



ACADEMIC
PLATFORM



ISSN: 2147-4575

APJES

Journal of Engineering and Science

Volume: 9

Issue : 1

Year : 2021

Academic Platform Journal of Engineering and Science

Editor in Chief (Owned By Academic Perspective)

Prof. Dr. Mehmet SARIBIYIK, Sakarya University of Applied Sciences, Turkey
mehmets@subu.edu.tr

Editors

Prof. Dr. Barış Tamer TONGUÇ, Sakarya University, Turkey
btonguc@sakarya.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. Özer UYGUN, Sakarya University, Turkey
ouygun@sakarya.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. Mustafa CAN, Sakarya University of Applied Sciences, Turkey
mustafacan@subu.edu.tr

Members of Advisory Board

Prof. Dr. Abdullah Çavuşoğlu, Council of Higher Education, Turkey

Prof. Dr. Ahmet TÜRK, Celal Bayar University, Turkey

Prof. Dr. Erdal ÇELİK, Dokuz Eylül University, Turkey

Prof. Dr. Erol ARCAKLIOĞLU, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Turkey

Prof. Dr. Fahrettin ÖZTÜRK, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Turkey

Prof. Dr. Hüseyin AKILLI, Çukurova University, Turkey

Prof. Dr. Kutsi ERDURAN, Niğde Ömer Halisdemir University, Turkey

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN, University of West of England, England

Language Editor

Asst. Prof. Dr. Hakan ASLAN, Sakarya University, Turkey
haslan@sakarya.edu.tr

Support

Lec. Gökhan ATALI, Sakarya University, Turkey
gatali@subu.edu.tr



ISSN: 2147-4575

Contact



Academic Platform

info@apjes.com

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

Academic Platform Journal of Engineering and Science

Field Editors

Dr. Ali SARIBIYIK
alisaribiyik@subu.edu.tr

Dr. Beytullah EREN
beren@sakarya.edu.tr

Dr. Fatih ÇALIŞKAN
fcaliskan@subu.edu.tr

Dr. Fuat ŞİMŞİR
fuatsimsir@karabuk.edu.tr

Dr. Halil ARSLAN
harslan@subu.edu.tr

Dr. Harun GÜL
harungul@subu.edu.tr

Dr. Mehmet UYSAL
mehmetu@sakarya.edu.tr

Dr. Metin YAMAN
myaman@sakarya.edu.tr

Dr. Mustafa CAN
mustafacan@subu.edu.tr

Dr. Mustafa Zahid YILDIZ
mustafayildiz@subu.edu.tr

Dr. Sinan Serdar ÖZKAN
sozkan@subu.edu.tr

Dr. Süleyman KALELİ
skaleli@subu.edu.tr

Dr. Taki DEMİR
tdemir@sakarya.edu.tr

Dr. Zafer ALBAYRAK
zalbayrak@karabuk.edu.tr

Guest Editors

Dr. Gürcan YILDIRIM
yildirim_g@ibu.edu.tr

Editorial Assistants

Res. Assist. Ahmet Hamdi SERDAR
ahmetserdar@subu.edu.tr

Res. Assist. M. Asım KESERCİOĞLU
mkesercioglu@subu.edu.tr

Res. Assist. Ayşe Nur AY
ay@subu.edu.tr

Res. Assist. Abdullah Feyzi KELEŞ
abdullahfeyzi@subu.edu.tr

Res. Assist. Mehmet Fatih YAŞAR
yasarm@subu.edu.tr



ISSN: 2147-4575

Contact

Academic Platform



info@apjes.com

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

Contents

Synthesis, Investigation of Structural and Spectroscopic Properties of a Novel Symmetrical Benzimidazole Salt with Phthalimid Functional Groups (Research Paper)	1 - 9
Channel in Multiple Transmitter Visible Light Communication (Research Paper)	10 - 18
Investigation of Mechanical Behavior of Steel Column Base Plates (Research Paper)	19 - 27
Investigation of Physical, Mechanical and Thermal Conductivity Properties of Fly Ash Geopolymer Lightweight Mortar Substituted with EPS (Research Paper)	28 - 38
Extending Wireless Sensor Networks' Lifetimes Using Deep Reinforcement Learning in a Software-Defined Network Architecture (Research Paper)	39 - 46
An Expert System to Predict Eye Disorder Using Deep Convolutional Neural Network (Research Paper)	47- 52
Fluidized Electrooxidation Process Using Three-Dimensional Electrode for Decolorization of Reactive Blue 221 (Research Paper)	53 - 58
Examination of Exhaust Gas Emissions of Transit Ships in The Istanbul Strait (Research Paper)	59 - 66
Supplier Selection for a Business Operating on a Just-in-Time Production System Using an Integrated DEMATEL and MULTIMOORA Approach (Research Paper)	67 - 78
High Temperature Corrosion Behavior of Eutectic Structured NiAl-34Cr and NiAl28Cr-6Mo Alloys Produced by Electric Current Activated Sintering (Research Paper)	79 - 85
Hybrid Evolutionary Strategy and Simulated Annealing Algorithms for Integrated Process Planning, Scheduling and Due-Date Assignment Problem (Research Paper)	86 - 91
Fabrication of Hollow Fiber Nanofiltration Membrane by Interfacial Polymerization Method and Performance Evaluation (Research Paper)	92 - 102
The Examination of Urban Road Hierarchy in Regards to Accessibility of Gathering Points in Case of Disaster (Research Paper)	103 - 111
Tongue-Operated Biosignal over EEG and Processing with Decision Tree and kNN (Research Paper)	112 - 125

Contents

Design of an Android Wear Smartwatch Application as a Wearable Interface to the Diabetes Diary Application (Research Paper)	126 - 133
A Statistical Process Control with Process Oriented Basis Representation in Casting Industry (Research Paper)	134 - 158
Comparison of Different Dimension Reduction Methods in Classification of Hyperspectral Images (Research Paper)	159 - 165
Analysing Relations of Macroeconomic Factors and Accidents at Work in Turkey: Time Series Analysis (Research Paper)	165 - 173
Solution of the Slope Stability Problem by Back Analysis: An Example Case (Research Paper)	174 - 181
Comparative Performance Analysis of Machine Learning Algorithms for Human Detection in Indoor Environments (Research Paper)	182 - 193
Real-Time Human Activity Detection Based on Accelerometers and Internet of Things (Research Paper)	194 - 198
\bar{X} and R Control Charts Based on the Skewness Correction Method for Skewed Distributions (Research Paper)	199 - 213
A Decision-Making Approach with Q-Rung Orthopair Fuzzy Sets: Orthopair Fuzzy TOPSIS Method (Research Paper)	214 - 222
The Effects of Photometric Flicker on Human and Their Non-Medical Detection Methods (Review Paper)	223 - 228

İçindekiler


Fitalimid İşlevsel Gruplar Taşıyan Yeni Bir Simetrik Benzimidazol Tuzunun Sentezi, Yapısal ve Spektroskopik Özelliklerinin Araştırılması (Araştırma Makalesi)	1 - 9
Çoklu Vericili Görünür Işık Haberleşmesinde Kanal (Araştırma Makalesi)	10 - 18
Çelik Kolon Taban Levhalarının Mekanik Davranışlarının İncelenmesi (Araştırma Makalesi)	19 - 27
EPS İle İkame Edilmiş Uçucu Küllü Geopolimer Hafif Harcın Fiziksel, Mekanik ve Isıl Geçirimsizlik Özelliklerinin İncelenmesi (Araştırma Makalesi)	28 - 38
Extending Wireless Sensor Networks' Lifetimes Using Deep Reinforcement Learning in a Software-Defined Network Architecture (Araştırma Makalesi)	39 - 46
An Expert System to Predict Eye Disorder Using Deep Convolutional Neural Network (Araştırma Makalesi)	47- 52
Fluidized Electrooxidation Process Using Three-Dimensional Electrode for Decolorization of Reactive Blue 221 (Araştırma Makalesi)	53 - 58
İstanbul Boğazı'nda Transit Geçiş Yapan Gemilerin Egzoz Gazı Emisyonlarının İncelenmesi (Araştırma Makalesi)	59 - 66
Supplier Selection for a Business Operating on a Just-in-Time Production System Using an Integrated DEMATEL and MULTIMOORA Approach (Araştırma Makalesi)	67 - 78
Elektrik Akım Destekli Sinterleme ile Üretilen Ötektik Yapılı NiAl-34Cr ve NiAl28Cr-6Mo Alaşımlarının Yüksek Sıcaklık Korozyon Davranışı (Araştırma Makalesi)	79 - 85
Hybrid Evolutionary Strategy and Simulated Annealing Algorithms for Integrated Process Planning, Scheduling and Due-Date Assignment Problem (Araştırma Makalesi)	86 - 91
Arayüzey Polimerizasyonu Metodu ile İnce Boşluklu Nanofiltrasyon (NF) Membran Üretimi ve Performans Değerlendirmesi (Araştırma Makalesi)	92 - 102
Kentiçi Yol Kademelenmesinin Afet Durumunda Toplanma Alanlarının Erişilebilirliğine Etkisi Açısından İrdelenmesi (Araştırma Makalesi)	103 - 111
Tongue-Operated Biosignal over EEG and Processing with Decision Tree and kNN (Araştırma Makalesi)	112 - 125

İçindekiler

Design of an Android Wear Smartwatch Application as a Wearable Interface to the Diabetes Diary Application (Araştırma Makalesi)	126 - 133
Döküm Sanayinde Süreç Tabanlı Temel Gösterimleri İle İstatistiksel Süreç Kontrolü (Araştırma Makalesi)	134 - 158
Hiperspektral Görüntülerin Sınıflandırılmasında Farklı Boyut İndirgeme Yöntemlerinin Karşılaştırılması (Araştırma Makalesi)	159 - 165
Türkiye’de İş Kazaları ve Makroekonomik Faktörlerin İlişkisi: Zaman Serisi Analizi (Araştırma Makalesi)	165 - 173
Şev Stabilitesi Probleminin Geri Analizle Çözümü: Örnek Bir Vaka (Araştırma Makalesi)	174 - 181
Kapalı Ortamlarda Gerçek Zamanlı Kişi Tespitinde Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Karşılaştırmalı Başarım Analizi (Araştırma Makalesi)	182 - 193
İvmeölçer ve Nesnelerin İnterneti Tabanlı Gerçek Zamanlı İnsan Aktivite Tespiti (Araştırma Makalesi)	194 - 198
Çarpık Dağılımlar için Çarpıklık Düzeltmesi Yöntemine Dayalı \bar{X} ve R Kontrol Grafikleri (Araştırma Makalesi)	199 – 213
Ortoper Bulanık Kümelerle Bir Karar Verme Yaklaşımı: Ortoper Bulanık TOPSIS Metodu (Araştırma Makalesi)	214 - 222
Fotometrik Flicker Olayının İnsana Etkileri ve Bunların Tıbbi Olmayan Tespit Yöntemleri (Derleme Makalesi)	223-228

Fitalimid İşlevsel Gruplar Taşıyan Yeni Bir Simetrik Benzimidazol Tuzunun Sentezi, Yapısal ve Spektroskopik Özelliklerinin Araştırılması

* Ahmet Kunduracıoğlu

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mustafakemalpaşa Meslek Yüksekokulu, Organik Tarım Programı, 16500 M.Kemalpaşa/Bursa
akunduracioglu@uludag.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 16.06.2020

Kabul Tarihi: 04.12.2020

Öz

Yeni bir N-Heterosiklik karben tuzu olan 1,3-bis (N- (3-etil) fitalimid)-benzimidazol-3-yum bromür (BEFIBR) yüksek (%83) verimle sentezlenmiştir. Sentezlenen tuzun FT-IR ve ¹H ve ¹³C NMR deneysel olarak ölçülmüştür. Bu ölçümlerde, karben C'u 169.35 ppm'de ve asidik karben H'i ise 9.65ppm'de gözlenmiştir. SPARTAN-14 kuantum kimya paket yazılımı kullanılarak kuantum mekaniksel hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Temel enerji ve spektroskopik değerlerin hesaplanmasında "Yoğunluk Fonksiyonel Kuramı" (DFT/EDF2) yöntemi ve 6-31G* temel seti kullanılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda bağ uzunlukları, bağ açıları FT-IR ve ¹H ve ¹³C spektrumları hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler, deneysel değerlere son derece yakındır. C_{karben} 169.3ppm ve asidik H ise 9.62ppm olarak bulunmuştur. Böylece molekülün uzaysal duruşu da tahmin edilmiştir. Hesaplanan değerler ile deneysel yöntemle bulunan sonuçlar şekil ve tablolar üzerinde karşılaştırılmıştır. HOMO ve LUMO şekil ve enerji değerleri hesaplanarak tablo halinde aktarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Benzimidazol, Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi (DFT), N-heterosiklik karben tuzları, SPARTAN paket yazılımı

Synthesis, Investigation of Structural and Spectroscopic Properties of a Novel Symmetrical Benzimidazole Salt with Phthalimid Functional Groups

* Ahmet Kunduracıoğlu

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mustafakemalpaşa Meslek Yüksekokulu, Organik Tarım Programı, 16500 M.kemalpaşa/Bursa
akunduracioglu@uludag.edu.tr

Abstract

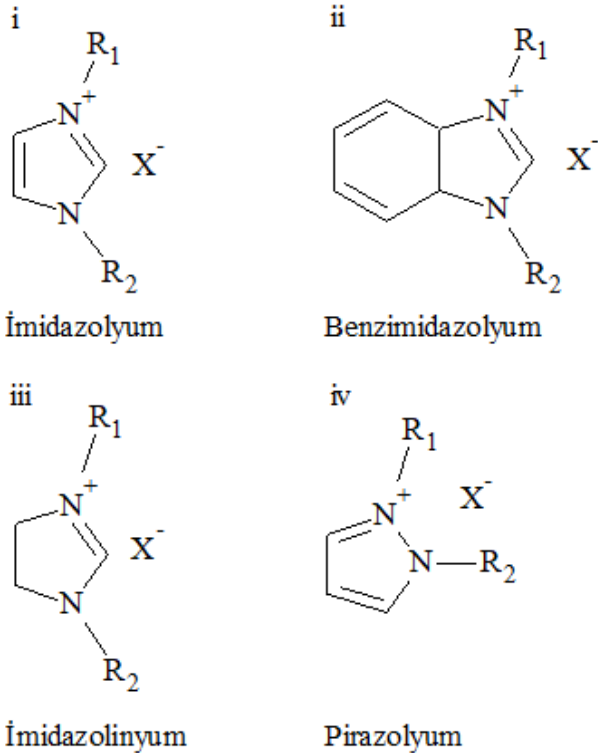
1,3-bis (N- (3-ethyl) phthalimide)-benzimidazole-3-yum bromide (BEFIBR), a new N-Heterocyclic carbene salt, was synthesized with high (83%) yield. FT-IR and ¹H and ¹³C NMR of the synthesized salt were measured experimentally. In these measurements, the peak for C_{carbene} was observed at 169.35ppm and acidic H was observed at 9.65ppm. Quantum mechanical calculations were performed using SPARTAN-14 quantum chemistry software. "Density Functional Theory" (DFT / EDF2) method and 6-31G* Basis set were used for calculating basic energy and spectroscopic values. The calculated values were found to be very close to experimental results. 169.3 for C_{carbene} and 9.65ppm for H. As a result of these calculations, bond lengths, bond angles FT-IR and ¹H and ¹³C spectra were calculated. In addition, the spatial stance of the molecule was predicted. The calculated values and the results found by the experimental method were compared on the figures and tables. The shape and energy values of HOMO and LUMO were calculated and tabulated.

Keywords: Benzimidazole, Density Functional Theory (DFT), N-heterocyclic carbene salts, SPARTAN suite

*¹ Sorumlu Yazar: Bursa Uludağ Üniversitesi, Mustafakemalpaşa Meslek Yüksekokulu, Organik Tarım Programı, 16500 M.Kemalpaşa/Bursa

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojik gelişmelerin ihtiyaç duyduğu, daha iyi katalizörler, daha etkili ilaç etken maddeleri daha ekonomik ve sağlıklı malzemeler için yapılan çalışmalarda N-heterosiklik karbenlerin ayrıcalıklı bir yeri vardır. Üstelik bazı NHC tuzlarının iyonik sıvı özellikleri göstermesi nedeniyle bu kullanım alanlarına “yardımcı çözügen” olarak da katkı yapmaya başlamışlardır. Bu yüzden son 40–50 yıldır N-Heterosiklik karbenler (NHCl)er) tüm bu yenilikçi çalışmalar içinde ayrıcalıklı bir alan haline gelmişlerdir [1]. NHCl'ler genellikle N hetero-atomu bulunduran 5–6 üyeli halkalı yapılardır (Şekil 1). Bu bileşik tipi, özellikle 1968’de, Öfele ve Wanzlick’in eşzamanlı ancak birbirinden habersiz olarak geçiş metal komplekslerini sentezlemesinden beri artan bir ilgi görmektedirler [2]. NHC tuzlarının hem yumuşak hem de sert metallerle kompleks oluşturabilmeleri, elektronik ve sterik özellikleri, bağlanma yetenekleri gibi özellikleri yüzünden ince ayar yapılabilmesi (Şekil 2–ii) nedeniyle yeni katalizörler olarak fosfinler ve diğer güçlü katalizörler karşısında üstün bir seçenek oluşturmuşlardır. Katalizör olarak üstünlüklerinin en önemli kaynağı, bu bileşiklerin sigma–sunucu ve pi–alıcı nitelikleridir [3,4]. Bunun yanında, NHCl'ler havaya ve neme karşı da pek hassas değildir. Bu da tepkime ortamlarında daha uzun süre yaşamlarını sağlar ki, katalizörler için bu çok değerli bir niteliktir.

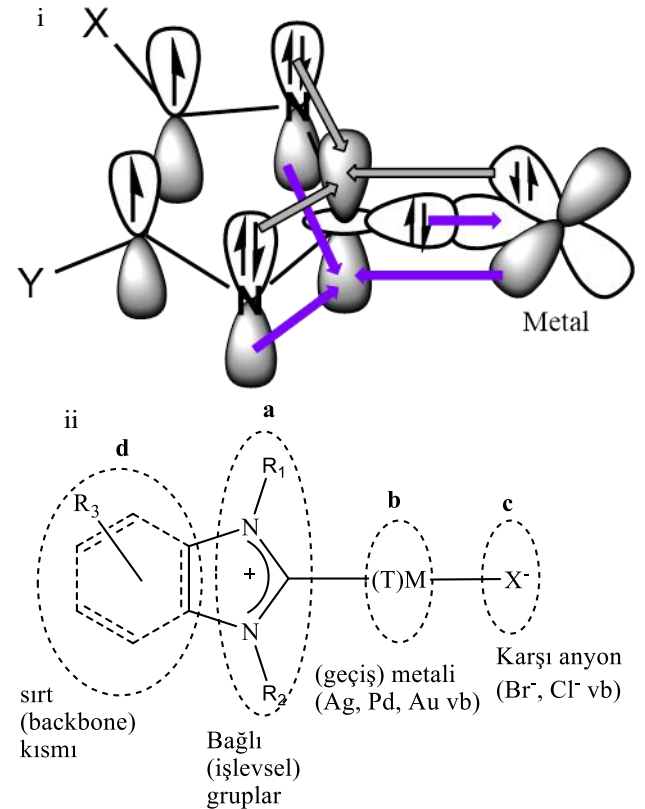


X = F, Cl, Br, NO₃, BF₄, PF₆, CH₃COO vb.

R₁, R₂ = Alkil, Aril vb.

Şekil 1. NHC tuzlarının yaygın türleri

NHCl'lerin, çeşitli geçiş metalleri ile oluşturduğu koordinasyon bileşiklerinin katalitik etkinlikleri, kimyacıların en fazla dikkatini çeken konular arasındadır. Fakat NHC tuz ve komplekslerinin biraz gölgede kalan başka yetenekleri de dikkate alınmazsa bu “çok yönlü” bileşiklere haksızlık edilmiş olur. Örneğin Ag(I)NHC kompleksleri uzun süre sadece metal aktarım yetenekleriyle değerlendirilmişlerdir. Oysa 2004–2010 arasında W. J. Youngs grubunun çalışmalarında antimikrobiyal etkinlikleri de dikkat çekmiştir [5]. Bu konuda pek çok araştırma grubu özellikle gümüş–karben komplekslerine çalışma ve projelerini adanmışlardır [6]. Karbenlerin biyolojik etkinlikleri sadece antimikrobiyal etkinlikle sınırlı kalmamıştır. Özellikle altın ve platin kompleksleri antitumor etkinliğiyle auronofin ve cis–platinle karşılaştırılacak kadar olumlu sonuçlar almıştır [7, 8]. Başlangıçtaki önyargıların aksine, 2007’den beri Peris ve Ghosh’un kataliz çalışmalarında da Ag(I)NHC bileşikleri beklenenden daha olumlu sonuçlar vermiş, bu konudaki daha ucuz, daha kolay elde edilen ve çevreci katalizör hedefleyen çalışmalara farklı bir yön kazandırmıştır. Günümüzde de Ag(I)NHC bileşiklerinin, çeşitli sentezler [4], hidrosililasyon [9] ve halkalı karbonat sentezi [10] ve hatta fotoredoks [11] gibi farklı tepkime türlerinde katalitik etkinlikleri araştırılmaktadır.

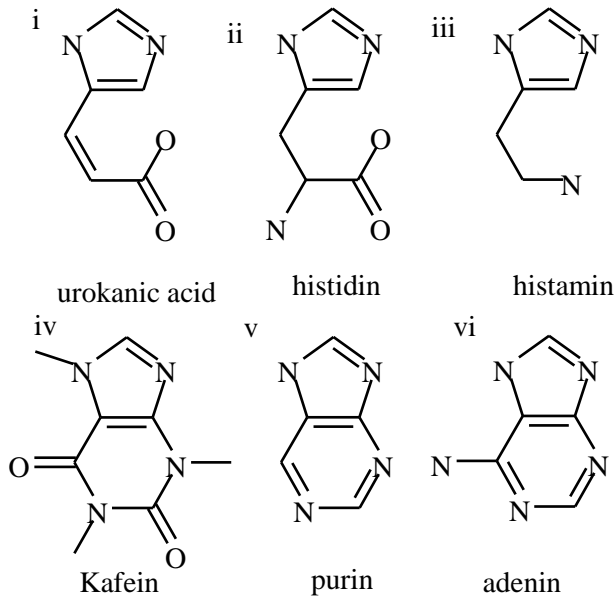


Şekil 2. i– NHC–Metal komplekslerinde bağlanma ii– NHCl’lerde “ince ayar” noktaları

NHC–Metal komplekslerinin çeşitli alanlarda başarıları yüzünden artan ilgi, araştırmacıları yeni tip NHC tuzlarını sentezleme ve araştırma konusunda cesaretlendirdi. Zaten,

özellikle geçiş metallerinin sınırlı çeşidi bulunması yüzünden, NHC bileşiklerinde farklılık asıl olarak tuz kısımlarında gerçekleştirilebilirdi. NHC tuzlarının metallsiz olarak antimikrobiyal ve katalitik etkinlikleri yönünden yapılan araştırmalar da gelecek vaadeden sonuçlar verdi. Böylece pahalı metal bileşiklerini kullanmadan da yeni katalizör ve etkin maddeler üretimi mümkün olabilecektir [12].

NHC türevi tuzların elde edilmesinde, genellikle imidazol ve benzimidazol bileşiklerini kullanılır. Fakat bazı durumlarda özellikle de imidazolinyum tipi (Şekil 1-iii) tuzların eldesinde halka kapanma tepkimelerinden faydalanılabilir. Ayrıca, bazı doğal bileşiklerin “modifiye” edilmesiyle de NHC bileşiklerini elde edilmiş ve bunların başta altın ve gümüş olmak üzere bazı metal kompleksleri de sentezlenmiştir (Şekil 3). W. J. Youngs grubunun kafeinden elde ettikleri tuz ve bunun altın kompleksi antitumor etkinlik de gösteren önemli bir örnektir [11]. Bu yöntem için en uygun bileşikler, Şekil 3’te örnekleri görülen, yapılarında hazır bir “karben benzeri halka” bulunduran histidin (ii) kafein (iv), purin (v) ve adenin (vi) gibi doğal bileşiklerdir (Şekil 3).



Şekil 3. Karben kaynağı bazı doğal bileşiklere birkaç örnek

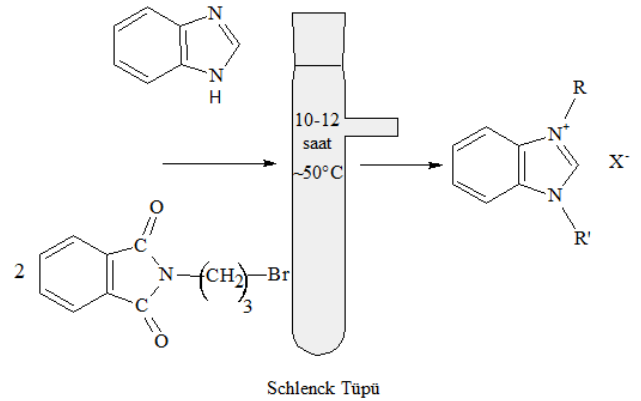
Önceki çalışmalarda, bazı karben tuz ve komplekslerine ait HF [13] ve DFT [14] hesaplamaları sunulmuştur. Bu çalışmada ise simetrik bir benzimidazol tuzunun yapısal ve spektroskopik özellikleri deneysel ve hesapsal olarak

araştırılmış ve sonuçların yakınlık derecesi tartışılmıştır. Çalışmada sentezlenen benzimidazol tuzu işlevsel grup olarak fitalimid grubu içermektedir. Hesaplamalarda SPARTAN-14 hesapsal kimya paket yazılımı kullanılmıştır [15]. Deneysel spektroskopik ölçümler farklı merkezlerdeki ilgili cihazlar kullanılarak elde edilmiştir.

2. DENEYSEL YÖNTEMLER

2.1 Tuzun Sentezi

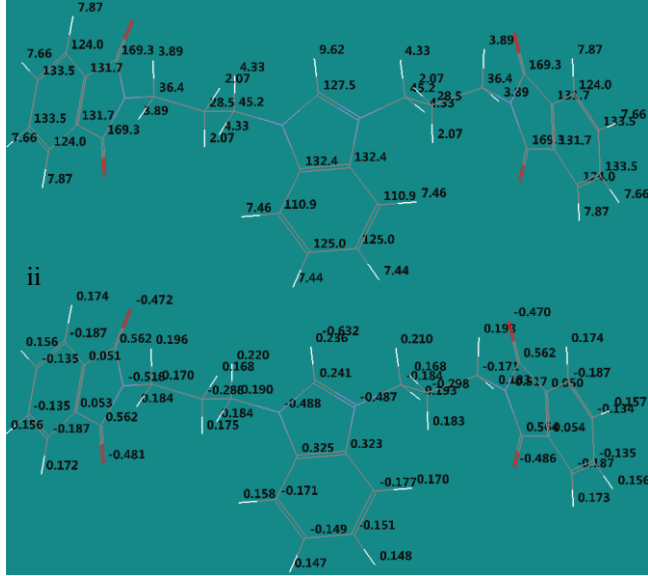
Bu çalışmada incelenen BEFIBR NHC tuzunun (Şekil 4) elde edilmesinde kullanılan tüm çıkış maddeleri ve çözücüler Sigma-Aldrich, Merck ve Alfa-Aesar gibi ticari kaynaklardan satın alınmıştır. Malzemelerin saflık derecesi yeterli görüldüğünden ileri bir saflaştırma uygulanmadan alındıkları haliyle kullanılmıştır. Çıkış maddeleri ve ürünler arasında havaya ve neme karşı hassas türler bulunmadığı için özel koruma yöntemleri kullanılmamıştır. Sentez ve saflaştırma çalışmaları Schlenck (şlenk) tipi tepkime tüplerinde gerçekleştirilmiştir. Sürecin ilerleyişi çökeltme ve renk değişimi gözlenerek izlenmiştir.



Şekil 4. BEFIBR bileşiğinin Schlenck tekniğiyle sentezi

2.1 Ölçümler

Erime noktası ölçümü STUART SMP30 model erime noktası ölçüm cihazıyla, FT-IR spektroskopisi PERKIN ELMER SPECTRUM 100 FT-IR SPECTROMETER tipi birim kullanarak gerçekleştirilmiştir. ¹H ve ¹³C NMR ölçümleri İYTE (İzmir)’de bulunan Varian VNMRJ 400 Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer tipi NMR cihazıyla alınmıştır. NMR ölçümlerinde içsel standart olarak TMS (tetrametilsilan) ve çözücü olarak da dötero dimetil sülfoksit (d6-DMSO) kullanılmıştır. NMR sonuçları ilgili kısımlarda hem grafiksel olarak hem de molekül yapısı üzerinde sunulmuştur (Şekil 5). Ayrıca seçilen bazı sonuçlar tartışılmıştır.

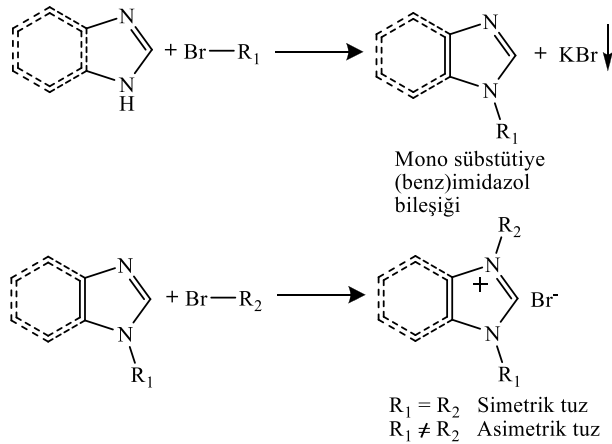


Şekil 5. BEFIBR bileşiğinin kimyasal kayma değerleri (i) ve Mulliken yükleri (ii)

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

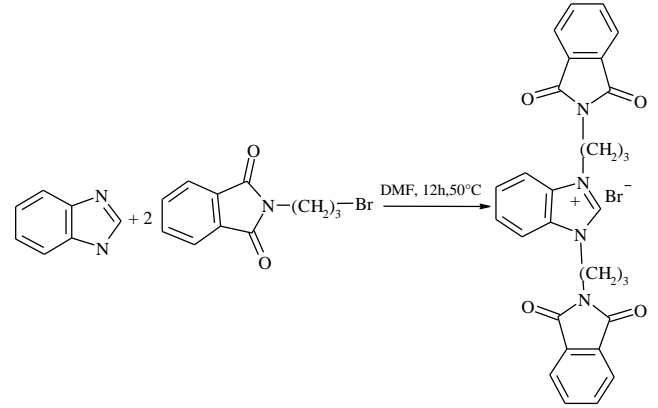
3.1. 1,3-Bis(N-(3-Etil)Fitalimid)-İmidazol-3-yum Bromür (BEFIBR) Tuzunun Sentezi

Alışılmış ve yaygın kullanılan bir yöntem olarak, imidazol/benzimidazol türevi karben tuzlarının sentezinde genellikle KOH gibi bir kuvvetli baz kullanılır. Bu yöntemde kuvvetli baz (benz)imidazol üzerindeki asidik H atomunu koparıp yerine önce K⁺ iyonu bağlar. İkinci aşamada, alkil-halojenür bileşiğinin halojeni, bu K⁺ ile KX tipi (X= Cl, Br, I vb) bir tuz olarak çökeler ve alkil buradan halka azotuna bağlanır. Bu aşamada eğer 1 eşdeğer alkil halojenür kullanılırsa mono sübstitüye imidazol bileşiği elde edilir. Bu ürün istenirse farklı bir alkil halojenür ile etkileştirilerek asimetrik NHC tuzları elde edilebilir (Şekil 6). Bu çalışmadaki gibi simetrik tuzlar ise daha başlangıçta 2 eşdeğer alkil halojenür kullanılarak tek adımda sentezlenebilir.



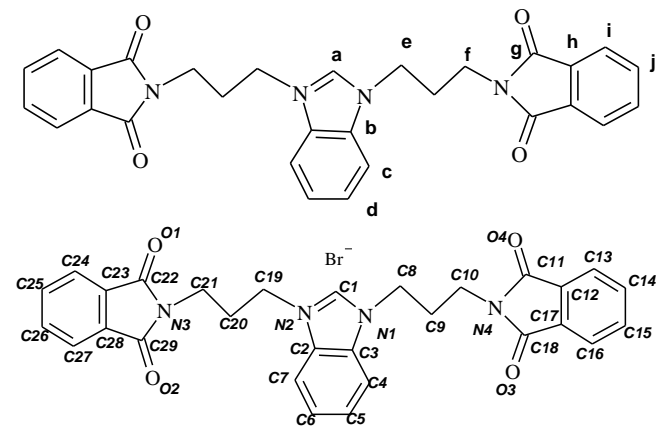
Şekil 6. Kuvvetli baz yöntemiyle NHC tuzu sentezinin genel yöntemi

DMF'in (N,N'-dimetilformamid) çözücü olarak kullanıldığı yöntem, simetrik NHC tuzları için hem zaman, hem de ısı anlamında daha ekonomik bir yoldur. Kuvvetli baz yönteminde süreç 70–80°C'de toplam 24 saati aşabilirken, bu çalışmada kullanılan DMF yönteminde 40–50°C sıcaklıkta ve 10–12 saatte tamamlanmaktadır. (Şekil 6). Bu yöntem literatürde pek yaygın değilse de çalışmalarımızda yüksek verimde ve temiz ürünler elde etmemize olanak sağlamıştır. DMF yönteminin en önemli sakıncası ise mono sübstitüye bileşik ve asimetrik tuz eldesine imkan vermemesidir.



Şekil 7. DMF yöntemiyle Simetrik NHC tuzu BEFIBR'in sentezlenmesi

BEFIBR sentezi için 20 mL DMF içinde 1.18 g benzimidazol (0.01 mol) çözülmüştür. Yaklaşık 20 dakika 50°C sıcaklıktaki yağ banyosunda karıştırıldıktan sonra 0.02 mol (5.36 g / 2 eşdeğer) N-(3-bromoetil) fitalimid eklenmiştir. Tepkime karışımı 10–12 saat sabit sıcaklıkta karıştırılmıştır. Karıştırma işleminden sonra çözücünün fazlalık kısmı manifold sisteminde vakum yardımıyla uzaklaştırılmıştır. Tüpte kalan kirli sarı renkte, yağimsı madde 3–4 defa 5'er mL hekzanla yıkanarak temizlenmiştir ve tekrar vakumlanarak kurutuldu. Elde edilen temiz madde olabildiğince az diklorometan (DCM) kullanılarak çözülüp üzerine çökeltme oluşana kadar hekzan eklenmiştir, çöken madde süzülerek alınmıştır. Elde edilen sarımsı beyaz tozun erime noktası 139.5–144°C olup verim %83 olarak gerçekleşmiştir.



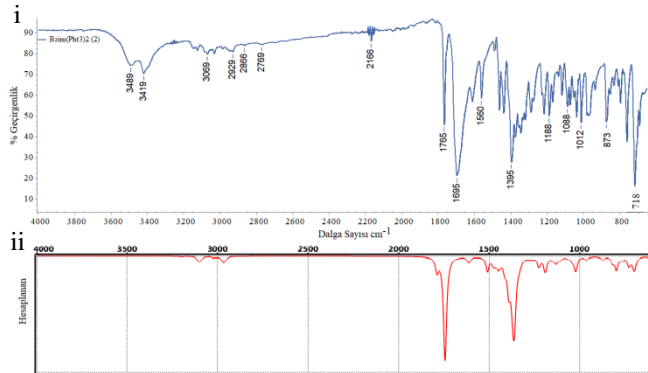
Şekil 8. Spektroskopik incelemeler için molekülün etiketlenmesi

3.2. Hesapsal Çalışmalar

Elde edilen yeni NHC tuzuna ait spektroskopik ve yapısal veriler SPARTAN-14 hesapsal kimya paket yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir [15]. Bu yazılım semikarbazitler [16], dimetoksikumarin [17], trifenilfosfor-anilidenasetaldehid [18] ve etoksikumarin [19] gibi farklı bazı organik molekül tipleri için başka araştırmacılar tarafından da kullanılmış ve programın başarısı ispatlanmıştır.

Çalışmada temel enerji ve spektroskopik değerlerin hesaplanmasında DFT/EDF2 yöntemi ve 6-31G* temel seti kullanılmıştır [20, 21]. Hesaplamalar “vakum” ortamına göre gerçekleştirilmiştir. FT-IR ve NMR spektrumları hesaplanarak, deneysel sonuçlarla grafiksel olarak karşılaştırılmıştır (Şekil 9, 10, 11). Bağ uzunlukları, bağ açıları ve burkulma açıları ile ilgili kuramsal ve deneysel sonuçlar sırasıyla tablo 1, 2, 3’de gösterilmiştir. HOMO-n ve LUMO+n değerleri ve sınır yüzey görüntüleri Tablo 4’de sunuldu. Ayrıca, FT-IR ve NMR değerlerinden bazıları benzer bir molekül olan 1,3-Bis(N-(2-Etil)Ftalimid-İmidazol-3-yum Bromür (BEF2BR) tuzuna ait verilerle karşılaştırılmıştır.

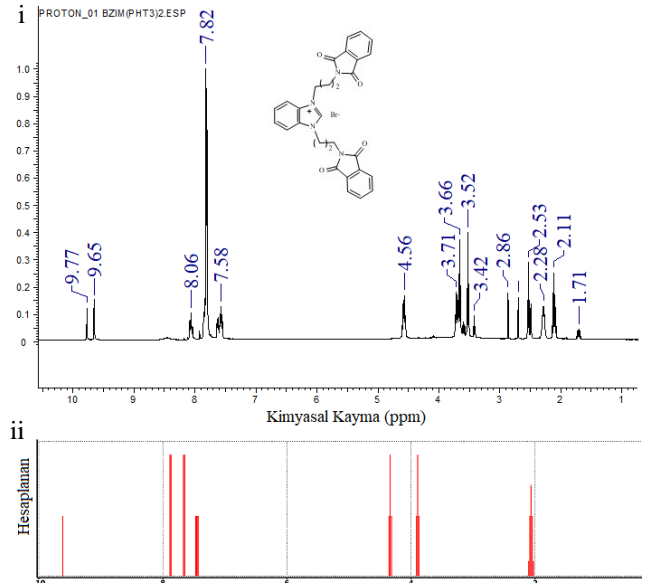
3.3. Spektroskopik Ölçüm ve Hesaplamalar



Şekil 9. BEFIBR için deneysel(i) ve hesaplanan(ii) FT-IR spektrumları

FT-IR spektrumlarında görülen değerler dalga sayısı cinsinden enerjiye (ν - cm^{-1}) karşılık gelmektedir. Bu değerler, program tarafından hesaplanmış 0.962 katsayısı ile düzeltme uygulanmıştır.

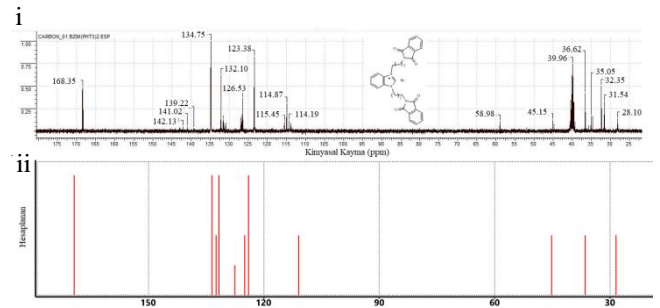
1706 ve 1769 cm^{-1} ’deki kuvvetli bandlar fitalimidlerin karbonil gruplarındaki C=O gerilmelerini gösterirken 3576 cm^{-1} ’deki band fitalimid üzerindeki alifatik C-H ve 3386 cm^{-1} ’deki band ise aromatik C-H gerilmelerine aittir. Bu değerler BEF2BR tuzunda sırasıyla 1701, 1770, 3583 ve 3453 cm^{-1} olarak ölçülmüştür [13].



Şekil 10. BEFIBR için deneysel(i) ve hesaplanan(ii) ^1H NMR spektrumları

Sentez kimyasında, en fazla bilgi sağlayan ve özellikle de yeni sentezlenen bileşiğin özelliklerini anlamada yardımcı olan spektroskopik yöntemlerden biri NMR’dir denebilir. Özellikle organik bileşiklerde çok sayıda H atomu bulunması nedeniyle kısa sürede ve net spektrumlar alınabilmektedir. Karben bileşiklerinde “Tuz Piki” olarak adlandırılan asidik H’e ait pik genellikle spektrumun en soldaki pikidir. 9.65ppm değeri BEFIBR tuzundaki asidik protonu göstermektedir. Bu pik BEF2BR tuzunda 9.89ppm’de görülmüştü. Aynı şekilde ^{13}C nmr çalışmalarında 168.35ppm’de gözlenen C_{karben} piki BEF2Br bileşiğinde 167.91ppm’de görülmüştü[13].

Diğer pikler ve işaret ettikleri molekül kısımları ise şöyledir: (ppm) 9.65 (a / Asidik Hidrojen-karben), 8.06 (c aromatik/benzimidazol kısmı) 7.82 (i aromatik/fitalimid grubu) 7.58 (j aromatik/fitalimid grubu), 7.61 (d aromatik/benzimidazol kısmı), 4.56 (f/N’a komşu alifatik), 3.77-3.66 (e/azota komşu alifatik)



Şekil 11. BEFIBR bileşiğinin deneysel(i) ve hesaplanan(ii) ^{13}C NMR spektrumları

Şekil 11.’de gösterilen deneysel ve hesaplanmış ^{13}C NMR spektrumlarının da uyumlu oldukları görülmektedir. Elde edilen kimyasal kayma değerleri ve karşılık geldikleri molekül kısımları şöyledir:

^{13}C NMR δ (ppm) 168.35 (a), 134.75–114.19 (aromatik C'lar), 28.10–39.96 (alifatik C'lar)
 ^1H ve ^{13}C NMR kimyasal kayma değerleri kolaylık amacıyla molekül üzerinde de sunuldu (Şekil 5).

3.4 Bağ Uzunlukları

Tablo 1'den de görüldüğü gibi en kısa C–H bağı 1.076Å olan asidik H ve C(karben) arasındaki bağıdır. C(aro)–H bağları genellikle 1.084Å, C(ali)–H bağları ise 1.096Å civarındadır C–C ve C–N bağları molekül üzerinde bulunduğu bölgeye göre belirgin bir değişim göstermektedir. En uzun C–C bağları 1.524–1.527Å arasında değişen alifatik C(ali)–C(ali) bağlarıdır. En kısa C–C bağları ise fitalimid gruplarındaki aromatik karbonlar arasındaki 1.382Å bağlardır. En kısa C–N bağları C(karben) ile N1, ve N2 nin 1.352Å'luk bağlarıdır. Tabloda N4–C11 ve N4–C18 bağları 1.397–1.401Å gibi birbirine yakın değerlerdeyken, halka dışından bağlanan N4–C10 bağının 1.446Å olduğu görülmektedir.

Tablo 1. BEFIBR için hesaplanan bağ uzunlukları

Bağ	Uzunluk (Å)	Bağ	Uzunluk (Å)
C1,H1	1.076	C17,C16	1.382
N1,C1	1.352	C16,C15	1.397
N1,C3	1.390	C15,C14	1.396
C2,C3	1.402	C14,C13	1.397
C2,N2	1.390	C13,C12	1.382
N2,C1	1.353	N2,C19	1.452
C2,C7	1.387	C19,C20	1.525
C6,C7	1.392	C20,C21	1.527
C5,C6	1.398	C21,N3	1.446
C4,C5	1.393	N3,C22	1.400
C4,C3	1.388	N3,C29	1.398
C1,Br1	2.601	O2,C29	1.213
N1,C8	1.452	O1,C22	1.211
C8,C9	1.524	C22,C23	1.487
C9,C10	1.528	C23,C28	1.393
C10,N4	1.446	C28,C29	1.487
N4,C18	1.397	C28,C27	1.382
N4,C11	1.401	C27,C26	1.397
O4,C11	1.211	C26,C25	1.396
O3,C18	1.214	C25,C24	1.397
C18,C17	1.486	C24,C23	1.382
C17,C12	1.393	H13,C27	1.085
C12,C11	1.487	H18,C7	1.084
H19,C6	1.084	H16,C15	1.085
H20,C5	1.084	H17,C16	1.085
H21,C4	1.084	H3,C19	1.094

Tablo 1(devamı). BEFIBR için hesaplanan bağ uzunlukları

H5,C8	1.092	H2,C19	1.094
H4,C8	1.096	H25,C20	1.095
H23,C9	1.095	H24,C20	1.095
H22,C9	1.094	H9,C21	1.093
H7,C10	1.092	H8,C21	1.094
H6,C10	1.095	H10,C24	1.085
H14,C13	1.085	H11,C25	1.085
H15,C14	1.085	H12,C26	1.085

3.5 Bağ Açılımları ve Dihedral açılar

Tablo 2.'den bağ açılarının genellikle beklenen değerlere yakın olduğu görülebilir. Bütün OCN açılımları küçük farklarla 125° civarında, NCC açılımları ise 112° civarındadır.

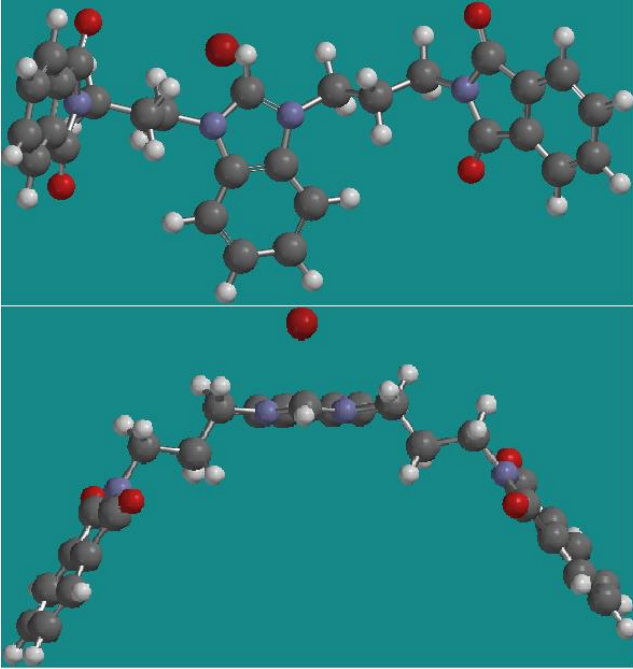
Tablo 2. BEFIBR için hesaplanan bağ açılımları

Atomlar	Açı (°)	Atomlar	Açı (°)
H1,C1,N1	122.77	O4,C11,C12	129.32
H1,C1,N2	123.05	O3,C18, N4	124.87
N2,C1,N1	108.87	O3,C18,C17	129.44
C1,N1,C3	108.45	C18,C17,C12	108.18
C1,N1,C8	124.07	C18,C17,C16	130.28
N1,C3,C4	131.75	C17,C16,C15	117.36
N1,C3,C2	106.67	C16,C15,C14	121.10
C3,C4,H21	121.82	C15,C14,C13	121.09
C3,C4,C26	116.93	C14,C13,C12	117.37
C4,C5,C6	121.52	C1,N2,C19	123.55
C5,C6,C7	121.47	N2,C19,C20	112.95
H20,C5,C6	119.42	C19,C20,C21	110.79
C5,C6,H19	119.41	C20,C21,N3	112.45
C5,C6,C24	121.47	O1,C22,N3	125.14
C6,C7,H18	121.30	O2,C29,N3	124.96
C6,C7,C1	117.03	O2,C29,C28	129.43
C7,C2,C3	121.47	O1,C22,C23	129.36
C7,C2,N2	131.79	C22,C23,C28	108.30
C2,N2,C1	108.41	C29,C28,C27	130.25
N1,C8,C9	112.33	C28,C27,C26	117.39
C8,C9,C10	111.30	C27,C26,C25	121.08
C9,C10,N4	112.06	C26,C25,C24	121.08
O4,C11,N4	125.24	C25,C24,C23	117.39
C11,N4,C18	112.35	C22,N3,C29	112.36

Tablo 3. BEFIBR bileşiğinin hesaplanan burkulma açıları

Atomlar	Burkulma Açısı (°)	Atomlar	Burkulma Açısı (°)
H1,C1,N2,C3	-164.01	N2,C19,C20,C21	179.93
H1,C1,N1,C3	164.25	N1,C8,C9,C10	172.95
N2,C1,N1,C3	9.36	C21,N3,C22,C23	-179.45
N1,C1,N2,C2	-9.20	C21,N3,C29,C28	179.49
N2,C2,C3,N1	0.24	O1,C22,N3,C21	0.55
C24,C2,C3,C27	0.26	O2,C29,N3,C21	-0.42
C7,C6,C5,C4	0.05	C10,N4,C11,O4	-0.34
H18,C7,C6,H19	-0.01	C10,N4,C18,O3	0.03
H21,C5,C5,H20	-0.11	O4,C11,N4,C18	-179.53
H19,C6,C5,H20	0.07	O3,C18,N4,C11	179.23
C4,C3,N1,C8	9.27	O4,C11,C12,C13	-0.20
C7,C2,N2,C19	-8.93	O3,C18,C17,C16	0.44

Molekülün uzayda düzlemsel veya bükülü yapıda olduğunu gösteren en önemli ölçü dihedral açılarıdır. Tablo 3.'de görüldüğü ve beklenebileceği gibi molekülün aromatik halka içeren kısımları büyük ölçüde düzlemseldir. Karben karbonunun ise ait olduğu benzimidazol molekülünün düzlemini yaklaşık 9.2° büküldüğü görülmektedir. Fitalimid N'lerinde ise düzlemsel bir yapı görülmektedir. Fitalimid türevleri, bileşiklerinde sp³ hibritleşmesi ve piramit şekli ile bilinen N'un bu şekilde düzlemsel kaldığı nadir bileşiklerdendir [22]. Bu yapıya literatürde başka fitalimid bileşiklerinde de rastlanmaktadır [23–25].

**Şekil 12.** BEFIBR bileşiğinin hesaplanan molekül yapısı.

3.5 Sınır MO'leri

Sınır MO'lerinin incelenmesi, grafikte gösterilmesi hesaplamalı kimyanın belki de en "renkli" yanısıdır. Bu güzel şekilli diyagramlar ve enerji değerleri incelenerek, molekülün kararlılığı, hangi tip moleküllerle ne şekilde bağlanabileceği gibi bilgilere ulaşılabilir. Örneğin HOMO (en yüksek dolu Molekül Orbitali) adından da anlaşılacağı gibi, molekülün dışarıya elektron aktarabileceği çıkış kapısını, LUMO (en düşük boş Molekül Orbital) ise, elektron kabul edebileceği kapıdır. Bu ikisi arasında kalan enerji boşluğu ne kadar büyükse molekül o kadar kararlıdır denebilir. İncelediğimiz molekülde bu değer (LUMO–HOMO) 2.6eV değerine karşılık gelmektedir.

Tablo 4. BEFIBR'in Moleküler Orbitaleri

MO	n	E (eV.)	Sınır MO
9	-7.6		
8	-7.4		
7	-7.3		
6	-7.3		
5	-7.3		
4	-7.1		

Tablo 4(devamı). BEFIBR'in Moleküler Orbitaleri

MO	n	E (eV.)	Sınır MO
3		-6.7	
2		-5.3	
1		-5.2	
0		-5.1	
0		-2.5	
1		-2.5	

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada yeni bir bileşik olan 1,3-bis(N-(3-etil) fitalimid) – benzimidazol – 3 – yum bromür (BEFIBr) yüksek verimle sentezlenmiştir. Sentezlenen ve literature kazandırılan bu yeni NHC tuzunun spektroskopik ölçümleri deneysel olarak ölçülmüş, ayrıca, SPARTAN 14 yazılımı yardımıyla kuantum mekaniksel olarak hesaplanmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda kuramsal değerlerin deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğu açıkça görülmüştür. Örneğin FT-IR spektrumunda, karbonil gerilmeleri 1769 cm^{-1} 'de görülürken, hesaplanan değer 1744 cm^{-1} olmuştur. Aynı

şekilde, deneysel ölçümlerle sırasıyla 3576 cm^{-1} ve 3386 cm^{-1} 'deki pikler fitalimid grubu üzerindeki alifatik ve aromatik C-H gerilmelerini göstermekteyken, bu değerler, hesapla 2970 ve 3108 cm^{-1} olarak bulunmuştur.

H ve C nmr ölçümleri, FT-IR'dan çok daha yakın değerlerle hesaplanmıştır. Örneğin, asidik karben H'i deneysel olarak 9.65 ppm 'de ölçülmüşken, hesaplanan değer, 9.62 ppm 'dir. C_{karben} için ölçülen değer 169.35 ppm , hesaplanan değer ise 169.3 ppm şeklindedir.

Spektroskopik ölçümlerde son derece yakın değerler bulunması elimizde deneysel veri bulunmayan, bağ uzunlukları, bağ açıları ve dihedral açıları için hesaplanan değerlere de büyük ölçüde güvenmemizi sağlamaktadır.

Bu çalışmanın devamı olarak, aynı tuzun değişik metal kompleksleri de sentezlenebilir, katalitik ve biyolojik etkinlikleri incelenebilir.

KAYNAKÇA

- [1] W.A. Herrmann, ve C. Köcher, "N-Heterocyclic Carbenes". *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 36: pp. 2162–2187, 1997
- [2] J. C. Garrison, ve W. J. Youngs, "Ag(I) N-Heterocyclic Carbene Complexes: Synthesis, Structure, and Application" *Chem. Rev. Cilt: 105*, pp. 3978–4008, 2005
- [3] W. Wan-Qiang, C. Hua, Y. Ye, H. Yu-Qing, W. Hua-Jing, W. Zhi-Qin, S. Wei, C. Cheng, and F. Verpoort, "Highly Efficient N-Heterocyclic Carbene/Ruthenium Catalytic Systems for the Acceptorless Dehydrogenation of Alcohols to Carboxylic Acids: Effects of Ancillary and Additional Ligands", *Catalysts*, Cilt: 10, pp.1–12, ISSN: 0009–2665, 2020, doi:10.3390/catal10010010
- [4] Y. Zhoua, W. Liub, Y. Liua, J. Guana, J. Yana, J.J. Yuana, D.-J. Taoa, Z. Songa, "Oxidative NHC catalysis for base-free synthesis of benzoxazinones and benzoazoles by thermal activated NHCs precursor ionic liquid catalyst using air as oxidant", *Mol. Catal.*, Cilt: 492 (51), pp.1–8, 2020
- [5] A. Kascatan-Nebioglu, M.J. Panzner, C.A. Tessier, C.L. Cannon, ve W.J. Youngs, "N-Heterocyclic carbene-silver complexes: A new class of antibiotics", *Coordination Chemistry Reviews*, Cilt: 251, pp. 884–895, 2007
- [6] C. O'Beirne, N.F. Alhamad, Q. Mab, H. Müller-Bunza, K. Kavanagh, G. Butler, X. Zhua ve M. Tack, "Synthesis, structures and antimicrobial activity of novel NHC*- and Ph3P-Ag(I)-Benzoate derivatives", *Inorganica Chim. Acta*, Cilt: 486, pp. 294–303, 2019
- [7] F. Guarra, N. Busto, A. Guerri, L. Marchetti, T. Marzo, B. García, T. Biver ve C. Gabbiani, "Cytotoxic Ag(I) and Au(I) NHC-carbenes bind DNA and show TrxRinhibition" *J. Inorg. Biochem. Cilt: 205*, pp. 1–11, 2020
- [8] K.B. Choo, S.M. Lee, W. L. Lee ve Y.L. Cheow, "Synthesis, characterization, in vitro antimicrobial and anticancer studies of new platinum N-heterocyclic carbene (NHC) complexes and unexpected nickel complexes" *J. Organomet. Chem*, Cilt: 898, pp. 1–14, 2019
- [9] F. Zhang, Y. Bai, X. Yang, J. Li ve J. Peng, "N-heterocyclic carbene platinum complexes functionalized

with a polyether chain and silyl group: Synthesis and application as a catalyst for hydrosilylation”, *Phosphorus Sulfur Silicon Relat Elem*, 192:12, pp. 1271–1278, 2017

[10] Z. Taşçı, A. Kunduracioğlu, İ. Kani. ve B. Çetinkaya, “A New Application Area for Ag–NHCs: CO₂ Fixation Catalyst”, *ChemCatChem*, Cilt: 4, pp. 1–6, 2012

[11] Q.Y. Meng, N. Döben, ve A. Studer, “Cooperative NHC and Photoredox Catalysis for the Synthesis of β -Trifluoromethylated Alkyl Aryl Ketones”, *Angew. Chem. Int. Ed.* Cilt: 59, pp. 19956–19960, 2020

[12] R.A. Haque, N. Hasanudin, M.A. Hussein, S.A. Ahamed ve M.A. Iqbal, “Bis–N–heterocyclic carbene silver(I) and palladium(II) complexes: Efficient antiproliferative agents against breast cancer cells”, *Inorganic and Nano–Metal Chemistry*, 47:1, pp. 131–137, 2017

[13] A. Kunduracioğlu, “Fitalimid Fonksiyonel Grup İçeren Yeni Bir Benzimidazol Tuzunun Sentezlenmesi, Yapısal Özelliklerinin Spektroskopik ve Hesapsal Yöntemlerle İncelenmesi” *El–Cezeri Journal of Science and Engineering*, Cilt:3, Sayı: 3, pp. 391–400, 2016.

[14] A. Kunduracioğlu, Ö. Tamer, D. Avcı, İ. Kani, Y. Atalay, ve B. Çetinkaya “1–Pentamethylbenzyl–3–nbutylbenzimidazolesilver(I)bromide complex: Synthesis, characterization and DFT calculations”, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, Cilt: 121, pp. 35–45, 2014

[15] Spartan 14, Wavefunction Inc. Irvine CA, USA, 2014

[16] Dhandapani, A., Manivarman, S., Subashchandraboze, S. ve H. Saleem “Molecular structure and vibrational analysis on (E)–1–(3–methyl–2,6–diphenyl piperidin–4–ylidene) semicarbazide” *Journal of Molecular Structure*, Cilt: 1058, pp. 41–50, 2014

[17] E. Karakaş–Sarıkaya, ve Ö. Dereli, “Study on Molecular Structure and Vibrational Spectra of 5,7–Dimethoxycoumarin Using DFT: A Combined Experimental and Quantum Chemical Approach” *Optics And Spectroscopy*, Cilt: 117, 2, pp. 240–249, 2014

[18] Ö. Dereli, Y. Erdoğan ve M.T.Güllüoğlu, “Study on molecular structure and vibrational spectra of (triphenylphosphoranylidene) acetaldehyde using DFT: A combined experimental and quantum chemical approach” *Journal of Molecular Structure*, Cilt: 1012, pp. 105–112, 2012

[19] E.K. Sarıkaya, Ö. Dereli, Y. Erdoğan, ve M.T. Güllüoğlu, “Molecular structure and vibrational spectra of 7–Ethoxycoumarin by density functional method.” *Journal of Molecular Structure*, 1049, pp. 220–226, 2013

[20] T. Onishi, “Quantum Computational Chemistry: Modelling and Calculation for Functional Materials”, *Springer-Singapore*, pp. 49–53, 2018

[21] N. Islam ve S. Kaya, “Conceptual Density Functional Theory And Its Application In The Chemical Domain”, pp: 15-41, Apple Academic Press, Inc.Canada&USA 2018

[22] A. Greenberg, C.M.Breneman ve J.F.Liebman, “The amide linkage: Structural significance in chemistry, biochemistry and materials science”, pp. 218–220 *JohnWiley&Sons Inc., NewJersey, USA, 2003*


[23] X.S. Fu, X.P.Yu, W.M. Wang ve F. Lin, “N–(3,4–Difluorophenyl)phthalimide”, *Acta Cryst. E66*, pp. o1809 2010.


[24] N. Vila, M.C. Costas–Lago, P. Besada ve C. Teran “2–Benzyl–5–methoxyisoindoline–1,3–dione”, *Acta Cryst. E69*, pp. o1594–o1595 2013.

[25] M. Flores–Alamo, M. del C. Romero–Quiroz, ve J. Morgado, “N–Crotylphthalimide”, *Acta Cryst. E66*, pp. o3209, 2010.

Çoklu Vericili Görünür Işık Haberleşmesinde Kanal

¹Merve Kimyacı, ^{*2}Selva Muratoğlu Çürük

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, merve.kimyaci.mfbe16@iste.edu.tr, 

²İskenderun Teknik Üniversitesi, selva.curuk@iste.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 12.08.2020

Kabul Tarihi: 30.09.2020

Öz

Aydınlatma için kullanılan ışık kaynaklarını veri iletiminde kullanma fikrine dayanan Görünür Işık Haberleşmesinin (Visible Light Communication, VLC) geleceğin haberleşme teknolojileri arasında yer alması beklenmektedir. Ancak güvenilir iletişim için çokyollu yapıya sahip olduğu bilinen bina içi VLC kanallarının bilinmesi ve kestirilmesi önemlidir. Bu nedenle olası kanal karakteristiklerini incelemek amacıyla, çalışmada farklı boyutlarda çeşitli düzende yerleştirilmiş çoklu vericili odalar ele alınmıştır. Mobil kullanıcılar göz önünde bulundurularak farklı alıcı konumları için Kanal Dürtü Yanıtları ve Kanal Frekans Yanıtları hesaplanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, çoklu vericilerin kanalın özelliklerini değiştiren güçlü bir etken olduğu, kaynakların dağılımı ve alıcı konumu ile ilişkili frekans seçici kanallar oluştuğu gösterilmiştir. Aynı odada alıcı konumuna bağlı olarak frekans bandında tamamen farklı bir dalgalanma olabileceği, bazı frekanslarda ciddi zayıflamalar yaşandığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç özellikle mobil alıcılar için çözüm bekleyen bir durum olarak dikkat çekmiştir. Çalışmanın sonunda çözüm önerisi olarak sunulan yönlü aydınlatma veya dar görüş açılı detektör kullanılmamanın kanalın frekans seçiciliğini azaltılabileceği simülasyonlarla gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Görünür ışık haberleşmesi, bina içi, kanal dürtü yanıtı, kanal frekans yanıtı

Channel in Multiple Transmitter Visible Light Communication

¹Merve Kimyacı, ^{*2}Selva Muratoğlu Çürük

¹Iskenderun Technical University, merve.kimyaci.mfbe16@iste.edu.tr

²Iskenderun Technical University, selva.curuk@iste.edu.tr

Abstract

Visible Light Communication (VLC), which is based on the idea of using the light sources used for lighting in data transmission, is expected to be among the communication technologies of the future. However, for reliable communication, it is important to know and predict indoor VLC channels that are known to have a multipath structure. Therefore, in order to examine the possible channel characteristics, multiple transmitter rooms with different sizes are arranged in the study. Channel Impulse Responses and Channel Frequency Responses were calculated for different receiver locations taking into account mobile users. As a result of the study, it has been shown that multiple transmitters are a powerful factor that changes the characteristics of the channel and frequency selective channels are formed related to the distribution of the sources and the receiver location. In the same room, depending on the receiver location, there may be a completely different fluctuation in the frequency band and some serious fading is observed in some frequencies. This result has attracted attention especially as a problem with pending solution for mobile users. At the end of the study, it was shown by using simulations that using directed illumination or detector with narrow field of view may reduce the frequency selectivity of the channel.

Keywords: Visible Light Communication, indoor, channel impulse response, channel frequency response

1. GİRİŞ

Günümüzde yaygın şekilde kullanılan radyo frekansı kablosuz haberleşme sistemleri yüksek performans ile hizmet vermektedir. Ancak özellikle kişisel cihazlarının yaygınlaşmasıyla birlikte hızla artan mobil kullanıcı sayısı spektrumda doluluğa sebep olmuş, radyo frekansı sistemleri talepleri karşılayamaz hale gelmeye başlamıştır. Buna ek olarak, aşırı enerji tüketimi konusu çözüm bekleyen küresel bir sorundur. Kaliteli servis hizmeti sunmak adına kablosuz ağlar iletim için aşırı derecede enerji tüketmektedir. İşletme giderlerinin düşürülmesinden çok, karbon yayılımı azaltılmış, çevreye duyarlı haberleşme sistemleri geliştirmek akademik dünya ve servis sağlayıcıları için bir hedef haline gelmiştir.

Araştırmacılar, mevcut haberleşme sistemlerinin yerini alacak veya destek olacak sistemler üzerine çalışmalarına devam etmektedirler. Geleceğin haberleşme teknolojilerinden biri olmaya aday Görünür Işık Haberleşmesinin (Visible Light Communication, VLC); bazı uygulamalarda radyo frekansı teknolojisine alternatif olması, bazılarında ise tamamlayıcı rol alması beklenmektedir [1]. VLC teknolojisi, vericide bulunan Işık Yayan Diyotların (Light Emitting Diodes, LEDs) ışık şiddetini veya rengini fark edilemeyecek hızda değiştirerek ortam aydınlatması etkilenmeden kablosuz bilgi iletimini yapmayı amaçlamaktadır. Sağlığa zararı olmayan yeşil bir haberleşme olan VLC, radyo frekansı spektrumuna kıyasla çok daha geniş bir spektrumda, veriyi yüksek hızda az güç harcayarak iletebilmektedir. Ayrıca, elektromanyetik ışımaya ve girişime neden olmadığı gibi radyo frekans girişiminden de etkilenmemektedir. VLC'nin diğer bir üstünlüğü görünür ışık dalgalarının duvarlar ve yüzeylerden geçememesi nedeniyle veri güvenliğini sağlamasıdır [2].

Günümüzde işlevsel ve yüksek performanslı VLC sistemler için çalışmalar hız kazanmıştır. Bilindiği üzere bina içi VLC uygulamalarında, vericiden gönderilen sinyal Görüş Hattı (Line of Sight, LOS) ile direkt alıcıya ulaşabileceği gibi, Görüş Hattı Olmayan (Non Line of Sight, NLOS) yansımalarından sonra da alıcıya ulaşacaktır. Bu durumda alınan optik sinyal, farklı zaman gecikmelere sahip olan işaretlerin toplamından oluşacaktır ve iletilen sinyal çokyollu kanalın etkilerini yaşayacaktır [3]. Buna ek olarak, çoklu ışık kaynakları daha homojen aydınlatma sağlayabilmesi ve gölgelemeyi engellemesi açısından avantajları nedeniyle özellikle büyük odalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Veri iletimi açısından bakıldığında, çoklu vericili sistemler gölgelemenin önüne geçilirse de, özellikle yüksek veri hızlarında simgeler arası girişime nedeniyle sinyaller daha yoğun çokyollu kanalın etkilerini yaşayacaklardır [4]. Çokyollu yapı iletişimi sınırlayan etkidir, bu nedenle bina içi VLC haberleşme sistemlerinin sağlıklı şekilde çalışabilmesi ve başarımını artırabilmek amacıyla kanalın kestirilmesi ve etkisinin denkleştirilmesi öncelikli araştırma konularından biridir.

