


Figure 6. Hairiness

3.5. Hairiness

According to Figure 6 and Table 5, the hairiness values decrease significantly from Ne 10 yarns to Ne 30 yarns, that is, from coarse yarns to fine yarns. While 70-30% CO-WST yarn has the lowest hairiness value for Ne 10 yarns, the hairiness values of other yarns are very close to each other. In Ne 20 yarns, 90-10% CO-WST and 80-20% CO-WST yarns showed the highest hairiness with close values, 70-30% CO-WST yarn showed the lowest hairiness, while the other yarns showed very close hairiness with slightly higher hairiness values than that of this yarn. In Ne 30 yarns, contrary to the trends seen in Ne 20 yarns, 90-10% CO-WST, 80-20% CO-WST and 50-50% CO-WST yarns have the lowest hairiness with almost the same values, while 100% CO, 70-30% CO-WST and 60-40% CO-WST yarns have higher hairiness with the same values. However, when the 90-10% CO-WST and 80-20% CO-WST yarns in Ne 20 yarns are ignored in general, it is possible to state that the hairiness values of yarns with different waste ratios in all yarn counts do not differ much.

ANOVA results in Table 5 show p value is higher than 0.05 for Ne 10, while p values are lower than 0.05 for Ne 20 and Ne 30 yarns. These results express that waste content does not have a statistically significant effect on hairiness in Ne 10 yarn, whereas it has significant effect on hairiness of Ne 20 and Ne 30 yarns. From Table 6, it is seen that there is moderately strong and negative relationship between waste and hairiness for Ne 20 yarns, and this means waste content partially decreases hairiness in Ne 20 yarns.

3.6. Breaking Strength (Tenacity)

From Figure 7 and Table 5, where the strength test results are shown, it is observed that the strength values decrease from coarse yarns to fine yarns, that is, from Ne 10 yarns to Ne 30 yarns. For Ne 10 yarns, it is seen that with the increase of the waste ratio, the strength decreases in general and the yarn with the highest waste ratio, 50-50% CO-WST yarn, has the lowest strength value. In Ne 20 yarns, 100% CO and 90-10% CO-WST yarns with

the highest cotton content have the lowest and the same strength values, while the yarns containing 20%, 30%, and 40% waste have the highest and almost the same strength values. In Ne 30 yarns, when 100% CO yarn and 50-50% CO-WST yarn are excluded, it is seen that the strength values decrease with the increase in the waste ratio, while 100% CO, 70-30% CO-WST and 60-40% CO-WST yarns have the lowest and almost the same strength values, while 90-10% CO-WST yarn has the highest value, 80-20% CO-WST and 50-50% CO-WST yarns are slightly lower than that of this yarn and have the same strength values as each other. When the yarns that disrupt the general trend are ignored, it can be said that the increase in the waste ratio in all yarn counts reduces tenacity values in terms of strength.

According to p values ≤ 0.05 in Table 5, waste has significant effect on tenacity for all yarn counts. Correlation results display that the relationship between waste and tenacity is strong and negative for Ne 10 yarns whereas it is moderately strong and positive for Ne 20 yarns. These give meaning of waste content decreases tenacity in Ne 10 yarns, while it increases tenacity in Ne 20 yarns.

3.7. Breaking Elongation

The elongation results seen in Figure 8 and Table 5 showed parallelism with the strength results, and accordingly, it is observed that the elongation at break values decreases from coarse yarns to fine yarns, that is, from Ne 10 yarns to Ne 30 yarns, except for yarns that do not comply with the general trend. In the evaluation based on yarn counts, it is seen that the elongation values of yarns with different waste ratios are close to each other for Ne 10 and Ne 30 yarns. For Ne 20 yarns, the elongation values are gathered under two groups, that is, the elongation values of 100% CO, 90-10% CO-WST and 50-50% CO-WST yarns are low and close to each other, on the contrary, the elongation values of 80-20% CO-WST, 70-30% CO-WST and 60-40% CO-WST yarns are close to each other and much higher than that of other yarns.

From Table 5, it is seen that p values are lower

than 0.05 for Ne 10 and Ne 20 yarns, while p value is higher than 0.05 for Ne 30 yarns. These results show that waste content has a significant effect on elongation in Ne 10 and Ne 20 yarns, as it has not significant effect on elongation in Ne 30 yarns.

According to Table 6, there is moderately strong and negative relationship between waste and elongation for Ne 10 yarns, and this express increase in waste content partially decreases elongation in Ne 10 yarns.

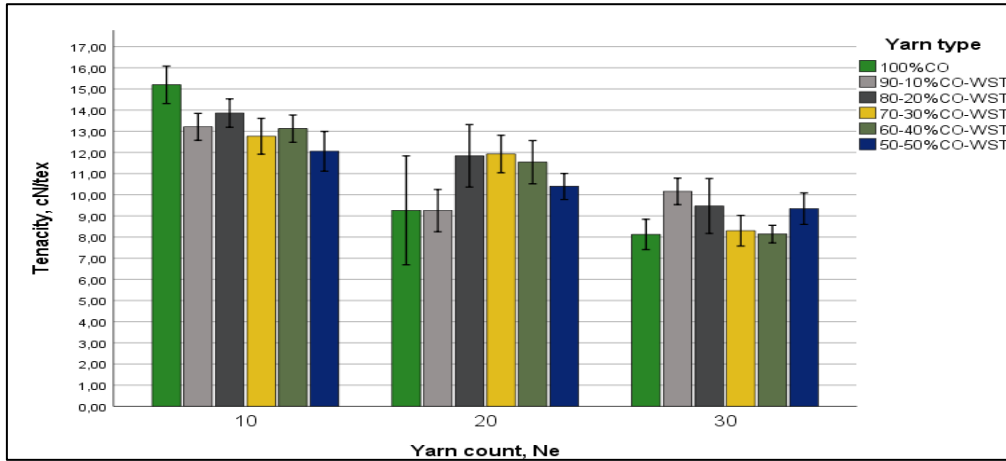


Figure 7. Breaking strength (Tenacity)

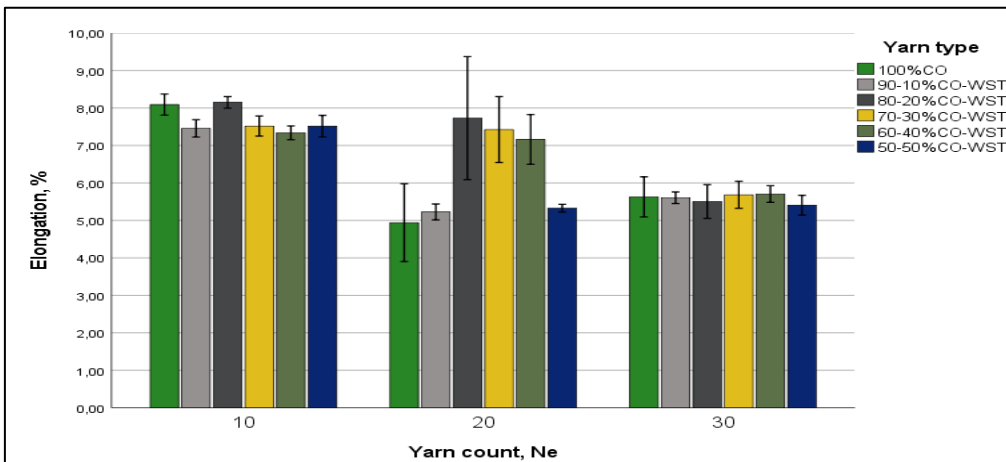


Figure 8. Breaking elongation

4. CONCLUSION

In this study, yarns containing 10-50% waste using cotton as the main fiber were obtained in 3 different yarn counts, Ne 10, Ne 20, and Ne 30, and it was aimed to reveal the effects of waste on yarn properties.

As a result of the graphical and statistical evaluations of the obtained data, it was determined that the waste did not affect the yarn properties as negatively as expected.

Excluding the breaking strength and elongation, the yarn count that was least affected by the waste content was Ne 10, the coarsest yarn. While the breaking strength and elongation of Ne 10 yarns

decreased with the increase in the waste ratio, yarn evenness, yarn imperfection, and hairiness values were close to each other in all blend ratios, and the increase in the waste rate did not adversely affect these properties.

In Ne 20 yarns, on the other hand, it was determined that the effect of waste on yarn properties showed a zigzag trend, increasing from low waste ratio too high, generally, 70-30% CO-WST yarn breakage occurred and then again with the increase of waste, it partially negatively affected yarn properties. Except unevenness and elongation, all yarn properties were moderately affected by waste content.

As in Ne 20 yarns, for Ne 30 yarns, the effect of waste shows a partially zigzag tendency, but the properties of yarns with different blend ratios are closer to each other and the increase in waste ratio has fewer negative effects on yarn properties as seen in unevenness, thin places, and breaking elongation. Also, as in Ne 20 yarns, while the waste ratio changed in terms of yarn properties, the breaking point was mostly 70-30% CO-WST yarns. The yarn properties that were most affected by the increase in waste content and ratio in Ne 30 yarns were thick places, neps and tenacity although the effects are limited.

Considering all the yarn counts, it was concluded that Ne 10 is the most suitable yarn count in the production of waste yarn, considering that the waste content and ratio in the blended yarns affect the yarn properties less and even do not make a significant difference as expected.

In addition, for Ne 20 and Ne 30 yarns, when hairiness and breaking strength-elongation are not taken into account, it has been observed that the optimum blend ratio in terms of yarn unevenness and yarn imperfections is in the 70-30% CO-WST yarn, that is, the yarn containing 30% waste. While 30% waste rate is the most suitable in terms of all properties of Ne 20 yarns, it seems reasonable to obtain yarn with lower waste rates in Ne 30 yarns in terms of hairiness and breaking strength.

In future studies, it is recommended to obtain

yarns with higher waste ratios, especially in Ne 10 yarns, to reveal the effects of waste on yarn properties and fabric properties, and to identify yarns and fabrics where more waste can be used in terms of sustainability.

5. ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank Kayra Elyaf Recycling Industry and Trade Inc. for their support in supplying yarn wastes, Kardeşler Clothing, Dying and Knitting Industry and Trade Inc. for their support in producing yarn samples and supplying cotton fibers, which is the main fiber, and Zafer Textile for their support in testing yarn samples.

6. REFERENCES

1. Hazır Giyim Sektöründe Sürdürülebilir Trendler, <https://uib.org.tr/tr/kbfile/surdurulebilirlik-raporu-nisan-2017>, (Accessed 12 January 2022)
2. Boström, M., Micheletti, M., 2016. Introducing The Sustainability Challenge of Textiles and Clothing. *J. Consum. Policy.* 39 (4), 367-375.
3. Preferred Fiber & Materials, Market Report, https://textileexchange.org/app/uploads/2022/10/Textile-Exchange_PFMR_2022.pdf (Accessed 1 December 2022).
4. Made-By Environmental Benchmark for Fibres, <https://www.commonobjective.co/article/made-by-environmental-benchmark-for-fibres> (Accessed 12 January 2022)
5. A New Textiles Economy: Redesigning Fashion's Future. <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications> (Accessed 12 January 2022)
6. The Risks of Cotton Farming- Environmental Risks. <https://www.organiccotton.org/oc/Cotton-general/Impact-of-cotton/Risk-of-cotton-farming.php> (Accessed 03 September 2022)
7. Rana, S., Pichandi, S., Karunamoorthy, S., Bhattacharyya, A., Parveen, S., Figueiro, R., 2015. Environmental and Social Assessment of Apparel Manufacturing, Carbon Footprint of Textile and Clothing Products. *Handbook of Sustainable Apparel Production*, 141-165.
8. Kant, R., 2012. Textile Dyeing Industry an Environmental Hazard. *Nat. Sci.* 4 (1), 22-26.

9. Hassaan, M.A., El Nemr, A., 2017. Health and Environmental Impacts of Dyes: Mini-Review. *American J. Environ. Sci. Eng.* 1(3), 64-67.
10. Carbon Footprint Study., 2009. 220 Grams Textile, 11 Kilograms CO₂, the Carbon Footprint of Clothing Sustain Consulting GmbH. Final Summary, 2.
11. Solid and Hazardous Waste:
<https://courses.lumenlearning.com/suny-monroe-environmentalbiology/chapter/13-2-waste-management-strategies/> (Accessed January 2022).
12. Klöpffer, W., 1996. Allocation Rule for Open-Loop Recycling in Life Cycle Assessment. *Int. J. Life Cycle Assess.*, 1(1), 27-31.
13. Ekvall, T., Finnveden, G., 2001. Allocation in ISO 14041-A Critical Review. *J. Clean. Product.* 9(3), 197-208.
14. Koo, H.J., Chang, G.S., Kim, S.H., Hahm, W.G., Park, S.Y., 2013. Effects of Recycling Processes on Physical, Mechanical, and Degradation Properties of PET Yarns. *Fibers Polym.* 14(12), 2083-2087.
15. Duru, P., Babaarslan, O., 2003. Determining an Optimum Opening Roller Speed for Spinning Polyester/Waste Blend Rotor Yarns. *Text. Res. J.* 73(10), 907-911.
16. Gun, A.D., Akturk, H.N., Macit, A.S., Alan, G., 2014. Dimensional and Physical Properties of Socks Made from Reclaimed Fibre. *J. Text. I.* 105(10), 1108-1117.
17. Khan, M.K.R., Hossain, M.M., Sarker, R.C., 2015. Statistical Analyses and Predicting the Properties of Cotton/Waste Blended Open-End Rotor Yarn Using Taguchi OA Design. *Int. J. Textile Sci.* 4(2), 27-35.
18. Wanassi, B., Azzouz, B., Hassen, M.B., 2016. Value-Added Waste Cotton Yarn: Optimization of Recycling Process and Spinning of Reclaimed Fibers. *Industr. Crops and Products*, 87, 27-32.
19. Yelkovan, S., 2015. Pamuk ve Geri Dönüşüm Pamuk Liflerinden Eğrilen İpliklerin Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uşak, 147.
20. Gun, A.D., Alan, G., Macit, A.S. 2016. Thermal Properties of Socks Made from Reclaimed Fiber. *J. Text. I.* 107(9), 1112-1121.
21. Telli, A., 2016. Geri Dönüşüm Pamuk, R-PET ve Karışımlarının Denim Kumaş Üretiminde Kullanılması. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 177.
22. Yuksekkaya, M.E., Celep, G., Dogan, G., Tercan, M., Urhan, B., 2016. A Comparative Study of Physical Properties of Yarns and Fabrics Produced from Virgin and Recycled Fibers. *J. Eng. Fibers Fabr.*, 11(2), 68-76.
23. Vadicherla, T., Saravanan, D., 2017a. Effect of Blend Ratio on the Quality Characteristics of Recycled Polyester/Cotton Blended Ring Spun Yarn. *Fibres Text. East. Eur.* 2(122), 48-52.
24. Sarioğlu, E., Kaynak, H.K., 2018. PET Bottle Recycling for Sustainable Textiles. Polyester-Production, Characterization, and Innovative Applications. *Intech Open. London.* 5-20.
25. Béchir, W., Béchir, A., Mohamed, B.H., 2018. Industrial Cotton Waste: Recycling, Reclaimed Fiber Behavior and Quality Prediction of its Blend. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 28(1), 14-20.
26. Demiroz, Gun, A., Oner, E., 2019. Investigation of the Quality Properties of Open-End Spun Recycled Yarns Made from Blends of Recycled Fabric Scrap Wastes and Virgin Polyester Fiber. *J. Text. I.* 110(11), 1569-1579.
27. Uyanık, S., 2019. A Study on the Suitability of Which Yarn Number to Use for Recycled Polyester Fiber. *J. Text. I.* 110(7), 1012-1031.
28. Ute, T.B., Celik, P., Uzumcu, M.B., 2019. Utilization of Cotton Spinning Mill Wastes in Yarn Production. *Textile Industry and Environment. IntechOpen.* 53-63.
29. Ütebay, B., Çelik, P., Çay, A., 2019. Effects of Cotton Textile Waste Properties on Recycled Fibre Quality. *J. Clean. Prod.*, 222, 29-35.
30. Kilic, M., Kaynak, H.K., Kilic, G.B., Demir, M., Tiryaki, E., 2019. Effects of Waste Cotton Usage on Properties of OE-Rotor Yarns and Knitted Fabrics. *Industr. Textile*, 70(3), 216-222.
31. Sarioğlu, E., 2019. An Investigation on Performance Optimization of R-PET/Cotton and V-PET/Cotton Knitted Fabric. *Int. J. Cloth. Sci. Tech.* 31(3), 439-452.
32. Uyanık, S., 2020. Analysis of Splicing Method on Bursting Strength of the Knitted Fabrics. Çukurova University, J. Facul. Engineer. Architect, 35(4), 959-968.

Mask R-CNN Derin Sinir Ağı ile Demiryolu Hattı Bileşenlerinde Çoklu Hata Tespiti

Merve YILMAZER*¹ ORCID 0000-0001-7055-6299

Mehmet KARAKÖSE² ORCID 0000-0002-3276-3788

İlhan AYDIN² ORCID 0000-0001-6880-4935

Erhan AKIN² ORCID 0000-0001-6476-9255

¹Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Tunceli

²Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ

Geliş tarihi: 14.04.2022 Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: YILMAZER, M., KARAKÖSE, M., AYDIN, İ., AKIN, E., (2022). Mask R-CNN Derin Sinir Ağı ile Demiryolu Hattı Bileşenlerinde Çoklu Hata Tespiti. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 1103-1111.

Öz

Demiryolu birçok yolcunun aynı anda seyahat edebilmesine olanak tanıyan aynı zamanda yük taşımacılığında da sıklıkla kullanılan bir ulaşım çeşididir. Ulaşımında kazalar ve aksamalar meydana gelmemesi için hattın periyodik olarak kontrolünün sağlanması ve hatalı bileşenlerin belirlenerek onarılması gerekmektedir. Raylı ulaşım sistemlerinin güvenliğinin sağlanması için yapılan manuel denetimlere alternatif olarak, son zamanlarda görüntü işleme algoritmaları ve derin öğrenme algoritmaları kullanılarak temassız, hızlı ve güvenilir sonuçlar veren hata tespit yöntemleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada sağlıklı olan traversler ve travers üzerinde meydana gelen çeşitli hataların tespit edilmesine yönelik Mask R-CNN derin sinir ağı mimarisi kullanılarak yeni bir yöntem önerildi. Üç farklı hata türü ve sağlıklı travers olmak üzere toplamda dört farklı sınıf etiketi ile etiketlenen gerçek demiryolu görüntüleri kullanılarak model eğitimi ve eğitilen modelin test edilmesi sağlandı. Değerlendirme metrikleri hesaplanarak modelin başarı performansı ölçüldü. Sağlıklı ve hatalı olan traversleri belirlemede modelin doğruluğu %95 olarak belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Demiryolu traversi, Mask r-cnn, Arıza tespiti, Otonom drone

Multiple Fault Detection in Railway Components with Mask R-CNN Deep Neural Network

Abstract

Railway is a type of transportation that allows many passengers to travel at the same time and is often used in freight transportation. In order to prevent accidents and disruptions in transportation, the line is checked periodically, faulty components are determined and repaired or replaced with new ones. As an alternative to manual inspections to ensure the safety of rail transportation systems, defect detection

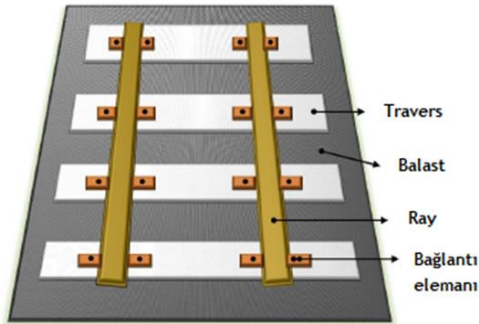
*Sorumlu yazar (Corresponding author): Merve YILMAZER, merveyilmazer@munzur.edu.tr

methods that provide contactless, fast and reliable results have been developed recently by using image processing algorithms and deep learning algorithms. In this study, a new method is proposed using Mask R-CNN deep neural network architecture to detect healthy sleepers and various faults on the sleeper. Model training and testing of the trained model were provided by using real railway images labeled with four different class labels, three different error types and healthy sleeper. The success performance of the model was measured by calculating the evaluation metrics. The accuracy of the model was determined as 95% in determining the healthy and faulty sleepers

Keywords: Railway sleeper, Mask r-cnn, Fault detection, Autonomous drone

1. GİRİŞ

Demiryolu ulaşım sistemleri dünyanın birçok yerinde yolcu ve yük taşımacılığında kullanılmaktadır. Demiryolu hattı raylar, traversler, bağlantı elemanları ve balast gibi üst yapı malzemelerinden oluşur (Şekil 1). Ray, trenin üzerinde hareket ettiği ve tren tekerleğinin devamlı olarak temas ettiği yüzeydir. Travers, raylardan gelen yükü balasta yayarak hat açıklığının korunmasını sağlar. Balast, raylar ile traverslerin aralarında kalan boşlukları doldurduğu gibi yağmur ve kar sularının hat yüzeyine zarar vermeden toprağa geçmesini sağlar. Bağlantı elemanı, ray ile traversin birbirine bağlanması için kullanılır [1,2].



Şekil 1. Demiryolu hattı bileşenleri [3]

Demiryolu sürekli olarak iklime, ısıya tren tekerleğine bağlı sürtünmeye maruz kaldığı için çeşitli fiziksel ve çevresel etkiler sonucu birçok arıza meydana gelir. Meydana gelen arızaların tespit edilip onarılması amacıyla geleneksel yöntemlerle denetim yapılır. Geleneksel yöntemlerde uzman personelin hat boyunca ilerlemesi ile sağlanan arıza tespiti uzun zaman

alan ve başarı oranı düşük bir denetim yöntemidir. Bu denetim yöntemine alternatif olarak görüntü işleme ve derin öğrenme algoritmaları kullanılarak geliştirilen birçok arıza tespit yöntemi vardır. Bu yöntemler genel olarak rayda yüzey aşınmalarının tespit edilmesi [4], bağlantı elemanlarının kırık veya eksik olması ile ray travers bağlantı noktalarında meydana gelen hataların tespit edilmesi [5]. Isı değişimleri sonrası ray çeliğinin genişlemesine bağlı olarak raylar arası kasıtlı bırakılan genişleme boşluklarındaki değişimlerin [6] ve standart hat açıklığında meydana gelen değişimlerin belirlenmesi [7] gibi çeşitli arızaların tespit edilmesine yönelik olarak yapılmaktadır [8,9].

2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Çeşitli arıza türlerinin temassız yöntemlerle tespit edilmesi için yapılan çalışmalar incelendi ve bazılarının genel olarak aşağıda yer verildi.

Liu ve arkadaşları [9] görsel demiryolu verilerini kullanarak bağlantı elemanlarına bağlı hataları tespit etmek amacıyla yeni bir yöntem önermişlerdir. Önerdikleri yöntemde öncelikle görüntülerdeki bağlantı elemanı bölgelerini belirlemek için derin algılama ağı (MSF-DNN) kullanmışlardır. Daha sonra belirlenen bölgeleri sınıflandırmışlardır. Yöntem değerlendirmesi için ortalama kesinlik ve duyarlılık metriklerini kullanmışlardır. Böylece %96,4'lük bir ortalama hassasiyet ve %96,3'lük bir duyarlılık ölçütü ile bağlantı elemanlarını tespit edebildiklerini göstermişlerdir. Faghih-Roohi ve arkadaşları [10] ray yüzey kusurlarını tespit etmek için altı sınıflı derin evrişimli sinir ağı (DCNN) eğitmişlerdir. İki farklı aktivasyon fonksiyonu olan Tanh ve RELU

kullanarak eğitim yapmışlardır. Yaklaşık %92'lik doğruluk (accuracy) oranında sınıflandırma başarıları elde etmişlerdir. Gibert ve arkadaşları [11] doğrusal SVM sınıflandırıcısı ve yönlendirilmiş gradyan özelliklerinin histogramı kombinasyonunu kullanarak bağlantı elemanlarını algılamak amacıyla yaptıkları çalışmada %98 algılama olasılığı ve %1,23 yanlış alarm oranıyla eksik veya kusurlu ray bağlantı elemanlarını belirleyebildiklerini göstermişlerdir.

Chen ve arkadaşları [12] balastsız yüzeylerdeki hataların tespit edilmesi amacıyla yarı denetimli bir algoritma önermişlerdir. Ray ile bağlantı elemanı arasında herhangi bir yabancı cisim olmadığını varsayarak bu bölgeleri çıkarmak için Mask R-CNN algoritmasını kullanmışlardır. Singh ve arkadaşları [13] İHA görüntülerini kullanarak demiryolu traverslerini tespit etmeyi amaçlamışlardır.

Bunun için YOLOv4 algoritmasına dayalı bir nesne algılama modeli kullanmışlardır. Önerdikleri yöntemin %92 hassasiyet, %99,10 duyarlılık, %99,08 ortalama hassasiyet (mAP) başarı oranlarında demiryolu traverslerini tespit edebildiklerini göstermişlerdir. Yanan ve arkadaşları [14] ray yüzey kusurlarını tespit etmek için YOLOv3 modeline dayalı bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntem ile ray yüzey kusurları 0,15s'de %97 tanıma oranı ile tespit edilebilmişlerdir.

Guo ve arkadaşları [15] demiryolu bağlantı elemanı kusurlarını tespit etmek için Yolov4'e dayalı yeni bir yöntem önermişlerdir. Önerdikleri

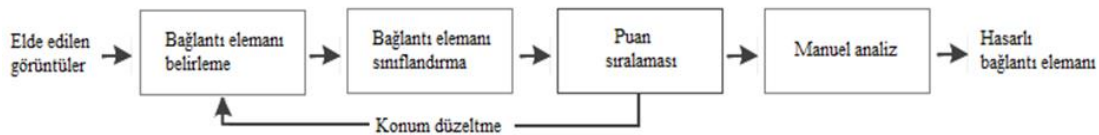
yöntemin başarı performansının %94,4 olduğunu göstermişlerdir.

Zhuang ve arkadaşları [16] %98,2 doğruluk oranı ile DenseNet derin öğrenme modeline dayalı ray yüzeyinde çoklu kusur tespit yöntemi önermiştir.

Zhao ve arkadaşları [17] makine görmesine dayalı ray hasarlarını algılama sistemi geliştirmişlerdir. CCD endüstriyel kamera ile gerçek zamanlı olarak elde edilen görüntüler çevresel parlaklıkların giderilmesi için RGB ve HSI renk uzayına dönüştürülmüş Gauss bulanıklığı ile gürültüler kaldırılarak hasarlı bölgeleri tespit etmişlerdir.

Zheng ve arkadaşları [18] Type-1 RSDD açık kaynaklı veri setinden 67 ve Çin demiryolu şirketinden alınan 35 demiryolu görüntünü içeren bir veri seti kullanarak derin transfer öğrenme (DTL) ile ray yüzey çatlaklarını tespit etmişlerdir. Derin transfer öğrenmede COCO veri kümesine dayalı olarak önceden eğitilmiş olan YOLOv3 ve RetinaNet modellerini kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada küçük boyutlu çatlakları tespit etmek için YOLOv3 modelinin, büyük boyutlu çatlakları tespit etmek için ise RetinaNet modelinin daha iyi performans gösterdiğini belirlemişlerdir.

Marino ve arkadaşları [19] kanca şeklindeki eksik bağlantı elemanlarını tespit etmek için çok katmanlı bir sinir ağı kullanmışlardır. Feng vd. [20] Kısmen aşınmış veya tamamen eksik bağlantı elemanlarını tespit etmek için Şekil 2'de akış diyagramı verilen otomatik bir arıza tespit yöntemi önermişlerdir.



Şekil 2. Önerilen yöntem blok diyagramı [20]

Wu ve arkadaşları [21] demiryolunda ray segmentasyonu yapmak ve ray yüzey kusurlarını tespit etmek amacıyla hibrit bir yöntem önermişlerdir. Önerdikleri yöntemin yüksek

doğruluk oranlarında tespit yapabildiğini deneysel sonuçlar ile göstermişlerdir.

Ye ve arkadaşları [22] demiryolu beton bloklarında meydana gelen çatlaklıkların tespit edilmesi

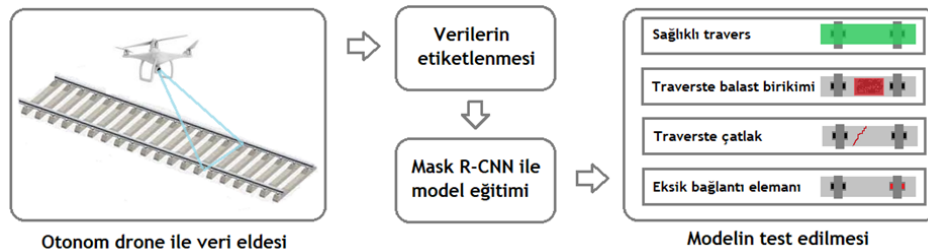
amacıyla derin öğrenme ağı olan STCNet'i kullanarak yeni bir yöntem önermişlerdir. Önerdikleri yöntemin doğruluk ve fl skor oranını %99,54 olarak belirtmişlerdir.

Bu çalışmada derin öğrenmede görüntüler üzerinde segmentasyon yapılmasına olanak sağlayan Mask R-CNN kullanılarak demiryolu arıza tespiti yapıldı. Bu kapsamda sağlıklı ve üç farklı hata türü olmak üzere dört sınıf kullanıldı. Arızalı sınıflar, beton traverslerde yüzey çatlakları arızası, travers üzerinde bulunan bağlantı elemanlarının eksik olmasından kaynaklanan arıza ve travers üzerinde biriken balast arızası olarak belirlendi. Yapılan çalışmanın literatürdeki mevcut çalışmalara göre en önemli avantajı tek yöntem ile birden fazla arıza türünün yüksek başarı oranları ile tespit

edilmesinin sağlanmasıdır. Yöntemde kullanılan gerçek demiryolu görselleri otonom drone kullanılarak elde edildi.

3. YÖNTEM

Demiryolu hattında çeşitli nedenler ile meydana gelen hataların tespitini sağlamak amacıyla yeni bir yöntem önerildi. Traverste çatlak, travers üzerinde balast birikimi, eksik bağlantı elemanı hataları olmak üzere toplamda üç hata türü ve sağlıklı traverslerin tespit edilmesi için geliştirilen yöntemde derin öğrenmede görüntü segmentasyonu yapılmasına olanak tanıyan Mask R-CNN kullanıldı.