Literatürde tekli vericilerin kanalını inceleyen çalışmalar nispeten daha fazladır, ama çoklu vericili durumlarda kanalın frekans seçiciliğini inceleyen çalışmalar sınırlıdır [5-12]: Örneğin verici sayısı arttıkça kanalın dc kazancının azaldığı [5]'te gösterilmiştir. Çoklu kaynak durumunda güçlü LOS bileşenleri nedeniyle kanal bant genişliğinin sınırlı olduğunu [6]'nın yazarları kanıtlamıştır. [7]'nin yazarları ise çoklu kaynak kanalı frekans tepkisini belli bir durum için araştırmıştır. Çoklu verici yapının kanal frekans karakteristiğini etkileyen en kritik faktör olduğu ve dalgalanmanın kaynakların yerleşimi ve alıcının konumu ile ilgili olduğu [8]'de gösterilmiştir. Çoklu kaynaklı sistemlerde, kanalın dürtü ve frekans tepkisi, [9]'da kanıtlandığı gibi alıcının konumuna göre değişmektedir. Ancak bu değişim literatürde belirli durumlar için incelenmiştir. Örneğin [10]'da, kanal simetrik yerleşimli vericileri olan tipik bir ofiste araştırılmaktadır. [11]'in yazarları, simetrik olarak yerleştirilmiş dört verici sistem ve iki farklı alıcı konum için kanal dürtü tepkisini vermektedir. [12]'nin yazarları, kanalın frekansı seçiciliğini belirleyen ana faktörün baskın LOS hatlarının olduklarını belirtmiştir. Çalışmada LOS bileşeninin etkisiyle frekans tepkisinde salınım davranışı görüldüğü, belirli frekanslarda şiddetli zayıflamaların olduğu ifade edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı çoklu vericili bina içi VLC sistemleri için olası farklı kanal karakteristiklerini belirlemek, ardından iyi bir aydınlatma ve hızlı, sağlıklı bir iletim için öneriler sunmaktır. Bu amaçla farklı aydınlatma düzeneklerine sahip odalar için VLC kanallarının Kanal Dürtü Tepkisi (Channel Impulse Response, CIR) ve Kanal Frekans Tepkisi (Channel Frequency Response, CFR) incelenmiştir. Ardından simülasyon bulguları yorumlanarak kanalın frekans seçiciliğini gidermek üzerine çözümler önerilmiştir. Aydınlatma düzeneklerini değiştirmenin, yönlü aydınlatma kullanmanın ve detektörün görüş açısını azaltmanın sorunun çözümündeki etkisi araştırılmıştır. Böylece VLC amaçlı kullanılacak olan aydınlatma sistemlerinin planlaması için alt yapı oluşturulmuştur.

2. BİNA İÇİ VLC KANALI

Tipik bir VLC sisteminde, verici modülatör, optik kaynak ve sürücü devresi, alıcı ise optik detektör, yükselteç ve demodülatörden oluşur [2]. VLC, sürücü devresinin LED'lerden geçen akımı iletilecek işarete göre kontrol ederek yayılan ışığın parlaklığını modüle etmesi, alıcıda ise detektörün gelen modüleli ışığın gücüyle ilişkili akım üreterek demodülasyonu gerçekleştirmesi mantığına dayanmaktadır. Böyle bir sistemde verici ile alıcı arasındaki boşluk kanal olarak modellenir. Tipik bir çokyollu VLC kanalının her bir yolunun bir gücü ve bir gecikmesi olacaktır, bu durumda CIR [4]

$$h(t) = \sum_{i=1}^{\infty} P_i \cdot \delta(t - \tau_i) \quad (1)$$

olarak ifade edilir. P_i i -inci yolun gücünü, τ_i ise bu yolun gecikme zamanını göstermektedir. $\delta(t)$ Dirac delta fonksiyonudur. Çoklu vericili bir sistemde, her bir vericiden alıcıya ulaşan güç, matematiksel olarak, o vericinin LOS yolu gücü ile çokyollu yayılımdan sonra alıcıya gelen tüm NLOS yollarının güçleri toplanarak hesaplanır [4]:

$$h_n(t) = h_{LOS,n}(t) + \sum_{k=1}^{\infty} h_{NLOS,kn}(t). \quad (2)$$

Burada k yansıma numarası, n ise verici indisidir. Teorik olarak sonsuz sayıda yansıma olacaktır, ancak her yansımada zayıflayan güç ilk birkaç yansımadan sonra ihmal edilecek seviyeye düşecektir. Çoklu kaynak durumunda alıcıdaki güç, aşağıda belirtildiği gibi, bütün vericilerden alınan LOS ve NLOS hatlarının güçlerinin toplamı olacaktır. Sonuç olarak N_{LED} adet çoklu vericili bir sistemde kanalın CIR

$$h(t) = \sum_{n=1}^{N_{LED}} \left(h_{LOS,n}(t) + \sum_{k=1}^{\infty} h_{NLOS,kn}(t) \right). \quad (3)$$

şeklinde olacaktır.

Verici ile alıcı arasındaki mesafenin LED boyutundan çok daha büyük olması nedeniyle kaynakların tek renkli noktasal kaynak oldukları varsayımı doğru bir yaklaşımdır. LED Lambert radyasyon yapısına sahip ise, yaydığı ışık yüzey normalinin etrafında silindirik simetriye sahip olacaktır. Bu durumda, n -inci kaynağın radyasyon yoğunluğu paterninin açısız dağılımı, genelleştirilmiş bir Lambert radyant yoğunluğu kullanılarak modellenir [4],

$$R_n(\phi_0) = \frac{(m+1)}{2\pi} \cdot P_t \cdot \cos^m(\phi_0). \quad (4)$$

İfadedeki optik güç P_t LED'den yayılan toplam enerjiyi gösterirken, $\frac{(m+1)}{2\pi}$ katsayısı yarıküre yüzeyi üzerindeki toplam radyasyon yoğunluğunun verici gücüne eşit olmasını sağlamaktadır. Lambert emisyon numarası m ışın huzmesinin enini, dolayısıyla ışığın yönlülüğünü ifade eder. $m = 1$ durumu klasik Lambert kaynak olduğunu belirtirken daha büyük m değeri yönlülük anlamına gelir. ϕ_0 verici yüzeyinin normal eksenine göre ışıma açısıdır. Işıma açısı $\phi_0 < 90^\circ$ dır ve $\phi_0 = 0$ için maksimum güçte ışıma görülür.

Alıcıda optik detektör, detektörün Görüş Alanı (Field of View, FOV) açısı ψ_c 'den ($\psi_c \leq \pi/2$) daha küçük olay açılarla (ψ_0) gelen radyasyonu toplayan aktif alan A_r olarak modellenmektedir. Sonuç olarak bir VLC sistemi ele alındığında, d_0 mesafesindeki ($d_0 \gg \sqrt{A_r}$) bir alıcı için n -inci vericiden gelen LOS hattının kazancı [4],

$$H_{LOS,n} = \frac{(m+1)}{2\pi} \cdot P_t \cdot \cos^m(\phi_0) \cdot \frac{A_r \cdot \cos(\psi_0)}{d_0^2} \cdot \text{rect}\left(\frac{\psi_0}{\psi_c}\right) \quad (5)$$

şeklinde ifade edilir. Alıcıda optik detektörün sadece FOV'dan daha küçük açılarla gelen radyasyonu topladığını ifade etmek için dikdörtgen darbe kullanılmıştır:

$$\text{rect}(x) = \begin{cases} 1 & |x| \leq 1 \\ 0 & |x| > 1 \end{cases} \quad (6)$$

LOS bağlantısının dürtü yanıtı ise aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$h_{LOS,n}(t) = \frac{A_r \cdot (m+1)}{2\pi \cdot d_0^2} \cdot P_t \cdot \cos^m(\phi_0) \cdot \cos(\psi_0) \cdot \text{rect}\left(\frac{\psi_0}{\psi_c}\right) \cdot \delta\left(t - \frac{d_0}{c}\right) \quad (7)$$

Burada c boş alandaki ışığın hızıdır ve d_0/c yayılma gecikmesini temsil eder. VLC sistemlerinde optik detektör ile daha fazla radyasyon toplamak amacıyla yoğunlaştırıcı kullanmak ve optik bant geçiren filtre ile alıcının performansını artırmak tercih edilen tekniklerdir. Bu durumda bunların kazançları (7)'e eklenmelidir.

Yansımaların CIR'a katkısının hesaplanmasında literatürde geçen deterministik Barry metodu [13] yüksek doğruluğa sahip iken, Modifiye Monte Carlo (MMC) algoritması [14] yüksek hıza sahiptir. Bu çalışmada iki metodun iyi yönlerini birleştiren, ilk yansımaların katkısını Barry metoduyla, ikinci ve diğer yansımaların katkısını ise MMC tekniğiyle bulan teknik [15] kullanılmaktadır.

Oda yüzeylerinde yaygın olarak kullanılan boya, ahşap, tekstil, sıva gibi malzemeler difüzyon yansımaları neden olduğundan, ışınlar yüzeylere çarptığında çarpma noktasında yeni nokta kaynaklar oluşacaktır. Bu yeni kaynaklar orijinal kaynağa benzer şekilde Lambert radyasyon paternlerine ($m = 1$) sahip olacaktırlar, ancak yayılan ışınların gücü gelen ışınların zayıflamış hali olacaktır. Yansıyan ışınlar, bir başka yüzeye veya detektöre ulaşana kadar yollarına devam edeceklerdir. MMC algoritmasında, her yansıma sonrası, yansıyan noktadan alıcıya LOS hattı olduğu varsayılır. Bu durumda n -inci vericiden oluşan k -yıncı NLOS yolunun CIR'e katkısı

$$h_{NLOS,kn}(t) = \frac{A_r}{\pi \cdot d_k^2} \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2 \dots \gamma_k \cdot P_t \cdot \cos(\phi_k) \cdot \cos(\psi_k) \cdot \text{rect}\left(\frac{\psi_k}{\psi_c}\right) \cdot \delta\left(t - \frac{d_0 + \dots + d_k}{c}\right) \quad (8)$$

kullanılarak bulunur. ϕ_k yansımanın ışıma açısı, ψ_k yansımanın olay açısı, γ_k yansıma katsayısı ve d_k alıcı ile son yansıma noktası arasındaki mesafedir.

CIR kanalı tamamen karakterize eder, ancak çokyollu kanalların zaman yayılım özelliklerini belirlemek için sıkça kullanılan anahtar parametre τ_{rms} , rms gecikme yayılımıdır. Gecikme yayılımı, çokyollu bir kanalda alıcıya ulaşan ilk bileşen ile son bileşenin varış zamanları arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Rms gecikme yayılımı ise yansımaların gecikme değerlerinin enerjileriyle orantılı olarak standart sapmasıdır. VLC kanalları için τ_{rms} aşağıdaki şekilde olacaktır [16]:

$$\tau_{rms} = \sqrt{\tau^2 - (\bar{\tau})^2}, \quad (9)$$

Aşırı gecikme $\bar{\tau}$ ve τ^2 aşağıda tanımlanmıştır:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{n=1}^{N_{LED}} \left(P_{LOS,n} \cdot t_{LOS,n} + \sum_{k=1}^{\infty} P_{NLOS,kn} \cdot t_{NLOS,kn} \right)}{P_{rT}}, \quad (10)$$

$$\tau^2 = \frac{\sum_{n=1}^{N_{LED}} \left(P_{LOS,n} \cdot t_{LOS,n}^2 + \sum_{k=1}^{\infty} P_{NLOS,kn} \cdot t_{NLOS,kn}^2 \right)}{P_{rT}}. \quad (11)$$

$P_{LOS,n}$ n -inci LOS hattının gücü, $t_{LOS,n}$ ise aynı LOS hattının zaman gecikmesidir. $P_{NLOS,kn}$ ve $t_{NLOS,kn}$, ise sırasıyla n -inci vericiden gelen yansımaların güçleri ve zaman gecikmeleridir. Alınan toplam güç

$$P_{rT} = \sum_{n=1}^{N_{LED}} \left(P_{LOS,n} + \sum_{k=1}^{\infty} P_{NLOS,kn} \right). \quad (12)$$

şeklinde ifade edilir. CIR ve τ_{rms} deterministik parametrelerdir, şartlar değişmedikçe sabit kalırlar. Ancak farklı oda şartları, verici konfigürasyonu, alıcının konumu gibi değişimlerde farklı değerler gözlemlenecektir.

Çokyollu bir kanalda iletişimi optimize etmek için zaman karakteristiğinin (dürtü tepkisi) yanında bant karakteristiği de (frekans tepkisi) ele alınmalıdır. Özellikle çoklu verici yapı kanalın bantını büyük ölçüde etkileyecektir. CFR kanal dürtü tepkisinin Fourier dönüşümü ile elde edilir (Δt zaman dilimi genişliği) [2]:

$$H(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n, \Delta t) \cdot e^{-j2\pi \cdot f \cdot n \cdot \Delta t} \quad (13)$$

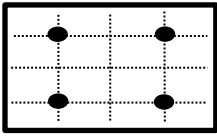
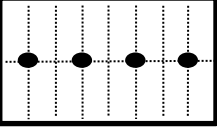
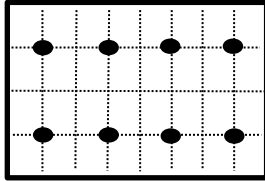
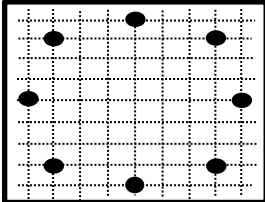
3. SİMÜLASYON BULGULARI

Bu çalışmada Matlab simülasyonları ile çoklu vericili kanallarda frekans tepkisinin durum tespiti ve problemlerin çözümleri üzerine odaklanılmıştır. Simülasyonlarda alıcı ve verici birbirlerine bakacak şekilde, aydınlatmanın (vericiler) tavanda sabit olduğu, alıcının ise bir kişinin elinde zeminden 85 cm yükseklikte olduğu varsayılarak konumlandırılmıştır. LED'lerden yayılan güç 1 watt olarak alınmış ve 10 000 adet

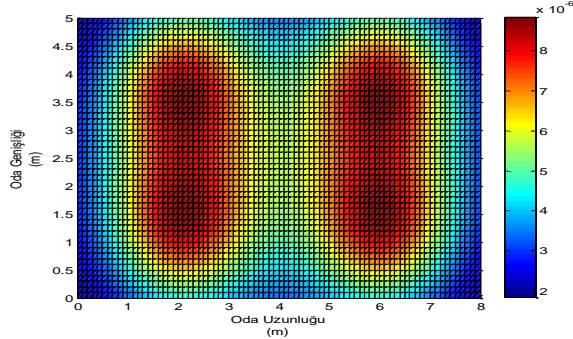
ışın üretilmiştir. Alıcıdaki fotodetektörün alanı 1 cm² dir. Simülasyonlarda, etkisinin az olduğu düşünülen eşyalardan oluşabilecek yansımalar ihmal edilmiş, odaların boş olduğu varsayılmıştır. Yansımaların oluşacağı tüm yüzeylerin (zemin, tavan ve duvarlar) yansıma katsayısı ortalama değer 0,5 olarak alınmıştır. Teorik olarak, kapalı bir ortamda her vericiden kaynaklanan doğrudan bir yol ve sonsuz sayıda duvarlardan, tavadan ve zeminden yansımalar oluşacaktır. Ancak her yansımada zayıflayan ışınların gücü ilk beş yansımadan sonra ihmal edilebilir seviyede olacaktır [2]. Bu nedenle çalışmada yansıma sayısı 5 olarak alınmıştır.

Tek vericili sistemlerde yapılan çalışmalar kanalların frekans seçici olmadığı, frekans düzleminde alıcının konumuna bağlı zayıflama olduğu, sadece yüksek yansımali ortamlarda, NLOS bileşenlerinin etkisinin artmasıyla duvarlara yakın konumda frekans düzleminde hafif bir hareketlenme gözlemlendiği belirtilmiştir [2]. Bu nedenle tek vericili sistemlerde alıcı hareketliliğinin bir sorun yaratmayacağı açıktır. Ancak çok vericili sistemlerde durum farklıdır. Bu nedenle bu çalışmada çoklu vericili VLC sistemleri için kanal yapısını incelemek, konfigürasyonunun CIR ve CFR üzerindeki etkisini gözlemlemek amacıyla olası düzenekler göz önünde bulundurularak tanımlanan iki farklı boyutta ve farklı verici yerleşimine sahip odalar ele alınmıştır. Odalarda birim alana düşen güç eşit (1 LED / 10 m²) olacak şekilde seçilmiştir. Odaların yükseklikleri 3 m olarak belirlenmiştir. Kıyaslanacak dört farklı oda ve verici yerleşimi Tablo 1'de verilmiştir.

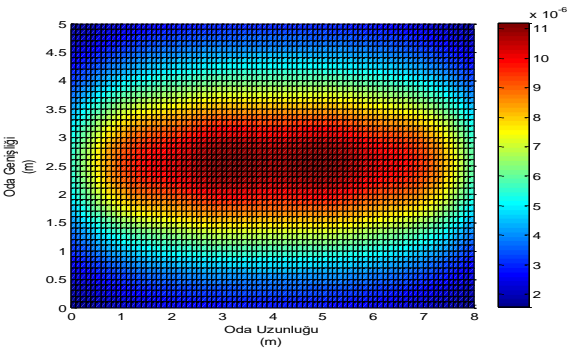
Tablo 1. Oda boyutu ve verici yerleşimi.

Oda no	Verici yerleşimi görseli
Oda 1 (8m x 5m)	
Oda 2 (8m x 5m)	
Oda 3 (10m x 8m)	
Oda 4 (10m x 8m)	

Dört vericili 40 m²'lik aydınlatma düzeneğine sahip Oda 1 ve Oda 2'ye ait aydınlatma grafikleri sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir. Oda 1'de aydınlatmanın daha homojen olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 1. Aydınlatma grafiği, Oda 1, $m = 1$

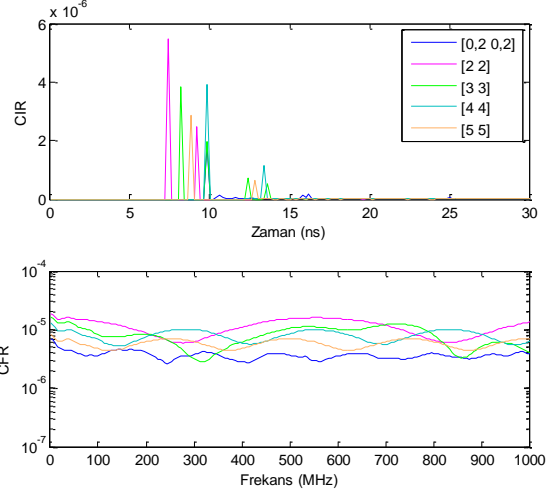


Şekil 2. Aydınlatma grafiği, Oda 2, $m = 1$

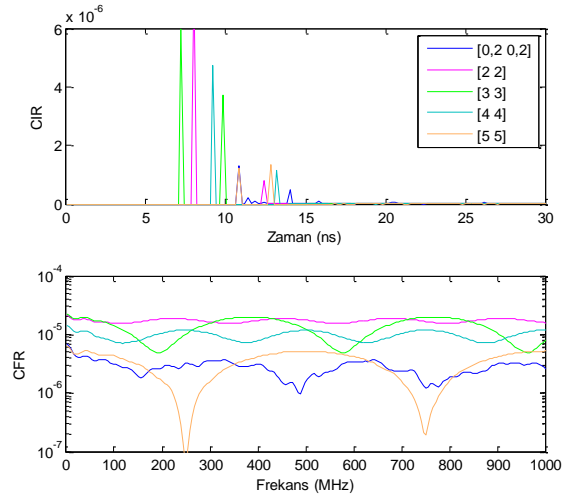
Alıcının mobil olduğu düşünülerek vericilerle farklı açıda bulunacak şekilde alıcı konumları belirlenmiştir: [0,2 0,2] m, [2 2] m, [3 3] m, [4 4] m ve [5 5] m. Oda 1 ve Oda 2 için bu alıcı konumlarında oluşan CIR ve CFR grafikleri sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir. Şekillerde her konum için farklı renk kullanılmıştır. CIR grafiklerinde verici sayısı kadar LOS hatları olması beklenmektedir, ancak alıcı konumuna bağlı olarak bazı vericilerden gelen LOS detektör açısı kapsamına girememekte veya çok küçük genlikli olmaktadır. Bu nedenle CIR grafiklerinde her konum için dört güçlü LOS bileşeni görülmemektedir. Ama alıcı vericilere yaklaştıkça LOS yollarındaki artan kazançlar açıkça görülmektedir.

CFR grafiklerinde ise her iki oda için farklı alıcı konumlarında ciddi bir dalgalanma görülmektedir. Bu dalgalanma LOS bileşenleri boyut olarak birbirine yaklaştıkça belirginleşmektedir. Dalgalanma periyodiktir ve periyot LOS hatları arasındaki zaman farkıyla ilişkili görülmektedir. Her iki odada çoklu kaynak önemli bir frekans seçiciliğine neden olmaktadır. Ancak Oda 2 için [5,5] konumunda bu çok daha belirgindir, bazı frekanslarda çok ciddi ani zayıflamalar mevcuttur. [0,2,0,2] konumunda ise LOS lar çok zayıf olduğu için bir titreme görülmektedir. Odalar kıyaslandığında, Oda 2, [2 2] alıcı konumu haricinde, Oda 1'e göre daha kötü kanal yapısı oluşturmuştur.

Bu sonuçlar kanal frekans karakteristiğini etkileyen en kritik faktörün çoklu verici yapının olduğunu belirten ve kaynakların yerleşimi ve alıcının konumu ile ilgili dalgalanma olduğu gösteren [8] ve [9] ile uyumludur. Yine [12]'nin yazarlarının ifade ettiği gibi, kanalın frekans seçiciliğini alıcı konumuna bağlı olarak oluşan baskın LOS hatları belirlemektedir.



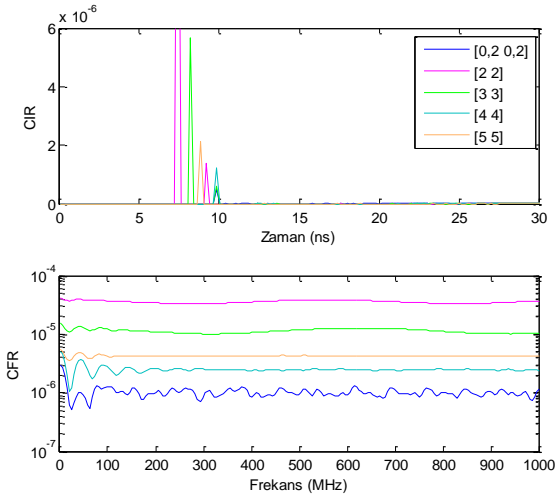
Şekil 3. CIR ve CFR grafikleri, Oda 1, $m = 1$, FOV = 60°



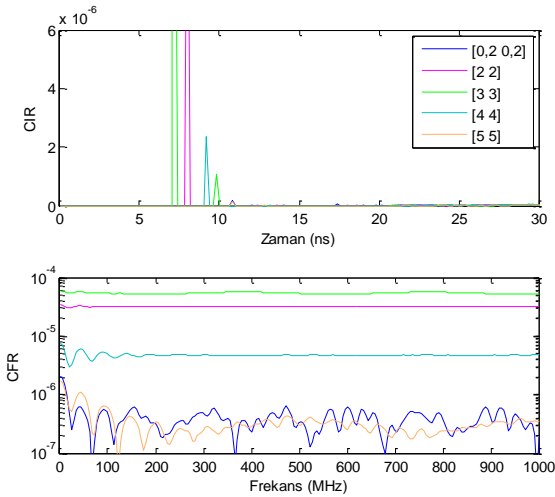
Şekil 4. CIR ve CFR grafikleri, Oda 2, $m = 1$, FOV = 60°

Yönlü aydınlatma kullanmanın problemin çözümündeki etkisini incelemek amacıyla ışın huzmesi dar ($m = 10$) olan vericilerin kullanıldığı varsayımıyla Oda 1 ve Oda 2 için CIR ve CFR grafikleri sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. Şekiller incelendiğinde Oda 1 için her alıcı konumunda problemin çözüldüğü, frekans seçici olmayan kanal oluştuğu, Oda 2 için ise bazı alıcı konumlarında sorun yaşandığı görülmektedir. Aydınlatma yönlü yapıldığında, alıcı konumuna bağlı olarak detektörün görüş alanına sadece en yakın LOS hattı denk geldiği durumda sistemin tek vericili gibi davranacağı, frekans seçiciliğin görülmeceği ortaya çıkmıştır. Ancak Oda 2'deki bazı konumlarda olduğu gibi, detektör LOS hattı yakalayamaz ise kanal sadece NLOS

hatlardan oluşacaktır. Bu durumda da beklenildiği üzere ciddi bir zayıflama ve frekans seçicilik görülmektedir.



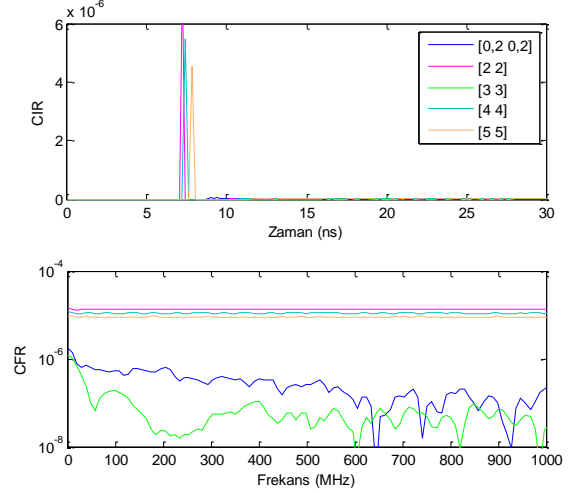
Şekil 5. CIR ve CFR grafikleri, Oda 1, $m = 10$, $FOV = 60^\circ$



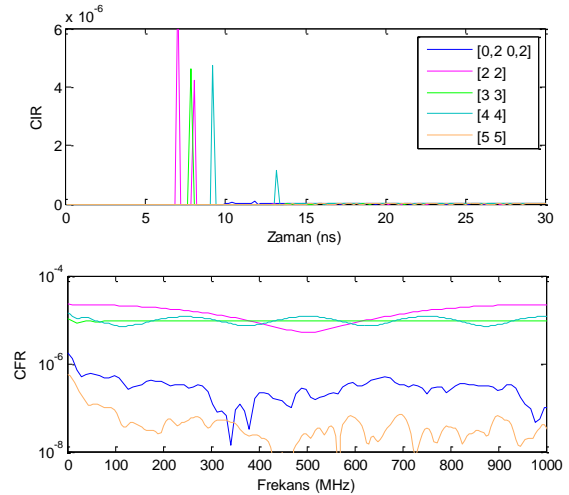
Şekil 6. CIR ve CFR grafikleri, Oda 2, $m = 10$, $FOV = 60^\circ$

Konuma göre değişen frekans seçici kanaldan kurtulmanın diğer bir çözümü dar görüş alanı açılı detektör kullanarak tek bir LOS hattı yakalamaktır. Oda 1 ve Oda 2'de dar FOV açılı detektör kullanıldığı durumda çıkan sonuçlar Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Oda 1 için bazı alıcı konumlarında çok iyi sonuç alınırken, bazı alıcı konumlarında LOS gözlenmemektedir. Bu da kanalın sadece NLOS hatlarından oluşmasıyla sonuçlanmaktadır. Bu konumlarda kanaldaki zayıflama da, rasgele oluşan frekans seçicilik de ciddi

boyuttur. Oda 2'de ise durum daha ciddidir. Bazı alıcı konumları için frekans seçicilik azalmış olsa da hala bulunmaktadır, diğer alıcı konumlarında ise LOS hattı yakalanamamıştır. Bu sonuçlara göre, FOV açısı oda boyutu, vericilerin yerleşimi ve ışık huzmesinin eni dikkate alınarak belirlenmelidir. Gerekirse NLOS kanallarla iletim yapmaktansa frekans düzleminde hafif bir dalgalanma tercih edilebilir.



Şekil 7. CIR ve CFR grafikleri, Oda 1, $m = 1$, $FOV = 30^\circ$



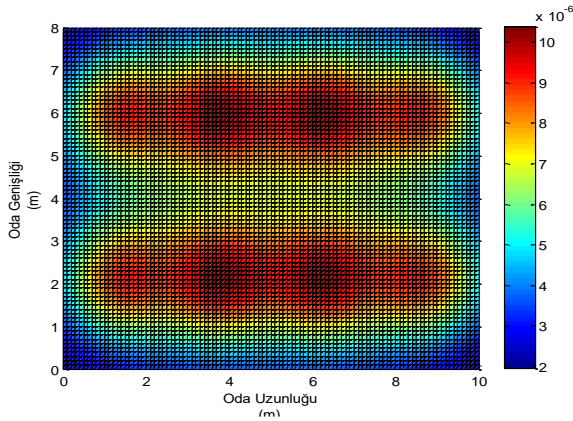
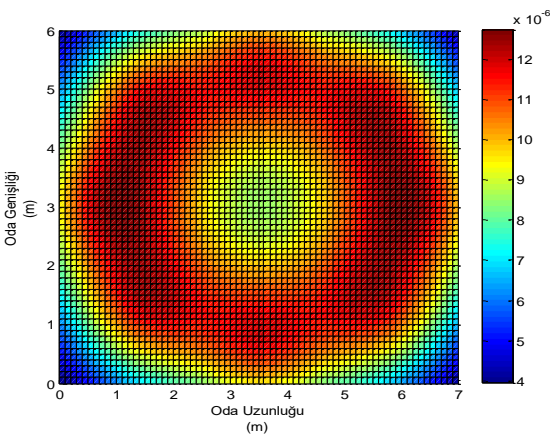
Şekil 8. CIR ve CFR grafikleri, Oda 2, $m = 1$, $FOV = 30^\circ$

Oda 1 ve Oda 2 τ_{ms} değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Bu parametre değerinin çoklu vericili kanallar için yeterli bilgi vermediği görülmektedir. CFR grafikleri ancak kanalın frekans düzleminde nasıl davrandığını tamamen gösterir.

Tablo 2. Oda 1 ve Oda 2 τ_{rms} değerleri

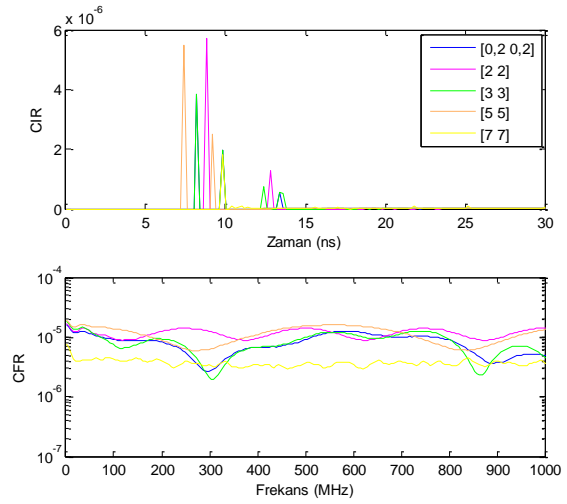
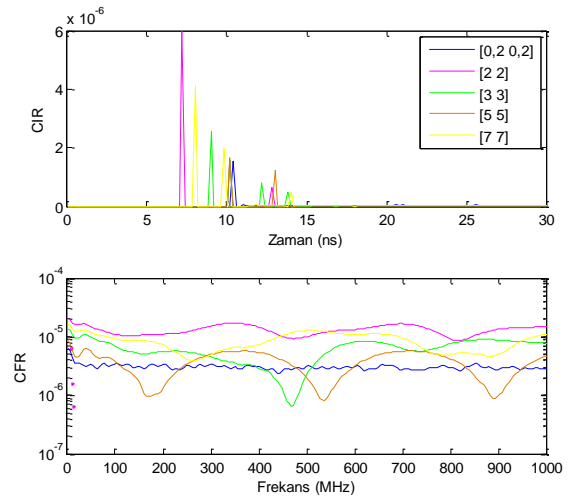
Alıcı konumu		τ_{rms} (ns)				
		(0,2; 0,2)	(2; 2)	(3; 3)	(4;4)	(5; 5)
Oda 1	$m = 1, FOV = 60^\circ$	12,502	10,650	10,850	11,415	11,025
	$m = 1, FOV = 30^\circ$	8,959	3,419	4,204	5,486	7,871
	$m = 10, FOV = 60^\circ$	10,029	4,885	7,843	11,002	9,005
Oda 2	$m = 1, FOV = 60^\circ$	12,057	10,013	10,061	11,195	11,465
	$m = 1, FOV = 30^\circ$	8,603	6,371	12,106	10,699	7,970
	$m = 10, FOV = 60^\circ$	13,027	7,908	6,739	14,449	14,071

Sekiz vericili farklı aydınlatma düzeneklerine sahip 80 m²'lik Oda 3 ve Oda 4'e ait aydınlatma grafikleri sırasıyla Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. Her iki aydınlatma da yeterli olsa da Oda 4'ün aydınlatması biraz daha homojen dağılmış görünmektedir.

**Şekil 9.** Aydınlatma grafiği, Oda 3, $m = 1$ **Şekil 10.** Aydınlatma grafiği, Oda 4, $m = 1$

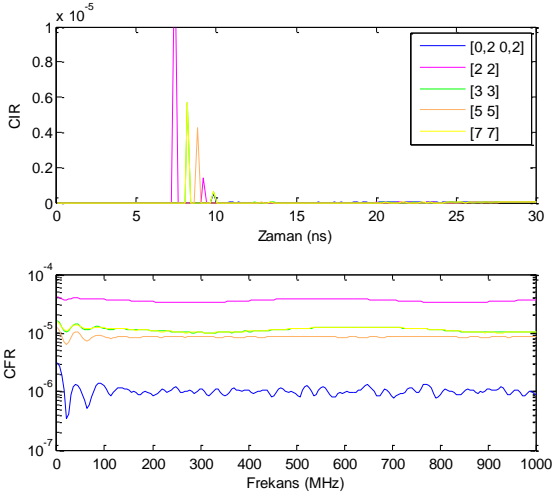
Oda 3 ve Oda 4 için CIR ve CFR grafikleri Şekil 11 ve Şekil 12'de verilmiştir. Bu odalar için alıcı konumları [0,2 0,2] m, [2 2] m, [3 3] m, [5 5] m ve [7 7] m olarak belirlenmiştir. Şekiller incelendiğinde, diğer dört vericili kanallarda olduğu gibi, sekiz vericili iki farklı konfigürasyonda da çoklu kaynağın önemli bir frekans seçiciliğine neden olduğu

görülmektedir. Bu sonuçlar da [8, 9, 12] ile uyumludur. Oda 4 için bu frekans seçicilik özellikle [3 3] ve [5 5] konumlarında daha belirgindir.

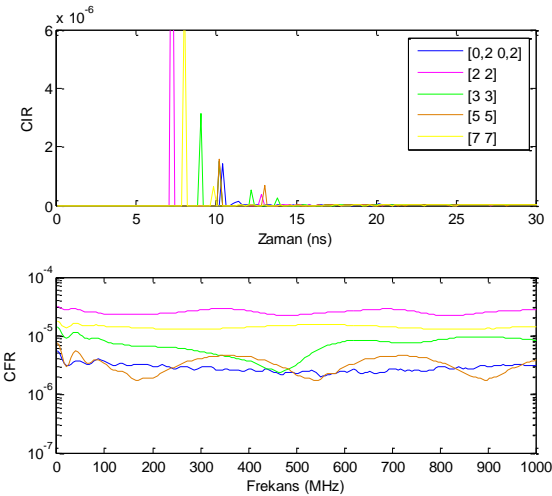
**Şekil 11.** CIR ve CFR grafikleri, Oda 3, $m = 1, FOV = 60^\circ$ **Şekil 12.** CIR ve CFR grafikleri, Oda 4, $m = 1, FOV = 60^\circ$

Yönlü aydınlatma kullanıldığında Oda 3 ve Oda 4 için CIR ve CFR grafikleri Şekil 13 ve Şekil 14'te, dar açılı detektör

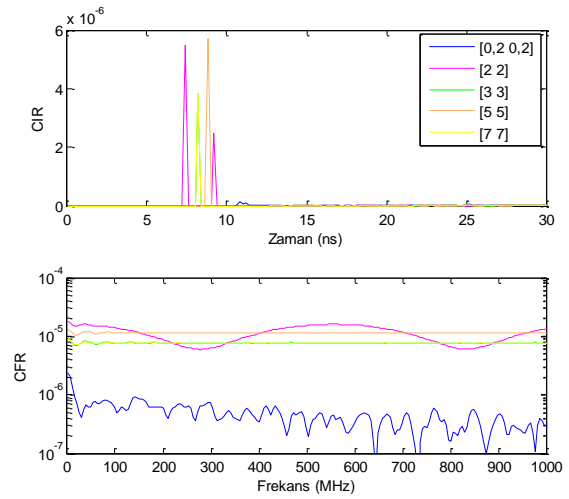
kullanıldığında CIR ve CFR grafikleri Şekil 15 ve Şekil 16'da verilmiştir. Oda 3 ve Oda 4 için τ_{rms} değerleri ise Tablo 3'te verilmiştir. Şekillerde kanalın frekans seçiciliğinin bazı alıcı konumları için azalmış olduğu görülmektedir. Ancak bazı alıcı konumlarında azalmış olsa da frekans seçiciliğinin devam ettiği, bazı konumlarda ise LOS kaybı yaşandığı görülmektedir.



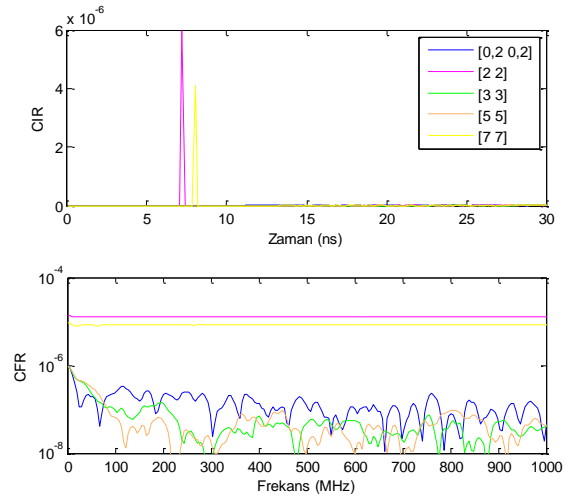
Şekil 13. CIR ve CFR grafikleri, Oda 3, $m = 10$, $FOV = 60^\circ$



Şekil 14. CIR ve CFR grafikleri, Oda 4, $m = 10$, $FOV = 60^\circ$



Şekil 15. CIR ve CFR grafikleri, Oda 3, $m = 1$, $FOV = 40^\circ$



Şekil 16. CIR ve CFR grafikleri, Oda 4, $m = 1$, $FOV = 30^\circ$

Çoklu vericili VLC uygulamalarında frekans seçici kanal yapısı çözüm bekleyen bir sorundur. Dört vericili ve sekiz vericili odalar kıyaslandığında, dörtlü vericili sistemlerde yönlü aydınlatma veya dar görüş açılı detektör çözüm olabilirken, verici sayısı arttıkça detektörün tek bir LOS görmesini sağlamak zorlaşmaktadır. Bu da problemin çözümünde önerilen tekniklerin yetersiz kalabileceği alıcı konumlarıyla sonuçlanmaktadır.

Tablo 3. Oda 3 ve Oda 4 τ_{rms} değerleri

Alıcı konumu		τ_{rms} (ns)				
		(0,2; 0,2)	(2; 2)	(3; 3)	(5; 5)	(7; 7)
Oda 3	$m = 1$, $FOV = 60^\circ$	15,623	13,003	13,092	13,818	13,402
	$m = 1$, $FOV = 30^\circ$	16,467	9,495	14,193	13,179	14,005
	$m = 10$, $FOV = 60^\circ$	11,485	5,700	9,341	10,754	8,669
Oda 4	$m = 1$, $FOV = 60^\circ$	17,877	10,472	15,633	16,396	12,923
	$m = 1$, $FOV = 30^\circ$	16,900	9,204	13,927	13,553	10,224
	$m = 10$, $FOV = 60^\circ$	16,008	7,001	17,086	16,166	16,970

4. SONUÇLAR


VLC teknolojisi, ışık şiddetini veya rengini insan gözünün fark edemeyeceği hızda değiştirerek ortam aydınlatması ve kablosuz bilgi iletimini birlikte yapar. Bu özelliğiyle gelecek vadede haberleşme teknikleri arasında yerini alan VLC sistemlerinin performansını geliştirmek için çalışmalar hızlanmıştır. Bu çalışmada, çok elemanlı aydınlatma düzeneklerinin VLC kanalı üzerine etkisi incelemek amacıyla, farklı boyut ve farklı aydınlatma düzeneğine sahip dört odada farklı alıcı konumları için kanal yapısı Matlab simülasyonları ile incelenmiştir. Aydınlatma açısından bakıldığında tavana yayılmış şekilde yerleşen düzenekler ile daha homojen bir aydınlatma sağlanabilmektedir. Ancak iletişim açısından bakıldığında; çokyollu olan bu kanallar her bir vericiden gelen çoklu LOS hatları nedeniyle frekans seçicidir ve bu frekans seçicilik alıcı konumuyla ilişkili olarak tamamen değişmektedir. Bu durum özellikle mobil kullanıcılar için problem teşkil edeceği için kanal kestiriminin ve denkleştirmenin sürekli yapılmasını gerektirir. Yönlü aydınlatma kullanarak veya alıcının görüş alanını daraltarak bir vericiden tek bir LOS yakalanmasını sağlayarak frekans seçiciliği ciddi oranda hafifletmek mümkündür. Ancak ışık huzmesinin eni ve detektör görüş alanı oda boyutu ve verici yerleşimi ile uyumlu seçilmelidir, aksi halde kanal sadece NLOS bileşenleri içerecektir.


KAYNAKÇA

- [1].Z. Ghassemlooy, W. Popoola and S. Rajbhandari, "Optical Wireless Communications: System and Channel Modelling with MATLAB", 1st Edition, CRC Press, 2017.
- [2].M. Kimyacı, "Bina içi Görünür Işık Haberleşmesinde konfigürasyonun kanal karakteristiği üzerine etkisi", İskenderun Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Hatay, 2019.
- [3].J. Lian, Z. Vatansver, M. Noshad, M. Brandt-Pearce, "Indoor visible light communications, networking, and applications", Journal of Physics: Photonics, vol. 1, no. 1, pp. 1-28, 2019.
- [4].Y. Qiu, H.H. Chen and W.X. Meng, "Channel modeling for visible light communications - a survey", Wireless Communications and Mobile Computing; vol. 16, pp. 2016-2034, 2016.
- [5].F. Miramirkhani, M. Uysal, "Channel Modeling and Characterization for Visible Light Communications", IEEE Photonics Journal, vol. 7, no. 6, pp. 7905616, 2015.
- [6].K. Lee, H. Park, and J.R. Barry, "Indoor channel characteristics for visible light communications", IEEE Communications Letters, vol. 15, no. 2, pp. 217-219, 2011.
- [7].D. Ding, X. Ke, "A new indoor VLC channel model based on reflection", Optoelectronics Letters, vol. 6, no. 4, pp. 295-298, 2010.
- [8].S.M. Çürük, M. Kimyacı, "The Impact of Configuration on Channel Characteristics in Visible Light Communication", IEEE Global Power, Energy and Communication Conference- GPECOM2019, 12-15 Haziran, Nevşehir, 2019.
- [9].J.J. Tana, C.Q. Zoua, S.H. Dua, J.T. Tan, "Simulation of MIMO channel characteristics for indoor visible light communication with LEDs", Optik, vol. 125, pp. 44-49, 2014.
- [10].J. Ding, K. Wang, Z. Xu, "Impact of LED Array Simplification on Indoor Visible Light Communication Channel Modeling", 9th International Symposium on Communication Systems, Networks & Digital Sign (CSNDSP), 2014.
- [11].M. Kowalczyk, J. Siuzdak, "Channel modeling and characterization for VLC indoor transmission systems based on MMC ray tracing method", Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry and High-Energy Physics Experiments, 2018.
- [12].S. Long, M.A. Khalighi, M. Wolf, S. Bourenane, Z. Ghassemlooy, "Investigating channel frequency selectivity in indoor visible-light communication systems", IET Optoelectronics, vol. 10, no.3, pp. 80-88, 2016.
- [13].J.R. Barry, J.M. Kahn, W.J. Krause, E.A. Lee, and D.G. Messerschmitt, "Simulation of multipath impulse response for indoor wireless optical channels", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 11, no.3, pp. 367-379, 1993.
- [14].F.J. Lopez-Hernandez, R. Perez-Jimenez, A. Santamaria, "Modified Monte Carlo scheme for high-efficiency simulation of the impulse response on diffuse IR wireless indoor channels", Electronics Letters, vol. 34, no. 19, pp. 1819-1820, 1998.
- [15].M.I.S. Chowdhury, W. Zhang, M. Kavehrad, "Combined Deterministic and Modified Monte Carlo Method for Calculating Impulse Responses of Indoor Optical Wireless Channels", Journal of Lightwave Technology, vol. 32, no. 18, pp. 3132-3148, 2014.
- [16].S.S. Muhammad, "Delay profiles for indoor diffused visible light communication", 13th International Conference on Telecommunications, pp. 1-5, 2015.

Çelik Kolon Taban Levhalarının Mekanik Davranışlarının İncelenmesi

*¹Şahin Sözen, ²Mustafa Atılğan

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fak., İnşaat Müh. Böl., Taşçıftlık Kampüsü, 60150, Tokat, Türkiye, sahin.sozen@gop.edu.tr, 

²Tarımsal ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Kurumu, Yeşilirmak Mah. Çeçenistan Cad. No:7 Cangözler İş Merkezi, Tokat, Türkiye, mustafaatilgan85@hotmail.com, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 12.08.2020

Kabul Tarihi: 26.11.2020

Öz

Dünyada meydana gelen büyük depremler, mühendisleri ve bilim adamlarını çelik yapıların birleşimleri üzerinde çalışmaya yönlendirmiştir. Bir çelik yapının önemli bileşenlerinden olan birleşimlerinin kapasiteleri, bütün yapının kapasitesini önemli ölçüde etkilediğinden, bilim adamları yeni birleşimler tasarlamaya ve bu birleşimlerin limit durumlarını belirlemeye çalışmaktadırlar. Bu noktada, betonarme temel ile kolon arasında bir arayüz olan kolon-taban levhası birleşimleri çelik yapılarda büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, farklı kalınlıklara sahip taban levhaları, farklı sayıda ankraj çubukları ve farklı kolon tiplerinden oluşturulan birleşimler statik yükler altında analiz edilerek, birleşim elemanlarında oluşan gerilme ve deformasyonlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Analizler, mühendislik disiplinlerinde sıklıkla başvurulan bir sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar yorumlanarak, farklı kolon taban levhası birleşimlerinin birbirine göre avantaj ve dezavantajları ortaya konulmuştur. Araştırma sonuçları, birleşimde kullanılan taban levhası kalınlığının, birleşim ve elemanları üzerinde ortaya çıkan toplam deformasyon ve gerilmeler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, birleşimlerde kullanılan ankraj çubuğu sayısının da deformasyon ve gerilmeleri etkilediği tespit edilmiştir. Birleşimlerin mekanik davranışlarında, birleşimin toplam rijitliğinin baskın bir role sahip olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sonlu elemanlar metodu, kolon taban levhası, çelik birleşimler.

Investigation of Mechanical Behavior of Steel Column Base Plates

*¹Şahin Sözen, ²Mustafa Atılğan

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fak., İnşaat Müh. Böl., sahin.sozen@gop.edu.tr

²Tarımsal ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Ajansı, mustafaatilgan@gmail.com

Abstract

Major earthquakes in the world led engineers and scientists to work on the connections of steel structures. Since the capacities of the connections, which are one of the important components of a steel structure, significantly affect the capacity of the entire structure, scientists are trying to design new connections and determine the limit states of these connections. At this point, column-base plate connections, which are an interface between reinforced concrete foundation and column, are of great importance in steel structures. In this study, the connections designed using base plates with different thicknesses, different numbers of anchor rods and different column types are analyzed under static loads, and comparative results are introduced in terms of stress and deformations occurred on the connection components. Analyzes were performed using ANSYS, a finite element software that is frequently used in engineering disciplines. The results obtained are interpreted and the advantages and disadvantages of the different types of column base plate connections are revealed. The results of the research show that the thickness of the baseplate used in the connection has a significant effect on the total deformation and stresses on the connection and its components. In addition, it has been determined that the number of anchor rods used in the base-plate connections affects the deformation and stresses. It has been observed that the total rigidity of the connections has a dominant role in the mechanical behavior of the joints.

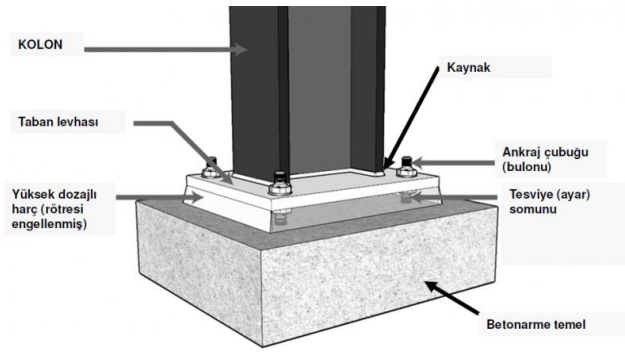
Keywords: Finite element method, column base plate, steel connections

*¹ Sorumlu Yazar: Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fak., İnşaat Müh. Böl., Taşçıftlık Kampüsü, 60150 Tokat, Türkiye, sahin.sozen@gop.edu.tr, +90(533) 473 75 88

Doi: 10.21541/apjes.779577

1. GİRİŞ

Bir çelik yapıda, diğer betonarme yapılarda da benzer olmak üzere, yapı performansını doğrudan etkileyen en kritik yapı bölgelerinin, birleşimler olduğu rahatlıkla söylenebilir. Birleşimlerin yüklemeler altındaki kapasiteleri, aslında yapı toplam kapasitesini de belirleyen önemli ayrıntılardan olduğundan, özellikle deprem yükleri altında çelik yapıların performansı, o yapı içindeki birleşimlerin performansı ile doğrudan ilgili olmaktadır. Bu gerçek, mühendis ve araştırmacıları, çelik yapıların bu önemli bölümlerini daha yakından incelemeye ve araştırmaya yönlendirmiştir. Zayıflatılmış kiriş-kolon birleşimleri [1], kolon-kiriş birleşimleri [2], kolon ekleri [3], kiriş ekleri bu çerçevede değerlendirilebilirler. Kuşkusuz bu birleşimlerin en önemlilerinden birisi de, üst yapıdan gelen yükleri betonarme temele aktaran çelik kolon, taban levhası-temel birleşimidir [4]. Tipik bir kolon-betonarme temel birleşimi Şekil 1'de görülmektedir. Tipik bir birleşim çelik kolon, kolona kaynakla bağlanmış taban levhası, taban levhasını betonarme temele bağlayan ankraj çubukları ve somunlarından oluşmakla birlikte, aktarılacak yükün çeşitliliği ve fiziksel büyüklüğüne bağlı olarak daha farklı birleşim elemanlarının kullanıldığı birleşimler de mevcuttur.



Şekil 1. Tipik kolon temel birleşimi [5].

Ülkemizde, çelik yapılara olan ilgi, yaşadığımız büyük depremlerin de etkisiyle, özellikle son yıllarda giderek artmaktadır. Çelik yapıların kullanımının artması ve yaşanan depremlerden elde edilen tecrübeler beraberinde yeni birleşim detayı sorunları getirmekte ve bu sorunlar için çözümleri zorunlu kılmaktadır.

Kolon ayakları, kolondan gelen yükleri beton veya betonarme temele güvenli bir şekilde aktarmak üzere tasarlanırlar. Bu yükler, yapı türüne bağlı olmak üzere, sadece düşey kuvvet veya düşey kuvvetle birlikte yatay kuvvet ve eğilme momenti olabilir [6, 7]. Düşey ve yatay kuvvetlerin yanında, temele moment aktaran kolon ayaklarına ankastre ayak denir. Kolon ayakları, bunun dışında basit mesnet veya elastik ankastre mesnet olarak da tasarlanabilirler [8]. Kolondan gelen yükleri temel yüzeyine yayan levha, temele ankraj çubukları aracılığı ile bağlanır. Ankastre kolon ayaklarında büyük momentler bahis konusu olduğunda, ankraj çubuklarına büyük çekme kuvvetleri gelebilir. Rosca ve ark. [9] büyük dışmerkezlik etkisindeki

kolon ayaklarının beton temel ile birlikte analizi için modeller oluşturmuş ve deneylerle doğrulamasını yapmıştır. Ankraj çubuklarının ve taban levhalarının, temele bu kuvvetleri aktaracak şekilde tasarlanıp imal edilmiş olmaları gerekir. Kolon ayaklarına üst yapıdan gelen yüklerin temele aktarılmasında oluşabilecek sorunlar, doğal olarak yapının taşıyıcı sistemini de olumsuz etkileyecektir [10].

Kolon ve beton/betonarme temel arasında bir arayüz işlevi icra eden taban levhaları, çoklukla standart özelliklere sahiptir. Bu levhalar genellikle piyasa koşullarında en kolay temin edilebilecek kalitede yapı çeliğinden imâl edilmektedirler. Kolon-temel birleşimlerinde kullanılan çelik levhalar, günümüz ileri teknolojik imkânları kullanılarak genellikle sıcak kesme ile boyutlandırılırlar [11]. Bu amaçla lazer ve plazma kesim tezgâhları yaygın olarak kullanılmaktadır. Taban levhaları ile birleşimde kullanılacak diğer unsurların malzeme seçimi ve diğer tasarım detayları, çelik yapıların yük altındaki performansının yanında kurulum maliyetini de önemli ölçüde etkileyebilmektedir [11]. Çelik kolon-temel birleşimi, yapılarda açıkta imal edilebileceği gibi, estetik vb gerekçelerle betonarme temele gömülü olarak da imal edilebilirler. Pertold ve ark. [12] iki farklı tip gömülü kolon ayağı için deneysel ve nümerik çalışmalar ile birleşimlerin mekanik davranışını araştırmıştır. Aynı çalışmanın devamı olmak üzere, gömülü kolon ayağı için tasarım modeli önerisi sunulmuştur [13]. Adany ve ark. [14] kolon taban levhası birleşimini tekrarlı yükler altında test ederek birleşimler üzerindeki bulon öngerme etkisini, birleşimlerin deformasyon kapasiteleri aracılığı ile araştırmıştır. Amaral çalışmasında, bileşik eğilme ve aksel kuvvet etkisi altındaki bir kolon taban levhası birleşiminin, moment kapasitesini elde etmeyi sağlayacak bir prosedürü geliştirilmeye çalışarak, birleşim kapasitesinin önceden belirlenebilmesini amaçlamıştır [15]. Astanceh-Asl ve Bergsma, çelik kolon taban levhalarının tersinir yükler etkisindeki davranışını anlamak için sismik tasarım önerileri geliştirmek üzere, altı çelik kolon-taban levhası birleşim örneğini test ederek davranışlarını analiz etmişlerdir. [16]. Borzouie ve ark. çalışmalarında, tamamen sonradan gerilmiş ankraj çubukları ve bunlar olmadan temele bağlanan taban levhası birleşimlerinin tersinir yüklemeye altındaki mekanik davranışı üzerine deneysel çalışmalar yaparak, mevcut tasarım prosedürleri ile tasarlanan bu birleşimleri düşük hasar açısından değerlendirmişlerdir [17].

Bu çalışmada, belirli boyut ve detaylara sahip olan çelik kolon-taban levhası temel birleşimlerinin sonlu elemanlar yöntemi ile analizleri ANSYS® [18] yazılımı kullanılarak gerçekleştirilerek, birleşimlerin mekanik davranışı araştırılmıştır. Sayısal modelde çelik kolon, taban levhası ve diğer rijitlik levhaları, ankraj çubuk ve bulonları ile beton temel yer almıştır. Birleşimlere ait ayrıntılar ikinci bölümde verilmiştir.

Birleşimlerin her biri 4 ayrı yüklemeye maruz bırakılarak toplamda, 64 farklı statik analiz gerçekleştirilmiştir. İlk üç yüklemeye, taban levhasına kaynakla bağlanmış kolonun üst

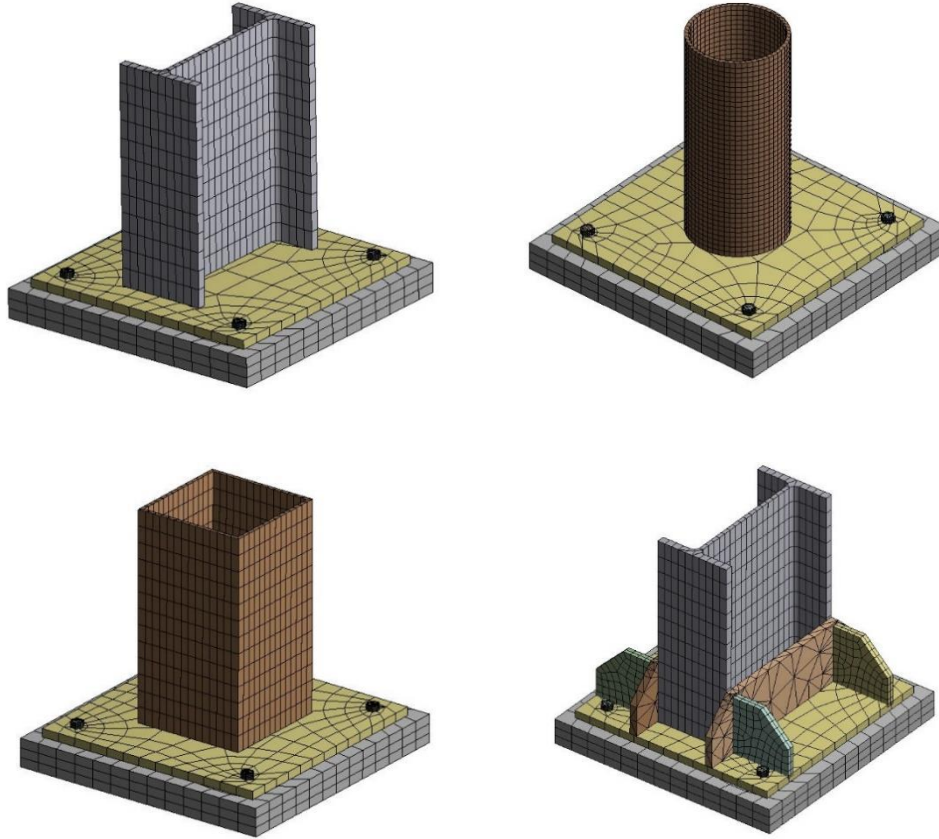
ucuna 50, 100 ve 150 kN olarak değişen sabit yatay yükler uygulanmıştır. Yükler asimetrik enkesit özelliklerine sahip profillerde kuvvetli eksene dik doğrultuda uygulanmıştır. Dördüncü yükleme, analizleri SAP2000 [19] yapısal analiz yazılımı ile Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde [20] yer alan yükleme protokollerine göre yapılmış olan 15 katlı çelik konut binasının temel mesnet reaksiyon kuvvetlerinden oluşmaktadır. Bütün yüklemeler için gerçekleştirilen analizlerde hem geometrik hem de malzeme için doğrusal olmayan analiz parametreleri dikkate alınmıştır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Birleşimler

Sayısal modelde kullanılmak üzere, temel-kolon birleşimini

oluşturan elemanlardan piyasada sıklıkla kullanılan farklı tipte kolon profilleri, farklı kalınlıkta taban levhası ve 30 mm çaplı olmak üzere farklı sayıda ankraj çubukları (4 ve 6 adet) kullanılarak 16 farklı birleşim tasarlanmıştır. Birleşim unsurlarından kolon olarak, HE600B, KUTU 400×400×12,5, BORU 339,7×13 profilleri seçilmiştir. Taban levhasında en ve boy 840×840 mm olarak sabit tutulmuş olup kalınlık, 20 ve 30 mm olarak seçilmiştir. Her birleşim, 30 mm çapa sahip 4 ve 6 adet ankrajlı olarak ayrı ayrı tasarlanmıştır. Birleşimlerin sonlu elemanlar modelleri Şekil 2'de görülmektedir. HEB profili kullanılarak oluşturulan birleşim basit ve ankastre olarak tasarlanmış, bu amaçla rijitlik levhaları kullanılmıştır. Tasarlanan birleşimlere ait detaylar Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 2. Birleşimlerin sonlu elemanlar modeli.

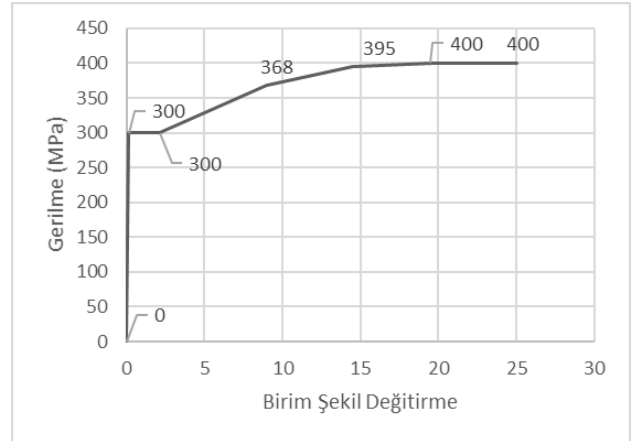
Tablo 1. Kolon temel birleşimleri detay bilgileri.

Birleşim Kodu	Kolon Profili	Taban Levhası Kalınlığı (mm)	Ankraj Adedi	Rijitlik Levhası	Sayısal Modelde	
					Nokta Sayısı	Sonlu Eleman Sayısı
HE20A4	HE600B	20	4	Yok	14915	2320
HE30A4	HE600B	30	4	Yok	14915	2320
HE20A4R	HE600B	20	4	Var	18847	3371
HE30A4R	HE600B	30	4	Var	19464	3559
HE20A6R	HE600B	20	6	Var	22430	3929
HE30A6R	HE600B	30	6	Var	23047	4117
HE20A6	HE600B	20	6	Yok	18904	2966
HE30A6	HE600B	30	6	Yok	18904	2966
K20A4	400×400×12,5	20	4	Yok	16642	2544
K30A4	400×400×12,5	30	4	Yok	16642	2544
K20A6	400×400×12,5	20	6	Yok	20412	3141
K30A6	400×400×12,5	30	6	Yok	20412	3141
B20A4	339,7×13	20	4	Yok	26738	4056
B30A4	339,7×13	30	4	Yok	26738	4056
B20A6	339,7×13	20	6	Yok	30405	4636
B30A6	339,7×13	30	6	Yok	30405	4636

2.2. Sayısal Analiz

Yapısal modelleme ve analiz için ilk olarak, birleşimlerde kullanılacak malzemeler ve bu malzemelerin mekanik özellikleri sonlu elemanlar programında tanımlanmıştır. Birleşimlerde temel betonunu temsil eden malzeme, ANSYS program kütüphanesinde yer alan malzemelerden C30 betonu olarak tanımlanmıştır. Beton temel, analizleri kolaylaştırması bakımından gerçek yüksekliği ile değil, 100 mm yükseklikli olarak tanımlanmış, ankraj çubukları bu temel içinde temas noktalarında temele bağlı olarak modellenmiştir. Temel betonu ile çelik taban levhası sürtünmeli yüzey olarak tasarlanmıştır.

Birleşimlerde kullanılan çelik malzemenin gerçek davranışına olabildiğince yakın temsil edilebilmesi için, sonlu elemanlar modelinde elastik olmayan, izotropik multi-lineer malzeme modeli kullanılmıştır. Malzeme parametreleri yazarın daha önceki çalışmasından alınmıştır [21]. Birleşimlerde kullanılan çelik malzeme modeline ait gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 3'te verilmiştir. Bu modelde, akma gerilmesi $\sigma_y=300 MPa$, kopma gerilmesi $\sigma_u=400 MPa$, elastisite modülü $215 GPa$ ve poisson oranı $0,35$ olarak alınmıştır. Malzeme modelinde bu gerilme değerleri için sırasıyla, akma gerilmesine karşılık %0.14 elastik birim şekil değiştirme ve kopma gerilmesine karşılık %25 kopma birim şekil değiştirme malzeme modeline yansıtılmıştır.

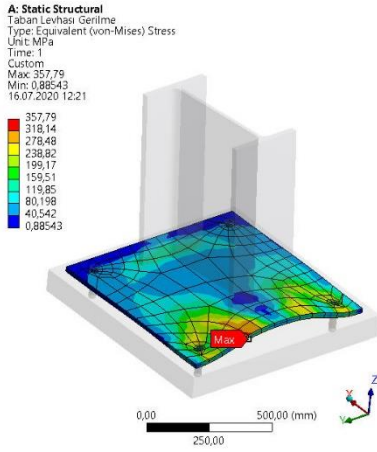


Şekil 3. Çelik malzeme modeline ait gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.

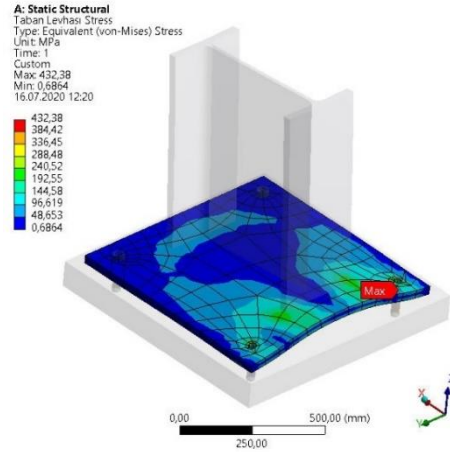
Sayısal modelde program kütüphanesinde yer alan 20 serbestlik derecesine sahip SOLID 186 sonlu elemanı kullanılmıştır. Sonlu elemana ait detaylar Şekil 4'de görülmektedir. 16 farklı birleşimin her biri 4 ayrı yüklemeye maruz bırakılarak toplamda 64 farklı statik analiz gerçekleştirilmiştir. İlk üç yüklemeye, taban levhasına kaynakla bağlanmış kolonun üst ucuna 50 kN, 100 kN ve 150 kN olarak değişen yatay yükler uygulanmıştır. Analizlerde malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan davranış benimsendiğinden, yatay yükün doğrusal artışının sonuçlara aynı şekilde yansımayaacağı düşünüülerek, bu üç

Taban levhası üzerinde oluşan gerilmeler değerlendirildiğinde, levha kalınlığının artırılmasıyla, levha üzerinde oluşan gerilmenin genellikle azaldığı görülmüştür. Buna mukabil, levha kalınlığı artmasına rağmen taban levhasındaki gerilmenin arttığı birleşimler de olmuştur. Örneğin, HE20A4 birleşiminde en büyük gerilme 357.79 MPa olarak hesaplanmışken, 30 mm kalınlıklı levha ile tasarlanan HE30A4 birleşiminde en büyük gerilme, 432.38 MPa olarak hesaplanmıştır. Daha rijit olmasına rağmen gerilmenin arttığı izlenen birleşimlerde, en büyük gerilmenin taban levhası üzerinde değil, ankraj bulonu deliği çevresinde ortaya çıktığı, levha genelinde ise gerilmelerin azalma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 6 (a) ve (b)'de, HE20A4 ve HE30A4 birleşimlerinin taban levhası üzerinde oluşan von-Mises gerilmeleri, 150 kN'luk yatay yüklemeye için verilmiştir. Levhalar üzerindeki gerilme dağılımları dikkatle incelendiğinde, 30 mm kalınlıklı taban levhası genelinde gerilmelerin daha küçük hesaplanmasına karşın,

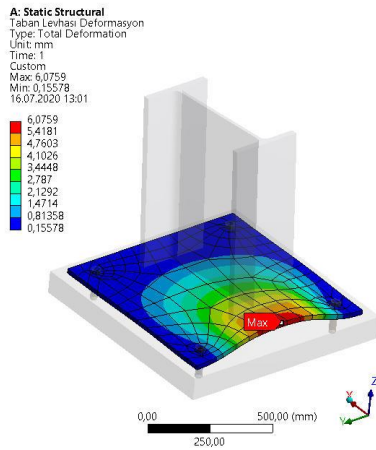
delik çevresinde oluşan gerilmelerin daha büyük hesaplandığı görülmektedir. Bu durumun, birleşim rijitliği ile ilgili olduğu düşünülmektedir. HE20A4 birleşiminin orta üst yüzeyinde hesaplanan gerilme 98.465 MPa iken, HE30A4 birleşiminde taban levhasının aynı bölgesi için hesaplanan gerilme 61.105 MPa'dır. Ankraj bulonu delikleri çevresinde hesaplanan gerilmeler değerlendirildiğinde, bu bölgelerde plastik deformasyonların olduğu rahatlıkla söylenebilir. Aynı birleşimlerin taban levhaları üzerinde oluşan deformasyonlar bu gerçeği doğrulamaktadır. Şekil 6 (c) ve (d)'de aynı birleşimlerin taban levhasında hesaplanan toplam deformasyonlar verilmiştir. 20 mm kalınlıklı taban levhasında oluşan en büyük toplam yer değiştirme 6.0759 mm olarak hesaplanmışken, aynı yüklemeye için 30 mm kalınlıklı levhada en büyük toplam yer değiştirme 2.4376 mm olarak hesaplanmıştır. Bütün birleşimler içinde en büyük gerilme, boru profilindeki birleşimdeki levhada ankraj bulonu deliği çevresinde 491.36 MPa olarak hesaplanmıştır.



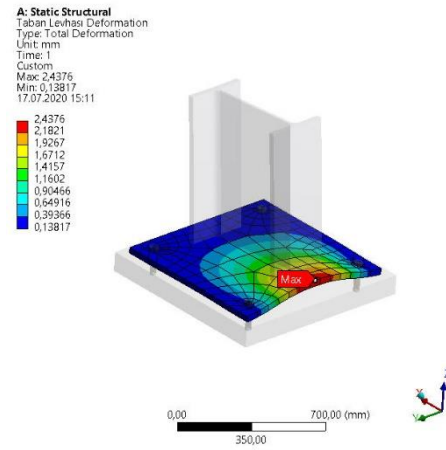
(a) HE20A4 gerilme dağılımı



(b) HE30A4 gerilme dağılımı



(c) HE20A4 deformasyon dağılımı



(d) HE30A4 deformasyon dağılımı

Şekil 6. HE20A4 ve HE30A4 birleşimlerinde von-Mises gerilmeleri ve deformasyonlar.

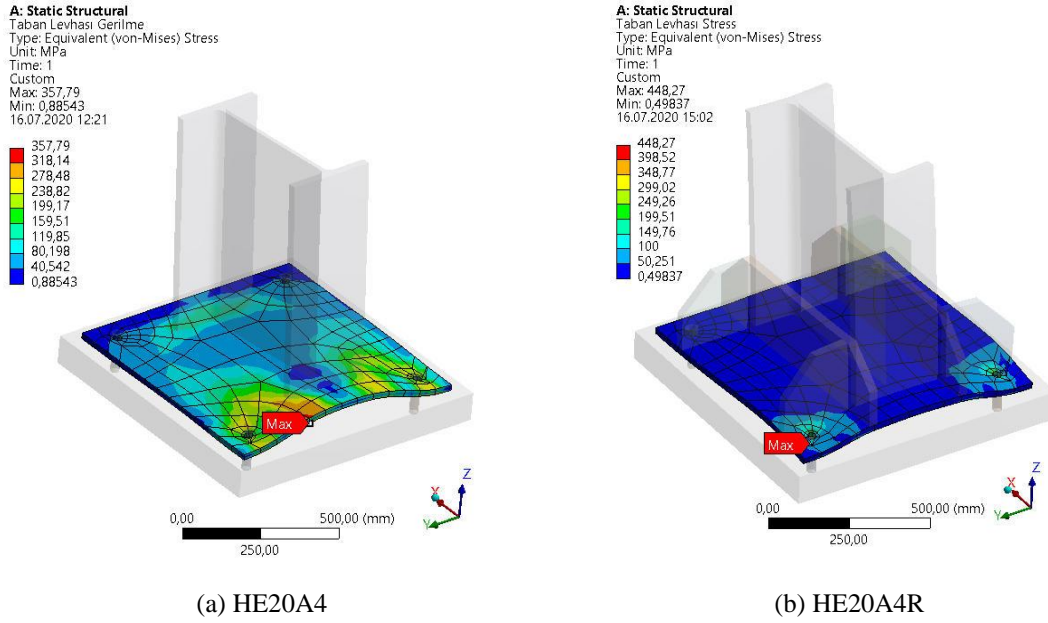
Sonuçlar bütün olarak değerlendirildiğinde; çelik kolon-temel birleşimlerinde rijitlik levhası kullanımının ve ankraj sayısını artırmanın, levha üzerinde oluşan gerilmeleri azalttığı görülmüştür. Kolon yüklerini, temel yüzeyine

aktarmakla görevli çelik elemanın taban levhası olduğu düşünüldüğünde, bu levhaya ait boyutların bu yükleri aktarabilecek şekilde seçilmiş olmaları tasarımın gereklerinden olmakla birlikte bu çalışmada amaç,

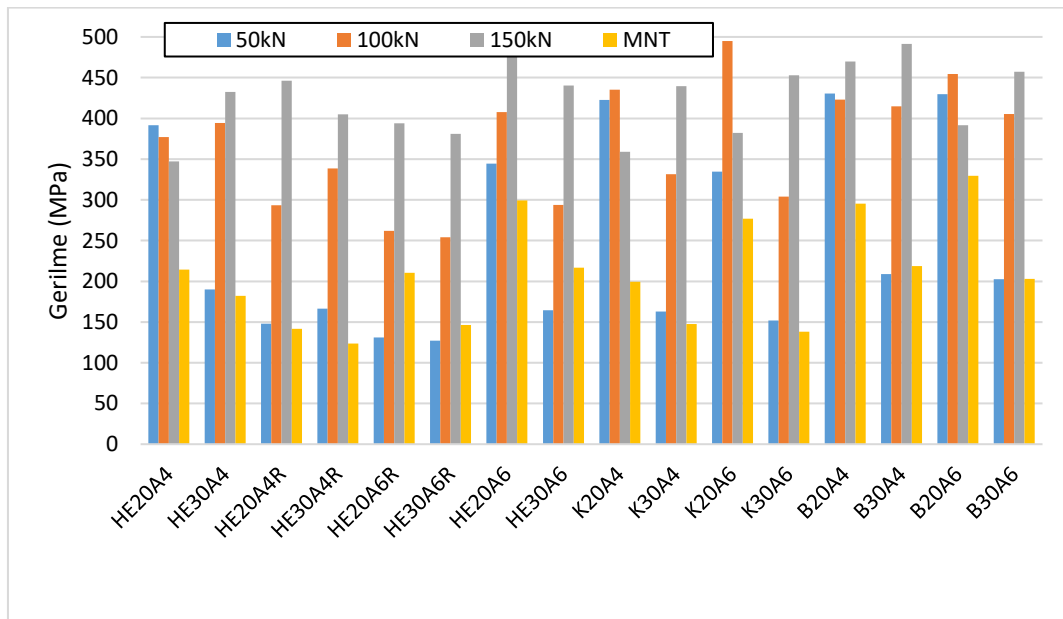
birleşimlerin mekanik davranışları karşılaştırmak olduğundan söz konusu boyutlar ve yükler rastgele seçilmiştir.

Yüksek rijitliğe sahip birleşimlerde, levha üzerinde oluşan deformasyon ve gerilmelerin azalma eğilimi gösterdiğini, hesaplanan en büyük gerilmelerin çoğunlukla ankraj delikleri civarında ortaya çıktığını, bu artış veya azalışların levha genel karakteristiğini yansıtmadığını da ifade etmek gerekmektedir. Rijitlik levhali ve basit birleşimlerden iki

örnek Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde, rijitlik levhasına sahip birleşim taban levhasının üzerindeki gerilmelerin küçük olmasına karşın, bu levha üzerinde hesaplanan en büyük gerilme değerinin, diğer birleşim levhası üzerindeki gerilmelerden de büyük olmak üzere yine ankraj bulunu deliği çevresinde 448.27 MPa olarak hesaplandığı görülmektedir. Birleşimin ana unsurlarından taban levhası üzerinde oluşan en büyük Von-Mises gerilmeleri toplu olarak bütün birleşimler ve bütün yüklemeler için Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 7. Taban levhası üzerinde oluşan von-Mises gerilmeleri.



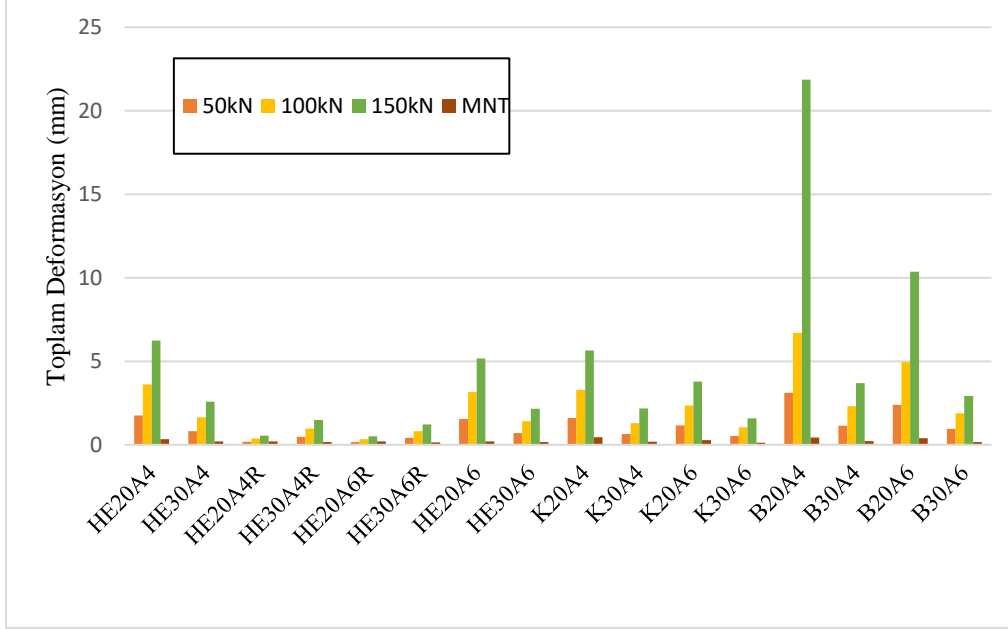
Şekil 8. Taban levhasında oluşan en büyük von-Mises gerilmeleri.

Benzer şekilde, bütün birleşimler ve bütün yüklemeler için taban levhası üzerinde oluşan en büyük toplam

deformasyonlar Şekil 9'da verilmiştir. Şekilden de rahatlıkla görülebileceği üzere, en büyük levha deformasyonu kolonu

boru profil olarak tasarlanan birleşimde ve 21.87 mm olarak ortaya çıkmıştır. Ankraj çubuğu sayısının 6 adet olarak tasarlandığı birleşimde deformasyonun azalarak 10.354 mm ye gerilediği tespit edilmiştir. Benzer şekilde, levha kalınlığının artmasıyla, levhada oluşan deformasyonun

azaldığı tespit edilmiştir. Örneğin, 20 mm kalınlıklı taban levhasına sahip HE20A4 birleşiminde en büyük levha deformasyonu 6.0759 mm iken, levha kalınlığının 30 mm olarak tasarlandığı birleşimde bu değer 2.4376 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 9. Taban levhasında deformasyonlar.

Sonuç olarak; rijitlik levhası kullanımının ve ankraj sayısını artırmanın, levha üzerindeki deformasyon ve gerilmeleri azalttığı görülmüştür. Levha kalınlığı artırıldığında birleşimin rijitliğinin arttığı ve levha üzerinde oluşan gerilmenin azaldığı görülmüştür. Levha üzerinde oluşan gerilme dağılımları incelendiğinde, yatay yüklemeler için özellikle rijit birleşimlerde, gerilmelerin ankraj deliklerinin çevresinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Çalışmada yer alan tüm birleşim tipleri karşılaştırıldığında yatay yükler altında boru ve kutu kolon profilli birleşimlerde kolon üst ucu yer değiştirme değerlerinin HE600B profilli birleşimlere göre daha büyük olduğu görülmüştür. Birleşimlerde kullanılan bağlantı elemanlarından taban levhası kalınlığının ve ankraj sayısının artırılmasının ve rijitlik levhası kullanılmasının birleşimin rijitliğini arttırdığı, böylelikle de deformasyonu azalttığı gözlenmiştir. Mesnet reaksiyonları (MNT) analizleri için tüm birleşim tipleri incelendiğinde; taban levhası kalınlığını, ankraj sayısını artırmanın ve rijitlik levhası kullanmanın taban levhası deformasyonu ve gerilmesini azaltmanın yanında, kolon üst ucu yer değiştirmesini de azalttığı görülmüştür.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, boyutları ve detayları belirlenmiş olan açıkta çelik kolon-taban levhası birleşimlerinin ANSYS® programı kullanılarak sonlu eleman yöntemi ile analizi gerçekleştirilerek, temel-kolon birleşim elemanlarının yük aktarmadaki etkisi ve mekanik davranışı incelenmiştir. Birleşimlerde farklı tipte kolon, farklı kalınlıkta taban levhası, farklı sayıda ankraj ve bazı birleşimlerde de rijitlik

levhaları kullanılmıştır. Birleşimlerin her biri 4 ayrı yüklemeye maruz bırakılarak toplamda 64 farklı statik analiz gerçekleştirilmiştir. Birleşimlere, 3 farklı yatay yük ile analizleri Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde yer alan yüklemeye protokollerine göre yapılmış olan 15 katlı konut binasının temel mesnet reaksiyon kuvvetleri uygulanmıştır. Bu yüklemeler altında gerçekleştirilen sayısal analizlerden elde edilen, birleşimlerin taban levhaları üzerindeki gerilme, deformasyon ve kolon üst ucu yer değiştirme sonuçlarının karşılaştırmalı değerlendirilmeleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda; temel-kolon birleşimlerinde kullanılan taban levhası, ankrajlar ve rijitlik levhası bağlantı elemanlarının çelik taşıyıcı sistemler için yük aktarmada birinci dereceden etkili parametreler olduğu ve bu elemanlardaki yapısal değişikliklerin, birleşimlerin toplam mekanik davranışını önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Taban levhası kalınlığının, birleşimde kullanılan ankraj çubuğu sayısının ve birleşim tipinin birleşim davranışını etkileyen faktörlerin önde gelenleri olduğu gözlenmiştir.

Literatürde var olan benzer bir çalışmada [4], kolonlar üzerindeki aksenal yük sabit tutularak yatay yükler artırılmış ve birleşimler bu yükler altında analiz edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara benzer olarak, yatay yükün artmasıyla yer değiştirme ve gerilmelerde artış olduğu ilgili çalışmada da gözlenmiştir. Söz konusu çalışmada bu makaledeki benzer olarak bulon delikleri etrafında gerilme yığılmalarının olduğu tespit edilmiştir [4].

Conflict of Interest: Bu çalışma, 2019 yılında kabul edilen Mustafa ATILGAN tarafından "Çelik Yapılarda Kullanılan Kolon Taban Levhalarının ve Ankrajlarının Analitik Olarak İncelenmesi" başlıklı YL tezinden üretilmiştir.


Financial Disclosure: Yazarlar bu çalışmanın finansal destek almadıklarını beyan etmişlerdir.


KAYNAKÇA

- [1].J. Jin and S. El-Tawil, "Seismic performance of steel frames with reduced beam section connections," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 61, no. 4, pp. 453-471, 2005.
- [2].J. Ocel *et al.*, "Steel beam-column connections using shape memory alloys," *Journal of Structural Engineering*, vol. 130, no. 5, pp. 732-740, 2004.
- [3].J. Shen, T. A. Sabol, B. Akbas, N. Sutchiewcharn, and W. Cai, "Seismic demand on column splices in steel moment frames," *Engineering Journal-Chicago*, vol. 47, no. 4, p. 223, 2010.
- [4].P. Hussein, "Çelik yapılarda kullanılan kolon taban levhalarının analitik olarak incelenmesi," Yüksek Lisans, Selçuk Üniversitesi, 2015.
- [5].URL-1. (10.07.2020). [Online]. Available: <https://insapedia.com/celik-yapilarda-kolon-ayaklari-temel-kolon-birlesimleri/>.
- [6]. Deren, E. Uzgider, F. Piroğlu, and Ö. Çağlayan, *Çelik Yapılar*. İstanbul: Çağlayan Kitabevi, 2012.
- [7].Y. Odabaşı, *Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları*. İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım AŞ., 1997.
- [8].A. Kanvinde, D. Grilli, and F. Zareian, "Rotational stiffness of exposed column base connections: Experiments and analytical models," *Journal of structural engineering*, vol. 138, no. 5, pp. 549-560, 2012.
- [9].V.-E. Rosca, E.-C. Teleman, E. Axinte, and G. Baetu, "Design of steel column base connections for large eccentricities," *Buletinul Institutului Politehnic din Iasi. Sectia Constructii, Arhitectura*, vol. 59, no. 6, p. 137, 2013.
- [10].O. Civelek, "Süneklik Düzeyi Yüksek Çok Katlı Bir Çelik Yapının Tasarımı," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul., 2010.
- [11].J. Fisher and L. Kloiber, "Base plate and anchor rod design, Steel Design Guide Series 1, American Institute of Steel Construction," *Inc., Chicago*, 2006.
- [12].J. Pertold, R. Xiao, and F. Wald, "Embedded steel column bases: I. Experiments and numerical simulation," *Journal of constructional steel research*, vol. 56, no. 3, pp. 253-270, 2000.
- [13].J. Pertold, R. Xiao, and F. Wald, "Embedded steel column bases: II. Design model proposal," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 56, no. 3, pp. 271-286, 2000.
- [14].S. Adany, L. Calado, and K. Dunai, "Experimental studies on cyclic behavior modes of base-plate connections," in *Proceedings of the Third International Conference on the Behavior of Steel Structures in Seismic Areas (STESSA 2000)*, Montreal, Canada, 2000, pp. 97-104.
- [15].P. M. Amaral, "Steel column bases under biaxial loading conditions," 2014.
- [16].A. Astaneh-Asl and G. Bergsma, "Cyclic behavior and seismic design of steel base plates," in *Structural Engineering in Natural Hazards Mitigation*, 1993: ASCE, pp. 409-414.
- [17].J. Borzouie, G. MacRae, J. Chase, and C. Clifton, "Experimental studies on cyclic behaviour of steel base plate connections considering anchor bolts post tensioning," 2014.
- [18].ANSYS. (2018). *Engineering Simulation & 3D Design Software*. [Online]. Available: <https://www.ansys.com/>.
- [19].I. Computers and Structures. (2018). *Structural and Earthquake Engineering Programme*. [Online]. Available: <https://www.csiamerica.com/>, Accessed on: 01.01.2018.
- [20].*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, 2007.
- [21].S. Sozen and M. Guler, "Determination of displacement distributions in bolted steel tension elements using digital image techniques," *Optics and lasers in engineering*, vol. 49, no. 12, pp. 1428-1435, 2011.
- [22].Z. Ü. Aslan, "Mevcut Çok Katlı Betonarme Bir Yapının Çok Katlı Çelik Yapı Olarak Tasarlanması ve Maliyetlerinin Karşılaştırılması: Tokat Ahi Evleri Örneği," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat., 2015.

EPS İle İkame Edilmiş Uçucu Küllü Geopolimer Hafif Harcın Fiziksel, Mekanik ve Isıl Geçirimsizlik Özelliklerinin İncelenmesi

*¹Serhan İlkentapar, ²Halil Eren

*¹Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, serhan@erciyes.edu.tr, 

²Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, halileren7@gmail.com, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 02.04.2020

Kabul Tarihi: 12.09.2020

Öz

Bu çalışmada genişletilmiş polistiren (EPS) kullanılarak uçucu kül tabanlı geopolimer hafif harçlar imal edilmiştir. EPS hacimce %20, %40, %60, %80, %100 oranlarında ırmak kumu ile yer değiştirerek, EPS agregalı geopolimer harçların üretimi gerçekleştirilmiştir. EPS'li geopolimer harçlar, F sınıfı uçucu külün sabit oranda NaOH ile aktive edilmesiyle, 75 °C'de 24 ve 48 saat sıcaklık kürüne tabii tutulmuştur. Sıcaklık kürü sonrası geopolimer hafif harç numunelerin fiziksel özellikleri, mekanik özellikleri ve ısı geçirimsizlik özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca 300 °C, 600 °C, 900 °C'de yüksek sıcaklık sonrası geopolimer harçların eğilme, basınç dayanımları ve geopolimer hamurların mikro yapısı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 24 saat sıcaklık kürüne tabii tutulan hafif geopolimer harçların birim ağırlıkları 1,93 ile 0,61 g/cm³ arasında, 48 saat sıcaklık kürüne tabii tutulan hafif geopolimer harçların birim ağırlıkları 1,87 ile 0,66 g/cm³ arasında olduğu görülmüştür. Yüksek sıcaklık sonrası %20 ve %40 EPS ikameli (EUK 20, EUK40) geopolimer harçların basınç dayanımındaki kayıp oranları, referans geopolimer numuneye göre daha az olduğu belirlenmiştir. FESEM görüntülerinde yüksek sıcaklık sonrası dayanım kaybına yol açan gözenekli yapı ve mevcut dayanımı devam ettiren NASH jeli yapısı görüntülenmiştir. Birim ağırlık ile basınç dayanımı (R²=0,9008), ısı geçirgenlik katsayısı (R²=0,9787), ultrasonik geçiş hızı (R²=0,9082), ve yarmada çekme dayanımı (R²=0,9191) arasında yüksek oranda doğrusal ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Geopolimer hafif harç, mekanik özellik, ısı geçirimsizlik, sıcaklık kürü

Investigation of Physical, Mechanical and Thermal Conductivity Properties of Fly Ash Geopolymer Lightweight Mortar Substituted with EPS

*¹Serhan İlkentapar, ²Halil Eren

*¹Erciyes University Engineering Faculty Civil Engineering serhan@erciyes.edu.tr,

²Erciyes University Engineering Faculty Civil Engineering, halileren7@gmail.com,

Abstract

In this study, fly ash-based geopolymer light mortars were produced using expanded polystyrene (EPS). EPS aggregated geopolymer mortars were produced by replacing the river sand with 20%, 40%, 60%, 80%, 100% by volume. Geopolymer mortars with EPS were subjected to a temperature heat curing at 75 °C for 24 and 48 hours by activating the F class fly ash with NaOH at a fixed rate. Physical properties, mechanical properties, and thermal conductivity properties of geopolymer lightweight mortar samples after heat curing were investigated. In addition, the flexural, compressive strength of geopolymer mortars after high temperatures at 300 °C, 600 °C, 900 °C, and the microstructure of geopolymer pastes were investigated. According to the results, the unit weights of light geopolymer mortars subjected to 24 hours of heat curing are between 1.93 and 0.61 g/cm³, and the unit weights of light geopolymer mortars subjected to 48 hours of heat curing are between 1.87 and 0.66 g/cm³ has been seen. The compressive strength loss of geopolymer mortars with 20% and 40% EPS replacement (EUK 20, EUK40) after the high temperature was determined to be less than the reference geopolymer sample. The porous structure that causes loss of strength after high temperature and NASH gel structure that maintains the existing strength are displayed in FESEM images. Highly linear between unit weight and compressive strength (R² = 0.9191), heat transmission coefficient (R² = 0.9787), ultrasonic transmission velocity (R² = 0.9082), and split tensile strength (R² = 0.9191) It has been concluded that there is a relationship.

Keywords: Geopolymer lightweight mortar, mechanical properties, thermal conductivity, heat curing

*¹Sorumlu Yazar: Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, serhan@erciyes.edu.tr

Doi: 10.21541/apjes.713547

1. GİRİŞ

Atmosfere salınan CO₂'nin yaklaşık % 10'u çimento üretimi esnasında açığa çıkmaktadır. Çimento üretiminden kaynaklanan ve atmosfere salınan CO₂'nin yaklaşık % 7'si klinkerdeki CaCO₃'ün 900 °C'de ayrışmasıyla meydana gelmektedir[1,2]. Çimento üretimindeki bu zararlı etki araştırmacıları çimentosuz bir bağlayıcı olan geopolimer bağlayıcılar konusunda araştırmaya yönlendirmiştir[3-6]. Geopolimer terimi ilk olarak 1970'li yıllarda Joseph Dovidovits tarafından katı alüminasilikat ile alkali solüsyonun birlikte reaksiyonu ile sentezlenen bir malzeme olarak tanımlanmıştır[7]. Geopolimer sentezinde kullanılan en yaygın bağlayıcılar düşük kireçli F sınıfı uçucu kül ve metakaolin olup, aktivatörler ise alkali metal hidroksit ve alkali silikat türevleri olduğu literatürde belirtilmiştir[8]. Uçucu kül tabanlı geopolimerlerde zeolit ikamesi, metakaolin kalsinasyonunun geopolimer yapısına etkisi [9,10], perlit esaslı geopolimerlerin mekanik dayanımları [11,12] ve geopolimer köpük betonun mekanik ve mikro yapısı[13] ile ilgili son yıllarda yapılan çalışmalar geopolimer konusuna olan yüksek ilgiyi ve geopolimer konusundaki çeşitliliği göstermektedir. Araştırmacıların daha önce yapmış olduğu çalışmalarda geopolimerlere uyguladıkları kür sıcaklıkları 40 °C ile 115 °C arasında değişmiş olup, geopolimerlerin basınç dayanımlarında yüksek sonuçlar elde ettiği görülmüştür[14-16]. Atış vd. nin yapmış olduğu çalışmada standart rilem kumu, NaOH ve F sınıfı uçucu kül ile geopolimer harç üretmişlerdir. Bu geopolimer harçlar bağlayıcı miktarının %10 oranında Na içeren alkali solüsyonu ile hazırlanmış ve 24, 48, 72 saat 75 °C'de sıcaklık kürüne tabi tutulmuştur. Elde edilen numunelerde en yüksek eğilme ve basınç dayanımları sırasıyla 10,3 MPa ve 68,1 MPa olduğu rapor edilmiştir[16]. TS EN 206:2013+A1'e göre beton yoğunluklarına göre üç gruba ayrılmaktadır. Buna göre normal beton, etüv kuru durumu birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 2000 kg/m³'ten büyük olup 2600 kg/m³'ü geçmeyen betondur. Hafif beton etüv kuru durumu birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 800 kg/m³ veya daha büyük olup 2000 kg/m³'ü geçmeyen betondur. Ağır beton etüv kuru durumu birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 2600 kg/m³'ten daha büyük olan betondur[17]. Hafif betonlarda birim ağırlıklarına göre üç gruba ayrılmıştır. Buna göre birim ağırlığı 300 kg/m³ ile 800 kg/m³ arasında olanlar yalıtım betonu, 800 kg/m³ ile 1400 kg/m³ arasında olanlar orta mukavemetli hafif beton, 1400 kg/m³ den büyük olanlar taşıyıcı hafif beton olarak sınıflandırılmıştır[18]. Hafif agregalı geopolimer betonu ile yapılan çalışmalarda agrega olarak Posi vd. geri dönüşümlü hafif beton bloğu[19] Husikes v.d. biyolojik atık olan Polietilen tereftalat (Pet) [20] parçacıklarını kullanmışlardır. Hafif agregalar ile yapılan

diğer geopolimer çalışmalarında pomza, vermikülit gibi volkanik kökenli malzemeler kullanılmıştır[21-23]. Bu çalışmada NaOH ile aktive edilmiş F sınıfı uçucu küllü geopolimer harçlara, hacimce %20, %40, %60, %80, %100 oranlarında granül EPS ikame edilmiştir. Üretilen geopolimer harç numunelerin fiziksel, mekanik ve ısı geçirimsizlik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca 40x40x160 mm ebatlarında üretilen geopolimer harçlar 300°C, 600°C ve 900°C'de yüksek sıcaklığa dayanıklılık deneyine tabi tutulmuştur. Yüksek sıcaklık sonrası geopolimer harçların eğilme ve basınç dayanımları incelenmiştir. 48 saat sıcaklık kürü uygulanan hafif harçların birim ağırlık sonuçları 0,66 g/cm³ ile 1,87 g/cm³ arasında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca hafif harçların birim ağırlığı ile basınç dayanımı, yarma dayanımı ve ısı iletkenlik katsayısı arasında doğrusal ilişki olduğu görülmüştür.

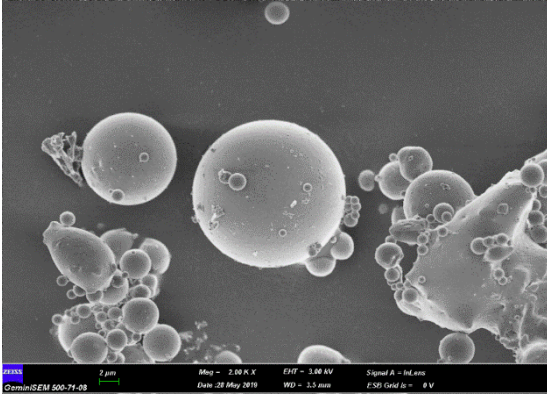
2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Uçucu Kül

Yapılan çalışmada Zonguldak ilinde bulunan Çatalağzı Termik Santraline ait F sınıfı uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu külün kimyasal analizi ve fiziksel özellikleri Tablo 1'de, küresel yapısı ve tane büyüklüğü görüntüsü FESEM fotoğrafında Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Uçucu külün kimyasal analizi ve fiziksel özellikleri

Kimyasal ve Fiziksel Özellikler	Çatalağzı Uçucu Külü	ASTM C618
		Class F
SiO ₂ (%)	52,70	
Al ₂ O ₃ (%)	25,80	
Fe ₂ O ₃ (%)	6,70	
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ ≥ %70	85,2	≥ 70
K ₂ O (%)	4,45	
Na ₂ O (%)	0,65	
MgO (%)	1,59	
CaO (%)	2,85	
SO ₃ (%)	0,33	< 5
Cl ⁻ (%)	0,0043	
Serbest CaO (%)	0,02	
Kızdırma Kaybı (%)	4,80	< 6
Yoğunluk (g/cm ³)	2,14	
BET Yüzey Alanı (m ² /g)	1,72	



Şekil 1. Uçucu küle ait FESEM görüntüsü

2.2. İrmak Kumu

Çalışmada 0-4 mm arasında dane büyüklüğüne sahip ince ırmak kumu kullanılmıştır. Kullanılan ince ırmak kumu için TS 3530 EN 933-1'e göre elek analizi ve piknometre deneyi yapılmıştır[24]. Elde edilen elek analizi sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. İrmak kumunun etüv kurusu tane yoğunluğu $2,58 \text{ g/cm}^3$ olarak elde edilmiştir. İncelik modülü 2,16 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. İrmak kumu elek analizi

Elek Çapı mm	Elekten Geçen (%)
4	100
2	82,4
1	53,6
0,5	35,7
0,25	11,9
TAVA	0

2.3. Sodyum Hidroksit (NaOH)

Uçucu külün aktive olması için, ticari olarak satılan en az %98 saflıkta sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır.

2.4. Su

Çalışmada karışım suyu olarak şehir şebekesinden alınan içilebilir musluk suyundan yararlanılmıştır. TS EN 1008 standardı karışım suyu olarak içilebilen suların kullanımına izin vermektedir.

2.5. Genleştirilmiş Polistiren (EPS)

Hafif agrega olarak granül EPS genleştirilmiş polistiren kullanılmıştır. EPS köpüklerin yoğunluk değeri $0,014 \text{ g/cm}^3$ 'dür.

2.6. Ajan

Hafif agrega olarak kullanılacak EPS'nin uçucu küllü harç arasında bir bağ oluşturması amacı ile ajan denilen beton katkıları kullanılmıştır. Ajan, bağlayıcı ile tam bir bütünlük sağlayan, daha sonra mukavemet eksiklikleri oluşturmayan, çatlama karşı dirençli E 200P kodlu kimyasal katkıları kullanılmıştır.

2.7. Deneysel Çalışmalar

Yapılan deneysel çalışmada geopolimer harç numuneleri hazırlanırken F sınıfı uçucu kül, ırmak kumu, NaOH ve içme suyu kullanılmıştır. Öncelikle 48 saat $75 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de sıcaklık kürüne tabii tutularak alkali ile aktive edilmiş uçucu küllü referans harcın karışım reçetesi hazırlanmıştır. Uçucu küllü referans geopolimer harç, standart PÇ 42,5 R çimentolu harç numunesinin 28 günlük basınç dayanımına eşdeğer olacak şekilde ön çalışmalar yapılarak belirlenmiştir. Buna göre ırmak kumu, uçucu kül, su, NaOH kütlece oranları sırasıyla 3, 1, 0,31, 0,11 olacak şekilde belirlenmiştir. Daha sonra granül EPS hacimce %20, %40, %60, %80 %100 oranlarında ırmak kumundan azaltılarak ikame edilmiştir. İkame esnasında granül EPS'nin daha homojen dağılmasını sağlamak için bağlayıcı miktarının kütlece % 1'i kadar ajan katkıları kullanılmıştır. Kullanılan ajanın su miktarı toplam karışım suyundan azaltılmıştır. Hafif geopolimer harçların numune kodlaması EPS'li uçucu küllü harç (EUK) olarak belirlenmiştir Karışım notasyonuna ait numaralandırma Tablo 3'de verilmiştir. Ayrıca karışıma giren malzemelerin resimleri a) Uçucu Kül, b) İrmak Kumu, c) NaOH, d) EPS olarak Şekil 2. de gösterilmiştir.



a) Uçucu Kül



b) İrmak Kumu



c) NaOH



d) EPS

Şekil 2. Karışıma giren malzemeler

Tablo 3. Agrega notasyonu ve karışım no

Agrega Notasyonu	Karışım No
%100 Kum - % 0 EPS	EUK- 0
%80 Kum - % 20 EPS	EUK- 20
%60 Kum - % 40 EPS	EUK- 40
%40 Kum - % 60 EPS	EUK- 60
%20 Kum - % 80 EPS	EUK- 80
%0 Kum - % 100 EPS	EUK- 100

2.7.1. İşlenebilirlik Tayini

Taze harcın işlenebilirliği TS EN 1015-3 (Taze harç kıvamının tayini) standardına göre yayılma tablası ile ölçülmüştür[25]. Deneyde üst iç çapı 70 mm, taban iç çapı 100 mm ve yüksekliği 60 mm olan konik kap kullanılmıştır. Konik kap dairesel levhanın merkezine yerleştirilmiştir. Harç 2 tabakada ve her tabakaya 10 vuruş olacak şekilde tokmak ile sıkıştırılarak doldurulmuştur. Çevirme kolu ile her saniyede 1 düşüş olacak şekilde 15 defa yayılma tablasına düşüş yaptırılmıştır. Yayılan harç kütlesi birbirine dik iki doğrultuda ölçülmüş ve elde edilen değerlerin ortalaması mm cinsinden işlenebilirlik değeri olarak kaydedilmiştir.

2.7.2. Birim Ağırlık Tayini

Çalışmada üretilen uçucu küllü, EPS'li hafif harç numunelerine gerekli kür şartları uygulandıktan sonra 24 saat 105°C'de etüvde kurutulan numunelerin ağırlıkları etüv sonrası oda sıcaklığına kadar soğuması için beklenip havadaki ağırlıkları alınmış ve numunenin hacmine bölünerek birim ağırlıkları hesaplanmıştır.

2.7.3. Su Emme ve Boşluk Oranı Tayini

Deneyler kapsamında yer alan harçlara ait su emme ve boşluk oranları tayini, uçucu küllü harçların 24 ve 48 saat etüvde 75°C'de sıcaklık kürü sonrasında, 40×40×160 mm'lik prizma numuneler üzerinde yürütülmüştür. Numunelerin fiziksel özelliklerini tespit etmek için etüv kuru ağırlıkları, kuru yüzey doygun ağırlıkları ve arşimet terazisi ile su içindeki ağırlıkları ölçülmüştür. Bu üç değer yardımıyla su emme ve boşluk oranları hesaplanmıştır. Sertleşmiş numunede su emme oranı, etüv kuru numunelerin suya doygun kuru yüzeyli duruma getirilmesi ile ortaya çıkan ağırlık artışının, etüv kuru harç ağırlığına oranıdır.

$$\text{Boşluk Oranı (\%)} = \frac{(A_{KYD} - A_{FK})}{(A_{KYD} - A_{SU})} \times 100$$

$$\text{Su Emme Oranı (\%)} = \frac{A_{KYD} - A_{FK}}{A_{FK}} \times 100$$

Burada;

A_{FK} : Fırın kuru ağırlığı (g)

A_{KYD} : Kuru yüzey doygun ağırlığı (g)

A_{SU} : Su içindeki ağırlığı (g)

2.7.4. Eğilme ve Basınç Dayanımı Tayini

Uçucu küllü üretilen 75 °C'de 24 ve 48 saat kür edilen 40×40×160 mm boyutlarındaki sertleşmiş numunelere TS EN 1015-11 standardına uygun olarak mesnet açıklığı 100 mm olacak şekilde tek noktadan eğilme deneyi yapılmıştır[26]. Yükleme sırasında ani sıçrama olmaksızın kırılma gerçekleşecek şekilde 50±10 N/s yükleme hızı seçilmiştir. Eğilme deneyi ile ikiye bölünen numunelere düzgün kalıp yüzeylerinden TS EN 1015-11 standardında belirtilen şartlara uygun şekilde basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır[26]. Basınç dayanımı deneyinde 40×40 mm genişlikte başlıklar kullanılmıştır. Yükleme hızı olarak 500 N/s yük uygulanarak numuneler kırılmıştır. Her bir seri için eğilme deneyi sonucunda elde edilen 6 adet yarım numuneye basınç deneyi uygulanmış ve elde edilen 6 adet basınç deneyi aritmetik ortalaması basınç dayanım değeri olarak hesaplanmıştır.

2.7.5. Yarmada Çekme Dayanımı Tayini

75 °C'de 48 saat sıcaklık kürüne tabii tutulan harç numunelerinde %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 ikameli EPS bulunan 15,5×14×4 cm (en, boy, kalınlık) boyutlarındaki hafif harç numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler TS 2824 standardında belirtilen şartlara uygun olarak teste tabii tutulmuştur[27].

2.7.6. Yüksek Sıcaklığa Dayanıklılık Tayini

Çalışmada üretilen uçucu küllü harçların 48 saat etüvde 75°C'de sıcaklık kürü sonrasında, yüksek sıcaklığa dayanıklılık testleri 40×40×160 mm boyutlarındaki numuneler üzerinde kül fırını kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılığını belirleyebilmek için 5°C/dakika sıcaklık artışı uygulayarak numunelerin ayrı ayrı 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklıklara ulaşmaları sağlanmış ve ulaşılan bu sıcaklıkta 60 dakika süre ile bekletilmişlerdir. Fırında kalma süresini tamamlayan numuneler fırından çıkartılarak oda sıcaklığına gelinceye kadar bekletilmiştir. Oda sıcaklığına gelen numuneler üzerinde eğilme ve basınç dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir.

2.7.7. Kılcal Su Emme Katsayısı Tayini

Kılcal su emme deneyi ASTM C1585'e göre gerçekleştirilmiştir[28]. Numunelerin yan ve üst yüzeyi alüminyum folyo bant ile kaplanarak havadaki nemden korunmuştur. 3 adet 40×40×160 mm ölçülerinde üretilen harç numuneleri kılcal su emme deneyine tabii tutulup ortalama değeri alınmıştır. Her numuneye 1, 5, 10, 20 ve 30. dakikada, 1, 2, 3, 4, 5 ve 6. saatte (birincil kılcallık katsayısı) ve 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8. günde (ikincil kılcallık katsayısı) ağırlık okumaları yapılarak kılcal su emme miktarları tayin edilmiştir.

2.7.8. Ultrasonik Atımlı Dalga Hızı Tayini

Yapılan çalışmada üretilen numunelerin ultrasonik atımlı dalga hızları TS EN 12504-4 standardına uygun şekilde Pundit (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester) adı verilen Proceq marka cihaz ile belirlenmiştir[29]. Cihazda alıcı ve verici transduserler bulunmaktadır. Verici transduser tarafından gönderilen ultrasonik sinyaller numune içerisinde geçerek alıcı transduser tarafından alınır ve cihaz tarafından ultrasonik sinyallerin alış-veriş süresi μ s cinsinden hassas olarak ölçülür. Transduserler ile ölçüm yapılan numune yüzeyinin daha pürüzsüz olmasını sağlamak için ultrasonik jel kullanılmıştır. Ultrasonik atımlı dalga hızı ölçümleri 40x40x160 mm'lik numunelerin 160 mm'lik boyu doğrultusunda, sıcaklık kürü işlemi sonrasında numuneler oda sıcaklığına geldikten sonra yapılmıştır. Ultrasonik sinyallerin numune içerisinde geçiş süresi numune içerisindeki boşluklara, çatlaklara, numunenin elastik özelliklerine ve yoğunluğuna bağlıdır. Ultrasonik atımlı dalga hızı testi ile numunelerin homojenliği, içindeki boşluklar, çatlaklar ile numunelerin dayanımı ve kalitesi ile ilgili bilgiler elde edilebilmektedir. Ultrasonik atımlı dalga hızı test ölçümleri her bir seri için 3 adet numune üzerinde gerçekleştirilerek elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Ultrasonik atımlı dalga hızları aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V = \frac{L}{T}$$

Burada;

V: Ultrasonik geçiş hızı, m/s

L: Geçiş uzunluğu, m

T: Geçiş zamanı, s

2.7.9. Isı İletkenlik Tayini

Proje kapsamında termal iletkenlik katsayılarının belirlenmesi için 48 saat etüvde 75°C'de sıcaklık küründe bekletilerek üretilen harç numunelerinde %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 ikameli EPS bulunan 15,5×14×4 cm (en, boy, kalınlık) boyutlarındaki hafif harç numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelerin ısı geçirimlilik katsayıları Thermtest markalı HFM-100 Heat Flow Meter modellenmiş cihaz ile belirlenmiştir.

2.7.10. FESEM görüntüsü ve EDX analizi

Hazırlanan harç numunelerine yüksek sıcaklık sonrası hamur yapısını incelemek amacıyla FESEM (Field Emission Scanning Electron Microscope) görüntülemesi ve EDX (Energy Dispersive X-ray Analysis) analizi yapılmıştır. Uçucu kül, NaOH ve su ile imal edilen geopolimer hamur numuneler 48 saat 75 °C'de hava almayacak kapalı bir kaptaki sıcaklık kürüne tabii tutulmuştur. Hamur numuneler 300 °C, 600 °C ve 900 °C'de yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Elde edilen numuneler 10 mm-15 mm boyutlarında kırılarak altın paladyum kaplaması yapılmış olup kırık yüzey incelemesi yapılmıştır. FESEM görüntülemeleri yapılırken

hamur yapısında gerek duyulan yerlerden EDX analizi yapılmıştır.

3. BULGULAR

EPS straforun ikamesi ile işlenebilirlik değerleri referans harç (EUK0) numunesine göre sırasıyla %31, %35, %63, %64 ve %68 oranında artmıştır. EUK60 numunesine kadar işlenebilirlik değerinde çarpıcı şekilde artmış olmasına rağmen EUK60'dan sonra işlenebilirlik değerindeki artış azalmıştır. İşlenebilirliğe ait sonuçlar Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. İşlenebilirlik sonuçları (mm)

Numune Adı	EUK 0	EUK 20	EUK 40	EUK 60	EUK 80	EUK 100
İşlenebilirlik Değeri (mm)	104	137	141	170	171	175

24 saat 75 °C sıcaklık kürü uygulanan harç numunelerin birim ağırlıkları incelendiğinde hepsi 2 g/cm³'ün altında olduğu Tablo 5'de gösterilmiştir. Ayrıca boşluk oranı ve su emme değerlerinin birim ağırlığın azalması ile artmakta olduğu görülmektedir.

Tablo 5. 75 °C'de 24 saat sıcaklık kürü uygulanmış numunelerin birim ağırlık, boşluk oranı ve su emme değerleri

Numune Adı	Birim ağırlık (g/cm ³)	Boşluk Oranı (%)	Su Emme (%)
EUK0	1,93	17,68	8,95
EUK20	1,79	18,70	10,58
EUK40	1,59	20,25	13,12
EUK60	1,30	21,10	17,10
EUK80	0,89	21,82	25,62
EUK100	0,61	28,20	39,29

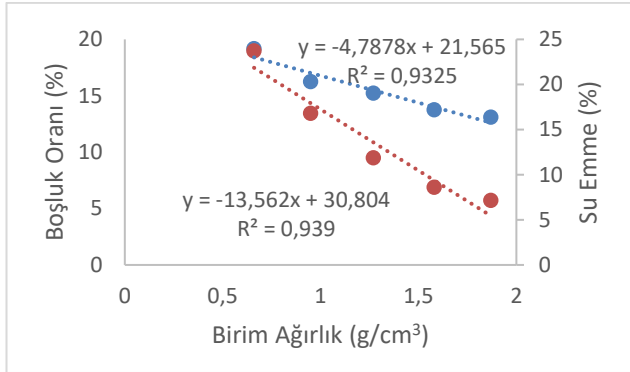
48 saat 75 °C sıcaklık kürü uygulanan harç numunelerinin birim ağırlıkları incelendiğinde referans (EUK0) hariç diğerlerinin hepsi 2 g/cm³'ün altında olduğu Tablo 6'da gösterilmiştir. Ayrıca boşluk oranı ve su emme değerlerinin birim ağırlığın azalması ile arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Birim ağırlık değerleri ile boşluk oranı ve su emme oranı arasında yüksek oranda doğrusal ilişki olduğu Şekil 3'de gösterilmiştir.

Tablo 6. 75 °C'de 48 saat sıcaklık kürü uygulanmış numunelerin birim ağırlık, boşluk oranı ve su emme değerleri

Numune Adı	Birim ağırlık (g/cm ³)	Boşluk Oranı (%)	Su Emme (%)
EUK0	2,10	10,82	5,17
EUK20	1,87	13,11	7,15
EUK40	1,58	13,75	8,61

Tablo 7(devamı). 75 °C’de 48 saat sıcaklık kürü uygulanmış numunelerin birim ağırlık, boşluk oranı ve su emme değerleri

Numune Adı	Birim Ağırlık (g/cm ³)	Boşluk Oranı (%)	Su Emme (%)
EUK60	1,27	15,24	11,87
EUK80	0,95	16,25	16,82
EUK100	0,66	19,17	23,72

**Şekil 2.** EPS ikameli hafif harçlarda birim ağırlık ile boşluk oranı ve su emme arasındaki ilişki

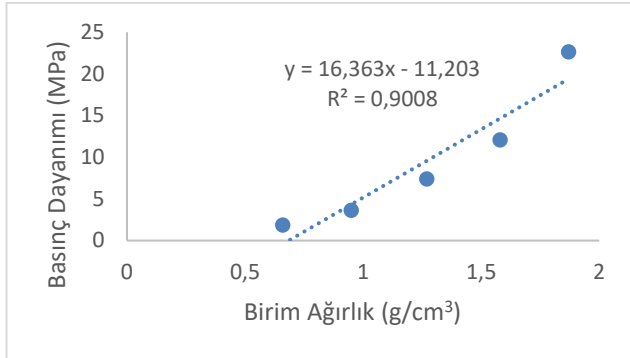
75 °C’de 24 saat ve 48 saat kür edilen harç numunelerinde granül EPS ikamesi ile eğilme ve basınç dayanımlarında azalmalar olmuştur. Basınç dayanım sonuçları incelendiğinde referans (EUK0) numunesinde 48 saat sıcaklık kürü, 24 saat sıcaklık kürüne göre %46 artış sağlamıştır. Ancak 48 saat sıcaklık kürüne tabii tutulmuş EPS’li numunelerin basınç dayanımında yüksek oranda artış görülmezken dikkat çekici artış EUK40, EUK60, numunelerinde sırasıyla %13, %24 oranlarında olduğu belirlenmiştir. Eğilme dayanımı sonuçları incelendiğinde 48 saat sıcaklık kürü uygulamanın 24 saat sıcaklık kürüne göre daha etkili olduğu görülmektedir. 48 saat sıcaklık kürü uygulanan numunelerin 24 saat sıcaklık kürü uygulanan numunelere göre EUK20 ve EUK40 numunelerinde eğilme dayanımı artışı sırasıyla %90, %140 olduğu belirlenmiştir. 48 saat kür uygulanan numunelerin 24 saat kür uygulanan numunelerden daha fazla eğilme ve basınç dayanıma sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durum 75 °C’de sıcaklık kürünün 48 saate kadar geopolimer yapıyı geliştirmesi ve mekanik dayanımı artırması ile açıklanabilir. Literatürde daha önce yapılan çalışmalarda, 75 °C sıcaklık kürü ile imal edilen geopolimer harçların mekanik dayanımının 48 saat sonunda 24 saate göre daha yüksek olduğu ve bu çalışmadaki sonuçlarla uyumlu olduğu anlaşılmıştır[16,34]. Ayrıca geopolimer hafif harçlarda birim ağırlığın azalması ile daha boşluklu bir yapı meydana gelmiş olup bu durum mekanik dayanımı olumsuz etkilemiştir. Literatürde, birim ağırlık değerinin azalması ile basınç dayanımlarında azalmalar olduğu daha önceki çalışmalarda rapor edilmiştir[30-33].

Geopolimer harç numunelerin her iki kür süresine ait eğilme ve basınç dayanımı sonuçları Tablo 7’de verilmiştir. İlave her bir geopolimer harç karışımının eğilme dayanımına ait grafiği Şekil 4’de ve basınç dayanımına ait grafiği Şekil 5’de verilmiştir. Ayrıca 48 saat sıcaklık kürü uygulanan hafif EPS’li numunelerin birim ağırlığı ile basınç dayanımı arasında yüksek oranda doğrusal ilişki ($R^2 = 0,9008$) olduğu Şekil 6’da gösterilmiştir.

Tablo 8. 75 °C’de 24 ve 48 saat sıcaklık kürü uygulanan numunelerin eğilme ve basınç dayanım değerleri

Numune Adı	24 saat		48 saat	
	Eğilme (MPa)	Basınç (MPa)	Eğilme (MPa)	Basınç (MPa)
EUK0	2,91	31,82	4,95	46,56
EUK20	1,70	21,14	3,27	22,63
EUK40	1,31	10,63	3,16	12,07
EUK60	0,96	5,92	0,9	7,39
EUK80	0,52	3,40	0,49	3,63
EUK100	0,50	1,54	0,45	1,84

**Şekil 3.** 24 ve 48 saat 75 °C sıcaklık kürü uygulanan geopolimer harçların eğilme dayanımı**Şekil 4.** 24 ve 48 saat 75 °C sıcaklık kürü uygulanan geopolimer harçların basınç dayanımı

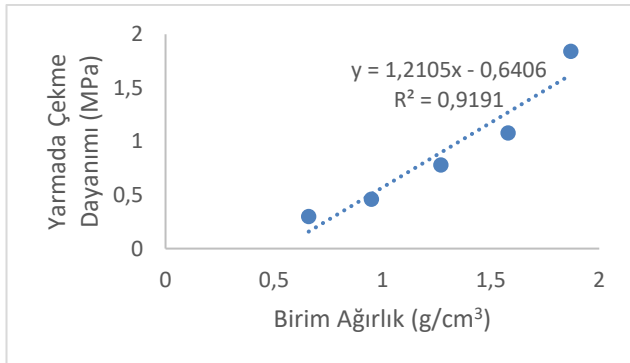


Şekil 5. 48 saat sıcaklık kürü uygulanan EPS ikameli hafif harçların birim ağırlık ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

48 saat 75 °C'de sıcaklık kürüne tabi tutulan numunelerin yarmada çekme dayanımlarını incelediğimizde EPS ikamesinin artması ile yarmada çekme dayanımının azaldığı Tablo 8'de görülmektedir. Ayrıca birim ağırlık ile yarmada çekme dayanımının arasında yüksek oranda doğrusal ilişki ($R^2=0,9191$) olduğu Şekil 7'de gösterilmiştir.

Tablo 8. Harç numunelere ait yarma dayanımı değerleri (MPa)

Numune Adı	Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)
EUK0	3,24
EUK20	1,87
EUK40	1,10
EUK60	0,78
EUK80	0,46
EUK100	0,30



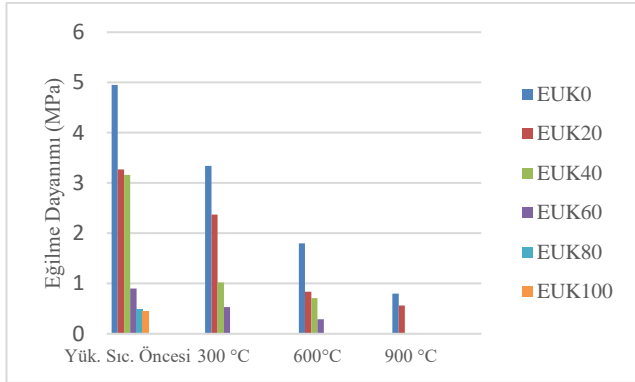
Şekil 6. EPS ikameli hafif harçların birim ağırlık ile yarmada çekme dayanımı arasındaki ilişki

Harç numuneleri 75 °C'de 48 saat sıcaklık kürüne tabi tutulduktan sonra 300 °C, 600 °C ve 900 °C'de yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Daha sonra oda sıcaklığına gelen numunelerin eğilme ve basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Buna göre referans (EUK0) numunede, yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra sırasıyla %32, %39, %59 oranında basınç dayanım kaybı görülmüştür. Bu azalma

değeri geopolimer bağlayıcının yüksek sıcaklığa olan dayanım kaybını göstermektedir. Özellikle referans geopolimer harç numunesinde 300 °C'de %32 oranında yaşanan ilk dayanım kaybı geopolimer harcın 75 °C'de 48 saat kür edilmesi ile açıklanabilir. Geopolimer harçların ilk sıcaklık kürünün kısa süreli ve düşük sıcaklıkta olması sonrasında maruz kalacağı yüksek sıcaklığa karşı direnci artırmaktadır. Literatürde daha önce yapılan çalışmalarda da 50 °C, 60 °C'de sıcaklık kürü yapılması[35] ya da 24 saat sıcaklık kürü yapılması[36] yüksek sıcaklığa direnci artırdığı rapor edilmiştir. Bu yönüyle 75 °C'de 48 saat sıcaklık kürü 300 °C sıcaklık sonrası basınç dayanımı direncini azaltmıştır. 600 °C sıcaklık sonrası basınç dayanımlarını incelediğimizde 300 °C sıcaklık sonrası basınç dayanımına göre dayanım kaybı oranının fazla olmadığı görülmektedir. Ayrıca EUK20 ve EUK40 numaralı EPS'li geopolimer harçlardaki basınç dayanım kayıp oranları yüksek sıcaklık sonrası (300 °C, 600 °C ve 900 °C) referans harç numunesindeki azalma oranından daha az olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre 300 °C ve 600 °C EPS'li harçlardaki EPS'nin erimesi yapısal anlamda ciddi bir basınç dayanımı kaybına yol açmamıştır. Her bir yüksek sıcaklık sonrası EUK60, EUK80, EUK100 numaralı EPS'li harçlardaki basınç dayanım kayıpları referans numunedeki basınç dayanım kaybından (%32, %39, %59) daha fazla olduğu görülmektedir. Buna göre %40'dan daha fazla EPS ikamesi, yüksek sıcaklıklarda dayanım kayıplarını yüksek oranda artırmıştır. Ayrıca 900 °C sıcaklıktan sonra geopolimer harcın tahrip olduğu görülmüştür. Daha önce geopolimerler üzerinde yapılan yüksek sıcaklığa dayanıklılık çalışmalarında da görüldüğü üzere yüksek sıcaklıklarda aktivatör cinsi ve aktivatör oranına bağlı olarak içyapıda çatlakların meydana geldiği ve özellikle 800 °C'den sonra çatlakların daha derin olduğu rapor edilmiştir[37, 38]. Yüksek sıcaklık sonrası eğilme dayanımına ait sonuçlar Tablo 9 ve Şekil 8'de, basınç dayanımına ait sonuçlar Tablo 10 ve Şekil 9'da verilmiştir.

Tablo 9. 75 °C'de 48 saat sıcaklık kürü uygulanan harç numunelerin 300 °C, 600 °C ve 900 °C sonrası eğilme dayanımı değerleri

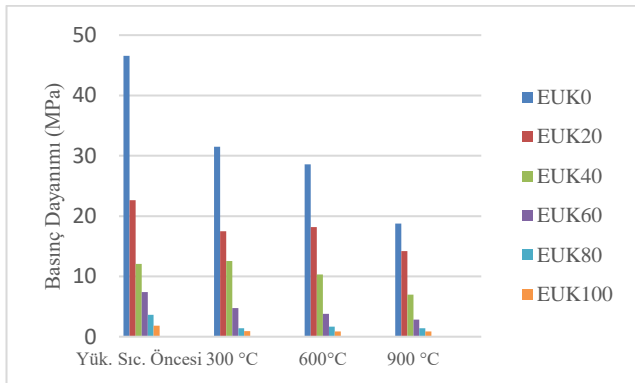
	Yüksek Sıcaklık Öncesi Dayanım	300 °C	600 °C	900 °C
Numune Adı	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)
EUK0	4,95	3,34	1,8	0,8
EUK20	3,27	2,37	0,84	0,56
EUK40	3,16	1,02	0,71	0
EUK60	0,9	0,53	0,29	0
EUK80	0,49	0	0	0
EUK100	0,45	0	0	0



Şekil 7. 75 °C'de 48 saat sıcaklık kürü uygulanan harç numunelerinin 300 °C, 600 °C ve 900 °C sonrası eğilme dayanımı

Tablo 10. 75 °C'de 48 saat sıcaklık kürü uygulanan harç numunelerinin 300 °C, 600 °C ve 900 °C sonrası basınç dayanımı değerleri

Numune Adı	Yük. Sic. Öncesi	300 °C	600°C	900 °C
EUK0	46,56	31,48	28,56	18,76
EUK20	22,63	17,49	18,16	14,17
EUK40	12,07	12,53	10,34	6,96
EUK60	7,39	4,77	3,78	2,81
EUK80	3,63	1,42	1,65	1,4
EUK100	1,84	0,91	0,85	0,89



Şekil 8. 75 °C'de 48 saat sıcaklık kürü uygulanan harç numunelerinin 300 °C, 600 °C ve 900 °C sonrası basınç dayanımı

48 saat 75 °C'de sıcaklık kürüne tabi tutulan numunelerin kılcal su emme katsayılarını Tablo 11'de incelediğimizde EPS ikamesinin artması ile birincil ve ikincil kılcal su emme katsayılarının arttığı görülmüştür. Ayrıca birim ağırlığın azalması ile kılcal su emme katsayılarının arttığı görülmektedir.

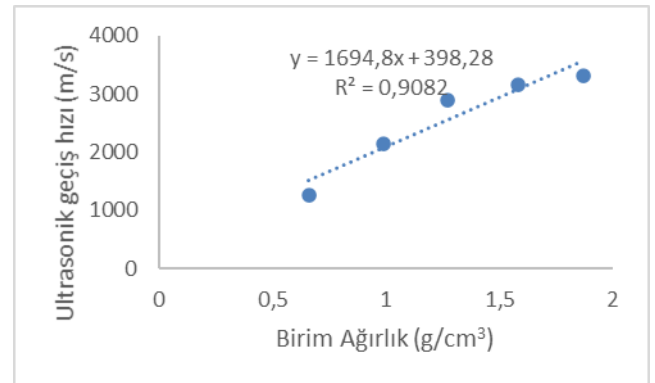
Tablo 11. 75 °C'de 48 saat sıcaklık kürü uygulanan harç numunelerinin birincil ve ikincil su emme katsayıları

Numune Adı	Birincil Kılcal Su Emme Katsayısı mm/s ^{1/2}	İkincil Kılcal Su Emme Katsayısı mm/s ^{1/2}
EUK0	0,0331	0,0013
EUK20	0,0386	0,0016
EUK40	0,0413	0,0017
EUK60	0,0450	0,0018
EUK80	0,0459	0,0022
EUK100	0,0484	0,0026

75 °C'de 24 saat ve 48 saat kür edilen harç numunelerinde granül EPS ikamesi ile ultrasonik geçiş hızı değerlerinde azalmalar olmuştur. Kür sürelerine ait ultrasonik geçiş hızı değerleri Tablo 12'de verilmiştir. 24 saat sıcaklık kürü uygulanan numunelerin harç karışım serisini incelediğimizde EPS kaynaklı boşlukların etkisi olmakla beraber geopolimer hamurundan da kaynaklı boşlukların etkisi görülmektedir. 48 saat sıcaklık kürüne tabi tutulan numunelerde geopolimer hamurunun daha yoğun hale geldiği anlaşılmıştır. Buna ilave olarak EPS ikamesi arttıkça ultrasonik geçiş hızı değerinde düşüş olduğu gözlemlenmiştir. EPS ikameli hafif harçlarda birim ağırlık ile ultrasonik geçiş hızı arasındaki yüksek oranda ($R^2=0,9082$) ilişki olduğu Şekil 10'da gösterilmektedir.

Tablo 12. 75 °C'de 24 ve 48 saat sıcaklık kürü uygulanan harç numunelerinin ultrasonik geçiş hızı değerleri

Numune Adı	24 saat Sıcaklık kürü	48 saat Sıcaklık kürü
	Ultrasonik geçiş hızı (m/s)	Ultrasonik geçiş hızı (m/s)
EUK0	3241	3791
EUK20	3003	3306
EUK40	2596	3163
EUK60	2151	2897
EUK80	1594	2152
EUK100	734	1169

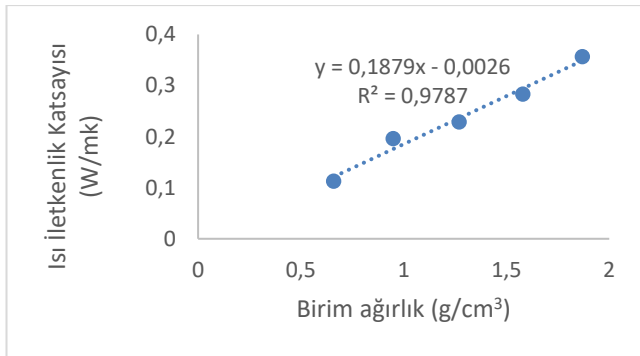


Şekil 9. EPS ikameli hafif harçlarda birim ağırlık ile ultrasonik geçiş hızı arasındaki ilişki

Harç numunelere ait ısı geçirgenlik katsayıları Tablo 13’de incelendiğinde EPS ikamesi arttıkça ısı iletkenlik değerinin düştüğü görülmektedir. Daha önceki yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar görülmüş olup birim ağırlığın düşmesi ile ısı iletkenlik katsayısı da azalmaktadır[39]. Ayrıca basınç dayanımının azalması ile ısı iletkenlik katsayısının azalması arasındaki ilişki daha önceki çalışmalarda da görülmüştür[39-41]. Birim ağırlık ile ısı iletkenlik katsayıları arasında yüksek oranda ($R=0,9787$) doğrusal ilişki olduğu Şekil 11’de gösterilmiştir.

Tablo 13. Harç numunelere ait ısı iletkenlik katsayıları değerleri (W/mK)

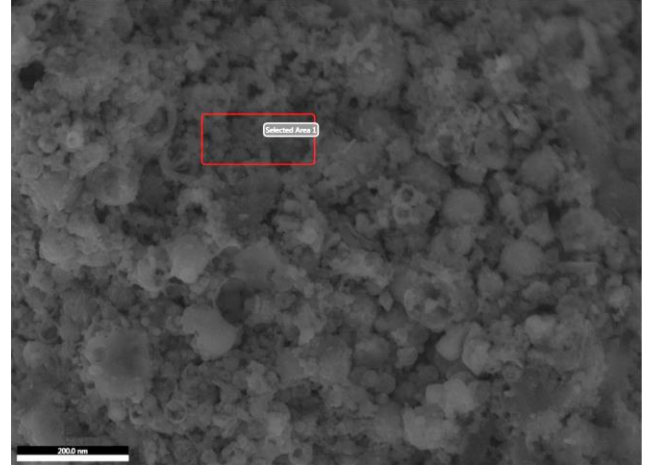
Numune Adı	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)
EUK0	0,5109
EUK20	0,3563
EUK40	0,2830
EUK60	0,2287
EUK80	0,1959
EUK100	0,1126



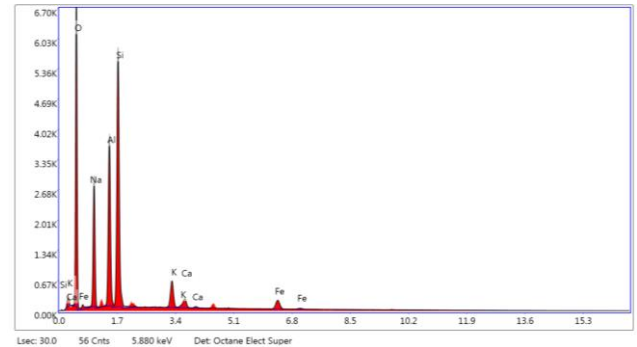
Şekil 10. EPS ikameli hafif harçlarda birim ağırlık ile ısı iletkenlik katsayısı arasındaki ilişki

75 °C’de 48 saat sıcaklık kürtüne tabii tutulan geopolimer hamurun öncelikle referans numunesini incelediğimizde referans numuneye ait NASH jelinin SEM görüntüsü Şekil 12’de, EDX analiz pikleri Şekil 13’de, EDX analizine ait atom ağırlığı yüzdesi Tablo 14’de verilmiştir. Yüksek sıcaklık öncesi ve yüksek sıcaklık sonrası FESEM görüntüleri Şekil 14’de görülmekte olup, referans numunesinin mikro yapısına baktığımız zaman genel itibariyle uçucu kül taneciklerinin bozulduğu, uçucu kül tanelerinin alkaliler ile tepkimeye girerek NASH jellerini oluşturduğu görülmektedir. 300 °C (a) ve 600 °C’de (b) yüksek sıcaklığa tabii tutulan numunelerde daha yoğun jel yapısı görünmesine rağmen kısmi boşluklar (gözenekler) ve çatlaklar görülmektedir. Bu boşluk ve çatlakların dayanım kaybına yol açtığı yüksek sıcaklık sonrası mekanik dayanım bölümünde belirtilmişti. Literatürde daha önce yapılan çalışmalarda termogravimetrik analiz sonucunda 100 °C civarında, NASH jelinde absorbe ve bağlı suyun buharlaşması ile geopolimer hamurda kısmi boşlukların meydana geldiği rapor edilmiştir[36, 42, 43]. Bu yönüyle 300 °C (b) ve 600 °C’de (c) oluşan gözenekli yapının bir

sebebi de geopolimer hamurun yapısındaki NASH jelinde bulunan absorbe ve bağlı suyun çıkışı esnasında olduğu görülmektedir. Geopolimer hamur 900 °C’de (d) yüksek sıcaklığa tabii tutulduğunda hamur mikro yapısında derin gözenekler ve çatlaklarla birlikte sürekli hale gelen bir tahribat olduğu görülmüş olup, daha önceki yapılan çalışmalarda da[37,38] aynı şekilde tahribatların olduğu görülmektedir.