Şekil 3. Önerilen yöntem blok diyagramı

Şekil 3'de blok diyagramı verilen yöntemin gerçekleştirme adımları aşağıda verildi.

- Otonom drone yardımı ile tren ve personelden bağımsız olarak elde edilen demiryolu görsel verilerini içeren veri seti oluşturuldu.
- Oluşturulan veri setindeki görüntülerde sağlam travers, eksik bağlantı elemanı, traverste balast birikimi ve traverste çatlak olmak üzere dört farklı grupta etiketleme yapıldı.
- Etiketli veriler ile eğitim ve test veri setleri oluşturuldu.
- Eğitim veri seti kullanılarak Mask R-CNN derin sinir ağı eğitildi.
- Eğitim veri seti kullanılarak Mask R-CNN derin sinir ağı eğitildi.
- Test veri seti kullanılarak eğitilen modelin görüntüler üzerinde hatalı olan bölgeleri tahmin etme oranı belirlendi.
- Model değerlendirme metrikleri hesaplanarak modelin performansı ölçüldü.

- Elde edilen yöntem çıktı görüntüleri ve model değerlendirmesi bulgular bölümünde verildi.

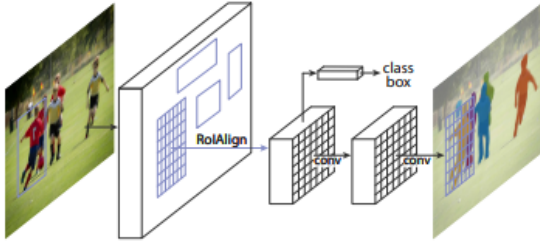
Veri eldesi için otonom drone kullanmanın sağladığı avantajlar şu şekilde sıralanabilir.

- Tren seferlerinden bağımsız olarak günün istenilen saatinde istenilen mesafe aralıklarında veri eldesi sağlanması.
- Veri eldesi için demiryolu hattının meşgul edilmemesi.
- İnsan iş gücünden ve zamandan tasarruf sağlanması.

3.1. Mask R-CNN

Mask R-CNN, nesnelere tanıma ve tanıyan nesnelere maskeleyme yoluyla belirleme gibi iki aşamadan oluşan, böylece nesnelere örnek segmentasyonu ile algılamayı hedefleyen derin bir sinir ağı mimarisidir. Şekil 4'te mimarisi verilen

Mask R-CNN ResNet50 veya ResNet101 omurgası kullanılarak uygulanmaktadır. Üç farklı kayıp fonksiyonunu içerir. Bunlar Lcls sınıflandırma kaybı, Lbox sınırlayıcı kutu kaybı, Lmask maske kaybıdır. Üç kayıp fonksiyonunun toplamı, toplam kayıp fonksiyonunu verir. Böylece toplam kayıp fonksiyonu $L = Lcls + Lbox + Lmask$ olarak ifade edilir [23].



Şekil 4. Mask R-CNN çerçevesi [23]

3.2. Materyal

Derin öğrenme modellerinin başarısını eğitim ve test için kullanılan verilerin niteliği etkilemektedir. Bu nedenle demiryolu arıza tespiti için önerilen bu çalışmada demiryolu görsel verileri otonom drone kullanılarak elde edildi. Böylece demiryolu kuş bakışı olarak üstten görüntülendi. Toplamda 885 demiryolu görüntüsü içeren veri seti oluşturuldu. Bu görüntülerin 504 tanesi model eğitimi için kullanıldı. Geri kalan 381 görüntü ile test veri seti oluşturuldu. Test veri setinde yer alan görüntülerin etiket türüne göre dağılımı Çizelge 1’de verildi.

Çizelge 1. Test veri seti dağılımı

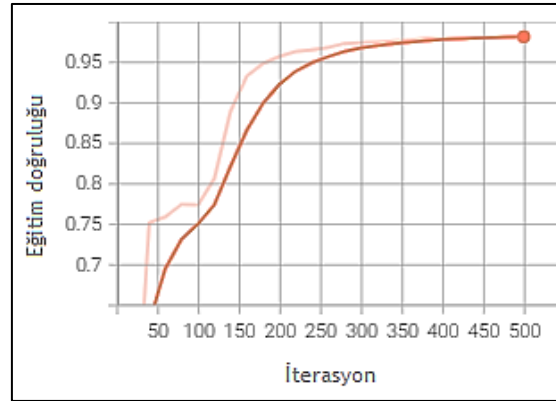
Etiket adı	Veri sayısı
Sağlıklı travers	97
Traverste balast birikimi	97
Traverste çatlak	90
Eksik bağlantı elemanı	97

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

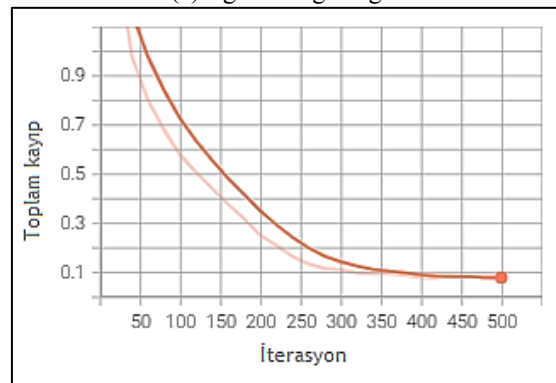
Ray, travers, bağlantı elemanı ve balasttan oluşan demiryolu hattında travers üzerinde meydana gelen hataların belirlenmesi amacıyla önerilen yöntemde Mask R-CNN derin sinir ağı mimarisi kullanıldı. Otonom drone yardımıyla elde edilen gerçek demiryolu verilerinde travers üzerinde bulunan

çatlaklıklar, balast birikimi, eksik bağlantı elemanları gibi hataların belirlenmesi sağlandı. Arıza olmayan traversler ise sağlıklı travers olarak sınıflandırıldı.

Veriler her sınıf için ayrı etiket ismiyle model eğitimi öncesinde etiketlendi. Eğitim sonrası test için ayrılan veriler kullanılarak modelin doğru tahmin oranı belirlendi. ResNet101 omurgasıyla oluşturulmuş Mask R-CNN 0.001 öğrenme oranı (LR) ile 500 iterasyonda eğitildi. Eğitim sonrası eğitim doğruluğu ve toplam kayıp değerlerini gösteren grafikler Şekil 5’te verildi. Böylece Eğitim doğruluğu 0.98, toplam kayıp fonksiyonu 0.079 olarak ölçüldü.



(a) Eğitim doğruluğu

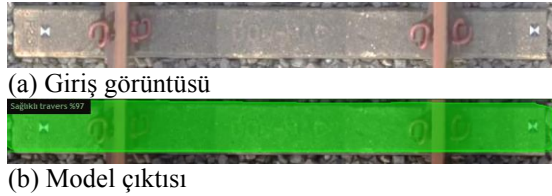


(b) Toplam kayıp

Şekil 5. Eğitim doğruluğu/toplam kayıp fonksiyonu grafikleri

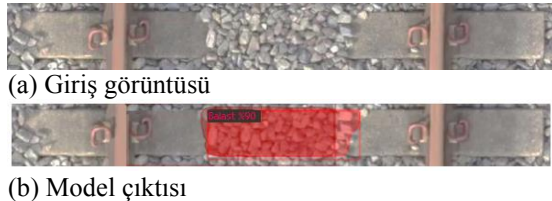
Eğitim tamamlandıktan sonra test için ayrılan görüntüler kullanılarak model test edildi.

Şekil 6’da sağlıklı olduğu bilinen bir traversin giriş görüntüsü (a) ile model sonrası tahmin çıktısı (b) verildi. Modelin sağlıklı traversi %97 oranında doğru tahmin ettiği görüldü.



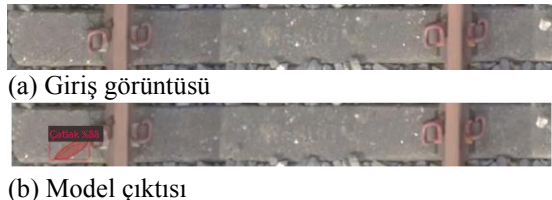
Şekil 6. Sağlıklı travers model giriş ve çıktı görüntüleri

Balast travers ile raylar arasında kalan boşluğu doldurarak ray açıklığı ve rayın geometrik şeklinin korunmasında etkili olduğu gibi yağmur ve kar sularının demiryolu hattında birikip hatta zarar vermeden toprağa geçmesini sağlar. Bu nedenle travers üzerinde biriken balast zamanla balast altında kalan bölümlerde deformasyona sebep olur. Şekil 7’de tarvers üzerinde biriken balast hatası giriş görüntüsü (a) ve model çıktısında hata tahmin oranı (b) verildi.

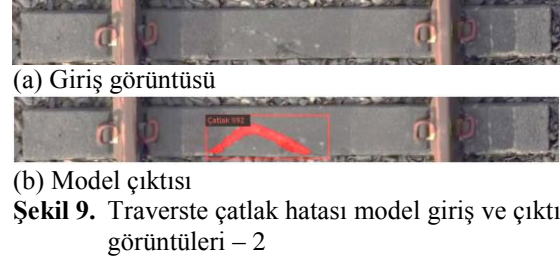


Şekil 7. Traverste balast birikimi hatası model giriş ve çıktı görüntüleri

Beton traversler üzerinde meydana gelen çatlaklıklar demiryolu hattı için tespit edilip onarılması gereken bir diğer arıza türüdür. Şekil 8 ve 9’da farklı çatlak tiplerinin giriş görüntüleri (a) ve model tahmin oranları (b) verildi.



Şekil 8. Traverste çatlak hatası model giriş ve çıktı görüntüleri – 1



Şekil 9. Traverste çatlak hatası model giriş ve çıktı görüntüleri – 2

Ray ile traversin birbirine bağlanmasını sağlayan bağlantı elemanlarının eksik olması zamanla ray hattında deformasyon oluşmasına sebep olur. Önerilen yöntemin bir sınıfında travers üzerinde eksik olan bağlantı elemanlarının tespiti yapıldı. Şekil 10’da giriş görüntüsü (a) ve yöntem çıktısı (b) verildi.



Şekil 10. Eksik bağlantı elemanı hatası model giriş ve çıktı görüntüleri

Modelin performansı Şekil 11’de örneği verilen çok sınıflı sınıflandırmada kullanılan karışıklık matrisi ve değerlendirme metrikleri olan hassasiyet, duyarlılık ve f1-skor hesaplanarak ölçüldü. Model test görüntüleri ile test edildikten sonra Şekil 12’de verilen karışıklık matrisi oluşturuldu. Karışıklık matrisi ve Eşitlik 1, 2, 3 ve 4 kullanılarak değerlendirme metrikleri hesaplandı. Elde edilen sonuçlar Tablo 2’de verildi.

$$Doğruluk = \frac{\sum_{i=1}^N DP(C_i)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N C_{i,j}} \quad (1)$$

$$Hassasiyet = (C_i) = \frac{DP(C_i)}{DP(C_i) + YP(C_i)} \quad (2)$$

$$Duyarlılık(C_i) = \frac{DP(C_i)}{DP(C_i) + YN(C_i)} \quad (3)$$

$$F1\text{ skor}(C_i) = 2 * \frac{\text{Hassasiyet}(C_i) * \text{Geri çağırma}(C_i)}{\text{Hassasiyet}(C_i) + \text{Geri çağırma}(C_i)} \quad (4)$$

		Tahmin sınıfı			
		C ₁	C ₂	...	C _N
Doğru sınıf	C ₁	C _{1,1}	YP	...	C _{1,N}
	C ₂	YN	DP	...	YN

	C _N	C _{N,1}	YP	...	C _{N,N}

Şekil 11. Çok sınıflı karışıklık matrisi [24]

Doğru sınıf	Sağlıklı travers	93	2	0	2
	Balast	2	90	4	1
	Çatlak	1	1	87	1
	Eksik	0	3	2	92
		Sağlıklı travers	Balast	Çatlak	Eksik
		Tahmin sınıfı			

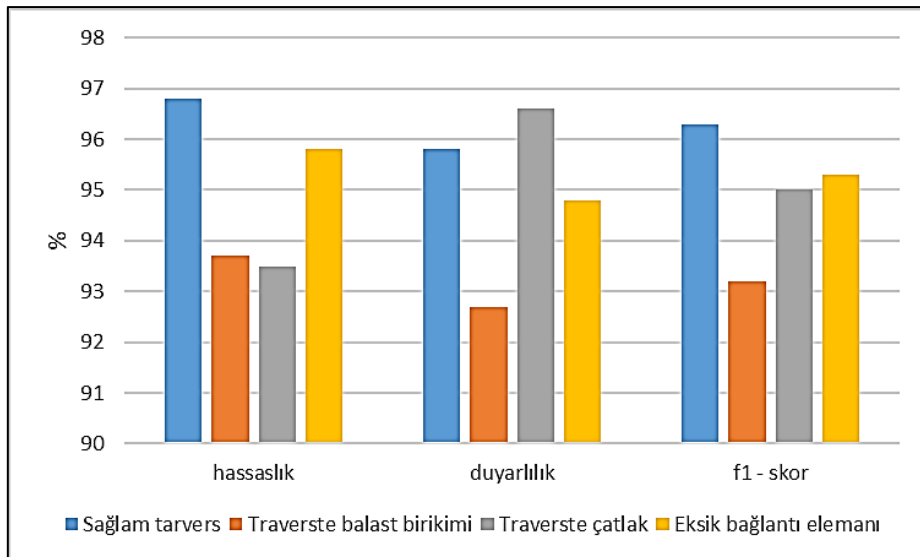
Şekil 12. Karışıklık matrisi

Çizelge 2. Model değerlendirme metrikleri

	Doğruluk (%)	Hassaslık	Duyarlılık	F1- skor
Sağlam travers	95	%96,8	%95,8	%96,3
Traverste balast birikimi		%93,7	%92,7	%93,2
Traverste çatlak		%93,5	%96,6	%95
Eksik bağlantı elemanı		%95,8	%94,8	%95,3

Çizelge 2’de görüldüğü gibi modelin sağlıklı ve çeşitli hataları belirleme başarısı %95 olarak hesaplandı. Her sınıf için değerlendirme metriklerinin karşılaştırılması Şekil 13’teki

grafikte verildi. Buna göre daha belirgin formda olan sağlam travers ve eksik bağlantı elemanı arızası sınıflarının daha yüksek başarı oranlarında tespit edilebildiği görüldü.



Şekil 13. Sınıfların tahmin karşılaştırması

Farklı veri setleri ve farklı yöntemler kullanılarak yapılan çalışmalar ile önerilen yöntemin karşılaştırılması Çizelge 3’de verildi. Birden fazla

sınıf için önerilen modelin yüksek başarı ile tespit yapabildiği belirlendi.

Çizelge 3. Yöntem karşılaştırması

Kaynak	İncelenen bileşen	Kullanılan yöntem	Yöntem başarısı
[10]	Ray yüzey kusuru	DCNN	Doğruluk :%92
[15]	Bağlantı elemanı hatası	YoloV4	Doğruluk : %94,4
[25]	Ray kusurları	FCN-Derin öğrenme ağı	Doğruluk : %81
Önerilen yöntem	Traverste balast birikimi Traverste çatlak Eksik bağlantı elemanı	Mask R-CNN	Doğruluk: %95

5. SONUÇLAR

Demiryolu ulaşım sistemleri hızlı trenlerin yaygınlaşmasıyla ve güvenilir olması sebebiyle sıklıkla kullanılmaktadır. Demiryolu hattı güvenliğinin devamlı olması için yapılan periyodik denetimlere alternatif olarak derin öğrenme algoritması ile yeni bir yöntem geliştirildi. Sağlıklı travers ve üç bileşen hatası (traverste balast birikimi, traverste çatlak ve eksik bağlantı elemanı) olmak üzere toplamda dört sınıf etiketi ile Mask R-CNN derin sinir ağı 0,98 eğitim doğruluk oranı elde edilerek eğitildi. Eğitim sonrası model test için ayrılan veri seti kullanılarak test edildi ve karışıklık matrisi ile değerlendirme metrikleri hesaplandı. Sağlam traversleri %96,8, traverste balast birikimi arızasını %93,7, traverste çatlak arızasını %93,5 ve eksik bağlantı elemanı arızasını %95,8 hassasiyet oranlarında tespit edebildiği belirlendi. Böylece yöntemin sağlıklı ve arızalı bileşenleri %95 genel doğruluk oranı ile tespit edebildiği belirlendi. Önerilen yöntemin avantajları, veri eldesinin otonom drone ile yapılarak zaman ve insan iş gücünden tasarruf edilmesi ayrıca tek metot ile birden fazla ray hattı bileşenine bağlı olarak gelişen arızaların tespit edilmesinin sağlanmasıdır.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından desteklenmektedir. Proje No: 120E097.

7. KAYNAKLAR

1. Tastimur, C., Yaman, O., Karakose, M., Akin, E. 2017. A Real Time Interface for Vision Inspection of Rail Components and Surface in Railways. In 2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP), IEEE, 1-6.
2. Li, Y., Trinh, H., Haas, N., Otto, C., Pankanti, S., 2013. Rail Component Detection, Optimization, and Assessment for Automatic Rail Track Inspection. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 15(2), 760-770.
3. Taştımur, C., 2017. Demiryolu Raylarında Makas Geçişlerinin Görüntü İşleme Tabanlı Temassız İzleme Yöntemiyle Tespit Edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ, 132.
4. Guo, F., Qian, Y., Rizos, D., Suo, Z., Chen, X. 2021. Automatic Rail Surface Defects Inspection Based on Mask R-CNN. Transportation Research Record, 2675(11), 655-668.
5. Chandran, P., Asber, J., Thiery, F., Odelius, J., Rantatalo, M. 2021. An Investigation of Railway Fastener Detection Using Image Processing and Augmented Deep Learning. Sustainability, 13(21), 12051.
6. Yilmazer, M., Karakose, M., Aydın, I. 2021, October. Detection and Measurement of Railway Expansion Gap with Image Processing. In 2021 International Conference on Data Analytics for Business and Industry (ICDABI), IEEE, 515-519.

7. Yilmazer, M., Karakose, M., Aydin, I., 2021. Determination of Railway Track Gauge with Image Processing. In 2021 International Conference on Data Analytics for Business and Industry (ICDABI), IEEE, 510-514.
8. Franca, A.S., Vassallo, R.F. 2020. A Method of Classifying Railway Sleepers and Surface Defects in Real Environment. IEEE Sensors Journal, 21(10), 11301-11309.
9. Liu, J., Teng, Y., Shi, B., Ni, X., Xiao, W., Wang, C., Liu, H. 2021. A Hierarchical Learning Approach for Railway Fastener Detection Using Imbalanced Samples. Measurement, 186, 110240.
10. Faghih-Roohi, S., Hajizadeh, S., Núñez, A., Babuska, R., De Schutter, B. 2016. Deep Convolutional Neural Networks for Detection of Rail Surface Defects. In 2016 International joint conference on neural networks (IJCNN), IEEE, 2584-2589.
11. Gibert, X., Patel, V.M., Chellappa, R., 2015. Robust Fastener Detection for Autonomous Visual Railway Track Inspection. In 2015 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision, IEEE, 694-701.
12. Chen, Z., Wang, Q., Yu, T., Zhang, M., Liu, Q., Yao, J., He, Q. 2022. Foreign Object Detection for Railway Ballastless Trackbeds: A Semisupervised Learning Method. Measurement, 110757.
13. Singh, A.K., Dwivedi, A.K., Nahar, N., Singh, D., 2021. Railway Track Sleeper Detection in Low Altitude UAV Imagery Using Deep Convolutional Neural Network. In 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, IEEE, 355-358.
14. Yanan, S., Hui, Z., Li, L., Hang, Z., 2018. Rail Surface Defect Detection Method Based on Yolov3 Deep Learning Networks. In 2018 Chinese Automation Congress (CAC), IEEE, 1563-1568.
15. Guo, F., Qian, Y., Shi, Y. 2021. Real-Time Railroad Track Components Inspection Based on the Improved Yolov4 Framework. Automation in Construction, 125, 103596.
16. Zhuang, L., Qi, H., Zhang, Z. 2021. The Automatic Rail Surface Multi-Flaw Identification Based on a Deep Learning Powered Framework. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.
17. Zhou, Q., 2021. A Detection System for Rail Defects Based on Machine Vision. In Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, 1748(2), 022012.
18. Zheng, Z., Qi, H., Zhuang, L., Zhang, Z., 2021. Automated Rail Surface Crack Analytics Using Deep Data-Driven Models and Transfer Learning. Sustainable Cities and Society, 70, 102898.
19. Marino, F., Distanto, A., Mazzeo, P.L., Stella, E., 2007. A Real-Time Visual Inspection System for Railway Maintenance: Automatic Hexagonal-Headed Bolts Detection. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C, Applications and Reviews, 37(3), 418-428.
20. Feng, H., Jiang, Z., Xie, F., Yang, P., Shi, J., Chen, L., 2013. Automatic Fastener Classification and Defect Detection in Vision-Based Railway Inspection Systems. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 63(4), 877-888.
21. Wu, Y., Qin, Y., Qian, Y., Guo, F., Wang, Z., Jia, L. 2022. Hybrid Deep Learning Architecture for Rail Surface Segmentation and Surface Defect Detection. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 37(2), 227-244.
22. Ye, W., Deng, S., Ren, J., Xu, X., Zhang, K., Du, W., 2022. Deep Learning-Based Fast Detection of Apparent Concrete Crack in Slab Tracks with Dilated Convolution. Construction and Building Materials, 329, 127157.
23. He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., Girshick, R., 2017. Mask r-cnn. In Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2961-2969.
24. Markoulidakis, I., Rallis, I., Georgoulas, I., Kopsiaftis, G., Doulamis, A., Doulamis, N., 2021. Multiclass Confusion Matrix Reduction Method and its Application on Net Promoter Score Classification Problem. Technologies, 9(4), 81.
25. Bojarczak, P., Lesiak, P. 2021. Uavs in Rail Damage Image Diagnostics Supported by Deep-Learning Networks. Open Engineering, 11(1), 339-348.

Simplified Nonlinear Analysis of RC Columns Exposed to Lateral Loads

Sıla AVĞIN*¹, ORCID 0000-0003-4102-7747
M. Metin KÖSE¹, ORCID 0000-0002-7462-1577

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

Geliş tarihi: 15.04.2022 Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: AVĞIN, S., KÖSE, M.M., (2022). Simplified Nonlinear Analysis of RC Columns Exposed to Lateral Loads. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 1113-1126.

Abstract

In this study, the monotonic and hysteretic behavior of poorly detailed reinforced concrete (RC) columns under lateral loads is simply modeled by SAP2000. It has been shown in literature that the flexural, reinforcement slip and shear deformations is contributed to lateral deformation. The monotonic and hysteretic responses of RC columns due to each of these deformations, were determined. Under pushover loading, deformations due to the flexural, reinforcement slip and shear deformations were summed up to create monotonic behavior of the column. The load-deformation curve from the monotonic model were used to create backbone curve of hysteretic pivot model. The monotonic and hysteretic lateral load-displacement curves obtained in this study were compared with the results obtained from experimental studies. It has been shown that SAP2000 and experimental results were in good agreement and the behavior of poorly detailed RC columns are simplified by SAP2000 instead of using the complex analysis methods.

Anahtar Kelimeler: Weak column, Flexural deformation, Shear deformation, Reinforcement slip, SAP2000, Monotonic model, Hysteretic model

Yanal Yüklere Maruz Kalan Betonarme Kolonların Basit Nonlinear Analizi

Öz

Bu çalışmada, zayıf detaylandırılmış betonarme kolonların yanal yükler altındaki monotonik ve histeretik davranışı SAP2000 ile basit bir şekilde modellenmiştir. Eğilme, donatı sıyırılması ve kesme deformasyonlarının yanal deformasyona katkıda bulunduğu literatürde gösterilmiştir. Bu deformasyonların her biri için RC kolonların monotonik ve histeretik tepkileri belirlenmiştir. İtme yükü altında, eğilme, donatı sıyırılması ve kesme deformasyonlarından kaynaklanan deformasyonlar, kolonun monotonik davranışını oluşturmak için toplanmıştır. Monotonik modelden alınan yük deformasyon eğrisi, histeretik pivot modelin omurga eğrisini oluşturmak için kullanılmıştır. Bu çalışmada elde edilen

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Sıla AVĞIN, silaavgin@ksu.edu.tr

monotonik ve histeretik yanal yük-deplasman eğrileri deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. SAP2000 ve deneysel sonuçların iyi bir uyum içinde olduğu ve zayıf detaylandırılmış RC kolonlarının davranışının karmaşık analiz yöntemlerini kullanmak yerine SAP2000 tarafından basitleştirildiği gösterilmiştir.

Keywords: Zayıf kolon, Eğilme deformasyonu, Kayma deformasyonu, Donatı kayması, SAP2000, Monotonik model, Histeretik model

1. INTRODUCTION

In many countries, there are many reinforced concrete (RC) buildings not designed in accordance with modern seismic design codes. Majority of these buildings were built 1970's. According to the research conducted after the past earthquakes, the main reason for the collapse of concrete buildings is the poorly designed RC columns. Usually, these columns have transverse reinforcement with 30 cm spacing and 90-degree end hooks. So, the column shows non-ductile behavior and is suddenly exposed to the risk of collapse [1].

Columns are the most critical structural element in reinforced concrete structures. The flexural, reinforcement slip and shear deformations is contributed to lateral deformation of RC columns. The deformation models are shown Figure 1 [2].

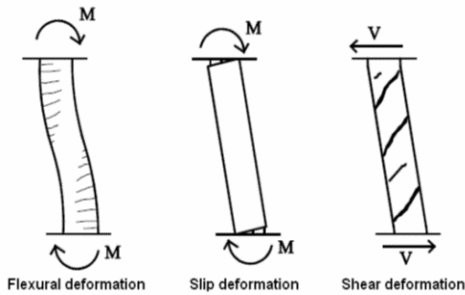


Figure 1. Lateral deformations components [3]

The flexural behavior of RC columns has been widely studied and issues related to performance assessment are generally well-known. However, behavior of the reinforcement slip has been not well-defined and are still an active research subject. Alsiwat and Saatcioglu [4] suggested bilinear bond stress. Constant elastic bond stress was used prior to yielding of the bar and friction

bond stress was used as the bar encountered plastic deformation. In a study by Eligehausen et al. [5] bond stresses are related to reinforcement slip along the bar, as opposed to regional stresses. Since the local slip is related to bond stress, this model is more complex than the other models [6-8]. Therefore, this problem cannot be solved in one step and an iterative technique was used to solve the problems. This procedure is quite complex and is not easy to implement. The shear force-shear displacement response of RC columns has also been widely studied. The 1974 SEAOC Recommended Lateral Load Requirements [9] incorporates the column shear strength equations given in the ACI 318-71[10]. However, the concrete contribution to shear strength equals to zero for axial stresses less than $0.12f_c$ is not taken into the consideration (f_c = compressive strength of concrete). The California Department of Transportation (Caltrans) [11] accepts the transverse reinforcement contribution proposed by SEAOC and the concrete contribution depends on the displacement ductility, axial load and confinement. Sezen H. [1] tested four RC columns and proposed a partial linear model for shear force-shear displacement. Patwardhan [12] developed a shear force-deformation model based on MCFT (Modified Compression Field Theory) [13]. This model is similar to the model proposed by Sezen H. [1] but maximum stress is constant until the beginning of load loss.

The relationship between the load-deformation curve of monotonic loading constitutes the backbone curve for the hysteretic response. This curve defines a strength limit for the cyclic response. Clough [14] proposed a simple elasto-plastic hysteretic model including stiffness deterioration for hysteretic flexural behavior. Bilinear curves serve as primary envelopes. The reloading branches are aimed at the previous

maximum response point to simulate degradation of stiffness. Takeda et al. [15] suggested that corrections in the distorted stiffness model should be taken into account considering the deterioration of the stiffness due to the increasing damage caused by the reinforced concrete structures subjected to seismic motions. This model was shown in Figure 2. Soleimani [16] presented a hysteretic model in which the reinforcement slip deformation was modeled by the rotational springs. The hysteretic model for reinforcement slip proposed by Alsiwat and Saatcioglu [4] assumes that the rotation is due to the extension or slip of the reinforcement in the adjacent element. The model includes bi-linear primary envelopes and unloading and reloading branches. This model was shown in Figure 3. In the hysteretic model proposed by Roufaiel and Meyer [17] the shear effect is included in the moment-curvature hysteresis cycles. The shear effect depends on the degree of pinching. The model proposed by Kabeyasawa et al. [18] was used to analyze the flexural and shear deformations of RC wall elements by means of three vertical line elements. This model was shown in Figure 4.

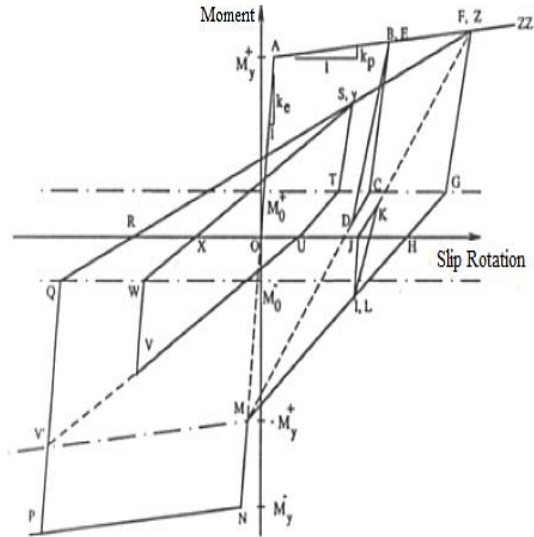


Figure 3. Alsiwat-Saatcioglu model [16]

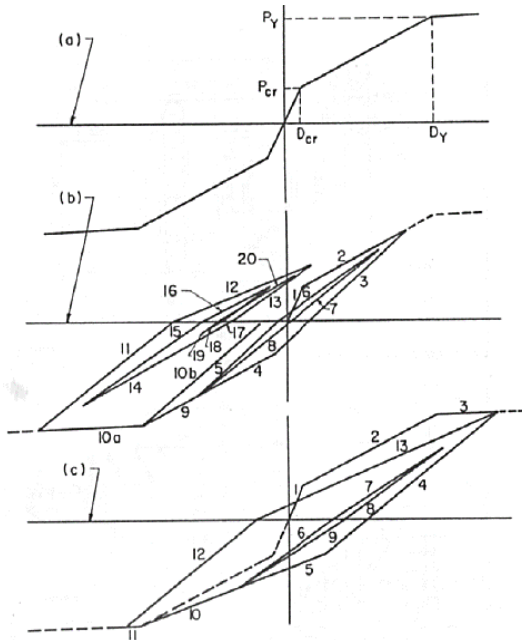


Figure 2. Takeda model [15]

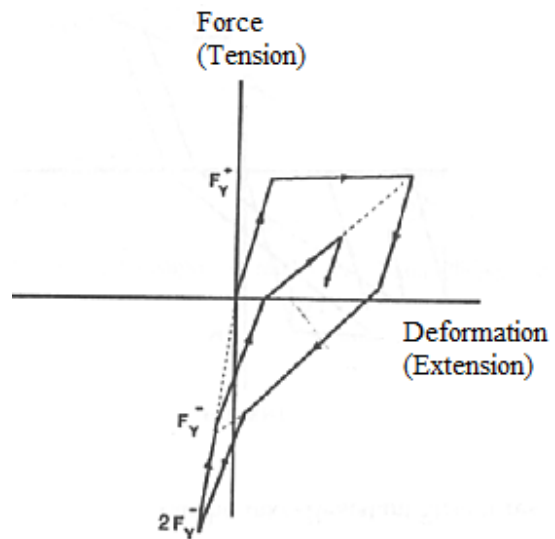


Figure 4. Kabeyasawa model [18]

Pivot model is similar to the Takeda model but has additional parameters to control the degrading hysteretic loop. The main novelty of this method is using a pivot point to which unloading path is directed. Further details of the model may be found on Dowell et al. [19]. This model was shown in Figure 5.