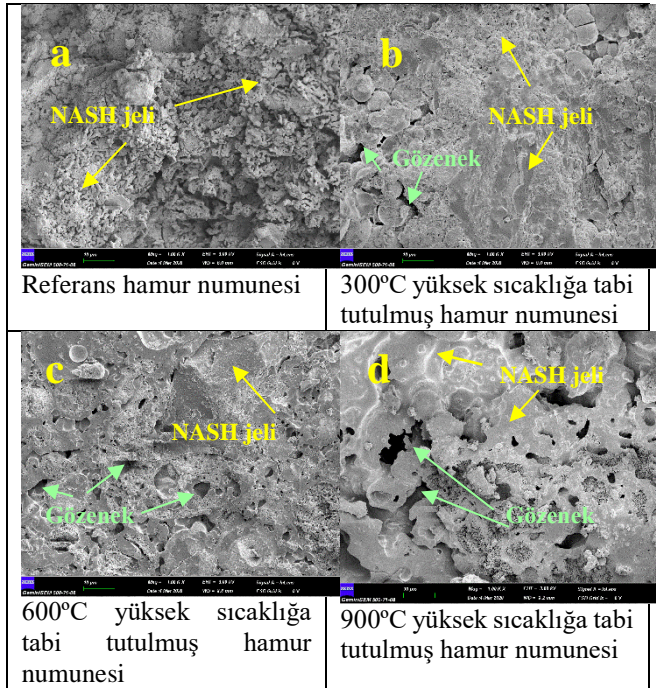
Şekil 11. Referans numunenin NASH jeli EDX analizi (seçili alan)



Şekil 12. Referans numunenin NASH jeli EDX analizi pikleri

Tablo 14. Referans numunenin NASH jeli atom ağırlığı yüzdesi

eZAF Smart Quant Results			
Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
O K	44.1	57.08	1201.96
NaK	16.87	15.2	601.27
AlK	13.37	10.26	923.22
SiK	20.11	14.83	1486.97
K K	2.68	1.42	208.86
CaK	1.05	0.54	74.15
FeK	1.83	0.68	92.8



Şekil 13. Referans hamur numunesi, 300 °C, 600 °C ve 900 °C’de yüksek sıcaklığa tabi tutulan hamur numunelerinin 1000 büyütmede FESEM görüntüleri

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

- İşlenebilirlik değeri EPS ikamesi oranının artmasıyla artmıştır. Referans (EPS0) geopolimer harca göre işlenebilirlik değeri EPS20, EPS40, EPS60, EPS80, EPS100 numunelerinde sırasıyla %31, %35, %63, %64, %68 oranında artmıştır.
- Birim ağırlık değeri EPS ikamesi oranı artmasıyla hem 24 saat hem de 48 saat sıcaklık kürüne tabi tutulan harçlarda azalmıştır. Buna ilave olarak boşluk oranı ve su emme miktarları EPS ikame oranı artmasıyla artış göstermiştir.
- 24 saat ve 48 saat sıcaklık kürü yapılan iki durumda da, EPS ikame oranının artmasıyla eğilme ve basınç dayanımlarında azalma gözlemlenmiştir. Basınç dayanımı açısından incelendiğinde genel olarak hafif geopolimer harçlarda 48 saat sıcaklık kürü etkisi çok fazla olmadığı görülmüştür.
- Yüksek sıcaklık sonrası dayanımları incelendiğinde sıcaklık artışı ile eğilme ve basınç dayanımlarında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Bu dayanım azalmasının sebebi hem EPS’nin yüksek sıcaklıkta yok olmasıyla hem de geopolimer hamurun mikro yapısında oluşan tahribattan olduğu sonucuna varılmıştır.
- Yarmada çekme dayanımı 48 saat sıcaklık kürü uygulanan numunelerde EPS oranının artması ile azalma göstermiş olup birim ağırlıkla arasında yüksek oranda doğrusal ilişki olduğu gözlemlenmiştir.
- Isı iletkenlik değeri 48 saat sıcaklık kürü uygulanan numunelerde EPS ikame oranının artması ile düşüğü görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu proje Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurum (TÜBİTAK) 2209 B Sanayiye yönelik lisans araştırma projeleri 2241 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKÇA


- [1].V.M. Malhotra, Introduction: sustainable development and concrete technology, *ACI Concr. Int.* 24 (7) (2002).
- [2].X. Guo, H. Shi, W.A. Dick, Compressive strength and microstructural characteristics of class C fly ash geopolymer, *Cem. Concr. Compos.* 32, 142–147, 2010
- [3].M.J.A. Mijarsh, M.A. Johari, Z.A. Ahmad, Synthesis of geopolymer from large amounts of treated palm oil fuel ash: application of the Taguchi method in investigating the main parameters affecting compressive strength, *Constr. Build. Mater.* 52, 473–481, 2014
- [4].S. Hanjitsuwan, S. Hunpratub, P. Thongbai, S. Maensiri, V. Sata, P. Chindapasirt, Effects of NaOH concentrations on physical and electrical properties of high calcium fly ash geopolymer paste, *Cem. Concr. Compos.* 45, 9–14, 2014
- [5].T. Phoongernkham, P. Chindapasirt, V. Sata, S. Hanjitsuwan, S. Hatanaka, The effect of adding nano-SiO₂ and nano-Al₂O₃ on properties of high calcium fly ash geopolymer cured at ambient temperature, *Mater. Des.* 55 58–65, 2014
- [6].J. He, Y. Jie, J. Zhang, Y. Yu, G. Zhang, Synthesis and characterization of red mud and rice husk ash-based geopolymer composites, *Cem. Concr. Compos.* 37, 2013
- [7].J. Davidovits, *Geopolymer Chemistry and Applications*, third ed., Geopolymer Institute, Saint-Quentin, France, Juli, 2011.
- [8].J.L. Provis, S.A. Bernal, *Geopolymers and related alkali-activated materials*, *Annu. Rev. Mater. Res.* 44 299–327, 2014
- [9].Ü.Yurt And M. Emiroğlu, “Zeolit İkameli Geopolimer Betonlarda Kür Şartlarının Etkileri,” *Acad. Platf. J. Eng. Sci.*, pp. 396–402, 2020.
- [10].G. Görhan, “Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi Geopolimer Harç Özelliklerine Metakaolin Kalsinasyon Sıcaklığının Etkisi Effect of Calcination Temperature of Metakaolin on the Properties of Geopolymer Mortar,” vol. 20, pp. 83–89, 2020.
- [11].M. M. Yadollahi and S. Varolüneş, “Polipropilen Liflerin Perlit Esaslı Geopolimerlerin Mekanik Davranışına Etkisi The Effect of Polypropylene Fibers on Mechanical Behavior of Perlite Based Geopolymers,” vol. 7, no. 2, pp. 36–41, 2018.
- [12].S. Güzelküçük, “Perlit Esaslı Geopolimer KompozitlereKür Süresi ve Sıcaklığın Etkisi Effect Of Curing Time and Temperature on Perlite-Based Geopolimer Composites,” pp. 5–12, 2019.
- [13].M. Serhat Başpınar et al., “Aralık (5-10 s) AKU,” *J.Eng.App.Sci.*, vol. 1, no. 5, 2018.
- [14].Panias D, Giannopoulou IP, Perraki T. Effect of synthesis parameters on the mechanical properties of fly ash-based geopolymers. *Colloids Surf A*;301:246–54. 2007

- [15].Chindaprasirt P, Chareerat T, Sirivivananon V. Workability and strength of coarse high calcium fly ash geopolymer. *Cem Concr Compos*;29: 224–9(2007)
- [16].C. D. Atiş, E. B. Görür, O. Karahan, C. Bilim, S. İlkentapar, and E. Luga, “Very high strength (120 MPa) class F fly ash geopolymer mortar activated at different NaOH amount, heat curing temperature and heat curing duration,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 96, pp. 673–678, Oct. 2015.
- [17].TS EN 206-1, Beton – Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 2002.
- [18].Taşdemir C., Şengül Ö., “Hafif Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri”, Beton 2013 Hazır Beton Kongresi, İstanbul, 21-23 Şubat 2013.
- [19].P. Posi, C. Teerachanwit, C. Tanutong, S. Limkamoltip, S. Lertnimoolchai, V. Sata, P. Chindaprasirt, Lightweight geopolymer concrete containing aggregate from recycle lightweight block, *Mater. Des.* 52 580–586, 2013
- [20].D.M.A. Huiskes, A. Keulen, Q.L. Yu, H.J.H. Brouwers, Design and performance evaluation of ultra-lightweight geopolymer concrete, *Mater. Des.* 89 516–526, 2016
- [21].M. Aslam, P. Shafigh, M.A. Nomeli, M.Z. Jumaat, Manufacturing of high- strength lightweight aggregate concrete using blended coarse lightweight aggregates, *J. Clean. Prod.* 13, 2017
- [22].H.A. Mboya, K.N. Njau, A.L. Mrema, C.K. King’andu, Influence of scoria and pumice on key performance indicators of Portland cement concrete, *Constr. Build. Mater.* 197, 2019
- [23].A.M. Rashad, Vermiculite as a construction material e a short guide for Civil Engineer, *Constr. Build. Mater.* 125, 2016
- [24].TS 3530 EN 933-1, Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme metodu, Türk Standartları Enstitüsü, 1999.
- [25].TS EN 1015-3., Kagir harcı- Deney metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayılma tablası ile), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 2000
- [26].TS EN 1015-11 Kagir harcı - Deney metotları -Bölüm 11: Sertleşmiş harcın basınç ve eğilme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara. 2000
- [27].TS 2824 EN 1338/AC Zemin Döşemesi İçin Beton Kaplama Blokları - Gerekli Şartlar Ve Deney Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2009
- [28].ASTM C1585-13. Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes, Annual Book of ASTM Standarts, February, 2013
- [29].TS EN 12504-4,. Testing concrete - Part 4: Determination of ultrasonic pulse velocity. Ankara: TSE, 2012
- [30].D. Hardjito, S.E. Wallah, D.M.J. Sumajouw, B.V. Rangan, Factors influencing the compressive strength of fly ash-based geopolymer concrete, *Civ. Eng. Dimens.* 6 September,(2004)
- [31].E.G. Nawy, Concrete Construction Engineering Handbook, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, (24 June). 2008
- [32].D. Hardjito, B.V. Rangan, Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash Based Geopolymer Concrete, Research Report GC1(Perth) 2005.
- [33].V.F.F. Barbosa, K.J.D. MacKenzie, C. Thaumaturgo, Synthesis and characterisation of materials based on inorganic polymers of alumina and silica: sodium polysialate polymers, *Int. J. Inorg. Mater.* 2 309–317. (2000)
- [34].S. İlkentapar, C. D. Atiş, O. Karahan, and E. B. Görür Avşaroğlu, “Influence of duration of heat curing and extra rest period after heat curing on the strength and transport characteristic of alkali activated class F fly ash geopolymer mortar,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 151, pp. 363–369, 2017.
- [35].M. Kaya, M. Uysal, K. Yilmaz, and C. D. Atis, “Behaviour of Geopolymer Mortars after Exposure to Elevated Temperatures,” vol. 24, no. 4, 2018.
- [36].A. Hosan, S. Haque, and F. Shaikh, “Compressive behaviour of sodium and potassium activators synthesized fly ash geopolymer at elevated temperatures_ A comparative study,” *J. Build. Eng.*, vol. 8, no. October, pp. 123–130, 2016.
- [37].M. Lahoti, K. K. Wong, K. H. Tan, and E. H. Yang, “Effect of alkali cation type on strength endurance of fly ash geopolymers subject to high temperature exposure,” *Mater. Des.*, vol. 154, pp. 8–19, Sep. 2018.
- [38].T. Bakharev, “Thermal behaviour of geopolymers prepared using class F fly ash and elevated temperature curing,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 36, no. 6, pp. 1134–1147, Jun. 2006.
- [39].D. M. A. Huiskes, A. Keulen, Q. L. Yu, and H. J. H. Brouwers, “Design and performance evaluation of ultra-lightweight geopolymer concrete,” *Mater. Des.*, vol. 89, pp. 516–526, Jan. 2016.
- [40].C. Shi, P.V. Krivenko, D. Roy, Alkali-Activated Cements and Concretes, Taylor & Francis, Oxon, UK, 2006.
- [41].R. Aguilar, O. Burciaga Díaz, J.I. Escalante García, Lightweight concretes of activated metakaolin–Fly ash binders, with blast furnace slag aggregates, *Constr. Build. Mater.* 24 (16 December). (2010)
- [42].Y. Zhao, J. Ye, X. Lu, M. Liu, Y. Lin, W. Gong, G. Ning, Preparation of sintered foamed materials by alkali-activated coal fly ash, *J. Hazard. Mater.* 174 (6 September). (2009)
- [43].S. Chandrasekhar and P. N. Pramada, “Sintering behaviour of calcium exchanged low silica zeolites synthesized from kaolin,” vol. 27, pp. 105–114, 2001.


Extending Wireless Sensor Networks' Lifetimes Using Deep Reinforcement Learning in a Software-Defined Network Architecture

*¹Zainab Ali Abbood, ²Mahmoud Shukur Mahmoud, ³Çağatay Aydın, ⁴Doğu Çağdaş Atilla, ⁵Dr. Bassem G. Al-saadi


^{*1}Altınbaş University, School of Engineering and Natural Sciences, Istanbul, Turkey,

zainab.al_mamoori@org.altinbas.edu.tr, 


²Al-Mansour University College, Computer Technology Engineering Dept., Baghdad, Iraq,

mahmoud.shukur@muc.edu.iq, 


³Altınbaş University, School of Engineering and Natural Sciences, Istanbul, Turkey,

cagatay.aydin@altinbas.edu.tr, 

⁴Altınbaş University, School of Engineering and Natural Sciences, Istanbul, Turkey,

cagdas.atilla@altinbas.edu.tr, 

⁵El-Esraa University College, Computer Technology Engineering Dept., Baghdad, Iraq,

dr.basimalsaady@gmail.com, 

Research Paper

Arrival Date: 11.02.2020

Accepted Date: 29.09.2020

Abstract

Routing packets in a Wireless Sensor Network (WSN) is a challenging task, according to the limited resources available on the nodes of these networks, especially their energy sources. The use of Machine Learning (ML) techniques in a Software-Defined Network (SDN) topology has shown a good potential toward solving such a complex task. However, existing techniques emphasize finding the shortest paths to deliver the packets, which can overload certain nodes in the network, depending on their positioning. In this study, a new method is proposed to extend the lifetime of the WSN by balancing the loading on the nodes, using a Deep Reinforcement Learning (DRL) approach. By emphasizing on the lifetime of the network, the proposed method has been able to discover and use alternative routes to deliver the packets, avoiding the use of nodes with low energy. Hence, the average number of hops the packets travel through has been increased but the time required for the first node to exhaust its energy has been significantly increased.

Keywords: Software Defined Network, Internet of Things, Wireless Sensor Network, Reinforcement Learning.

1. INTRODUCTION

With the rapidly growing interest in collecting different types of data from different environments, the need for flexible low-cost networks to collect and log these data has been increasing [1, 2]. As a solution, a set of small devices, i.e. sensors, that can measure the required data and communicate them through wireless connections has emerged as a solution for such tasks. These networks are known as Wireless Sensor Networks (WSNs), in which each sensor is considered as a node in the network that has the responsibility of delivering network packets from other nodes, in addition to the task it is designated for. Such a topology allows the WSN to work in any environment without the need for infrastructure and change the topology

of the network as required by the environment it is being deployed in [3, 4].

With the absence of infrastructure and the changing topology of WSNs, routing the packets in the network to reach its destinations is a challenging task. This problem can become more complex when the nodes in the WSN are not stationary, i.e. mobile, as the route that is discovered between two nodes at a certain time instance becomes invalid as soon as one of the nodes in that route becomes out of the range of the remaining nodes in that route. Accordingly, several of the recent studies rely on reactive routing methods [5-7], in which a route is discovered on demand and set to be valid for a specific interval of time. When the route becomes expired, new route discovery is initiated [8, 9].

*¹ Corresponding Author: Altınbaş University, School of Engineering and Natural Sciences, Istanbul, Turkey

According to the massive amount of traffic to flow through the network when such reactive methods are used, such as the Ad hoc On-Demand Vector (AODV) and Dynamic Source Routing (DSR), and the limited resources available on the nodes of a WSN, the use of these protocols can be exhaustive to the nodes [10, 11]. Additionally, these protocols consider only the length of the path from source to destination, i.e. finding the shortest route, without considering other factors, such as the energy remaining on these nodes. Reactive routing protocols rely on propagating a Route Request (RREQ) to all the nodes in the WSN, i.e. each node forwards this packet to all adjacent nodes once, until the destination node is reached. The destination then sends a Route Reply (RREP) packet to the sources indicating the shortest route between the nodes, which is used by the source node to send its payload packets [11, 12].

Optimizing the routes that the packets in the WSN travel to reach their destination can significantly improve the performance of the WSN, by optimizing the use of the limited resources available on the nodes of the network. Hence, Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) techniques have been introduced to handle the dynamic nature of these networks' topologies. Such employment has produced the Intent-Driven Networks (IDNs) or Intent-Based Networks (IBNs), which has the ability to produce the networks' configurations from the business requirements. Additionally, such implementation requires the use of Software-Defined Network (SDN) to allow a central controller making the decisions required to optimize the operation of the network, based on the task requirements [13].

Mainly, the role of the SDN controller is to control the flow of packets in the network, i.e. selecting the next hop of a packet depending on the characteristics of that packet and the current state of the network. Hence, the overall performance of the network is defined based on the decisions made by the controller. Several measures are used to illustrate the performance of the network, such as the average number of hops packets travel through to reach their destinations and the lifetime of the network, depending on the energy that exists on each node on the network and the power consumption at that node [14]. In recent years, the use of devices with smaller resources, including energy sources, has been rapidly increasing, which has produced the era of the Internet of Things (IoT) [15].

According to the limited resources of IoT devices and the dynamic nature of IoT networks, the use of SDN architecture to control the flow of traffic has improved the overall performance of the network [16]. According to the limited energy available for these devices, overloading a certain device, that may be located in a vital position compared to the distribution of the nodes in the network, can drain the power of that device. Hence, the communications to, from and through that device are interrupted [17]. Hence, balancing the loading over the nodes can significantly extend the lifetime of the network [18].

Machine learning techniques gain knowledge about the environment from examples collected from that environment. Mainly, three types of ML techniques exist, which are supervised, unsupervised and Reinforcement Learning (RL). Unlike the other types, RL gains knowledge by directly interacting with the environment and collecting feedbacks to measure the quality of the executed actions. These feedbacks, known as rewards, are used to approximate the behavior of the environment, so that, the actions that can maximize the rewards can be selected by the RL technique. Thus, a generic RL model consists of the agent that executes the actions in the environment and the environment which returns the reward of the executed action [19, 20].

According to the good performance of Artificial Neural Networks (ANNs) in approximating the computations of any function, these networks are being widely used to approximate the function of the environment that the agent is interacting with [21, 22]. As the actual behavior of the environment is unknown to the agent, a neural network is used to approximate the environment, so that, the reward for each action selected by the agent can be estimated prior to the execution in order to select the action that is estimated to return the highest possible reward. Deep Reinforcement Learning (DRL) uses deep neural networks for this purpose, which has shown significantly better performance, compared to other RL methods [22, 23].

DRL has been employed by Zhang et al. [24] for an SDN controller that controls the flow of packets in Vehicular ad hoc networks (VANETs). According to the continuous movement of the nodes in VANETs, this framework emphasizes finding the routes that increase the probability of delivering the packet to its destination, without considering the power consumption of the network. Thus, the performance of the network is measured by the Packet Delivery Rate (PDR) and the average networks' throughput. However, the results show that the use of Convolutional Neural Networks (CNNs) has achieved the highest performance, compared to the user of networks that use only fully-connected layers.

Another method that uses DRL is proposed by Lin et al. [25], which relies on the Quality of Service (QoS) of the network as the reward for the neural network, hence, denoted as QoS-aware Adaptive Routing (QAR). However, this method measures the QoS using only the packet loss, delay and throughput and also neglects the lifetime of the network, i.e. does not consider the power consumption. The results of the experiments conducted in this study show that the use of a higher discount factor, i.e. Gamma, has reduced the average number of hops required to deliver the packet. This discount factor is used to reduce the effect of the reward collected by the end of a series of actions over each action, depending on its position in the series, so that, higher discount rate indicates more effect on earlier actions. Similarly, Stampa et al. [26] use a DRL model for the SDN controller, which focuses on reducing the time required to deliver the packets to their destination. Hence, the DRL agent is only trained to

recognize the shortest possible path between the source of the packet and its destination.

Despite the good performance of these methods, regarding the delay or number of hops required to deliver a packet, the negligence of power consumption can exhaust one of the nodes in the network. For instance, when the existing methods are used to route packets in the sample network as shown in Figure 1, all packets between the nodes in the black and blue subnets are going to be routed through the red node, as routing them through the green nodes reduces the expected reward according to the longer path, i.e. an additional hop. Hence, the energy in the power source of the red node is going to be exhausted and the node is expected to have less uptime, which reduces the lifetime of the network.

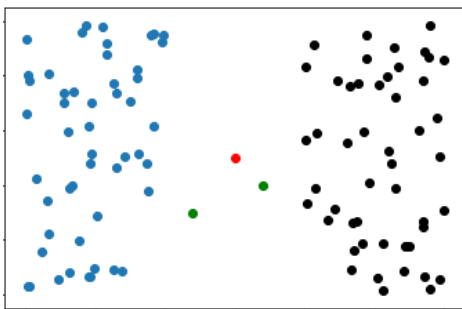


Figure 1. Sample wireless sensor network.

In this study, a new routing method is proposed for WSNs that use SDN topology. The proposed method is based on DRL, in which the lifetime of the WSN is included in the training of the DRL agent, so that, the efficiency of the WSN is improved, as the extension of the lifetime requires more efficient resources consumption from the nodes. According to their ability to process and output multi-dimensional arrays, two types of convolutional neural networks are used in the proposed method. One uses two-dimensional convolutional layers and the other uses three-dimensional. Despite the additional complexity that the use of the 3D convolutional layers imposes, the proposed method use these filters to summarize the characteristics of each node, represented by the corresponding feature values, into a single value, which can be used to provide more-accurate predictions. To improve the efficiency of the WSN and increase its lifetime, these models are required to avoid exhausting the nodes in the network by balancing the loading among the nodes and use alternative routes, which may not be the shortest, to avoid the use of nodes with very low energy remaining.

2. MATERIALS AND METHOD

The proposed method uses a deep neural network to estimate the reward expected for delivering the packet to the next hop, depending on the characteristics of the network and the packet's source and destination nodes. According to the good performance of the CNN, shown by Zhang et al. [24], the proposed method also uses this type of neural network for

the required task. However, as there are two types of CNN layers, 2D and 3D, both types are implemented and evaluated in this study. However, to allow the use of the proposed method in all networks, regardless of their topologies, the output of the neural network is set to be a two-dimensional matrix, where each value in this matrix represents the estimated reward if the packet is forwarded to the node in the corresponding position.

The information of the network and the packet are distributed in a three-dimensional array, which has $100 \times 100 \times 5$ size. The positioning of the hosts is scaled to 100×100 , regardless of the actual size of the environment, to maintain the simplicity of the neural network and allow the adoption of any possible topology of the networks. Each of the four layers in the input contains the values of one of the following information, each value is mapped based on the position of the host the value is corresponding to:

1. The remaining energy of each node.
2. A value of one corresponding to the position of the source host.
3. A value of one corresponding to the position of the destination host.
4. Value of ones positioned at the positions of the nodes that are within the range of the node that the packet is currently at.
5. Route description for the hosts that the packet has been through up to the current hop, where the source node is assigned with zero while the current host is assigned with one. Other hosts that the packet has passed through are assigned with value depending on the sequence of hosts in the route, lower values are assigned to the hosts the packet has passed through earlier. These values are calculated using the formula shown in Algorithm 1.

Algorithm 1: Packets hops representation algorithm.

Input: Hops' list of a packet; Position of nodes.

Output: Two-dimensional representation of the hops list.

Step1: $H \leftarrow$ Read hops list. $L \leftarrow$ Length(H)

$R \leftarrow$ Full(100×100 , -1). //A 100×100 array with the value -1 for the output.

Step2: For $i = 1$ to L :

$p = H(i).position$ //Find the position of the node of the current hop.

$R[p] \leftarrow i/L$ //Place the ratio between the position of the node in the path to the length of the route according to the mapped position of the node.

Step3: Return R

For instance, a packet initiated from the node A and has passed through the nodes B , D , H and M has a hops list $[A, B, D, H, M]$, as it has passed through these nodes in this order. According to Algorithm 1, a 100×100 matrix is

initiated and filled with that value -1. Then, the values $[0, 0.25, 0.5, 0.75, 1]$ are placed in the positions that the nodes $[A, B, D, H, M]$ map to, according to their actual position in the environment. This representation allows the neural network to recognize the position of each node the packet has been through and the order it has been passing from one node to another.

2.1.The 2D CNN Model

The model implemented using the 2D CNNs, shown in Table 2, is used to predict the reward of forwarding the packet for each node in the network. The output of the neural network is identical to the dimensions of the network, except that it contains a single layer, i.e. two-dimensional. The value per each position represents the reward estimated by the model when the packet is forwarded to that node. However, according to the possibility that the maximum reward does not map exactly over an existing node, the closest node to the position of the maximum reward is selected.

Table 1. Structure of the implemented 2D CNN model.

Layer	Filter	Number	
Type	Size	of filters	Output Shape
Conv2D	(2×2)	32	(100×100×32)
Conv2D	(2×2)	16	(100×100×16)
Conv2D	(3×3)	8	(100×100×8)
Conv2D	(5×5)	4	(100×100×4)
Conv2D	(5×5)	1	(100×100×1)

2.2.The 3D CNN Model

Table 2. Structure of the implemented 3D CNN model.

Layer Type	Filter Size	Number of filters	Output Shape
Conv3D	(1×1×5)	32	(100×100×5×32)
Average Pooling	(1×1×5)	-	(100×100×1×32)
Conv3D	(2×2×4)	16	(100×100×1×16)
Conv3D	(3×3×4)	8	(100×100×1×8)
Conv3D	(5×5×4)	4	(100×100×1×4)
Conv3D	(5×5×4)	1	(100×100×1×1)

Unlike the filters in 2D CNN layers, which can detect features in a single layer of the input array, the filters in the 3D CNN layers can detect features the combine values from multiple layers of the input, i.e. combine values from the third dimension of the input. Hence, a 3D average pooling layer is placed after the first 3D convolutional layer to summarize the values calculated by that layer into a single value per each node position. The existence of a 3D convolutional layer before the average pooling layer allows the neural network to adjust the effect of each piece of

information over the value produced for that node. Hence, the filter is the following convolutional layer can detect features that represent the overall characteristics of the node, instead of a single characteristic in the 2D model.

2.3.Training the DRL Model

Initially, the neural network has no knowledge about the rewards it can get for each action. Hence, the packets are forwarded in a random manner, so that, the reward returned by the network based on the selected action, i.e. next hop, is used to train the neural network. After a few iterations, the neural network starts to gain knowledge about the environment and how to deliver the packets from one node to another. However, this knowledge can be limited to the approaches recognized during the use of random actions. For example, the neural network may start to learn to deliver the packet to the destination node using the shortest path but still unable to extend the lifetime of the network. Thus, a fraction of the decisions is still required to be executed randomly in order to balance exploration and exploitation. Thus, a variable with a value equal to one is set at the first iteration and compared to randomly generated numbers in the interval $[0,1]$, so that, if the random number is greater than the value of the variable, the action is selected based on the output of the neural network. Otherwise, the action is selected randomly. This value of this variable is reduced by multiplying it to 0.99 after each iteration, so that, the number of actions selected based on the predictions of the neural network is increased as the knowledge of the neural network increases.

Per each iteration, the training of the neural network is continued until the energy of one of the network's nodes is drained. Then, the lifetime of the network is used to update the reward values of the neural network. However, as the delivery of each packet in the network is not related to other packets, the lifetime of the network is used to update the reward values of each packet solely, i.e. the packets deliveries are considered parallel operations rather than serial and the reward value is assigned for the last action or hop. This value is reduced using the discount factor (Gamma), which is set to 0.9, as higher values for the discount factor have shown better performance in [27].

The predictions of the neural network are updated using the formula shown in Equation 1, where Q is the predicted reward value for executing action a in state s . R is the actual reward value retrieved from the environment after executing the action, $\max Q'$ is the maximum reward expected from the agent after being in the new state s' , i.e. after forwarding the packet to the next hop.

$$New Q(s, a) = Q(s, a) + \alpha (R(s, a) + \gamma \max Q'(s', a') - Q(s, a)) \quad (1)$$

As the value computed using this formula represents only the reward value of the node the packet is forwarded to, the reward values for the other nodes are maintained as predicted by the neural network. Using such an approach, any prior knowledge is maintained and the knowledge extraction can continue even when random actions are selected. However,

to present the knowledge required by the neural network to avoid forwarding packets to positions that do not nodes in them, reward values of -1, i.e. punishments, are placed in the positions that have no nodes in them. This training procedure is conducted after the first node in the network is exhausted. However, instant training occurs when one of the following conditions occurs:

- The packet is forwarded to a node that is out of the transmission range of the current node.
- The packet is forwarded to a node that does not have sufficient power to receive or forward the packet unless it is the destination node.
- The packet is forwarded to a node that is in the list of hops that the packet has been through, to avoid infinite loops.
- The number of hops the packet passes through exceed 10 times the number of nodes in the network.

3. PERFORMANCE EVALUATION

In order to train and evaluate the proposed method, a simulation of WSNs is implemented using Python programming language [28] with a Windows computer running using an Intel® Core™ i7-7700 CPU of 2.8GHz frequency and 16GB of memory. The neural network is implemented using Keras library [29] on top of the Tensorflow [30] machine learning library. The implemented WSNs consist of random numbers of nodes, varying from 8 to 32, distributed randomly in a $1000 \times 1000m^2$ area. The packet size is set to 1024 bytes with 2Mbps data rate. Each node is initiated with 1 joule of energy and consumed 50×10^{-9} joule per each packet forwarded or received. The range of the nodes is set to 300 meters, where nodes with distances larger than this distance are considered unreachable. Each node consumes 10-10Joule/sec while in idle mode, i.e. not sending or receiving packets.

The neural network is trained using 100 randomly generated WSNs, where packets are randomly generated per each network until one of the hosts is exhausted. To ensure consistency among the generated WSNs and packets, to avoid biased evaluation, a random seed is used to ensure generating the same random sequences of values among the different types of neural networks. The performance of the SDN controlling method is evaluated based on the average number of hops required to deliver the packets, the average lifetime of the WSNs and the time required per each decision-making process, i.e. next hop selection. The performance is evaluated using a set of 10 randomly generated WSNs, different from those used in the training. The performance of the proposed method, using both types of CNN, is shown in Table 3 and compared to the state-of-the-art methods from the literature.

Table 3. Performance measures of the evaluated methods.

Method	Average hops	Average lifetime (s)	Prediction time (us)
2D-CNN	12.37	638169.21	316.03
3D-CNN	9.81	678251.62	351.71
Stampa et al. [26]	8.76	520364.41	283.10
Lin et al. [27]	9.32	578122.16	328.11
Zhing et al. [24]	10.53	541839.76	341.87

As the results in Table 4 show, the proposed method using the 3D-CNN model has achieved a significantly longer lifetime, especially when compared to the method in earlier studies. However, the methods proposed by Lin et al. [27] and Zhing et al. [24] have lower average number of hops packets pass through to reach their destinations. Such increment in the number of hops is an expected behavior as the proposed method searches for paths that maximizes the lifetime of the network rather than the shortest path. The method proposed by Stampa et al. [26] has the lowest average number of hops as this method emphasizes mainly on finding the shortest path in the network, which illustrates the capabilities of DRL in achieving the required tasks. Moreover, these results prove the hypothesis of this study that relying on the lifetime of the network in routing packets can balance the length of the paths the packets travel through and the energy consumption in the network. Thus, the proposed method can significantly improve the lifetime of IoT devices in WSNs.

Additionally, the average minimum power of the nodes, in the 10 WSNs that are used for the evaluation, is monitored during the operation of these networks. Per each second, the least remaining energy in any of the WSN's nodes is logged and averaged for each method, as shown in Figure 2. This comparison shows that the proposed method has been avoiding loading nodes with lower energies in order to extend the lifetime of the network. Moreover, Figure 2 also shows that the 3D-CNN has been able to consider such loading before the nodes start to get exhausted, which in return has been able to significantly improve the overall lifetime of the WSN, as shown in Figure 3.

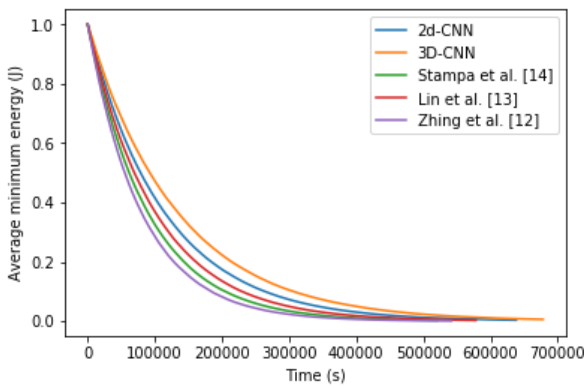


Figure 2. Average minimum node energy.

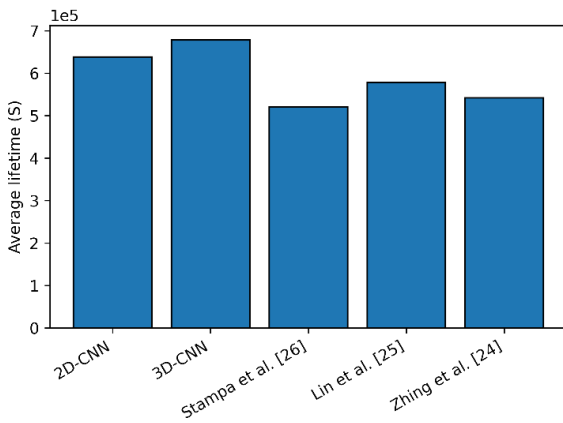


Figure 3. Average lifetime of the WSNs using existing and proposed methods.

Despite the ability of the 2D-CNN to improve the lifetime of the WSN, compared to the existing methods, the use of the 3D-CNN has shown significantly better improvement, as shown in Figure 3. Combined with the behavior of the WSN when using the 3D-CNN methods, shown in Figure 2, these results show that the earlier consideration that the 3D-CNN has been able to achieve has also been able to extend the lifetime of the network furthermore, compared to the use of the 2D-CNN. Additionally, the ability of the 3D-CNN to summarize the different input factors, after adjusting their values, to produce a single value per each node, according to the topology shown in Table 2, this neural network has been able to provide better predictions, in terms of finding the routes that can extend the lifetime of the WSN. However, the extension in the lifetime by using the proposed method, i.e. by avoiding the exhaustion of certain nodes, indicates that the packet are being forced to travel longer paths to reach their destination. Thus, the average number of hops that the use of each method has produced is measured and illustrated in Figure 4.

According to the results shown in Figure 4, the average number of hops required by the 2D-CNN is significantly higher than both the existing methods and the use of 3D-CNN. Such a behavior imposes a limitation toward the use of this neural network, especially in applications that require faster delivery of packets, as the additional hops in the route

indicate a definitely longer route. Nevertheless, this behavior is expected from the proposed method to avoid the use of exhausted nodes and cannot be considered as a limitation if it was not for the performance of the proposed method using the 3D-CNN. This neural network has been able to produce more-efficient routing, in terms of resources consumption, and maintain similar average of number of hops, compared to the existing methods. However, as shown in Figure 5, despite the longer paths that are used by the 2D-CNN, this method has been able to maintain high Packet Delivery Rate (PDR), compared to existing state-of-the-art methods. This indicates that these paths are still valid, despite being longer than those predicted using existing methods. Additionally, the use of 3D-CNN has been able to achieve higher PDR than any other methods, which indicates that this neural network has better consideration of the overall performance of the network, as the longer paths in the 2D-CNN have reduced the overall lifetime of the WSN, as shown in Figure 3.

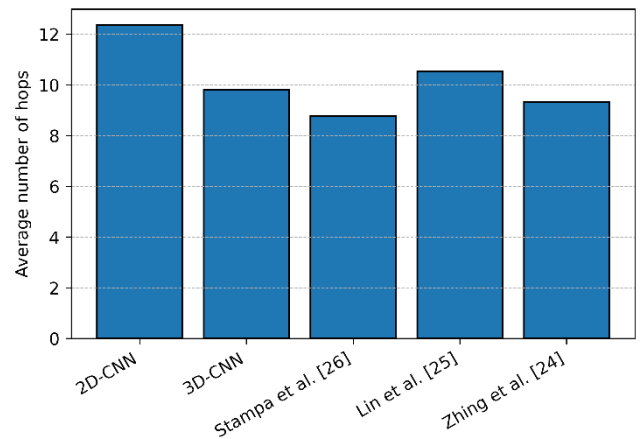


Figure 4. Average number of hops required to deliver the packets.

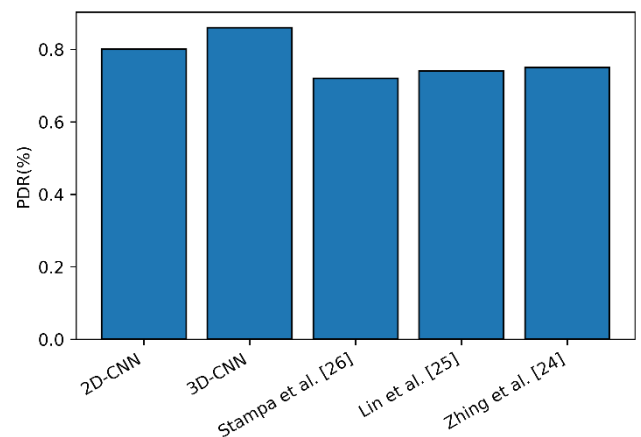


Figure 5. Average number of hops required to deliver the packets.

4. CONCLUSION

In this study, DRL is used to control the flow of packets in a WSN using SDN architecture. The proposed method aims to extend the lifetime of the network by balancing the loading among the network's nodes, to avoid exhausting certain nodes. According to the limited resources available on each node in the WSN, this balancing can significantly improve the lifetime of the node, which allows it to achieve more of its required task, i.e. collecting more data. This increment in lifetime is achieved by reducing the amount of traffic the nodes in the WSN are required to handle in order to route the payload packets that transfer the actual data that represent the measured values. Two CNN models are evaluated in this study, by using the 2D and 3D convolutional layers. The results show that the use of 3D layers has achieved better performance, according to the ability of these layers to detect features that combine different types of characteristics. Moreover, the proposed method has shown significant extensions in the lifetime of WSNs, compared to the existing state-of-the-art methods. However, this lifetime extension increases the average number of hops the packets travel through in order to reach their destinations. This increment in the number of hops is a result using alternative routes, rather than the shortest ones, to avoid exhausting the energy sources of certain nodes.

In future work, the use of a separate model for each node in the network is going to be evaluated and compared to the use of a central SDN. Using such an approach, each node can automatically select the next hop without contacting the SDN controller, which can reduce the amount of information being communicated with the controller. However, according to the high resources required to conduct the mathematical operations in neural networks, it is possible that the resources required to communicate the information remain less than that required to execute the computations locally.

REFERENCES

- [1].R. Vijayashree and C. Suresh Ghana Dhas, "Energy efficient data collection with multiple mobile sink using artificial bee colony algorithm in large-scale WSN," *Automatika*, vol. 60, pp. 555-563, 2019.
- [2].M. Krishnan, S. Yun, and Y. M. Jung, "Dynamic clustering approach with ACO-based mobile sink for data collection in WSNs," *Wireless Networks*, vol. 25, pp. 4859-4871, 2019.
- [3].T. Wang, J. Zeng, Y. Lai, Y. Cai, H. Tian, Y. Chen, *et al.*, "Data collection from WSNs to the cloud based on mobile Fog elements," *Future Generation Computer Systems*, vol. 105, pp. 864-872, 2020.
- [4].S. K. Singh and P. Kumar, "A comprehensive survey on trajectory schemes for data collection using mobile elements in WSNs," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 11, pp. 291-312, 2020.
- [5].M. Anand and T. Sasikala, "Efficient energy optimization in mobile ad hoc network (MANET) using better-quality AODV protocol," *Cluster Computing*, vol. 22, pp. 12681-12687, 2019.
- [6].P. Gupta, P. Goel, P. Varshney, and N. Tyagi, "Reliability factor based AODV protocol: prevention of black hole attack in MANET," in *Smart Innovations in Communication and Computational Sciences*, ed: Springer, 2019, pp. 271-279.
- [7].V. Sharma, B. Alam, and M. Doja, "An improvement in dsr routing protocol of manets using anfis," in *Applications of Artificial Intelligence Techniques in Engineering*, ed: Springer, 2019, pp. 569-576.
- [8].Z. Al Aghbari, A. M. Khedr, W. Osamy, I. Arif, and D. P. Agrawal, "Routing in Wireless Sensor Networks Using Optimization Techniques: A Survey," *Wireless Personal Communications*, pp. 1-28, 2019.
- [9].V. K. Quy, N. T. Ban, V. H. Nam, D. M. Tuan, and N. D. Han, "Survey of recent routing metrics and protocols for mobile Ad-hoc networks," *Journal of Communications*, vol. 14, pp. 110-120, 2019.
- [10].K. L. Arega, G. Raga, and R. Bareto, "Survey on Performance Analysis of AODV, DSR and DSDV in MANET," 2020.
- [11].N. E. Majd, N. Ho, T. Nguyen, and J. Stolmeier, "Evaluation of parameters affecting the performance of routing protocols in mobile ad hoc networks (MANETs) with a focus on energy efficiency," in *Future of information and communication conference*, 2019, pp. 1210-1219.
- [12].S. K. Singh and J. Prakash, "Energy Efficiency and Load Balancing in MANET: A Survey," in *2020 6th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*, 2020, pp. 832-837.
- [13].Y. Zhao, Y. Li, X. Zhang, G. Geng, W. Zhang, and Y. Sun, "A Survey of Networking Applications Applying the Software Defined Networking Concept Based on Machine Learning," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 95385-95405, 2019.
- [14].S. Sezer, S. Scott-Hayward, P. K. Chouhan, B. Fraser, D. Lake, J. Finnegan, *et al.*, "Are we ready for SDN? Implementation challenges for software-defined networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 51, pp. 36-43, 2013.
- [15].F. Tang, Z. M. Fadlullah, B. Mao, and N. Kato, "An intelligent traffic load prediction-based adaptive channel assignment algorithm in SDN-IoT: A deep learning approach," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, pp. 5141-5154, 2018.
- [16].M. Ojo, D. Adami, and S. Giordano, "A SDN-IoT architecture with NFV implementation," in *2016 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, 2016, pp. 1-6.
- [17].M. Baddeley, R. Nejabati, G. Oikonomou, M. Sooriyabandara, and D. Simeonidou, "Evolving SDN for low-power IoT networks," in *2018 4th IEEE Conference on Network Softwarization and Workshops (NetSoft)*, 2018, pp. 71-79.
- [18].J. Wu, S. Luo, S. Wang, and H. Wang, "NLES: A novel lifetime extension scheme for safety-critical cyber-physical systems using SDN and NFV," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, pp. 2463-2475, 2018.
- [19].L. Busoniu, R. Babuska, B. De Schutter, and D. Ernst, *Reinforcement learning and dynamic programming using function approximators* vol. 39: CRC press, 2010.


- [20].M. L. Littman, "Markov games as a framework for multi-agent reinforcement learning," in *Machine learning proceedings 1994*, ed: Elsevier, 1994, pp. 157-163.
- [21].J. Schmidhuber, "Deep learning in neural networks: An overview," *Neural networks*, vol. 61, pp. 85-117, 2015.
- [22].D. Silver, A. Huang, C. J. Maddison, A. Guez, L. Sifre, G. Van Den Driessche, *et al.*, "Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search," *nature*, vol. 529, pp. 484-489, 2016.
- [23].V. Mnih, K. Kavukcuoglu, D. Silver, A. A. Rusu, J. Veness, M. G. Bellemare, *et al.*, "Human-level control through deep reinforcement learning," *nature*, vol. 518, pp. 529-533, 2015.
- [24].D. Zhang, F. R. Yu, and R. Yang, "A machine learning approach for software-defined vehicular ad hoc networks with trust management," in *2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, 2018, pp. 1-6.
- [25].S.-C. Lin, I. F. Akyildiz, P. Wang, and M. Luo, "QoS-aware adaptive routing in multi-layer hierarchical software defined networks: A reinforcement learning approach," in *2016 IEEE International Conference on Services Computing (SCC)*, 2016, pp. 25-33.
- [26].G. Stampa, M. Arias, D. Sánchez-Charles, V. Muntés-Mulero, and A. Cabellos, "A deep-reinforcement learning approach for software-defined networking routing optimization," *arXiv preprint arXiv:1709.07080*, 2017.
- [27].M. A. Alsheikh, D. Niyato, S. Lin, H.-P. Tan, and Z. Han, "Mobile big data analytics using deep learning and apache spark," *IEEE network*, vol. 30, pp. 22-29, 2016.
- [28].B. Rhodes, J. Goerzen, A. Beaulne, and P. Membrey, *Foundations of Python network programming*: Springer, 2014.
- [29].F. Chollet, "Keras: The python deep learning library," *ascl*, p. ascl: 1806.022, 2018.
- [30].M. Abadi, P. Barham, J. Chen, Z. Chen, A. Davis, J. Dean, *et al.*, "Tensorflow: A system for large-scale machine learning," in *12th {USENIX} symposium on operating systems design and implementation ({OSDI} 16)*, 2016, pp. 265-283.


An Expert System to Predict Eye Disorder Using Deep Convolutional Neural Network


*^{1,2}Moahmmmed Rashid Ahmed, ³Adil Deniz Duru, ⁴Osman Nuri Uçan, ⁵Oğuz Bayat

¹Information Technology, Altinbas University, Knt.2093@yahoo.com , 

²Computer Science, Tikrit University, saadaljanabi95@gmail.com , 

³Physical Education and Sports Teaching, Marmara University, deniz.duru@marmara.edu.tr, 

⁴Electrical and Electronics Engineering, Altinbas University, osman.ucan@altinbas.edu.tr , 

⁵Electrical and Electronics Engineering, Altinbas University, oguz.bayat@altinbas.edu.tr , 

Research Paper

Arrival Date: 21.05.2020

Accepted Date: 17.12.2020

Abstract

Glaucoma according to the W.H.O is one of the major causes of blindness worldwide. Due to its complexity and silent nature early detection of this disease makes it hard to detect. There have been several techniques over the years for classification which have shown significant improvement over the past decade or two. Some of the many classification models are SVM (support vector machine), KNN (K- Nearest Neighbors), Decision tree, Logistic Regression and ANN (Artificial Neural Network) back propagation. For this paper we would consider different procedure and method of early detection of the glaucoma disease using the MATLAB Deep Convolutional Neural Network (DCNN). The DCNN based expert system basically works like the human brain with input, neurons, hidden layers and output. For this project Fundus image of both healthy image and glaucoma image are collected with good lighting condition so that all hidden features can be identify. The Fundus image are then passed through different image processing method such as Grayscale, B&W, Complement, Robert, Resize and power Transform. The fundus is then passed through a texture feature extraction algorithm know as Deep Convolutional Neural Network (DCNN). The features gotten are Contrast, Correlation, energy, Homogeneity, Entropy, Mean, Standard deviation, Variance, skewness and Kurtosis. After the feature extraction the data are arrangement on a spreadsheet which serves as a means of record. Lastly, a deep convolutional neural network is written with one hidden layer, 16 input neuron and 2 output either healthy or not. The data are split into train and test dataset with 70% for training 15% validation and 15% for testing. Accuracy of detection was 92.78% with the execution time of 5.33s only depending on the number of iteration or epochs.

Keywords: Expert system, DCNN, glaucoma, deep learning, eye disease, fundus images.

1. INTRUCTION

Statistic according to the World Health Organization shows that over 286 million people are affected with one form of eyes disease or the other. While 39 million are totally blind and 246 partially. Glaucoma being a major cause of blindness in the world today damages the optic nerves causing partial or total blindness depending on its stage. The eye disease is caused by increasing intraocular pressure (IOP) as explained in [1]. Also, other causes can be traced to heredity, ethnic background and having high myopia. It is also caused by poor blood flow which is meant to regulate the optic nerve. This disease is usually detected late due to the fact that it's usually painless until it gets to critical state as said in [2]. So, the ever-growing need for quick and automated detection is needed in most societies today.

In this paper we are going to introduce a system with a GUI that takes in images. Extracts features of the image passed

into it and perform different image processing techniques. This project would certainly be helpful in early Glaucoma detection and would cost less for such test to be perform on patients of all kinds. With this paper health care inflation would slow down, elimination of waste and increase in efficiency thereby reducing production cost would be experience in most hospitals.



Figure 1. Glaucoma Fungus image

*¹Corresponding Author: İstanbul Turkey ,Saadaljanabi95@gmail.com, 00905531789378

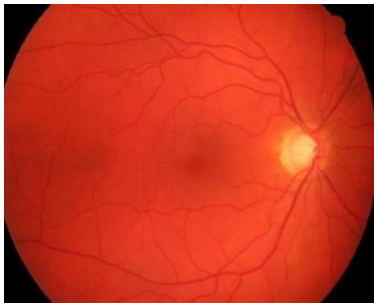


Figure 2. Healthy Fundus Image

The figure 1 and 2 are the fundus image of both healthy and glaucoma image which would be later passed through the DCNN algorithm to get necessary features. The goal of the project is to help design a system that is much faster and efficient in making accurate prediction. NOTE: this expert system is not aimed at replacing scientists in this field.

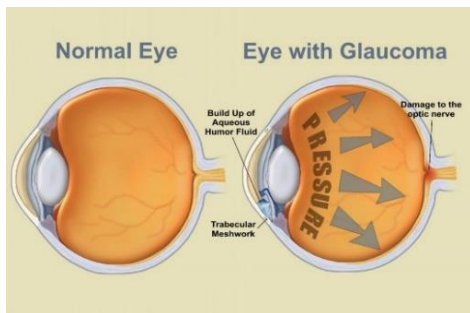


Figure 3. Pressure in Non-glaucoma and Glaucoma eyeball [3].

1.1. Problem Statement

The challenge inherent in biomedical information systems and eye diseases detection from detecting very reversed disease Glaucoma. Due to its growing complexity, this disease often causes serious damage to optic nerves that can be found and detected. However, there is no such automated expert system available for detecting glaucoma using deep learning techniques. Commonly referred to as a worst eye disease, these types of diseases can be very damaging and frustrating to humans. Therefore, as mentioned previously, the best strategy is to implement an expert system that could expect the inevitable result that with enough time and resources, an eye will inevitably gain access to the detection of glaucoma. It is paramount that when this occurs, the detection is discovered promptly and quarantined or eliminated before any material harm is done.

1.2. Aim of Study

- This research thesis approaches the challenge of detecting glaucoma eye disease using deep convolutional neural network in a two-fold manner.
- First, a fully connected Deep convolutional neural network (DCNN) is used to train on Fundus Images with supervised learning using labeled healthy and glaucoma disease.

- Kaggle dataset will be used which is more representative of modern-day eye disease for an expert system and do not have drawbacks of previous datasets commonly used in the field.
- We want to achieve a learning patterns of detecting eye disease by training a fully connected deep convolutional neural network for expert system
- The expert system can reliably and effectively detect glaucoma eye disease with a high degree of accuracy, high rate of recall, and a low rate of false positive rate.
- The expert system is considered to be a form of pattern-based detection because the system is trained on known well and known bad patterns and taught to detect these diseases in future, unseen flows using deep learning. İçerik 2 sütun halinde Times new roman olarak 10 punto halinde yazılmalıdır.

2. BACKGROUND

Great effort has been made by researchers all over the world and numerous studies have been presented over a period of years [4]. The fundus image is usually presented in RGB form, which are then converted to grayscale to make easy processing of the image. This is done because RGB are usually 3x the size of Grayscale image as described in [5]. Then different image processing technique are performed on the image to help understand the image better as differentiated in [6]. The GLCM feature extraction technique is then performed to get some feature after that passed to a neural network back propagation as given in [7].

Optic disk is very important in RGB of fundus image. As the optic disk extract features from ROI (region of interest). Also, Glaucoma is detected by the appearance of hemorrhages on optic disk.

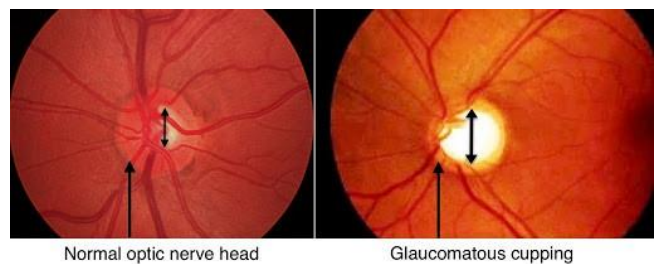


Figure 4. Optic nerve head of non-glaucoma and glaucoma eye [7].

Other faster ways of detection are applying convolutional neural network technique. This method works the same way the optical human eyes function. Image is first converted into pixels, this process is called convolution, after that it is passed to the hidden layer where max-pooling and fully-connected layer is form as described in [8]. The number of hidden layers depend on the data and how strong your computing power can process as much data as possible[9]. It is said to get a higher accuracy the number of hidden layers and neurons have to be increased. Dropout are usually added to prevent over-fitting of the model as updated by [10]. The DCNN network would be shown in further updates.

Researcher in [11] had a breakthrough a couple of years ago with the Concept of Transfer learning which otherwise known as pre-trained model with optimization. In this type of architecture neural network does not need to be built from stretch but rather an already built network is used with only the output removed. This technique was achieved during a competition organized yearly by ImageNet, with each competitor coming up with different models and architecture to see who have the best model with close to 100's of hidden layers as described by author in [12].

It should be noted that the transfer learning technique does not require much data as the pre-trained data contains millions of data with thousands of categories. Only the output sigmoid layer is removed and changed to your preferred output.

3. METHODOLOGY

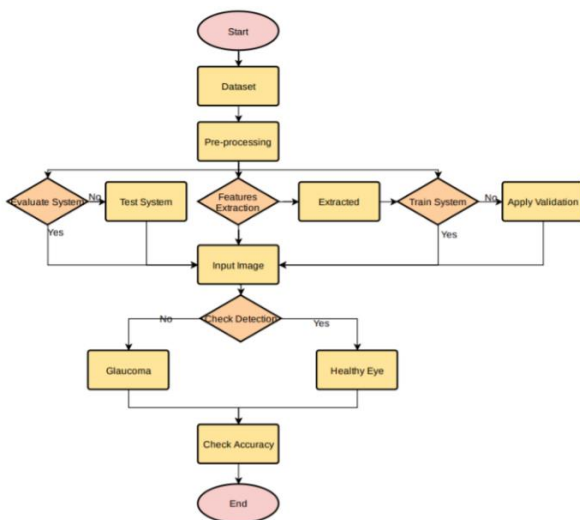


Figure 5. Flowchart shows an overall approach being followed.

The glaucoma eye disease detection is based on extracting features using the from fundus images. The different steps carried out would be shown on a flowchart, which gives a better understanding on steps carried out. This work will fill the gap of research where a separate model for each fundus image for eye disease was been created. The motivation is that training, deploying and maintaining an expert system for glaucoma eye disease could quickly become burdensome in big networks especially for deep learning systems. This work focuses on using newer benchmark dataset that have recently become available to the research community, the Kaggle Dataset [12] will be used using deep convolutional neural network on MATLAB R2018b. This deep convolutional neural network will have similar size and number of layers and their formula for the threshold will be used, albeit it will be modified – a parameter will be added to it, and an optimization is made for this parameter. Some details, such as activation function choice and optimization algorithm choice are this work’s original contributions. Additionally, this work will employ a feature selection mechanism and will

predict the accuracy of feature selection parameters efficiently using deep learning. This work will allow for assessment of deep convolutional neural network method accuracy on smaller feature subsets and for making a fairer comparison on eye diseases detection and classification for glaucoma with more advanced deep learning method.

3.1. Dataset Details

Kaggle Dataset deals with the process and form at which data are usually collected from a repository known as Kaggle. Data can either be in form of .JPEG or MPEG. But for this research the fungus images are in .JPEG form and are two folders both for the healthy and Glaucoma image. The most useful datasets for Glaucoma fundus images are those containing captures of real network environments. This dataset is easily shared with the public, as they contain details of Glaucoma and Healthy eyes, and more importantly sensitive information about the fundus images for expert system on the respective network. Furthermore, the effort required to create a labeled dataset from the raw network traces is an immense undertaking. As a consequence, researchers often resort to optimal dataset that can be shared amongst the research community on Kaggle.

3.2. Deep Convolutional Neural Network

Deep Convolutional Neural Network (DCNN) architecture and hyperparameters refer to the parameters that are set before the learning process begins. These DCNN hyperparameters are tuned based on a feedback loop of the model’s performance on the validation set.

Throughout the training and validation cycle, these hyperparameters are tuned in order to achieve highest and best performance for the deep learning model. The most effective neural network architecture and hyperparameters used in this work. The configuration for the deep convolutional neural network gave best results in the experiments. The first hidden layer for the continuous input features is much larger in this case at 128 neurons, than the number of inputs at 7. Smaller numbers of neurons were also tested, and found to achieve comparable results. Therefore, to keep architectures consistent, this same general configuration is also used in the study with Kaggle Dataset, which has many more continuous input features.

Hyperparameters fall into the following main categories:

- Layer size, number of units per layer
- Magnitude (momentum, learning rate)
- Regularization (dropout, L1, L2)
- Activation functions (sigmoid, relu, tanh, etc.)
- Weight initialization
- Loss functions
- Number of epochs to train, and batch size per epoch
- Data normalization scheme

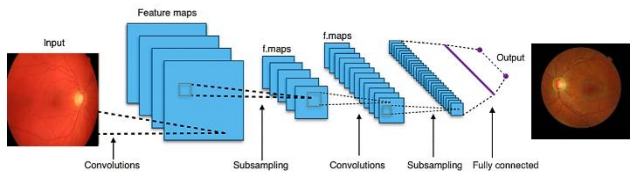


Figure 6. An architectural diagram of deep convolutional neural network from input leading to output different fully-connected layers for processing glaucoma.

3.3. Image Pre-Processing

Image processing basically deals with pixels adjustment. Adjusting the pixels of an image to a desired form. Data pre-processing are usually done to reduce contrast, unwanted noise of image, luminous of the image. For the pre-processing aspect the image is converted to grayscale, Black and White, Histogram Equalization and Thresholding.

More image pre-processing technique were carried out on the image using a Developed GUI on the MATLAB software.

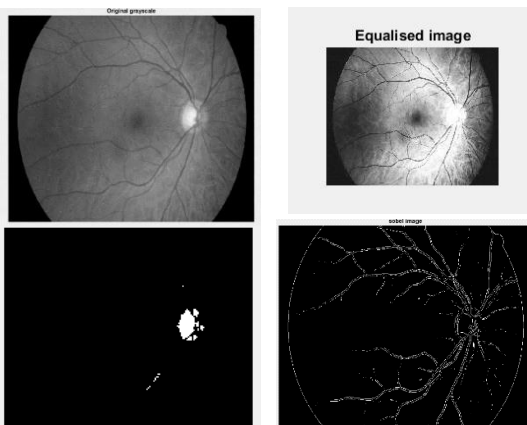


Figure 7. Thresholding applied on images.

3.4. Feature Extraction

Feature extraction is an important process before training and testing phase. This process involves extracting important features from the image dataset. This feature includes: Contrast, Correlation, Energy, Homogeneity and Entropy. The GLCM is a technique that evaluates texture of image by taking into attention the spatial relationship of pixels. In this research feature extraction is important to easy identify between the Glaucoma and healthy eyes. The matrices distance is usually in degree of various form which are starting from 0, 45, 90, and 135. To get a better accuracy we can increased the number of features gotten to be more.

3.4. Training and Testing

The dataset gotten was split into three parts 70% training, 15% testing and 15% Validation. A deep convolutional neural network back propagation was created using the MATLAB nntool. With a total of 60 epochs each was set.

The number of accuracies can also be increased if we retrain the neural network repeatedly.

The input data are set at 5 different input. With a single hidden layer, a total of 16 neuron are set in the hidden layer with 2 outputs. After the neural network have been created, the gotten feature that are extracted from the image are then passed into the network for easy classification between healthy or glaucoma. Note that we had to represent the string data in numerical form.

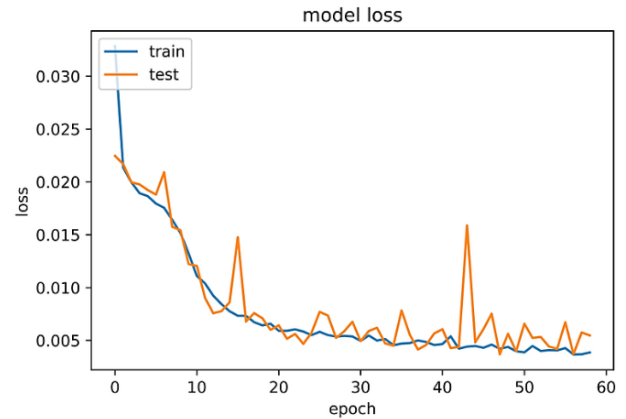


Figure 8. The training and testing parameters for deep convolutional neural network with respect to model loss and 60-epochs training.

4. RESULTS

In this section, we have considered two parameters while analyzing the deep learning algorithm (DCNN) on glaucoma samples for an accuracy in terms of percentage and time in terms of seconds. The experiment is carried using MATLAB R2018b Windows environment on 12 GB RAM and 3.2 GHz Intel Core i7 with 4 GB Nvidia GPU. After carrying out several experiments using the deep convolutional neural network, we have come to present all our findings here. We carried out deep convolutional neural network algorithms on our dataset. The results are shown as below. We have done the test procedure with 15% data which is equal to 13583 data. The deep convolutional neural network was created and trained on all features. Training was limited to 60 epochs with additional condition of early stopping, using functionality provided by deep learning toolbox. This ensures that the model is trained only until the score on validation set is not getting worse – this in turn helps to avoid overfitting the training set.

The deep convolutional neural network is trained to reconstruct inputs from a latent space representation based on only glaucoma and healthy eyes. Therefore, when it receives healthy eye sample as input, it is easier for the deep convolutional neural network to detect the eye, thus resulting in a higher accuracy. When there is sufficient amount of glaucoma in an eye sample image, a deep convolutional neural network take some more time to process and can be used to detect anomalous region by passing through whole pipeline of processing.

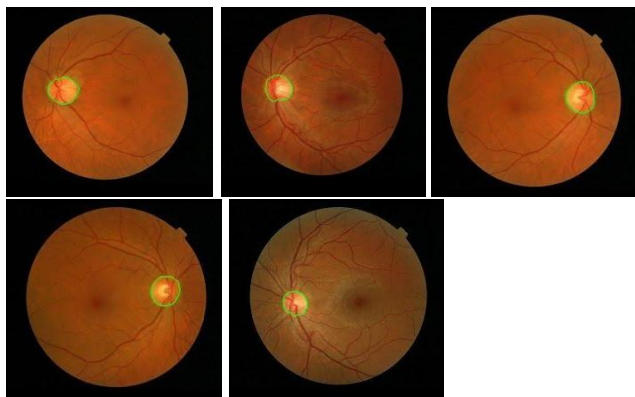


Figure 9. Final Output from the DCNN model detecting Glaucoma Disease Optic Centre of the fundus image

Table 1. The above table contains the sample image and the risk of the patient to confer to Glaucoma.

Sample Image	Glaucoma Risk
V0001.jpg	0.28218
V0002.jpg	0.34816
V0003.jpg	0.027847
V0004.jpg	0.28081
V0005.jpg	0.28086
V0006.jpg	0.77814
V0007.jpg	0.23869
V0008.jpg	0.35365
V0009.jpg	0.28825
V0010.jpg	0.24779
V0011.jpg	0.018874
V0012.jpg	0.22376
V0013.jpg	0.23201
V0014.jpg	0.3038
V0015.jpg	0.24816
V0016.jpg	0.24682
V0017.jpg	0.37032
V0018.jpg	0.39568
V0019.jpg	0.24506
V0020.jpg	0.6983

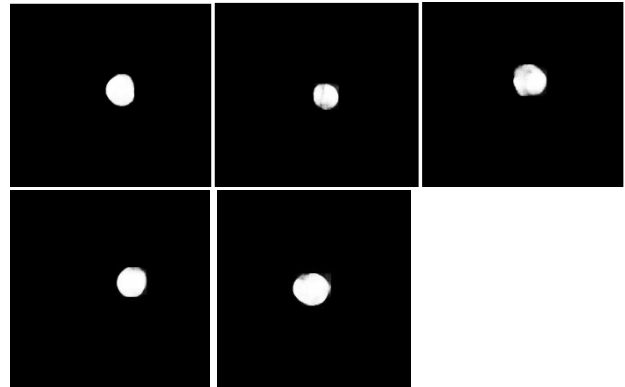


Figure 10. Masked Layers from DCNN Model for the detected Optic Centre of glaucoma disease.



Figure 11. The segmentation done by the model.

5. DISCUSSION

Convolutional Neural Network structures have been widely well studied in the discrimination of healthy subjects from controls or identifying different mental states of the subjects based on medical images in the literature [15, 16].

Deep Convolutional Neural Networks (DCNN) are effective when working with imagery data that consists of lots of examples, and with categorical variables of high cardinality, which are present in the domain of biomedical data.

Detecting glaucoma for the leverages and power of deep convolutional neural networks to achieve better results than other leading techniques without needing to perform much in the way of hand-engineered features, especially when the amount of training data is larger. Furthermore, it was found that using the glaucoma features as an embedded categorical feature enabled the best performance for the deep convolutional neural network. It is theorized that by using the DCNN technique and updating the weights of the glaucoma representation at each epoch, the DCNN forms a type of inherent memory about the disease in relation to the other features and the given label. Additionally, high performance was achieved when using the devised DCNN architecture for detection.

ARTICLE	TECHNIQUE	ACCURACY
[14]	Decision Tree	85.81%
[14]	Naive Baise	81.53%
[14]	Random Forest	86.63%
[14]	Neural Network	85.98
Proposed	Deep Convolutional Neural Network	95.77%

6. CONCLUSION

In this novel research work, we have developed an intelligence expert system for the purpose of detection of most dangerous eye disease using deep convolutional neural network. Deep learning methods demonstrated good detection and accuracy. For the training, testing and validation of Kaggle based dataset for eye diseases, a well-known MATLAB R2018b software was used for this purpose. A deep convolutional neural network is written with one hidden layer, 16 input neuron and 2 output either healthy or not. The data are split into train and test dataset with 70% for training 15% validation and 15% for testing. Accuracy is found to vary between 91-92% depending on the number of iteration or epochs. Moreover, DCNN method can work well with varying number of features and generally its performance for detection purpose does not suffer from extra features, meaning that in real world environment they offer the possibility of using all existing data features. It was also shown that there may not be a need to create different models for eye disease detection, and that one model trained on data can detect glaucoma disease efficiently. This works shows that the overall accuracy of deep learning models can mitigated to some degree with deep convolutional neural network technique and achieving the accuracy of up to 92.78% with the execution time of 5.33s only.

REFERENCES

- [1]. Xu, Y., Lin, S., Wong, T.Y., Liu, J., Xu, D.: Efficient ReconstructionBased Optic Cup Localization for Glaucoma Screening. In: MICCAI 2013
- [2]. C. Bowd, R. N. Weinreb, J. M. Williams, and L. M. Zangwill, "The retinal nerve fiber layer thickness in ocular hypertensive, normal, and glaucomatous eyes with optical coherence tomography," *Archives of ophthalmology*, vol. 118, no. 1, pp. 22–26, 2000.
- [3]. Space healthcare. Understanding glaucoma. <http://space-healthcare.com/wp-content/uploads/2015/02/glaucoma-300x197.jpg>.
- [4]. Hinton, G.E., Srivastava, N., Krizhevsky, A., Sutskever, I., Salakhutdinov, R.R.: Improving neural networks by preventing co-adaptation of feature detectors. In: Arxiv 2012
- [5]. Ciresan, D.C., Meier, U., Masci, J., Gambardella, L.M., Schmidhuber, J.: High-performance neural networks for visual object classification. In: Arxiv 2011
- [6]. Xu, Y., Xu, D., Lin, S., Liu, J., Cheng, J., Cheung, C.Y., Aung, T., Wong, T.Y.: Sliding Window and Regression based Cup Detection in Digital Fundus Images for Glaucoma Diagnosis. In: MICCAI 2011
- [7]. R. R. Selvaraju, M. Cogswell, A. Das, R. Vedantam, D. Parikh, and D. Batra, "Optic nerve head of non-glaucoma and glaucoma eye via gradient-based localization," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, pp. 618–626, 2017.
- [8]. P. J. Foster, R. Buhmann, H. A. Quigley, and G. J. Johnson, "The definition and classification of glaucoma in prevalence surveys," *British journal of ophthalmology*, vol. 86, no. 2, pp. 238–242, 2015.
- [9]. S. Ahmed, O. Uçan, Adil Deniz Duru, Oğuz Bayat, "Breast Cancer Detection And Image Evaluation Using Augmented Deep Convolutional Neural Networks", *Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi*, Vol. 2, No. 2, Pp. 121–129, 2018.
- [10]. J. De Fauw, J. R. Ledsam, B. Romera-Paredes, S. Nikolov, N. Tomasev, S. Blackwell, H. Askham, X. Glorot, B. ODonoghue, D. Visentin, et al., "Clinically applicable deep learning for diagnosis and referral in retinal disease," *Nature medicine*, vol. 24, no. 9, p. 1342, 2018.
- [11]. F. Iandola, M. Moskewicz, S. Karayev, R. Girshick, T. Darrell, and K. Keutzer, "Densenet: Implementing efficient convnet descriptor pyramids," *arXiv preprint arXiv:1404.1869*, 2014.
- [12]. Y. Wu and K. He, "Group normalization," in *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)*, pp. 3–19, 2018.
- [13]. Available Online: <https://www.kaggle.com/kondwani/eye-disease-dataset>.
- [14]. Malik, S.; Kanwal, N.; Asghar, M.N.; Sadiq, M.A.A.; Karamat, I.; Fleury, M. Data Driven Approach for Eye Disease Classification with Machine Learning. *Appl. Sci.* 2019, 9, 2789.
- [15]. D. G. Duru and A. D. Duru, "MR-MS Image Classification based on Convolutional Neural Networks," 2019 Scientific Meeting on Electrical-Electronics & Biomedical Engineering and Computer Science (EBBT), Istanbul, Turkey, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/EBBT.2019.8741752.
- [16]. D. G. Duru and A. D. Duru, "Classification of Event Related Potential Patterns using Deep Learning," 2018 Medical Technologies National Congress (TIPTEKNO), Magusa, 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/TIPTEKNO.2018.8597016.

Fluidized Electrooxidation Process Using Three-Dimensional Electrode for Decolorization of Reactive Blue 221

*¹Kubra Ulucan-Altuntas,¹Yildiz Technical University, Department of Environmental Engineering, Istanbul, Turkey,kuluca@yildiz.edu.tr, 

Research Paper

Arrival Date: 20.08.2020

Accepted Date: 21.11.2020

Abstract

With the addition of a particle electrode to the two-dimensional electrooxidation process using Pt coated titanium electrodes, the decolorization of reactive blue 221, one of the reactive dyes that are frequently used in the textile industry, has been studied. Experimental matrix was determined according to Box Behnken Design and evaluated with ANOVA results and surface plots. The selected independent variables were selected as color concentration, current density and time. Accordingly, it has been determined that the optimum condition 20 mA/cm² of current density, 20.5min of reaction time for the sample containing 60.6 mg/L color concentration. In addition, a separate study was carried out to determine the accuracy of the model with the experimental results, and it was compared with the adsorption and 2D electrooxidation process. Accordingly, it was obtained that the activated carbon in the 3D process, other than adsorption, acts as a carbocatalyst. The results of the study were evaluated according to Langmuir and Freundlich isotherms, pseudo-first-order and pseudo-second-order kinetic models, and it was found to be compatible with Langmuir and pseudo-second-order kinetic model. Maximum adsorption capacity was calculated as 5.93 mg/g from Langmuir isotherm.

Keywords: Particle Electrode, Three-dimensional electrode, Electrochemical processes, Electrooxidation, Decolorization

1. INTRODUCTION

The textile industry containing dye material creates an ecological problem by preventing the passage of sunlight in case of discharge of wastewater. Textile industry wastewater differs in terms of technologies used in which reactive dyes often used [1]. In recent years, electrochemical treatment methods have made great progress in wastewater treatment as it is both highly efficient and environmentally friendly than conventional treatment processes. Except from advanced oxidation processes such as ozonation [1], photocatalytic degradation [2] and Fenton [3] processes; electrocoagulation, electro-Fenton and electrooxidation methods have been frequently investigated for the treatment of textile wastewater containing dye materials [4 – 6]. However, there are some limitations in the application of these two-dimensional electrodes, such as the short life of the electrode used, the low current efficiency due to low conductivity [7]. In two-dimensional electrode (2D) processes, in order to eliminate these disadvantages, it can be eliminated by using three-dimensional electrodes (3D) using activated carbon or metal particles [8]. Significant increases in removal efficiencies are observed due to its large specific surface areas, adsorption and also catalytic reactions.

Particles placed between the anode and cathode which are not in direct contact with electricity act as a particle electrode

in the 3D electrochemical process. The adsorption of the pollutant material is inevitable because the particulate electrode has high specific surface area. However, since it will be in the electric field, one side of the particles will be charged as positively and the other side as negatively [7, 9], [10]. This formed electron adsorption allows them to exhibit catalytic properties. In the 2D electrooxidation process, oxidation takes place by transferring electrons on the anode and/or producing active species such as the hydroxyl radical electrically. Particle electrodes used in 3D electrooxidation processes act like micro electrolytic cells [7]. Except from the oxidation occurred on anode, active species can be produced directly or indirectly on the particle which contribute to increase degradation efficiency [9, 10]. It is mentioned in the literature that activated carbon converts H₂O₂ to hydroxyl radical and can be used as a carbocatalyst [11 – 13].

The most commonly used dyes in the textile industry are reactive dyes, and they are the main source of color in textile wastewater. In this study, the effect of 3D electrooxidation process was investigated in reactive blue 221 anionic dye removal as a pollutant source of textile wastewater. The studies on 3D electrooxidation processes were mostly researched for fixed bed particle electrode conversely, the fluidized bed reactor for 3D electrooxidation process is design for decolorization. In this process, activated carbon

*¹Corresponding Author: Yildiz Technical University, Department of Environmental Engineering, Istanbul, Turkey, kuluca@yildiz.edu.tr, +90 212 383 5399

was used as the particle electrode, and Ti/Pt and Ti electrodes were used as the anode and cathode, respectively.

2. MATERIALS AND METHOD

2.1. Materials

Experiments were carried out using Reactive Blue 221 (RB), which its trade name and CAS registry number are Strazol Reactive Blue GBRF and 93051-41-3, respectively. The chemical structure of RB is given in Figure 1. Sodium sulfate and activated carbon were purchased from Merck and Sigma Aldrich, respectively.

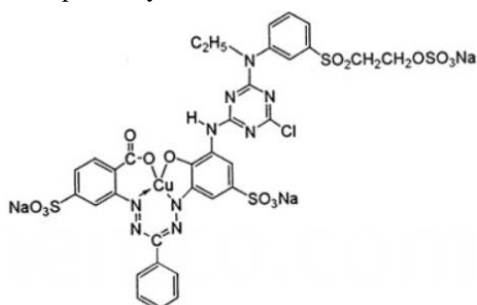


Figure 1. Chemical Structure of Reactive Blue 221

2.2. Experimental Studies

The experiments were conducted in a 100mL volume reactor which is shown in Figure 2. 3D electrooxidation process was established with Ti/Pt anode electrodes and Ti cathode electrode, which were placed with a 5cm electrode-gap. AC was added in 500mg/L concentration in the solution and to obtain fluidized characteristic inside the reactor, the solution was mixed at constant rate by WiseStir brand magnetic stirrer plate (MSH-20A model). Current density was applied with GW brand DC power supply (GPC-3060i model). For conductivity 40mM Na₂SO₄ was added.

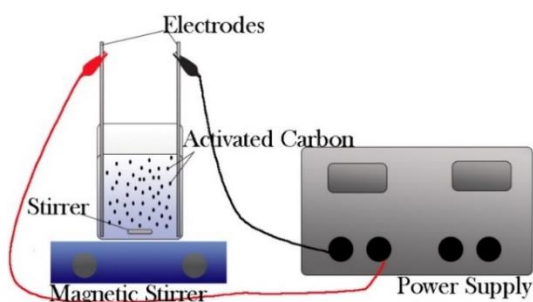


Figure 2. Experimental set-up

2.3. Response Surface Methodology

The design of experiment (DoE) is the advanced statistical tool that demonstrates mathematical models between inputs and outputs of processes [1]. Owing to the DoE, the factorial approach can identify critical factors in the process, with less substance consumption in research. Box-Behnken design (BBD), one of the response surface methods used as an alternative to factorial techniques, was designed in 1960 by

George Box and Donald Behnken. The dots placed on the edges, center, and center of the cubic design in the Box-Behnken design are coded as -1, 0, +1. In this study, these 3 factors are the independent variables chosen for 3 level design, color concentration, current density and time. The study matrix is given in Table 1. According to Table 1, the three independent variables were selected as Color concentration (X₁), current density (X₂) and time (X₃). Volume of the sample was 80 mL. pH and temperature of the sample was kept constant at pH 6 and 25°C, respectively [14]. The activated carbon concentration in the reactor was selected as 500 mg/L to eliminate high adsorption rates.

Table 1. Levels of independent variables

Independent Variables	Levels			
	-1	0	1	
Color Concentration, mg/L	X ₁	20	60	100
Current Density, mA/cm ²	X ₂	10	20	30
Time, min	X ₃	5	15	25

According to Table 1, experimental sets given in Table 2 was conducted, and accordingly second order model was analyzed via ANOVA results based on the Eq (1):

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (1)$$

In Eq (1) Y is the response which is dependent variable, X_i and X_j are coded independent variables, while β₀ represents intercept; β_i, β_{ii} and β_{ij} represent the coefficients of linear, quadratic and interaction terms, respectively. To analyse ANOVA and optimization, Excel program was used. The removal efficiencies are considered as response in BBD and were calculated by Eq (2).

$$E, \% = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

2.4. Isotherm and Kinetic Modeling

Adsorption isotherms and kinetic models were used to evaluate the adsorption properties of the particular electrodes used in the 3D electrooxidation process. In case the temperature is constant, adsorption capacity can be calculated by Equation (3):

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \cdot V}{m} \quad (3)$$

In Equation (3), q_e is adsorption capacity in mg/g, C_i and C_e are represented for initial and effluent color concentration in mg/L, respectively. V and m are sample volume in l and AC amount in g, respectively.

The suitability of isotherm models was considered. The commonly used isotherms Freundlich and Langmuir isotherm can be expressed as in Equation (4) and (5), respectively.

$$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

$$q_e = \frac{K_L q_{max} C_e}{1 + K_L C_e} \tag{5}$$

where, q_{max} is representing maximum adsorption capacity, $1/n$ is representing Freundlich density parameter, K_F and K_L are representing capacity coefficients for Freundlich and Langmuir, respectively.

Kinetic modelling is considered for Pseudo-first-order and Pseudo-second-order kinetic model, which can be expressed in Equation (6) and Equation (7), respectively.

$$\frac{dq_t}{dq} = k_1 * (q_e - q_t) \tag{6}$$

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 * q_e^2} + \frac{t}{q_e} \tag{7}$$

where, k_1 and k_2 (1/min) are kinetic coefficient for pseudo-first-order kinetic and pseudo-second-order kinetic modelling, respectively. q_e and q_t are representing the adsorption capacities in equilibrium and at time, respectively.

3. RESULTS AND DISCUSSION

While the most of the studies on 3D electrooxidation processes were researched with particle electrode in the fixed bed, the effect of the reactor set to be the fluidized bed on the color removal was investigated. For this purpose, BBD design with independent variables color concentration, current density and time was applied. The BBD experimental design concept and the results obtained are presented in Table 2.

ANOVA analysis of the study was applied via the Excel program, and the results were shown in Table 3. The significantly lower P value (6.57 E-04) than the F value (32.42) shows that the applied model is statistically significant. Furthermore, the regression coefficient of the model is high as 0.992 which is a sign of satisfactory prediction. Besides, a 95% confidence interval was used to determine whether the independent variables were significant. The importance of the independent variables is presented in Table 3 according to the P-value. If P-value is 0.05 and below, the independent variables are considered as effective. If it is much lower than <0.0001, that variable is accepted as the most significant variable and those which are above 0.05 value were not found effective. According to this information, the most significant and effective independent parameter was determined as color concentration. As stated by P-values, all independent variables are detected as effective. The coefficients also give the information of the effectiveness. While the linear coefficient of time was much lower, the quadratic coefficient of time was high. Time can take into consideration as the second effective variable. Coefficients also show how the parameter affects whether it is positive or negative. The negative coefficient of the color concentration indicates that efficiency will decrease with the increase in color concentration. As the variables of time and current density are positive, their effects will be positive. In

the light of these information, the Equation (8) can express the model.

$$y = 99.18 - 11.821.x_1 + 6.306x_2 + 7.835x_3 + 7.940x_1x_2 + 12.012x_1x_3 - 10.60x_1^2 - 11.248x_3^2 \tag{8}$$

Table 2. Applied BBD matrix for the decolorization

Runs	Color Concentration	Current Density	Time	Removal Efficiency, %
	X ₁	X ₂	X ₃	Y
1	-1	-1	0	99.97
2	1	-1	0	66.65
3	-1	1	0	98.54
4	1	1	0	97.98
5	-1	0	-1	95.54
6	1	0	-1	45.67
7	-1	0	1	87.97
8	1	0	1	83.15
9	0	-1	-1	78.34
10	0	1	-1	88.55
11	0	-1	1	96.66
12	0	1	1	100
13	0	0	0	99.34
14	0	0	0	99.21
15	0	0	0	98.99

Table 3. ANOVA results of BBD design

	df	SS	MS	F	Signif. F
Regression	9	3629.27	403.25	32.43	6.57E-04
Residual	5	62.18	12.44		
Total	14	3691.45			

	Coef.	Std. Err.	t Stat	P-value	Importance
Inter.	99.18	2.036	48.713	6.9E-08	-
X ₁	-11.821	1.247	-9.481	2.2E-04	Very Signif.
X ₂	6.306	1.247	5.058	0.004	Signif.
X ₃	7.835	1.247	6.284	0.001	Signif.
X ₁ X ₂	7.940	1.763	4.503	0.006	Signif.
X ₁ X ₃	12.012	1.763	6.813	0.001	Signif.
X ₂ X ₃	-2.218	1.763	-1.258	0.264	-
X ₁ ²	-10.600	1.835	-5.776	0.002	Signif.
X ₂ ²	1.455	1.835	0.793	0.464	-
X ₃ ²	-11.248	1.835	-6.129	0.002	Signif.

R² 0.992 - R_{adj}² 0.952

3D surface plot graphs obtained from the STATISTICS program were given in Figure 3. The effect of color concentration and time on removal efficiency was shown in Figure 3.a. It can be seen that removal efficiency decreases when the color concentration increases. Accordingly, in cases where the color concentration is below 60 mg/L and

the time is more than 15 minutes, the removal efficiency will be 99% and above. The effect of current density and color concentration on removal efficiency can be seen in figure 3.b. When these two independent variables are compared, it can be concluded that the effect of color concentration is higher than current density. The effect of current density is low when the color concentration is lower than 60 mg/L. However, the removal efficiency increases from 60% to 92% with the increment on current density when color concentration is 100 mg/L. In addition, when time and current density variables are compared in Figure 3.c, it can be concluded that time is more effective than current density. These results are similar to ANOVA results and comments. Optimum conditions can be seen in Table 4. According to BBD model, in order to remove 60.6 mg/L completely, 20 mA/cm² of current density and 20.5 min of reaction time is required. To see the accuracy of the model and to make a comparison with the 2D process, a study was conducted with the highest initial color concentration of 100 mg/L and the current density was set to 20 mA/cm² which is determined as optimum value. The results of this study, where time is chosen as a variable, can be seen in Figure 4. The experimental results are found to be in 95% confidence interval based on BBD model.

Table 4. Optimization results

Independent Variable		Levels	Actual Values
Color Concentration	X ₁	0.014	60.6 mg/L
Current Density	X ₂	0	20 mA/cm ²
Time	X ₃	0.553	20.5 min

The effect of particle electrode can be seen in Figure 4. The adsorption of activated carbon was also considered and detected as stabilized at approximately 10% of removal efficiency during the experiments. While adsorption was at 10%, the average of the difference between 2D and 3D processes was 19%. This shows that activated carbon acted as adsorbent and also carbocatalyst. Similar results were also obtained in literature [12, 13]. Adsorption capacity was calculated as 1.89 and 13.98 mg/g for adsorption of activated carbon and 3D electrooxidation process. The adsorption capacity was also enhanced. The adsorption capacity of RB 211 on sepiolite was also studied in Alkan et al. (2015), and found similar adsorption capacity for equivalent initial color concentration in higher ionic strength [14].

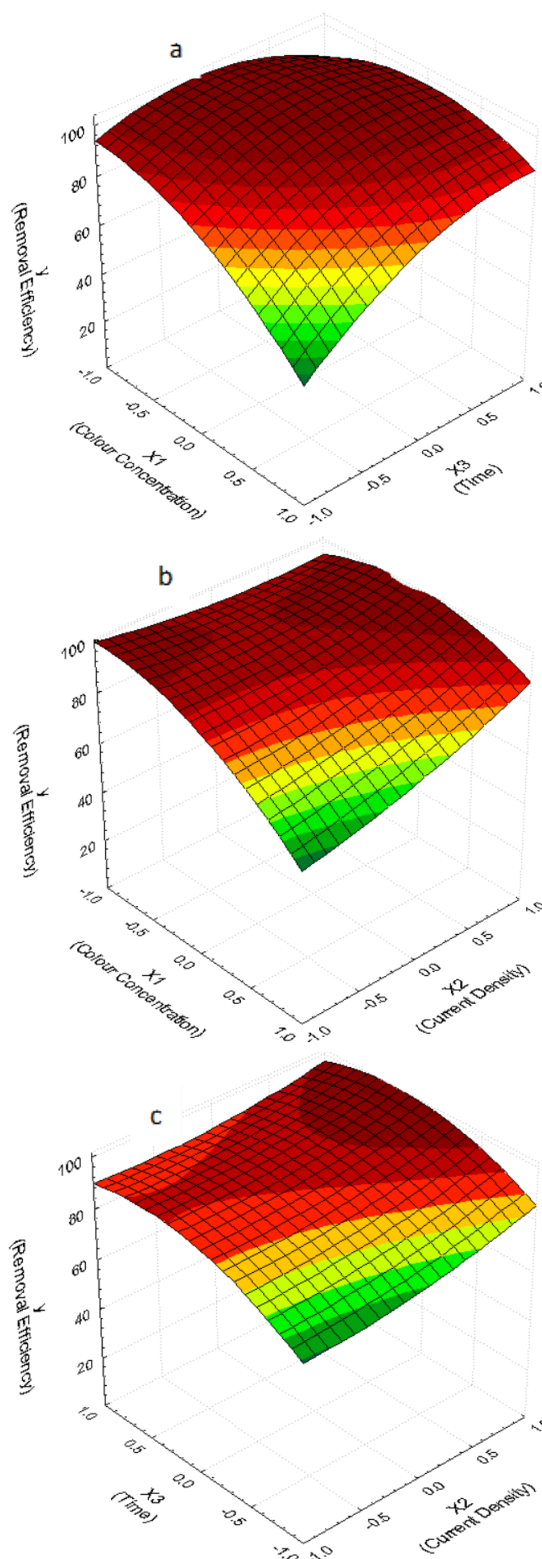


Figure 3. Effect of color concentration, current density and time on decolorization of RB by 3D-electrooxidation process

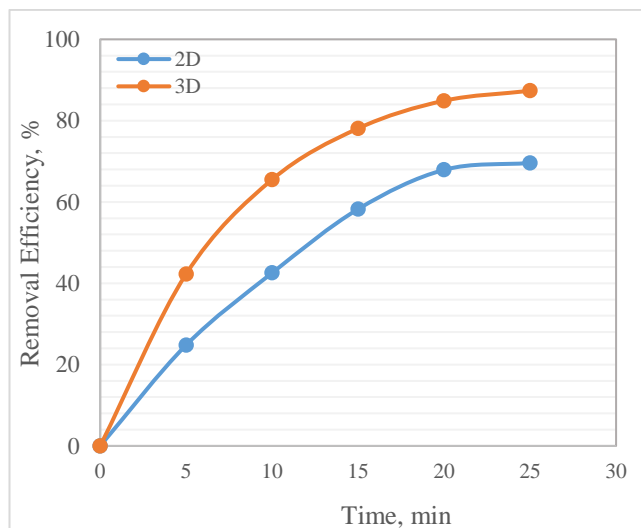


Figure 4. Comparison of 3D and 2D electrooxidation processes (Color concentration: 100mg/L, AC Concentration: 0.5 g/L, Current Density:20 mA/cm²)

Besides, the results are considered for their suitability for adsorption isotherms (Langmuir and Freundlich isotherms) and kinetic modelling (Pseudo-First order and Pseudo-Second order kinetics). The results of isotherm and kinetic modelling can be seen in Table 5. According to regression coefficient of isotherms, Langmuir isotherm model was found more suitable. While Freundlich isotherm modelling admits heterogenous energy, Langmuir accepts homogenous energy [15]. According to this information, 3D electrooxidation process is homogenous. When regression coefficients of Pseudo-first-order and Pseudo-second-order kinetic models compared, 3D electrooxidation process is more suitable for pseudo-second-order kinetic model. The suitability of pseudo-second-order kinetic model was analysed for polynomial (R²: 0.997) and linearized (R²: 0.995) indicates that the 3D process is a chemisorption [15 - 17]. As Tran et al. (2017) mentioned, advanced analysis techniques should be used to prove whether chemisorption was occurred [18]. Maximum adsorption capacity is found to be 19.095 mg/g.

Table 5. Comparison of isotherms and kinetic modelling

Model	Parameter	3D
Freundlich Isotherm	K _F	48.194
	n	-2.170
	R ²	0.915
Langmuir Isotherm	q _{max}	5.930
	K _L	0.337
	R ²	0.968
Pseudo second-order Kinetic	q _e	19.095
	k ₂	0.006
	R ²	0.995
Pseudo first-order Kinetic	q _e	28.874
	k ₁	0.121
	R ²	0.985

4. CONCLUSION

Three-dimensional electrooxidation process was conducted by using activated carbon, and model via Box-Behnken Design. The independent variables were selected as color concentration, current density and time. The ANOVA results and also surface plots of BBD design showed that the most effective parameter was color concentration, followed by time and current density. Color concentration less than 60 mg/L can be almost completely degraded in 15 minutes. Optimum conditions showed that 60.6 mg/L initial color concentration can be removed in 20.5 min by 20 mA/cm² current density and 500 mg/L AC concentration. When 3D process is compared with 2D process, the difference on removal efficiency was observed as approximately 19%. This shows that activated carbon acts as a carbocatalyst and as well as adsorbent. Besides, isotherm and kinetic modelling indicated that chemisorption was occurred. Iron, hematite and materials which give Fenton-like reaction in nano-sized should be investigated in 3D processes to enhance degradation for recalcitrant pollutants.


5. REFERENCES


- [1] K. Ulucan-Altuntas and F. Ilhan, “Enhancing Biodegradability of Textile Wastewater by Ozonation Processes: Optimization with Response Surface Methodology,” *Ozone: Science and Engineering*, 2018, doi: 10.1080/01919512.2018.1474339.
- [2] M. Sarioğlu Cebeci, S. Selçuk, “Atıksudan Fotokatalitik Yöntemle Boya Giderimi Ve Mineralizasyonu”, *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*. Vol. 8(3), pp. 533-539, 2020, doi: 10.21541/apjes.625338
- [3] F. Ilhan, K. Yetilmezsoy, A. Kabuk, K. Ulucan, T. Coskun, and B. Akoglu, “Evaluation of operational parameters and its relation on the stoichiometry of Fenton’s oxidation to textile wastewater,” *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 2017, doi: 10.2298/ciceq150907048i.
- [4] A. Aygun, B. Eren, Elektrokoagülasyon Yöntemiyle Reaktif Yellow 160 Boyar Maddesinin Giderimi. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*. 5(3): 10-18, 2017, doi: 10.21541/apjes.
- [5] E. GilPavas, P. Arbeláez-Castaño, J. Medina, and D. A. Acosta, “Combined electrocoagulation and electro-oxidation of industrial textile wastewater treatment in a continuous multi-stage reactor,” *Water Science and Technology*, 2017, doi: 10.2166/wst.2017.415.
- [6] A. Deghles and U. Kurt, “Treatment of raw tannery wastewater by electrocoagulation technique: optimization of effective parameters using Taguchi method,” *Desalination and Water Treatment*, 2016, doi: 10.1080/19443994.2015.1074622.
- [7] C. Zhang, Y. Jiang, Y. Li, Z. Hu, L. Zhou, and M. Zhou, “Three-dimensional electrochemical process for wastewater treatment: A general review,” *Chemical Engineering Journal*. 2013, doi: 10.1016/j.cej.2013.05.033.
- [8] R. Misra, N. N. Neti, D. D. Dionysiou, M. Tandekar, and G. S. Kanade, “Novel integrated carbon particle based three

- dimensional anodes for the electrochemical degradation of reactive dyes,” *RSC Advances*, vol. 5, no. 14, pp. 10799–10808, 2015, doi: 10.1039/c4ra13550d.
- [9] X. Zhu, J. Ni, X. Xing, H. Li, and Y. Jiang, “Synergies between electrochemical oxidation and activated carbon adsorption in three-dimensional boron-doped diamond anode system,” *Electrochimica Acta*, vol. 56, no. 3, pp. 1270–1274, 2011, doi: 10.1016/j.electacta.2010.10.073.
- [10] M. R. Foroughi, M., Rahmani, A. R., Asgari, G., Nematollahi, D., Yetilmezsoy, K. and Samarghandi, “Optimization of a three-dimensional electrochemical system for tetracycline degradation using box-behnken design,” *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 27, no. 3, pp. 1914–1922, 2018.
- [11] F. Lücking, H. Köser, M. Jank, and A. Ritter, “Iron powder, graphite and activated carbon as catalysts for the oxidation of 4-chlorophenol with hydrogen peroxide in aqueous solution,” *Water Research*, 1998, doi: 10.1016/S0043-1354(98)00016-5.
- [12] M. H. Zhou and L. C. Lei, “Electrochemical regeneration of activated carbon loaded with p-nitrophenol in a fluidized electrochemical reactor,” *Electrochimica Acta*, vol. 51, no. 21, pp. 4489–4496, 2006, doi: 10.1016/j.electacta.2005.12.028.
- [13] E. Andrés García, M. Agulló-Barceló, P. Bond, J. Keller, W. Gernjak, and J. Radjenovic, “Hybrid electrochemical-granular activated carbon system for the treatment of greywater,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 352, no. April, pp. 405–411, 2018, doi: 10.1016/j.cej.2018.07.042.
- [14] M. Alkan, S. Çelikçapa, Ö. Demirbaş, and M. Dogan, “Removal of reactive blue 221 and acid blue 62 anionic dyes from aqueous solutions by sepiolite,” *Dyes and Pigments*, 2005, doi: 10.1016/j.dyepig.2004.07.018.
- [15] K. Ulucan-Altuntas, E. Debik, C. B. Ustundag, M. D. Guven, and K. A. Gocen, “Effect of visible light on the removal of trichloromethane by graphene oxide,” *Diamond and Related Materials*, p. 107814, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2020.107814>.
- [16] A. Gunay, B. Ersoy, S. Dikmen, A. Evcin, “Investigation of equilibrium, kinetic, thermodynamic and mechanism of Basic Blue 16 adsorption by montmorillonitic clay”, *Adsorption*, vol.19, pp.757–768, 2013, doi: 10.1007/s10450-013-9509-4
- [17] F. Ilhan, K Ulucan-Altuntas, Y. Avsar, U. Kurt, A. Saral, “Electrocoagulation process for the treatment of metal-plating wastewater: Kinetic modeling and energy consumption” *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, vol. 13(5), pp.73, 2019, doi: 10.1007/s11783-019-1152-1
- [18] H. N. Tran, S. You, A. Hosseini-Bandegharai, H. Chao, “Mistakes and inconsistencies regarding adsorption of contaminants from aqueous solutions: A critical review” *Water Research*, vol:120, pp. 88-116, 2017, doi: 10.1016/j.watres.2017.04.014

İstanbul Boğazı'nda Transit Geçiş Yapan Gemilerin Egzoz Gazı Emisyonlarının İncelenmesi

*¹Aydın Tokuşlu, ²Selmin Burak

¹Türk Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, aydintokuslu78@gmail.com, 

²İstanbul Üniversitesi, sburak@istanbul.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 18.03.2020

Kabul Tarihi: 03.01.2021

Öz

Gemilerden salınan sülfür oksit, azot oksit ve partiküler madde emisyonlarının, insan ve çevre sağlığı üzerinde doğrudan zararlı etkisi yapılan bilimsel çalışmalarla ortaya konulmuştur. İstanbul ilinin nüfusunun yaklaşık %30'u (yaklaşık 4/5 milyon) İstanbul Boğazı'na yaklaşık 3/4 km mesafede yaşamaktadır ve Boğaz'da meydana gelen hava kirliliğine (NO_x, SO_x ve PM emisyonları) sürekli maruz kalmaktadır. Bu çalışmada, 2015 yılında İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan transit gemi trafiği (43.541 gemi) incelenmiş ve bu gemilerin ortaya çıkardığı baca gazı emisyonları 18.324 ton NO_x, 2.138 ton CO, 5.294 ton SO_x, 937.017 ton CO₂, 692 ton PM ve 693 ton VOC olarak hesaplanmıştır. Emisyon sonuçları yüksek seviyede bulunmuş olup, ihmal edilebilecek bir oranda değildir. Bu çalışma ile transit gemi trafiği emisyonlarının envanteri çıkarılmıştır. Bu deniz emisyonu envanterinin yanında Boğaz'daki yerel gemi trafiğinin, motorlu taşıtların, sanayi ve evsel ısınmanın da ortaya çıkardığı emisyonların hesaplanarak eklenmesi çok önemlidir. Emisyon envanteri, gelecek yıllar için İstanbul ilinde oluşacak hava kirliliği ve bu alanda alınabilecek tedbirler hakkında bize bilgi verecektir.

Anahtar Kelimeler: İstanbul Boğazı, hava kirliliği, emisyon, gemi trafiği, çevre kirliliği

Examination of Exhaust Gas Emissions of Transit Ships in the Istanbul Strait

*¹Aydın Tokuşlu, ²Selmin Burak

¹Turkish Naval Forces, aydintokuslu78@gmail.com

²Istanbul University, sburak@istanbul.edu.tr

Abstract

Scientific studies have showed that sulfur oxide, nitrous oxide, and particulate matter emissions emitted from ships have a direct harmful effect on human and environmental health. Approximately 30% (approximately 4/5 million) of the population of Istanbul city live about 3/4 km from the Istanbul Strait and are constantly exposed to air pollution (NO_x, SO_x, and PM emissions) occurring in the Istanbul Strait. In this study, transit ship traffic (43,541 ships) crossing the Istanbul Strait in 2015 was examined and the flue gas emissions generated by these ships were calculated as 18,324 tons of NO_x, 2,138 tons of CO, 5,294 tons of SO_x, 937,017 tons of CO₂, 692 tons of PM and 693 tons of VOC. Emission results have been found at a high level and not at a negligible rate. With this study, the inventory of transit ship traffic emissions has been created. In addition to this marine emission inventory, it is very important to add and calculate the emissions caused by local ship traffic, motor vehicles, industry, and domestic warming in the Strait. The emission inventory will inform us about the air pollution that will occur in Istanbul for the coming years and the measures that can be taken in this area.

Keywords: Istanbul Strait, air pollution, emission, vessel traffic, environmental pollution

1. GİRİŞ

Uluslararası deniz taşımacılığı diğer taşıma şekillerine göre en yeşil taşımacılık şekli olmasına ve beher kilometre başına taşınan birim yükte en düşük karbondioksit emisyonunu salmasına rağmen, küresel karbondioksit (CO₂) emisyonlarının %3,3'ünden sorumludur [1] (Şekil 1).

Gemilerin salınım yaptığı CO₂, azot oksit (NO_x) ve sülfür oksit (SO_x) emisyonları, küresel sera gazı emisyonlarının sırasıyla yaklaşık %2, %11 ve %4'ünü oluşturmaktadır [2]. Globalleşen dünyada enerji ve ham madde ihtiyacının yüksek seviyede olması sebebiyle en maliyet-etkin taşımacılık olan deniz taşımacılığı her geçen gün daha fazla tercih edilmektedir. Ancak, gemilerin ortaya çıkardığı hava

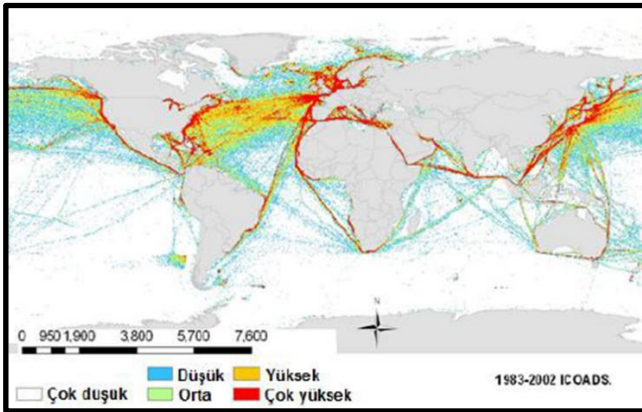
*¹Sorumlu Yazar: Türk Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, aydintokuslu78@gmail.com, 05066905844

emisyonlarının insan ve çevre sağlığı üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır.

Corbett vd. [3] yaptıkları bir çalışmaya göre, gemi baca gazı emisyonları sebebiyle yılda 60.000 kişinin akciğer kanseri ve kardiyopulmoner (kalp ve akciğer fonksiyonlarının durması) hastalığı nedeniyle öldüğü ve bu ölümlerin başta Avrupa, Doğu ve Güney Asya kıyılarında ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Sofiev vd. [4] gemi kaynaklı emisyonların 2020'de akciğer kanseri ve kardiyovasküler rahatsızlıktan dolayı yaklaşık 1 milyon kişinin erken ölümüne neden olacağını, Anenberg vd. [5] 2015'teki küresel taşımacılık kaynaklı erken ölümlerin %16'sının veya yaklaşık 60.000 kişinin ölümünün uluslararası gemi taşımacılığı kaynaklı olduğunu analiz etmiştir.

Dünya Sağlık Örgütü 2008 yılında yaptığı bir çalışmada, her yıl dış ortam hava kirliliği sebebiyle 1,3 milyon bebeğin prematüre olarak öldüğünü ve bu ölümlerin çoğunun (yaklaşık 800.000 kadarının) Asya kıtasında meydana geldiğini ortaya koymuştur [6].

Kalkınma ve Ekonomik İşbirliği Örgütü tarafından 2012 yılında yapılan bir projeksiyona göre, partiküler madde (PM) nedeniyle erken ölümler 2050 yılına kadar iki kattan fazla artacak ve yıllık 3,6 milyonu bulacaktır. Bu ölümlerin en fazla Çin ve Hindistan'da görüleceği belirtilmiştir. Dünyada PM_{2.5} kirliliği sebebiyle 500.000'den fazla insanın her yıl yaşamını kaybettiği tahmin edilmektedir [7][8].



Şekil 1. Dünyada uluslararası deniz taşımacılığı yoğunluğu [1]

Uluslararası deniz ticaretinin kullandığı yoğun ticari deniz güzergahlarından biri de İstanbul Boğazı'dır. İstanbul Boğazı'nın doğal yapısı sebebiyle geçiş yapan transit gemilerin sayıları artmamakta, mevcut artış gemilerin boyları ve tonajları ile olmaktadır [9]. Gemi baca gazı emisyonlarının hesaplanmasında gemi makine büyüklükleri ve tonajları önemli bir parametredir. Gemilerin büyüklükleri ile birlikte tonajlarının ve makinelerinin de büyümesi sonucu gemi kaynaklı baca gazı kirliliği aynı paralelde artış göstermektedir. Büyük tonajlı gemiler hareket etmek için daha büyük makinelere ihtiyaç duymakta ve büyük makineler de daha fazla yakıt tüketerek emisyon salınımının artmasına neden olmaktadır [10]. Ortaya çıkan emisyon

salınımı da insan ve çevreyi olumsuz etkilemektedir. Boğaz'dan geçiş yapan transit gemilerin yıllara göre geçiş sayıları Şekil 2'de sunulmuştur. Şekil 2'ye göre Boğaz'dan 1938 yılında geçiş yapan gemi sayısı 4.500 iken, 2015 yılı itibarıyla bu sayı 43.541 gemiyi bulmuştur [9]. Transit geçiş yapan gemilerin sayısı 2007 yılına kadar artarken, 2007 yılından sonra azalmaya başlamıştır. 2007 yılından sonra küçük tonajlı ve küçük ebatlı gemiler yerine, daha maliyet-etkin büyük tonajlı gemiler Boğaz'dan geçiş yapmaya başlamıştır. *Bu değişimin başlıca sebebi enerji boru hatları güzergahlarının değişmesi ve gemi acente sahiplerinin aynı iş için büyük tonajlı gemiler tercih etmeleridir* [10].



Şekil 2. İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan transit gemilerin yıllara göre geçiş sayıları [9].

Gemi baca gazı emisyonları ve İstanbul Boğazı'nda gemi emisyonları ile ilgili olarak literatürdeki çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmaların başında; Eyring vd. [11] gemi baca gazlarının insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkilerini analiz etmiş, gemi baca gazı emisyonlarının etkilerinin %70'inin kıyı şeridinden itibaren 400 km alan içerisinde daha fazla hissedildiği, bu emisyonların insan ve çevre sağlığını sürekli tehdit ettiğini ortaya koymuştur.

Vianna vd. [12] Avrupa kıyı bölgesinde yapılan deniz taşımacılığının ortaya çıkardığı emisyonların hava kalitesine etkilerini incelemiştir. Deniz taşımacılığı emisyonlarından partiküler maddelerin büyüklüklerine göre dağılımı, kıyı bölgesinde yaşayan nüfusun emisyonlara maruz kalma etkileri ve emisyonların atmosferik çökelmeleri de incelenmiştir. Yapılan analiz sonucunda Avrupa denizleri kıyı alanlarında gemi emisyonlarının ortaya çıkardığı partiküler madde emisyonlarının, havada oluşan partiküler madde kirliliğinin %1-7'sinin PM₁₀, %1-14'ünün PM_{1.5} ve en az %11'inin PM₁'in oluşturduğu hesaplanmıştır.

Jalkanen vd. [13] tarafından 2006-2009 yılları arasında Baltık Denizi'ndeki gemi trafiğinin ortaya çıkardığı egzoz gazı emisyonlarının (CO₂, NO_x, SO_x, CO ve PM_{2.5}) emisyon envanteri yapılmıştır. Yapılan çalışma kapsamında Baltık Denizi'nin SECA bölgesi ilan edilmesinden (Mayıs 2006) önce ve sonraki zamana ait gemi emisyonları da karşılaştırılmıştır. 2009 yılı NO_x emisyonlarının 2006 yılına göre %7 daha fazla arttığı, 2009 yılı SO_x emisyonlarının

2006 yılına göre %14 azaldığı tespit edilmiştir. Bunun sebebinin ise Baltık denizinin SECA ilan edilmesinin faydalı etkilerinin görülmesi olarak çalışma kapsamında değerlendirilmiştir.

Keskin ve Vardar [14] İstanbul ve Çanakkale Boğazı'larından geçiş yapan transit gemiler ile yerel gemi trafiğinin ortaya çıkardığı emisyonları incelemiştir. İstanbul Boğazı'ndaki yerel trafik emisyon sonucu 2.720 ton NO_x, 383 ton CO, 170.491 ton CO₂, 129 ton VOC, 80 ton PM ve transit gemi emisyon sonucu 4.344 ton NO_x, 403 ton CO, 173.362 ton CO₂, 131 ton VOC, 65 ton PM bulunmuştur. Yapılan çalışmada transit gemi emisyonlarının toplam gemi emisyonlarının %51'i oranında olduğu, hesaplanan NO_x gemi emisyonları toplamının İstanbul ilindeki motorlu taşıtların NO_x emisyonu toplamının %10'una karşılık geldiği tespit edilmiştir. Transit gemi tiplerinden genel kargo gemilerinin en çok emisyon salınımını yapan gemiler olduğu, onu tanker gemilerinin takip ettiği, Boğazlardan transit gemi geçişlerinin her yıl %5 oranında artmasının beklendiği ve aynı paralelde gemi baca gazı emisyonlarının da %5 oranında artacağı hesaplanmıştır.

Deniz ve Durmuşoğlu [15], Marmara Denizi'ndeki gemi trafiğini incelemiş ve emisyon analizi yapmıştır. Yapılan analize göre 2003 yılındaki gemi trafiğinin ortaya çıkardığı baca gazı emisyonları 5.451.224 ton CO₂, 111.039 ton NO_x, 87.168 ton SO₂, 20.281 ton CO, 5.801 ton VOC ve 4.762 ton PM olarak bulunmuştur. Bu emisyon salınımının, Türkiye genelindeki toplam emisyon çeşitlerinden %11 oranında NO_x, %0,1 oranında CO ve %0,12 oranında PM emisyonunu oluşturduğu tespit edilmiştir. Türk Boğazlarındaki gemi kaynaklı emisyonların, Marmara Denizi'ndeki emisyonlarının %20'sini oluşturduğu, Marmara Denizi'ndeki gemi kaynaklı emisyonların Türkiye'deki demiryolu ve hava yolu emisyonlarından daha fazla olduğu, kara yolu emisyonlardan ise daha az olduğu bulunmuştur. Yapılan analizde, Marmara Denizi'ndeki gemi kaynaklı NO_x, SO₂ ve CO₂ emisyon miktarlarının küresel toplam gemi emisyonlarının %1'ini oluşturduğu tespit edilmiştir. 2010 yılına kadar Marmara Denizi'ndeki gemi kaynaklı emisyon miktarının %30 oranında artış göstereceği analiz edilmiştir.

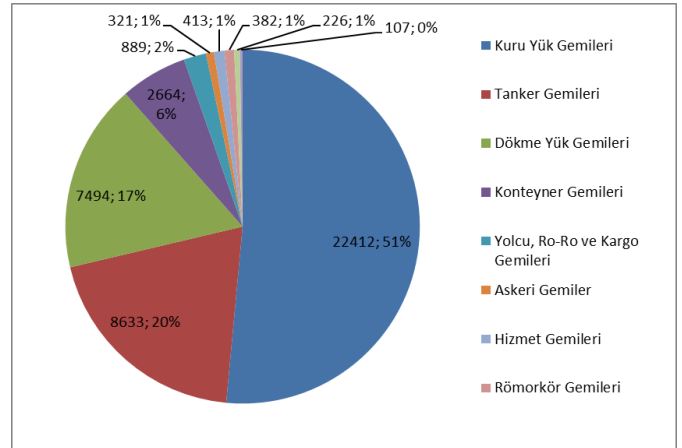
Bayırhan vd. [16] tarafından 2017 yılına ait İstanbul Boğazı'nda yerel trafiğin (Deniz Otobüsleri, Şehir Hatları, Turyol ve Dentur yolcu motorları) seyir, manevra ve günlük çalışma durumlarında ortaya çıkardıkları emisyonları analiz etmiştir. Yapılan çalışma sonucunda 151 adet deniz vasıtasının emisyonları, 767 ton NO_x, 79 ton TSP ve 34 ton Metan Haricindeki Uçucu Organik Bileşikler (NMVOC) olarak hesaplanmıştır.

Yapılan bu çalışmada 2015 yılında İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan transit gemilerin özellikleri incelenmiş ve ortaya çıkardıkları baca gazı emisyonları analiz edilmiştir. Analiz sonuçları literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırılmış ve İstanbul Boğazı için deniz emisyon envanteri oluşturmaya çalışılmıştır.

2. MALZEME ve YÖNTEM

2.1. Transit geçiş yapan gemilerin özellikleri

2015 yılında İstanbul Boğazı'ndan 43.541 adet gemi transit geçiş yapmış olup, gemi bilgileri Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü'nden elde edilmiştir [9]. Transit geçiş yapan gemilerin tiplerine göre dağılımı Şekil 3'te sunulmuştur. Geçiş yapan gemilerin %51'ni kuru yük gemileri, %20'sini tanker gemileri, %17'sini dökme yük gemileri, %6'sını konteyner gemileri, %2'sini yolcu, ro-ro ve kargo gemileri ve kalan %4'ünü ise yolcu gemileri, askeri gemiler, römorkör gemileri, yelkenli gemiler ve hizmet gemileri oluşturmaktadır.

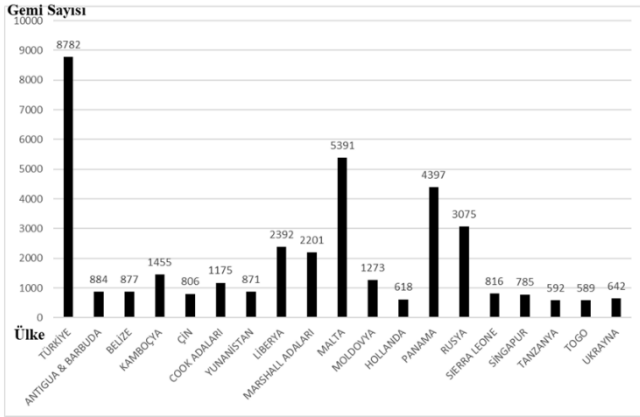


Şekil 3. 2015 yılında İstanbul Boğazı'ndan transit geçiş yapan gemilerin tiplerine göre dağılımı [9]

Geçiş yapan transit gemilerin bayrak devletleri dağılımı Şekil 4'te gösterilmiştir. Bu dağılıma göre 43.541 adet geminin;

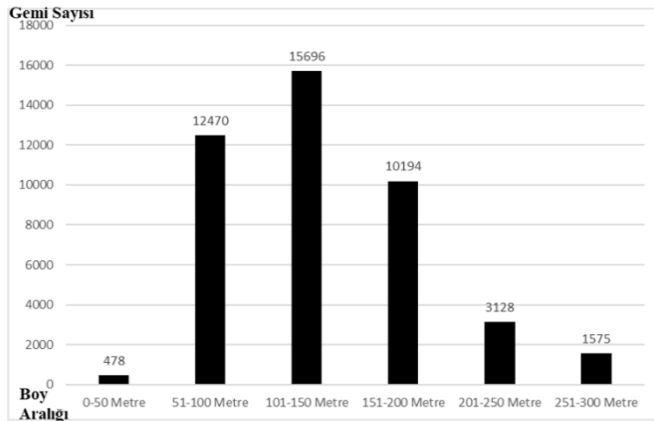
- 8.782 adedi (%22'si) Türkiye bayraklı,
- 5.391 adedi (%13'ü) Malta bayraklı,
- 4.397 adedi (%11'i) Panama bayraklı,
- 3.075 adedi (%8'i) Rusya bayraklı,
- 2.392 adedi (%6'sı) Liberya bayraklı,
- 2.201 adedi (%5'i) Marshall Adaları bayraklı,
- 1.455 adedi (%4'ü) Kamboçya bayraklı,
- 1.273 adedi (%3'ü) Moldovya bayraklı,
- 1.175 adedi (%3'ü) Cook Adaları bayraklı,
- 884 adedi (%2'si) Antiqua & Barbuda bayraklı,
- 877 adedi (%2'si) Belize bayraklı,
- 871 adedi (%2'si) Yunanistan bayraklı,
- 816 adedi (%2'si) Sierra Leone bayraklı,

ve geri kalan %15'i ise Ukrayna, Çin, Hollanda, Singapur, Togo, Tanzanya bayraklı gemilerdir [10]



Şekil 4. Transit gemilerin bayrak devletleri dağılımı

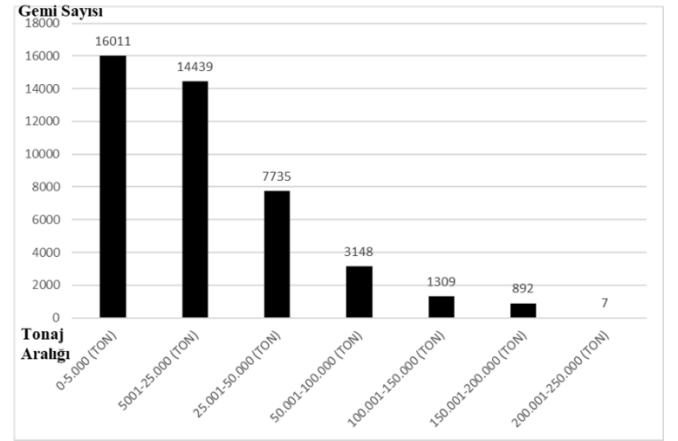
Transit geçiş yapan gemilerin gemi boy uzunlukları kolay hesaplama yapılabilmesi amacıyla 0-50 metre, 51-100 metre, 101-150 metre, 151-200 metre, 201-250 metre ve 250-300 metre aralıklara bölünmüştür. Buna göre boy uzunluğu 0-50 metre arasında 478 adet gemi (%1), 51-100 metre arasında 12.470 adet gemi (%29), 101-150 metre arasında 15.696 adet gemi (%36), 151-200 metre arasında 10.194 adet gemi (%23), 201-250 metre arasında 3.128 adet gemi (%7) ve 251-300 metre arasında 1.575 adet gemi (%4), İstanbul Boğazı'ndan 2015 yılında geçiş yapmıştır. Boğazdan transit gemi geçiş yoğunluğunu boyu 51-100 metre, 101-150 metre ve 151-200 metre arası toplam 38.630 adet gemi oluşturmaktadır [10]. Bu boy aralığındaki gemiler hem tonaj hem de makina gücü açısından en çok emisyon salınımlarını oluşturan gemilerdir. Transit gemilerin boy uzunluklarına göre dağılımı Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. 2015 yılında İstanbul Boğazı'ndan transit geçiş yapan gemilerin boy uzunluklarına göre dağılımı

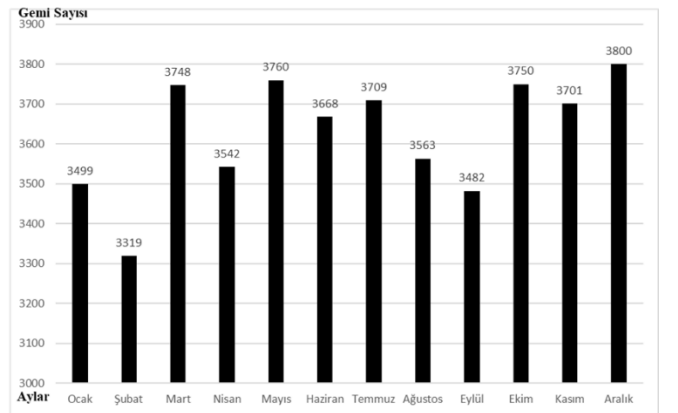
Transit geçiş yapan gemiler tonajları açısından 0-5.000 ton, 5.001-25.000 ton, 25.001-50.000 ton, 50.001-100.000 ton, 100.001-150.000 ton, 150.001-200.000 ton, 200.001-250.000 ton aralıkları ayrılmıştır. Geçen gemilerin 16.011 adedi 0-5.000 ton aralığında, 14.439 adedi 5.001-25.000 ton aralığında, 7.735 adedi 25.001-50.000 ton aralığında, 3.148 adedi 50.001-100.000 ton aralığında, 1.309 adedi 100.001-150.000 ton aralığında, 892 adedi 150.001-200.000 ton

aralığında, 7 adedi 200.001-250.000 ton aralığında bulunmaktadır. 0-5.000 ton ile 5.001-25.000 ton aralığındaki 30.450 adet geminin Boğazdan geçişin çoğunluğunu oluşturduğu, bir senelik Boğaz trafiğinin %70'ini oluşturduğu görülmektedir [10]. Geçen gemilerin tonaj dağılımları Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Geçen gemilerin tonaj dağılımları

Aylık transit gemi geçişleri ise Şekil 7'de sunulmuştur. Gemi geçişlerinin en çok Aralık ayında olduğu, onu Mayıs, Kasım ve Mart aylarının takip ettiği, en az gemi geçişlerinin Şubat ve Eylül ayları olduğu görülmektedir.



Şekil 7. İstanbul Boğazı'nda 2015 yılı aylık transit gemi geçişleri

2.2. Emisyon analiz yöntemi

Gemi baca gazı emisyonlarının hesaplanması için literatürde kullanılan çeşitli analiz metodolojileri bulunmaktadır. Bunların başında literatürde sıklıkla kullanılan Carlo Trozzi ve Rita Vaccaro isimli İtalyan akademisyenlerin hazırladığı emisyon analiz metodolojisi bulunmaktadır. Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğünden elde ettiğimiz gemi geçiş bilgilerine (gemi tipi, tonajı, gemi sürati ve seyir süresi) göre Trozzi ve Vaccaro analiz metodolojisi baca gazı emisyonlarının hesaplanması için kullanılmıştır. Trozzi ve Vaccaro analiz metodolojisi Microsoft Office Excel'deki Visual Basic Applications ile formüle edilerek analiz modeli oluşturulmuştur. Trozzi ve Vaccaro Metodolojisi

[17][18][19] gemi baca gazı emisyonları analizi formülü (1) aşağıda gösterilmiştir.

$$E_i = \sum jklm E_{ijklm} \quad (1)$$

$$E_{ijklm} = S_{jkm}(GT) * t_{jklm} * F_{ijlm}$$

$$S_{jkm}(GT) = C_{jkm}(GT) * P_m$$

i: Gemi baca gazları (SO_x, NO_x, CO₂, CO, PM, VOC)

j: Kullanılan yakıt

k: Gemi tipi

l: Makine tipi

m: Hareket modu (seyir, manevra, liman/demir)

E_i: Toplam emisyon

E_{ijklm}: Geminin m hareket moduna göre l makine tipi ve k gemi tipine göre kullanılan j tipi yakıtın toplam i kirlilik emisyonu

S_{jkm}(GT): Gemi gros tonajına göre k tipi geminin m seyir moduna göre j tipi kullanılan yakıt miktarı

t_{jklm}: Geminin m hareket moduna göre l makine tipi ve k gemi tipine göre kullanılan j tipi yakıtın günlük seyir süresi

F_{ijlm}: Geminin m hareket moduna göre l makine tipi ve kullanılan j tipi yakıtın oluşturduğu i kirlilik emisyonunun ortalama emisyon faktörü

C_{jkm}(GT): Gemi gros tonajına göre k gemi tipine göre tam güçte tükettiği günlük j tipi kullanılan yakıt miktarı

P_m: Geminin m hareket moduna göre kullandığı yakıt miktarının, tam yükteki yakıt miktarına oranı

Trozzi ve Vaccaro analiz metodolojisine [17] göre sülfür oksit (SO_x) emisyonu hesaplama formülü (2) aşağıda sunulmuştur.

$$SO_x \text{ Gemi Emisyonu} = [(Gemi \ Tipine \ Göre \ Ort. \ Tük. * Gemi \ Tonajı) * Gemi \ Hareket \ Modu * Gemi \ Seyir \ Süresi] * Gemi \ Adedi / 1000 * Hareket \ Modu \ Emisyon \ Faktörü \quad (2)$$

Diğer kirlenici gazların (NO_x, CO₂, CO, PM, VOC) hesaplaması için yukarıdaki formülün aynısı kullanılır ve kirlenici gaz için teker teker hesaplama yapılır. Gemi tiplerine ve tonajlarına göre gemi emisyonları değişmektedir. Emisyon hesaplamasında gemilerin tiplerine, tonajlarına, makine tiplerine göre gemilerin sınıflandırılarak hesaplamaya katılması çok önemlidir. Emisyon hesaplamasında gemi tonajının yanında geminin seyirde yaptığı seyir sürati ve seyir süresi de bir diğer önemli parametredir. Trozzi ve Vaccaro emisyon analiz metodolojisine [17] göre gemilerin tiplerine ve tonajlarına göre harcaacakları günlük yakıt tüketimi hesaplanmış olup, sonucu Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Gemilerin günlük yakıt tüketimi [17]

Gemi Tipi	Günlük Ortalama Tüketim (Ton)	Gemi Tonajına Göre Günlük Yakıt Tüketimi (Ton)
Dökme Yük Gemisi	33,80	C _{jk} = 20,186 + 0,00049 * Gemi Tonajı
Tanker	41,15	C _{jk} = 14,685 + 0,00079 * Gemi Tonajı
Kuru Yük Gemisi	21,27	C _{jk} = 9,8197 + 0,00143 * Gemi Tonajı
Konteyner	65,88	C _{jk} = 8,0552 + 0,00235 * Gemi Tonajı
Yolcu / Ro-Ro / Kargo	32,28	C _{jk} = 12,834 + 0,00156 * Gemi Tonajı
Yolcu Gemisi	70,23	C _{jk} = 16,904 + 0,00198 * Gemi Tonajı
Hızlı Feribot	80,42	C _{jk} = 39,483 + 0,00972 * Gemi Tonajı
Koster	21,27	C _{jk} = 9,8197 + 0,00143 * Gemi Tonajı
Gezi tekneleri / Yatlar	3,38	C _{jk} = 0,42682 + 0,00100 * Gemi Tonajı
Römorkörler	14,35	C _{jk} = 5,6511 + 0,01048 * Gemi Tonajı
Balıkçı Gemisi	5,51	C _{jk} = 1,9387 + 0,00448 * Gemi Tonajı
Diğer (Askeri, Hizmet Tekneleri vb.)	26,40	C _{jk} = 9,7126 + 0,00091 * Gemi Tonajı
Tüm Gemiler Ortalama	32,78	C _{jk} = 16,263 + 0,001 * Gemi Tonajı

Gemilerin yaptıkları hareketin modlarına (seyir, manevra, liman/demir) göre ana ve yardımcı makineleri kullanma durumları değişmektedir. Seyir halinde gemiler ana makinelerini kullanırken, manevra ve aborda durumlarında ana makinelerini düşük devirde kullanmakta, yardımcı makineleri (jeneratör) ise tam yükte çalıştırmaktadırlar [10]. Bu sebeple gemilerin yaptıkları emisyonların büyük bölümü, gemiler intikalde iken ve ana makinelerini kullanırken meydana gelir. Gemilerin ana ve yardımcı makine yük faktörleri Tablo 2'de belirtilmiştir. Bu tabloya göre gemiler ana makine gücünün seyirde %80'ini, manevrada ise %40'ını kullanmaktadır. Bunun sebebi gemi ana makinelerinin acil durumlar haricinde %100 oranda çalıştırılmaması, ana makinelerin fazla yorulmayarak uzun ömürlü olmasının ve yakıtta ekonomik kullanımın sağlanmasıdır. İstanbul Boğazı'ndan geçen gemiler, Boğazdan transit geçiş yaptıkları için analizde transit gemilerin sadece seyir modu hesaplamaya katılmış ve Trozzi ve Vaccaro analiz metodolojisindeki seyir modu emisyon faktörleri kullanılmıştır. Seyir modu emisyon faktörleri Tablo 3'te sunulmuştur. Emisyon analiz hesaplamalarına manevra, liman/demir modu ve yardımcı makine emisyonları dahil edilmemiştir.

Tablo 2. Ana ve yardımcı makine yük faktörleri [17]

Hareket Modu	Ana Makine Yük Faktörü	Jeneratör Yük Faktörü	Jeneratör Sayısı
Seyir	%80	%75	1
Manevra	%40	%75	2
Liman/Demir	%0	%75	1

Tablo 3. Seyir modu emisyon faktörleri (kg kirlilik/ton yakıt) [18]

Makine Tipi	NO _x	CO	CO ₂	VOC	PM	SO _x
Yüksek Devirli Dizel	60	2,8	3.200	1,0	0,52	10
Orta Devirli Dizel	57	7,4	3.200	2,4	1,2	10
Ağır Devirli Dizel	87	7,4	3.200	2,4	7,6	54
Gaz Türbini	18	0,8	3.200	0,3	0,01	10

Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü tarafından temin edilen transit gemi geçiş bilgilerinde gemi isimleri bulunmamakta olup, gemilerin ana makine özellikleri gerçek olarak bulunamamıştır. Dünya ticaret filosunun, %66'sını ağır devirli dizel makineleri, %32'sini orta devirli dizel makineler ve %2'sini ise yüksek devirli dizel makineler, stım türbinli ve gaz türbinli gemiler oluşturmaktadır. [20][21]. Bu çalışmadaki baca gazı emisyon analizinde de literatürde kullanılan ve yukarıda belirtilen genel kabuller referans alınarak Boğaz'dan geçen gemilerin%66'sının ağır devirli dizel makinelere, %32'sinin orta devirli dizel makinelere ve %2'sinin yüksek devirli dizel makinelere sahip olduğu düşünülerek hesaplamaya bu şekilde katılmıştır.

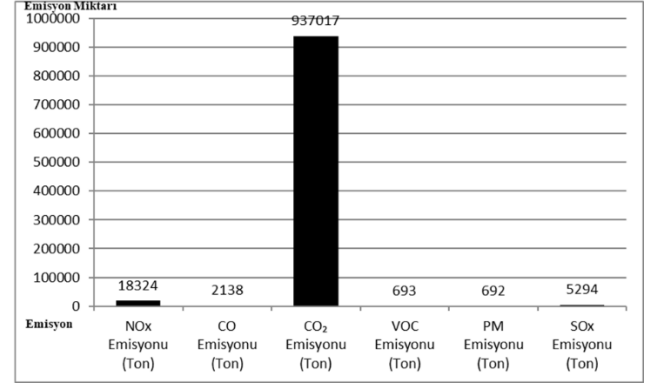
3. BULGULAR

Gemi baca gazlarının ortaya çıkardığı emisyon kirliliği türleri;

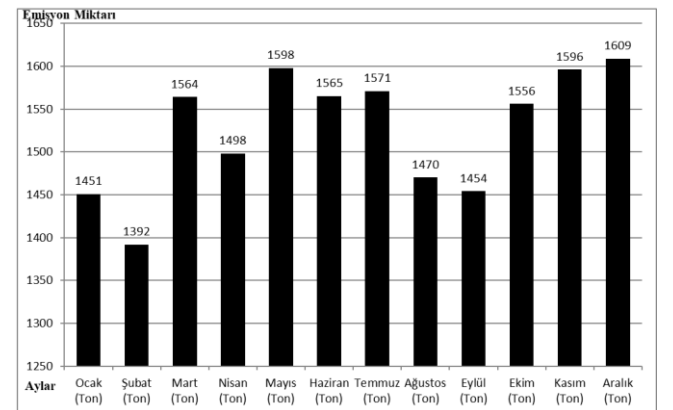
- Azot oksit (NO_x),
- Sülfür oksit (SO_x),
- Karbondioksit (CO₂),
- Karbonmonoksit (CO),
- Partiküler madde (PM),
- Uçucu organik bileşikler (VOC),
- Hidrokarbonlar (HC).

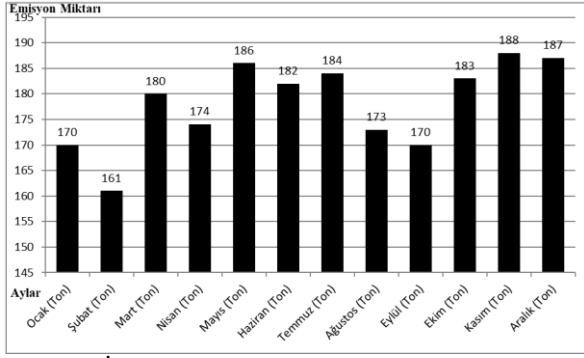
Bu emisyon kirliliklerinden azot oksitler, sülfür oksitler ve partiküler madde, insanların yaşadığı kıyı kesimlerinde çevresel ve yerel seviyede zararlı etkide bulunurken,

karbondioksit ve karbonmonoksit küresel seviyede zararlı etkide bulunmaktadır [10]. İstanbul Boğazı'ndan 2015 yılında geçiş yapan transit gemilerin Trozzi ve Vaccaro emisyon analiz metodolojisine göre ortaya çıkardığı baca gazı emisyonları 18.324 ton NO_x, 2.138 ton CO, 5.294 ton SO_x, 937.017 ton CO₂, 692 ton PM ve 693 ton VOC olmak üzere toplam emisyon miktarı 964.158 tondur (Şekil 8).