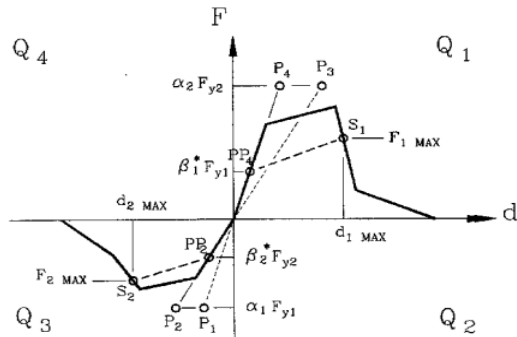


Figure 5. Pivot model [19]

In this study, the flexural, reinforcement slip and shear deformations will be modeled under monotonic and hysteretic loadings to predict the total lateral deformation of the poorly detailed RC columns by SAP2000 [20]. SAP2000 was chosen in this study because it is a general purpose and easy to use structural analysis program. First, each deformation type will be modeled separately and lateral deformation of the poorly detailed RC column will be predicted due to each deformation type. Then these three models will be combined to form a general model capable of predicting lateral deformation of the poorly detailed RC column.

2. SELECTED EXPERIMENTAL STUDY FOR MODEL VERIFICATION

Details of the experimental program of the behavior of full-scale building columns subjected to gravity and earthquake loads, isolated from a complete building frame, by Sezen H. [1] are presented. The column examples and boundary conditions are shown in Figure 6.

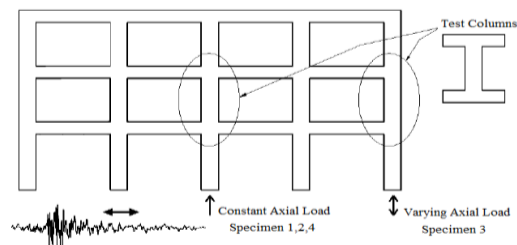


Figure 6. Idealized building frame subjected to lateral earthquake and gravity loads [1]

The experimental program by Sezen [1] includes testing of four columns with insufficient transverse reinforcement under various combinations of axial and lateral loads. Test columns connected to rigid upper and lower beams were tested in double curvature. The rigid end beams at the top and bottom of the column are 228 cm long, 76 cm deep and 66 cm wide. The top beam simulated a rigid system, while the base beam simulated a rigid floor system or a rigid foundation.

Test columns have 46 cm*46 cm cross-sections. The open height of the columns is 295 cm. In the columns, is used $\phi 28$ and $\phi 10$ reinforcement for longitudinal and transverse reinforcement, respectively. The transverse reinforcement is spaced at 31 cm equal intervals. The column section and reinforcement details are shown in Figure 7.

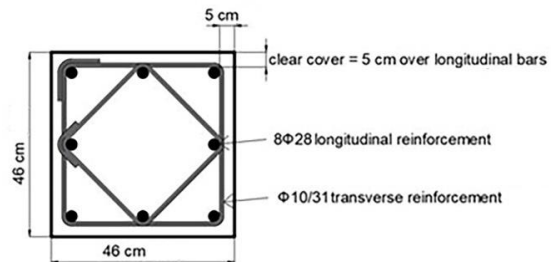


Figure 7. The column section details [1]

The Specimen 1, 2 and 4 were tested under -667 kN, -2668 kN and -667 kN constant axial load, respectively. Specimen 3 was tested under varying axial load from +2668 kN to -250 kN.

Average concrete strength was obtained from cylinder tests for each column. The determined concrete strength was 20.6 MPa. The concrete strengths of Specimen-1, Specimen-2, Specimen-3, Specimen-4 were 21.1 MPa, 21.1 MPa, 20.9 MPa, 21.8 MPa, respectively. The yield strengths are 434.4 MPa and 475.7 MPa for the longitudinal and transverse bars, respectively. [1]

3. MATERIAL MODELS

In this study, the nonlinear material models of concrete and steel are used in analysis. Mander [21] and Vecchio & Collins [13] models were used

for confined and unconfined concrete under compression and tension, respectively. These models were selected based on mostly used models in the literature. It is hoped that this selection strategy will help readers to grasp the topic easily. The confined and unconfined concrete behavior models were shown in Figure 8. Unconfined and confined concrete compressive strengths and corresponding strain values were shown Table-1.,

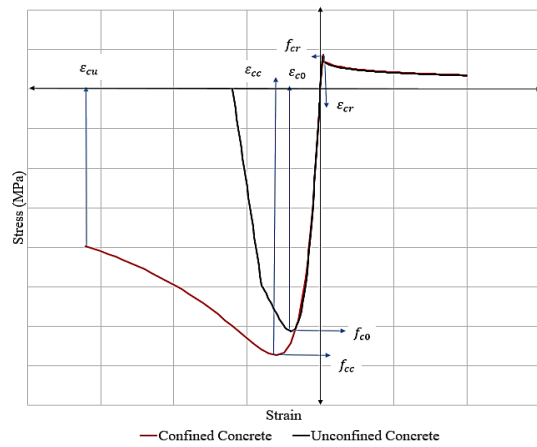


Figure 8. Model of concrete behavior under compressive and tensile stress

Notation: f_{c0} = the compressive strength of unconfined concrete, ϵ_{c0} = strain of corresponding to the unconfined concrete (0.002 can be assumed) f_{cc} = the compressive strength of confined concrete, ϵ_{cc} = the strain at the maximum compressive strength of confined concrete, ϵ_{cu} = ultimate strain of confined concrete, ϵ_{cr} = the cracking strain corresponding to uniaxial cracking strength of concrete, f_{cr} = uniaxial compressive strength of concrete.

Table 1. The confined-unconfined concrete compressive strength and strain values

Column	f_{c0}	f_{cc}	ϵ_{cc}	ϵ_{cu}
Specimen-1	21.09	23.20	0.003	0.0165
Specimen -2	21.09	23.20	0.003	0.0165
Specimen -3(c)	20.89	22.99	0.003	0.0167
Specimen -3(t)	20.89	22.99	0.003	0.0167
Specimen -4	21.78	23.89	0.003	0.0111

Notation: Specimen -3(c) is tested specimen under -249 kN axial load, Specimen -3(t) is tested specimen under +2668 kN axial load

The reinforcement steel tension model is based on the strain-hardening model. In this model, the stress increases linearly up to the yield deformation. Slope of the yield region was selected as 2% of the elastic modulus. The material is then hardening to reach the ultimate deformation value. Also, the steel compressive stresses are reduced due to buckling effect using Inoue & Shimizu model [22]. This model is shown that in the Figure 9.

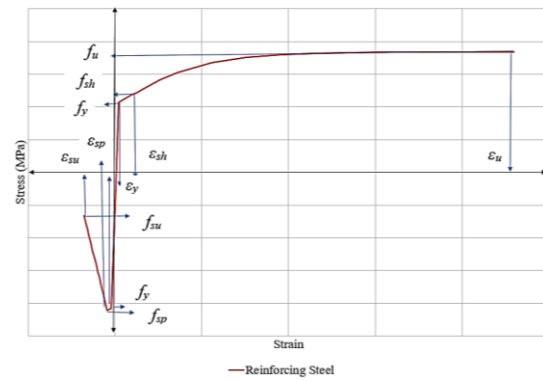


Figure 9. Reinforcing steel model

Notation: ϵ_{sh} = strain at the beginning of strain hardening, ϵ_u = strain at maximum strength, ϵ_{sp} = spalling strain, f_y = yield strength of longitudinal bar, f_{sh} = strength at the onset of strain hardening, f_u = maximum strength.

4. LATERAL DEFORMATION COMPONENTS

4.1. Deformation Components of Monotonic Behavior

Total lateral deformation of RC columns is the sum of the reinforcement slip, shear and flexural deformations. The flexural deformations can be predicted by the moment curvature analysis. The SAP2000 was used to obtain the moment-curvature analysis. The columns were modeled in Section Designer module in SAP2000 and moment-curvature relationships were obtained. The moment-curvature relationship was used to determine the curvature distribution along the column height. In the elastic region, there is a linear relationship between the moment and the curvature. In inelastic

region, the curvature is summed up along the plastic hinge length. After yielding, flexural deformations are calculated as shown in Equation 1.

$$\Delta_f = \Delta_{f,y} + (\phi - \phi_y)L_p(a - \frac{L_p}{2}) \quad (1)$$

where $\Delta_{f,y}$ = the flexural deformation at the yielding, ϕ = the curvature and ϕ_y = curvature at the moment of yielding, $a = L/2$ [23]. L_p = plastic hinge length ($h/2$) [24].

Sezen [1] developed an analytical model to predict the moment-rotation relationship of the RC section due to the reinforcement slip. In the proposed model, reinforcement slip can be calculated as shown in Equation 2.

$$slip = \frac{\varepsilon_s l_d}{2} \quad \text{for } \varepsilon_s < \varepsilon_y \quad (2)$$

$$slip = \frac{\varepsilon_s l_d}{2} + \frac{(\varepsilon_y + \varepsilon_s) l_d'}{2} \quad \text{for } \varepsilon_s < \varepsilon_s$$

where l_d and l_d' = the development lengths for the elastic and inelastic portion of the bar, respectively,

ε_s = the deformation of the loaded end of the bar, ε_y = steel yield strain. The rotation due to reinforcement slip can be calculated from Figure 10 as shown in Equation 3

$$\theta_s = \frac{slip}{d - c} \quad (3)$$

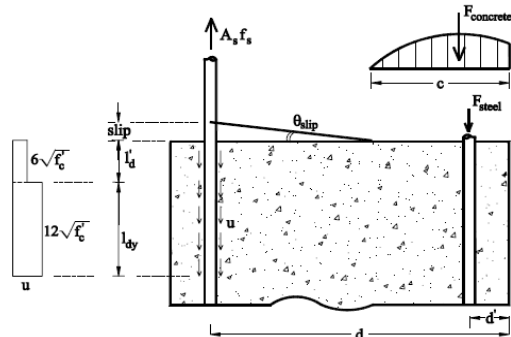


Figure 10. Rotation due to reinforcement slip [1]

where d = the effective depth, c = the depth of compression block. Lateral displacement caused by reinforcement slip be calculated as shown in Equation 4 [1].

$$\Delta_s = \theta_s L \quad (4)$$

The shear deformations can be the governing failure mechanism of the RC columns that are not designed in accordance with seismic codes. Shear deformations in poorly designed RC column can be large percentage of total deformations. So, they should be taken into the account in analysis of the deformation capacity [1].

In this study, the shear deformation model is based on Patwardhan model [12]. Patwardhan model was based on MCFT [13]. Patwardhan's model is shown in Figure 11.

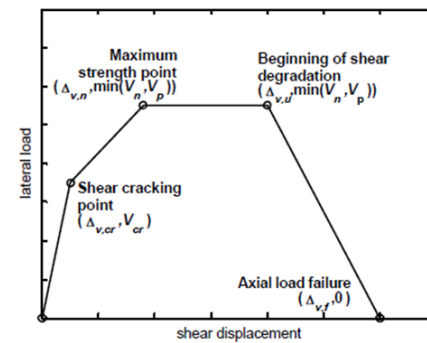


Figure 11. Patwardhan lateral load-shear model [12]

Aforementioned three deformation components are summed up to predict the total response of RC column subjected to lateral loading. The deformation components can be simply added until the maximum strength of RC column is reached. The column deformations are governed based on category selection in post-peak behavior. There are five categories depending on the comparison of the yield, flexural and shear strengths of the column. The lateral load corresponding to the initial yield of the tension bars and the lateral load corresponding to the peak moment are defined as the yield strength and as the flexural strength respectively. The shear strength can be calculated as shown in Equation 5 [25].

$$V_n = k(V_c + V_s)$$

$$V_c = \left(\frac{6\sqrt{f'_c}}{a/d} \sqrt{1 + \frac{P}{6\sqrt{f'_c} A_g}} \right) 0.8A_g \quad (5)$$

$$V_s = \left(\frac{A_{sp} f_{yw} d_c}{s} \right)$$

where V_c = concrete contribution to shear strength, V_s = steel contribution to shear strength, a/d = aspect ratio, A_g = gross area of column cross section, k = displacement ductility factor, A_{sp} = transverse reinforcement area, f_{yw} = transverse reinforcement yield strength, d_c = effective depth.

By comparing V_n , V_y , V_p each column can be classified into one of the following five categories as defined in Setzler [26]. The lateral response corresponding to each category is shown in Figure 12.

Category I ($V_n < V_y$): the shear strength is less than the yield strength and the peak strength is equal to the shear strength. So, shear behavior governs the post-peak behavior of the column.

Category II ($V_y \leq V_n \leq 0.95V_p$): the peak strength of the column is the shear strength which is less than the flexural strength but the flexural and slip deformations contribute to shear behavior after the peak behavior of the column.

Category III ($0.95V_p \leq V_n \leq 1.05V_p$): The shear strength is almost equal to flexural strength. So, it is easy to determine which mechanism governs the peak response. These strengths contribute to the post-peak mechanism.

Category IV ($1.05V_p \leq V_n \leq 1.4V_p$): Shear strength is greater than flexural strength and the column may collapse due to flexure. The peak strength of the column is the flexural strength.

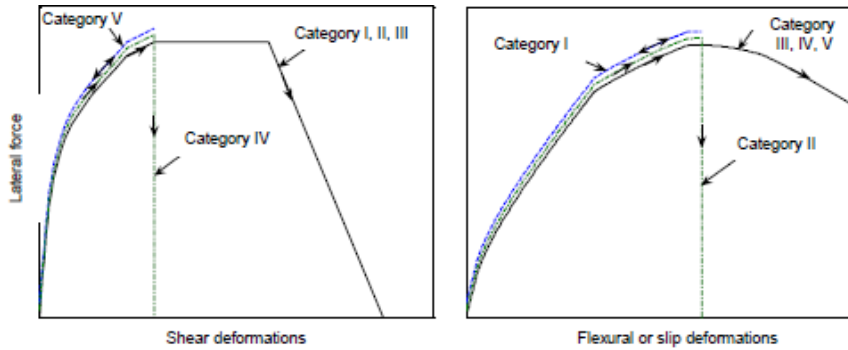


Figure 12. Flexural, reinforcement slip and shear behavior model for each category [27]

Category V ($V_n > 1.4V_p$): The shear strength is much greater than the flexural strength and the column collapses due to flexure. The peak strength of the column is the flexural strength. The flexural and slip behavior governs the post-peak behavior of the column [25].

4.2. Deformation Components of Hysteretic Behavior

Dynamic inelastic response history analysis of RC structures requires realistic conceptual models that

can simulate the hysteretic behavior of these structures under seismic loads. The present state of information may not be sufficient to model each, allowing analysts to obtain reasonably accurate results from non-linear dynamic analyzes.

Numerous hysteretic models have been proposed for the seismic evaluation of structures. Among these hysteretic models, pivot hysteretic model in SAP2000 was adapted in this study [28].

The pivot hysteretic model can predict the degrading of the hysteretic loop and it is well matched with the behavior of RC elements. In this model, unloading and reverse loading are directed toward pivot points in the force-deformation curve as shown in the Figure 13. This model is commonly used for moment-rotation.

Pivot hysteretic model was selected for simulating the flexural, reinforcement slip and shear behavior of poorly detailed RC columns under lateral loads. Each hysteretic response component was analytically studied and modeled by SAP2000. The three deformation components are combined and the interaction between them are considered for a nonlinear time history analysis of RC column.

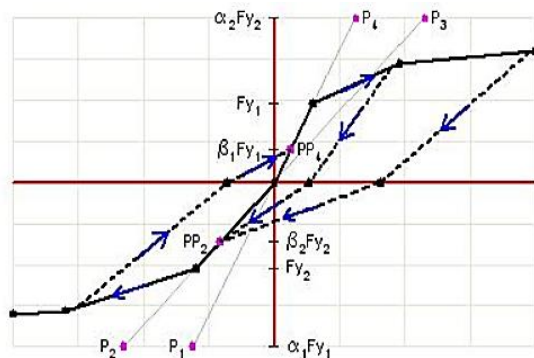


Figure 13. SAP2000 multilinear plastic-pivot model [20]

As explained above, monotonic total deformation of RC column was predicted according to the category selection. Same category selection rules were also applied in predicting total hysteretic response of the poorly detailed RC columns.

5. ANALYSIS RESULTS AND COMPARISON

The SAP2000 was used to obtain the moment-curvature relationship of the columns. According to the materials and reinforcement locations used in the experiment, the columns were modeled in Section Designer and moment-curvature relationships were obtained. In this model,

different material models were defined for cover concrete, core concrete and reinforcing bars. Moment-curvature analysis was used to model plastic hinges in SAP2000. Three types of plastic hinges were created and placed separately for flexural, reinforcing slip and shear deformations. Plastic hinges for flexural deformation were placed on every one tenth of the column length. Plastic hinges for reinforcing slip and shear deformations were placed at the bottom and top of the column because maximum of these deformations was occurred at these locations. Then, push-over analysis was applied to the columns to determine monotonic deformations. Pivot hysteretic model was used to model hysteretic deformations in SAP2000. In experimental study, the loading protocol was applied for each column according to ATC-24 [29] and was used as displacement history for the columns. Then, time-history analysis was applied to the columns to determine hysteretic deformations. Category selection for each column were made according to the category intervals explained in previous section. The category selection for each column was shown in Table 2.

The monotonic flexural deformation results for specimens is given in Figure 14. The hysteretic flexural deformation results for specimens is given in Figure 15. The monotonic reinforcement slip deformation results for specimens is given in Figure 16. The hysteretic reinforcement slip deformation results for specimens is given in Figure 17. The monotonic shear deformation results for specimens is given in Figure 18. The hysteretic shear deformation results for specimens is given in Figure 19. The monotonic total deformation results for specimens is given in Figure 20. The hysteretic total deformation results for specimens is given in Figure 21.

Table 2. Column flexural-shear strength and category selection

Column	V_n (kN)	V_y (kN)	V_p (kN)	Category
Specimen-1	306.53	301.67	334.77	2
Specimen-2	410.17	311.06	326.88	4
Specimen-3(c)	409.41	308.71	324.54	4
Specimen-3(t)	222.37	223.88	272.10	1
Specimen-4	310.97	302.48	337.84	2

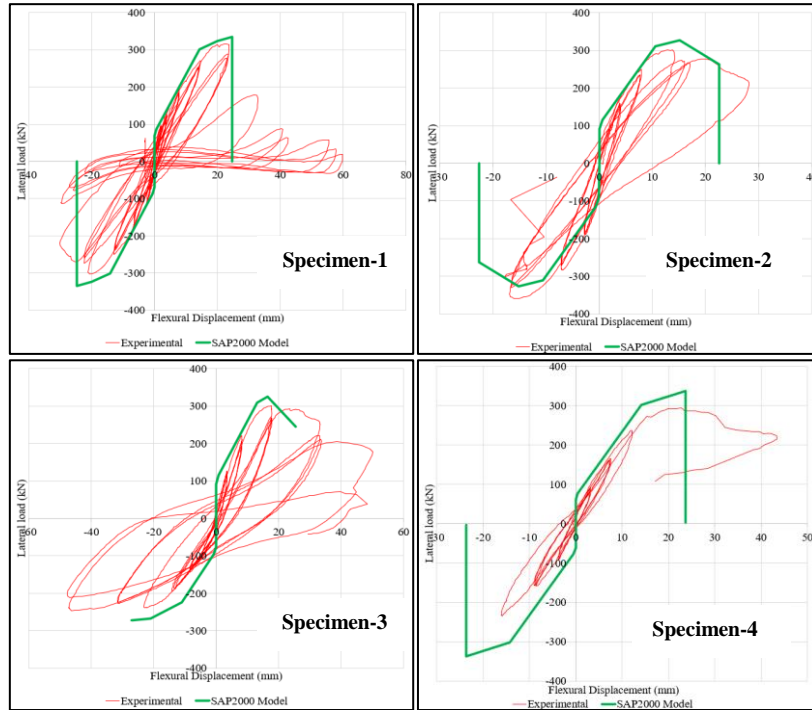


Figure 14. Monotonic flexural deformation results for specimen 1,2,3,4

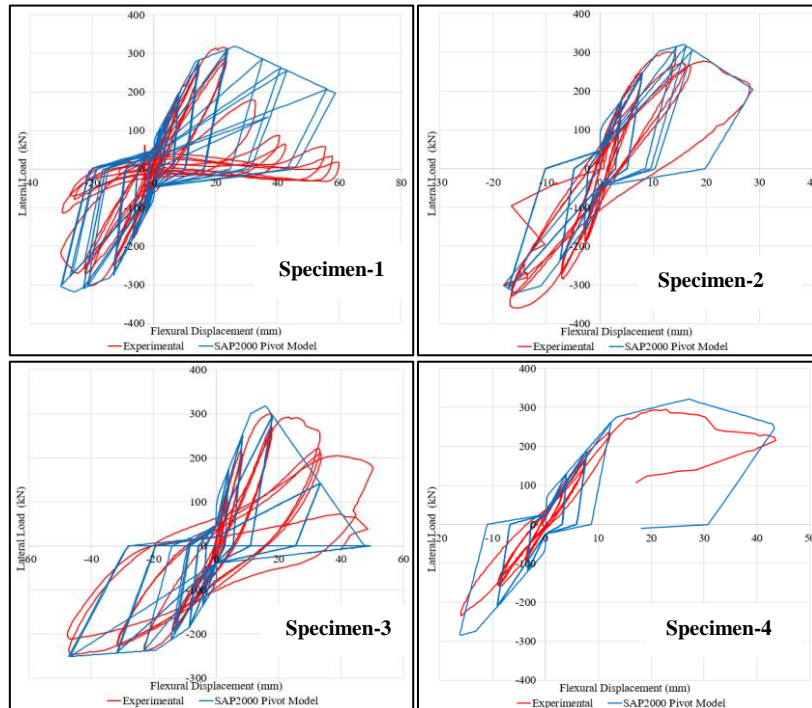


Figure 15. Hysteric flexural deformation results for specimen 1,2,3,4

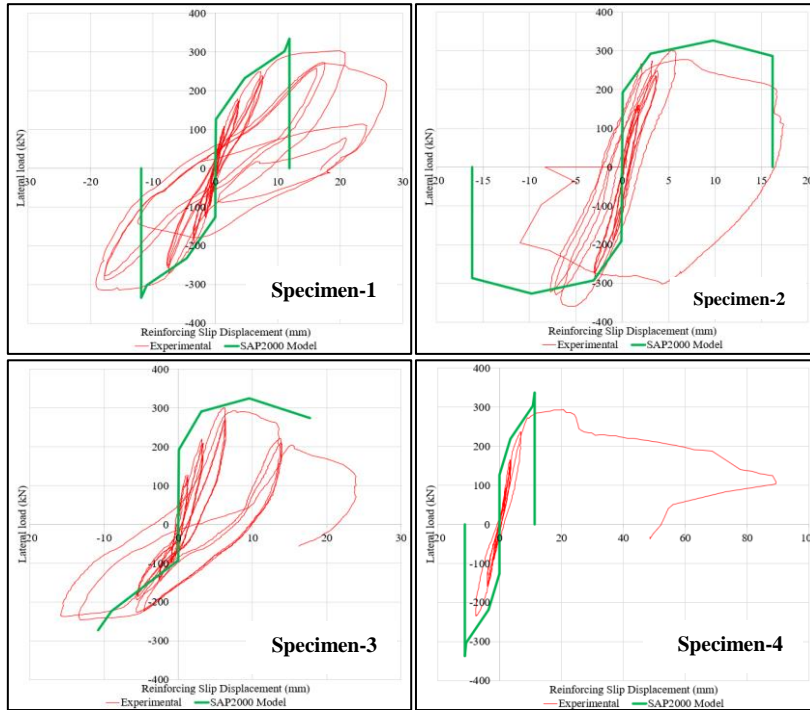


Figure 16. Monotonic reinforcement slip deformation results for specimen 1,2,3,4

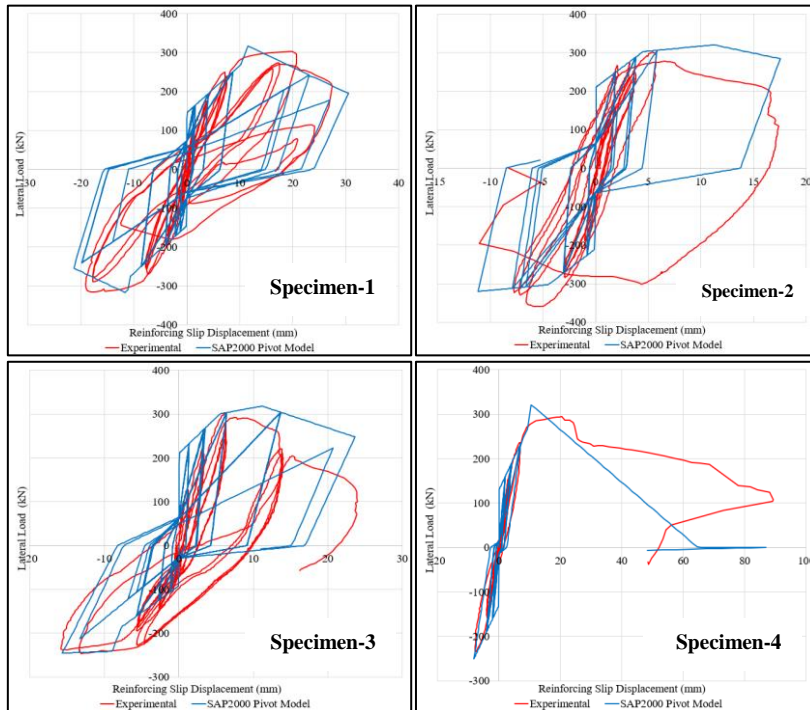


Figure 17. Hysteric reinforcement slip deformation results for specimen 1,2,3,4

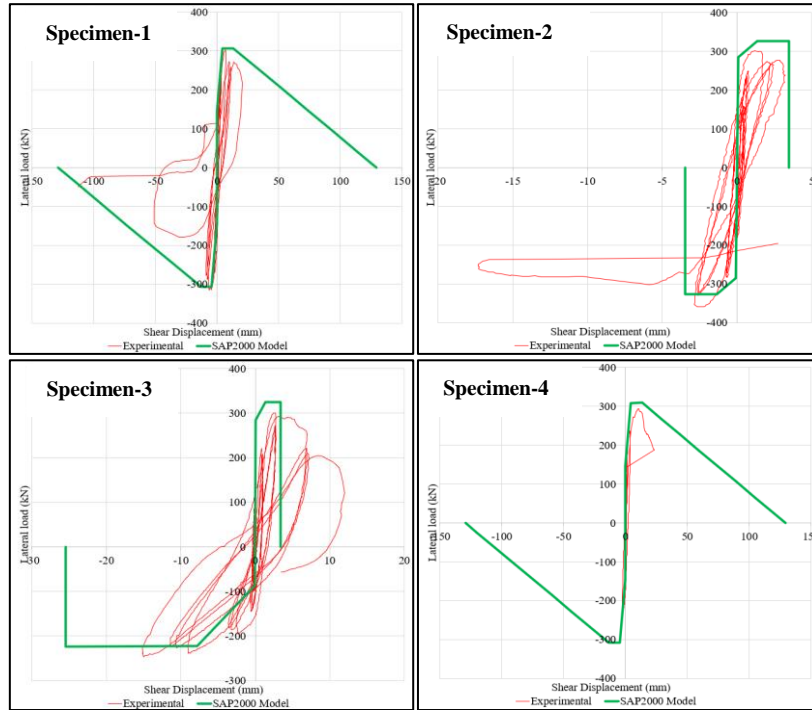


Figure 18. Monotonic shear deformation results for specimen 1,2,3,4

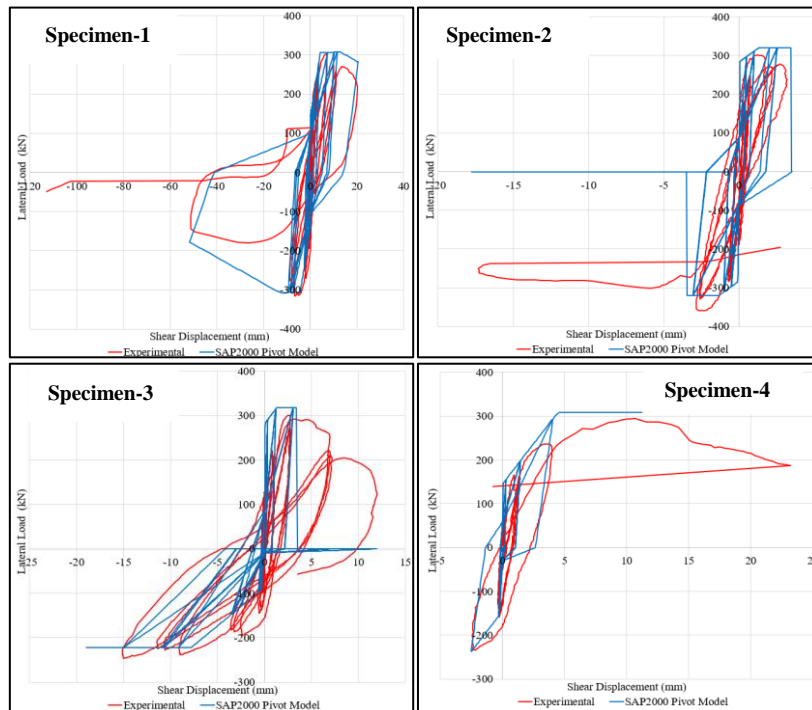


Figure 19. Hysteric shear deformation results for specimen 1,2,3,4

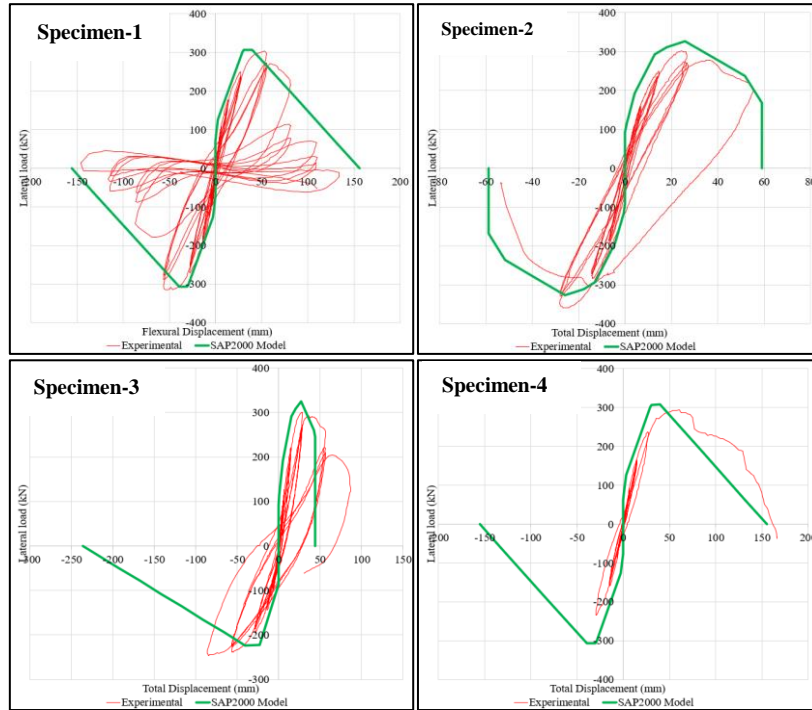


Figure 20. Monotonic total deformation results for specimen 1,2,3,4

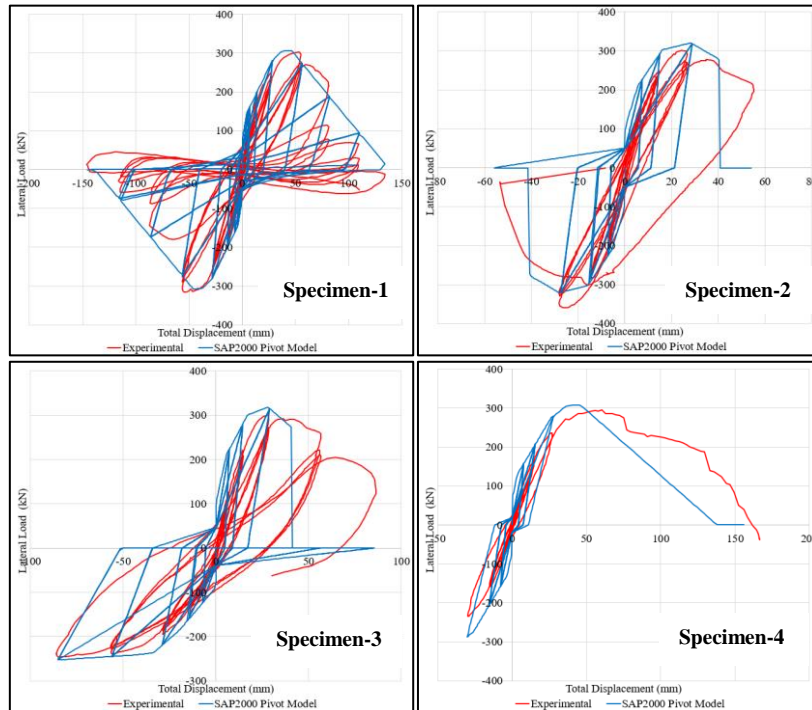


Figure 21. Hysteric total deformation results for specimen 1,2,3,4

6. RESULTS AND CONCLUSION

The aim of this study is to predict the monotonic and hysteretic behavior of poorly detailed RC columns under lateral loads. The poorly detailed RC columns have low longitudinal reinforcement ratio, widely spaced transverse reinforcement and 90-degree end hooks. The deformation capacity of these type columns is limited. The damages observed after the past earthquakes showed that the columns in the base floor are the most critical element in non-ductile RC buildings and can cause collapse of RC building.

The four columns tested by Sezen [1] were modeled in SAP2000 program and monotonic and hysteretic analysis were performed. In the monotonic analysis, plastic hinges were created for flexural, reinforcement slip and shear deformations. Flexural plastic hinges created using moment-curvature were placed at one tenth of the columns.

Reinforcement slip hinges created according to the model developed by Sezen [1] were placed at the ends of the columns. Shear hinges created according to the model developed by Patwardhan [12] were placed at the ends of the columns. These plastic hinges were used in the RC column simultaneously to predict the total lateral deformations. In the hysteretic analysis, models for the flexural, reinforcement slip, shear and total responses were developed using the SAP2000 hysteretic pivot model. The cyclic force-displacement relationship of flexural, reinforcement slip, shear and total deformation was obtained from the corresponding monotonic responses of the column. These cyclic force-displacement relationships served as a primary backbone curve for corresponding hysteretic analysis. The monotonic and hysteretic results of SAP2000 models were compared experimental data of Sezen [1].

According to the results of this study, following conclusions could be made:

- It has been shown that complex, time-consuming shear and reinforcement slip models can be

developed by simple and general-purpose SAP2000 program.

- The monotonic and hysteretic flexural, reinforcement slip, shear and total deformation models developed by SAP2000 program predicted well the experimental data for poorly detailed RC columns.

- Including tensile behavior of concrete and compressive behavior of steel modified according to buckling behavior would lead to more accurate the monotonic responses.

- Although the research is focused on modeling the behavior of poorly detailed RC columns under seismic load, the developed model can be extended to the other RC column .

7. REFERENCES

1. Sezen, H., 2002. Seismic Behavior and Modeling of Reinforced Concrete Building Columns. Ph.D. Dissertation. University of California, Berkeley, 324.
2. Sezen, H., Moehle, J.P., 2004. Shear Strength Model for Lightly Reinforced Concrete Columns. Journal of Structural Engineering. ASCE, 130(11), 1692-1703.
3. Lodhi, M.S., Sezen, H., 2012. Estimation of Monotonic Behavior of Reinforced Concrete Columns Considering Shear-Flexure-Axial Load Interaction. Earthquake Engineering and Structural Dynamics J., 41(15), 2159–2175.
4. Alsiwat, J.M., Saatcioglu, M., 1992. Reinforcement Anchorage Slip under Monotonic Loading. Journal of Structural Engineering. ASCE, 118(9), 2421-2438.
5. Eligehausen, R., Popov, E.P., Bertero, V.V., 1983. Local Bond Stress-Slip Relationship of a Deformed Bar Under Generalized Excitations. Report No. UCB/EERC 83/23. Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 169.
6. Otani, S., Sozen, M.A., 1972. Behavior of Multistory Reinforced Concrete Frames during Earthquakes. Structural Research Series No. 392 University of Illinois, Urbana, 551.
7. Morita, S., Kaku, T., 1984. Slippage of Reinforcement in Beam-Column Joint of Reinforced Concrete Frame. Proceedings of the Eighth World Conference on Earthquake

- Engineering. San Francisco, July 1984. 477-484.
8. Lehman, D.E., Moehle, J.P., 2000. Seismic Performance of Well-Confined Concrete Bridge Columns. Report No. PEER-1998/01. Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 316.
 9. SEAOC, 1999. Recommended Lateral Force Requirements and Commentary, Seismology Committee, Structural Engineers Association of California, San Francisco, USA., 444.
 10. ACI Committee 318, 2002. Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, ACI 318-02/318R-02. American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 443.
 11. Caltrans. 2002. Caltrans Seismic Design Criteria, Version 1.3, California Department of Transportation, Sacramento, CA.
 12. Patwardhan, C., 2005. Strength and Deformation Modeling of Reinforced Concrete Columns. M.S. Thesis. The Ohio State University, Columbus, Ohio, 166.
 13. Vecchio, F.J., Collins, M.P., 1986. The Modified Compression-Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear. *ACI Journal*. 83(2), 219-231.
 14. Clough, R.W., 1966. Effect of Stiffness Degradation on Earthquake Ductility Requirements. Report 66-16. Structural and Materials Research. Structural Engineering Laboratory, UC, Berkeley.
 15. Takeda, T., Sozen, M.A., Neilsen, N.N., 1970. Reinforced Concrete Response to Simulated Earthquakes. *Journal of the Structural Division, ASCE*, 96(12), 2557-2573.
 16. Soleimani D., Popov, EP., Bertero, V.V., 1979. Nonlinear Beam Model for R/C Frame Analysis. In: *Proceedings of 7th Conference on Electronic Computation*, St. Louis.
 17. Roufaiel, M.S.L., Meyer, C., 1987. Analytical Modelling of Hysteretic Behavior of R/C Frames. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 113(3), 429-444.
 18. Kabeyasawa, T., Shiohara, H., Otani, S., Aoyama, H., 1983. Analysis of the Full Scale Seven Story Reinforced Concrete Test Structure. *Journal of the Faculty of Engineering, The University of Tokyo*, 37(2), 431-478.
 19. Dowell, R.K., Seible F., Wilson E.L., 1998. Pivot Hysteresis Model for Reinforced Concrete Members. *ACI Structural Journal*, 95(5), 607-617.
 20. SAP2000. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA.
 21. Mander, J. B., Priestley, J. N., Park, R., 1988. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 114(8), 1804-1825.
 22. Inoue, K., Shimizu, N., 1988. Plastic Collapse Load of Steel Braced Frames Subjected to Horizontal Force. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 388, 59- 69.
 23. Sezen, H., Setzler, E.J., 2008. Reinforcement Slip in Reinforced Concrete Columns. *ACI Struct. J.*, 105(3), 280-289.
 24. Moehle, J.P., 1992. Displacement-Based Design of RC Structures Subjected to Earthquakes. *Earthquake Spectra. EERI*, 8(3), 403-428.
 25. Elwood K.J., Moehle J.P., Evaluation of Existing Reinforced Concrete Columns. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Aug, 2004, Paper No. 579.
 26. Setzler, E.J., 2005. Modeling the Behavior of Lightly Reinforced Concrete Columns Subjected to Lateral Loads. M.S. Thesis. The Ohio State University, Columbus, Ohio, 202.
 27. Lodhi M.S., 2010. Response Estimation of Reinforced Concrete Columns Subjected to Lateral Loads. MS thesis, Ohio State Univ., Columbus, Ohio, 205.
 28. Chowdary, T., 2007. Hysteretic Modeling of Shear-Critical Reinforced Concrete Columns. Ms.Thesis. Ohio State Univ. Columbus, Ohio. 217.
 29. ATC-24, 1992. Guidelines for Cyclic Seismic Testing of Components of Steel Structures for Buildings. Report No. ATC-24, Applied Technology Council, Redwood City, CA.

A Decision Model for Examining the Impact of Industry 4.0 on the Human Resources Departments of Iron-Steel Production Companies

Tuğba ÖZ¹, ORCID 0000-0001-8767-0418

Yusuf KUVVETLİ*¹ ORCID 0000-0002-9817-1371

¹Çukurova University, Faculty of Engineering, Industrial Engineering Department, Adana

Geliş tarihi: 16.05.2022 Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: ÖZ, T., KUVVETLİ, Y., (2022). A Decision Model for Examining the Impact of Industry 4.0 on the Human Resources Departments of Iron-Steel Production Companies. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 1127-1142.

Abstract

The main aim of this study is to present a decision model to determine how the human resources processes in the iron-steel industry will be affected by the transition to Industry 4.0. Accordingly, data were obtained through a survey and analysis was carried out with the chi-square test for the hypotheses. Then, the most critical problems in the transition process are weighted with Shannon's Entropy method and the most suitable solutions for the transition problems are listed with the TOPSIS method. While increasing labor costs and constantly changing technologies are emerging as the weightiest transition problems, supporting the employees with trainings to adapt to new technologies and gain the necessary skills has been evaluated as the most important solutions for the problems of transition to Industry 4.0. Thus, a roadmap for the transition process was presented to decision makers.

Keywords: Transition to industry 4.0, Human resources management, Iron and steel production, Entropy method; TOPSIS method.

Demir-Çelik Üretim Şirketlerinin İnsan Kaynakları Departmanlarına Endüstri 4.0'ın Etkisinin İncelenmesi için Bir Karar Modeli

Öz

Bu çalışmanın temel amacı, demir-çelik sektöründeki insan kaynakları süreçlerinin Endüstri 4.0'a geçişten nasıl etkileneceğinin belirlenmesi için bir karar modelinin ortaya konulmasıdır. Buna göre, bir anket çalışması ile veriler elde edilmiş ve hipotezler için ki-kare testi ile analiz gerçekleştirilmiştir. Sonrasında, Shannon'ın Entropi yöntemi ile geçiş sürecindeki en kritik problemler ağırlıklandırılmış ve geçiş problemleri için en uygun çözümler TOPSIS yöntemi ile sıralanmıştır. En ağırlıklı geçiş sorunları olarak, artan işçilik maliyetleri ve sürekli değişen teknolojiler ortaya çıkarken, çalışanların yeni teknolojilere uyum sağlamaları ve gerekli becerileri kazanmaları için eğitimlerle desteklenmeleri Endüstri

*Corresponding author (Sorumlu yazar): Yusuf KUVVETLİ, ykuvvetli@cu.edu.tr

4.0'a geçiş sorunları için en önemli çözümler olarak değerlendirilmiştir. Böylece, karar vericilere geçiş süreci için bir yol haritası sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0'a geçiş, İnsan kaynakları yönetimi, Demir çelik üretimi, Entropi yöntemi, TOPSIS yöntemi

1. INTRODUCTION

The development of factories, the switch over to coal and coke in the iron sector, and the superb integration of the steam engine all contributed to the beginning of the first industrial revolution. Economic growth in some countries has occurred with the adoption of these innovations [1].

The second industrial revolution covers the period between 1870 and 1914. In this period, great breakthrough inventions emerge in energy, materials, chemicals, and medicine. It is seen that the inventions in this period are different from the previous period. The Second Industrial Revolution has brought its much more limited achievements to the broader range of activities and products in the first industrial revolution. Due to the unprecedented penetration of new technologies into the lives of the middle and working classes, living conditions and purchasing power have increased quickly [2].

The second industrial revolution led to growth in some areas. The chemical industry rises; thereby, various engines and sizes and related industries using oil refining and containers have become increasingly important [3, 4].

With the start of the third industrial revolution, a new era has begun towards the end of the 20th century. A sustainable global economy for the twenty-first century was built on the infrastructure of the Third Industrial Revolution, which was resulted in the creation of huge number of new firms. The Third Industrial Revolution spans a wide range of technical fields, including digital power grids, fuel cells, nanotechnology, hydrogen and other renewable energy technologies, information technologies, embedded computing, and hundreds of other technical fields [5].

Since the start of the Industrial Revolution, technological advancements have significantly increased industrial efficiency. Industrial production began with the steam engine in the nineteenth century, moved to electrical power in the early twentieth century, and was mechanized in the 1970s. However, in the following years, industrial-technological developments have led technology to go much further, especially by revealing information technologies, mobile communication, and e-commerce [6].

Human resources management (HRM) is a management function that forms the business's basis to maximize employee performance by employers' strategic goals [7]. HRM primarily examines how people are managed within organizations, focused on policies and systems. The HRM departments and organizations' units are responsible for some activities such as recruitment, selection and placement, training and development, performance evaluation, incentive and rewarding, workforce planning, and career planning. For example, it is responsible for balancing internal practices with regulations from government laws. HRM was the result of the human relations movement of the early 20th century when researchers began to document by researching the strategic management of the workforce and ways to create business value. Available jobs such as payroll and social rights management were at the forefront when human resources emerged. HRM is now mergers and acquisitions, talent management, succession planning, industrial and business relationships, and diversity due to globalization, company consolidation, technological progress, and more research, and HRM has become a management organization that includes functions such as participation [7].

With the advancement of technology and the spread of the internet, some changes occur in

HRM functions. Although these changes are more effective in large organizations in the early stages, they have become a key determinant for successful management in organizations of all sizes over time. Existing standard processes will continue for jobs that require face-to-face communication, but some processes will have to be changed. These applications may be job applications, job interviews are done via the internet, automated systems make payrolls, open employee information the systems, holiday applications are made with self-service applications, performance evaluations are made in the electronic environment, and e-training programs are becoming widespread.

There is a cost gap between world-class and average organizations; world-class companies currently spend 25% less money than competitors of the same scale, according to one research from a consulting firm called Hackett Group. According to analysis, the best 25% of organizations in terms of efficiency and performance also utilized 16% fewer human resources employees. The capacity of these businesses to operate with lower expenses and fewer human resources staff is thought to be mostly due to more effective use of information technologies. Another finding from the study is that CEOs are the people who receive direct reports from HRM leaders in organizations that operate to international standards [8].

One of the most critical consequences of technology is that it allows non-HR employees to participate in some of the tasks traditionally concentrated in the HRM department. Developing e-HRM applications and self-service technologies for managers and employees to manage their benefits is one of the best examples. The general usage method in HRM technologies is the use of software-based services. Since these software costs are very high, they are generally used by large-scale companies. As the cost barriers decrease and familiarity with technology increases over time, HRM technologies will find a more extensive use by small and medium business consumers.

Human resources experts have a big task to understand and use HRM technology effectively.

With the HRM technologies, costs and administrative burdens will continue to decrease. It may reshape the human resources profession over time, and the need for new types of human resources specialists may increase. In the technology-based future, restructuring, creativity, and new competence models are essential for human resources professionals to succeed. For this reason, human resources professionals should closely follow the developments in HRM technology and develop their competencies accordingly. A good understanding of the role technology plays in supporting human capital management can help determine both the HRM function and human resources professionals' success [8].

The HRM and Industry 4.0 relations have not been widely discussed in the literature. Therefore, in this study, human resources' transformation in the iron and steel industry against Industry 4.0 and new technologies has been examined. Accordingly, a questionnaire is prepared better to understand the relationship of Industry 4.0 with human resources. It consists of content such as the most common problems in transforming human resources with Industry 4.0, the participation of the participants in the judgments detailed in these problems, and the solution suggestion for the problems encountered in the transformation experienced with Industry 4.0. In the study, human resources professionals working in the iron and steel industry are asked to answer these study questions, and as a result, it is aimed to examine the relationship between Industry 4.0 and human resources in the iron and steel industry.

2. LITERATURE REVIEW

In the study of Cerika and Maksumic, the effects of Industry 4.0 technologies on human resources are discussed. It is suggested that these technologies affect the companies' human resources but produce contradictory results. As a result of new information required for operations, layoffs are thought to be intense. Many scholars agree that Industry 4.0 will benefit more than harm, but still agree that it can lead to several disadvantages. Although the unemployment effect,

which is one of the adverse effects, is not accepted as valid for many academics, it is one of the issues to be investigated. That study is developed to ensure the best use of Industry 4.0 technologies and guide against future problems. According to the results obtained from this, it has been seen that the technologies developed in connection with Industry 4.0 have a positive efficiency development effect on human resources [9].

In the study of Ermolaeva, the analysis of the human resources factor, structural changes, and companies' attitudes are included according to the changing conditions. Based on analyzes and future changes made, suggestions for appropriate management strategies have been made for companies. The logistics sector has been discussed as an example of the Industry 4.0 transformation and its impact on the workforce [10].

The study by Pessl et al. found that the notion of Industry 4.0 has recently presented difficulties in several manufacturing companies' divisions, including purchasing, production, intralogistics, sales, and human resources. To design and implement Industry 4.0 initiatives, a methodical methodology is required. Companies have made varying amounts of advancement in terms of new technologies, procedures, and organizational features. The initial implementation outcomes for an Austrian company demonstrate that a bottom-up process, as opposed to a comprehensive management change, dominates the organizational changes in this field. These findings point to two main issues that need to be addressed [11]: People with different departments should ideally be included in the maturity assessment process, as the human resources area is extensive and affects the entire company. Secondly, defining target requirements and implementing the final action plan becomes difficult, especially if Industry 4.0 has not yet integrated the overall strategy.

The information includes a literature review that analyzes the effects of Industry 4.0 and cyber-physical systems on human labor and work for the organization and reveals current research results is given [12]. It indicates that Industry 4.0 will result in a significant drop in the employment of low-

skilled jobs, but instead will lead to an increase in tasks related to high-skilled jobs, planning, control, and information technology. Besides, researchers emphasize the increasing importance of continuous learning, education, and training, so that the workforce can meet the competence and competence requirements that result from Industry 4.0 technologies [12]. In Hecklaue et al. (2016), new strategic approaches are needed for holistic human resources management in manufacturing companies to deal with the information and competence problems associated with new technologies and processes by including Industry 4.0 in our lives. Due to the increase in automation systems involved in production processes, the number of highly complex work areas will increase, resulting in a high level of employees' training needs. The challenge is that employees shift their focus from routine workplaces to more complex processes and adapt to work environments [13].

According to Benesova and Tupa [14], the production itself and the labor market and education system have been affected by the industrial revolutions that have changed over the years. As a result of these changes, some professions and jobs have disappeared. Due to digitization and robotic development, the next industrial revolution known as Industry 4.0 has been faced. Only qualified and highly trained employees will be able to control these technologies.

According to Mamoudou and Joshi, senior executives take advantage of the power of information technology (IT) tools introduced with Industry 4.0 to achieve their business goals. Using IT tools not only meets company goals but also optimizes business processes. Information Technologies play a critical role in strengthening and completing human and business resources. A brief overview of information technologies usage possibilities used in the Human Resources (HR) management system is presented [15]. In a study by Yusoff et al., human resources management departments using information and communication technologies have started to use a system called E-HRM, which has become an increasingly

important phenomenon. E-HRM can be narrowly defined as the technical support of human resources in organizations using internet technology [16]. A smart human resources framework is proposed by Sivathanu et al. [17]. Furthermore, it has been determined that IoT, artificial intelligence and big data are the most important technologies by researching what technologies are needed for a successful transition in their study [17].

The concept of Industry 4.0 has become widespread recently, and small and medium-sized enterprises need to keep up with the process to adapt to these competitive conditions. A study analyzes the difficulties in the transition process of small and medium enterprises to Industry 4.0 and considers these results, and contributes to the determination of strategic steps by questionnaires, analytical hierarchy, and analytical network processes [18]. Transitions to Industry 4.0 significantly affect manufacturing companies' operations and decisions. Therefore, a new multi-criteria decision-making method, the Best-Worst method (BWM) in Indonesia's leather industry, and solution methods on addressing the challenges of successfully implementing Industry 4.0 are studied [19]. The study of Huang et al. analyzes Industry 4.0 technologies in Peruvian micro, small and medium enterprises. In that study, the analytical hierarchy process is applied to data from business managers of 49 companies in the manufacturing sector [20].

One key point about the transition to Industry 4.0 is to select the best strategy that should be chosen systematically and challenging to decide. Multi-criteria decision-making methodologies (AHP-VIKOR) have been used to determine the most effective course of action because this decision is a process that requires taking into account a variety of different factors [21].

Besides the technology-related studies about HR, the multi-criteria decision-making methods are applied to HR's different aspects. In one of these studies, the performance evaluation of seven active companies in the petrochemical industries is evaluated using the fuzzy analytical hierarchy

process method [22]. To select the most appropriate executives, Kusumawardani and Agintiara proposed implementing the fuzzy AHP-TOPSIS method in the executive selection process in a leading telecommunications company in Indonesia [23].

This study's main contribution is to examine the spread of new technologies, especially the Industry 4.0 approach, specifically for the iron and steel industry human resources, and to present findings that will help decision-makers. Besides, the innovative aspects of this study are:

1. Determining how human resources practices in the sector may vary with Industry 4.0 applications,
2. Determining the importance of the problems that will arise in the transition to Industry 4.0 and adaptation processes with multi-criteria decision-making techniques,
3. Sorting the solution approaches to problems in the transition to Industry 4.0 and adaptation processes with multi-criteria decision-making techniques.

3. MATERIAL

This study's material includes the questionnaire conducted with the participation of a group of 48 HR professionals in the iron and steel industry. Employees are not asked for personally identifiable information to explicitly answer the questions, but some questions are asked to understand the relationship between demographic and Industry 4.0 and human resources that would only contribute to the study. This questionnaire is delivered to 200 HR professionals working in about iron and steel industry, and 48 people who answered the questionnaire are evaluated as valid. These values show that our participants are 24% of the employees reached in this field.

In Turkey's iron and steel industry, there are around 150 companies in operation around [24]. Accordingly, it is assumed that approximately 500 professionals work in the human resources

department and participate in the survey application. Therefore, it is calculated that the error level of the sample obtained according to the appropriate population size at the level of 95% safety is 13%. Some of the questions of the questionnaire study are prepared by making use of the previous studies. The questions and their references are given in Appendix 1.

4. METHODOLOGY

The outline of the proposed methodology is given in Figure 1. Accordingly, the survey study is applied to the firms first. The main survey results are then evaluated, and the hypothesis analysis is applied to the defined hypothesis. Furthermore, the main conclusion of this study is obtained from the multi-criteria decision-making approach. The criteria are weighted by Shannon's Entropy method and ranked by the TOPSIS approach. Both Shannon's Entropy and TOPSIS methods can be used with alternative-criteria matrix instead of pairwise comparisons; therefore, these methods are selected in this study.

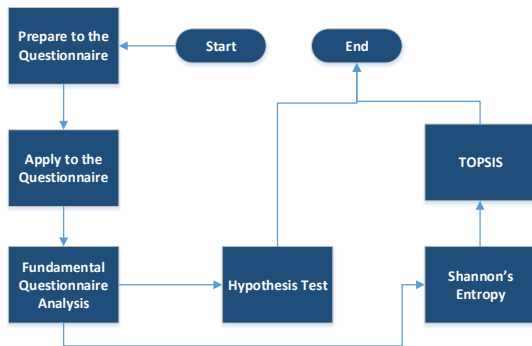


Figure 1. Outline of the methodology

Shannon's entropy is a multi-criteria decision-making technique that provides determining the weights. Using this method, the questionnaire values that can vary from 1 to 5 are used for the analysis. The steps of the algorithm are given as follows [25]:

1. Creating the decision matrix (X)

The rows of the decision matrix contain criteria, and the columns contain evaluation criteria to be

used in decision making and can be defined as the starting matrix of the method. In matrix X given the Equation 1., m gives the number of decision-makers, n the number of evaluation criteria.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

2. Creating the normalized decision matrix (P)

The X matrix is normalized in order to make values between 0-1. The normalized decision matrix elements (p_{ij}) is calculated using the Equation 2.

$$p_{ij} = \frac{p_{ij}}{\sum_{j=1}^m p_{ij}} \quad (2)$$

Overall P matrix is defined by Equation 3.

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & \cdots & p_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

3. Calculating the entropy

The entropy levels (e_i) of each criterion is determined using Equation 4.

$$e_i = -e_0 \sum_{j=1}^m p_{ij} * \ln p_{ij} \quad (4)$$

where $e_0 = (\ln(m))^{-1}$

4. Calculating the degree of diversification

The degree of diversification (d_i) is calculated by subtracting e_i from 1 as given in Equation 5.

$$d_i = 1 - e_i \quad (5)$$

5. Calculating the weights of criteria

In this final step, the weights are computed by Equation 6.

$$w_i = \frac{d_i}{\sum_{i=1}^n d_i} \quad (6)$$

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) is one of the most popular multi-criteria decision-making methods, which assumes each criterion has a uniformly increasing or decreasing utility trend. Therefore, positive and negative ideal solutions are easily defined. The TOPSIS method evaluates the following decision matrix, which covers the m alternative evaluated for n criteria. The TOPSIS method is implemented in 6 steps as follows [26]:

1. Calculating the weights of criteria

The rows of the decision matrix contain alternative decision options based on the level of importance, and the columns contain evaluation criteria to be used in decision making and can be defined as the starting matrix of the method. In matrix A given the Equation 7., m gives the number of decision points, n the number of evaluation criteria.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \tag{7}$$

2. Creating the normalized decision matrix (R)

All values are converted to normalized values between 0-1. In preparing the Normalized Decision Matrix, the first process is obtained by calculating the relative values of each criterion via the Decision Matrix data and then dividing the values by the relative value. The relative value (r_{ij}) is calculated using the formula (Equation 8).

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \tag{8}$$

Overall R matrix is defined by Equation 9.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \tag{9}$$

3. Creating the weighted normalized decision matrix (V)

The weight values (w_i) related to the evaluation criteria are obtained from Shannon's Entropy

method. (which provides to $\sum_{i=1}^n w_{i=1}$). Then the matrix in each column of the R matrix is created by multiplying the corresponding w_i to create the V matrix. The V matrix is created by Equation 10.

$$V = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & \dots & w_n r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \tag{10}$$

4. Creating the positive (A^+) and negative (A^-) ideal solutions

The TOPSIS method assumes that each evaluation criterion consists of values ranging between minimum and maximum. To create the ideal solution matrix, the largest and the smallest of the weighted evaluation criteria in the V matrix are determined. Finding the positive and negative ideal solution matrix is shown in the formula (Equation 11) and (Equation 12), respectively.

$$A^+ = \{(\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J')\} \tag{11}$$

$$A^- = \{(\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J')\} \tag{12}$$

5. Calculation of distances to the positive and negative ideal solution

In the TOPSIS method, Euclidian Distance is used to find deviations from the ideal positive and negative ideal solution set of each alternative's evaluation criteria values. The deviation values for the alternatives obtained from here are called distance to positive ideal solution (S_i^+) and distance to negative ideal solution (S_i^-) and calculated by Equations 13 and 14.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \tag{13}$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \tag{14}$$

6. Calculation of the relative distance to the ideal solutions

In calculating the relative proximity of each decision point to the ideal solution or, in other words, the convergence value (C_i^+), positive and negative ideal distance measurements are used (Equation 15).

$$C_i^+ = \frac{s_i^-}{s_i^- + s_i^+} \quad (15)$$

Where $0 \leq C_i^+ \leq 1$ and $C_i^+=1$ means that the alternative i is absolute proximity to the positive ideal solution while $C_i^+=0$ means that the alternative i is absolute proximity to the negative ideal solution.