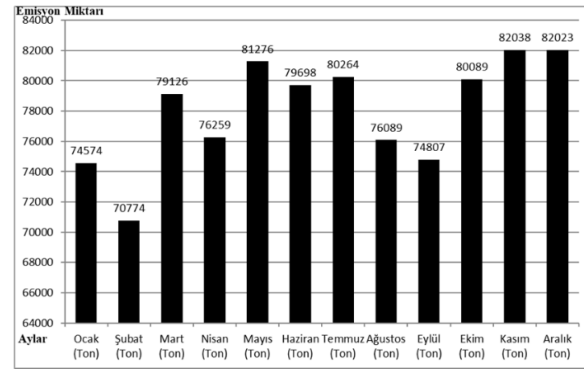
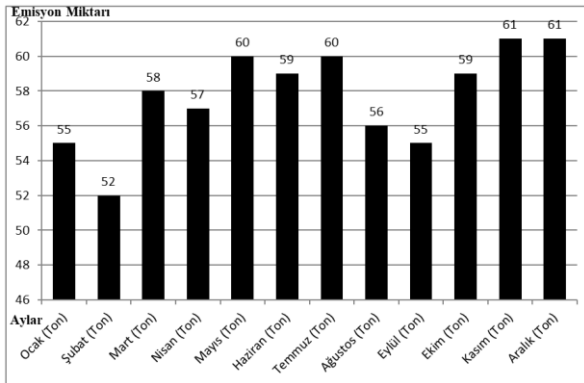
**Şekil 8.** İstanbul Boğazı transit gemiler 2015 yılı baca gazı emisyon sonucu

Trozzi ve Vaccaro emisyon analiz metodolojisine göre emisyon tipleri (NO_x, CO, CO₂, VOC, PM, SO_x) bazında aylık emisyon değerleri de hesaplanmış olup, sonuç grafikleri NO_x için Şekil 9'da, CO için Şekil 10'da, CO₂ için Şekil 11'de, VOC için Şekil 12'de, PM için Şekil 13'te ve SO_x için Şekil 14'te gösterilmiştir. Emisyon sonuçlarının aylık incelemesi sonucunda en çok emisyon salınımının Aralık, Mayıs ve Mart aylarında en yüksek seviyede olduğu, bu ayları Haziran, Temmuz ve Kasım aylarının takip ettiği görülmektedir. Bahse konu aylar ile transit gemilerin Boğazdan geçişteki en yoğun olduğu aylar ile örtüştüğü görülmektedir.

**Şekil 9.** İstanbul Boğazı 2015 aylık NO_x emisyon sonuçları



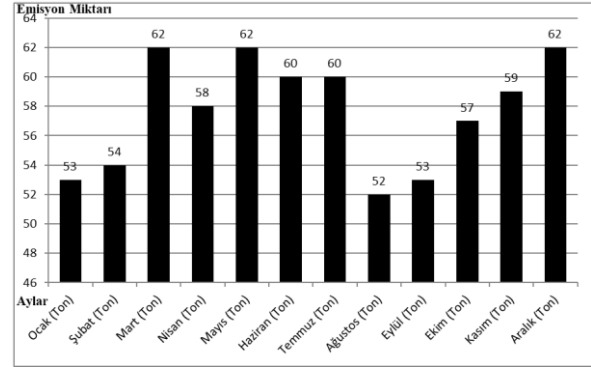
Şekil 10. İstanbul Boğazı 2015 aylık CO emisyon sonuçları

Şekil 11. İstanbul Boğazı 2015 aylık CO₂ emisyon sonuçları

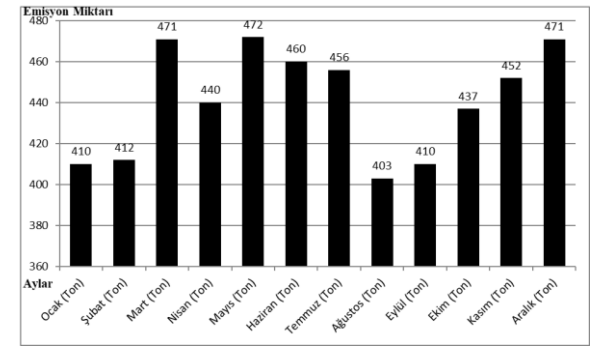
Şekil 12. İstanbul Boğazı 2015 aylık VOC emisyon sonuçları

İstanbul Boğazı bölgesinde önceden yapılmış analiz çalışmalarının bu çalışma ile karşılaştırılması Tablo 4'de gösterilmiştir. Bahse konu çalışmalarda da genel olarak Trozzi ve Vaccaro Emisyon Analiz Metodolojisinin (Kılıç [23] hariç) kullanıldığı ve analiz çalışmalarının farklı yıllarda olmasından dolayı sonuçların farklılık gösterdiği değerlendirilmektedir. Yapılan emisyon analizinde incelenen transit gemi sayısının (43.541) fazla olması sebebiyle NO_x, CO, CO₂, VOC, PM ve SO_x emisyonları, Kesgin ve Vardar [14], Çevirgen [22] ve Deniz ve Durmuşoğlu [15] tarafından hesaplanan emisyonlardan fazladır. Kılıç [23] tarafından elde edilen emisyon analiz sonuçları, bu çalışma sonucu göre daha fazla olup, bu farklılık Kılıç [23] tarafından kullanılan emisyon analiz

metodolojisinin bu çalışmadan farklı olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 13. İstanbul Boğazı 2015 aylık PM emisyon sonuçları

Şekil 14. İstanbul Boğazı 2015 aylık SO_x emisyon sonuçları

Tablo 4. İstanbul Boğazı'nda transit gemilerin yıllara göre emisyon karşılaştırması

Analiz Yılı	NO _x (Ton)	CO (Ton)	CO ₂ (Ton)	VOC (Ton)	PM (Ton)	SO _x (Ton)	Kaynakça
1998	4344	403	173362	131	65	-	[14]
2007	3788	323	139231	105	53	470	[22]
2008	6109	701	297787	228	263	5025	[15]
2008-2009	52033	-	2656247	-	4405	44375	[23]
2015	18324	2138	937017	693	692	5294	Bu Çalışma

4. DEĞERLENDİRME ve SONUÇ

2015 yılında İstanbul Boğazı'ndan 43.541 adet transit gemi geçiş yapmış olup, Trozzi ve Vaccaro Emisyon Analiz Metodolojisine göre bu gemilerin ortaya çıkardığı baca gazı emisyonları 18.324 ton NO_x, 2.138 ton CO, 5.294 ton SO_x, 937.017 ton CO₂, 692 ton PM, ve 693 ton VOC'dir. Gemilerden salınan sülfür oksit, azot oksit ve partiküler madde emisyonlarının, insan ve çevre sağlığı üzerinde doğrudan zararlı etkisi bulunmaktadır [10]. İstanbul ilinin yaklaşık 15 milyon nüfusunun yaklaşık 4/5 milyonunun Boğaz'a yaklaşık 3/4 km mesafede yaşadığı düşünüldüğünde gemi kaynaklı NO_x, SO_x ve PM emisyonlarının her geçen gün insan sağlığı tehdit ettiği ortaya çıkmaktadır. Bu emisyonlara İstanbul Boğazı'ndaki yerel deniz trafiğinin (şehir hatları, yolcu motorları vb.) de ortaya çıkardığı baca

gazı emisyonların da eklendiği düşünülürse tehlikenin boyutu tam olarak anlaşılacaktır. İstanbul ili ve Boğaz çevresi meteorolojik açıdan da kirli havayı temizleyecek kapasitede değildir. Yıl içindeki yağışlar çok az ve yetersiz, rüzgarlar düşük süratte esmektedir. Nisbi nem yüksek, hava devamlı yüksek basınçlı seviyededir [10]. Bu sebeple yerel ve transit gemi trafiğinin ortaya çıkardıkları emisyonların hesaplanarak İstanbul ili için bir gemi kaynaklı hava kirliliği emisyon envanterinin oluşturulması çok önemlidir. Oluşturulacak emisyon envanterinin diğer emisyon türleri (kara taşıtları, evsel ısınma, sanayii vb.) ile birleştirilerek İstanbul ili için bir temiz hava eylem planı oluşturulmasının ve alınabilecek tedbirlerin, önlemlerin belirtilmesinin gelecekte sağlıklı nesiller yetiştirilmesi açısından önemli olduğu değerlendirilmektedir.

TEŞEKKÜR

Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi editör ve hakemlerine çok teşekkür ederim.


KAYNAKÇA


- [1] Q. Buhaug, J.J. Corbett, Q. Endersen, V. Eyring, J. Faber, S. Hanayama, D.S. Lee, H. Lindstad, A. Mjelde, C. Palsson, W. Wanquing, J.J. Winebrake, K. Yoshida, “Updated study on greenhouse gas emissions from ships”, London, UK: International Maritime Organization, 2009.
- [2] O. Endresen, E. Sorgard, J.K. Sundet, S.B. Dalsoren, I.A. Isaksen, T.F. Berglen, G. Gravir, “Emission from international sea transportation and environmental impact”, *Journal of Geophysical Research*, 108 (17), 28-29, 2003.
- [3] J.J. Corbett, J.J. Winebrake, E.H. Green, P. Kasibhatla, V. Eyring, A. Lauer, “Mortality from ship emissions: A global assessment”, *Environmental Science and Technology*, 41(24), 8512–8518, 2007.
- [4] M. Sofiev, J.J. Winebrake, L. Johansson, E.W. Carr, M. Prank, J. Soares, “Cleaner fuels for ships provide public health benefits with climate tradeoffs”, *Nature communications*, 9(1), 406, 2018.
- [5] S. Anenberg, J. Miller, D. Henze, R. Minjares, “A global snapshot of the air pollution-related health impacts of transportation sector emissions in 2010 and 2015 (Tech. Rep.)”, The International Council on Clean Transportation, 2019
- [6] World Health Organization, Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide for Global update 2005, Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe, 2011.
- [7] André Nel, “Air pollution-related illness: effects of particles”, *Science*, 308, 804-806, 2005.
- [8] J.F. Wang, M.G. Hu, C.D. Xu, G. Christakos, Y. Zhao, “Estimation of citywide air pollution in Beijing”, *PLoS One*, 8 (1), 2013.
- [9] Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Denizcilik İstatistikleri, URL: https://atlantis.udhb.gov.tr/istatistik/istatistik_filo.aspx (Erişim zamanı; Haziran, 12, 2019).


- [10] Aydın Tokuşlu, “İstanbul Boğazı’nda Gemi Kaynaklı Hava Emisyonlarının Analizi ve Etkilerinin Ortaya Konulması”, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul, 2019.
- [11] V. Eyring, I.A.S. Isaksen, T. Berntsen, W.J. Collins, J.J. Corbett, O. Endresen, R.G. Grainger, J. Moldanova, H. Schlager, D.S. Stevenson, “Transport impacts on atmosphere and climate: shipping”, *Atmospheric Environment*, 44 (2010), 4735–4771, 2008.
- [12] M.Viana, P.P. Hammingh, A. Colette, X. Querol, B. Degraeuwe, I. Vlioger, J.V. Aardenne, “Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe”, *Atmospheric Environment*, 90, 96-105, 2014.
- [13] J.P. Jalkanen, L. Johansson, J.A. Kukkonen, “Comprehensive inventory of the ship traffic exhaust emissions in the Baltic Sea from 2006 to 2009”, *The Royal Swedish Academy of Sciences*, 43, 311–324, 2012.
- [14] U. Kesgin, N. Vardar, “A study on exhaust gas emissions from ships in Turkish Straits”, *Atmospheric Environment*, 35, 1863-1870, 2001.
- [15] C. Deniz, Y. Durmuşoğlu, “Estimating shipping emissions in the region of the Sea of Marmara”, *Science of the Total Environment*, 390, 255-261, 2008.
- [16] İ. Bayırhan, K. Mersin, A.Tokuşlu, C.Gazioğlu, “Modelling of Ship Originated Exhaust Gas Emissions in the Istanbul Strait”, *International Journal of Environment and Geoinformatics (IJECEO)*, 6(3): 238-243, 2019.
- [17] C. Trozzi, R. Vaccaro, “Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships”. European Commission Under the Transport RTD Programme of the 4th Framework Programme Technical Report, Roma, Italy: Techne, (1998).
- [18] C. Trozzi, R. Vaccaro, “Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships: a 2006 update”. *Environment & Transport 2th International Scientific Symposium including 15th conference Transport and Air Pollution, Proceedings 108, 425, 12-14 June 2006, Reims, France, (2006).*
- [19] Carlo Trozzi, “Emissions estimate methodology for maritime navigation”, *Techne Consulting Report, San Antonio, Texas: Techne, (2010).*
- [20] J.J. Corbett, P.S. Fishbeck, “Emissions from ships”, *Science*, 5339, 823-824, 1997.
- [21] M.E. Davies, G. Plant, C. Cosslett, O. Harrop, J.W. Petts, “Study on the Economic, Legal, Environmental and Practical Implications of a European Union System to Reduce Ship Emissions of SO₂ and NO_x”. Final Report for European Commission Contract, England: BMT Murray Fenton Edon Liddiard Vince Limited, (2000).
- [22] Mehmet Sedat Çevirgen, “İstanbul’da deniz yolu ulaşımının sera gazı emisyonlarına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
- [23] Alper Kılıç, “Marmara Bölgesi’ndeki Deniz ve Hava Taşımacılığında Kaynaklanan Emisyon Envanterinin Oluşturulması ve Hava Kirliliğinin Modellenmesi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014.

Supplier Selection for a Business Operating on a Just-in-Time Production System Using an Integrated DEMATEL and MULTIMOORA Approach

*¹Alparslan Serhat Demir, ²Mine Büşra Gelen, ³Şeyma Acır

*¹Department of Industrial Engineering, Engineering Faculty, Sakarya University, Sakarya, Turkey, alparslanserhat@sakarya.edu.tr, 

²Program of Industrial Engineering, Institute of Natural Science, Sakarya University, Sakarya, Turkey, minebusra92@gmail.com, 

³Program of Industrial Engineering, Institute of Natural Science, Sakarya University, Sakarya, Turkey, seymaacir@hotmail.com, 

Research Paper

Arrival Date: 11.09.2020

Accepted Date: 07.11.2020

Abstract

In today's industry, increasing competition and rising customer expectancies are driving businesses to expect some criteria such as cost, quality and fast service from their suppliers at certain levels. Especially for automotive companies working on just-in-time production, it is of utmost importance that these criteria are best achieved by suppliers. While suppliers who meet the criteria at an optimal level are preferred, firms part company with the suppliers who cannot meet these expectations. For this reason, the choice of suppliers for just-in-time companies has become a major problem. In this study, the problem of supplier selection of an automotive subsidiary industry company working with a just-in-time production system was solved using an integrated use of DEMATEL and MULTIMOORA methods. In the study, the MOORA ratio method, the Reference point approach and full multiplicative methods were applied on the supplier selection problem by operating with weights obtained from DEMATEL. The results obtained were assessed using the ordinal dominance theory and the best suppliers were selected.

Keywords: Supplier Selection, DEMATEL, MULTIMOORA, Multi Criteria Decision Making

1. INTRODUCTION

The effect of goods or services received from suppliers on the quality of products or services offered by businesses is undeniable. Particularly, due to the effect of globalization and competition, the proliferation of alternatives in supplier selection has prompted businesses to be more selective. The selection of suppliers for companies operating on a just-in-time (JIT) production system is also of importance. Supplier selection is one of the key components of the JIT philosophy in Fig. 1 [1].

There are several studies conducted regarding the criteria to be considered in the supplier selection process of JIT companies. When the studies conducted by Holmstrom (1998), Lummus et al. (1998) and Schorr (1998) are summarized, it is seen that eight criteria (delivery flexibility, quality and reliability, price, delivery time, location, technological capabilities, financial stability and supplier chain management) affect the JIT supplier selection process in Fig. 2 [2].

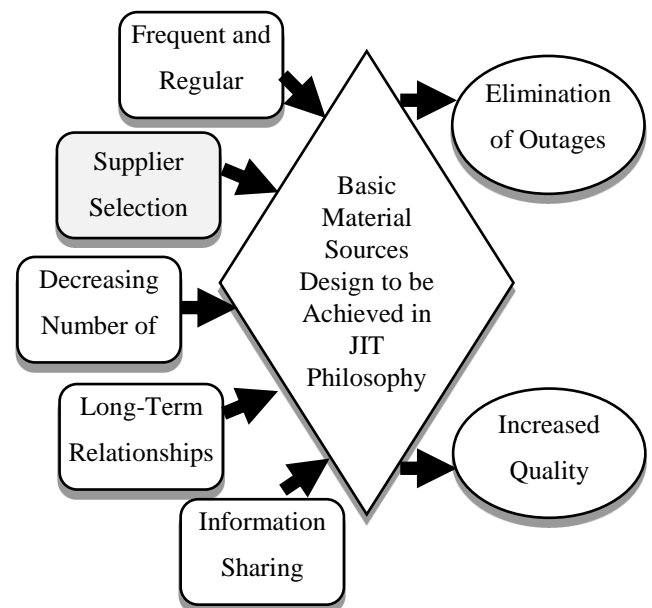


Fig. 1. Elements of JIT Philosophy expressed by Magee D. G.

*¹ Corresponding Author: Department of Industrial Engineering, Engineering Faculty, Sakarya University, Sakarya, TURKEY, alparslanserhat@sakarya.edu.tr, Tel: 02642955677

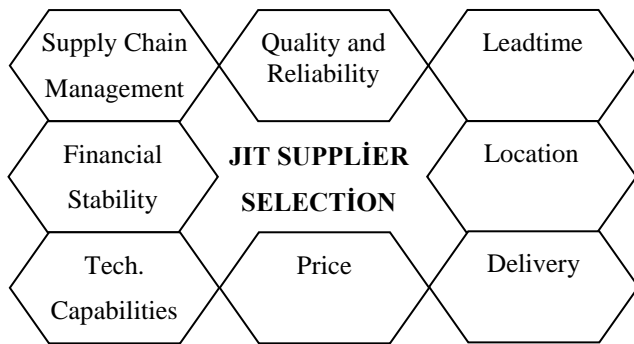


Fig. 2. JIT supplier selection criteria

The first study on supplier selection was conducted by Dickson, G. W. (1966). Dickson listed 23 criteria in his study and ranked them by importance [supplier selection for strategic supplier development] [3]. Due to the large number of criteria, studies conducted in the subsequent years mostly dealt with multi-criteria decision-making techniques. In this context, techniques such as AHP, Electre, Vikor, Promethee, ANP and target programming were found to be used heavily. When the major studies in the literature related to these techniques were examined, it was seen that the use of AHP was suggested for supplier selection in studies conducted by Narasimhan (1983), Partovi (1989), Nydick and Hill (1992) [4]. In 1998, Boer et al. used the Electre method to select suppliers for a business operating on the JIT production system [5]. In a study conducted by Weber and Allrem in 1993, target programming was used when choosing suppliers according to the price, quality and delivery specifications of a company working on the JIT production system [6]. Dulmin and Mininno used the Promethee method in the selection of suppliers of an enterprise operating in the road and rail transport industry in 2003 [7]. In a study conducted by Sarkus and Talluri in 2002, the ANP method was used to select suppliers in a business manufacturing metal-based products [8]. Sanayei et al. (2010) selected suppliers using the Vikor method for components of a new product in an automobile component manufacturing business [9].

When recent studies are examined, it is seen that the MULTIMOORA method developed by Brauers and Zavadskas (2010) has also been included in multi-criteria decision-making techniques [10]. Since then until today, the MULTIMOORA method has been applied in various fields.

The main study where the MULTIMOORA method was applied was carried out by Brauers and Zavadskas in the field of project management for transitions in 2010 [11]. Also in 2010, the MULTIMOORA method was used by Kracka, Brauers and Zavadskas in optimizing the heat loss of a building [12]. Baležentis A. et al. (2010) assessed Lithuania's achievement of the Lisbon Strategy's objectives by using the MULTIMOORA method [13]. In 2011, Baležentis A. and Baležentis T. assessed the transport sector by using the MULTIMOORA and DEA methods [14]. Baležentis T. estimated the agricultural productivity of different

agricultural species in 2011 and compared the prosperity levels of the EU countries with Baležentis, A. and Brauers by using the MULTIMOORA method [15, 16]. The bank loan decision for a property to be purchased was given by Brauers and Zavadskas in 2011 using the MULTIMOORA method [17]. Braures and others used the MULTIMOORA method to assess 27 EU countries in terms of the implementation of the Lisbon Strategy in 2012 [18]. Baležentis A. et al. (2012) selected personnel by using MULTIMOORA-FG, the expanded type of MULTIMOORA [19]. The banks registered in Lithuania were ranked by Brauers et al. (2012) using the MULTIMOORA method [20]. Streimikiene et al. (2012) selected sustainable energy sources using the Topsis and MULTIMOORA methods [21]. In a study by Brauers and Zavadskas in 2012, it was shown that the MULTIMOORA method hosted three different methods within itself and that it was a powerful approach that enabled obtaining objective results [22]. Baležentis, T. and Zeng selected personnel using the MULTIMOORA method in 2013 [23]. Baležentiene (2013) used the Fuzzy MULTIMOORA method to prioritize data fusion and energy plants [24]. Between 2008 and 2009, Brauers et al. (2013) evaluated the construction industry using the MULTIMOORA method for 20 European countries [25]. Datta et al. (2013) made a robot selection using the Gray Set Theory combined with the MULTIMOORA method [26]. In a study by Kildiene in 2013, the business development potential of EU countries was assessed using the MULTIMOORA method [27]. Brauers et al. (2014) used the MULTIMOORA method in the assessment of construction sector [28]. In 2014, Stanujkic et al. used the MULTIMOORA method in evaluating the qualities of websites of Serbian hotels in rural areas [29]. Li et al. made software selections in 2014 using MULTIMOORA and Fuzzy Sets [30]. Liu et al. (2014) proposed a risk assessment model using MULTIMOORA and Fuzzy Sets to prevent baby abduction in a health care facility [31].

In 2014, Sahu et al. evaluated the fuzzy multi-criteria decision-making and supply chain performance using the MULTIMOORA method [32]. Stankevičienė et al. (2014) used the MULTIMOORA method to assess the country's risk in the EU Baltic Sea region countries [33]. Lazauskas et al. (2015) evaluated the construction potential of three Baltic capitals (Vilnius, Riga, Tallinn) using the Weightless MOORA and MULTIMOORA methods [34]. The IVIF-MULTIMOORA method (interval-valued intuitionistic fuzzy MULTIMOORA), which was developed by Zavadskas et al. (2015) with the modification of the MULTIMOORA method, solved the group decision problem in uncertain environments, and the advantage of the method was shown by two different applications [35]. The Performance of Turkish Coal Operations was evaluated by Aksoy et al. in 2015 using the AHP-based MULTIMOORA and Copras methods [36]. Excavators were selected by Altuntas et al. (2015) using the Based MULTIMOORA Methods [37]. Hafezalkotob, A. and Hafezalkotob, A. used the MULTIMOORA method in selecting materials for

biomedical applications in 2015 [38] and with Sayadi in selecting power gears in 2016 [39]. Alternatives to health waste treatment technologies were evaluated by Liu et al. in 2015 using the integrated use of 2-tuple DEMATEL and Fuzzy MULTIMOORA methods [40]. The selection of Mechanical Parking System in 2015 by Çiçek et al. was carried out using the Fuzzy MULTIMOORA method [41]. In 2016, Macbeth and MULTIMOORA were used by Kundakçı in the selection of cars for a marble business [42]. The MULTIMOORA, Topsis and Vikor methods and Randomly generated MCDM problems were solved by Ceballos et al. (2016) [43]. In Europe, the housing market situation of the countries was assessed by Gorzen-Mitka et al. (2016) using the MULTIMOORA method [44]. Sahu et al. conducted a study in 2016 for the evaluation of CNC machines using the MULTIMOORA method [45]. Tian et al (2016) brought simplified neutrophilic linguistic problems to a solution using the MULTIMOORA method [46]. In 2016, Aytekin conducted a study on the hospital selection of patients using the MULTIMOORA method [47]. Ömürbek and Özcan used the MULTIMOORA method in 2016 to evaluate the financial performance of insurance companies [48]. A study was conducted by Türe et al. in 2016 using the MULTIMOORA method to evaluate a country's risk [49]. The MULTIMOORA method was used in the performance evaluations of manufacturing sectors in 2017 by Ömürbek and Aksoy [50]. China's five provinces were assessed for whether they provided control in order to prevent atmospheric pollution by using the double hierarchy hesitant fuzzy linguistic MULTIMOORA (DHHFL-MULTIMOORA) method developed by Xunjie et al. (2017). The most appropriate province was selected, and the advantages of the developed method were demonstrated by comparison with the hesitant fuzzy linguistic TOPSIS method [51]. It is observed through these applications that studies on supplier selection is limited in number. Balezentis, A. and Balezentis, T. (2011), extending the MULTIMOORA method with the Two-tuple linguistic representation, applied it in the selection of suppliers [52]. Farzammia and Babolghani (2014) proposed a fuzzy logic and the MULTIMOORA approach to assessing the group's decisions in the selection of suppliers [53].

In this study, an integrated approach consisting of DEMATEL and MULTIMOORA techniques was examined to deal with the problem of supplier selection in an automotive subsidiary company which works on a just in time production system basis. On the same problem, the results of the full multiplicative methods were investigated together with the MOORA ratio method and the Reference point approach methods. The results were evaluated using the ordinal dominance theory, and the best supplier for the company was determined. The reason for choosing MULTIMOORA method in the proposed hybrid method; while generally obtaining a single ranking in other multi-criteria decision making techniques, it is the ability to draw a single result from the three rankings obtained by MULTIMOORA's three sub-methods in its component. However, the MOORA method, which is the main

component of the technique, It was compared with some other multi-purpose decision making techniques(AHP, TOPSIS,VIKOR, ELECTRE and PROMETHEE.) and its superiority was emphasized in terms of computational time, simplicity, mathematical calculations, stability and type of information [54].

2. METODOLOGİES

2.1 DEMATEL

The Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) method was first developed by the Geneva Battelle Memorial Institute between the years 1972 and 1976; it is a technique that provides a better understanding of causal relationships [55]. The DEMATEL method, which is based on the graph theory, allows the problem to be better understood and solved by separating the factors as cause and effect [56]. A criterion is a cause criterion if it has a higher effect when compared to other criteria, and it is an effect criterion if it has a lower effect [57]. When studies are examined, it is seen that criteria weights were calculated using DEMATEL, and different techniques were used when ranking the alternatives. The steps for implementing DEMATEL are as follows:

Step 1: Criteria are evaluated using expert opinions by scoring between 0-3 or 0-4 with the help of the determined binary comparison scale in Table 1; and an asymmetric, direct correlation matrix with its diagonals equaling to zero is created ([55], [57])

Table 1. Binary comparison scale

Numerical Value	Definition
0	Ineffective
1	Low Effect
2	Intermediate Effect
3	High Effect
4	Very High Effect

Step 2: The direct correlation matrix is normalized using the following Eqs. (1) and (2). The maximum values of row and column totals of the direct correlation matrix are found. Each element of the matrix is divided by this value to obtain a normalized direct correlations matrix(C).

$$s = \max(\max \sum_{k=1}^n t_{jk}, \max \sum_{j=1}^n t_{jk}) \tag{1}$$

$$C = t_{ij}/s \tag{2}$$

$n = \text{number of criteria}$

$j = (1,2,3, \dots n)$

$k = (1,2,3, \dots n)$

Step 3: The normalized direct correlation matrix (C) and the unit matrix (I) are transformed into the total correlation matrix (F) using Eq. (3).

$$F = C(I - C)^{-1} \tag{3}$$

Step 4: The row sum of the total correlation matrix is (D), and the column sum is (R). Using these sums, $D+R$ and $D-R$ values are calculated. Here, $D + R$ for each criterion is the total effect sent and received, and $D-R$ is the sum of the effect of the criterion on the system [57].

Step 5: In order to find the criteria weights, the square root of the sum of squares of the values ($D_j + R_j$) and ($D_j - R_j$) calculated in the previous step is calculated on Eq. (4).

$$w_{ja} = \sqrt{(D_j + R_j)^2 + (D_j - R_j)^2} \tag{4}$$

Finally, the weights of the criteria w_j are obtained by dividing each of the found values by the sum of the weights on Eq. (5).

$$w_j = \frac{w_{ja}}{\sum_{j=1}^n w_{ja}} \tag{5}$$

2.2 MULTIMOORA

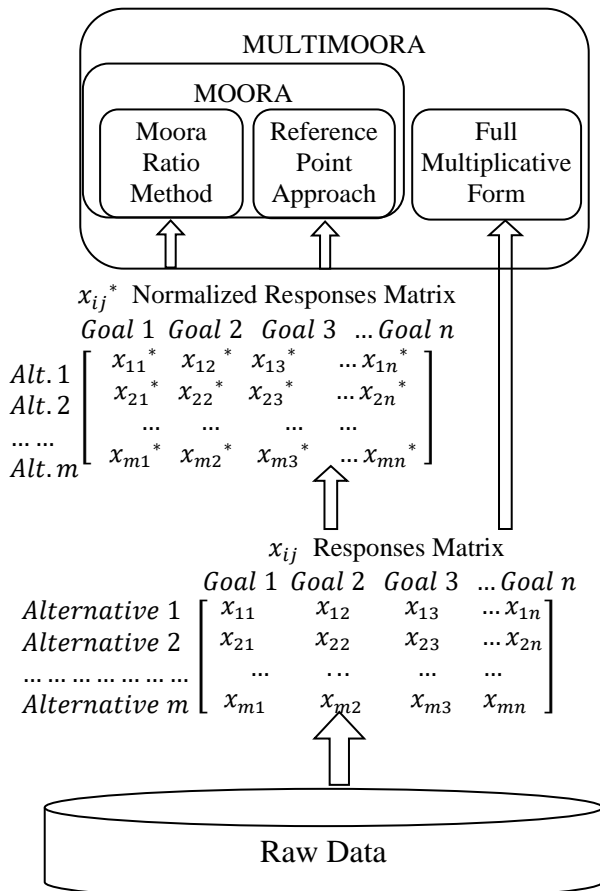


Fig. 3. The hierarchical structure of the MULTIMOORA method

The basis of the MULTIMOORA method dates back to the introduction of the MOORA method to the literature by Braures and Zavadskas in 2006 [49]. It is a multi-criteria decision-making technique, finalized with the addition of full multiplicative form into the MOORA method in 2010 again by the same authors in Fig. 3 [58]. The theory of dominance was proposed by Braures and Zavadskas to combine the results obtained from the ratio method, the reference point approach and the full multiplicative form [18].

2.2.1 MOORA ratio method

The Moora-Ratio method was first introduced to the literature in 2006 by Willem Karel M. Braures and Edmundas Kazimieras Zavadskas [36]. The method starts with an initial matrix that contains the answers of each criterion alternatives. This matrix is normalized by the formula proposed by Van Delft and Nijkamp (1977). A ranking is determined by using obtained values in the formula of the ratio method [26]. The steps of the MOORA-Ratio method are listed below.

Step 1: First, an initial matrix is formed, expressing the performances of the alternatives according to the criteria on Eq. (6). In this matrix, the criteria with the cost effect have the minimum goal, and the criteria with the benefit effect have the maximum goal. They are specified as min and max.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \tag{6}$$

Step 2: By applying Eq. (7) to the initial matrix, a normalized matrix x_{ij}^* is obtained.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m x_{ij}^2}} \tag{7}$$

$i = 1, 2, \dots, m; m$ the number of alternatives
 $j = 1, 2, \dots, n; n$ the number of objectives
 x_{ij} = performance measurement value of alternative i in terms of criterion j

Step 3: Each of the normalized matrix values is multiplied by the weight of the criterion (w_j), and weighted normalized matrix values (v_{ij}) are obtained on Eq. (8).

$$v_{ij} = w_j * x_{ij}^* \tag{8}$$

w_j = criterion weight of j

Step 4: In the weighted normalized matrix, for each alternative, the sum of the criteria specified as minimum is subtracted from the sum of the criteria specified as the maximum in the row of that alternative, and the value of y_i is obtained on Eq. (9).

$$y_i^* = \sum_{j=1}^g v_{ij} - \sum_{j=g+1}^n v_{ij} \tag{9}$$

$g = \text{maximum number of criteria}$

Step 5: The alternatives are sorted according to the calculated value of y_i^* in descending order. Thus, the ranking of the alternatives is determined using the MOORA-ratio method.

2.2.2 MOORA reference point approach

The first work on this approach developed by Braures and Zavadskas dates back to 2009 [58]. It uses the weighted normalized matrix obtained from the ratio method. The ranking of the alternatives is found by sorting the results calculated using the formulations given below in ascending order. The steps of the MOORA- Reference point approach are as follows:

Step 1: In the MOORA-Ratio method, two of the calculated values of the weighted normalized matrix are determined as the reference values (r_j): the minimum value of the criteria specified as the minimum and the maximum value of the criteria specified as the maximum.

Step 2: For each value in the columns, the absolute value of the difference with the reference value is calculated on Eq. (10).

$$|w_j r_j - v_{ij}| \tag{10}$$

Step 3: The maximum value for each alternative (row) in the resulting matrix is determined. These values are sorted in ascending order to obtain the ranking of the MOORA-Reference point approach on Eq. (11).

$$\min_i \{ \max_j (|w_j r_j - v_{ij}|) \} \tag{11}$$

2.2.3 Full multiplicative form

In 2010, Braures and Zavadskas developed the full multiplicative form, the third part of the MULTIMOORA method [59]. This method uses the initial decision matrix without normalizing it. If the decision matrix has zero and negative values in the full multiplicative form, meaningless results can occur. To avoid this, consistent results can be achieved by making the relevant values positive (applying the same procedure throughout the whole column) [60]. The full multiplicative form steps are as follows:

Step 1: The criteria weights x_{ij} of the initial matrix values to the power of w_j are taken as $x_{ij}^{w_j}$.

Step 2: The maximum and minimum column values for each alternative in the resulting matrix are multiplied among themselves on Eq. (12).

$$A_i = \prod_{j=1}^g x_{ij}^{w_j} \quad B_i = \prod_{j=g+1}^n x_{ij}^{w_j} \tag{12}$$

$A_i = \text{multiplication of maximum column values for each alternative}$

$B_i = \text{multiplication of minimum column}$

values for each alternative

Step 3: The resulting A_i and B_i values are proportioned to each other to obtain the U_i values on Eq. (13). These values are sorted in descending order to obtain the ranking of the full multiplicative form.

$$U_i = A_i / B_i \tag{13}$$

$U_i = \text{overall utility of alternative } i$

2.2.4 Ordinal dominance theory

Brauers and Zavadskas (2011) have developed the dominance theory to obtain a single ranking from the MOORA-Ratio method, the MOORA-Reference point approach, and the full multiplicative form rankings, which are the components of the MULTIMOORA method. The basis of the theory is about the determination of the predominance among the results of different approaches. The theory consists of Dominance, being Dominated, Transitivity and Equability [17, 60].

Absolute Dominance: If an alternative's sorting values, obtained from three different technique are respectively (1-1-1), it is definitely dominant.

Dominance: ($x < y < z < t$) sorting values given, generally ($t - x - x$) dominates ($z - y - y$), ($x - t - x$) dominates ($y - z - y$) and ($x - x - t$) dominates ($y - y - z$).

Transitivity: If x dominates y and y dominates z than also x will dominate z .

Being Dominated: For instance ($x - x - x$) is overallly dominating ($y - y - y$) which is overallly being dominated.

Equability: For instance; 2 alternatives have ($u - u - u$) absolute equability, If (2 - u - 9) and (4 - u - 5) exist in 2 of 3, it is called partial equability.

Contradictory situations other than those listed above may also occur. For example, generally, Alternative A (1-9-3) dominates Alternative B (3-5-4), Alternative B (3-5-4) dominates Alternative C (4-8-2) and Alternative C (4-8-2) dominates Alternative A (1-9-3). In such a case the same ranking is given to the 3 alternatives which is also called circular reasoning.

3. APPLICATION

The application was carried out in an automotive subsidiary industry company aiming to operate on the basis of the JIT system. The study used criteria for delivery flexibility, quality and reliability, price, delivery time, location, technological capabilities, financial stability, and supplier chain management which were summarized by Schniederjans (2002) and which are effective in the JIT supplier selection process [1]. The data were obtained by the expert decision-maker in the company accompanied by an academic expert. In the problem that was dealt with, 8 suppliers were evaluated in terms of a part commonly used in the automobile production. The hierarchical structure of the problem is as shown in Fig. 4.

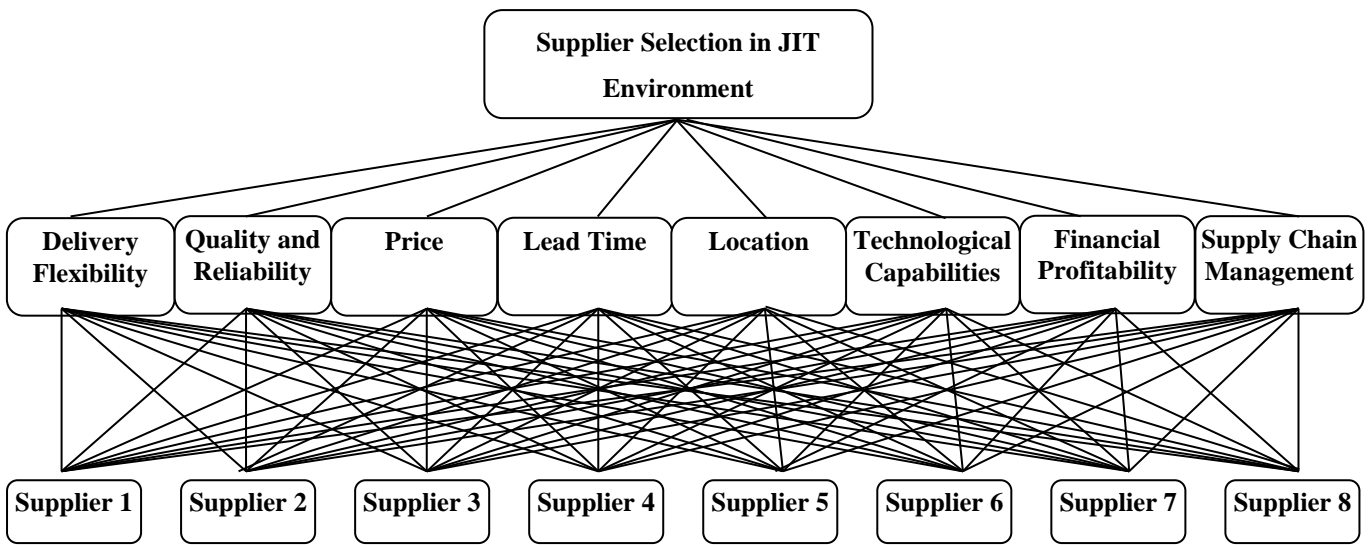


Fig. 4. Hierarchical structure of the research problem

An integrated approach consisting of the DEMATEL method and the MULTIMOORA method was proposed for use in the solution phase (Fig. 5). In this proposed approach, evaluation were transformed into a direct correlation matrix t_{jk} and used as an input to the DEMATEL method. As a result of applying the DEMATEL method, the weight of each criterion w_j was obtained. In the next step, the alternatives were evaluated by the same experts using six of the eight quantitative JIT criteria (Delivery Flexibility, Quality and Reliability, Location, Technological Capability, Financial Profitability, and Supply Chain Management) with scores from 0 to 5. For the other two JIT criteria, which were Price and Delivery Time, qualitative data from the firm regarding the alternatives were used. The responses matrix x_{ij} in which the criteria were compared

the JIT supplier selection criteria were scored from 0 to 4 in the presence of experts, and their effects were evaluated. The results of the with the alternatives was created using these data. The MULTIMOORA method was applied using the criteria weights w_j determined by the x_{ij} matrix and the DEMATEL method. Three different rankings were obtained for the alternatives by applying the steps of the MULTIMOORA method in the following order: the ratio method, the reference point approach and the full multiplicative form. These rankings were compared using the ordinal dominance theory, and thus, the MULTIMOORA ranking of the alternatives was obtained.

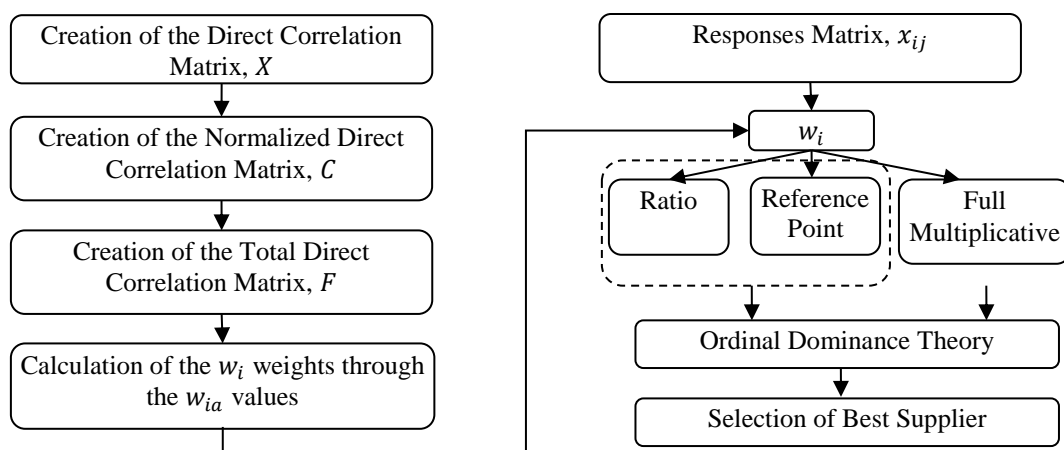


Fig. 5. Proposed DEMATEL – MULTIMOORA integrated approach procedures

A five-point linguistic scale was used to assess the effects of the criteria on each other (Table 2). Experts assessed the effects of the criteria between 0-4 by using the numerical equivalents of the linguistic expressions.

Table 2. Numeric equivalents of linguistic expressions and criteria codes

Linguistic expressions	Numeric equivalence	Criteria	Criterion Codes
Ineffective	0	Delivery Flexibility	C_1
Low effect	1	Quality and Reliability	C_2
Intermediate Effect	2	Price	C_3
High Effect	3	Delivery Time	C_4
Very High Effect	4	Location	C_5
		Technological Capability	C_6
		Financial Profitability	C_7
		Supply Chain Management	C_8

Table 3 shows the numerical expressions resulting from the evaluation of the relationship between the criteria by the expert. These values form the direct correlation matrix t_{jk} .

Table 3. Direct relationship matrix t_{jk}

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
C_1	0	2	2	4	4	3	3	3
C_2	4	0	4	4	4	4	4	4
C_3	4	4	0	0	1	4	4	3
C_4	2	2	0	0	3	2	2	1
C_5	3	2	2	3	0	2	2	2
C_6	3	4	4	2	2	0	3	3
C_7	4	4	3	1	3	3	0	3
C_8	3	3	3	1	2	3	3	0

The normalization process was accomplished by applying Eq. (1) and Eq. (2) to the direct correlation matrix data. The normalized direct correlation matrix C was obtained as a result of the normalization process (Table 4).

Table 4. Normalized direct correlation matrix (C)

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
C_1	0.00	0.07	0.07	0.14	0.14	0.10	0.10	0.10
C_2	0.14	0.00	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
C_3	0.14	0.14	0.00	0.00	0.03	0.14	0.14	0.10
C_4	0.07	0.07	0.00	0.00	0.10	0.07	0.07	0.03
C_5	0.10	0.07	0.07	0.10	0.00	0.07	0.07	0.07
C_6	0.10	0.14	0.14	0.07	0.07	0.00	0.10	0.10
C_7	0.14	0.14	0.10	0.03	0.10	0.10	0.00	0.10
C_8	0.10	0.10	0.10	0.03	0.07	0.10	0.10	0.00

The Total Relation Matrix (F) was obtained by applying Eq. (3) using the normalized direct correlation matrix (C) data (Table 5).

Table 5. Creation of the total correlation matrix (C)

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
C_1	0.26	0.30	0.27	0.30	0.34	0.33	0.33	0.31
C_2	0.47	0.32	0.41	0.36	0.42	0.44	0.44	0.42
C_3	0.40	0.38	0.23	0.19	0.27	0.38	0.38	0.34
C_4	0.22	0.21	0.13	0.11	0.23	0.21	0.21	0.17
C_5	0.30	0.25	0.23	0.24	0.17	0.25	0.25	0.24
C_6	0.37	0.38	0.35	0.25	0.30	0.26	0.35	0.33
C_7	0.40	0.38	0.33	0.23	0.33	0.35	0.26	0.34
C_8	0.34	0.32	0.30	0.20	0.27	0.32	0.32	0.21

The row sum (D) and the column sum (R) of the total correlation matrix were calculated. For each criterion, the $D + R$ and $D - R$ values were obtained using the D and R values. By applying Eq. (4) and Eq. (5) to these values, weights of each criterion w_j were calculated. The results of the calculations are shown in Table 6.

Table 6. Calculation of the weights of criteria

D_j	R_j	$D_j + R_j$	$D_j - R_j$	W_{ja}	Criteria	w_j
2.48	2.80	5.29	-0.32	5.30	C_1	$\rightarrow 0.1356$
3.31	2.57	5.88	0.73	5.93	C_2	$\rightarrow 0.1517$
2.61	2.28	4.89	0.33	4.90	C_3	$\rightarrow 0.1255$
1.51	1.92	3.43	-0.40	3.45	C_4	$\rightarrow 0.0884$
1.96	2.36	4.33	-0.39	4.35	C_5	$\rightarrow 0.1113$
2.64	2.58	5.22	0.06	5.22	C_6	$\rightarrow 0.1336$
2.65	2.58	5.23	0.07	5.23	C_7	$\rightarrow 0.1339$
2.30	2.38	4.68	-0.07	4.68	C_8	$\rightarrow 0.1199$

In the next step, the results of the alternatives (A_1, A_2, \dots, A_8) were prepared in terms of 8 JIT criteria by experts, and the initial matrix of the MULTIMOORA method x_{ij} was created. Of the 8 criteria that affect the JIT supplier selection process, the criteria with positive effects on the business (Delivery Flexibility, Quality and Reliability, Location, Technological Capability, Financial Profitability and Supply Chain Management) were determined as the maximum, and the criteria with negative effects (Price and Delivery Time) as the minimum (Table 7).

Table 7. Initial matrix x_{ij}

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
	MAX	MAX	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX
A_1	4	5	3.85	1	4	5	5	5
A_2	3	5	4	2	4	5	5	5
A_3	3	5	4.1	3	3	5	5	4
A_4	3	4	4.1	2	4	4	4	4
A_5	4	4	4	2	4	5	5	4
A_6	3	4	4.1	2	4	4	4	4
A_7	3	4	4.05	2	5	3	4	3
A_8	4	4	4	2	5	4	4	3

The normalized matrix x_{ij}^* is obtained by proportioning

each of the values in the initial matrix to the square root of the sum of the squares of the column values on Eq. (7) (Table 8).

Table 8. Normalized matrix x_{ij}^*

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
	MAX	MAX	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX
A_1	0.41	0.51	0.39	0.10	0.41	0.51	0.51	0.51
A_2	0.31	0.51	0.41	0.20	0.41	0.51	0.51	0.51
A_3	0.31	0.515	0.42	0.31	0.31	0.51	0.51	0.41
A_4	0.31	0.41	0.42	0.20	0.41	0.41	0.41	0.41
A_5	0.41	0.41	0.41	0.20	0.41	0.51	0.51	0.41
A_6	0.31	0.41	0.42	0.20	0.41	0.41	0.41	0.41
A_7	0.31	0.41	0.42	0.20	0.51	0.31	0.41	0.31
A_8	0.41	0.41	0.41	0.20	0.51	0.41	0.41	0.31

Each value in the normalized matrix is multiplied by the criterion weight on Eq. (8) to obtain the weighted normalized matrix v_{ij} (Table 9).

Table 9. Weighted normalized matrix v_{ij}

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
	MAX	MAX	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX
A_1	0.05	0.07	0.05	0.00	0.04	0.06	0.06	0.06
A_2	0.04	0.07	0.05	0.01	0.04	0.06	0.06	0.06
A_3	0.04	0.07	0.05	0.02	0.03	0.06	0.06	0.04
A_4	0.04	0.06	0.05	0.01	0.04	0.05	0.05	0.04
A_5	0.05	0.06	0.05	0.01	0.04	0.06	0.06	0.04
A_6	0.04	0.06	0.05	0.01	0.04	0.05	0.05	0.04
A_7	0.04	0.06	0.05	0.01	0.05	0.04	0.05	0.03
A_8	0.05	0.06	0.05	0.01	0.05	0.05	0.05	0.03

Using Eq. (9), the ratio method score was obtained for each alternative supplier by subtracting the sum of the minimum values from the sum of the obtained maximum values. The ranking of the MOORA-Ratio method was obtained by ranking the scores in descending order in Table 10.

Table 10. Ranking of suppliers according to the MOORA-RATIO method

$\sum Max - \sum Min$	MOORA-Ratio Rank
0.3227	1
0.2975	2
0.2630	4
0.2403	6/7
0.2834	3
0.2403	6/7
0.2262	8
0.2547	5

The first step of the reference point approach begins with the use of the weighted normalized matrix in Table 9. In this matrix, the maximum value of the columns specified as the maximum and the minimum value of the columns specified as the minimum are set as the reference points (Table 11).

Table 11. Reference points r_j

r_j	0.056	0.078	0.050	0.009	0.057	0.069	0.069	0.062
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Each value in the weighted normalized matrix is transformed using Eq. (10) (Table 12).

Table 12. Converted criterion values

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
	MAX	MAX	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX
A_1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000
A_2	0.014	0.000	0.002	0.009	0.011	0.000	0.000	0.000
A_3	0.014	0.000	0.003	0.018	0.023	0.000	0.000	0.012
A_4	0.014	0.015	0.003	0.009	0.011	0.013	0.013	0.012
A_5	0.000	0.015	0.002	0.009	0.011	0.000	0.000	0.012
A_6	0.014	0.015	0.003	0.009	0.011	0.013	0.013	0.012
A_7	0.014	0.015	0.002	0.009	0.000	0.027	0.013	0.024
A_8	0.000	0.015	0.002	0.009	0.000	0.013	0.013	0.024

The results are sorted in ascending order to obtain the

Reference Point Approach ranking of the alternatives (Table 13).

Table 13. Ranking of suppliers according to the MOORA-REFERENCE method

$max_j(w_j r_j - v_{ij})$	Reference Point Approach Rank
0.0115	1
0.0141	2
0.0231	6
0.0157	3/4/5
0.0157	3/4/5
0.0157	3/4/5
0.0277	7
0.0249	8

The steps of the full multiplicative form start with the use of the initial matrix. Each value in the initial matrix to the power of the weight value of the criterion $x_{ij}^{w_j}$ is calculated. Using Eq. (12), the multiplications of the maximum value and the minimum value in each row of the weighted matrix is calculated separately. By proportioning these values to each other, the U values of the full multiplicative form are obtained (Table 14).

Table 14. A_i , B_i and U_i values of the full multiplicative form

A_i	B_i	U
3.3535	1.1844	2.8314
3.2252	1.2653	2.5490
3.0412	1.3156	2.3117
2.8596	1.2692	2.2530
3.1563	1.2653	2.4945
2.8596	1.2692	2.2530
2.7253	1.2673	2.1505
2.9447	1.2653	2.3273

By ordering the obtained U values in descending order, a Full Multiplicative Form ranking of the suppliers is obtained (Table 15).

Table 15. Ranking of the suppliers according to the full multiplicative form.

U	Full Multiplicative Form Rank
2.8314	1
2.5490	2
2.3117	5
2.2530	6/7
2.4945	3
2.2530	6/7
2.1505	8
2.3273	4

The final MULTIMOORA method rank is obtained using the ordinal dominance theory through the rankings obtained by the MOORA-ratio method, the reference point approach, and the full multiplicative form (Table 16).

Table 16. Obtaining MULTIMOORA ranking

	MOORA-Ratio	Reference Point Approach	Full Multiplicative Form	MULTIMOORA
A_1	1	1	1	1
A_2	2	2	2	2
A_3	4	6	5	4
A_4	6/7	3/4/5	6/7	6/7
A_5	3	3/4/5	3	3
A_6	6/7	3/4/5	6/7	6/7
A_7	8	7	8	8
A_8	5	8	4	5

When the results in Table 16 are examined, it is seen that the 1st supplier is the best choice for the business according to the MULTIMOORA ranking obtained by considering the JIT supplier selection criteria. The Alternative 2 is the best choice as the second candidate. According to the results, the Alternative 7 emerged to be the last supplier to be preferred. It was observed that the Alternative 4 and the Alternative 6 shared the 6th and 7th ranks of preference together. According to these results, two alternative rankings were obtained:

$$A_1 > A_2 > A_5 > A_3 > A_8 > A_4 > A_6 > A_7 \text{ and } A_1 > A_2 > A_5 > A_3 > A_8 > A_6 > A_4 > A_7.$$

5. CONCLUSIONS

From the point of businesses, suppliers are critical stakeholders directly affecting the quality of products or services produced. Therefore, the selection and evaluation of

suppliers is important for businesses. For firms that operate on a just-in-time basis, this importance is even greater. Especially in the automotive industry, suppliers are expected to pay extra attention to issues such as time, quality, flexibility, and so forth. In this study, the problem of supplier selection of a company operating in the automotive subsidiary industry and on a just-in-time production system was discussed. The supplier selection problem is a complex problem because of the need to assess together the subjective and objective information with different goals. For this reason, an integrated approach using the DEMATEL and MULTIMOORA methods was proposed in the study. The weights of the criteria determined and evaluated based on expert opinions were calculated by using the DEMATEL method, followed by the application of MULTIMOORA. The results obtained by applying the MOORA-Ratio Method, the MOORA-Reference Point Approach and the Full Multiplicative Form methods were combined using the ordinal dominance theory to determine the appropriate supplier.

The MULTIMOORA method is a method that has been contributed to the literature in recent years and provides rapid results. In future studies, the area of use of the technique can be further improved by applying it in combination with different methods in different multi-criteria decision-making problems.

Acknowledgment

We would like to thank AKPRESS Inc. for their support for the study.

REFERENCES

- [1].Aytekin, S. (2009). Tam Zamanında Stok Yönetimi (Just-In-Time) Felsefesinin Hastane İşletmelerine Uygulanabilirliği ve Bir Üniversite Hastanesi Örneği. *Balikesir University Journal Of Social Sciences Institute*, 12(21), 102-115.
- [2].Schneiderjans, M. J., Cao, Q., & Triche, J. H. (2013). *E-commerce operations management*. World Scientific Publishing Co Inc, 122-123.
- [3].Calvi, R., Le Dain, M. A., Fendt, T. C., & Herrmann, C. J. (2010). Supplier selection for strategic supplier development.
- [4].Dağdeviren, M., & Tamer, E. R. E. N. (2001). Tedarikçi firma seçiminde analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemlerinin kullanılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16(1), 41-52.
- [5].De Boer, L., van der Wegen, L., & Telgen, J. (1998). Outranking methods in support of supplier selection. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 4(2-3), 109-118.
- [6].Weber, C. A., & Ellram, L. M. (1993). Supplier selection using multi-objective programming: a decision support system approach. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 23(2), 3-14.


- [7].Dulmin, R., & Mininno, V. (2003). Supplier selection using a multi-criteria decision aid method. *Journal of purchasing and supply management*, 9(4), 177-187.
- [8].Sarkis, J., & Talluri, S. (2002). A model for strategic supplier selection. *Journal of supply chain management*, 38(4), 18-28.
- [9].Sanayei, A., Mousavi, S. F., & Yazdankhah, A. (2010). Group decision making process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 37(1), 24-30.
- [10].Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Kildienė, S. (2014). State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technological and economic development of economy*, 20(1), 165-179.
- [11].Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2010). Project management by MULTIMOORA as an instrument for transition economies. *Technological and Economic Development of Economy*, 16(1), 5-24.
- [12].Kracka, M., Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2010). Ranking heating losses in a building by applying the MULTIMOORA. *Engineering Economics*, 21(4), 352-359.
- [13].Baležentis, A., Baležentis, T., & Valkauskas, R. (2010). Evaluating situation of Lithuania in the European Union: structural indicators and MULTIMOORA method. *Technological and Economic Development of Economy*, 16(4), 578-602.
- [14].Baležentis, A., & Baležentis, T. (2011). Assessing the efficiency of Lithuanian transport sector by applying the methods of MULTIMOORA and data envelopment analysis. *Transport*, 26(3), 263-270.
- [15].Baležentis, T. (2011). A farming efficiency estimation model based on fuzzy multimooora. *Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development*, 29(5), 43-52.
- [16].Balešentis, T., Balešentis, A., & Brauers, W. K. (2011). Multi-Objective Optimization of Well-Being in the European Union Member STATES. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 24(4), 1-15.
- [17].Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2011). MULTIMOORA optimization used to decide on a bank loan to buy property. *Technological and Economic Development of Economy*, 17(1), 174-188.
- [18].Brauers, W. K., Balezentis, A., & Balezentis, T. (2012). Implementing the EU strategy in Baltic States: A multi-objective evaluation. *Actual problems of Economics*, 8(134), 317-329.
- [19].Baležentis, A., Baležentis, T., & Brauers, W. K. (2012). Personnel selection based on computing with words and fuzzy MULTIMOORA. *Expert Systems with applications*, 39(9), 7961-7967.
- [20].Brauers, W. K. M., Ginevicius, R., & Podvieszko, A. (2012, May). Evaluation of performance of Lithuanian commercial banks by multi-objective optimization. In *The 7th international scientific conference business and management* (pp. 1042-1049).
- [21].Streimikiene, D., Balezentis, T., Krisciukaitienė, I., & Balezentis, A. (2012). Prioritizing sustainable electricity production technologies: MCDM approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 3302-3311.
- [22].Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2012). Robustness of MULTIMOORA: a method for multi-objective optimization. *Informatica*, 23(1), 1-25.
- [23].Baležentis, T., & Zeng, S. (2013). Group multi-criteria decision making based upon interval-valued fuzzy numbers: an extension of the MULTIMOORA method. *Expert Systems with Applications*, 40(2), 543-550.
- [24].Balezentiene, L., Streimikiene, D., & Balezentis, T. (2013). Fuzzy decision support methodology for sustainable energy crop selection. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 17, 83-93.
- [25].Brauers, W. K. M., Kildienė, S., Zavadskas, E. K., & Kaklauskas, A. (2013). The construction sector in twenty European countries during the recession 2008–2009–country ranking by MULTIMOORA. *International Journal of Strategic Property Management*, 17(1), 58-78.
- [26].Datta, S., Sahu, N., & Mahapatra, S. (2013). Robot selection based on grey-MULTIMOORA approach. *Grey Systems: Theory and Application*, 3(2), 201-232.
- [27].Kildiene, S. (2013). Assessment of opportunities for construction enterprises in European Union member states using the MULTIMOORA method. *Procedia Engineering*, 57, 557-564.
- [28].Brauers, W. K., Zavadskas, E. K., & Kildienė, S. (2014). Was the Construction Sector in 20 European Countries Anti-cyclical during the Recession Years 2008-2009 as Measured by Multicriteria Analysis (MULTIMOORA). *Procedia Computer Science*, 31, 949-956.
- [29].Stanujkic, D., Plavšić, A., & Stanujkić, A. (2014). Jedan Pristup Rangiranja Hotelskih Web Sajtova Primenom MULTIMOORA Metode an Approach to Ranking Hotels'websites By Applying Multimooora Method. *ICIST 2014*, 2, 307-310.
- [30].Li, Z. H. (2014). An extension of the MULTIMOORA method for multiple criteria group decision making based upon hesitant fuzzy sets. *Journal of Applied Mathematics*, 2014.
- [31].Liu, H. C., Fan, X. J., Li, P., & Chen, Y. Z. (2014). Evaluating the risk of failure modes with extended MULTIMOORA method under fuzzy environment. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 34, 168-177.
- [32].Sahu, A. K., Datta, S., & Mahapatra, S. S. (2014). Use of IVFNs and MULTIMOORA method for supply chain performance measurement, benchmarking and decision-making: an empirical study. *International Journal of Business Excellence*, 7(2), 237-280.
- [33].Stankevičienė, J., Sviderskė, T., & Miečinskienė, A. (2014). Dependence of sustainability on country risk indicators in EU Baltic Sea region countries. *Journal of Business Economics and Management*, 15(4), 646-663.
- [34].Lazauskas, M., Šaparauskas, J., & Zavadskas, E. K. (2015). Ranking of priorities among the baltic capital cities for the development of sustainable construction.
- [35].Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., Razavi Hajiagh, S. H., & Hashemi, S. S. (2015). The interval-valued intuitionistic fuzzy MULTIMOORA method for group


decision making in engineering. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015.


- [36]. Aksoy, E., Ömürbek, N., & Karaatlı, M. (2015). AHP Temelli MULTIMOORA ve COPRAS yöntemi ile Türkiye Kömür İşletmeleri'nin performans değerlendirmesi. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 33(4).
- [37]. Altuntas, S., Dereli, T., & Yılmaz, M. K. (2015). Evaluation of excavator technologies: application of data fusion based MULTIMOORA methods. *Journal of Civil Engineering and Management*, 21(8), 977-997.
- [38]. Hafezalkotob, A., & Hafezalkotob, A. (2015). Comprehensive MULTIMOORA method with target-based attributes and integrated significant coefficients for materials selection in biomedical applications. *Materials & Design*, 87, 949-959.
- [39]. Hafezalkotob, A., Hafezalkotob, A., & Sayadi, M. K. (2016). Extension of MULTIMOORA method with interval numbers: an application in materials selection. *Applied Mathematical Modelling*, 40(2), 1372-1386.
- [40]. Liu, H. C., You, J. X., Lu, C., & Chen, Y. Z. (2015). Evaluating health-care waste treatment technologies using a hybrid multi-criteria decision making model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 932-942.
- [41]. Çiçek, C., Bakış, A., & Bayazıt, V. (2016). Bulanık multimoora yöntemiyle en uygun mekanik otopark sistemi seçimi. *International Refereed Journal of Engineering and Sciences*, January / February / March / April Spring Semester Winter, 6, 43-60.
- [42]. Kundakçı, N. (2016). Combined Multi-Criteria Decision Making Approach Based On Macbeth And Multi-MOORA Methods. *Alphanumeric Journal*, 4(1).
- [43]. Ceballos, B., Lamata, M. T., & Pelta, D. A. (2016). A comparative analysis of multi-criteria decision-making methods. *Progress in Artificial Intelligence*, 5(4), 315-322.
- [44]. Gorzeń-Mitka, I., Skibiński, A., & Lemańska-Majdzik, A. (2016). Rating of European Housing Markets by Multi-Objective Evaluation Method. *on European Integration 2016*, 263.
- [45]. Sahu, A. K., Sahu, N. K., & Sahu, A. K. (2016). Application of modified MULTI-MOORA for CNC machine tool evaluation in IVGTFNS environment: an empirical study. *International Journal of Computer Aided Engineering and Technology*, 8(3), 234-259.
- [46]. Tian, Z. P., Wang, J., Wang, J. Q., & Zhang, H. Y. (2016). An improved MULTIMOORA approach for multi-criteria decision-making based on interdependent inputs of simplified neutrosophic linguistic information. *Neural Computing and Applications*, 1-13.
- [47]. Aytekin, A. (2016). Hastaların Hastane Tercihinde Etkili Kriterler ve Hastanelerin MULTIMOORA ile Sıralanması: Eskişehir Örneği. *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 4(4), 134-143.
- [48]. Ömürbek, N., & Özcan, A. (2016). BIST'de İşlem Gören Sigorta Şirketlerinin MULTIMOORA Yöntemiyle Performans Ölçümü. *Uluslararası İşletme, Ekonomi ve Yönetim Perspektifleri Dergisi*, 1(2), 64-75.
- [49]. Hasan, T. Ü. R. E., KOÇAK, D., & DOĞAN, S. (2017). MULTIMOORA Yöntemi İle Ülke Riski Değerlendirmesi. *İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(3), 824-844.
- [50]. Ömürbek, N., & Aksoy, E. (2017). Use Of Multi-Moora Method On Assessing The Performance Of Manufacturing Industries Based On National Productivity Statistics. *Suleyman Demirel University the Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences*, 22(1), 1-19.
- [51]. Gou, X., Liao, H., Xu, Z., & Herrera, F. (2017). Double hierarchy hesitant fuzzy linguistic term set and MULTIMOORA method: A case of study to evaluate the implementation status of haze controlling measures. *Information Fusion*, 38, 22-34.
- [52]. Balezentis, A., & Balezentis, T. (2011). An innovative multi-criteria supplier selection based on two-tuple MULTIMOORA and hybrid data. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 45(2), 37-56.
- [53]. Farzamnia, E., & Babolghani, M. B. (2014). Group decision-making process for supplier selection using MULTIMOORA technique under fuzzy environment. *Kuwait Chapter of Arabian Journal of Business and Management Review*, 3, 203-218.
- [54]. Brauers, W. K., & Kazimieras Zavadskas, E. (2012). A multi-objective decision support system for project selection with an application for the Tunisian textile industry.
- [55]. AKSAKAL, E., & DAĞDEVİREN, M. (2010). ANP ve DEMATEL Yöntemleri İle Personel Seçimi Problemine Bütünleşik Bir Yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4), 905-913.
- [56]. Yang, J. L., & Tzeng, G. H. (2011). An integrated MCDM technique combined with DEMATEL for a novel cluster-weighted with ANP method. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1417-1424.
- [57]. Karaoğlan, S., 2016. "Dematel ve Vikor yöntemleriyle dış kaynak seçimi: Otel işletmesi örneği", *Akademik Bakış Dergisi*, 55, Mayıs-Haziran 2016. *Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler E-Dergisi* ISSN: 1694-528X.
- [58]. Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2009). Multi-objective optimization with discrete alternatives on the basis of ratio analysis. *Intelektine Ekonomika*, (2).
- [59]. Adalı, E. A., & Işık, A. T. (2017). The multi-objective decision making methods based on MULTIMOORA and MOOSRA for the laptop selection problem. *Journal of Industrial Engineering International*, 13(2), 229-237.
- [60]. Brauers, W. K., & Zavadskas, E. K. (2013). Multi-Objective Decision Making with a Large number of Objectives. An Application for Europe 2020. *International Journal of Operations Research*, 10(2), 67-79.