5. RESULTS AND DISCUSSION

5.1. Questionnaire Results

According to the reliability analysis results, the Cronbach alpha value of the survey equals 0.901. It reveals that in the questionnaire's reliability analysis, the Cronbach alpha value above 0.900 means that the study is quite reliable. The expert profiles shown in Figure 2 includes %75 of the participants are specialist and above on the organization chart, which means that the opinions are obtained from the current strategy designers. According to the participants' education levels, % 89 of the participants have at least a BSc level education degree, which shows us that the opinions' profile is well educated.

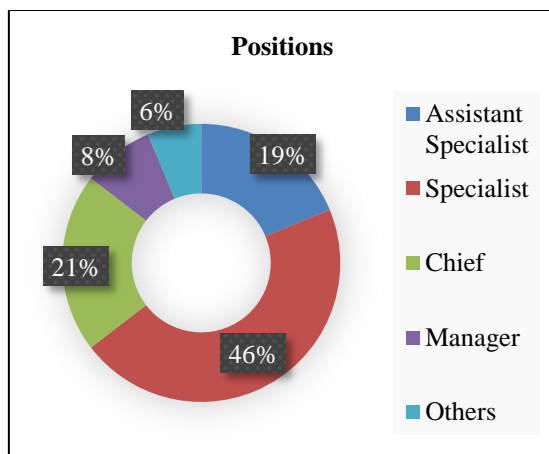


Figure 2. The profiles of expert levels

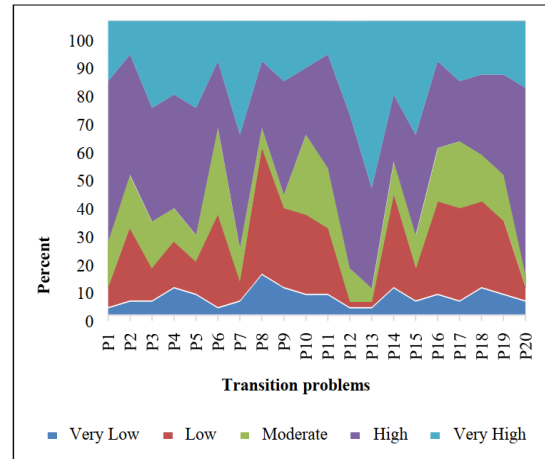


Figure 3. Expert opinions on the transition problems

The problems are faced on the transition to Industry 4.0 by HR's view as depicted in Figure 3. The most crucial problem seems to P13, P7, and P20. P13 is "the workforce planning for new jobs cause time and cost loss" while P7 is "personnel turnover rates are increasing." Finally, P20 is "uncertainties are experienced in the organizational charts." The organizational chart and workforce planning issues seem to be the most critical aspects in the transition to Industry 4.0.

The solution suggestions regarding these problems are given in Figure 4. The most important solutions are S1, S2, and S3, which are found to be %80 or above on the usefulness. The solution to the problems are given as follows in summary;

1. Focusing on gaining the necessary skills that employees need,
2. Supporting employees with training to adapt to new technologies,
3. Planning workforce on new jobs that will emerge with new technologies and the change of existing jobs,

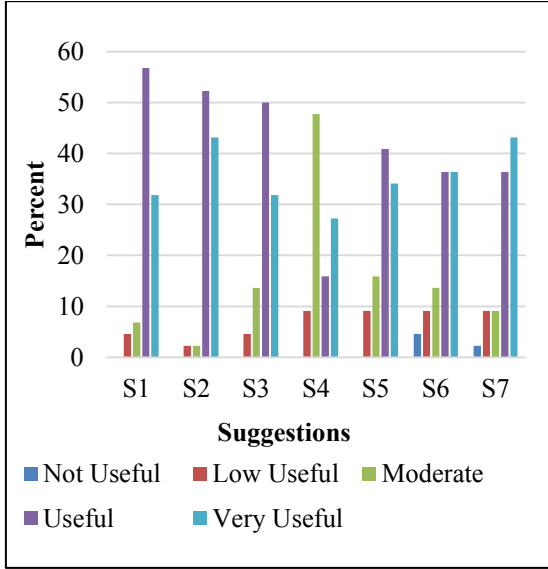


Figure 4. Expert opinions on the solutions of the problems

The hypotheses are defined as the importance of Industry 4.0 on the HR processes with the effectiveness of suggested solutions. The results are given in Table 1; the hypothesis test results of the relations between the participants' problems about the transition to Industry 4.0 in HR processes and suggestions for solutions to these problems can be seen. According to these results, the hypotheses (marked in bold) which significance values below 0.05 have statistically significant differences. Accordingly, the evaluations made according to the options with meaningful findings are summarized below:

1. According to P1 and S1, as a result of the emergence of new business lines with Industry 4.0, employees should be provided with the necessary skills they need.
2. According to P1 and S2, companies should support employees with training to adapt to new technologies due to the emergence of new business lines with Industry 4.0.
3. According to P1 and S3, due to the emergence of new business lines with Industry 4.0, companies try to take measures against change by workforce planning.
4. According to P1 and S5, companies should apply different performance evaluation criteria and receive regular feedback due to the emergence of new business lines with Industry 4.0.
5. According to P1 and S6, companies prepare their employees for future situations by planning their careers due to the emergence of new business lines with Industry 4.0.
6. According to P1 and S7, companies try to provide the fairest hierarchical structure in their organizational charts due to the emergence of new business lines with Industry 4.0.
7. According to P9 and S1, employees should be provided with the necessary skills they need due to changes in job descriptions with Industry 4.0.
8. According to P2 and S2, as a result of the changes in personnel competencies with Industry 4.0, companies should support employees with training to adapt to new technologies.
9. According to P12 and S3, companies should try to take measures against change by planning the workforce since the existing employees continue their duties with different competencies.
10. According to P20 and S4, companies should apply wage increases in proportion to the employees' increasing competencies due to uncertainties in the organizational charts with Industry 4.0.
11. According to P19 and S5, making it difficult to make career planning, companies should apply different performance evaluation criteria and receive regular feedback due to the new technological systems emerging with Industry 4.0.
12. According to P4 and S6, companies should prepare their employees for future situations by making career planning with the difficulty of finding qualified personnel suitable for new fields with Industry 4.0.
13. According to P18 and S7, it is difficult to determine the needs for new positions in orientation programs with Industry 4.0, and companies should try to provide the fairest hierarchical structure in their organizational charts.

Table 1. Questionnaire results: significance values of hypothesis

P/S	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
P1	0,000	0,000	0,005	0,133	0,006	0,000	0,002
P2	0,016	0,000	0,007	0,181	0,077	0,191	0,075
P3	0,100	0,006	0,141	0,325	0,252	0,461	0,033
P4	0,039	0,100	0,296	0,618	0,391	0,000	0,002
P5	0,067	0,000	0,165	0,059	0,035	0,055	0,012
P6	0,402	0,069	0,064	0,264	0,207	0,336	0,030
P7	0,036	0,044	0,084	0,242	0,204	0,650	0,448
P8	0,063	0,402	0,381	0,065	0,004	0,114	0,517
P9	0,002	0,004	0,042	0,038	0,001	0,003	0,000
P10	0,003	0,000	0,008	0,398	0,346	0,188	0,113
P11	0,464	0,393	0,090	0,021	0,029	0,011	0,038
P12	0,006	0,001	0,000	0,245	0,217	0,050	0,000
P13	0,014	0,009	0,007	0,260	0,032	0,001	0,030
P14	0,212	0,010	0,017	0,192	0,044	0,121	0,021
P15	0,292	0,630	0,064	0,213	0,300	0,167	0,222
P16	0,332	0,639	0,310	0,281	0,531	0,566	0,251
P17	0,155	0,001	0,057	0,047	0,037	0,006	0,096
P18	0,076	0,508	0,083	0,088	0,089	0,243	0,001
P19	0,521	0,150	0,013	0,073	0,015	0,000	0,001
P20	0,527	0,453	0,130	0,000	0,494	0,542	0,167

*Significant hypotheses are marked as bold

5.2. Multi-Criteria Decision Making Results

Firstly, Shannon's Entropy technique is applied, and the weights of the transition problems are determined, and a consistency calculation is made. The application steps are given as follows:

i. Creating the decision matrix (X)

The decision matrix includes 48 rows (replies to the questionnaire) and 20 columns (problems of transition to Industry 4.0). Each of the matrix elements (x_{ij}) is defined between 1 and 5.

ii. Creating the normalized decision matrix (P)

The X matrix is normalized according to Equation 2, and the P matrix is created according to those values.

iii. Calculating the entropy

The entropy levels (e_i) of each criterion is determined using Equation 4 is given in Table 2.

Table 2. Entropy levels of the problems

Problems	e_i	Problems	e_i
P1	0.9920	P11	0.9833
P2	0.9848	P12	0.9937
P3	0.9874	P13	0.9941
P4	0.9819	P14	0.9767
P5	0.9857	P15	0.9873
P6	0.9846	P16	0.9806
P7	0.9892	P17	0.9814
P8	0.9723	P18	0.9783
P9	0.9790	P19	0.9817
P10	0.9813	P20	0.9915

iv. Calculating the degree of diversification

The degree of diversification (d_i) is calculated by Equation 5 is given in Table 3.

Table 3. Degrees of diversification of the problems

Problems	d_i	Problems	d_i
P1	0.0080	P11	0.0167
P2	0.0152	P12	0.0063
P3	0.0126	P13	0.0059
P4	0.0181	P14	0.0233
P5	0.0143	P15	0.0127
P6	0.0154	P16	0.0194
P7	0.0108	P17	0.0186
P8	0.0277	P18	0.0217
P9	0.0210	P19	0.0183
P10	0.0187	P20	0.0085

v. Calculating the weights of criteria

Table 4. Final weights of the problems

Problems	w_i	Problems	w_i
P1	0.0254	P11	0.0533
P2	0.0486	P12	0.0202
P3	0.0402	P13	0.0190
P4	0.0577	P14	0.0745
P5	0.0456	P15	0.0406
P6	0.0491	P16	0.0619
P7	0.0346	P17	0.0595
P8	0.0886	P18	0.0692
P9	0.0672	P19	0.0584
P10	0.0596	P20	0.0270

In this final step, the weights are computed by Equation 6. The weights are shown in Table 4. The most important criteria are P8- Labor costs increase, and P14- Continuously changing technologies will require companies to plan workforce.

Secondly, the solution usefulness of the transition to Industry 4.0 is evaluated by the TOPSIS approach. Accordingly, the results of the TOPSIS approach are given as follows:

vi. Creating the decision matrix (A)

The decision matrix includes 20 rows (problems of transition to Industry 4.0) and seven columns (problems of transition to Industry 4.0). The values obtained from the geometric mean of relative scores which is calculated by dividing replies. Then, the values are re-scaled between 1 and 9 according to these geometric means. The decision matrix is given in Table 5.

Table 5. Decision matrix of TOPSIS

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
P1	4	4	3	2	3	3	3
P2	6	6	5	4	5	4	5
P3	4	5	4	3	3	3	4
P4	5	6	5	3	4	4	4
P5	4	5	4	3	4	3	4
P6	6	7	6	4	5	5	6
P7	3	4	3	2	3	2	3
P8	8	9	8	6	8	7	8
P9	6	6	5	4	5	5	5
P10	6	7	6	4	6	5	6
P11	6	6	6	4	5	5	5
P12	3	3	3	2	2	2	3
P13	2	3	2	1	2	1	2
P14	6	7	6	4	6	5	6
P15	4	4	3	2	3	3	3
P16	6	7	6	5	6	5	6
P17	6	7	6	4	5	5	5
P18	6	7	6	5	6	5	6
P19	6	6	5	4	5	4	5
P20	3	4	3	2	3	2	3

vii. Creating the normalized decision matrix (R)

All values are converted to normalized values between 0-1 according to Equation 8.

viii. Creating the weighted normalized decision matrix (V)

The weighted normalized decision matrix is calculated by Eq. 10. V matrix is calculated by multiplying the weights given in Table 4 with the normalized decision matrix given in Table 6.

ix. Creating the positive (A^+) and negative (A^-) ideal solutions

In order to obtain the positive and negative ideal solutions, the maximum and minimum elements of the V matrix are selected as follows:

$$A^+ = \{0.0044, 0.0125, 0.0077, 0.013, 0.0087, 0.0136, 0.0053, 0.0337, 0.0181, 0.0170, 0.0143, 0.0028, 0.0022, 0.0212, 0.0070, 0.0191, 0.0160, 0.0214, 0.0150, 0.0041\}$$

$$A^- = \{0.0031, 0.0105, 0.0057, 0.0107, 0.0074, 0.0117, 0.0037, 0.0304, 0.0154, 0.0147, 0.0122, 0.0019, 0.0010, 0.0184, 0.0050, 0.0159, 0.0138, 0.0178, 0.0126, 0.0029\}$$

- x. Calculation of distances to the positive and negative ideal solution

The deviations from the ideal positive and negative ideal solution set of the problem values for each solution. The deviations from the positive (S_i^+) and negative (S_i^-) solutions are given in Table 7.

- xi. Calculation of the relative distance to the ideal solutions

Table 6. Distance calculations of suggestions

	S_i^+	S_i^-	C_i^+
S1	0.0068	0.0056	0.5486
S2	0.0068	0.0056	0.5486
S3	0.0061	0.0056	0.5200
S4	0.0060	0.0066	0.4772
S5	0.0058	0.0063	0.4787
S6	0.0061	0.0063	0.4891
S7	0.0061	0.0056	0.5211

The relative distances from positive and negative solutions are calculated using Eq. 15. as given in Table 6. According to the results, the best solution is the S1, "S1 - Focusing on gaining the necessary skills that employees need," and S2, which is "supporting employees with training to adapt to new technologies." The rest of the crucial solutions are given as follows:

- 1. S3 - Planning workforce on new jobs that will emerge with new technologies and the change of existing jobs.

- 2. S7 - Revising the organizational charts according to the new positions.

Another finding to be obtained from the TOPSIS result is that the solutions' relative distance values are very close and that each solution is very effective on the specified problems.

5.3. Results

The study can be considered two-fold; determining the effects of the HR processes on the transition to Industry 4.0 and determining the best solution for these processes' problems. The importance of the problems is shown in Figure 5. Accordingly, the most affected problems are related to the training process of HR. It shows that the new technology era needs more and different training processes. It can be explained with the need of technology in the Industry 4.0. Since Industry 4.0 expresses a very complex and holistic technological development, it requires many different technologies such as artificial intelligence, cloud computing, big data, and this allows complex tasks such as planning and management to be done, even remotely [28]. The second most essential processes are workforce planning and wage management processes. It means that the new era forces firms to new workforce planning and wage management processes.

When the hypothesis test results are examined, it is seen that revision of the organizational charts according to the new positions as the S7 and supporting employees with training to adapt to new technologies as the S2 is the proposal that has a significant effect on the problems in the hypothesis tests. Similar organizational transformation and training requirements were identified as important for all SMEs in an evaluation study conducted with eleven different critical success factors [29].

According to the multi-criteria decision-making results, supporting employees with training to adapt to new technologies (S2) and focusing on gaining the necessary skills that employees need (S1) are evaluated as the essential solutions.

Generally, it is seen that S1, S2, and S7 are the most efficient solution to the HR problems related to the transition to Industry 4.0. The executives

should provide changes on the organization charts for gaining the necessary skills and training for adopting the new technologies of employees.

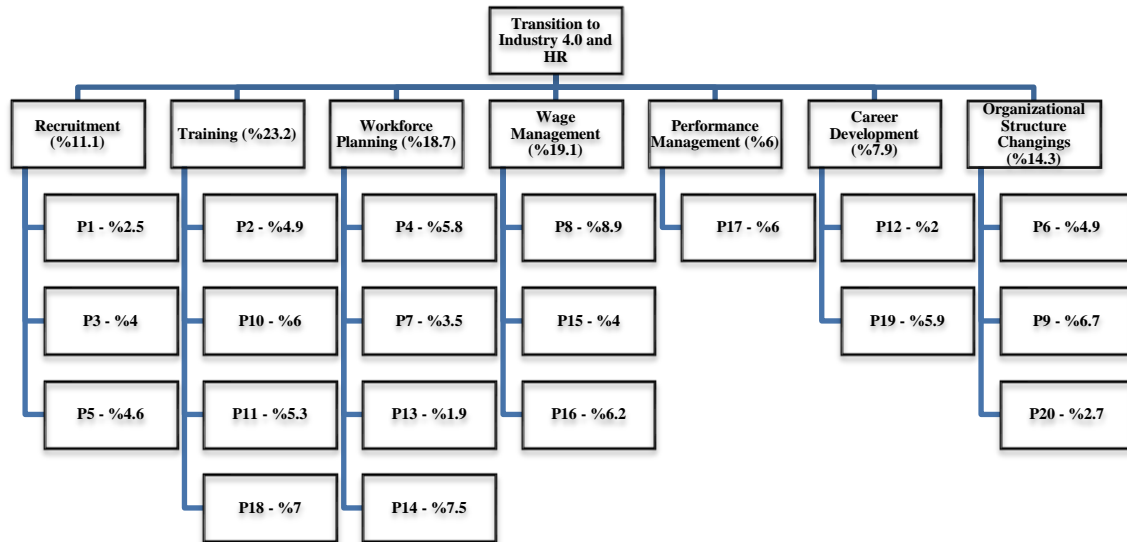


Figure 5. Importance of the HR problems on the transition to Industry 4.0

6. CONCLUSION

Since Industry 4.0 is a comprehensive concept, its effects on Human Resources are discussed in this study. Seeing the effects of Industry 4.0, especially on the Human Resources departments' employees, is our main research topic. Since Human Resources is an area in every sector, human resources employees, in particular, constitute the target audience. Since the iron and steel industry is an area that requires constant adaptation to new technologies, to be supported by research and development activities, and with varying dynamics, it is thought that the effects of Industry 4.0 will be seen more closely.

In the study, studies investigating the effects of Industry 4.0 on human resources were examined. Based on these studies, some problems caused by Industry 4.0 in human resources departments have been identified. Solutions to these problems are discussed. By preparing a survey study stating the problems and their solutions, human resources professionals working in the iron and steel industry

are requested to reply to the questionnaire. As a result of this survey, 48 HR professionals are reached. With the increase in the number of attendants to obtain more meaningful data, more people can be reached by including human resources departments in different firms.

According to the calculations made with Shannon's Entropy and TOPSIS methods, the most common problems encountered in the transformation with Industry 4.0 is the change in the workplace definitions, the increase of labor force and cost losses, the difficulty of making workforce planning. The ideal solution that can be applied to these problems is to support employees with training to adapt to new technologies.

The approaches that may be used with fuzzy versions can also be examined. Besides, applying similar studies in different sectors or with other multi-criteria decision-making techniques may also constitute an idea for other studies.

7. ACKNOWLEDGEMENTS

This study is derived from Tuğba Öz's master's thesis, which is completed at Çukurova University, Department of Industrial Engineering.

8. REFERENCES

1. Allen, R.C., 2009. *The British Industrial Revolution in Global Perspective*. Cambridge University Press, Cambridge, 331.
2. Mokyr, J., Strotz, R.H., 1998. *The Second Industrial Revolution, 1870-1914*. *Storia Dell'economia Mondiale*, 1-16.
3. Kinghorn, J.R., Nye, J.V., 1996. *The Scale of Production in Western Economic Development: A Comparison of Official Industry Statistics in the United States, Britain, France, and Germany, 1905–1913*, *The Journal of Economic History*, 56(1), 90-112.
4. Scranton, P., 2000. *Endless Novelty: Specialty Production and American Industrialization, 1865-1925*. Princeton University Press, Princeton.
5. Rifkin, J., 2012. *The Third Industrial Revolution: How the Internet, Green Electricity, and 3-D Printing are Ushering in a Sustainable Era of Distributed Capitalism*. *World Financial Review*, 1(1), 4052-4057.
6. Rübmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., Harnisch, M., 2015. *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. Boston Consulting Group, 9(1), 54-89.
7. Collings, D.G., Wood, G.T., Szamosi L.T., 2018. *Human Resource Management: A Critical Approach*, in *Human Resource Management*. Routledge, New York, 1-23.
8. Schramm, J., 2006. *HR Technology Competencies*. *SHRM Research Quarterly*, 1, 1-11.
9. Cerika, A., Maksumic S., 2017. *The Effects of New Emerging Technologies on Human Resources: Emergence of Industry 4.0, a Necessary Evil?*. *Yüksek Lisans Tezi*, University of Agder, Kristiansand.
10. Ermolaeva, A., 2017. *Industry 4.0 and HR in Logistics*. *Yüksek Lisans Tezi*, University Of Economics In Prague, International Business – Central European Business Realities, Prag.
11. Pessl, E., Sorko, S.R., Mayer, B., 2017. *Roadmap Industry 4.0–Implementation Guideline for Enterprises*, *International Journal of Science, Technology and Society*, 5(6), 193-202.
12. Bonekamp, L., Sure, M., 2015. *Consequences of Industry 4.0 on Human Labour and Work Organisation*, *Journal of Business and Media Psychology*, 6(1), 33-40.
13. Hecklau, F., Galeitzke, M., Flachs, S., Kohl, H., 2016. *Holistic Approach for Human Resource Management in Industry 4.0*, *Procedia Cirp*, 54(1), 1-6.
14. Benešová, A., Tupa, J., 2017. *Requirements for Rducation and Qualification of People in Industry 4.0*, *Procedia Manufacturing*, 11, 2195-2202.
15. Mamoudou, S., Joshi, G., 2014. *Impact of Information Technology in Human Resources Management*, *Global Journal of Business Management and Information Technology*, 4(1), 33-41.
16. Yusoff, Y.M., Ramayah, T., Ibrahim, H., 2010. *E-HRM: A Proposed Model Based on Technology Acceptance Model*, *African Journal of Business Management*, 4(14), 3039.
17. Sivathanu, B., Pillai, R., 2018. *Smart HR 4.0–How Industry 4.0 is Disrupting HR*, *Human Resource Management International Digest*, 26(4), 7-11.
18. Sevinc, A., Gür, Ş., Eren, T., 2018. *Analysis of the Difficulties of SMEs in Industry 4.0 Applications by Analytical Hierarchy Process and Analytical Network Process*, *Processes*, 6(12), 264.
19. Muktadir, M.A., Ali, S.M., Kusi-Sarpong, S., Shaikh, M.A.A., 2018. *Assessing Challenges for Implementing Industry 4.0: Implications for Process Safety and Environmental Protection*. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 730-741.
20. Huang, C.J., Talla Chicoma E.D., Huang Y.H., 2019. *Evaluating the Factors that are Affecting the Implementation of Industry 4.0*

- Technologies in Manufacturing MSMEs, the Case of Peru, *Processes*, 7(3), 161.
21. Erdogan, M., Ozkan, B., Karasan, A., Kaya, I., 2018. Selecting the Best Strategy for Industry 4.0 Applications with a Case Study. *Industrial Engineering in the Industry 4.0 Era*. Springer, 109-119.
22. Shaverdi, M., Heshmati, M.R., Ramezani, I., 2014. Application of Fuzzy AHP Approach for Financial Performance Evaluation of Iranian Petrochemical Sector. *Procedia Computer Science*, 31, 995-1004.
23. Kusumawardani, R.P., Agintiara M., 2015. Application of Fuzzy AHP-TOPSIS Method for Decision Making in Human Resource Manager Selection Process. *Procedia Computer Science*, 72, 638-646.
24. Türkiye Çelik Üreticileri Derneği, Demir Çelik Sektörü, <http://celik.org.tr/category/teknik-konular/>. Erişim Tarihi: 01.07.2019.
25. Lotfi, F.H., Fallahnejad, R., 2010. Imprecise Shannon's Entropy and Multi Attribute Decision Making. *Entropy*, 12(1), 53-62.
26. Triantaphyllou, E., 2000. Multi-criteria Decision Making Methods. *Multi-criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*, Springer, 5-21.
27. Madsen, E.S., Bilberg, A., Hansen, D.G., 2016. Industry 4.0 and Digitalization Call for Vocational Skills, Applied Industrial Engineering, and Less for Pure Academics. 5th P&OM World Conference, Production and Operations Management, P&OM. 2-10.
28. Tsaramirsis, G., Kantaros, A., Al-Darraji, I., Piromalis, D., Apostolopoulos, C., Pavlopoulou, A., Alrammal, M., Ismail, Z., Buhari, S.M., Stojmenovic, M., Tamimi, H., Randhawa, P., Patel, A., Khan, F.Q., 2022. A Modern Approach Towards an Industry 4.0 Model: From Driving Technologies to Management. *Journal of Sensors*, 5023011, 1-18.
29. Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., 2021. Digital Transformation Success Under Industry 4.0: A Strategic Guideline for Manufacturing SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(8), 1533-1556.

9. APPENDIX

Appendix 1- HR problems and solutions of the transition to Industry 4.0

Q	Description	References
P1	New business lines are emerging with Industry 4.0.	[10,12]
P2	Required staff competencies are changing.	[9]
P3	It is difficult to determine the competencies required by new business lines in recruitment.	[9]
P4	It is difficult to find qualified personnel suitable for new areas.	[9]
P5	Recruitment stages are long and multi-stage.	[10]
P6	New technological systems reduce the need for humans.	[9, 10, 12]
P7	Personnel turnover rates are increasing.	[13]
P8	Labor costs are increasing.	[10]
P9	It causes changes in job descriptions.	[12]
P10	Training needs are increasing.	[9, 10]
P11	With the increasing need for training, the labor force and cost losses increase.	[27]
P12	Continuation of the current employees is possible by gaining different competencies.	[10]
P13	Planning the workforce for new jobs causes time and cost loss.	[16]
P14	Continuously changing technologies will require companies to plan their workforce.	[10]
P15	It is difficult to determine the wage interval for new business lines.	[27]
P16	It causes an imbalance in wage scales.	[27]
P17	It is necessary to create different performance evaluation systems.	[10]

A Decision Model for Examining the Impact of Industry 4.0 on the Human Resources Departments of Iron-Steel Production Companies

P18	It is difficult to determine the needs for new positions in orientation programs.	[10]
P19	New technological systems make it difficult to make career planning.	[13]
P20	Uncertainties are experienced in the organizational charts.	[10]
S1	I focus on gaining the necessary skills that employees need.	[9]
S2	I support my employees with training to adapt to new technologies.	[9,10]
S3	I plan workforce on new jobs that will emerge with new technologies and the change of existing jobs.	[16]
S4	I apply an increase in wages in proportion to the increased competencies.	[27]
S5	I apply different performance evaluation criteria in line with emerging technologies and receive regular feedback.	[10]
S6	I determine the requirements and future conditions of new business lines and make career plans accordingly.	[13]
S7	I revise my organization charts according to new positions, and I try to create the fairest hierarchical structure.	[10]

Çukurova Bölgesi için Kısa Vadeli Yapay Zeka Tabanlı Rüzgar Güç Tahmini

Pırl TEKİN*¹ ORCID 0000-0002-2326-7571

¹Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 22.04.2022 Kabul tarihi: 29.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: TEKİN, P., (2022). Çukurova Bölgesi için Kısa Vadeli Yapay Zeka Tabanlı Rüzgar Güç Tahmini. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 1143-1153.

Öz

Son yıllarda hızla artan nüfus ve sanayi artışının yarattığı enerji ihtiyacı kısıtlı kaynaklarla karşılanamaz hale gelmiştir. Enerji üretimi ve tüketimi arasında oluşan farklılıklar, kısıtlı kaynakların yerini yenilenebilir enerjilerin gelişimine bırakmıştır. Sağlığımızı tehdit eden unsurları en aza indirmeyi planlayan Avrupa Yeşil Mütabakatı, 2030 yılına kadar dünya genelinde yenilenemez enerjilerin kullanımını minimum seviyelere indirecektir. Ayrıca iklim krizinin, sera gazı salımını önemli ölçüde etkileyeceği ve doğaya zarar vereceği öngörülmektedir. Karbon emisyonunun sıfıra indirilebilmesi prensibinde, rüzgar gücü tahmini çalışmaları oldukça önemlidir. Ancak rüzgar enerjisinde yaşanan sıkıntı, üretiminin meteorolojik şartlar doğrultusunda sürekli değişmesidir. Voltaj ve frekans değişikliklerinin yarattığı enerji kararsızlığının önüne geçilebilmesi için denge şebekelerdeki üretim ve tüketimin sürekli olarak sağlanması gerekmektedir. Sistemlerin modelleme süresini ve doğruluğunu etkileyen rüzgar hızındaki doğrusal olmayan bu değişiklikler, enerjisi kayıplarının en aza indirilebilmesi için önemlidir. Bu çalışmada, Çukurova Bölgesi'nden elde edilen gerçek kısa vadeli rüzgar gücü verileri araştırma nesnesi olarak alınmış, MPE-MAPE tasarlanan tahmin modellerinin performans indekslerini karşılaştırmak için kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar tahmini, Yapay zeka, İleri tahminleme, Kısa vade, Yapay sinir ağı, ANFİS, Bulanık tabanlı sinir ağı modeli

Short Term Artificial Intelligence Based Wind Power Forecasting for Çukurova Region

Abstract

In recent years, the energy need created by the rapidly increasing population and industrial growth has become unable to be met with limited resources. The differences between energy production and consumption have left the place of limited resources to the development of renewable energy sources. The European Green Deal, which plans to minimize the threats to our health, will reduce the use of non-renewable energies around the world to minimum levels by 2030. In addition, it is predicted that the

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Pırl TEKİN, ptekin@atu.edu.tr

climate crisis will significantly affect greenhouse gas emissions and harm nature. Because of these, wind speed estimation studies are very important in the principle of reducing carbon emissions to zero. However, the problem experienced in wind energy is that its production is constantly changing in line with meteorological conditions. In order to prevent the energy instability caused by voltage and frequency changes, the production and consumption in the balance networks must be ensured continuously. These nonlinear changes in wind speed, which affect the modeling time and accuracy of the systems, are important for minimizing energy losses. Within the scope of the study, real short-term wind power data obtained from Çukurova Region is taken as research object and MPE-MAPE are used to compare the performance indexes of the designed forecast models.

Keywords: Wind estimation, Artificial intelligence, Advanced forecasting, Short term, Artificial neural network (ANN), ANFIS, Fuzzy

1. GİRİŞ

Küresel ısınma ve elektrik üretimi için kullanılan kısıtlı enerji kaynaklarının doğaya verdiği zararlar, son yıllarda enerji kaynaklarına olan önemi giderek artırmıştır. Doğaya verilen zararlardan dolayı yaşanan iklimsel değişiklikler, dünya genelinde etkilerini gösterecek iklim krizini tetikler niteliktedir. Kısa bir zaman içerisinde karşı karşıya kalınacak olan bu iklim krizinin zararlarını en aza indirmek ve sera gazı emisyonunu sifıra indirebilmek amacıyla açıklanan Avrupa Yeşil Mütabakat kapsamında, kirliliği azaltan, biyolojik çeşitlilik kaybını önleyen, iklim değişikliklerini durduran döngüsel bir ekonomi planı ile kaynakların daha verimli ve temiz kullanımının sağlanması hedeflenmektedir. Bu kapsamda Paris İklim Anlaşması aracılığıyla dünya genelinde tüm ülkelerden çeşitli tahaddütler alınarak, doğa dostu enerji kavramı desteklenmeye başlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının oldukça önem kazandığı bu dönemde, ülkemizin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli de göz önüne alındığında güneş ve rüzgar enerjisi ön plana çıkmaktadır. Özellikle dışa bağımlılık probleminin yaşanmaması ve hammadde kıtlığının en aza indirgenmesi amacıyla rüzgar enerjisi kullanımı tüm dünyada yaygınlaşmaktadır. Doğaya verdiği zarar minimizasyonu ve kurulumunda güneş enerjisi tarlaları kadar yer kaplamaması dolayısıyla günümüzde rüzgar enerjisi, önemini daha da artırmıştır. Ancak rüzgar enerjisinin doğru planlama ile üretilmesi ve verimli kullanılıp dağıtılabilmesi için, rüzgar enerjisi üretim tahminlerinin de en doğru şekilde yapılması gerekmektedir [1].

Doğanın ayrık yapısı nedeniyle periyodik olarak değişen rüzgar hızı ve yönü ciddi enerji dalgalanmalarına neden olmaktadır. Elektrik elde edilmesinde önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak tanımlanan rüzgar enerjisinde sistemin dengede kalması, kullanıcı ve operatörler içinde oldukça önemlidir. O halde meteorolojik şartlara bağlı olarak değişkenliğin yüksek düzeyde olduğu bu enerji sistemlerinde kısa süreli enerji tahminlerinin yapılması, doğruluk payı daha yüksek sonuçlar vereceğinden daha yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu sayede de ülkemizde rüzgar üretim potansiyeli güncel olarak hesaplanarak, ekonomi ve enerji sürdürülebilirliğine katkı sağlanmaktadır.

Son yıllarda, birçok bilim insanı ve araştırmacı, rüzgar enerjisini verimli bir şekilde kullanmak için kısa vadeli rüzgar gücü tahmin yöntemleri konusunda kapsamlı araştırmalar yürütmüştür. Bu kapsamda son yıllarda yapılan çalışmalar şu şekilde özetlenebilir;

İbrahim ve arkadaşları[2], gerçekleştirdikleri çalışmada, dört sinir ağı tabanlı algoritma: yapay sinir ağı (ANN), konvolüsyonel sinir ağı (CNN), uzun kısa süreli bellek (LSTM) ve LSTM ile CNN'yi birleştiren hibrit model konvolüsyonel LSTM (ConvLSTM), ve bir destek vektör makinesi (SVM) modeli hibritlemesi test etmişlerdir. Test sonuçlarına göre SVM'nin en doğru tahminleri sunmasına rağmen, daha az hesaplama gerektirmesi ve yüksek tahmin doğruluğu nedeniyle ConvLSTM en uygun algoritma olarak seçilmiştir.

Liu ve arkadaşları [3], daha tatmin edici tahmin hassasiyeti ve kararlılığı elde etmek için çok amaçlı optimizasyon algoritması kullanmışlardır. Çoklu tahmin modelleri, rüzgar hızı tahmini için birleşik bir model oluşturmak üzere çalışmaya entegre edilmiştir. Geliştirilen tahmin sisteminin özelliklerini doğrulamak için, gerçek veriler ile vaka çalışmaları yapılmış, nokta tahmini ve aralık tahmin sonuçlarının, tahmin sisteminin tahmin kesinliği ve istikrarı açısından araştırmadaki tüm karşılaştırmalı modelleri olumlu bir şekilde etkilediği tespit edilmiştir. Bu nedenle, çalışmada geliştirilen sistemin tahmin hassasiyetini artırmak için son derece kullanışlı olduğu ve akıllı şebeke programlaması için makul ve geçerli bir araç kabul edilebileceği belirtilmiştir.

Zhang ve arkadaşları [4], rüzgar gücü tahmininin doğruluğunu etkin bir şekilde artırabilen VMD algoritması (varyasyonel mod ayrıştırma algoritması) yardımıyla geliştirilmiş GA-ANN'ye dayalı Kısa Vadeli Rüzgar Gücü Tahmin Modeli önermiştir. Çalışmada genetik algoritmanın global optimizasyon yeteneği ile yapay sinir ağı, tahmin performansını iyileştirmek için optimize edilmiştir. VMD tarafından geliştirilmiş GA-ANN'ye dayalı kısa vadeli rüzgar gücü tahmin modeli ile hiyerarşik kümeleme yöntemiyle geçmiş veriler aracılığıyla rüzgar hızının periyodik dalgalanmasının bulabildiği, böylece modelin kısa vadeli rüzgar gücü tahmininin doğruluğunu önemli ölçüde iyileştirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca bu araştırma çalışması ile güç sisteminin ilgili departmanlarının, elektrik şebekesi işletimi risklerini doğru bir şekilde değerlendirmesine, makul bir üretim planı yapmasına, güç işletiminin maliyetini etkin bir şekilde düşürmesine ve yeşil enerjinin gelişimini büyük ölçüde teşvik etmesine yardımcı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Hur [5], çalışmasında iki farklı aşamadan oluşan rüzgar gücü tahmin şeması sunmaktadır. Tahmin şemalarının ilk aşamasında, 3 boyutlu rüzgar alanı modeli ve doğrusal olmayan rotor modeline dayalı olarak tasarlanan Genişletilmiş Kalman filtresi kullanılarak modelleme gerçekleştirilmiştir. Devam eden tahmin aşamasında ise ekstrapolasyon ve makine öğrenimi yöntemleri kullanılmıştır. Bu entegre rüzgar gücü tahmin şeması, aslına uygun

bir aeroelastik modelden elde edilen veriler kullanılarak çalışma kapsamında test edilmiştir.

Jiang ve arkadaşları [6], çalışmalarında optimal alt model seçimi, değiştirilmiş çok amaçlı optimizasyon algoritmasına dayalı nokta tahmini, dağılım uydurmaya dayalı aralık tahmini ve tahmin sistemi değerlendirmesi olmak üzere dört bölümden oluşan birleşik bir tahmin sistemi önermiştir. Geliştirilen sistem için yapılan deneysel sonuçlar, önerilen kombine tahmin sisteminin etkili rüzgar hızı noktası ve aralığı tahminleri sağlayabildiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca önerilen sistemin, elektrik güç sistemlerinin programlanması ve yönetimi için diğer kıyaslama modellerine göre daha kullanışlı olduğu tespit edilmiştir.

Li ve arkadaşları [7], çalışmalarında geleceğin tahmin doğruluğunu artırmak ve rüzgar ivmesini entegre etmek için yeni bir Markov tahmin modeli önermektedir. Önerilen yöntemde Geçiş Olasılığı Matrisi (TPM) hesaplanarak, Markov zincirindeki temel durum geçiş mekanizmalarını yönetmesi sağlanmaktadır. Çalışmada önerilen yöntemin, gelişmiş tahmin doğruluğu ve ek bilgileri tahmin modeline kodlamak için mükemmel esneklik gibi çeşitli avantajlara sahip olduğu vaka çalışmalarıyla doğrulanmıştır.

Zhang ve arkadaşları [8], yeni bir rüzgar gücü tahmin şeması önermiştir. İlk olarak, geliştirilmiş hibrit bir model kullanılmış, ardından iyileştirilmiş parçacık sürüsü optimizasyon algoritması tarafından optimize edilen uzun ve kısa süreli bellek sinir ağı, doğrusal olmayan diziyi ve gürültü dizisini eğitmek için kullanılmış; son olarak da doğrusal diziyi eğitmek için otheregresif hareketli ortalama modeli kullanılmıştır. Bu kapsamda, önerilen kombinasyon tahmin modelinin net bir yapıya ve tahmin sonuçlarının yüksek doğruluk payına sahip olduğu yapılan vaka çalışmalarıyla tespit edilmiştir.

Kosanoğlu ve arkadaşları [9], çalışmaları kapsamında dört farklı Tekrarlayan Sinir Ağları (TSA) modelini rüzgâr enerjisi üretim tahminlemesi için kullanmışlardır. Çalışmalarında saatlik tahmin yapılarak modellerden elde edilen

performans sonuçları değerlendirilmiş, TSA yöntemlerinin rüzgâr gücü tahmininde başarılı bir şekilde kullanılabileceği ve geleneksel zaman serisi yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır.

Tang ve arkadaşları [10], ele aldıkları bu çalışmada rüzgar enerjisindeki mekansal ve zamansal değişimini analiz etmişlerdir. Araştırma sonucunda; çalışma alanındaki rüzgar enerjisi kaynaklarında önemli mevsimsel farklılıklar olduğu ve çalışma alanındaki rüzgar enerjisinin önemli bölgesel özelliklere sahip olduğu saptanmıştır. Ayrıca rüzgar enerjisi kaynaklarının, esas olarak küresel ısınmanın neden olduğu büyük ölçekli okyanus ve atmosferik sirkülasyon modellerindeki değişiklikler nedeniyle 2010'dan bu yana kademeli olarak arttığı tespit edilmiştir.

Wickramasinghe ve arkadaşları [11], çalışmalarında makine öğrenimi ve istatistiksel teknikler kullanılarak yeni bir rüzgar enerjisi tahmin modeli geliştirmiş, bu model bir rüzgar çiftliği için çalışma kapsamında test edilmiştir. Modellemede girdi değişkeni olarak rüzgar hızı ve ortam sıcaklığı, çıktı değişkeni ise günlük rüzgar enerjisi üretimi olarak seçilmiştir. Rüzgar enerjisi ile her bir hava durumu indeksi arasındaki korelasyon Pearson ve Spearman korelasyon katsayıları kullanılarak araştırılmış, günlük rüzgar enerjisi çıktısının her iki günlük ortalama girdi değişkeni ile pozitif olarak ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında ayrıca Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR) ve Güç Regresyonunun (PR) istatistiksel tahmin modelleri, Destek Vektör Regresyonu (SVR), Gaussian Süreç Regresyonu (GPR), İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Sinir Ağı (FFBPNN), Kademeli İleri Geri Yayılımlı Sinir Ağı (CFBPNN) ve Tekrarlayan Sinir Ağı (RNN) makine öğrenmesi teknikleri geliştirilmiştir. Tahmin modellerinin doğruluğu, belirleme katsayısı, yüzde kök ortalama kare hatası (RMSE) sapması ve Nash-Sutcliffe Verimliliği (NSE) açısından ölçülmüş; performans değerlendirmesinin sonuçları, tüm modellerin yüksek doğrulukta olduğunu gösterirken, FFBPNN tabanlı modelin ise, çok düşük hata ile olağanüstü bir performans sergilediği belirlenmiştir.

Yang ve arkadaşları[12], Avrupa'nın beş iklim bölgesi üzerinde gelecekteki yenilenebilir enerji potansiyelini tahmin etmede iklim belirsizliklerinin etkisini ölçmek için kapsamlı bir çalışma sunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, GCM'lerin (küresel iklim modellerinin) neden olduğu belirsizliğin, yenilenebilir enerji üretiminin projelendirilmesinde en önemli etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. İklim değişikliği belirsizliklerinin, güneş PV ve rüzgar enerjisi potansiyeli için yol açtığı farklılıklar belirlenmiştir. Ayrıca güneş radyasyonunda iklim değişikliği sinyalinin senaryolar arasında ve zamanla nasıl etkilediği ve rüzgar üretimine olan etki oranları vaka çalışmalarıyla çalışma kapsamında sunulmuştur.

Zhang ve arkadaşları [13] çalışmalarında tekil değer ayrıştırma (SVD) ile birleştirilmiş uyarlamalı gürültü (CEEMDAN) ile tam topluluk ampirik mod ayrıştırmasına dayalı bir sinyal işleme yöntemi önermektedir. Araştırma kapsamında içsel mod işlevlerini (IMFs) tahmin etmek için parçacık sürüsü optimizasyon algoritması (PSO) ve otoregresif entegre hareketli ortalama modeli (ARIMA) ile optimize edilmiş Elman sinir ağları kullanılmıştır. Önerilen model yardımıyla, rüzgar hızı tahmininin etkisini iyileştirebildiği, tahmin hatasını azaltabildiği ve rüzgar çiftliklerinin istikrarlı çalışması ve enerji santrallerinin şebeke bağlantısı için güçlü destek sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

Özellikle son yıllarda yapılan çalışmalarda rüzgar enerjisinin, dünyadaki kullanımı en çok artan yenilenebilir enerji kaynağı olduğu ve çevre dostu olması sebebiyle dünya genelinde öncelikli tercih haline gelmiştir. Rüzgar tribünleri olarak kullanılan birçok farklı çeşit olmasına rağmen yatay eksenli rüzgar türbinleri, günümüzde kullanılan başlıca büyük türbin çeşidi olarak tanımlanmaktadır. Hem araştırmacılar arasında hem de ticari boyutu dolayısıyla büyük ilgi gören bu tribün türü, ele alınan çalışmada verileri incelenen rüzgar santralinde kullanılmakta olup, araştırma kapsamında 100.000 gerçek data işlenmiştir. Yapay Sinir Ağı'nda (YSA) %70 - %30 test ve eğitim datası sırayla alınmış, çalışmada rüzgar tribünü çıkış gücü tahmini

yapılmıştır. Yatay eksenli rüzgar tribünlerinin hızı, rüzgar hızı, kanat açısı, hava basıncı ve zaman girdi olarak alınmış ve sistem modellemesi gerçekleştirilmiştir.

2. YÖNTEM

2.1. Rüzgar Gücü Tahminleme Modelleri

Günümüzde enerji üretim maliyetlerinin artması, lisanssız GES ve RES yönetmelikleri ve üretim-tüketime göre fiyatladırılmalar sebebi ile tahminleme çalışmalarının önemi gitgide artmaktadır. Literatürde yapılan tahminleme çalışmaları incelendiğinde, kısa, orta ve uzun süreli tahminlemelerin yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalar incelendiğinde modellemelerin yapay sinir ağı (YSA), bulanık mantık, ANFİS ve melez tabanlı oldukları tespit edilmiştir. Ele alınan bu çalışmada, literatürde en yaygın karşılaşılan, uygulama kolaylığına sahip, performansı ve doğruluk payı yüksek üç model karşılaştırılmış olup, materyal ve metot kısmında bu üç modelin detaylı incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

2.1.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin bilgi işleme tekniğinden esinlenerek geliştirilmiş bir bilgi işlem teknolojisidir. YSA ile basit biyolojik sinir sisteminin çalışma şekli taklit edilir. Yani biyolojik nöron hücrelerinin ve bu hücrelerin birbirleri ile arasında kurduğu sinaptik bağın dijital olarak modellenmesidir [5,9]. Yapay sinir ağı modelleri tek katmanlı algılayıcılar, çok katmanlı algılayıcılar, ileri beslemeli yapay sinir ağları ve geri beslemeli yapay sinir ağları olmak üzere dört grupta incelenebilir. Tek katmanlı ağlar, sadece girdi ve çıktıdan oluşur.

YSA'lar kullanıldığında analitik olmayan, doğrusal olmayan ve stokastik tipteki çok karmaşık problemler sınırlı programlama bilgisi ile çözülebilmektedir. Literatüre göre Yapay Sinir Ağı yöntemleri arasında ileri beslemeli sinir ağları (FFNN), radyal tabanlı sinir ağları (RBNN) ve genelleştirilmiş regresyon sinir ağları (GRNN) bulunmaktadır. Bununla birlikte, geri yayılım (BP)

algoritması, çok katmanlı FFNN'lerde en yaygın denetimli eğitim algoritmalarıdır. Geri yayılım algoritması (BP), çıktının mevcut olduğu tek katman olduğu için, çıktı katmanını hesaplayarak başlar. Bu nedenle ara katmanlar için çıktılar mevcut değildir.

YSA'da giriş değerleri ve her giriş için ağırlık değerleri (W_0) mevcuttur. Girilen değer ile ağırlıklar (W_0) çarpıldıktan ($W_n X_n$) sonra tüm çarpım değerleri toplama fonksiyonu ile birlikte toplanarak sistemin net girdi değeri elde edilir. Net giriş değerine bias (b) eklendikten sonra aktivasyon fonksiyonuna iletilir ve bir çıkış değeri (Y) elde edilir.

Yapay Sinir Ağı mimarisinde girdi değişken sayısının az veya çok olması sonucun kesinliğini doğrudan etkiler. Mevcut veri setindeki ilişkiler analiz edilir ve tahmin edilen değer üzerinde büyük etkisi olan bağımsız değişkenler girdi değişkenleri olarak seçilir. Çıktılar ise, aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen ve tahmin edilen değerlerdir. Toplama işlevi, toplam net girdiyi hesaplamak için kullanılan işlevdir. Hesaplama sırasında minimum, maksimum veya kümülatif toplam fonksiyonları kullanılır.

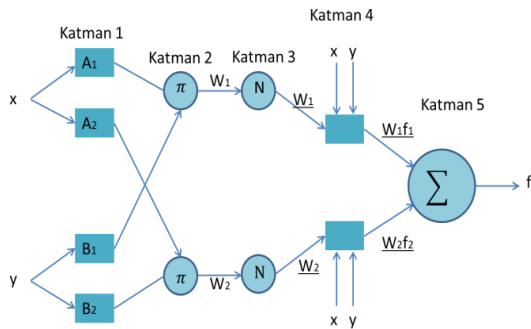
Transfer fonksiyonu matematiksel bir fonksiyondur. Toplama fonksiyonunun çıktısının net girdi değerini alır ve bunu bir çıktıya dönüştürür. Doğrusal ve doğrusal olmayan iki tür aktivasyon fonksiyonu vardır. Doğrusal fonksiyonların kapasitesi daha sınırlıyken, doğrusal olmayan problemleri sonuçlandırmak için modellerde doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonları kullanılır.

2.1.2. Uyarlanabilir Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFİS)

ANFİS, yapay sinir ağlarının paralel hesaplamasını ve bulanık mantığın öğrenilebilirliğini kullanan hibrit bir yapay zeka yöntemidir. ANFİS'de bulanık bir sistem oluşturmanın başlangıç noktası 'eğer-ise' kuralının oluşturulmasıdır. Bu amaç için etkili bir araç olan ANFİS, verileri gerekli bulanık kurallara dönüştürebilen bir yöntemdir. YSA'nın

öğrenme yeteneği ile insan benzeri kararlar verme kolaylığı gibi bulanık mantık avantajlarını birleştirme fikrine dayanan ANFİS sistemi uyarlanabilir ağlar ve doğrudan bağlı düğümlerden oluşur [7,12,14].

Şekil 1’de ANFİS Modelinin genel ifadesine yer verilmiştir. Burada belirtilen her düğüm bir işlem birimini temsil etmektedir.

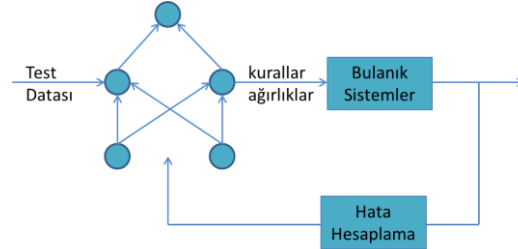


Şekil 1. ANFİS Modeli [14]

ANFİS yönteminin uygulanabilmesi için genelde giriş ve çıkışa dayanan bir veri kümesine ihtiyaç duyulmaktadır. Seçilen üyelik fonksiyon adedi ve tipine bağlı olarak kurulan model bir öğrenme algoritması kullanılarak oluşturulur. Yöntemin oluşturduğu bulanık mimarisi ‘eğer-ise’ kurallar kümesini kullanır. ANFİS mimarisi, ağırlık tamamlanması ile hedef değer arasındaki farkı, yani hatayı minimum yapacak şekilde parametrelerle belirlenmesi suretiyle oluşturulur. Teorik olarak, ANFİS herhangi bir sürekli fonksiyona mükemmel yaklaşabilir.

2.1.3. Bulanık Mantık Tabanlı Yapay Sinir Ağı (Fuzzy NN)

Bulanık-Sinir ağı; yapay sinir ağlarının (YSA) öğrenme ve en uygununu bulma yeteneği ile, bulanık mantığın insan gibi karar verebilme ve uzman bilgisi sağlama üstünlüklerinin birleştirilmesi esasına dayanan bir modelleme sistemidir [11,13]. Bulanık Sinir Ağı Genel Modelinin çalışma prensibi, Şekil 2’de verildiği gibi özetlenebilir.



Şekil 2. Bulanık Sinir Ağı Genel Modeli

Bir problemi çözmek için sadece sinir ağları değil aynı zamanda bulanık sistemler de kullanılır (ör. örüntü tanıma, regresyon veya yoğunluk tahmini). Yapay sinir ağları, problem yeterli sayıda örnek yardımıyla tanımlandığında doğru sonuçlar verebilir. Bu örnekler kara kutu tarafından eğitilmiştir. Bu nedenle, problemle ilgili önceki bilgilerin verilmesine gerek yoktur.

Ele alınan çalışma kapsamında Yapay Sinir Ağı, ANFİS ve Bulanık Sinir Ağı Modeli ile kısa dönemli rüzgar gücü tahmini yapılmıştır. Yapılan analizler MATLAB 2022-A Programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yöntemlerin ağ yapıları beş giriş ve bir çıkışa sahiptir. Giriş parametreleri, rüzgar hızı, tribün hızı, kanat açısı, hava basıncı ve zaman gibi meteorolojik veriler kullanılarak seçilmiştir. Çıkış parametresi ise rüzgar tribünleri çıkış gücüdür. YSA metodu kullanımında, ilk olarak problemin amacı doğrultusunda giriş ve çıkış katmanlarını içeren nöron sayıları belirlenmiştir. Çalışmada çıkış parametresi için kullanılan katman sayısı birdir. Giriş parametresi olarak kullanılan beş farklı parametre için belirlenen katman sayısı ise beştir. Modelleme mimarisinde gizli katman nöron sayısı on olarak belirlenmiş, deneme ve hata payı sonuçlarına göre en iyi yöntem tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bu amaçla kullanılan her üç yöntem için 100.000 data işlenmiş olup, Yapay Sinir Ağları’nda %70 - %30 testing ve training dataları sırasıyla alınmıştır. Eğitim için Çukurova Bölgesi’nde bulunan bir rüzgar tribün santralının 2020-2021 yıllarına ait 6 aylık, saatte 6 data içeren (10 dakikaya bir alınan) gerçek veri seti kullanılmıştır.

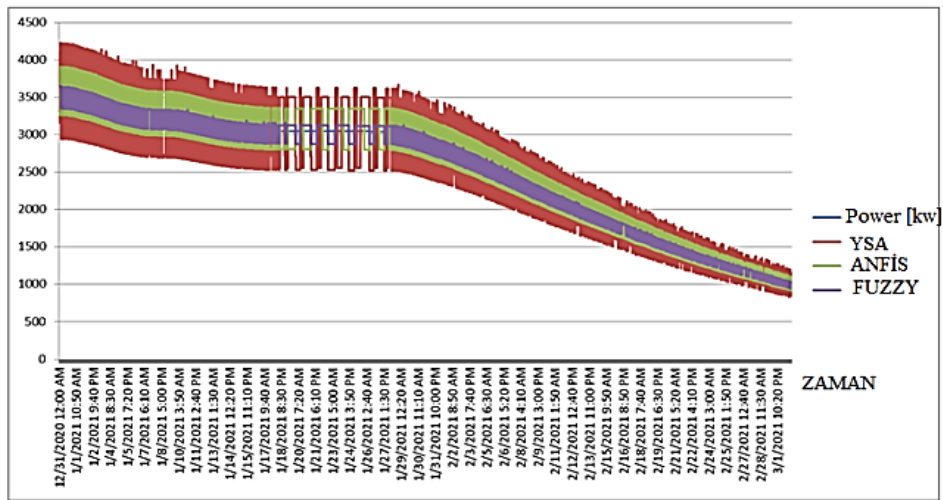
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde modelleme mimarisine göre kurulan sistemler incelenmiş, deneme ve hata payı sonuçlarına göre en iyi yöntem tespit edilmeye çalışılmış ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Şekil 3'de kullanılan tüm yöntemlerin tahmin sonuçları detaylı olarak incelenmiştir. Dataların

alındığı tarih aralığında gerçek rüzgar gücü datalarına en yakın tahminlemeyi mor renkte gösterilen fuzzy modelinin gerçekleştirdiği açıkça görülmektedir. Fuzzy sonuçlarının çevresinde yer alan ve en iyi ikinci tahminlemeyi gerçekleştiren model (yeşil renkli) ise ANFİS modeli olarak belirlenmiştir.

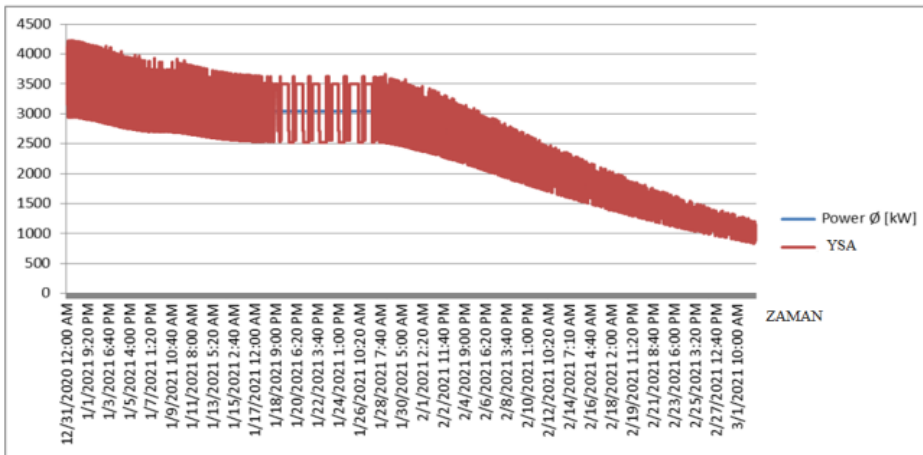
SAPMA DEĞERİ



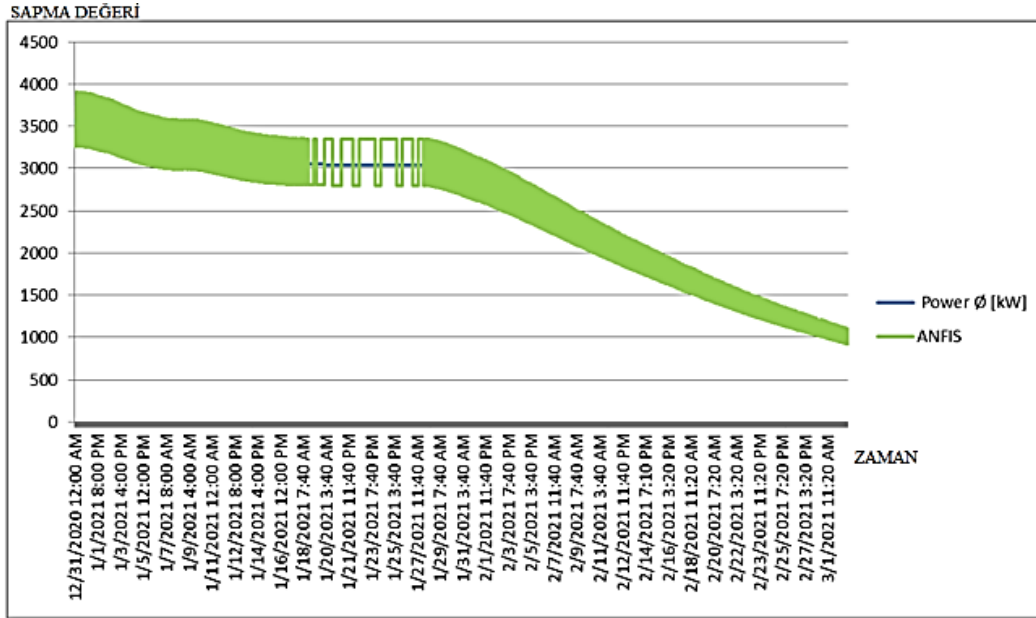
Şekil 3. YSA, ANFİS ve Fuzzy modellerinin gerçek çıktı değerleri ile karşılaştırılması

Şekil 4'de geleneksel YSA modeli ile elde edilen değerleriyle karşılaştırılması ayrıntılı olarak rüzgar gücü tahminlerinin gerçek rüzgar gücü verilmiştir.