Elektrik Akım Destekli Sinterleme ile Üretilen Ötektik Yapılı NiAl-34Cr ve NiAl-28Cr-6Mo Alaşımlarının Yüksek Sıcaklık Korozyon Davranışı

¹Cihan Çeper, ²Nuri Ergin, ^{*3}Özkan Özdemir

¹ Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, d190012007@subu.edu.tr, 

² Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, nergin@subu.edu.tr, 

³ Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, oozdemir@subu.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 24.03.2020

Kabul Tarihi: 13.10.2020

Öz

Bu çalışmada, NiAl-34Cr ve NiAl-28Cr-6Mo ötektik alaşımları elektrik akım destekli sinterleme (ECAS) yöntemiyle 3500-4200 A akım aralığında 47 dakika bekleme süresiyle üretilmiştir. Elde edilen numunelerin faz incelemeleri, X-ışınları difraksiyon analizi (XRD) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. XRD paternlerinden, NiAl-34Cr alaşımının NiAl ve Cr fazları belirlenirken; NiAl-28Cr-6Mo alaşımının ise NiAl ve CrMo fazları ile birlikte düşük miktarda reaksiyona girmemiş Mo fazının varlığı tespit edilmiştir. Archimed prensibine göre yapılan yoğunluk ölçümlerinde NiAl-34Cr ve NiAl-28Cr-6Mo alaşımlarının nispi yoğunlukları sırasıyla %96.2, %97.9 ve mikrosertlik cihazında Brinell sertlik ucu kullanılarak tespit edilen sertlik değerleri sırasıyla 275 ± 13 HB ve 255 ± 20 HB olarak belirlenmiştir. Ayrıca numunelerin korozyon özellikleri 25% ağı. K₂SO₄ + 75% ağı. Na₂SO₄ tuz ortamında 800, 900 ve 1000°C'de 165 saat (15 Çevrim) sürede sıcak korozyon deneyleriyle incelenmiştir. Korozyon sonrası numunelerin süreye bağlı olarak ağırlık değişimleri, mikroyapı (SEM-EDS) ve faz analizleri gerçekleştirilmiş olup NiAl-34Cr alaşımının korozyon özelliklerinin Mo ilaveli alaşıma kıyasla daha iyi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İntermetalik, Nikel Alüminid, Ötektik Alaşım, Sıcak Korozyon, Sinterleme

High Temperature Corrosion Behavior of Eutectic Structured NiAl-34Cr and NiAl-28Cr-6Mo Alloys Produced by Electric Current Activated Sintering

¹Cihan Çeper, ²Nuri Ergin, ^{*3}Özkan Özdemir

¹ Metallurgical and Materials Engineering Department, Sakarya University of Applied Sciences, Sakarya, Turkey, d190012007@subu.edu.tr,

² Metallurgical and Materials Engineering Department, Sakarya University of Applied Sciences, Sakarya, Turkey, nergin@subu.edu.tr

³ Metallurgical and Materials Engineering Department, Sakarya University of Applied Sciences, Sakarya, Turkey, oozdemir@subu.edu.tr

Abstract

In this study, NiAl-34Cr and NiAl-28Cr-6Mo eutectic alloys were produced by electric current assisted sintering (ECAS) method in a 3500-4200 A current range with a waiting time of 47 minutes. Phase examinations of the obtained samples were carried out with the help of X-ray diffraction analysis (XRD). While determining NiAl and Cr phases in NiAl-34Cr alloy from XRD patterns; It was determined that NiAl-28Cr-6Mo alloy consists of two phases, together with Mo residues, NiAl and CrMo. According to the Archimed principle, the relative density of NiAl-34Cr and NiAl-28Cr-6Mo alloys was determined as 96.2%, 97.9% respectively. The hardness values of NiAl-34Cr and NiAl-28Cr-6Mo samples were approximately 275 ± 13 HB and 255 ± 20 HB detected. In addition, the corrosion properties of the samples were examined by hot corrosion tests at 800, 900 and 1000°C for 165 hours (15 cycles) in 25% wt. K₂SO₄ + 75% wt. Na₂SO₄ salt medium. Weight changes, microstructure (SEM-EDS) and phase analysis of the samples after corrosion were carried out, and the corrosion properties of NiAl-34Cr alloy were found to be better compared to the Mo-added alloy.

^{*3} Sorumlu Yazar: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya/Türkiye,

Keywords: Intermetallic, Nickel Aluminide, Eutectic Alloy, Hot Corrosion, Sintering

1. GİRİŞ

Nikel Alüminidler, yüksek elastik modül, düşük yoğunluk (5.95 g/cm^3), yüksek ergime derecesi (1638°C) ve 1300°C 'ye kadar mükemmel oksidasyon ve korozyon özellikleri sayesinde yüksek sıcaklık uygulamaları için aday malzemeler olarak değerlendirilmektedir [1-8]. Bu malzemelerin pratik uygulamalarda kullanımını sınırlandıran başlıca problemi yetersiz kayma sisteminin ve zayıf tane sınırının sonucu olarak oluşan gevrek karakterleridir [1-8]. Ancak bu konuda son yıllarda yapılan çalışmalar, mikroyapı kontrolü sağlayan üretim yöntemlerinin kullanılması veya Ta, Mo, V, Cr gibi refrakter metallerin sisteme dahil edilerek ötektik in-situ kompozitler oluşturulmasıyla oda ve yüksek sıcaklık tokluğunun iyileştirebileceğini, çökme ve/veya katı çözümlü mekanizmalarıyla yüksek sıcaklık dayanımının artırılabilceğini ortaya koymaktadır [9-12]. NiAl intermetalik malzemesinde oluşabilecek ötektik dönüşümleri incelemek için yapılan çalışmalarda Cr, Mo, Ta, W ve Nb gibi refrakter metaller alaşım elementi olarak tercih edildiğinde NiAl'in oda sıcaklığındaki tokluk değeri ve yüksek sıcaklık mukavemetinin arttığı bildirilmektedir [4-7]. NiAl-28Cr-6Mo ötektik alaşımı, NiAl esaslı birçok alaşımla karşılaştırıldığında, nispeten yüksek ergime derecesi, yüksek sürtünme direnci, iyi termal iletkenlik ve oldukça yüksek kırılma tokluğu gibi özelliklerinden dolayı incelenen çok elemanlı sistemlerin en mantıklı seçimi olarak görülmektedir [8, 13, 14]. Son dönemde, yönlü katılma yöntemiyle üretimi gerçekleştirilen ötektik NiAl-Cr(Mo) alaşımının oda sıcaklığındaki kırılma tokluğu ($24 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$), polikristalin NiAl'in kırılma tokluğu ($6 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) ile karşılaştırıldığında oldukça yüksek değerlerin elde edildiği bildirilmiş ancak nikel esaslı süperalaşım ile karşılaştırıldığında yüksek sıcaklık mukavemetinin artırılması gerektiği vurgulanmıştır [1]. Sheng ve arkadaşları NiAl/Cr(Mo) esaslı malzemelere seramik parçacıkları ilave edilerek yüksek sıcaklık dayanımının artırılacağını bildirmişlerdir [3]. Sıcak korozyon, metal ve alaşımların yüzeyinde meydana gelen koruyucu oksit filmlere zarar verebilen ergiyik durumdaki V_2O_5 , NaVO_3 , NaCl , K_2SO_4 ve Na_2SO_4 gibi tuz içeren maddelerin varlığından kaynaklanan bir çeşit hızlandırılmış korozyon olarak ifade edilebilir. Sıcak korozyon, deniz, havacılık ve endüstride kullanılan gaz türbinleri için büyük sorun bir sorundur. Oksidasyonun aksine sıcak korozyonda, malzeme meydana gelecek hasar önceden tahmin edilememekte ve malzeme çok kısa sürede servis dışı kalmaktadır [15].

Bu çalışmada ötektik NiAl-28Cr-6Mo ve NiAl-34Cr alaşımlarının elektrik akımı destekli sinterleme (ECAS) yöntemi ile üretimleri hedeflenmiştir. Bu malzemelerin üretiminde genellikle geleneksel veya hassas döküm yöntemleri kullanılmaktadır. Yapılan literatür incelemelerinde NiAl-Cr (Mo) ötektik alaşımlarının ECAS tekniği ile üretilmeleri üzerine herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. ECAS prosesi, ön şekillendirilme işlemi

gerçekleştirilmiş toz tabletler üzerinden elektrik akımı geçirilmesiyle çok kısa bir zamanda nihai konfigürasyonlara yakın ürünlerin üretilmelerine imkan tanıyan alternatif bir sinterleme tekniğidir. Geleneksel sinterleme teknikleri ile karşılaştırıldığında, daha az yardımcı ekipman gereksinimi, kontrollü atmosfere ihtiyaç duyulmaması, yüksek ısıtma hızı sayesinde daha kısa işlem süresi ve işlem süresine bağlı olarak istenmeyen reaksiyonların ortadan kaldırılması gibi birçok avantaj sağlamaktadır [16]. ECAS tekniği kullanılarak üretimi gerçekleştirilen alaşımların karakterizasyonu, taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDS), X-ışınları difraksiyon analizi (XRD), mikrosertlik ve yoğunluk ölçümleri ile yapılmış, sıcak korozyon davranışları 25% ağırlıkta K_2SO_4 + 75% ağırlıkta Na_2SO_4 tuz ortamında farklı sıcaklıklarda çevrimsel olarak belirlenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzemelerin Üretimi

NiAl-28Cr-6Mo ve NiAl-34Cr (at.%) alaşımlarının üretiminde, küresel formda Ni (99.5% , $2.2\mu\text{m}$) tozu, gaz atomizasyon yöntemi ile elde edilmiş küresel Al tozu (99.5% , $7-15\mu\text{m}$), keskin köşeli tane yapısına sahip Cr tozu (99.8% , $1-5\mu\text{m}$) ve küresel forma yakın Mo tozu (99.95% , $3-7\mu\text{m}$) başlangıç malzemesi olarak kullanılmıştır. Ni-Al faz diyagramı dikkate alınarak belirlenen bileşim oranına göre hazırlanan tozların homojen karışımı atritör cihazında 10 saat boyunca zirkon bilyalar (bilya : toz oranı 2:1) ile sağlanmıştır. Karıştırma işlemi sonrası tozların, yüzey pürüzlülüğü minimum seviyeye indirgenmiş kalıplar içerisine alınarak, tek eksenli hidrolik preste 50 MPa basınç altında ön şekillendirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Açık atmosferden korumak amacıyla sıkı geçme pim kullanılan kalıp içerisinde tutulan numuneler 47 dakika $3500-4200$ amper aralığında elektrik akımına tabii tutularak üretilmiştir. İşlem sonucunda 20 mm çapında ve 5 mm yüksekliğinde numuneler elde edilmiştir.

2.2. Karakterizasyon Çalışmaları

Numuneler karakterizasyon çalışmalarını gerçekleştirmek için standart numune hazırlama yöntemlerine uygun olarak 1200 gridlik zımpara kademesine kadar zımparalanmış ve alümina solisyon ile parlatılmıştır. Üretilen numunelerde elde edilen fazların tespiti için X-ışınları difraktometresi kullanılmıştır.

2.3. Sertlik Ölçüm Çalışmaları

Sertlik ölçümleri mikrosertlik cihazında 10 mm çapında Brinell sertlik ucu ile 3000 kg yük altında 10 saniye süresince gerçekleştirilmiş olup yoğunlukları suyun kaldırma kuvveti Archimed prensibine göre hesaplanmış ve nispi yoğunlukları tespit edilmiştir.

2.4. Korozyon Çalışmaları

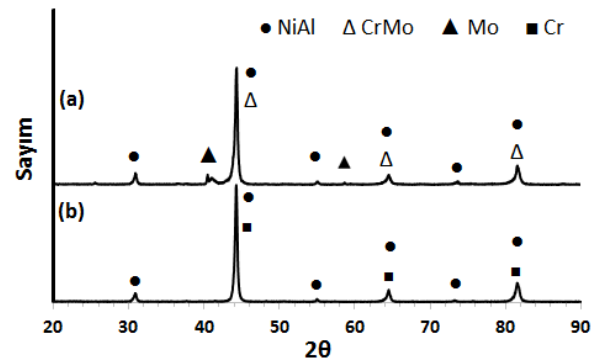
Numunelerin korozyon özellikleri sıcak korozyon testleriyle, çevrimsel olarak 165 saat (15 Çevrim) sürede 800, 900 ve 1000°C'de [17-18] 25% ağırlıkta K_2SO_4 + 75% ağırlıkta Na_2SO_4 tuz karışım ortamında gerçekleştirilmiştir. Her çevrimde 11 saat süresince kroze içerisinde korozyona maruz bırakılan numunelerin yüzeylerinde biriken tuzları çözdürmek amacıyla 5 dakika boyunca kaynatılmış ve kurutulmuştur. Numunelerin ağırlık ölçümleri yapıldıktan sonra tekrar kroze içinde yeni tuz ortamında gömülerek sonraki 11 saatlik çevrim başlatılmıştır. Sıcak korozyon deneyine tabi tutulan numunelerin ağırlık değişimleri (mg/cm^2) üç sıcaklık için de tespit edilmiştir. Mikroyapı ve faz analizi, X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskopu (SEM-EDS) ile karakterize edilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

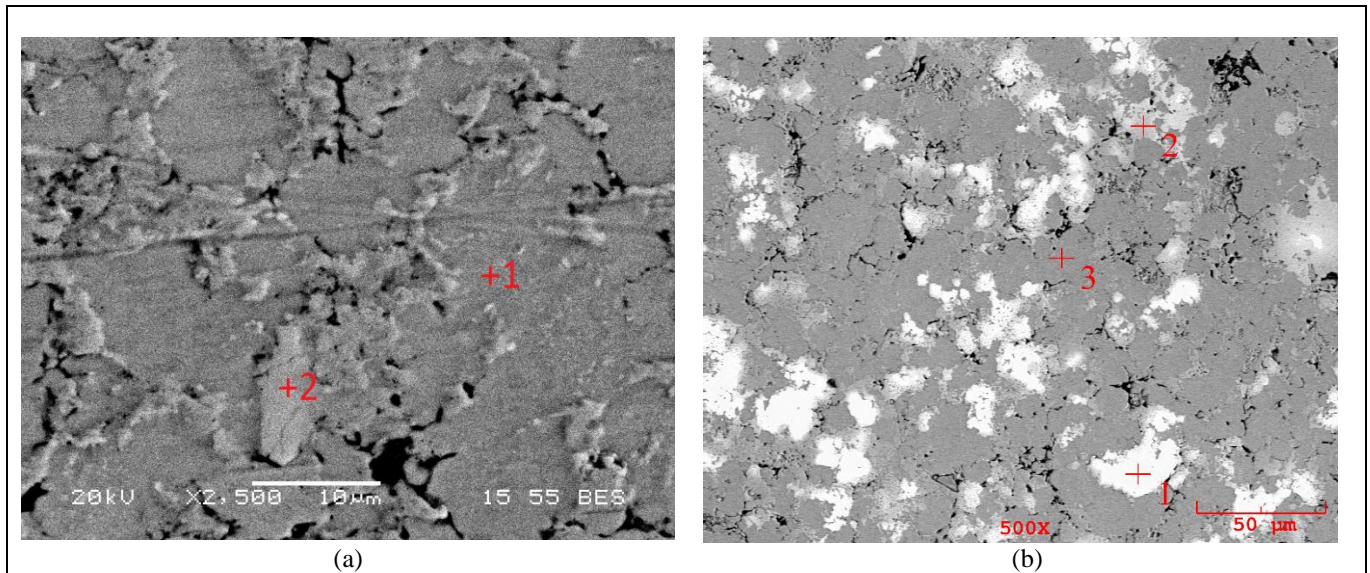
Üretimi gerçekleştirilen ötektik yapılu nikel alüminid esaslı malzemelerde oluşan fazları tespit etmek için x-ışınları difraksiyon analizi kullanılmıştır.

XRD analizlerinden NiAl-34Cr alaşımında NiAl ve Cr fazları tespit edilirken, NiAl-28Cr-6Mo alaşımında ise Mo kalıntıları ile birlikte, belirgin olarak NiAl ve CrMo olmak

üzere iki ana faz belirlenmiştir (Şekil 1). Bu malzemeler üzerine daha önce yapılmış çalışmalarda birçok araştırmacı NiAl-34Cr alaşımında NiAl ve Cr fazlarının [6, 19-21], NiAl-Cr(Mo) alaşımında ise NiAl ve Cr(Mo) fazlarının varlığını [7, 22, 23] bildirmiştir. NiAl, Mo ve Cr'un kafes parametreleri sırasıyla 2.89, 3.15 ve 2.88 Å olarak rapor edilmiştir [16]. Cr ve NiAl'in değerleri oldukça yakın olduğundan, Mo esaslı katı bir çözeltide NiAl veya Al ve Ni'deki Mo'nin oldukça düşük çözünürlüğü vardır. Dolayısıyla XRD analizinden de görüldüğü gibi reaksiyona girmemiş Mo varlığı söz konusudur ve bu olağandır. Daha önceki çalışmalarda döküm prosesi üretim yöntemi olarak kullanılmış ve benzer sonuçlar alınmıştır [1]. Bu bağlamda ötektik yapılu NiAl esaslı malzemelerin ECAS tekniği ile başarılı bir şekilde üretilmiş olduğu kanıtlanmıştır.



Şekil 1. Üretilen ötektik alaşımların XRD analizleri (a) NiAl-28Cr-6Mo, (b) NiAl-34Cr



Şekil 2. Üretilen numunelerin SEM-EDS görüntüleri (a) NiAl-34Cr, (b) NiAl-28Cr-6Mo

Tablo 1. Üretilen numunelerin noktasal EDS analizi değerleri (%at.)

	NiAl-34Cr		NiAl-28Cr-6Mo		
	1	2	1	2	3
Ni	58,2	4,7	1,8	4,9	39,3
Al	35,9	4,9	5,0	4,7	56,0
Cr	5,9	90,4	20,4	86,1	3,9
Mo	-	-	72,8	4,3	0,8

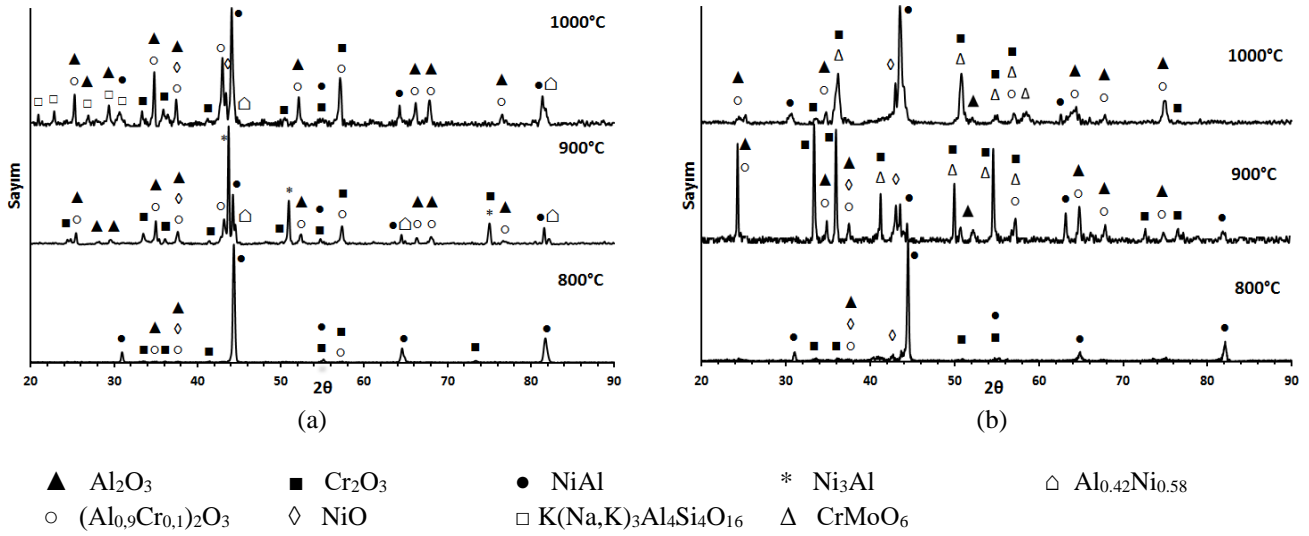
Üretilen numunelere ait SEM-EDS görüntüleri Şekil 2’de verilmiştir. NiAl-34Cr numunesinin iki fazlı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2a). Çıktı şeklinde gözlenen bölgelerin kromca zengin bir faz olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1). Daha düz bir yüzey görüntüsüne sahip olan bölgenin Ni ve Al bakımından zengin bir faz olduğu ve içerisinde az miktarda Cr içerdiği görülmüştür (Tablo 1). Kromun NiAl içerisindeki çözünürlüğü düşük olup sadece ağırlık % 1-5 seviyesindedir.[24] NiAl-28Cr-6Mo numunesine ait SEM-EDS görüntüsü Şekil 2b’de verilmiştir. Yapılan EDS analizi sonucunda beyaz renkli bölgelerin Mo - Cr, açık gri renkli bölgelerin Cr, koyu gri renkli bölgelerin Ni – Al bakımından zengin olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1).

NiAl-34Cr ve NiAl-28Cr-6Mo alaşımlarının nispi yoğunlukları sırasıyla %96,2 ve %97,9’dur. ECAS tekniğinin alternatif bir toz metalurjisi yöntemi olduğu düşünüldüğünde elde edilen nispi yoğunluk değerlerinin oldukça iyi olduğu kabul edilebilir. NiAl-34Cr ve NiAl-28Cr-6Mo alaşımlarının mikrosertlikleri sırasıyla 275 ± 13 HB ve 255 ± 20 HB olarak tespit edilmiştir. Johnson ve arkadaşları [6] ark ergitme yöntemi ile ürettiği NiAl, NiAl-10Cr, NiAl-34Cr ve NiAl-90Cr alaşımlarının vickers mikrosertliklerini sırasıyla 276, 431, 481, 589 olarak ölçmüş ve krom miktarının artmasıyla sertlik değerinin arttığını bildirmişlerdir.

Ayrıca bu çalışmada, NiAl-28Cr-6Mo ve NiAl-34Cr alaşımları yüksek sıcaklık malzemesi olarak düşünüldüğünden sıcak korozyon testleriyle yüksek sıcaklık bozunma özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Sıcak korozyon testleri 800, 900 ve 1000°C farklı sıcaklıklarda çevrimsel olarak 165 saat (15 Çevrim) sürede %25 ağırlık K_2SO_4 + %75 ağırlık Na_2SO_4 koroziv tuz ortamında gerçekleştirilmiştir. Numunelerin farklı sıcaklık ve sürelerle bağlı olarak izotermal sıcak korozyon çalışmaları ile ağırlık değişiminden korozyon hızları tespit edilmiştir. Sıcak korozyon testine maruz bırakılmış numunelerin yüzey morfolojilerini incelemek ve yüzeyde oluşan korozyon ürünlerinin elementel dağılımını tespit etmek için SEM-EDS analizleri ve faz oluşumlarını belirlemek için XRD difraksiyon analizi yapılmıştır.

800°C’de korozyona maruz bırakılan NiAl-34Cr ötektik alaşımının yüzeyinden alınan XRD paternlerinde (Şekil 3(a)) NiAl, Cr_2O_3 , $(Al_{0,9}Cr_{0,1})_2O_3$, Al_2O_3 ve NiO fazları tespit edilmiştir. NiAl matris pikinin tespit edilmesinin korozyon tabakasının yeterli kalınlığa ulaşmamış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. 900°C’de korozyona maruz bırakılan numunede ise korozyon öncesi tespit edilmemiş olan $Al_{0,42}Ni_{0,58}$ ve Ni_3Al fazlarının olduğu gözlenmiştir.

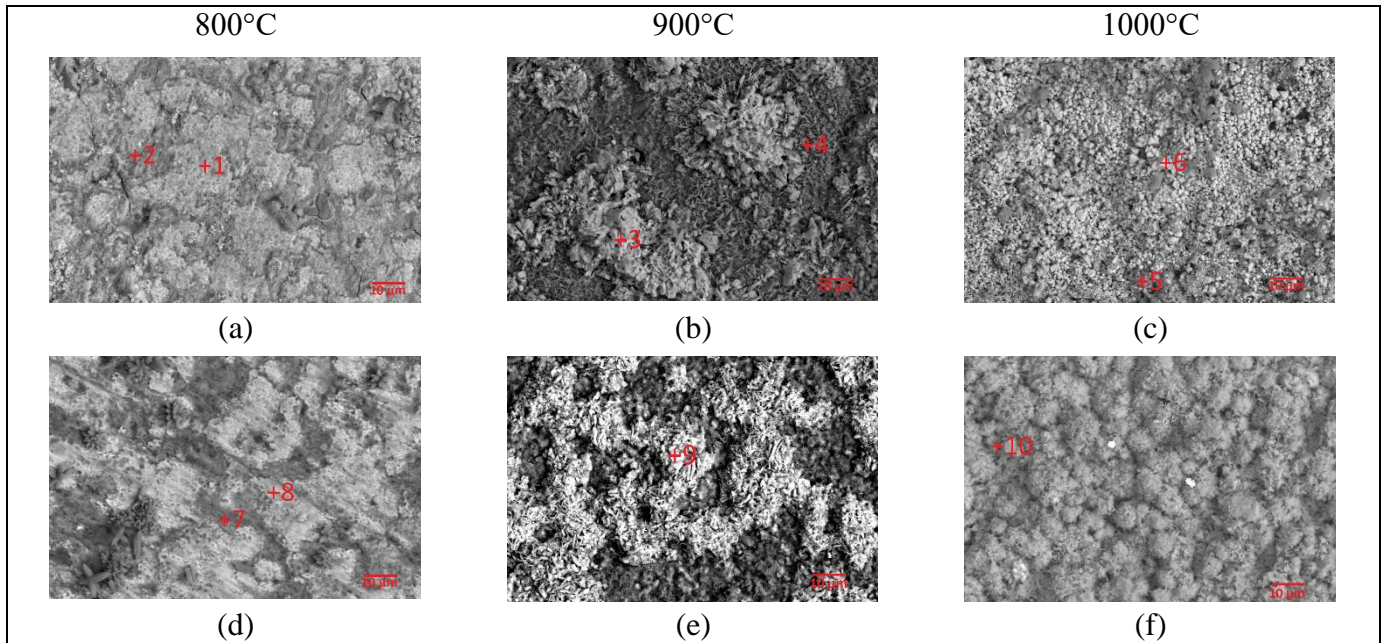
Korozyon sıcaklığının artışı ile birlikte Al_2O_3 piklerinin şiddeti artmaktadır. Bu durum sonucunda matris alüminyumca fakirleştiği ya da nikelce zenginleştiği için Ni:Al stokiometriden saparak Ni_3Al (en güçlü pik, sayım:100) ve $(Al_{0,42}Ni_{0,58})$ fazlarının olduğu düşünülmektedir. 1000°C’de korozyona uğrayan malzemenin XRD analizinde ise farklı olarak $K(Na,K)_3Al_4S_{14}O_{16}$ fazı da tespit edilmiştir. Numunenin yüzeyine yapışan tuzu uzaklaştırmak amacıyla korozyonun her çevriminin ardından numuneler 5 dk boyunca kaynatılmış, buna rağmen numune yüzeyinde alkali element içeren bileşim tespit edilmiştir. Bileşim içerisindeki silisyum elementinin ise korozyon deneylerinde kullanılan krozinin iç yüzeyindeki sırt tabakasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Korozyona maruz bırakılan NiAl-28Cr-6Mo ötektik alaşımının korozyon yüzeyinden alınan XRD paternleri Şekil 3(b)’de verilmiştir. 800°C de NiAl, Cr_2O_3 , Al_2O_3 , NiO ve $(Al_{0,9}Cr_{0,1})_2O_3$ fazları tespit edilmiş olup en güçlü pik NiAl matris pikidir. 900 ve 1000°C’de farklı olarak Cr_2MoO_6 fazı tespit edilmiştir. Ayrıca 900°C’de NiAl-34Cr alaşımına benzer şekilde NiAl matris pikinin şiddetinde azalma ve Cr içeren fazların şiddetinde artış meydana gelmiştir. Leyens ve arkadaşları [17], NiAl-Hf alaşımına at.%2 ve at.%5 Cr ve Pt ilave edilerek hazırlanan alaşımlara Na_2SO_4 tuz ortamında 200 saat süresince çevrimsel (200 çevrim) korozyon deneyi sonucunda Cr ilaveli malzemelerin Pt ilaveli malzemelere göre daha yüksek korozyon direncine sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Task ve arkadaşları [18], Ni-36Al, Ni-36Al-5Cr, Ni-36Al-5Co, Ni-36Al-5Pt, Ni-36Al-5Co-5Pt alaşımlarını Na_2SO_4 tuz karışımı içerisinde 320 saatlik çevrimsel (16 çevrim) korozyon deneyi sonucunda alaşım elementi ilave edilen alaşımların Ni-36Al alaşımına kıyasla korozyon direncinin daha yüksek olduğunu ve korozyon direnci en yüksek malzemenin krom ilaveli malzeme olduğunu bildirmişlerdir. Liu ve arkadaşları [25] yaptığı çalışmada ise NiAlCrYSi alaşımını %75 ağırlık Na_2SO_4 + %25 ağırlık NaCl tuz ortamında 900, 950 ve 1000°C’de 100 saat süresince çevrimsel (10 çevrim) korozyona maruz bırakmıştır. Korozyona uğrayan malzemelerin XRD analizinde Cr_2O_3 , Al_2O_3 , $NiCr_2O_4$ and $NiAl_2O_4$ ’den oluşan karışık fazlar tespit edilmişlerdir. Kesitten alınan SEM görüntülerinde dışarıdan içeriye doğru Ni $(Al,Cr)_2O_4$, Al_2O_3 ve $(Al,Cr)_2O_3$ oksit katmanlarının olduğunu bildirmişlerdir. Korozyonun başlangıç aşamasında, difüzyon katmanındaki alüminyum tercihen alümina tabakası oluşturmak için oksitlenmiştir. Oksit tabakası oluşumu ve iç oksidasyon nedeniyle difüzyon katmanındaki alüminyum miktarı keskin bir şekilde azalmış ve bu da difüze olan Cr atomlarının Cr_2O_3 oluşturarak Al_2O_3 tabakasının içinde yer aldığı rapor edilmiştir.



Şekil 3. Sıcak korozyona maruz kalan alaşımların XRD analizi (a) NiAl-34Cr, (b) NiAl-28Cr-6Mo

Sıcak korozyona maruz kalan NiAl-34Cr ve NiAl-28Cr-6Mo ötektik alaşımlarının yüzey SEM mikroyapı görüntüleri Şekil 4'te ve oluşan korozyon ürünlerinin bileşimlerini tespit etmek için yapılan noktasal EDS analizine ait sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Korozyona uğrayan alaşımların yüzeylerinde iki fazlı bir yapı belirlenmiştir (Şekil 4). Analiz

sonuçlarına açık gri renkli bölgeler Ni-Al, koyu gri renkli bölgeler Al-Cr bakımından zengin oksit tabakaları olduğu görülmüştür. Ayrıca Cr bakımından zengin oksitlerin yüzeye dik olarak iğnemi bir yapıda oluştuğu gözlenmiştir (nokta 3)



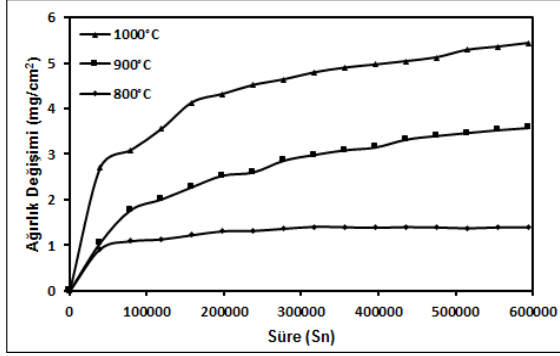
Şekil 4. Korozyona uğrayan numunelerin SEM-EDS görüntüleri (a, b, c) NiAl-28Cr-6Mo, (d, e, f) NiAl-34Cr

Tablo 2. Korozyona uğrayan numunelerin noktasal EDS analizi değerleri (% at.)

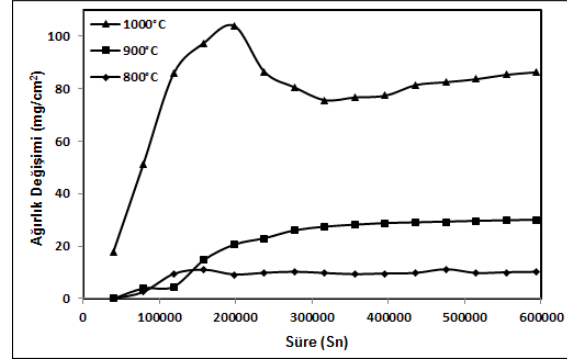
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ni	20.51	1.80	0.15	0.42	27.95	17.00	3.24	11.68	0.32	1,75
Al	41.86	21.49	2.22	46.22	19.58	1.19	35.95	38.31	5.00	36.56
Cr	1.85	19.02	25.25	6.68	6.82	23.55	12.31	9.20	30.68	4.87
Mo	0.48	0.34	0.08	2.06	1.01	0.06	-	-	-	-
O	35.30	57.35	72.30	44.62	44.64	58.20	48.50	40.81	64.00	56.82

165 saat korozyona maruz bırakılmış NiAl-34Cr ve NiAl-28Cr-6Mo ötektik alaşımlarının süre ve sıcaklığa bağlı olarak birim alandaki ağırlık değişimleri Şekil 4'te verilmiştir. NiAl-34Cr alaşımının korozyon direncinin Mo ilaveli alaşıma kıyasla daha iyi olduğu görülmektedir. Korozyon sıcaklığının artması ile birlikte katyon ve anyonların difüzyon hızı arttığı için numunelerin ağırlık

artışları da artmaktadır [15]. 800°C'de korozyon ortamı ergiyik durumda olmadığı için numunelerin korozyon davranışları oksidasyon ile benzerlik göstermektedir. Fakat 25% ağırlıkta K_2SO_4 + 75% ağırlıkta Na_2SO_4 tuz ortamı 900°C'de ergidiği için [26] korozyon davranışları 800°C'ye kıyasla oldukça değişmektedir. 60 saat korozyona maruz kalan NiAl-28Cr-6Mo alaşımında dökülmeler meydana gelmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5. Sıcak korozyona maruz kalan ötektik alaşımların süre ve sıcaklığa bağlı ağırlık değişimi (a) NiAl-34Cr, (b) NiAl-28Cr-6Mo

4. SONUÇ

Bu çalışmada, elektrik akım destekli sinterleme yöntemi ile ötektik yapıları NiAl-34Cr ve NiAl-28Cr-6Mo alaşımları başarı ile üretilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen NiAl-34Cr alaşımından alınan XRD paternlerinden ötektik reaksiyona uygun olarak NiAl (A2) ve α Cr (B2) fazları, molibden ilaveli alaşımdan alınan XRD paternlerinde ise NiAl, CrMo ve Mo fazları tespit edilmiştir. Archimed prensibi esas alınarak NiAl-34Cr ve NiAl-28Cr-6Mo alaşımlarının ölçülen yoğunluklarının, teorik yoğunluklarına oranlanarak hesaplanan nispi yoğunlukları sırasıyla %92,9 ve %97,9 olarak belirlenmiştir. Vickers sertlik ucu kullanarak 500 gram yük altında gerçekleştirilen NiAl-34Cr ve NiAl-28Cr-6Mo alaşımlarının mikrosertlik değerleri sırasıyla 288 ± 18 HV_{0.5} ve 271 ± 22 HV_{0.5} olarak ölçülmüştür. Üretilen numunelerin sıcak korozyon özellikleri ağırlıkta %75 Na_2SO_4 + ağırlıkta %25 K_2SO_4 ortamında 800, 900 ve 1000°C'de çevrimli korozyon deneyleri yapılarak incelenmiştir. Her çevrim 11 saat olup toplam 15 çevrim (165 saat) korozyon deneyi gerçekleştirilmiştir. X-ışınları difraksiyon analizi sonucunda tüm numunelerde NiAl, Cr_2O_3 , Al_2O_3 , NiO ve $(Al_{0.9}Cr_{0.1})_2O_3$ fazları, NiAl-34Cr alaşımında 900°C'de nikelce zengin Ni_3Al ve $Al_{0.42}Ni_{0.58}$ fazları, 1000°C'de $K(Na,K)_3Al_4Si_4O_{16}$ fazı, NiAl-28Cr-6Mo alaşımında ise 900°C ve 1000°C'de farklı olarak Cr_2MoO_6 fazı tespit edilmiştir. Korozyon sıcaklığının artışıyla birlikte numunelerin birim alandaki ağırlık artışının yükseldiği ve molibden alaşım ilavesinin korozyon direncini olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

[1] L. Tang, Z. Zhang, S. Li, S. Gong, "Mechanical behaviors of NiAl-Cr(Mo)-based near eutectic alloy with Ti, Hf, Nb

and W additions", Trans. Nonferrous Met. Soc. China Vol. 20, pp. 212-216, 2010.

[2] K. Hagihara, Y. Sugino, Y. Umakoshi, "The effect of Ti-addition on plastic deformation and fracture behavior of directionally solidified NiAl/Cr(Mo) eutectic alloys", Intermetallics, Vol. 14, pp. 1326-1331, 2006.

[3] J. Guo, Z. Wang, L. Sheng, L. Zhou, C. Yuan, Z. Chen, L. Song, "Wear properties of NiAl based materials", Progress in Natural Science: Materials International Vol. 22, no. 5, pp. 414-425, 2012.

[4] P.L. Ferrandini, F.L.G.U. Araujo, W.W. Batista, R. Caram, "Growth and characterization of the NiAl-NiAlNb eutectic structure", Journal of Crystal Growth, Vol. 275, pp. 147-152, 2005.

[5] A. Güngör, H. Demirtaş, "Microstructure and mechanical properties of Fe-doped NiAl-28Cr-6Mo eutectic alloys", Trans. Nonferrous Met. Soc. China, Vol. 26, pp. 1025-1031, 2016.

[6] D.R. Johnson, X.F. Chen, B.F. Oliver, R.D. Noebe, J. D. Whittenberger, "Processing and mechanical properties of in-situ composites from the NiAlCr and the NiAl(Cr,Mo) eutectic systems" Intermetallics, Vol. 3, No 2, pp. 99-113, 1995.

[7] Y.X. Chen, C.Y. Cui, J.T. Guo, D.X. Li, "Microstructure investigation of NiAl-Cr(Mo) interface in a directionally solidified NiAl-Cr(Mo) eutectic alloyed with refractory metal" Materials Science and Engineering, Vol. A 373, pp. 279-285, 2004.

[8] D.T. Jiang, J.T. Guo, "Preliminary investigation of in-situ multi-phase composite NiAl-CrMo/ TiC", Materials Letters, Vol. 36, pp. 33-37, 1998.

[9] A. Albiter, M. Salazar, E. Bedolla, R.A.L. Drew, R. Perez, "Improvement of the mechanical properties in a nanocrystalline NiAl intermetallic alloy with Fe, Ga and Mo

additions”, *Materials Science and Engineering*, Vol. A. 347(1-2), pp. 154-164, 2003.

[10] Y. Liang, J. Guo, Y. Xie, L. Zhou, Z. Hu, “High temperature compressive properties and room temperature fracture toughness of directionally solidified NiAl-based eutectic alloy” *Materials and Design*, Vol. 30, No. 6, pp. 2181-2185, 2009.

[11] K. Morsi, “Review; reaction synthesis processing of Ni-Al intermetallic materials”, Vol. 299, pp. 1-15, 2001.

[12] J.F. Zhang, J. Shen, Z. Shang, L. Wang, H.Z. Fu, “Directional solidification and characterization of NiAl-9Mo eutectic alloy”, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, Vol. 23, No. 12, pp. 3499-3507, 2013.

[13] L. Wang, J. Shen, Z. Shang, H. Fu, “Microstructure evolution and enhancement of fracture toughness of NiAl-Cr(Mo)-(Hf,Dy) alloy with a small addition of Fe during heat treatment”, *Scripta Materialia*, Vol 89, pp. 1-4, 2014.

[14] L.Y. Sheng, J.T. Guo, H.Q. Ye, “Microstructure and mechanical properties of NiAl-Cr(Mo)/Nb eutectic alloy prepared by injection-casting”, *Materials and Design*, Vol. 30, pp. 964-969, 2009.

[15] Garip Yiğit, “Elektrik Akım Destekli Sinterleme Yöntemiyle Üretilen Ti-48Al Esaslı İntermetaliklere Alaşım Elementi İlavesinin Oksidasyon ve Sıcak Korozyon Davranışına Etkisinin İncelenmesi”, Doctoral thesis, Sakarya University of Applied Science, Graduate Education Institute Sakarya, 2019.

[16] Çeper Cihan, “NiAl-34Cr-X (Fe, Nb, Ti) alaşımının elektrik akım destekli sinterleme (ECAS) yöntemiyle üretimi ve karakterizasyonu”, Master thesis, Sakarya University Institute of Natural Sciences, Sakarya, 2019.

[17] C. Leyens, B.A. Pint, I.G. Wright, “Effect of composition on the oxidation and hot corrosion resistance of

NiAl doped with precious metals”, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 133-134, pp 15-22, 2000.

[18] M.N. Task, M. Gleeson, F.S. Pettit, G.H. Meier, “Compositional effects on the Type I hot corrosion of β -NiAl alloys”, *Surface & Coatings Technology*, Vol. 206, pp. 1552-1557, 2011

[19] M. Kellner, L. Sprenger, P. Steinmetz, J. Hötzer, B. Nestler, M. Heilmaier, “Phase-field simulation of the microstructure evolution in the eutectic NiAl-34Cr system. *Computational Materials Science*”, Vol. 128, pp. 379-387, 2017.

[20] B. Tang, D.A. Cogswell, G. Xu, S. Milenkovic, Y. Cui, “The formation mechanism of eutectic microstructures in NiAl-Cr composites”, *Physical Chemistry Chemical Physics*, Vol. 18, No 29, pp. 19773-19786, 2016.

[21] A. Misra, R. Gibala, “Plasticity in multiphase intermetallics”, *Intermetallics*, Vol. 8, pp. 1025-1034, 2000.

[22] J.M. Yang, S.M. Jeng, K. Bain, R.A. Amato, “Microstructure and mechanical behaviour of in-situ directional solidified NiAl/Cr(Mo)”, *Acta Materialia*, Vol. 45, pp. 295-308, 1997.

[23] Z. Shang, J. Shen, L. Wang, Y. Du, Y. Xiong, H. Fu, “Investigations on the microstructure and room temperature fracture toughness of directionally solidified NiAl-Cr(Mo) eutectic alloy”, *Intermetallics*, Vol. 57, pp. 25-33, 2015.

[24] G.K. Dey, B. Atomic, “Physical Metallurgy of Nickel Aluminides”, *Sadhana*, Vol. 28, pp. 247-262, 2003.

[25] Y.D Liu, J. Sun, Z.L. Pei, W. Li, J.H. Liu, J. Gong, J.Sun, “Oxidation and hot corrosion behavior of NiCrAlYSi+NiAl/cBN abrasive coating”, *Corrosion Science*, 2020.

[26] Z. Tang, F. Wang, W. Wu, “Effect of a sputtered TiAlCr coating on hot corrosion resistance of gamma-TiAl”, *Intermetallics*, Vol. 7, pp. 1271-1274, 1999.


Hybrid Evolutionary Strategy and Simulated Annealing Algorithms for Integrated Process Planning, Scheduling and Due-Date Assignment Problem

Halil İbrahim Demir¹, Rakesh Kumar Phanden², Abdullah Kökçam³, Burak Erkayman⁴, Caner Erden^{5*}

¹ Industrial Engineering Department, Sakarya University, Sakarya, Turkey, hidemir@sakarya.edu.tr 

² Department of Mechanical Engineering, Amity University, Uttar Pradesh Noida, India, rkphanden@amity.edu 

³ Industrial Engineering Department, Sakarya University, Sakarya, Turkey, akokcam@sakarya.edu.tr 

⁴ Industrial Engineering Department, Atatürk University, Erzurum, Turkey, erkayman@atauni.edu.tr 

⁵ Faculty of Applied Sciences, Sakarya University of Applied Sciences, Sakarya, Turkey cerden@subu.edu.tr 

Research Paper

Arrival Date: 04.07.2020

Accepted Date: 21.11.2020

Abstract

Although integrated process planning and scheduling (IPPS) problem is studied extensively as scheduling with due-date assignment problem (SWDDA) in the literature, there are only a few studies on integration of these three manufacturing functions which are process planning, scheduling, and due-date assignment. Since outputs of upper stream functions effect downstream functions and higher integration gives a better global performance, it is better to integrate these three functions. In this study integration of process planning and earliest due-date scheduling (EDD) with due-date assignment is studied using hybrid evolutionary strategies (RS/ES) and hybrid simulated annealing algorithms (RS/SA). Ordinary solutions (OS), random search (RS) solutions, evolutionary strategies (ES) solutions, and simulated annealing (SA) solutions are compared with each other and hybrid solutions of ES and SA, with RS. According to the results, higher integration found better and best results are obtained with the highest integration level. ES and SA methods gave better results compared to the RS and OS, and RS/ES and RS/SA techniques were found promising search techniques.

Keywords: Process planning, scheduling, due-date assignment, hybrid evolutionary strategies, hybrid simulated annealing, random search

1. INTRODUCTION

Process planning, scheduling, and due-date assignment are three primary manufacturing functions in a job shop environment, which directly affect each other. Integration is a necessity to improve overall performance. There are many studies on integration of the first pair (Integrated Process Planning and Scheduling - IPPS) and second pair (Scheduling With Due-Date Assignment - SWDDA) of these functions. However, there are a few studies on integration of all three functions (Integrated Process Planning, Scheduling, and Due-Date Assignment - IPPSDDA).

There are comprehensive literature surveys on IPPS problem such as Tan and Khosnevis [1], Li et al. [2] and Phanden et al. [3]. As an example of studies on IPPS problem Morad and

Zalzala [4], Tan and Khoshnevis [5], Guo et al. [6], Baykasoğlu ve Özbakır [7], Leung et al. [8], Phanden et al. [9], Zhang and Wong [10] can be given.

Due-dates can be determined internally in which best dates can be investigated or externally in which they cannot be changed. There are two aspects of determining due-dates which are delivery reliability and speed [11]. Delivery reliability is an indicator that shows consistency in meeting orders as promised. Delivery speed is an ability to deliver orders with short lead times.

A comprehensive literature survey on SWDDA can be found in Gordon et al. [12]. Recent SWDDA studies can be given as Yin et al. [13–15], Iranpoor et al. [16]. Following works can be given as studies on Scheduling With Due-Window Assignment (SWDWA) problem; and Yang et al. [17]. Some

* Corresponding Author: Faculty of Applied Sciences, Sakarya University of Applied Sciences, Sakarya, Turkey cerden@subu.edu.tr

This article is extended from the paper titled "Solving Process Planning and Earliest Due Date Scheduling with Due Date Assignment Concurrently Using Hybrid Evolutionary Strategies and Hybrid Simulated Annealing Algorithms" published in the proceedings of the proceedings of "10th International Symposium on Intelligent Manufacturing and Service Systems".

of the works on the IPPSDDA problem can be given as Demir and Taskin [18], Demir and Erden [19]–[21], [21], [22].

The main focus of scheduling problems involves due-dates. A job is expected to be finished before its due-date in a conventional production system. Unlike this, in Just in Time (JIT) production system a job is to be finished exactly on its due-date. Instead of assigning due-dates, a due window is tried to be assigned in recent studies in which research is shifted from SWDDA to SWDWA.

It is not desired to deliver orders later than its due-date. On the other hand, it is also not desired to produce early due to working capital and inventory holding costs. In order to improve performance measure earliness, tardiness and due-date related costs are all penalized in this study.

Merely, scheduling function is in the NP-Hard problem class. An integrated problem is far more difficult to solve. Exact solutions can be found for small problems but as problem size increases it is not possible to find exact solutions in a reasonable time. At this point heuristic methods are more suitable.

Planning is a timely decision that has to be determined in a certain time, otherwise, there is no value of a plan which is no longer valid. To overcome this problem instead of using exact solution methods heuristics are indeed very useful. In this research evolutionary strategies (ES), simulated annealing (SA) and their random hybrids (RS/ES and RS/SA) are utilized. Results of these meta-heuristics are compared with each other and also compared with random search (RS) and initial ordinary solution (OS).

The remaining of this paper is organized as follows: definition of the problem is given in section 2, solution methods and integration levels are given in section 3, experimentation is given in section 4, and the conclusion is given in the last section.

2. PROBLEM DEFINITION

In this study integration of process planning, scheduling and due-date assignment functions are considered. Problem is represented as a chromosome with (n+2) genes given in Figure 1. First two genes are used to represent due-date assignment and dispatching rules, respectively. Rest of the genes (n) represents the route of jobs. Effect of first two genes on a solution is higher than other genes which affects route of a single job. Thus, they have been found as dominant genes and given higher probability to be selected by mutation operator.

Eight different sized shop floors are considered which are given in Table 1. The first four problems have five routes for each job to select from, the last four problems have three routes for each job. As an example, the first shop floor has 5 machines, 25 jobs, and 10 operations for each job.

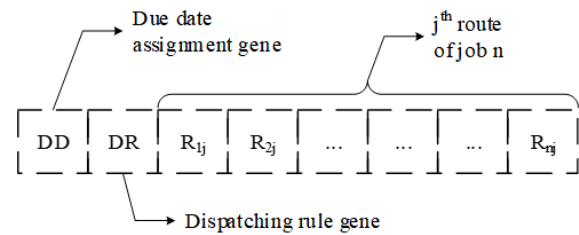


Figure 1. Sample chromosome

Table 1. Shop Floors

Shop floor	1	2	3	4	5	6	7	8
# of machines	5	10	15	20	25	30	35	40
# of jobs	25	50	75	100	125	150	175	200
# of routes	5				3			
# of operations per job	10							

Three types of machine groups are defined to represent the technology and capability of machines. High technology machines are relatively fast, average machines are faster than old ones, and old machines are the slowest. The processing time of each operation is calculated according to the machine group it belongs given in Table 2. For example, processing times of machine group 1 are calculated according to normal distribution with a mean of 10 and a standard deviation of 5. Each route has different probabilities to choose machine groups which are also given in Table 2. For example, route 1 has probabilities of 0.8, 0.1, and 0.1 to select machine groups 1, 2, and 3, respectively for shop floors 1, 2, 3, and 4.

Table 2. Probability of machine group selection based on routes

Shop Floor	Machine Group	Processing Times	Route1	Route2	Route3	Route4	Route5
1, 2, 3, 4	1	$[(10 + z * 5)]$	0.8	0.6	0.33	0.2	0.1
	2	$[(12 + z * 6)]$	0.1	0.25	0.33	0.3	0.2
	3	$[(14 + z * 7)]$	0.1	0.15	0.34	0.5	0.7
5, 6, 7, 8	1	$[(10 + z * 5)]$	0.7	0.33	0.2	N/A	N/A
	2	$[(12 + z * 6)]$	0.2	0.33	0.2	N/A	N/A
	3	$[(14 + z * 7)]$	0.1	0.34	0.6	N/A	N/A

N/A: Not available

Due-date assignment is made with the first gene according to the RDM and DUE rules given in Table 3 and explained in Appendix A. DUE rule has four different options, which are TWK, SLK, PPW, and NOP. With different multipliers and constants, 18 different rules are used in DUE.

Table 3. Due-date assignment rules

Method	Multiplier (twk_x, p_x)	Constant (q_x)	Rule no
Total Work (TWK)	$twk_x = twk_1, twk_2, twk_3$		1, 2, 3
Slack (SLK)		$q_x = q_1, q_2, q_3$	4, 5, 6
Processing Plus Wait (PPW)	$twk_x = twk_1, twk_2, twk_3$	$q_x = q_1, q_2, q_3$	7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15
Number of Operations (NOP)	$p_x = p_1, p_2, p_3$		16, 17, 18
Random Due Assign (RDM)			19

Dispatching is made with the second gene according to Earliest Due-Date (EDD) and Service in Random order (SIRO) rules. A job among waiting jobs is selected randomly to be processed in SIRO.

A working day is assumed as one shift with 8 hours (480 minutes). Tardiness, earliness and due-dates are penalized as it contributes to making more realistic plans. The performance measure is to minimize the costs resulting from these. The proportion of these costs are penalized with different constants as given in Eq. (1), (2), and (3). Tardiness and earliness are also penalized with a fixed cost. Tardiness is punished more than others. The penalty of a job and the total penalty is given in Eq. (4) and (5), respectively.

$$Penalty\ for\ Due - Dates\ (PD) = 8 * \left(\frac{DueDate}{480}\right) \quad (1)$$

$$Penalty\ for\ earliness\ (PE) = 5 + 4 * \left(\frac{E}{480}\right) \quad (2)$$

$$Penalty\ for\ tardiness\ (PT) = 10 + 12 * \left(\frac{T}{480}\right) \quad (3)$$

$$Penalty(j) = PD + PE + PT \quad (4)$$

$$Total\ Penalty = \sum_j Penalty(j) \quad (5)$$

3. SOLUTION METHODS AND INTEGRATION LEVELS

OS, RS, ES, SA, RS/ES, and RS/SA methods are used to solve the IPPSDDA problem. To be fair among different methods their population size and iteration numbers are equalized. A number of iterations applied are given in Table 4.

Table 4. Number of iterations applied

SF	RS	SA	RS-SA Hybrid		ES		RS-ES Hybrid
	RS Iter.	SA Iter.	RS Iter.	SA Iter.	ES Iter.	RS Iter.	ES Iter.
1,2	200	2000	100	1900	200	10	190
3,4	150	1500	75	1425	150	8	142
5,6	100	1000	50	950	100	5	95
7,8	50	500	25	475	50	3	47

Solution methods are shortly explained as follows:

Ordinary Solution (OS): Randomly produced initial chromosome in which one of the random chromosomes generated in the beginning is an ordinary solution. This is the worse solution method compared to the other meta-heuristic methods.

Random Search (RS): RS is an undirected search method that generates 10 new chromosomes randomly in each iteration. The best 10 chromosomes are selected from the new population and the previous population. RS is better

than OS. Marginal improvements are very high in the beginning but sharply reduces as the iterations go on.

Simulated Annealing (SA): SA is utilized in this study with a single chromosome in each iteration. Thus, more iterations are made with SA to be fair with other methods.

Hybrid Simulated Annealing (RS/SA): With this hybrid method initial marginal benefits of undirected RS is combined with a directed search of SA. In this method, 5% of total iterations are made with RS and the rest of the iterations are made with SA.

Evolutionary Strategies (ES): ES is an optimization method based on the ideas of evolution. ES differs from the genetic algorithm (GA) by operator types. GA uses both mutation and crossover operators, on the other hand, ES only uses mutation operator.

Hybrid Evolutionary Strategies (RS/ES): With this hybrid method initial marginal benefits of undirected RS is combined with a directed search of ES. In this method, 5% of total iterations are made with RS and the rest of the iterations are made with ES.

Different integration levels of three production functions are utilized. There is no integration in the SIRO-RDM level. Process plan selection is made without considering scheduling and due-date assignment. Scheduling of jobs made randomly as due-dates. EDD scheduling with process plan selection is integrated in EDD-RDM level. But due-dates are still randomly determined. In SIRO-DUE level due-date assignment is integrated to process planning however jobs are scheduled randomly. EDD-DUE is the fully integrated level in which process planning is integrated with EDD dispatching and due-date assignment.

4. EXPERIMENTATION

IPPSDDA problem is coded with the C++ language. Experiments are executed in a desktop computer with 64-bit Windows 10 operating system on a 3.1 GHz Intel i5-2400 processor and 4 GB ram. Problems are compiled with Borland C++ 5.02 compiler. Mean CPU times of shop floors 1 to 8 are 14, 82, 163, 312, 233, 348, 239, and 318 seconds, respectively.

There are 6 different methods and 4 different integration combinations, a total of 24 different solution combinations are calculated for each shop floor and summarized in Table 5 and Table 6. Results of highest integration combination (EDD-DUE) of shop floors 1-4 are given in Figure 2 (a,b,c,d) and shop floors 5-8 are given in Figure 3 (a,b,c,d), respectively. Similar conclusions can be made for different shop floors according to results. The performance of solutions gets better as the integration level increases. Search methods are superior compared to ordinary solutions. RS is the worst search solution compared to other methods. ES and RS/ES methods are the best amongst all methods.

Table 5. Comparison of 24 solution combinations for the shop floors 1-4

Level of Integration (Combination)	Approaches	Shop Floor 1			Shop Floor 2			Shop Floor 3			Shop Floor 4		
		Best	Avg.	Worst	Best	Avg.	Worst	Best	Avg.	Worst	Best	Avg.	Worst
SIRO-RDM	OS	319	319	319	646	646	646	983	983	983	1309	1309	1309
	RS	265	272	276	586	598	606	890	899	906	1269	1278	1285
	SA	269	273	275	543	553	557	853	862	870	1226	1234	1240
	RS/SA	253	256	258	562	566	568	863	873	880	1223	1234	1238
	ES	246	252	254	546	552	556	833	842	846	1197	1204	1210
	RS/ES	240	248	251	545	548	551	837	851	857	1207	1216	1222
EDD-RDM	OS	269	269	269	558	558	558	835	835	835	1187	1187	1187
	RS	219	228	234	513	539	547	788	796	802	1156	1172	1183
	SA	197	201	204	472	482	486	753	758	762	1104	1115	1123
	RS/SA	198	203	205	463	480	484	746	751	755	1089	1102	1105
	ES	189	194	196	469	473	476	719	727	734	1038	1060	1068
	RS/ES	201	204	207	446	454	462	716	722	725	1076	1080	1083
SIRO-DUE	OS	347	347	347	730	730	730	1087	1087	1087	1504	1504	1504
	RS	258	264	270	559	581	592	825	845	859	1182	1213	1227
	SA	243	249	252	512	524	530	804	814	821	1138	1148	1154
	RS/SA	238	242	245	510	526	533	802	815	821	1128	1144	1149
	ES	221	232	237	498	510	514	776	781	789	1100	1115	1122
	RS/ES	231	236	239	507	510	513	767	779	786	1120	1132	1140
EDD-DUE	OS	300	300	300	581	581	581	869	869	869	1272	1272	1272
	RS	230	235	239	507	512	514	730	749	758	1064	1078	1083
	SA	204	208	210	462	467	471	693	702	707	1005	1016	1021
	RS/SA	210	215	217	449	460	465	667	685	689	1038	1041	1043
	ES	206	210	212	441	448	451	672	680	683	987	993	997
	RS/ES	205	208	210	434	440	443	665	671	673	976	985	989

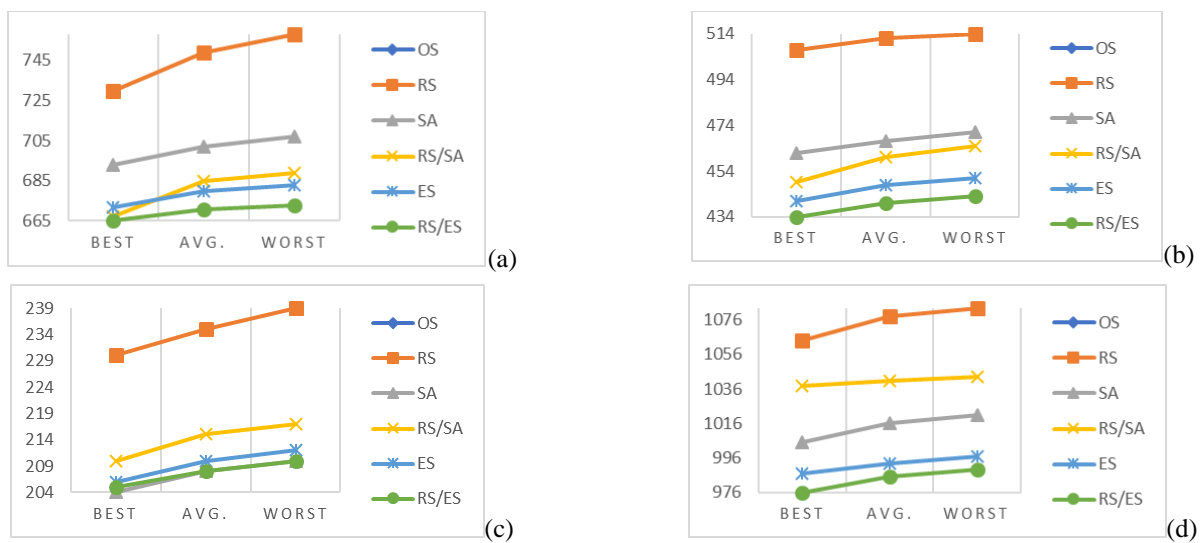


Figure 2. Performance comparisons of shop floors 1-4

Table 6. Comparison of 24 solution combinations for the shop floors 5-8

Level of Integration (Combination)	Approaches	Shop Floor 5			Shop Floor 6			Shop Floor 7			Shop Floor 8		
		Best	Avg.	Worst	Best	Avg.	Worst	Best	Avg.	Worst	Best	Avg.	Worst
SIRO-RDM	OS	1831	1831	1831	2110	2110	2110	2154	2154	2154	2783	2783	2783
	RS	1590	1632	1644	1914	1930	1944	2108	2154	2171	2659	2707	2719
	SA	1608	1616	1624	1848	1866	1876	2104	2123	2138	2598	2618	2628
	RS/SA	1562	1575	1582	1864	1879	1888	2070	2089	2105	2613	2626	2637
	ES	1556	1569	1577	1840	1858	1867	2067	2092	2101	2585	2600	2606
EDD-RDM	RS/ES	1538	1558	1566	1860	1877	1884	2060	2085	2092	2624	2628	2635
	OS	1622	1622	1622	1956	1956	1956	2039	2039	2039	2495	2495	2495
	RS	1407	1423	1431	1713	1732	1745	1970	1985	1991	2453	2470	2481
	SA	1332	1356	1366	1638	1655	1664	1879	1905	1915	2371	2387	2396
	RS/SA	1353	1362	1366	1675	1683	1688	1901	1922	1936	2358	2376	2387
SIRO-DUE	ES	1313	1319	1323	1610	1620	1624	1912	1925	1935	2362	2379	2387
	RS/ES	1310	1333	1341	1614	1630	1636	1931	1936	1941	2332	2357	2367
	OS	2040	2040	2040	2344	2344	2344	2490	2490	2490	3124	3124	3124
	RS	1479	1497	1514	1747	1771	1794	1975	2028	2059	2530	2578	2610
	SA	1389	1410	1427	1713	1748	1764	1894	1932	1947	2390	2439	2459
EDD-DUE	RS/SA	1386	1414	1425	1687	1724	1744	1951	1974	1991	2427	2442	2455
	ES	1405	1418	1425	1683	1694	1705	1910	1923	1930	2437	2478	2499
	RS/ES	1407	1414	1419	1675	1695	1704	1925	1937	1945	2399	2431	2446
	OS	1659	1659	1659	1935	1935	1935	2078	2078	2078	2656	2656	2656
	RS	1283	1313	1325	1572	1595	1604	1774	1800	1818	2208	2261	2280
EDD-DUE	SA	1236	1249	1257	1524	1544	1553	1730	1750	1761	2185	2203	2214
	RS/SA	1233	1251	1257	1516	1530	1536	1742	1758	1767	2148	2178	2197
	ES	1233	1244	1250	1504	1512	1516	1712	1722	1728	2147	2160	2170
	RS/ES	1239	1245	1249	1507	1510	1514	1712	1722	1729	2184	2197	2209

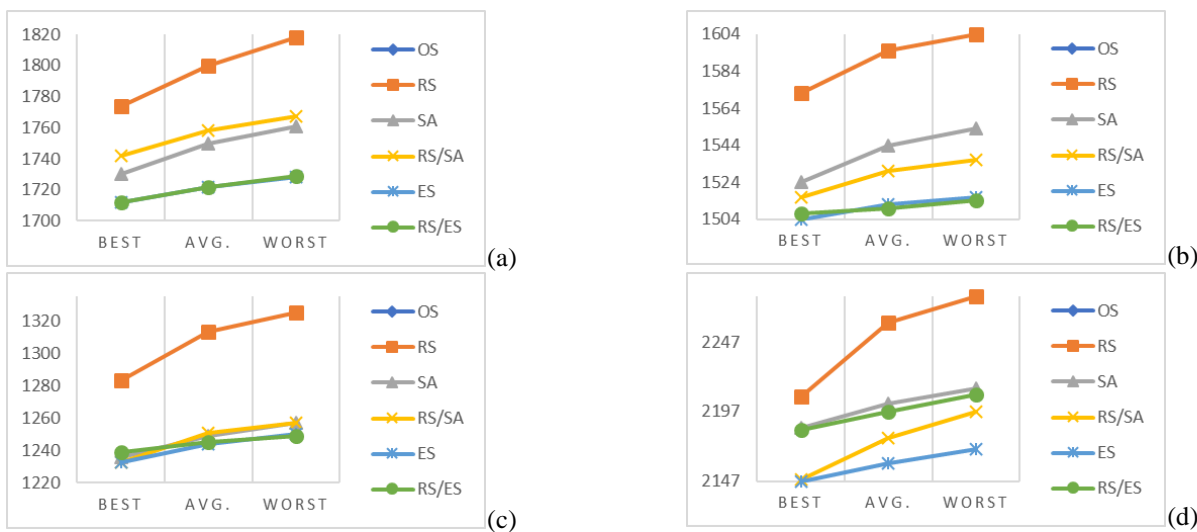


Figure 3. Performance comparisons of shop floors 5-8

5. CONCLUSIONS

Process planning, scheduling, and due-date assignment are three important production functions that are traditionally solved separately. IPPS and SWDDA are studied in the literature and there are numerous works on them. On the other hand, the integration of all three functions is a relatively new subject. In this study, these functions are integrated and solved concurrently with different solution methods in which contributed to global performance.

Four different integration levels are tested with six solution method on eight different sized shop floor and compared with each other. While the unintegrated solution has the worst performance, a fully integrated solution has the best

performance as expected. Results also show that ES and RS/ES methods are best amongst others.

In the literature, studies are performed on IPPS and SWDDA and they only integrate two functions. But, in this study three functions are integrated to obtain higher global performance. The data set discussed in this study was created in a problem-specific structure and it was not right to compare with the data sets in the literature. As the studies on the integration of these three functions are performed more then there will be the possibility of benchmarking between studies.

Companies must find ways to survive in today's fierce competition. Using fewer resources to produce more qualified products is essential in this harsh environment. The results of this study encourage decision-makers to utilize


their production functions as a whole and use suitable methods to solve them. The integration studies of manufacturing functions provide significant gains in terms of global optimization.