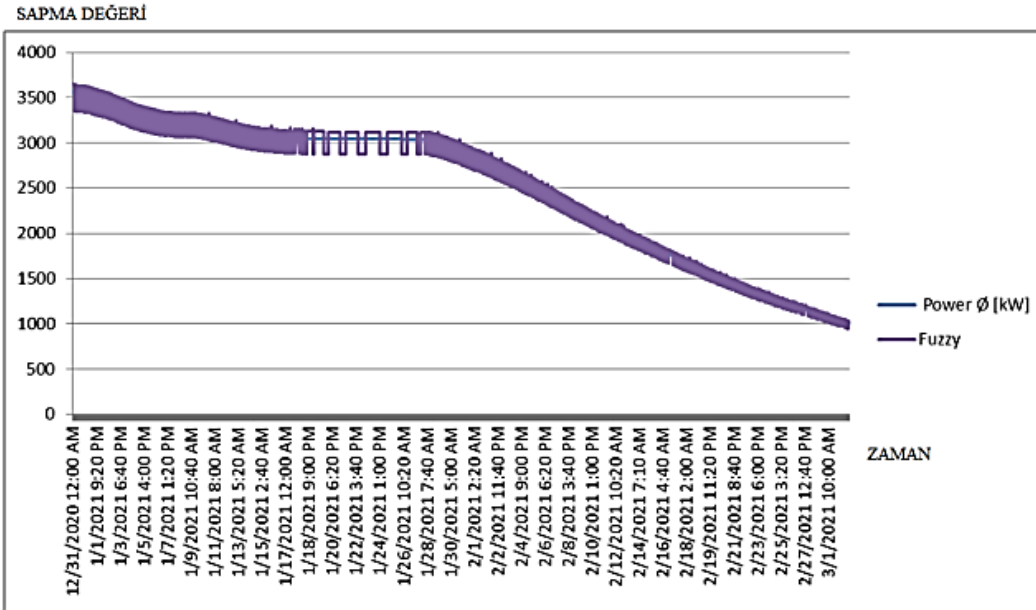
SAPMA DEĞERİ



Şekil 4. Gerçek data değerleri ile geleneksel YSA'ya dayalı tahmin modeli karşılaştırılması



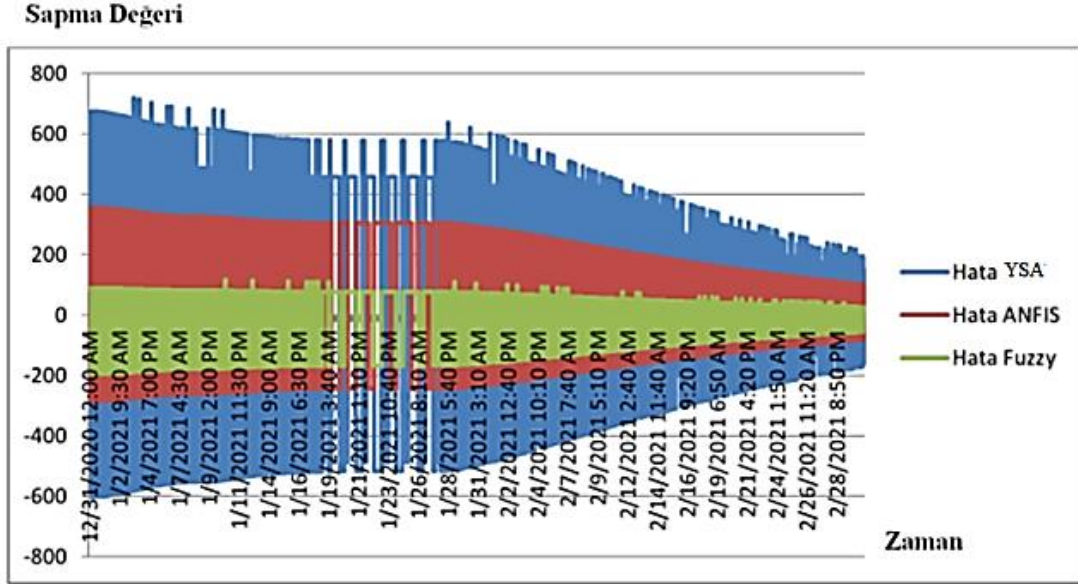
Şekil 5. Gerçek data değerleri ile ANFİS'e dayalı tahmin modeli karşılaştırılması



Şekil 6. Gerçek data değerleri ile Fuzzy'e dayalı tahmin modeli karşılaştırılması

Şekil 5'de ANFİS'e dayalı rüzgar gücü tahmin modeli sonuçları ile gerçek değerler karşılaştırılmıştır.

Şekil 6'da ise Fuzzy yaklaşımı kullanılarak elde edilen rüzgar çıktılarının gerçek değerlerle karşılaştırılması sunulmuştur.



Şekil 7. Gerçek rüzgar gücü değerleri ile tahmin edilen rüzgar gücü data değerleri arasındaki farkların karşılaştırılması

Şekil 7’de rüzgar tribününden elde edilen gerçek verilerin, kullanılan 3 farklı yöntem için hata payları karşılaştırılması yapılmıştır. Gözlenen çıktılar için hata payı başarı oranının en yüksek olduğu modelin (0’a en yakın olan alanda yayılan veri setlerine sahip olduğu için) fuzzy modeli olduğu açıkça görülmektedir.

Ortalama Yüzde Hata (Mean Percentage Error – MPE) ve Ortalama Mutlak Yüzde Hata (Mean Absolute Percentage Error – MAPE) hesaplamaları bir yöntemin doğruluk payı karşılaştırmaları için kullanılan en güçlü yöntemlerdendir. Literatürde; %10’un altında olan MAPE değerine sahip modellerin ‘çok iyi’, %10 ile %20 arasındaki değere sahip modellerin ‘iyi’, %20 ile %50 arasında hata payına sahip modellerin ‘kabul edilebilir’, %50’den daha büyük MAPE değerine sahip modellerin ise ‘yanlış ve hatalı’ olduğu belirtilmektedir. Bu değerlendirmeler ışığında, makale çerçevesinde kurulan üç farklı modelin MAE, MAPE ve RMSE değerleri Çizelge 1’de gösterilmiştir. Elde edilen MAPE değerleri değerlendirmesinde, en iyi doğruluk payına Fuzzy modelinin sahip olduğu açıkça görülmektedir.

Çizelge 1. MAPE-RMSE-MAE Tablosu

	MAPE	RMSE	MAE
Fuzzy	1.3721	5.132	4.924
ANFIS	1.6471	7.631	6.681
ANN	2.2841	10.484	8.742

Çizelge 2’de açıkça görüldüğü üzere, sistemin birinci ve ikinci gizli katmana göre eğitim dataları (Training Data Sets) Normalized Mean Square Error (NMSE) değerleri için en doğru sonuca yine Fuzzy uygulamasıyla vardığı sonucuna ulaşılmıştır.

Çizelge 2. MAPE-RMSE-MAE tablosu

	Hidden layer 1	Hidden layer 2	Error training (NMSE)
Fuzzy	12	-	0.000973
ANFIS	6	4	0.000852
ANN	6	6	0.000641

4. SONUÇLAR

Kısa vadeli rüzgar gücü tahmini, elektrik şebekelerinin bütünlüğü ve kararlılığı için önemli

bir konudur. Özellikle ilerleyen yıllarda gerçekleştirilmesi zorunlu hale gelen Avrupa Birliği Yeşil Mütebakatı ile bu yenilenebilir enerji kaynağının verimli kullanımı daha da önem kazanmıştır. Bu çerçevede ele alınan çalışma kapsamında, Çukurova Bölgesi'nde rüzgar hızı, tribün hızı, kanat açısı gibi verilerden oluşan saatlik zaman serileri kullanılarak YSA, ANFİS ve Bulanık Tabanlı Sinir Ağı (Fuzzy) modelleri tahminlemesi yapılmıştır. Sonuçlar birbiri ile ve gerçek rüzgar gücü değerleri ile karşılaştırılarak çalışmanın en verimli modeli seçilmiştir.

Ele alınan hibrit yöntemler, doğrusal olmayan dizilerin modellenmesinde ve optimizasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. Bu amaçla seçilen yöntemler arasında ANFİS ve Bulanık Tabanlı Sinir Ağı yöntemlerinin, sığ mimariye sahip YSA'lerden daha iyi olduğu ve rüzgar hızı verilerindeki kararsızlıkları ele alarak ileri doğrulukta rüzgar gücü tahminini geliştirdiği tespit edilmiştir. Tahmin sonuçları regresyon ve hata analizi çerçevesinde değerlendirildiğinde, en iyi sonuçların Bulanık Tabanlı Sinir Ağı (Fuzzy) yöntemi ile elde edildiği sonucuna varılmıştır.

Modelin doğruluğunu ve kararlılığını ölçmek ve önerilen yöntemleri test etmek için Çukurova Bölgesi'nde yer alan bir rüzgar santralinden elde edilen 100.000 data içeren rüzgar hızı veri seti kullanılmıştır. Bu kapsamda üç model kurulmuş ve performansları gerçek rüzgar tribünü performansları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada rüzgar tribünü çıkış gücü tahmini yapılmıştır. Yatay eksenli rüzgar tribünlerinin hızı, rüzgar hızı, kanat açısı, hava basıncı ve zaman girdi olarak alınmış ve rüzgar güç tahmini çıkış verisi alınarak sistem modellenmesi gerçekleştirilmiştir.

Hata payları karşılaştırılmasında; geleneksel YSA yönteminin %11 ile %21 arasında, ANFİS programının %8 ile %10, Fuzzy modelinin ise %2 ile %5 arasında hata payına sahip olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 1'de ve Çizelge 2'de de detaylı paylaşılan bilgiler ışığında iki yöntemin çok iyi, bir yöntemin ise iyi sonuç verdiği MAPE değerlerine göre belirlenmiş olup, en iyi sonucun %3.5 hata payı ile Fuzzy modellenmesi olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; Fuzzy

yöntemi, rüzgar gücü tahmin performansını en iyi iyileştirme derecesine sahip olarak belirlenmiştir. Bu çalışma ile benzer verilere uygulanacak olan üç farklı mimarinin tahmin performanslarında yüksek performans göstermesi ve gelecek çalışmalara da ışık tutması umulmaktadır.

5. KAYNAKLAR

1. Kumar, S., Sahay, K.B., 2018. Wind Speed Forecasting Using Different Neural Network Algorithms. 2018 2nd International Conference on Electronics, Materials Engineering & Nano-Technology (IEMENTech), 1-4.
2. Ibrahim, M., Alsheikh, A., Al, Q., Al-Dahidi, S., Elmoaqet, H., 2020. Short-Time Wind Speed Forecast Using Artificial Learning-Based Algorithms. Computational Intelligent Neuroscience, 2020, 1-15.
3. Liu, Z., Jiang, P., Zhang, L., Niu, X., 2020. A Combined Forecasting Model for Time Series: Application to Short-Term Wind Speed Forecasting. Applied Energy, 259, Article 114137.
4. Zhang, Y., Pan, G., Chen, B., Han, J., Zhao, Y., Zhang, C., 2020. Short-Term Wind Speed Prediction Model Based on GA-ANN Improved by VMD. Renewable Energy, 156, 1373-1388.
5. Hur, S., 2021. Short-Term Wind Speed Prediction Using Extended Kalman Filter and Machine Learning. Energy Reports, 7, 1046-1054.
6. Jiang, P., Liu, Z., Niu, X., Zhang, L., 2021. A Combined Forecasting System Based on Statistical Method, Artificial Neural Networks, and Deep Learning Methods for Short-Term Wind Speed Forecasting, Energy, 217, 119361.
7. Li, W., Jia, X., Li, X., Wang, Y., Lee, J., 2021. A Markov Model for Short Term Wind Speed Prediction by Integrating the Wind Acceleration Information, Renewable Energy, 164, 242-253.
8. Zhang, Y., Li, R., Zhang, J., 2021. Optimization Scheme of Wind Energy Prediction Based on Artificial Intelligence, Environmental Science and Pollution Research, 28, 39966-39981.

9. Kosanoğlu, F., Kiriş, Z., Beyca Ö., 2022. Tekrarlayan Sinir Ağları Temelli Rüzgar Hızı Modelleri: Yalova Bölgesinde Bir Uygulama. Zeki Sistemler Teori ve Uygulama Dergisi, 5(2), 178-188.
10. Tang, C., Tao, X., Wei, Y., Tong, Z., Zhu, F., Lin, H., 2022. Analysis and Prediction of Wind Speed Effects in East Asia and the Western Pacific Based on Multi-Source Data. Sustainability, 14, 12089.
11. Wickramasinghe, L., Ekanayake, P., Jayasinghe, J., 2022. Machine Learning and Statistical Techniques for Daily Wind Energy Prediction. Gazi University Journal of Science, 35(4), 1359-1370.
12. Yang, Y., Javanroodi, K., Nik, V., 2022. Climate Change and Renewable Energy Generation in Europe-Long-Term Impact Assessment on Solar and Wind Energy Using High-Resolution Future Climate Data and Considering Climate Uncertainties. Energies, 15(1), 302.
13. Zhang, Y., Chen, Y., 2022. Application of Hybrid Model Based on CEEMDAN, SVD, PSO to Wind Energy Prediction. Environmental Science and Pollution Research, 29, 22661-22674.
14. Ceylan Z., Bulkan S., 2018. Türkiye Ulaşım Kaynaklı Enerji İhtiyacının Hibrit ANFIS-PSO Metodu ile Tahmini. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18, 740-750.

Çoklu Projeksiyon Yöntemleri ile Kahramanmaraş'ın Gelecek Nüfusunun Belirlenmesi

Zehra Nur CEYHAN¹ ORCID 0000-0002-5607-8822

Muhammet Ömer DİŞ^{*1} ORCID 0000-0002-3347-5112

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

Geliş tarihi: 31.01.2022

Kabul tarihi: 30.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: CEYHAN, Z.N., DİŞ, M.Ö., (2022). Çoklu Projeksiyon Yöntemleri ile Kahramanmaraş'ın Gelecek Nüfusunun Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 1155-1164.

Öz

Nüfus artış hızı; kültürel, bilimsel ve teknolojik gelişmelere eş güdümlü olarak değişmektedir. Hızlı nüfus artışı ve göç, kontrolsüz kentleşmeye ve klimatolojik değişikliklere neden olabilmektedir. 1960'tan günümüze kentleşme hızının artmasıyla birlikte Kahramanmaraş'da 50'den fazla taşkın meydana gelmiş, yerleşim yerleri ve tarım arazileri zarar görmüştür. Bu nedenle, geleceğe yönelik kalkınma planları yapılırken nüfusun doğru tahmin edilmesi, planlamanın uygulanabilmesi ve verimliliği açısından önemlidir. Nüfus, çeşitli parametrelere dayanan nüfus projeksiyonlarıyla hesaplanmaktadır. Bu çalışmada, bölgenin 2070 yılına kadarki nüfusu 10 yıllık aralıklarla matematiksel yöntemler kullanılarak tahmin edilmiştir. Yöntemlerin tahmin performansı çeşitli indisler yardımıyla belirlenmiş olup matematiksel metodların genel olarak başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Merkez ve merkeze yakın ilçelerde gelecek nüfusların artacağı yönde bir trendin olduğu ve tahminlerin sayımlara yakınsadığı ancak merkezden uzaklaştıkça bu oranın düştüğü belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kahramanmaraş, Matematiksel yöntemler, Nüfus projeksiyonu

Determining the Future Population of Kahramanmaraş via Multiple Projection Methods

Abstract

Population growth rate; varies in parallel with cultural, scientific and technological developments. Rapid population growth and migration can lead to uncontrolled urbanization and climatological changes. With the increase in the urbanization rate since 1960, more than 50 floods have occurred in Kahramanmaraş, and residential areas and agricultural lands have been damaged. Therefore, accurate population estimation is important for the implementation and efficiency of the planning while making future development

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Muhammet Ömer DİŞ, momerdis@ksu.edu.tr

plans. Population is estimated by population projections based on various parameters. In this study, the population of the region was predicted using mathematical methods at 10-year interval until 2070. The estimation performance of the methods was determined with the help of various indices and it was observed that the mathematical methods were generally successful. It has been observed that there is an increasing trend for the future populations in the city center and counties close to the city center and the predictions converge to the censuses, but this rate decreases as you move away from the city center.

Keywords: Kahramanmaraş, Mathematical methods, Population projection

1. GİRİŞ

Su; insan yaşamı, ekosistemin sürekliliği, ulaşım, tarımsal ve endüstriyel üretim gibi birçok alanda gerekli temel bir unsurdur. Yaşamı bu derece etkileyen su, hidrolojik döngüde yer alan yağışın akışa geçmesiyle topoğrafik havzalarda toplanmaktadır [1]. Topoğrafyaya bağlı olmak üzere, Türkiye 26 su toplama havzasına sahiptir. Ülkemizde brüt su potansiyeli 193 milyar m³, kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı ise 1.519 m³ dolaylarındadır [2-3]. Kullanılabilir su potansiyeli sabitken, artan nüfus hızı insan yaşamında temel bir unsur olan suyun önemini daha da artırmaktadır.

Sınırları tanımlı bir alanda, doğum ve iç göç, ölüm ve dış göçten fazla ise o alanda nüfus artmaktadır. TÜİK tarafından hazırlanan 2030 yılı nüfus projeksiyonlarına göre nüfusun 90.000.000 civarında olacağı öngörülmekte olup kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının ise 1.120 m³/yıl' a düşmesi tahmin edilmektedir [4]. Bu nüfus artış hızı mevcut su potansiyelleriyle birlikte düşünüldüğünde, gelecekte Türkiye'nin de su fakiri bir ülke olma ihtimalini akla getirmektedir.

Nüfusun artması, ülkelerin gelişmişlik düzeylerine bağlı olarak su kaynaklarına olan ihtiyacı artırmaktadır [1]. Türkiye'de son 20 yılda su tüketimi %40 artmıştır. Gelecek 25 yıl içerisinde nüfus artış hızı, tarım, sanayi ve turizmdeki gelişime bağlı olarak su tüketiminde üç kat artış beklenmektedir [5]. Diğer taraftan, Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde hızlı nüfus artışı ve göç, kontrolsüz kentleşme ve sanayileşmeye neden olmaktadır. Çarpık ya da kontrolsüz kentleşmeye bağlı olarak dere

yataklarının daraltılması, güzergâhının değiştirilmesi veya yok edilmesiyle ani ve şiddetli yağışlar taşkınlarla neden olabilir. Bu durum su havzalarında istenmeyen toprak ve su sorunlarına sebep olacaktır [6-7].

Su kaynaklarının belirlenmesi, iyileştirilmesi ve geliştirilmesi amacıyla su kaynakları planlama çalışmaları yapılmakta olup çalışmaların verimliliği açısından gelecek nüfusun doğru tahmin edilmesi önemlidir. Gelecek nüfusun tahmininde ise doğum, ölüm, göç unsurlarının gelecekteki eğilimleri ve belli varsayımlara bağlı olan nüfus projeksiyonları ile tahmin edilebilir. Malthus'a göre nüfus geometrik diziyle artarken, gıda maddeleri aritmetik olarak artmaktadır [8]. Nüfus projeksiyonları; matematiksel, demografik ve ekonomik yöntemler olmak üzere üç farklı şekilde tahmin edilebilir. Veri sıklığının az olduğu durumlarda ise işlem kolaylığından dolayı yaygın olarak matematiksel yöntemlerle yapılan nüfus projeksiyonları kullanılmaktadır [9]. Nüfus artış hızı kültürel, bilimsel ve teknolojik gelişmelere bağlı değişmektedir [10]. Bu hız, gelişmiş ülkelerde %0,5-1 oranında artarken gelişmekte olan ülkelerde %2, gelişmemiş ülkelerde ise %2-3 gibi ciddi oranda artmaktadır. Ülkelerin nüfusları bu oranlarda artmaya devam ederse dünyanın nüfusunun 2030'lu yıllarda 10 milyar dolaylarında olacağı, bu nüfusun 1,6 milyarının ise gelişmiş ülkelerde yaşayacağı öngörülmektedir [11].

Mevcut su kalitesi ve miktarı korunsa dahi nüfus artışı ve bununla birlikte enerji, tarım, sanayi sektörlerinin büyümesine bağlı arzın artmasıyla mevcut su kaynakları üzerindeki baskı artabilir. Türkiye su stresi çeken bir ülke olup ciddi risk altındadır. Yücel ve arkadaşları tarafından Kahramanmaraş'daki işletme ve inşaa durumunda olan baraj ve göletlerin mevcut durumu, kullanım amaçları ve akarsu kaynakları incelenmiştir. İldeki

baraj ve göletler çoğunlukla enerji üretimi ve sulama ayrıca içme suyu temini ve taşkın kontrolü amacıyla kullanılmaktadır. Çalışmada, mevcut su potansiyelleri göz önüne alınmış ancak nüfus projeksiyonları ile ilgili herhangi bir bilgiye yer verilmemiştir [12].

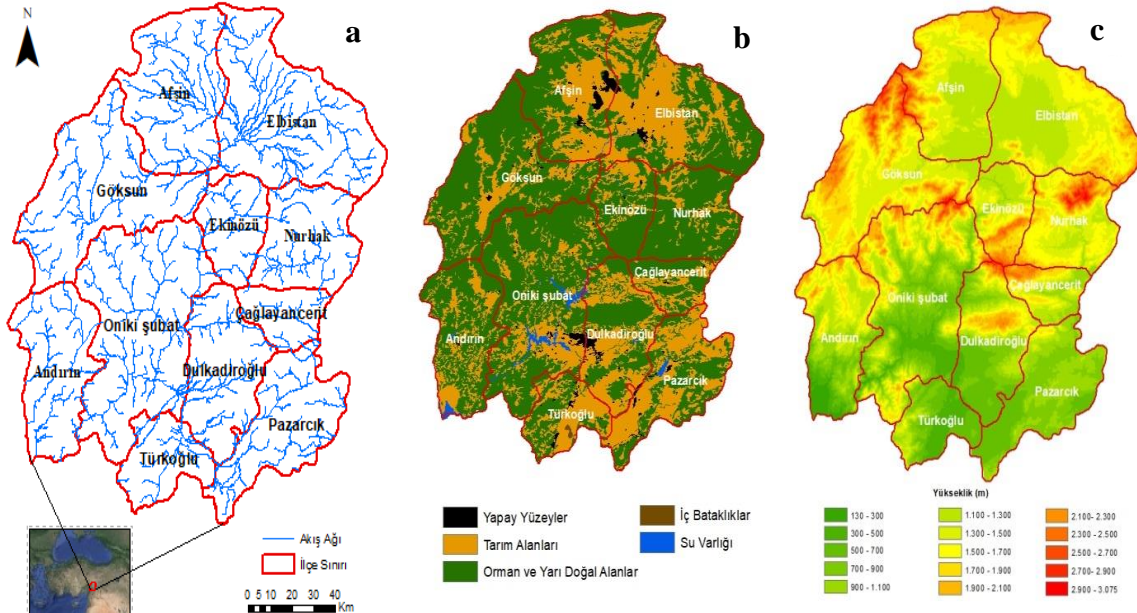
Bu çalışmada, hızla artan nüfusun mevcut su potansiyelleri üzerinde oluşturacağı baskılar düşünülerek ve olası taşkın potansiyelinin artması hesaba katılarak Kahramanmaraş il genelinde gelecek nüfus projeksiyonları incelenmiştir. Çalışmada, mevcut nüfus ve geçmiş yıllardaki sayımlar dikkate alınarak matematiksel yöntemlerle nüfus artış hızı tespit edilip 10 yıllık aralıklarla gelecekteki nüfus projeksiyonu ve gelişimi hesaplanmıştır. Sonrasında yöntemlerin tahmin performansı çeşitli istatistiksel indislerle değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı

Kahramanmaraş, Akdeniz'in kuzeydoğusunda yer alan, 14.521 km²'lik yüzölçümü ile

Türkiye'nin on birinci büyük ilidir. Sivas, Kayseri, Adana, Osmaniye, Gaziantep, Adıyaman ve Malatya ile komşudur. Akdeniz iklimi ve Karasal iklimin arasında Bozulmuş Akdeniz iklimi etkilidir. Merkez ilçe (Onikişubat, Dulkadiroğlu), Elbistan, Afşin, Türkoğlu, Pazarcık, Göksun, Andırın, Çağlayancerit, Nurhak, Ekinözü ilçelerinden oluşan ilin tamamına yakını Ceyhan havzasında yer alır. Kahramanmaraş su kaynakları akış ağını akarsu, doğal ve yapay göller oluşturmaktadır (Şekil 1a). Ceyhan Nehri ilden doğmakta olup kolları üzerinde birçok çay, dere ve yapay göl vardır. İldeki akarsular; Andırın, Aksu, Erkenez, Göksu, Göksun, Hurman, İmalı, Karaçay, Kerhan, Kömür, Sarsap, Söğütlü, Terbüzek Çayları; Ağcalıdere, Akdere, Boğazdere, Cancığın Dere, Değirmendere, Fırız, İğdeli Öz, Kaçkırt, Kanlıdere, Karasu, Kısık, Koçak, Körsulu, Köşk, Öşüngele, Tatlar, Tekir ve Zeytin Dereleridir. Gâvur Gölü, Karagöl, Kumaşır Gölleri doğal göller; Adatepe, Ayvalı, Kandil, Kartalkaya, Kesik, Kılavuzlu, Menzelet, Merk, Sır, Suçatı, Süleymanlı ve Zorkun Barajları ise yapay göllerdir. Akarsu kollarının toplam uzunluğu ise 4,084 km, ortalama toplam yıllık yağış yüksekliği 733,7 mm, yüzey (yer altı) su potansiyeli 4,815 (343,5) ha³/yıl'dır.



Şekil 1. Çalışma alanı

Ani ve şiddetli bir yağış olması durumunda akış bu güzergâh üzerinde seyredecektir. 1960-2020 yılları arasında Merkez (18), Elbistan (10), Göksun (7), Afşin (5), Türkoğlu (5), Andırın (4) ve Pazarcık (2) ilçelerinde olmak üzere şehirde 50'den fazla taşkın meydana gelmiştir. Bu taşkınlardan en çok tarım arazileri zarar görmekte birlikte, yerleşim yerleri de etkilenmiştir. Örneğin, 1970 yılı Göksun (Büyükkızılı Mahallesi) ve 13 Haziran 2018 Merkez ilçede meydana gelen sel felaketlerinde toplam 6 kişi hayatını kaybetmiştir. Ek olarak ev, iş yerlerinde, ticari ve şahsi araçlarda, yollar ve şehrin altyapısında büyük miktarda maddi hasar meydana gelmiştir [13-16].

Kahramanmaraş genelinde arazinin %1,5'ini yapay yüzeyler (şehir, endüstriyel ve ticari birimler vb.), %35,7'sini tarım alanları, %61,7'sini orman ve yarı doğal alanlar (orman, çayır, çalılık vb.), %0,05'ini iç bataklıklar, %0,9'unu su varlığı (baraj, nehir, dere vb.) oluşturmaktadır (Şekil 1b). Ayrıca, bölgeye ait Sayısal Yükseklik Modelinden

(SYM) elde edilen rakım haritası Şekil 1c'de gösterilmiştir. Bölgeye ait rakım dağılımının bilinmesinin akarsu kollarının yönelimi, akım yönleri ve birikimi ve buna bağlı olarak su kaynakları üzerinde önemli etkisi vardır. Kahramanmaraş il ve ilçelerde rakım Şekil 1c'de gösterildiği gibi 130-3075 m aralığında dağılım göstermektedir. İl genelinde rakım güneyden kuzeye artmaktadır.

2.2. Veri Setleri

Bu çalışmada, Kahramanmaraş ve ilçelerdeki su kaynaklarının toplam uzunluğu ve yönelimini tespit etmek amacıyla, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımlarından Arc-GIS programı kullanılmıştır. SYM haritaları temel altlık oluşturmak için kullanılan çıktılardandır [17]. Havzanın temel altlığını oluşturmak amacıyla, SYM verileri ABD Jeolojik Araştırmaları Merkezi (USGS) üzerinden elde edilmiştir [18].

Çizelge 1. Kahramanmaraş ilçe ve toplam nüfusunun 1927-2019 yılları arası değişimi

Yıl	Merkez	Afşin	Andırın	Ç.Cerit	Ekinözü	Elbistan	Göksun	Nurhak	Pazarcık	Türkoğlu	Toplam
1927	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	186,855
1935	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	188,877
1940	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	202,073
1945	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	261,550
1950	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	288,843
1955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	336,797
1960	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	389,857
1965	141,949	49,037	33,169	-	-	78,664	37,616	-	68,795	29,193	438,423
1970	195,116	62,139	35,406	-	-	91,978	40,864	-	72,257	31,222	528,982
1975	232,131	77,483	40,342	-	-	109,595	48,609	-	90,763	42,557	641,480
1980	293,716	84,199	43,254	-	-	124,842	54,059	-	89,757	48,205	738,032
1985	336,961	99,517	43,447	-	-	147,631	58,512	-	103,261	51,143	840,472
1990	360,481	99,321	44,337	26,914	21,633	112,024	70,616	14,990	81,644	60,992	892,952
2000	465,370	92,718	41,051	29,580	17,102	128,267	76,033	17,260	72,628	62,375	1,002,384
2007	500,950	84,786	40,915	26,846	15,684	129,379	54,553	14,587	74,560	62,154	1,004,414
2008	511,887	86,926	41,371	27,051	15,635	131,948	56,668	15,461	77,371	64,980	1,029,298
2009	522,775	86,207	40,088	26,938	15,268	135,386	55,983	14,859	74,869	65,118	1,037,491
2010	532,216	85,339	39,441	26,701	14,815	137,283	55,370	14,337	74,259	65,055	1,044,816
2011	545,704	84,244	38,074	26,257	14,363	139,046	54,024	14,099	73,227	65,172	1,054,210
2012	558,664	83,324	36,439	25,692	13,833	139,855	52,845	13,706	72,270	66,546	1,063,174
2013	574,571	82,662	35,943	25,276	13,461	140,493	53,157	13,414	68,843	67,886	1,075,706
2014	589,423	82,122	35,298	24,548	12,526	142,168	52,142	13,068	69,320	68,423	1,089,038
2015	603,020	81,390	34,038	23,607	11,886	141,468	51,415	12,504	67,802	69,480	1,096,610
2016	616,301	81,591	34,148	23,318	11,670	142,783	51,515	12,348	68,187	70,773	1,112,634
2017	632,487	81,107	32,998	23,025	11,484	142,779	51,615	12,124	68,128	71,876	1,127,623
2018	641,317	81,423	33,193	23,346	11,839	142,548	55,985	12,592	68,838	73,770	1,144,851
2019	654,521	80,447	32,503	23,133	11,221	141,534	52,255	12,279	69,097	77,112	1,154,102

Kahramanmaraş il ve ilçe sınırlarının kalıplarına Arc-GIS online'dan ulaşılmıştır. Copernicus Land Monitoring Service (CORINE) 100 m mekânsal çözünürlüğe sahip uydu görüntülerinden ise bölgeye ait Arazi Kullanımı/Bitki Örtüsü haritası elde edilmiştir [19].

Diğer taraftan, Kahramanmaraş il ve ilçeleri nüfus verileri 1927-2019 yılları arasında TÜİK'ten temin edilmiştir [20]. Bir bölgedeki nüfus sayısı hakkındaki en iyi bilgi kaynağı şüphesiz resmi nüfus sayımı olmakla birlikte, gelecek yıllardaki su ihtiyaç ve sarfiyatlarını karşılamak maksadıyla gerekli mühendislik yapı ve projeleri için nüfus tahminlerinin hassaslığı önem arz eder. İl geneli ilk nüfus sayımı 28.10.1927 tarihinde yapılmış olup, 1935-1990 tarihleri arasında düzenli olarak her beş yılda bir, 2007'den günümüze ise yıllık olarak nüfus sayımı yapılmıştır (Çizelge 1). İlçeler bazında en eski mevcut veri 1965 yılı verisidir. Çağlayancerit (1986), Ekinözü (1990) ve Nurhak (1990) daha yeni ilçe statüsü kazandıkları için bu ilçelerdeki sayımlar 1990 yılından sonra yapılmıştır. Nüfus projeksiyonu hesaplamalarında bu sayım yılları referans alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

2.3. Nüfus Tahmin Yöntemleri

Meskûn bir bölgedeki nüfus tahminleri yapılırken yaygın olarak nüfus projeksiyon yöntemlerinden olan demografik ve matematiksel yöntemler kullanılır [9,21]. Hesaplamalarda, geçmiş iki nüfus sayımlarının artış kombinasyon ortalamaları kullanılarak değerler elde edilmiştir. Nüfus projeksiyonları için, matematiksel yöntemlerden olan Aritmetik Artış Metodu (AAM), Geometrik Artış Metodu (GAM) ve İller Bankası Metodu (İBM) uygulanmıştır. Bu projeksiyonlarda, artış sabiti (gelecek nüfus tahminleri) sırasıyla Eşitlik 1 (2), 3 (4) ve 5 (6) ile AAM, GAM ve İBM için hesaplanabilir. Eşitliklerde geçen, N_i , yerleşim yerinin ilk nüfusunu; N_s , yerleşim yerinin son nüfusunu; N_g , yerleşim yerinin gelecekteki veya sonraki nüfusunu; k_a ve k_g sırasıyla AAM ve GAM için nüfus artış hızını; t_i , nüfusu bilinen önceki yılı;

t_s , nüfusu bilinen sonraki yılı; t_g , nüfusu tahmin edilen yılı; α , son nüfus ile ilk nüfus arasında geçen süreyi (yıl) ifade etmektedir.

$$k_a = \frac{N_s - N_i}{t_s - t_i} \quad (1)$$

$$N_g = N_s + [k_a \times (t_g - t_s)] \quad (2)$$

$$k_g = \frac{\ln N_s - \ln N_i}{t_s - t_i} \quad (3)$$

$$\ln N_g = \ln N_s + [k_g \times (t_g - t_s)] \quad (4)$$

$$p = \left[\sqrt[\alpha]{\frac{N_s}{N_i}} - 1 \right] \times 100 \quad (5)$$

Burada Eşitlik 5'e göre hesaplanan p çoğalma katsayısı değerleri için aşağıdaki şekliyle düzeltilme değerleri uygulanır ve Eşitlik 6 ile İBM'ye göre gelecek nüfusu tahmin edilir.

$$p \leq 1 \rightarrow p = 1$$

$$1 < p < 3 \rightarrow p = p$$

$$p \geq 3 \rightarrow p = 3$$

$$N_g = N_s \times \left[1 + \frac{p}{100} \right]^{t_g} \quad (6)$$

2.4. İstatistiksel İndisler

Yöntemlerin tahmin performansları Nash-Sutcliffe Verimlilik Katsayısı (NSVK), Ortalama Bağıl Hata (OBH), Pearson Korelasyon Katsayısı (R) ve Merkezi Karesel Ortalama Hata (MKOH) istatistiksel değerlendirme metrikleri kullanılarak; sırasıyla Eşitlik 7, 8, 9 ve 10 yardımıyla değerlendirilmiştir. Eşitliklerde, n , TÜİK nüfus sayım toplam adedini; $N_{s,i}$, TÜİK nüfus sayımını (kişi); \bar{N}_s , TÜİK nüfus sayımlarının ortalamasını; $N_{T,i}$, AAM, GAM, İBM'ye göre nüfus tahminlerini (kişi); \bar{N}_T , bu tahminlerin ortalamasını ifade etmektedir. NSVK,

Nash-Sutcliffe tarafından model tahminlerinin doğruluğu tespit amacıyla ortaya atılmış olup bu katsayı $-\infty$ ile 1 arasında değişir [22]. Eğer değer 1 ise model çıktı değerleri gözlemlerle birebir örtüşmektedir. Sıfır değeri; modellerle elde edilen tahminlerin gözlem ortalaması kadar doğru olduğunu, negatif değerlerin ise gözlemlerin ortalamasının modellerden daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir. OBH analizi, tahminler ile gözlemler arasındaki yakınsamanın istatistiksel ifadesidir. $-\infty$ arasında değişmekte olup, pozitif (negatif) OBH değerleri tahminlerin sayımdan fazla (eksik) gösterirken, OBH değerinin sıfır olması tahminlerin gözlemleri yakaladığını ifade eder. R, tahminler ile gözlemler arasındaki korelasyonu belirtir ve -1 ile +1 arasında değerler alır. R değeri 1 (-1) ise pozitif (negatif) yönde lineer ilişki varken, sıfır olması durumunda ise korelasyon yoktur. Rastgele hatayı ölçen MKOH ölçütü 0 ile $+\infty$ arasında değişen değerler almaktadır. Burada tahminler sıfıra ne kadar yakınsa yöntem o kadar başarılıdır [22-26].

$$NSVK = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (N_{s,i} - N_{r,i})^2}{\sum_{i=1}^n (N_{s,i} - \bar{N}_s)^2} \quad (7)$$

$$OBH = \frac{\sum_{i=1}^n (N_{T,i} - N_{S,i})}{\sum_{i=1}^n N_{S,i}} \quad (8)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (N_{s,i} - \bar{N}_s) \times (N_{T,i} - \bar{N}_T)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (N_{s,i} - \bar{N}_s)^2 \times \sum_{i=1}^n (N_{T,i} - \bar{N}_T)^2}} \quad (9)$$

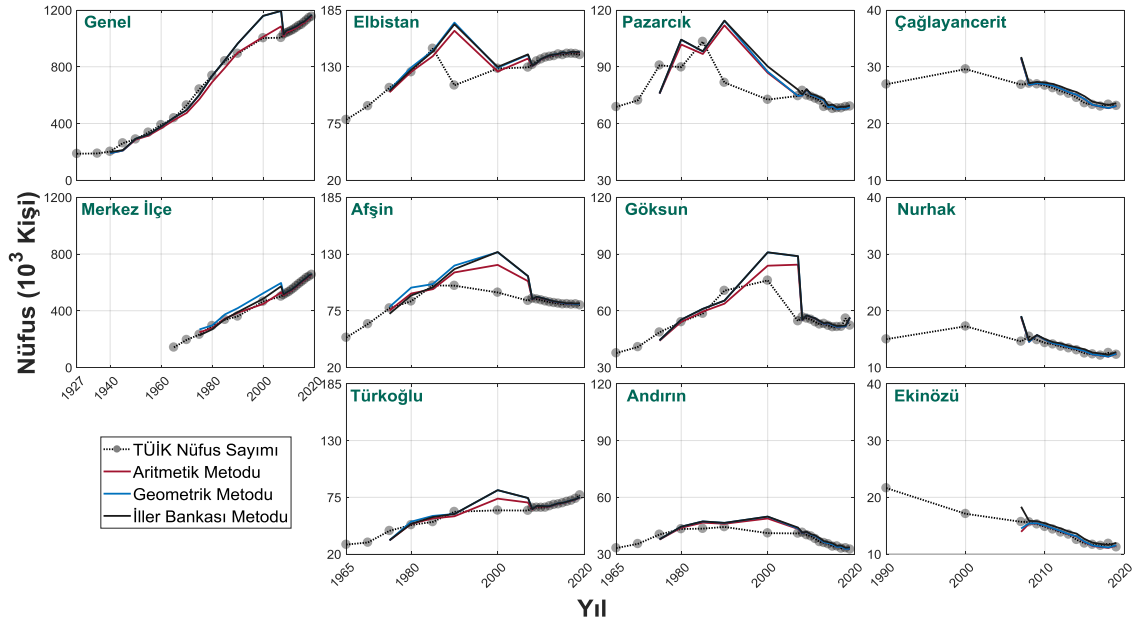
$$MKOH [\%] = \frac{100}{N_s} \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [N_{s,i} - N_{T,i} - (\bar{N}_s - \bar{N}_T)]^2}{n}} \quad (10)$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

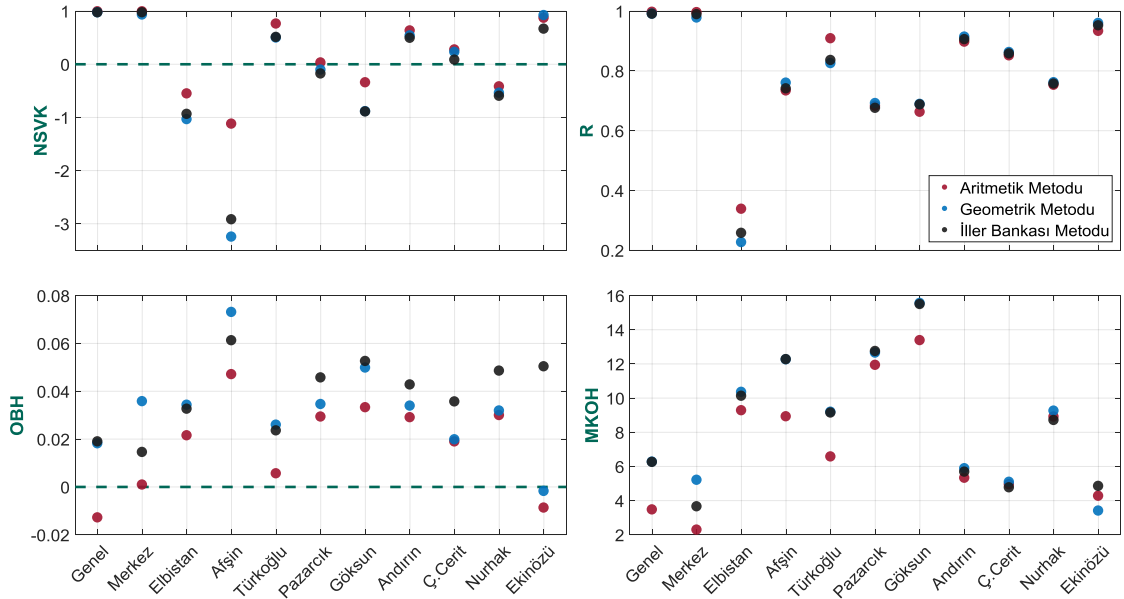
İl geneli ve ilçelere ilişkin nüfus projeksiyon yöntemleriyle elde edilen bulgular ayrı ayrı grafikler halinde verilmiştir (Şekil 2). Sunum

sıralaması öncelikle il geneli ve sonrasında mevcut nüfus büyüklüğüne binaen yapılmıştır. Kahramanmaraş genelinde 1927-2019 yılları arası nüfus sayımları incelendiğinde nüfusun hep arttığı gözlenmiştir. Bu artış trendi iki merkez ilçede (Onikişubat ve Dulkadiroğlu) ve merkeze yakın olan Türkoğlu'nda da gözlemlenmiştir. Bu ilçelerdeki projeksiyonlarla yapılan tahminlerin nüfus sayımlarıyla birbirine yakın olduğu gözlemlenmekle beraber, AAM yöntemi en iyi performansı sergilemiştir. Yıllık nüfus sayımının etkisiyle, 2007 yılından itibaren ise üç projeksiyon sistemi (AAM, GAM ve İBM) bütün ilçeler nezdinde TÜİK verileriyle örtüşmektedir. Bu ise veri sıklığının nüfus projeksiyonlarındaki önemini göstermektedir. Doksanlı yıllarda ilçe statüsü kazanan ve nüfusu 30.000'den daha az olan Çağlayancerit, Nurhak ve Ekinözü ilçelerinde, üç yöntemin performansı daha çok yakınlık göstermektedir. 1985-1995 yıllarına ait Elbistan, Afşin, Pazarcık, Göksun ve Andırın ilçelerindeki tahminlerin tutarsızlığının, yeni ilçe statülerinin oluşumuyla matematiksel yöntemlerin bu beş ilçedeki nüfus azalmasını öngörememesinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Yöntemlerin tahmin performansı istatistiksel indislere göre değerlendirildiğinde ise Şekil 2'deki bulguları destekler nitelikte olup genel anlamda başarılıdır. NSVK ve korelasyon katsayıları bakımından incelendiğinde Kahramanmaraş il geneli, Merkez, Türkoğlu, Andırın, Çağlayancerit ve Ekinözü ilçelerinde tahmin metodu fark etmeksizin performans sonuçları diğer ilçelere göre daha tutarlıdır. OBH bakımından sonuçlar incelendiğinde ise en küçük (büyük) değerlere aritmetik metodu (İller bankası metodu) ile ulaşıırken, OBH değerlerinin aralığının $-0,02$ ila $0,08$ arasında değişmektedir. MKOH ölçütü ile değerlendirildiğinde ise değer aralığı $\% -2$ ila 16 arasında değiştiği saptanmış olup aritmetik artış metodu sıfıra yakınsamasıyla en iyi sonucu vermiştir (Şekil 3).



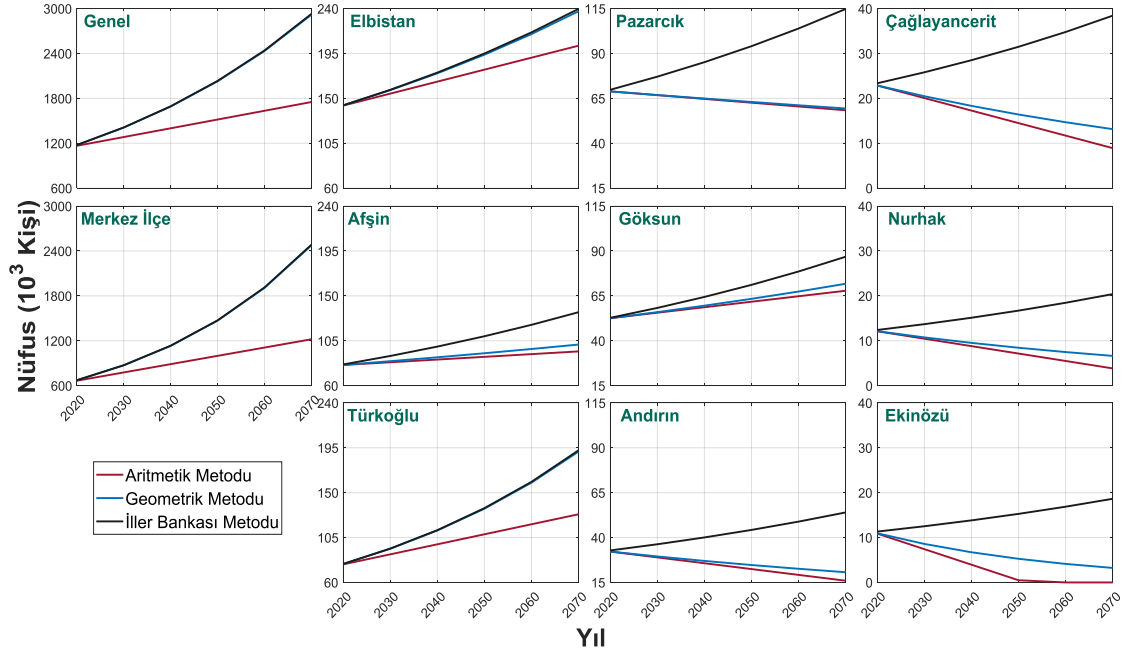
Şekil 2. Nüfus sayımları ve projeksiyon performansları



Şekil 3. Yöntemlerin tahmin performansı

Bütün nüfus sayımları göz önünde bulundurularak 2020-2070 yılları arasında 10 yıllık periyotlarla matematiksel yöntemler kullanılarak yapılan gelecekteki nüfus tahminleri ise Şekil 4'te

gösterilmektedir. İBM projeksiyonu bütün ilçe ve genel nüfusun 2070'e kadar artacağı yönde bir trend göstermektedir.



Şekil 4. Projeksiyon yöntemleriyle gelecek nüfus tahminleri

Şekil 2'deki TÜİK verilerinin de artış trendinin etkisiyle, Kahramanmaraş il geneli, Merkez ve merkeze yakın Türkoğlu ilçesine ek olarak Elbistan, Afşin ve Göksun ilçelerinde AAM ve GAM projeksiyonları gelecekteki nüfusun artış eğiliminde olduğu yönde tahminler vermektedir. Diğer taraftan, AAM ve GAM metotları, nüfusu 40.000'in altında olan Andırın, Çağlayancerit, Nurhak ve Ekinözü ilçelerindeki nüfusun azalım göstereceğini öngörmektedir. Gelecek 50 yıllık nüfus projeksiyonlarına bakıldığında, nüfustaki artış trendinin İBM yöntemine göre bütün ilçelerde olması, diğer metotlarda ise bu eğilimin Merkez ve merkeze yakın ilçelerde öncelikli olması su kaynaklarına olan ihtiyacın artmasına sebep olacaktır. Aynı zamanda, yeni iskân yerleri açılırken doğal havza morfolojisinin tahrip edilmemesine özen gösterilmelidir. Hızlı nüfus artışıyla birlikte, mevcut su potansiyeli üzerinde baskı oluşması beklenen bir sonuçtur. Bu durum dikkate alınarak nüfus artışına paralel bir şekilde su kaynakları üzerinde çeşitli planlama, düzenleme ve su kaynaklarının daha verimli kullanılmasına yönelik çalışmaların yapılması önem arz etmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Matematiksel yöntemler yardımıyla nüfus projeksiyonlarının etkin sonuçlar verebileceği görülmüştür. Nüfus verilerinin sıklığı arttıkça tahminlerin ölçümlere yakınsadığı ve özellikle bu performansın 2007 yılından sonra arttığı gözlemlenmiştir. Merkez ve merkeze yakın ilçelerde nüfus tahminleri daha iyi olup, merkezden uzaklaştıkça tahminler ile TÜİK verileri arasında sapmalar artmıştır. Kahramanmaraş il geneli, merkez ve Türkoğlu ilçelerinde AAM daha iyi sonuç vermiştir. Elde edilen bulgular ışığında gelecekte Merkez ve merkeze yakın ilçelerin nüfusunun kullanılan bütün metotlara göre artacağı söylenebilir. Nüfusu az olan Andırın, Çağlayancerit, Nurhak ve Ekinözü ilçelerinde projeksiyon yöntemlerinin performansları birbirine yakınlık göstermiş olup İBM yöntemi hariç buradaki gelecek nüfusun göç gibi unsurlardan kaynaklı azalacağı öngörülmektedir. Nüfus tahminleri geleceğe yönelik plan ve projelerin verimliliği açısından önem teşkil etmektedir. Bu tip planlama çalışmalarına referans olması bakımından,

çalışmada AAM'nin daha tutarlı olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma ile gelecek 50 yıllık nüfus tahminlerinin il genelinde ve merkez ilçelerde artış göstereceğinden su kaynakları ihtiyaçlarının özellikle bu yerlerde artacağı öngörülmekte; diğer taraftan, kontrolsüz kentleşme doğal havza yapısını bozacağından meteorolojik afetlerin başında gelen feyzan ve ani taşkın riskini artırmaktadır. Bilindiği üzere, sel ve taşkın gibi doğal afetlerin oluşumunda coğrafi yapı, topoğrafya, yükselti, eğim ve iklim gibi doğal faktörler etkiliyken, afet boyutuna ulaşmasında ise beşerî faktörler etkilidir [27]. Özellikle merkez ve merkeze yakın ilçelerde nüfus artacağından bu ilçelerdeki yeni iskanlarda, düzenli kentleşme, taşkın önleme ve altyapı çalışmalarına önem verilmesi tavsiye edilmektedir. Ayrıca, gelecek çalışmalarda geçmişten günümüze nüfus değişiminin klimatolojik etkilerinin de incelenmesi önerilmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Selçuk, P., 2009. Investigation of Effects of Land Use Changes in Tahtali River Basin on Water Quality. MSc, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, Turkey, 106.
2. Usta, A., 2016. Türkiye'nin Su Potansiyelinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Küresel Mühendislik Çalışmaları Dergisi, 3(2), 107-115.
3. DSİ, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. Toprak ve Su Kaynakları. Erişim adresi: <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
4. TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu, Nüfus Projeksiyonları 2018-2080. Erişim Adresi: <https://web.archive.org/web/20190306044606/http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30567>, Erişim Tarihi: 16.01.2021.
5. TOB, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. Ulusal Su Planı (2019-2023), Türkiye, 100.
6. İstanbulluoğlu, A., Konukcu, F., Kocaman, İ., Göçmen, E., 2007. Trakya Bölgesi İçme ve Kullanma Suyu İhtiyacının Belirlenmesi. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 4(2), 187-194.
7. Sunkar, M., Denizdurduran, M., 2015. Kahramanmaraş'ta Yaşanan Sel ve Taşkın Olaylarının Sebep ve Sonuçları. IV. Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu, Samsun, Türkiye 652-661.
8. Malhtus T., 1798. An Essay on the Principle of Population. J. Johnson in St. Paul's Church-Yard, London, 134.
9. Kocaman, T., 2002. T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, Sosyal Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü. Plan Nüfus Projeksiyon Yöntemleri, DPT, Ankara, Türkiye, 80.
10. Cleland, J., 2013. World Population Growth; Past, Present and Future. Environmental and Resource Economics, 55(4), 543-554. <https://doi.org/10.1007/s10640-013-9675-6>.
11. Çamurcu, H., 2005. Dünya Nüfus Artışı ve Getirdiği Sorunlar. Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 8(13), 87-105.
12. Yücel, P., İşliyen, K., Tekin, E., Akgün, İ., Ünsal, M., 2013. Kahramanmaraş'taki Barajlar ve Kullanım Amaçları. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2(1), 109-118.
13. OSİB, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Ceyhan Havzası Taşkın Yönetim Planı, 2018. Ankara, Türkiye, 318.
14. Sarıgül, O., Turoğlu, H., 2020. Kahramanmaraş Şehri Sel ve Taşkınlarının Coğrafi Analizi ve Öngörüler. Coğrafya Dergisi, 40, 275-293. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2020-0018>.
15. TVSM, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Tabiat Varlıkları Şube Müdürlüğü, T.C. Kahramanmaraş Valiliği, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü. Kahramanmaraş İli 2016 Çevre Raporu, 2017, 134.
16. Kaskı, Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi Kahramanmaraş Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü. 2015-2019 Stratejik Planı 2014, Kahramanmaraş, Türkiye, 133.
17. Bağdatlı, M.C., Öztürk, B., 2014. Havza Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) Etkin Rolü. Sakarya University Journal of Science, 18(1), 11-19. <https://doi.org/10.16984/saufbed.11000>
18. USGS, U.S. Geological Survey, Digital Elevation Model Veri Seti. Erişim Adresi:

- <https://earthexplorer.usgs.gov/>, Erişim Tarihi: 05.01.2020.
19. CORINE, Coordination of Information on the Environment, CORINE Land Cover Data. Erişim Adresi: <https://land.copernicus.eu/>, Erişim Tarihi:10.10.2020.
 20. TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu, nüfus veri seti. Erişim Adresi: <https://biruni.tuik.gov.tr/nufusmenuapp/menu.zul>, Erişim Tarihi: 09.12.2020.
 21. Muslu, Y., 2008. Çözümlü Problemler Su Temini ve Çevre Sağlığı. Su Vakfı, 4.Baskı. İstanbul, Türkiye, 496.
 22. Nash, J.E, Sutcliffe, J.V., 1970. River Flow Forecasting Throough Conceptual Models: Part 1. A Discussion of Principles. Journal of Hydrology,; 10 (3), 282-290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6).
 23. Moriasi, D., Arnold, J., Van Liew M., Bingner, R., Harmel, R., Veith, T., 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. Transactions of the ASABE, 50(3), 885-900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>.
 24. Dis, M.O., Anagnostou, E., Mei, Y., 2018. Using High-Resolution Satellite Precipitation for Flood Frequency Analysis: Case Study Over the Connecticut River Basin. Journal of Flood Risk Management, 11(S1), 514-526. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12250>.
 25. Keskin, M.Z., 2019. Yeraltı Suyu Akımının Modflow Kullanılarak Sayısal Modellemesi: Bursa İli Karacabey ve Mustafakemalpaşa Ovası Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 77.
 26. Elağca, A., 2020. HEC-HMS Modelini Kullanarak Yağış-Akış Süreci Simülasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye, 105.
 27. Sunkar, M., Tonbul, S., 2010. Batman'da 31 Ekim-1 Kasım 2006 Tarihinde Yaşanan Taşkın Nedenleri. II. Ulusal Taşkın Sempozyumu 22-24 Mart 2010, Tebliğler Kitabı, 349-361, Afyonkarahisar, Türkiye.

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi Yazım Kuralları

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi mühendislik bilimlerindeki güncel bilimsel ve teknik gelişmeleri araştırmacılara ve mühendislere ulaştırmayı hedeflemektedir. Tüm mühendislik alanları ile ilgili teorik/deneysel ve uygulamaya yönelik çalışmalar Dergi'nin ilgi alanındadır. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi daha önce başka hiçbir yerde yayımlanmamış, özgün ve güncel bilimsel araştırma ve uygulamaları içeren makale ve kısa bildirimleri ile Dergi'de daha önce yayımlanmış makalelerle ilgili tartışmaları kabul etmektedir. Çeviri ve derleme makaleler kabul edilmemektedir. Makaleler Türkçe veya İngilizce olabilir. Dergi'ye gönderilen yazılar yayınlansın veya yayınlanmasın iade edilmez. Makaleleri yayımlama yetkisi dergi yayın kuruluna aittir.

Makalenin tamamı bilgisayar ortamında hazırlanmalı baskıya hazır biçimde iki adet (birisinde yazar adları ve adresleri olmamak üzere) **Dergi web sayfasında verilen örnek şablona uygun hazırlanmış olarak elektronik ortamda veya e-posta ekinde gönderilmelidir.**

Makale, A4 (210x297 mm) boyutlu kağıda, Windows uyumlu Word ortamında, Times New Roman font kullanılarak, birer aralıkla yazılmalı, ana başlıklar 12 Punto (koyu), yazar adları 12 Punto (koyu), alt başlıklar ve metin 10 punto olmalıdır.

Çizimler ve çizelgelerle birlikte, makaleler 15 sayfadan, kısa bildirimler 4 sayfadan daha uzun olmamalıdır. **Makale Türkçe ise: Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Öz, Anahtar Kelimeler, Abstract** (İngilizce öz), **Keywords, Metin, Semboller** (gerekliyse), **Teşekkür** (gerekliyse) ve **Kaynaklar**,

Makale İngilizce ise: İngilizce Başlık, Türkçe Başlık, Abstract, Keywords, Öz (Türkçe öz), **Anahtar Kelimeler, Text, Notations** (gerekliyse), **Acknowledgments** (gerekliyse) ve **References** sırası içinde düzenlenmelidir.

Başlık kısa ve açık olmalı, içeriği yansıtabilmelidir. **Öz** (ve **Abstract**) çalışmanın amacını, kapsamını, yöntemini ve ulaşılan sonuçları kısaca tanımlamalı ve 150 kelimeyi aşmamalıdır. En az üç, en fazla beş tane anahtar kelime verilmelidir. Başlık, Öz ve İngilizce başlıklı Abstract birinci sayfaya sığdırılmalı ve ana metin ikinci sayfadan başlatılmalıdır. **Metin** yalın bir dil ve anlatımla yazılmalı, makale Türkçe ise Türkçe, makale İngilizce ise İngilizce yazım kurallarına uygun olmalıdır.

Bölüm ve alt bölüm başlıkları numaralanmalıdır. Denklemler numaralanmalı ve bu numaralar satır sonunda parantez içinde gösterilmelidir. Yazılarda yalnızca SI birimleri kullanılmalıdır. Semboller uluslararası kullanıma uygun seçilmeli; her bir sembol ilk kullanıldığı yerde tanımlanmalıdır. Teşekkür olabildiğince kısa olmalı, çalışmaya katkısı ve desteği bulunan kişi ve kuruluşlar belirtilmelidir. Çizelgeler, çizimler ve fotoğraflar metin içine yerleştirilmeli, her birine numara ve başlık verilmeli ve başlıklar çizim ve fotoğrafların altına, çizelgelerin üstüne yazılmalıdır.

Kaynaklar metinde köşeli parantez içinde numaralanmalı ve kaynaklar listesinde metin içinde veriliş sırasına uygun biçimde belirtilmelidir. Etik kuralları gereğince, alıntılar tırnak içinde verilmeli ve bir referans numarası ile kaynak belirtilmelidir. Kaynaklarda şu bilgiler verilmelidir:

Makale ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi., yıl. makalenin tam başlığı. derginin adı, cilt, sayı, başlama ve bitiş sayfaları.

Kitap ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi., yıl. kitabın tam adı. cilt numarası, varsa editörü, yayımlandığı yer, son sayfa no.

Bildiri ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi., yıl. bildirim tam başlığı. konferansın adı, yapıldığı yer.

Elektronik ortamdan alınmış ise: Bildiri sadece CD/DVD'de yayınlanış ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi., diğer yazarlar, yıl, bildirim tam adı. konferansın adı (CD/DVD), yapıldığı yer, yıl. "Konferansın adından hemen sonra parantez içerisinde CD/DVD olduğu belirtilecektir."

Tez ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi., yıl. tezin adı. derecesi, sunulduğu kurum, son sayfa no.

Rapor ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi., diğer yazarlar, yıl. raporun adı. türü, numarası, kuruluşun adı, yayımlandığı yer.

Web Sitesi ise: Yazar(lar) belli ise; yazarın soyadı, adının baş harfi., diğer yazarlar, varsa yayımlandığı yıl. yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), Erişim Tarihi: gün.ay.yıl.

Kurum/Kuruluşlara ait ise; Kurum adı, varsa yayımlandığı yıl. yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), Erişim Tarihi: gün.ay.yıl.

Elektronik kitap/rapor ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi veya kitap/raporu yayımlayan kurum veya kuruluşun adı, varsa yayımlandığı yıl, konunun tam adı, Erişim Tarihi: gün.ay.yıl.