REFERENCES


- [1] W. Tan and B. Khoshnevis, "Integration of process planning and scheduling-a review," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 11, no. 1, pp. 51–63, 2000, doi: 10.1023/A:1008952024606.
- [2] X. Li, L. Gao, C. Zhang, and X. Shao, "A review on Integrated Process Planning and Scheduling," *International Journal of Manufacturing Research*, vol. 5, no. 2, pp. 161–180, Jan. 2010.
- [3] R. K. Phanden, A. Jain, and R. Verma, "Integration of process planning and scheduling: a state-of-the-art review," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 24, no. 6, pp. 517–534, 2011.
- [4] N. Morad and A. M. S. Zalzal, "Genetic algorithms in integrated process planning and scheduling," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 10, no. 2, pp. 169–179, 1999, doi: 10.1023/A:1008976720878.
- [5] W. Tan and B. Khoshnevis, "A linearized polynomial mixed integer programming model for the integration of process planning and scheduling," *J. intell. manuf.*, vol. 15, no. 5, pp. 593–605, 2004, doi: 10.1023/B:JIMS.0000037710.80847.b6.
- [6] Y. W. Guo, W. D. Li, A. R. Mileham, and G. W. Owen, "Optimisation of integrated process planning and scheduling using a particle swarm optimisation approach," *International Journal of Production Research*, vol. 47, no. 14, pp. 3775–3796, 2009, doi: 10.1080/00207540701827905.
- [7] A. Baykasoğlu and L. Özbakır, "A grammatical optimization approach for integrated process planning and scheduling," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 20, no. 2, pp. 211–221, 2009, doi: 10.1007/s10845-008-0223-0.
- [8] C. W. Leung, T. N. Wong, K.-L. L. Mak, and R. Y. K. Fung, "Integrated process planning and scheduling by an agent-based ant colony optimization," *Computers and Industrial Engineering*, vol. 59, no. 1, pp. 166–180, 2010, doi: 10.1016/j.cie.2009.09.003.
- [9] R. R. K. Phanden, A. Jain, and R. Verma, "An approach for integration of process planning and scheduling," *International Journal of Computer \dots*, vol. 26, no. 4, pp. 284–302, Apr. 2013, doi: 10.1080/0951192X.2012.684721.
- [10] L. Zhang and T. N. N. Wong, "An object-coding genetic algorithm for integrated process planning and scheduling," *European Journal of Operational Research*, vol. 244, no. 2, pp. 434–444, Jul. 2015, doi: 10.1016/j.ejor.2015.01.032.
- [11] T. Hill, *Production/operations management: text and cases*. Prentice Hall, 1991.
- [12] V. Gordon, J. M. Proth, and C. Chu, "Due date assignment and scheduling: SLK, TWK and other due date assignment models," *Production Planning & Control*, vol. 13, no. 2, pp. 117–132, 2002, doi: 10.1080/09537280110069621.
- [13] Y. Yin, S. R. Cheng, T. C. E. E. Cheng, C. C. Wu, and W. H. Wu, "Two-agent single-machine scheduling with assignable due dates," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 219, no. 4, pp. 1674–1685, 2012, doi: 10.1016/j.amc.2012.08.008.
- [14] Y. Yin, T. C. E. E. Cheng, D. Xu, and C.-C. C. Wu, "Common due date assignment and scheduling with a rate-modifying activity to minimize the due date, earliness, tardiness, holding, and batch delivery cost," *Computers and Industrial Engineering*, vol. 63, no. 1, pp. 223–234, 2012, doi: 10.1016/j.cie.2012.02.015.
- [15] Y. Yin, M. Liu, T. C. E. Cheng, C. C. Wu, and S. R. Cheng, "Four single-machine scheduling problems involving due date determination decisions," *Information Sciences*, vol. 251, pp. 164–181, 2013, doi: 10.1016/j.ins.2013.06.035.
- [16] M. Iranpoor, S. M. T. T. Fatemi Ghomi, and M. Zandieh, "Due-date assignment and machine scheduling in a low machine-rate situation with stochastic processing times," *Computers and Operations Research*, vol. 40, no. 4, pp. 1100–1108, 2013, doi: 10.1016/j.cor.2012.11.013.
- [17] D. L. Yang, C. J. Lai, and S. J. Yang, "Scheduling problems with multiple due windows assignment and controllable processing times on a single machine," *International Journal of Production Economics*, vol. 150, pp. 96–103, 2014, doi: 10.1016/j.ijpe.2013.12.021.
- [18] H. I. Demir and H. Taskin, "Integrated Process Planning, Scheduling and Due-Date Assignment," PhD Thesis, Sakarya University, 2005.
- [19] C. Erden and H. I. Demir, "Integrating process planning, scheduling and due date assignment in a dynamic environment," PhD Thesis, Sakarya University, 2019.
- [20] H. I. Demir and C. Erden, "Solving process planning and weighted scheduling with WNOPPT weighted due-date assignment problem using some pure and hybrid meta-heuristics," *Sakarya University Journal of Science*, vol. 21, no. 2, pp. 210–222, 2017.
- [21] H. I. Demir and C. Erden, "Dynamic integrated process planning, scheduling and due-date assignment using ant colony optimization," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 149, p. 106799, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.cie.2020.106799.
- [22] C. Erden, H. I. Demir, and A. H. Kökçam, "Solving Integrated Process Planning, Dynamic Scheduling, and Due Date Assignment Using Metaheuristic Algorithms," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2019, 2019.


Arayüzey Polimerizasyonu Metodu ile İnce Boşluklu Nanofiltrasyon (NF) Membran Üretimi ve Performans Değerlendirmesi


*¹ Esra Ateş-Genceli, ²Gülsüm Melike Ürper-Bayram, ³Reyhan Şengür-Taşdemir,
⁴Türker Türken, ve ⁵İsmail Koyuncu

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul, Türkiye,
Prof. Dr. Dincer Topacık Ulusal Membran Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi (MEM-TEK), İstanbul Teknik
Üniversitesi, 34469, İstanbul, Türkiye, gencelies@itu.edu.tr, 

² Prof. Dr. Dincer Topacık Ulusal Membran Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi (MEM-TEK), İstanbul Teknik
Üniversitesi, 34469, İstanbul, Türkiye, melikeurper@gmail.com, 

³Prof. Dr. Dincer Topacık Ulusal Membran Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi (MEM-TEK), İstanbul Teknik
Üniversitesi, 34469, İstanbul, Türkiye, reyhansengur@gmail.com, 

⁴Prof. Dr. Dincer Topacık Ulusal Membran Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi (MEM-TEK), İstanbul Teknik
Üniversitesi, 34469, İstanbul, Türkiye, turken@itu.edu.tr, 

⁵İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul, Türkiye,
Prof. Dr. Dincer Topacık Ulusal Membran Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi (MEM-TEK), İstanbul Teknik
Üniversitesi, 34469, İstanbul, Türkiye, koyuncu@itu.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 05.08.2020

Kabul Tarihi: 19.10.2020

Öz

İnce boşluklu (hollow fiber (HF)) ultrafiltrasyon (UF) membranların dış yüzeyi, arayüzey polimerizasyon metodu ile ince film kaplanarak, nanofiltrasyon (NF) membranlar üretilmiştir. Farklı monomerlerin ve bekletme sürelerinin membran performansı üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi için üretimde iki farklı monomer, (m-fenilen diamin (MPD) ve piperazin (PIP)) kullanılmış ve açıl klorid monomeri için (trimezoil klorid (TMC)) farklı temas süreleri (2 dk, 1 dk ve 30 sn) uygulanmıştır. Üretilen membranların karakteristiği ve performansları SEM görüntüleri, saf su geçirgenlikleri, temas açısı, yüzey pürüzlülüğü, tuz tutunumu (MgSO₄ ve NaCl) ve akı verileri incelenerek değerlendirilmiştir. Membranların SEM görüntüleri, tüm üretim koşullarında ince film tabakasının oluştuğunu göstermiştir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde MPD monomerinin, PIP monomerine göre daha etkili olduğu belirlenmiştir. En iyi geçirgenlik değeri TMC için uygulanan bekletme sürelerine bağlı olarak farklılık (PIP için TMC (2 dk), MPD için TMC (1 dk)) göstermiştir. Farklı amin monomerler kullanılarak üretilen membranlar dört farklı basınç altında (3, 6, 9, 12 bar) işletilmiştir. PIP monomeri ile üretilen membranlarda daha yüksek tuz akıları ve giderim verimleri elde edilmiştir. % 50 ve üzerinde MgSO₄ giderimi, % 2 PIP, % 0.13 TMC (2 dk ve 1 dk), ve % 2 MPD, % 0.13 TMC (2 dk ve 30 sn) olan membranlarda izlenmiştir. NaCl gideriminde ise en yüksek verim (% 39.6), % 2 MPD, % 0.13 TMC (30 sn) ile üretilen membranlarda elde edilmiştir. Bulgulara göre giderilecek tuz cinsine bağlı olarak uygulanacak NF membranın farklılık gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler:İnce Boşluklu Membran, Nanofiltrasyon Membran Üretimi, Arayüzey Polimerizasyonu, Poliamid, Su Arıtma

Fabrication of Hollow Fiber Nanofiltration Membrane by Interfacial Polymerization Method and Performance Evaluation

*¹ Esra Ateş-Genceli, ²Gülsüm Melike Ürper-Bayram, ³Reyhan Şengür-Taşdemir,
⁴Türker Türken, ve ⁵İsmail Koyuncu

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul, Türkiye,
Prof. Dr. Dincer Topacık Ulusal Membran Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi (MEM-TEK), İstanbul Teknik
Üniversitesi, 34469, İstanbul, Türkiye, gencelies@itu.edu.tr

Sorumlu Yazar: İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul, Türkiye, Prof. Dr. Dincer Topacık Ulusal Membran Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi (MEM-TEK), İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, İstanbul, Türkiye, gencelies@itu.edu.tr

² Prof. Dr. Dincer Topacik Ulusal Membran Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi (MEM-TEK), İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, İstanbul, Türkiye, melikeurper@gmail.com

³ Prof. Dr. Dincer Topacik Ulusal Membran Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi (MEM-TEK), İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, İstanbul, Türkiye, reyhansengur@gmail.com

⁴ Prof. Dr. Dincer Topacik Ulusal Membran Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi (MEM-TEK), İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, İstanbul, Türkiye, turken@itu.edu.tr

⁵ İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul, Türkiye,

Prof. Dr. Dincer Topacik Ulusal Membran Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi (MEM-TEK), İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, İstanbul, Türkiye, koyuncu@itu.edu.tr

Abstract

The outer surfaces of the hollow fiber (HF) ultrafiltration (UF) membranes were coated by the interface polymerization method and nanofiltration (NF) membranes were produced. For the determination of different monomers and contact time effects on the membrane performance, two different monomers, (m-phenylene diamine (MPD) and piperazine (PIP)) and different contact time (2 min, 1 min and 30 sec) to the acyl chloride monomer (trimezoyl chloride (TMC)) were applied in the fabrication of membrane. The characterization and performance evaluation of the produced membranes were investigated with SEM images, pure water permeability, contact angle, surface roughness, salt retention (MgSO₄ and NaCl) and flux data. SEM images of the membranes showed that a thin film layer formed in all production conditions. It was determined that MPD monomer is more effective than PIP monomer on surface roughness. The best permeability value showed variation depending on the applied contact time for TMC. Produced membranes by using different amine monomers were operated under four different pressures (3, 6, 9, 12 bar). Higher salt fluxes and removal efficiencies for MgSO₄ were obtained in membranes produced with PIP. 50% and above of MgSO₄ removal was observed in membranes with 2% PIP, 0.13% TMC (2 min and 1 min), and 2% MPD, 0.13% TMC (2 min and 30 sec). The highest NaCl removal efficiency (39.6%) was obtained in membranes produced with 2% MPD, 0.13% TMC (30 sec). According to the findings, it was concluded that the NF membrane to be applied differs depending on the type of salt to be removed.

Keywords: Hollow Fiber Membrane, Fabrication of Nanofiltration Membrane, Interfacial Polymerization, Polyamide, Water Treatment.

1. GİRİŞ

Membran teknolojileri üzerinde yapılan araştırmalar ve gelişmeler, membran sistemlerinin evsel ve endüstriyel atıkların arıtımında her geçen gün daha fazla yer almasını sağlamaktadır. Bu prosesler içerisinde yer alan nanofiltrasyon (NF) membranlar çoğunlukla sertlik giderme, içme suyu arıtımı, evsel ve endüstriyel atık suların ıslahı, gıda-kimya vb. endüstrilerde ayırma işlemlerinde kullanılmaktadır. NF prosesinin ayırma karakteristiği, ters ozmoz (TO) ve ultrafiltrasyon (UF) proseslerinin arasında tanımlanmaktadır. Ayırma mekanizmaları, hem sterik (eleme) etkileri hem de elektrik (donnan) etkileri içerir. NF membranların bu özellikleri su ve atıksulardan küçük organik moleküllerin (nötr veya yüklü) ve tuzların ayrıştırılmasında etkili olmasını sağlamaktadır [1].

NF membranların üretiminde daldırma (dip-coating), sprey kaplama (spray coating), döndürmeli kaplama (spin coating) gibi kaplama metodlarının yanı sıra; arayüzey, plazma, yerinde (in-situ), çapraz bağlama vb. gibi karışık polimerizasyon ya da aynı anda membran çekme (co-extrusion) yöntemleri kullanılmaktadır [2]. Üretilen NF membranlar genellikle iki grupta incelenmektedir. Bunlardan ilki asimetrik yapı, oldukça ince seçici tabakaya sahip ve aynı polimer kullanılarak faz ayırma

metoduyla üretilen membranlar, ikincisi ise farklı polimerlerin kullanılmasıyla üretilen, bir veya daha fazla geçirgen tabakaya sahip olan ince film kompozitlerdir. İnce film kompozit (İFK) membranların üretiminde genellikle arayüzey polimerizasyonu tercih edilmektedir.

Bugünkü kompozit membranların üretim esası 1965 yılında Morgan tarafından bir malzeme üzerine ince bir polimerik tabakanın arayüz polimerizasyonu uygulanarak kaplanması ile başlamıştır. Arayüzey polimerizasyonu ile üretilen kompozit membranların performanslarını iyileştirmek için çalışmalar günümüze kadar devam etmiştir [3]. Ancak Morgan tarafından yapılan ilk çalışmalar gerçek anlamda, 1970'li yılların sonlarına doğru, Cadotte vd.'lerinin piperazin ve trimesoil klorür / izoftaloil klorür karışımı kullanılarak yapmış olduğu bir dizi araştırma sonucu arayüzeyler arasında çapraz bağların olduğu kompozit membranlarda yüksek akının elde edilmesi ile endüstriyel imalat sahasında kendine bir yer bulmuştur [4, 5].

Genel olarak, polimerizasyon reaksiyonu, birbirinde çözünmeyen iki sıvının ara yüzeyinde gerçekleşir. Şekil 1'de, genel anlamda arayüzey polimerizasyonu tekniği kullanılarak İFK membranların üretiminin şematik gösterimi verilmektedir.



Şekil 1. İFK membranların üretiminde kullanılan arayüzey polimerizasyonu metodu akım şeması.

Literatürde İFK membranların hazırlanması ve karakterizasyonu ile ilgili çok çeşitli araştırmalar ve genel bilgiler mevcuttur. İFK membranların geliştirilmesindeki araştırmalar, geçirgenlik/seçicilik, klor toleransı, kirlenme direnci vb. gibi konularda membran performansını iyileştirme amacıyla arayüzey polimerizasyonu üzerinde yapılan çalışmalarır [6-8].

Günümüzde, mikro gözenekli UF membran üzerine yapılan çok ince bir aromatik poliamid (PA) tabaka kaplaması ile üretilen İFK membranlar su ve atık su arıtımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Arayüzey polimerizasyonu ile üretilen bu membranların üretim esası, oldukça reaktif iki monomerin (su içerisinde çözünen diamine ve solvent içerisinde çözünen asit klorür) destek tabakası olarak kullanılan membran yüzeyi üzerinde, ultra ince bir film tabakası oluşturmasına dayanmaktadır. Bu yaklaşım ile su geçirgenliği ve seçiciliği daha iyi olan bir membran elde edilmektedir [9]. Kompozit membranların özelliklerini iyileştirmek için üretimde etkili olan birçok parametrenin değişimi incelenmiştir [10-13]. Bunlar arasında amin ve asit klorürün reaktiflikleri, aminin suya dağılım katsayısı, organik çözücü, reaktanların konsantrasyonu, polimer film oluşum mertebesi, asit klorür hidroliz derecesi, polimer film geçirgenliği, arayüz gerilimi, asit akseptör tipi ve süfaktant tipi sayılabilir [14].

İFK membranlar için genellikle reaktif monomerler olarak; mfenilendiamin (MPD), p-fenilendiamin (PPD) ve piperazin (PIP) gibi alifatik/aromatik diaminler ile trimesol klorid (TMC), izofitalol klorid (IPC) ve 5-izosiyanotizoisofitalol klorid (ICIC) gibi açıl klorid monomerleri kullanılmaktadır [9]. Tüm bu monomerler içinde çalışmalarda en çok kullanılanları MPD ve TMC'dir [15].

Farklı monomerlerin ve konsantrasyonlarının etkilerini anlamak için, yapılan çalışmalarda ince film yapı ve morfolojisinin, monomer konsantrasyonundan etkilendiği anlaşılmıştır. Düşük monomer konsantrasyonu uygulanması durumunda polimerizasyon süresi artmaktadır. Halbuki poliamid yüzeyinin 'ince ve gevşek' yapıda olması istenmektedir. Minhas ve diğerleri, farklı monomer (etilen diamin (EDA) ve terafitalol klorid (TPC)) ve monomer konsantrasyonlarında (% 0.25-2.5 aralığında) sıcaklığa bağlı olarak temas süresindeki değişimi incelemiştir [16]. Belirli bir monomer konsantrasyondan sonra (% 1,5) $MgCl_2$ giderim veriminin sabit kaldığı ve su akı sonuçları ile $MgCl_2$ giderim sonuçlarının benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Monomer içerisinde bekletme süresi arttığı zaman monomer, membran yüzeyine homojen olarak dağılmaktadır. Arayüzey polimerizasyonu esnasında, organik fazda asit klorür monomerleri, diaminlerden daha fazla önem arz etmektedir.

Arayüzey polimerizasyonunda kullanılan açıl klorür monomerinin (bifenil tetra açıl klorid (BTEC)), MPD monomeri ile reaksiyonu sonucu en yüksek $54.2 \text{ l/m}^2 \cdot \text{sa}'lık$ akı değerine ulaşıldığı ve bu akının membran seçiciliğini düşürmediği belirlenmiştir [17]. Organik solvent de arayüzey polimerizasyonu yönteminde önemli bir değişkendir. Hegzan, uzun süredir birçok çalışmada organik solvent olarak kullanılmaktadır. DMF, propanol ve benzerlerinin ilavesi de su ve organik solventin karışmasında, amin monomerinin difüzyon hızı kadar etkili olmaktadır. Yüksek difüzyon hızı ve monomerlerin organik fazlarda çözünürlüğü, asit klorür monomerleriyle reakte olan monomer miktarı ve daha fazla taşıyıcı amin grubuna sahip poliamid katman üretimi ile ilişkili olabilmektedir. 3,3',5,5'-bifenil tetraaçıl klorid (mm BTEC) monomeri ve piperazin (PIP) kullanılarak organik solventteki PIP çözünürlüğünü artırmak için organik solvent değiştirilmiş ve kullanılan solvente bağlı olarak PIP'in difüzyon derecesi; toluen > izopropilbenzen > sikloheksan > ISOPA şeklinde belirlenmiştir [18]. PIP difüzyon ve çözünürlüğü, İFK membranlarda film yapısı, morfolojisi ve kalınlığını etkilemektedir.

Literatürde, arayüzey polimerizasyonu tekniğinin uygulandığı ince boşluklu membranlar ile ilgili çalışmalar kısıtlıdır. Plaka, çerçeve veya spiral sargılı membran konfigürasyonların aksine, kompozit ince boşluklu membranların geometrik arayüzey polimerizasyonu, ısı ve işletme esnasında uygulanan çözelti akışının farklılıklarından dolayı HF NF membranlar ile ilgili gelişmeler yavaş ilerlemektedir. Son yıllarda, HF üzerinde hatasız bir PA tabaka oluşturmak amacıyla arayüzey polimerizasyonu prosedürünün modifikasyonuna yönelik araştırmalar yapılmaktadır. İnce boşluklu membranların dış yüzeyi üzerine mükemmel bir PA film oluşturmanın komşu membranların birbirine yapışma olasılığı nedeniyle iç yüzeylerde oluşturulan ince film kaplamadan çok daha zor olacağı kabul edilmektedir. Bu nedenle, ince boşluklu membranların iç yüzeyine arayüzey polimerizasyonu ile PA tabakasının kaplanması daha kolaydır ve bu konuda yapılan çalışmalar dikkat çekmektedir [19-22].

2007 yılında Yang ve diğerleri ince boşluklu membranların iç yüzeyini PA tabaka ile kaplarken fazla PIP çözeltisini yüzeyden uzaklaştırmak için azot gazı uygulamıştır [21]. Bu uygulama aktif PA tabaka ile destek tabakası arasında iyi bir uyum göstermiş ve daha kararlı, uzun süre çalıştırılabilir özellikte İFK membranlar üretilmiştir. Yang ve diğerlerinin araştırmasından iki yıl önce Verissimo ve diğerleri, ince boşluklu fiberlerin iç yüzeyinde ultra ince polimerik bir tabaka oluşturmak için sulu N, N'-diaminopiperazine (DAP) çözeltisi ve organik trimesoylchloride (TMC) çözeltisinin

uygulanabilirliğini göstermiştir [23]. İnce boşluklu fiber membranların iç yüzeylerinde oluşturulan PA ince tabaka ile ilgili çalışmalara nazaran ince boşluklu fiberlerin dış yüzeylerinde PA ince film tabakası oluşturulması ile ilgili sınırlı çalışma bulunmaktadır. Bu konu ile ilgili bilgiler daha çok patent çalışmalarında bulunabilmektedir [24, 25]. Mikro gözenekli ince boşluklu fiberlerin dış yüzeyinde düzgün bir polimerik ultra ince tabaka oluşturmak çok zordur. İnce film kaplanmış dış yüzeyin sıyırma esnasında zarar görmemesi için bir organik çözücünden geçirilmesi ve ısı işlem uygulanması gerektiği belirtilmektedir [25].

Arayüzey polimerizasyonu ile üretilen İFK NF membranların performansını arttırmak için araştırmalar devam etmektedir. Bu çalışmada, sınırlı araştırmaların bulunduğu ince boşluklu membranların dış yüzeyleri arayüzey polimerizasyonu ile kaplanarak İFK HF membranlar üretilmiştir. Destek tabakası olarak HF UF membranların dış yüzeyleri, iki farklı monomer (MPD ve PIP) kullanılarak ve açıl monomer (TMC) için farklı temas süreleri uygulanarak kaplanmıştır. Üretilen membranların karakteristiği ve performansları, SEM görüntüleri, saf su geçirgenlikleri, temas açısı, yüzey pürüzlülüğü, tuz tutunumu ve akı verileri incelenerek değerlendirilmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1 İnce Boşluklu Nanofiltrasyon Membranların Üretiminde Kullanılan Kimyasal Maddeler

Membran üretiminde kullanılan polisülfon (PSf, Ultrason S6010) BASF şirketinden temin edilmiştir. Polivinilpirolidon (PVP: 360 kDa), N-metil-2-pirolidone (NMP), amin monomerler (susuz piperazine (PIP, $\geq 99.0\%$), m-fenilendiamin (MPD)) ve açıl monomer (trimesol klorid (1,3,5-benzotrikarbonil triklorid, TMC), 98%) Sigma Aldrich firmasından, $MgSO_4$ ve NaCl ise Merck firmasından temin edilmiştir. Bütün deneylerde çift distile su kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan tüm kimyasallar Tablo 1'de özetlenmiştir.

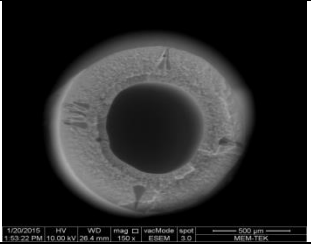
Tablo 1. İnce boşluklu NF membranların üretimi ve karakterizasyonunda kullanılan kimyasallar

Malzemeler	Sembölü	Marka
Polisülfon	10 kDa PS	BASF Ultrason S
Polivinilpirolidon,	360 kDa PVP	Sigma- Aldrich
N-Metil-2-pirolidon	NMP	Sigma-Aldrich
Piperazine	PIP	Sigma-Aldrich
m-fenilen diamin	MPD	Sigma-Aldrich
Trimesol klorid	TMC	Sigma-Aldrich
Magnezyum sülfat	$MgSO_4$	Merck
Sodium chloride	NaCl	Merck
Sodyum hipoklorit	NaOCl	Tekkım

2.2. İnce Boşluklu Nanofiltrasyon Membranların Üretimi

İnce boşluklu NF membranların üretiminde destek tabakası olarak kullanılan UF HF membranları faz dönüşümü metodu kullanılarak üretilmiştir. Üretimde kullanılan membran dökme çözeltisi hazırlanırken öncelikle Polisülfon (PS) 100 °C'lik etüvde 2 saat boyunca kurutulmuş ve kurutulan PS ve gözenek oluşturucu Polivinilpirolidon (PVP 360), solvent (NMP) içerisine eklenerek homojen hale gelene kadar mekanik olarak karıştırılmıştır. Membran dökümüne başlamadan önce membran dökme çözeltisi içinde varsa kalan hava kabarcıklarını giderme amacı ile vakum uygulanmıştır. Membran dökümünde hava boşluğu mesafesi 0 cm, koagülasyon banyosu sıcaklığı ise 45 °C olarak uygulanmıştır [26, 27]. Üretilen membranlar, 1 gece boyunca saf su içerisinde bekletilmiş ve bunu takiben performans iyileştirme amacı ile 4000 ppm'lik NaOCl çözeltisi içerisinde iki gün süresince bekletilmiştir. Performans iyileştirilmesindeki amaç ise membran üretimi esnasında koagülasyon banyosunda membran matrisi içerisinde kalan PVP'nin membrandan uzaklaştırılmasıdır. Destek tabakası olarak üretilen membranların özellikleri Tablo 2' de verilmektedir.

Tablo 2. Destek tabakası olarak üretilen membranların özellikleri

45 °C, 0 cm hava boşluğu, % 16 PS, % 10 PVP 360 ve % 74 NMP	
SEM	
Dış çap (mm)=1.18	
İç çap (mm)=0.68	
Etkin membran kalınlığı (mm)=0.25	
Yüzey pürüzlülüğü (rms)	0.202 ± 0.136
Temas açısı (°)	75.52 ± 5.67
Young modülü (MPa)	14.27 ± 3.77

Destek tabakası olarak HF UF membranlar kullanılarak arayüzey polimerizasyonu metodu ile İFK membranlar üretilmiştir. Uygulanan bu yöntemde membran performansı üzerinde monomer etkisini belirlemek amacı ile iki farklı monomer kullanılarak kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Monomerlerden biri amin monomeri, diğeri ise açıl klorid monomeridir. Amin monomer olarak m- fenilen diamin (MPD) ve piperazin (PIP), açıl klorid monomeri olarak ise trimezoil klorid (TMC) monomerleri kullanılmıştır. Amin monomeri saf su ile % 2 (w/v) lik konsantrasyonda hazırlanmıştır ve bu çözelti içerisine daldırılan membranlar 2.5 dakika çözelti içerisinde bekletilmiştir. Uygulanan amin monomerin arayüzey polimerizasyonu yöntemindeki işlevi, HF UF membranların gözeneklerini doldurmaktır. Yüzeyde fazla kalan amin monomerinin membran yüzeyinden sıyırma işlemi ile uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada siklohegzan içerisine daldırma ile kurutma işlemleri

sonrasında membranlar açıl klorid monomeri içerisine daldırılmıştır. Açıl klorid monomeri % 0.13 (v/v) konsantrasyonunda siklohegzan içerisinde hazırlanmıştır. Açıl klorid monomerin kullanılmasından sonra etüvde 70 °C de 15 dakika bekletildikten sonra membranlar kullanılabileceği kadar +4 °C'de çift distile su içerisinde bekletilmiştir. Nihai olarak distile su içerisinde alınan membranların karakterizasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir.

2.3 NF Membran Modüllerinin Hazırlanması

Üretilen membranların saf su geçirgenlikleri ve tuz tutunum analizleri için performans iyileştirmesi gerçekleştirilen HF membranlar kullanılarak laboratuvar ölçekli membran modülleri (Şekil 2) hazırlanmıştır. HF NF membranların üretiminde arayüzey polimerizasyonu, membranların dış yüzeyine uygulanmış olup membran modülleri dıştan içe çalışacak şekilde hazırlanarak yüksek basınca dayanımını sağlamak için epoksi ile yapıştırılmıştır. Her modül hazırlandıktan sonra modül alanı hesaplanmış ve bu alanlar geçirgenlik ve akı hesaplamaları yapılırken kullanılmıştır. Membran modüller dik akış (dead end) olacak şekilde çalıştırılmıştır. Hazırlanan membran modülleri kullanılarak üç farklı işletme basıncında saf su akıları belirlenmiştir. Akı hesabı için denklem 1 kullanılmıştır.



Şekil 2. Laboratuvar ölçekli membran modülü.

$$J = \frac{V}{A \cdot T} \quad (1)$$

J = akı (L/m².saat),
V = süzüntü hacmi (L),
A = alan (m²),
T = zaman (saat).

2.4 Membranların Yüzey Karakterizasyonuna Ait Testler

Üretilen İFK HF membranların yüzey morfolojileri, FEI Quanta FEG 200 taramalı elektron mikroskobu kullanılarak karakterize edilmiştir. Membranlara ait yüzey pürüzlülük değerleri Zygo marka optik profilometre ile belirlenmiştir. Her membran için üç farklı bölgeden örnek alınarak, yüzey pürüzlülük değerleri kaydedilmiş ve elde edilen verilerinin ortalaması alınarak yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmiştir. Zeta potansiyeli ölçümleri, Anton PAAR SurPASS elektrokinetik analiz cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Zeta potansiyeli ölçümleri ile membranların, farklı pH değerlerinde yüzey yüklerinde oluşan değişimler izlenmiştir. Üretilen İFK HF membranların hidrofilik özelliğini belirleyebilmek için temas açısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Temas açısı ölçümlerinde Attension T200 Theta marka cihaz kullanılmıştır. Her bir numuneden en az beş farklı örnek alınarak ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Yapılan ölçümlerin ortalamaları alınarak temas açısı belirlenmiştir.

2.5 Membran Performanslarının Belirlenmesi

Üretilen HF NF membranların saf su geçirgenlik değerlerinin belirlenmesi için basınçlı filtrasyon hücresi (Sterlitech) kullanılmıştır. Geçirgenlik deneylerinden önce üretilen membranlara saf su ile 3 barda 30 dk boyunca sıkıştırma işlemi uygulanmıştır. Uygulanan sıkıştırma işleminin amacı membran akısının, membran matrisi içerisinde kalabilecek herhangi bir PVP ya da solventten etkilenmesinin önlenmesidir. Sıkıştırma sonrası 3 farklı basınçta saf su akıları denklem 1'e göre hesaplanmıştır. Elde edilen üç farklı akı değeri kullanılarak grafik çizilmiş ve grafiğin eğiminden geçirgenlik değerleri belirlenmiştir.

NF seviyesinde üretilmiş membranların iyon tutunum verimlerini hesaplamak için 4 farklı basınçta (3, 6, 9, 12 bar) denemeler yapılmıştır. Tuz çözeltisi olarak 1000 ppm'lik MgSO₄ ve NaCl çözeltileri kullanılmıştır. Farklı basınçlarda tuz çözeltilerine ait tuz geçirgenlik değerleri denklem 1 kullanılarak hesaplanmıştır. İyon giderim verimleri için süzüntü ve besleme çözeltilerinde iletkenlik ölçümleri yapılmıştır. İyon giderim verimleri ise denklem 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$R = \frac{(C_f - C_p)}{C_f} \quad (2)$$

formülde yer alan;

R: iyon tutunumu (%),
C_p: süzüntünün iletkenlik değeri (µs/cm),
C_f: beslemenin iletkenlik değerini (µs/cm) göstermektedir.

2.6 Membranların Mekanik Dayanımının Belirlenmesi

HF NF membranların mekanik dayanımlarının belirlenmesi için SII DMS 6100 exstar dinamik mekanik analiz cihazı kullanılmıştır. Yaklaşık 15 mm kesilen membran örnekleri cihaza yerleştirilmiş ve hareket etmeyecek şekilde sıkıştırılmıştır. Membran çapı programa girildikten sonra 150N kuvvet uygulanarak membran kopana kadar her 3 sn'de bir ölçüm alınmıştır. Her membran örneği için 3 farklı noktadan numune alınarak ölçümler tekrarlanmış ve bunların ortalamaları alınarak mekanik dayanım belirlenmiştir. Kopma mukavemeti, uzama katsayısı ve Young modülü (3, 4, 5) aşağıda verilen denklemlere göre hesaplanmıştır [28].

$$\text{Kopma mukavemeti} = F \cdot A_0 \quad (3)$$

$$\text{Uzama katsayısı} = \Delta L / L_0 \quad (4)$$

$$\text{Young Modülü (E)} = \frac{\text{Kopma Mukavemeti}}{\text{Uzama Katsayısı}} \quad (5)$$

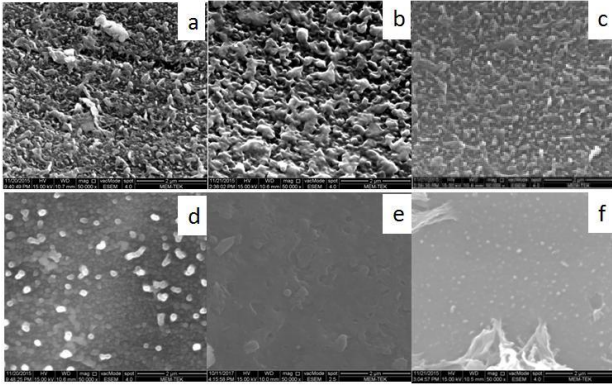
F: örneğe uygulanan kuvvet (N);
A₀ : uzamadan önce örneğin kesit alanı;

ΔL : uygulanan maksimum kuvvetteki yer değiştirme miktarı (mm);
 L_0 : başlangıç anındaki numunenin uzunluğu

3. Bulgular ve Tartışma

3.1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri

Üretilen HF NF membranlarına ait SEM görüntüleri Şekil 3'de verilmektedir. SEM görüntülerinde arayüzey polimerizasyonu tüm membranlarda poliamid tabakasının oluştuğu görülmektedir. Şekil 1- a, b ve c'de amin monomer olarak MPD'nin kullanıldığı membranların SEM görüntüleri yer almaktadır. Bu membranlarda MPD monomeri kullanıldığı için kulakçıklı yapılar daha belirgin olarak görülmektedir [19, 29]. Şekil 1-d, e ve f'de ise amin monomeri olarak PIP'in kullanıldığı membranlara ait SEM görüntüleri yer almaktadır. PIP monomeri kullanılan membranların yüzeyi ise tipik görünüm olan bir sırt ve vadi yüzey morfolojisine sahiptir [30, 31]. Tüm NF membranlarında globüller oluşmuş ve TMC reaksiyon süresinin artması ile yüzeyde globüllerin yoğunluğunun arttığı izlenmiştir [32-34].

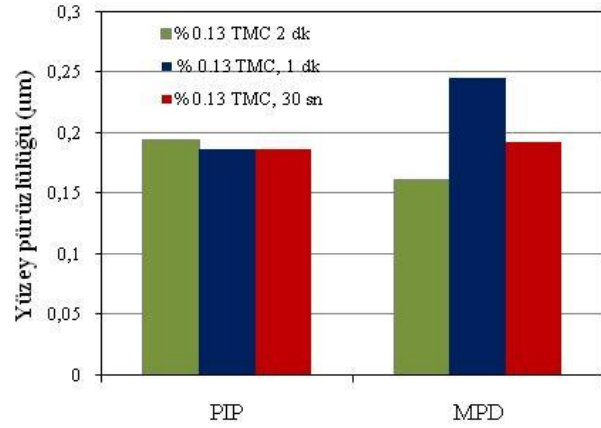


Şekil 3: İnce boşluklu NF membranların yüzeylerine ait SEM görüntüleri a) % 2 MPD, 0.13 TMC, 2 dk, b) % 2 MPD, 0.13 TMC, 1 dk, c) % 2 MPD, 0.13 TMC, 30 sn, d) % 2 PIP, 0.13 TMC, 2 dk, e) % 2 PIP, 0.13 TMC, 1 dk, f) % 2 PIP, 0.13 TMC, 30 sn.

3.2 Yüzey Pürüzlülüğü

Optik profilometre ile ölçülen pürüzlülük değerleri Şekil 4'de verilmiştir. PIP monomeri ile üretilen NF membranlarda, TMC bekletme süresinin etkili olmadığı gözlenmiştir ve genel olarak pürüzlülük değeri 0.18 Rms olarak ölçülmüştür. MPD monomerinin kullanılması durumunda ise en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri 0.24 Rms ile 1 dk'lık TMC bekletme süresine sahip membranlarda ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ile yüzey

hidrofilikliği birbirinden etkilenmektedir. Çünkü hidrofiliklik sadece kimyasal kompozisyonla değil yüzey yapısıyla da ilgilidir [17, 23]. Yüzey pürüzlülüğü değeri



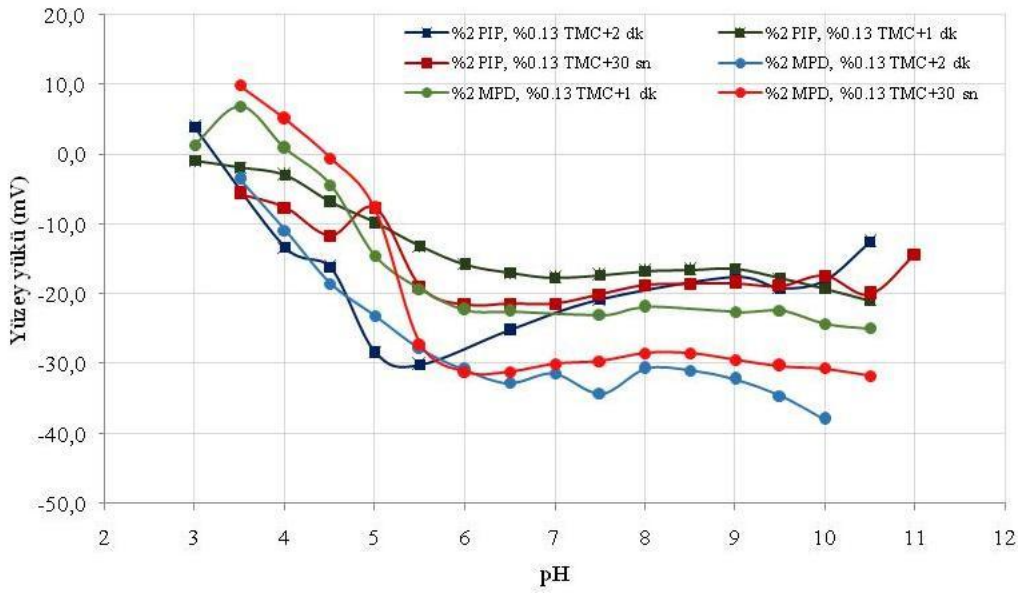
Monomer çeşidi (%2 amin monomer)

Şekil 4: İnce boşluklu NF membranlarına ait yüzey pürüzlülüğü değerleri.

de membranlarda tıkanma eğilimlerini açıklamak açısından yüzey yükü ve membranların hidrofilik özelliği ile birlikte değerlendirilen parametrelerden biridir. Pürüzsüz membranların daha az koloidal tıkanmayla karşı karşıya kalacağı aşikardır. Yüksek su geçirgenliğine sahip membranlarda, daha düşük yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür [23]. Bu çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir. PIP monomeri ile üretilen membranlarda daha düşük hidrofilik değerler ölçülmüş ve daha düşük yüzey pürüzlülüğü tesbit edilmiştir. Bu membranlarda daha yüksek akı ve $MgSO_4$ giderimi elde edilmiştir.

3.3 Yüzey Yükü

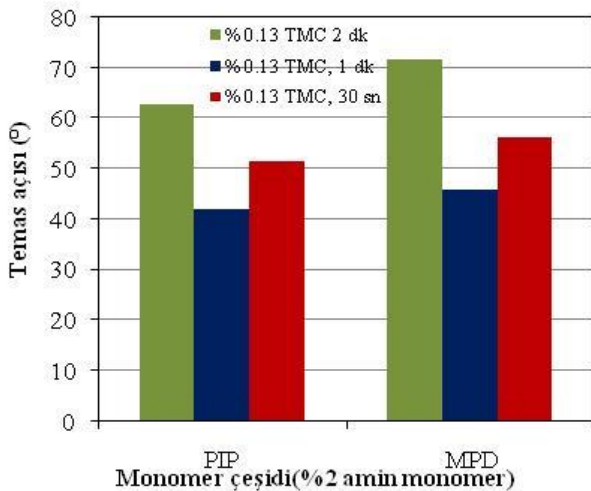
Membranların yüzey yükü değerleri farklı pH (pH 3-11) aralığında tüm membranlar için ölçülmüş ve Şekil 5'de verilmiştir. NF membranların genel olarak artan pH ile yüzeyleri daha negatif hale gelmiştir. MPD monomeri ile yapılan NF membranların PIP monomeri ile yapılan NF membranlarından daha negatif yüzey yüküne sahip olmasının nedeni yüzeyde bulunan fonksiyonel grupların etkisinden dolayıdır. Arayüzey polimerizasyonundan sonra reaksiyona girmemiş gruplar; amin ve TMC molekülünde yer alan açıl klorürün hidrolizi ile oluşan karboksilik asit gruplarının membran yüzeyinde görünmesi beklenir [35]. Pozitif yük, amin fonksiyonel gruplarının ($-NH_2 \rightarrow -NH_3^+$) protonasyonundan ve negatif yük, karboksil ($-COOH \rightarrow -COO^-$) gruplarının protondan arındırılmasının sonucudur. Kompozit membranda var olan karboksilik asit, amin ile daha fazla reaksiyona girerek yüzey yükünü azaltmaktadır [36, 37].



Şekil 5: İnce boşluklu NF membranlarına ait yüzey yükü değerleri.

3.4 Temas Açısı

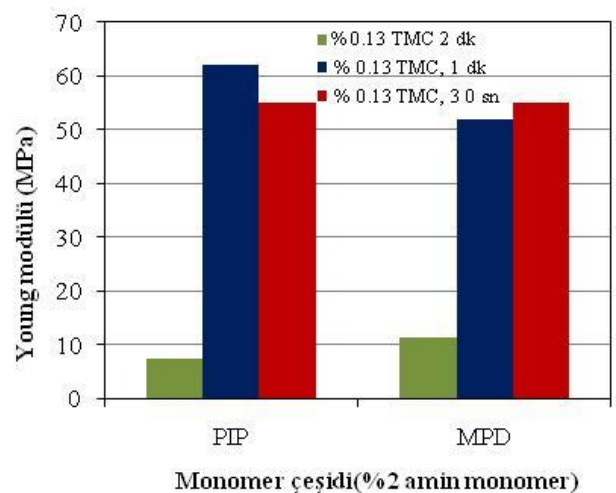
Temas açısı değerleri incelendiğinde, PIP monomeri ile kaplanan membranlarda MPD monomeri ile kaplanan membranlara göre temas açısının düştüğü ve hidrofilik özellik yönünde artış olduğu görülmektedir (Şekil 6). Temas açısının düşüşü PIP/TMC reaksiyonu sonucu membran yüzeyinde oluşan tanecikli yapıya veya artan gözenekliliğe (gözenek boyutu ve gözenek yoğunluğu) bağlanabilir [38, 39]. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre en düşük temas açısı değeri PIP monomeri kullanılan ve 1 dk'lık TMC bekleme süresine sahip membranlarda ($42.0^{\circ} \pm 8^{\circ}$) elde edilmiştir. En yüksek değer ise MPD monomeri ile 2 dk'lık TMC bekleme süresi uygulanan membranlarda ($71.6^{\circ} \pm 8.7^{\circ}$) ölçülmüştür. Uygulanan tüm bekleme sürelerinde, PIP monomeri ile üretilen membranların temas açısı değerlerinde düşüş izlenirken, bekleme süreleri arasında bir ilişki izlenmemiştir. Poliamid tabakasının çapraz bağlanma derecesinin artmasıyla, yüksek oranda hidrofilik membranların oluştuğu bilinmektedir [40].



Şekil 6: İnce boşluklu NF membranlarına ait temas açısı değerleri.

3.5 Mekanik Dayanıklılık

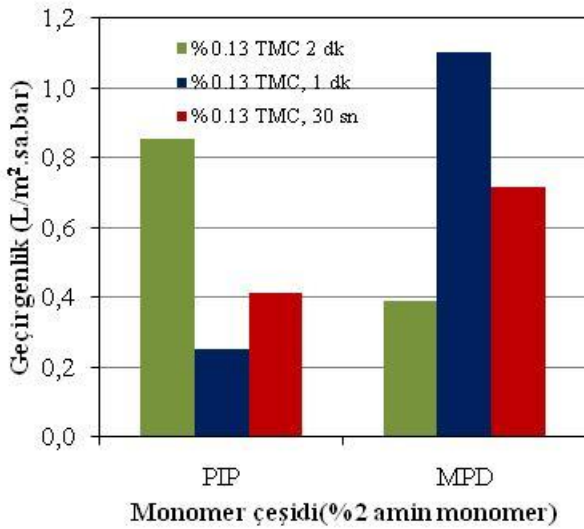
Young modülü verileri değerlendirildiğinde, 2 dk TMC bekleme süresine sahip HF NF membranlar hariç diğer membranlar içerisinde PIP monomeri kullanılarak üretilen membranların Young modülü değerlerinin MPD ile üretilen membranların Young modülü değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. En düşük Young modülü değeri 7.2 MPa ile % 2 PIP, % 0.13 TMC içeren ve TMC bekleme süresi 2 dk olan membranda ölçülürken en yüksek Young Modülü değeri ise 62 MPa ile % 2 PIP, % 0.13 TMC, ve TMC bekleme süresi 1 dk olan membranda elde edilmiştir (Şekil 7). Membranların dayanıklılığı ile ilgili olarak ölçülen Young modülü değeri, membranların dayanımını göstermektedir ve membran seçimlerinde diğer parametreler ile birlikte değerlendirilmelidir.



Şekil 7: İnce boşluklu NF membranlarına ait Young modülü değerleri.

3.6 Saf Su Geçirgenlik Sonuçları

NF membranların üretiminde iki farklı amin monomer (PIP ve MPD) ile açıl klorür (TMC) monomer için 3 farklı bekletme süresi (2 dk, 1 dk, 30 sn) uygulamasının membran performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir (Şekil 8). Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, TMC bekletme süresinin genel olarak 30 sn ile 2 dk arasında değişen değerlerde uygulandığı görülmektedir [19, 41]. Bekletme süresinin, arayüzey polimerizasyonunun gerçekleşebilmesi ve membran yüzeyinde homojen bir poliamid tabaka oluşabilmesine imkan verecek ölçüde olması gerekmektedir [42]. Geçirgenlik değerleri incelendiğinde NF membran üretiminde kullanılan amin monomer (MPD ve PIP) ile açıl klorür (TMC) bekletme süresi arasında bir ilişki olduğu görülmektedir. PIP monomeri kullanıldığında en iyi geçirgenlik değeri, TMC bekletme süresi olarak 2 dakika uygulaması yapılan membranda $0.85 \text{ L/m}^2 \cdot \text{sa} \cdot \text{bar}$ olarak belirlenmiştir. MPD monomeri ile yapılan HF NF membranlarında ise en iyi geçirgenlik değeri $1.1 \text{ L/m}^2 \cdot \text{sa} \cdot \text{bar}$ olarak 1 dakikalık TMC bekletme süresi uygulamasında elde edilmiştir.



Şekil 8: İnce boşluklu NF membranlarına ait saf su geçirgenlik sonuçları.

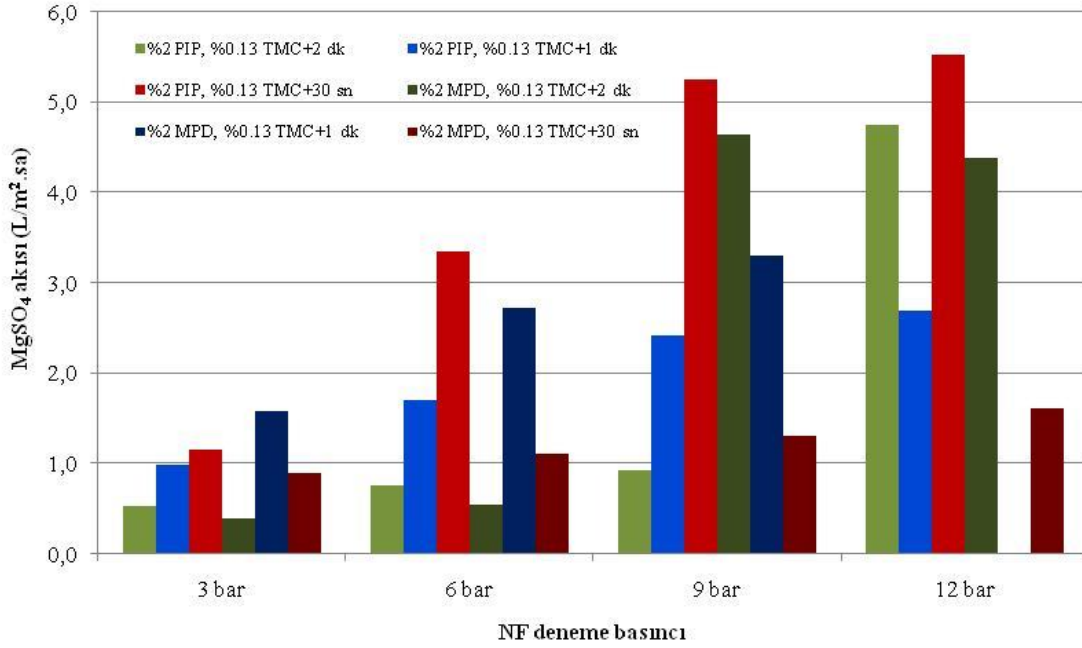
3.7 Tuz Akıları ve Tuz Giderim Sonuçları

Farklı amin monomerleri kullanılarak üretilen membranlara ait MgSO_4 akıları ile MgSO_4 giderim verimlerine ait sonuçlar sırasıyla Şekil 9 ve 10 verilmektedir.

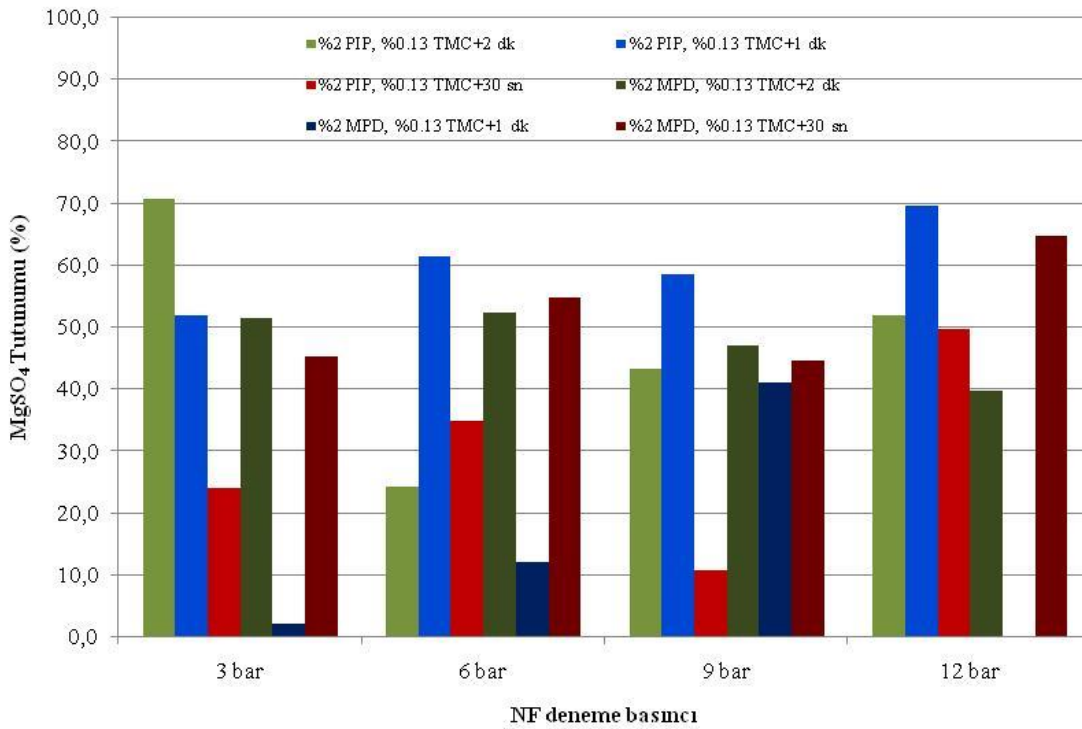
Dört farklı basınç altında (3, 6, 9, 12 bar) elde edilen MgSO_4 akılarına ait sonuçlara bakıldığında PIP monomeri ile üretilen membranlarda, MPD ile üretilen membranlara göre daha yüksek tuz akıları elde edilmiştir (MgSO_4 akısı 9 barda % 2 PIP, % 0.13 TMC (2 dk) hariç).

Üretilen membranlara ait MgSO_4 tutunumları incelendiğinde ise en yüksek MgSO_4 tutunumu % 70.6 ile 3 bar basınç uygulandığı, % 2 PIP, % 0.13 TMC (2 dk) olan membranda elde edilmiştir. Uygulanan basınç değerlerinde, % 50'nin üzerinde MgSO_4 giderimi yapabilen membranlar ise % 2 PIP, % 0.13 TMC (2 dk ve 1 dk), ve % 2 MPD, % 0.13 TMC (2 dk ve 30 sn) olan membranlar olarak belirlenmiştir. Na^+ ve Cl^- iyonları Mg^{2+} ve SO_4^{2-} iyonlarına göre daha küçük hidrolik çapa sahip oldukları için NF membran gözenekleri tarafından engellenmeleri daha zor olmaktadır [43]. Bu nedenle üretilen HF NF membranlar ile NaCl giderim verimi sadece MgSO_4 giderim verimi yüksek membranlarda denenmiştir. NaCl tutunumlarında en yüksek değer % 2 MPD, % 0.13 TMC (30 sn)'de üretilen membranda % 39.6 olarak bulunmuştur. Verissimo ve diğerleri, çalışmalarında iyi bilinen monomerleri (m-fenilen diamin (MPD) ve trimesoilklorür (TMC)) kullanarak HF membranların iç yüzeylerini arayüzey polimerizasyonu uygulayarak NF membranları üretmişlerdir. Membranların iç yüzeylerinin kaplanması dış yüzeylerinin kaplanmasına göre daha başarılı olmaktadır. Membranların kaplanan iç yüzeylerinde, dış yüzeyleri kaplanan membranlara oranla daha az hata (defect) oluşmaktadır. Böylece yüksek veriler elde edilebilmektedir [19]. Verissimo ve diğerlerinin ürettikleri NF membranların NaCl giderim verimleri % 95 seviyelerine ulaşmıştır. Bu çalışmada elde edilen verimden oldukça yüksek görülmele beraber membranların çalışma şekli birbirinden farklıdır. İtten dışa çalışan membranların tıkanma problemleri nedeni ile bu çalışmada membranlar dıştan içe çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Bu özelliği ile de çalışma literatürde bir ilki oluşturmaktadır. Bu konuda iyileştirmelerin yapılması için çalışmaların devam etmesi gerekmektedir.

Elde edilen veriler değerlendirildiğinde, giderilecek tuz cinsine bağlı olarak uygulanacak membranın seçilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Hem MgSO_4 hem de NaCl giderimi uygulamalarında % 2 MPD, % 0.13 TMC (30 sn) olan membranların kullanılmasının daha uygun olacağı sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 9: İnce boşluklu NF membranlarına ait MgSO₄ akı sonuçları.



Şekil 10: İnce boşluklu NF membranlarına ait MgSO₄ tutunum sonuçları.

DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Destek tabakası olarak HF UF membranlar kullanılarak arayüzey polimerizasyonu ile dıştan içe çalışacak şekilde HF NF ince boşluklu membranlar üretilmiştir. Uygulamada iki farklı monomer (MPD ve PIP) ve açıl monomer (TMC) için farklı temas sürelerinin (2 dk, 1 dk ve 30 sn) membran karakteristiği ve performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Üretilen membranların karakterizasyonu ve performanslarının değerlendirilebilmesi için SEM, saf su geçirgenlikleri, temas açısı, mekanik dayanım, yüzey pürüzlülüğü, tuz tutunumu ve

akı ölçümleri yapılmıştır. Farklı amin monomerler ve farklı TMC bekleme süreleri uygulanarak üretilen membranların performansları MgSO₄ ve NaCl tutunumları açısından değerlendirilmiştir.

Üretilen membranlar üzerindeki SEM incelemeleri, uygulanan koşullara bağlı olarak film tabakası yapısında farklılıklar (ince veya kalın film tabakası) olabileceğini ve her koşulda ince film tabakasının oluştuğunu göstermiştir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde MPD monomerinin, PIP monomerinden daha etkili olduğu izlenmiştir. Membranlara ait yüzey yüklerinin, artan

pH ile negatif yönde artış gösterdiği yapılan ölçümlerle belirlenmiştir. PIP monomeri ile üretilen membranların MPD ile üretilen membranlara göre mekanik dayanımlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Arayüzey polimerizasyonunun gerçekleşebilmesi ve membran yüzeyinde homojen bir PA tabaka oluşabilmesi için bekletme süresinin yeterli olması gerekmektedir. Kullanılan amin monomere göre en iyi geçirgenlik değerleri farklı TMC bekletme süresi uygulamalarında (PIP için TMC (2 dk), MPD için TMC (1 dk)) ölçülmüştür. Farklı amin monomerler kullanılarak üretilen membranların dört farklı basınç altında (3, 6, 9, 12 bar) işletilmesi sonucu PIP monomeri ile üretilen membranlarda MPD ile üretilen membranlara göre daha yüksek tuz akıları ($MgSO_4$ akısı 9 barda % 2 PIP, % 0.13 TMC (2 dk) hariç) elde edilmiştir. % 50 ve üzerinde $MgSO_4$ giderimi, % 2 PIP, % 0.13 TMC, (2 dk ile 1 dk), ve % 2 MPD, % 0.13 TMC (2 dk ile 30 sn) olan membranlarda izlenmiştir. Na^+ ve Cl^- iyonları Mg^{2+} ve SO_4^{2-} iyonlarına göre daha küçük hidrolik çapa sahip oldukları için NF membran gözenekleri tarafından engellenmeleri daha zor olmaktadır [43]. Bu nedenle NaCl giderim verimi, sadece $MgSO_4$ giderim verimi yüksek HF NF membranlarda denenmiştir. NaCl tutunumlarında % 2 MPD, % 0.13 TMC (30 sn) alınarak üretilen membranlarda % 39.6 ile en yüksek değerde ölçülmüştür. Elde edilen verilere göre giderilecek tuz cinsine bağlı olarak uygulanacak membranın seçilmesi gerektiği sonucuna varılmaktadır. Hem $MgSO_4$ hem de NaCl giderimi uygulamalarında % 2 MPD, % 0.13 TMC (30 sn) olan membranların kullanılmasının daha uygun olacağı belirlenmiştir.

Günümüzde İFK membranlar sadece ticari su ve atık su arıtma proseslerinde baskın olarak kullanılmamakta, aynı zamanda diğer alanlarda da kullanılmak üzere büyük bir potansiyel sergilemektedir. Bu nedenle membran gelişimi açısından İFK membranların geçirgenliğini ve seçiciliğini daha da arttırmak ve katmanlar arasında güçlü bir yapışma geliştirmek için hem düz hem de içi boş fiber membranlar üzerinde kusursuz seçici ince katman oluşturmak için arayüzey polimerizasyonu sürecini geliştirmeye devam etmelidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 113Y359 no'lu TÜBİTAK destekli proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. TÜBİTAK'a katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

5. KAYNAKLAR


[1] L. P. Raman, M. Cheryan, and N. Rajagopalan, "Consider nanofiltration for membrane separations", *Chem. Eng. Prog.*, vol 90, no 3, pp 68-74 Mar. 1974.
 [2] M. Dalwani, "Thin film composite nanofiltration membranes for extreme conditions", Doktora Tezi, University of Twente, Netherlands, pp 160, Nov. 2011.
 [3] P.W. Morgan, "Condensation polymers: By interfacial and solution methods", Interscience, John Wiley & Sons, New York London, 1965.


[4] J.E. Cadotte, K.E. Cobian, R.H. Forester, R.J.Petersen, "Continued evaluation of in-situ-formed condensation polymers for reverse osmosis membranes", NTIS Report No. PB-253193, pp 90, Apr. 1976.
 [5] J.E. Cadotte, M.J. Steuck, R.J. Petersen, "Research on in-situ-formed condensation polymers for reverse osmosis membranes", NTIS Report No. PB- 288387, Mar. 1978.
 [6] W.J. Lau and A.F. Ismail "Progress in interfacial polymerization technique on composite membrane preparation", 2nd International Conference on Environmental Engineering and Applications IPCBEE Singapore, vol.17, pp 173-177, 2011.
 [7] K.P. Lee, T.C. Arnot, D. Mattia, "A review of reverse osmosis membrane materials for desalination—Development to date and future potential", *J. Membr. Sci.*, vol 370, no 1-2, pp 1-22, Mar. 2011.
 [8] D. Li, and H. Wang, "Recent development in reverse osmosis desalination membranes", *J.Mater. Chem.*, no 20, pp 4551-4566, 2010.
 [9] W.J. Lau, A.F. Ismail, N. Misdan, M.A. Kassim, "A recent progress in thin film composite membrane: A review". *Desalination* vol 287, pp 190-199, Feb. 2012..
 [10] A.W. Mohammad, N. Hilal, and M.N.A. Seman, "Interfacially polymerized nanofiltration membranes: atomic force microscopy and salts rejection studies", *J. App. Poly. Sci.*, vol. 96, pp 605-612, 2005.
 [11] B.-H. Jeong, E.M.V. Hoek, Y. Yan, A. Subramani, X. Huang, G. Hurwitz, A.K. Ghosh, A. Jawor, "Interfacial polymerization of thin film nanocomposites: a new concept for reverse osmosis membranes", *J. Membr. Sci.*, vol 294, no 1-2, pp 1-7, May 2007.
 [12] W.J. Lau, and A.F. Ismail, "Polymeric nanofiltration membrane for textile dyeing wastewater treatment: preparation, performance evaluation, transport modelling, and fouling controls — a review", *Desalination*, vol 245, no 1-3, pp 321-348, Sep. 2009.
 [13] C. Kong, M. Kanezashi, T. Yamamoto, T. Shintani, T. Tsuru, "Controlled synthesis of high performance polyamide membrane with thin dense layer for water desalination", *J. Membr. Sci.*, vol. 362, no 1-2, pp 76-80, Oct. 2010.
 [14] J. E. Tomaschke, "Interfacial Composite Membranes", Hydranautics Oceanside, CA, USA, Academic Press, 2000.
 [15] W. Xie, M. G. Geoffrey, B. D. Freeman, H. S. Lee, G. Byun, J. E. McGrath, "Polyamide interfacial composite membranes prepared from m-phenylene diamine, trimesoyl chloride and a new disulfonated diamine", *J. Membr. Sci.*, vol 403-404, pp 152-161, Jun. 2012.
 [16] F.T. Minhas, S. Memon, M.I. Bhangar, N. Iqbal, M. Mujahid, "Solvent resistant thin film composite nanofiltration membrane: Characterization and permeation study", *Appl. Surf. Sci.*, vol 282, pp 887-897, Oct. 2013.
 [17] H.S. Lee, S.J. Im, J.H. Kim, H.J. Kim, J.P. Kim, B.R. Min, "Polyamide thin-film nanofiltration membranes containing TiO₂ nanoparticles", *Desalination*, vol 219, no 1-3, pp 48-56, Jan. 2008.
 [18] H. Wang, Q. Zhang, S. Zhang, "Positively charged nanofiltration membrane formed by interfacial polymerization of 3,3',5,5'-biphenyl tetraacyl chloride and


- piperazine on a poly(acrylonitrile) (PAN) support”, *J. Membr. Sci.*, vol 378, no 1-2, pp 243–249, Aug 2011.
- [19] S. Verissimo, K. V. Peinemann, J. Bordado, “Thin-film composite hollow fiber membranes: An optimized manufacturing method”, *J. Membr. Sci.*, vol 264, no 1-2, pp 48–55, Nov. 2005.
- [20] A.P. Korikov, P.B. Kosaraju, K.K. Sirkar, “Interfacially polymerized hydrophilic microporous thin film composite membranes on porous polypropylene hollow fibres and flat films”, *J. Membr. Sci.*, vol 279, no 1-2, pp 588–600, Aug. 2006.
- [21] F. Yang, S. Zhang, D. Yang, X. Jian, “Preparation and characterization of polypiperazine amide/PPESK hollow fiber composite nanofiltration membrane”, *J. Membr. Sci.*, vol, 301, no 1-2, pp 85–92, Sep. 2007.
- [22] S. Chou, L. Shi, R. Wang, C.Y. Tang, C. Qiu, A.G. Fane, “Characteristics and potential applications of a novel forward osmosis hollow fiber membrane”, *Desalination*, vol 261, no 3pp 365–372, Oct. 2010.
- [23] S. Verissimo, K.V. Peinemann, J. Bordado, “New composite hollow fiber membrane for nanofiltration”, *Desalination*, vol 184, no 1-3, pp 1–11, Nov. 2005.
- [24] S.E. Tadros, and Y.M. Trehu, “Coating process for composite reverse osmosis membranes”, U.S. Patent No 4980061, 1990.
- [25] A. Kumano, H. Ogura, T. Hayashi, “Composite hollow fiber membrane and process for its production”, U.S. Patent No 5783079, 1998.
- [26] R. Sengur-Tasdemir, G.M. Urper, T. Turken, E.A. Gençeli, V.V. Tarabara, and I. Koyuncu, “Combined effects of hollow fiber fabrication conditions and casting mixture composition on the properties of polysulfone ultrafiltration membranes”, *Sep. Sci. & Technol.*, vol 51, no 12, pp 2070–2079, Jun 2016.
- [27] E.A. Gençeli, R. Sengur-Tasdemir, G.M. Urper, S. Gumrukcu, Z. Guler-Gokce, U. Dagli, T. Turken, A.S. Sarac, and I. Koyuncu, “Effects of carboxylated multi-walled carbon nanotubes having different outer diameters on hollow fiber ultrafiltration membrane fabrication and characterization by electrochemical impedance spectroscopy” *Polym. Bull.* vol 75, pp 2431–2457, Aug. 2017.
- [28] R. Şengür, “Fabrication and characterization of polyethersulfone (PES)/multiwalled carbon nanotube hollow fiber ultrafiltration membranes”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*, pp 101, 2013. İstanbul,
- [29] A. Mollahosseini, and A. Rahimpour, “Interfacially polymerized thin film nanofiltration membranes on TiO₂ coated polysulfone substrate,” *J. Ind. & Eng. Chem.*, vol. 20, no 4, pp 1261–1268, July 2014.
- [30] Z.L. Cheng, X. Li, Y. Da. Liu, T.S. Chung, “Robust outer-selective thin-film composite polyethersulfone hollow fiber membranes with low reverse salt flux for renewable salinity-gradient energy generation”, *J. Membr. Sci.*, vol. 506, pp 119–129, May 2016..
- [31] M.B.M.Y. Ang, Y.L. Ji, S.H. Huang, H.A. Tsai, W.S. Hung, C.C. Hu, K.R. Lee, J.Y. Lai, “Incorporation of carboxylic monoamines into thin-film composite polyamide membranes to enhance nanofiltration performance”, *J. Membr. Sci.*, vol 539, pp 52–64, Oct. 2017..
- [32] M. Safarpour, V. Vatanpour, A. Khataee, M. Esmaili, “Development of a novel high flux and fouling-resistant thin film composite nanofiltration membrane by embedding reduced graphene oxide/TiO₂”, *Sep. Purif. Technol.* vol 154, pp 96–107, Nov. 2015..
- [33] G.M. Urper-Bayram, B. Sayinli, N. Bossa, E. Ngaboyamahina, R. Sengur-Tasdemir, E. Ates-Genceli, M. Wiesner, I. Koyuncu, “Thin film nanocomposite nanofiltration hollow fiber membrane fabrication and characterization by electrochemical impedance spectroscopy”, *Polym. Bull.* vol 77, pp 3411–3427, Aug. 2019.
- [34] T. Turken, R. Sengur-Tasdemir, B. Sayinli, G.M. Urper-Bayram, E. Ates-Genceli, V. V. Tarabara, I. Koyuncu, “Reinforced thin-film composite nanofiltration membranes: Fabrication, characterization, and performance testing”, *J. Appl. Poly. Sci.*, vol 136, pp 1–9, Jun 2019.
- [35] V. Freger, “Nanoscale heterogeneity of polyamide membranes formed by interfacial polymerization”, *Langmuir*, vol 19, no 11, pp 4791–4797, Apr. 2003.
- [36] S. Verissimo, K.-V. Peinemann, J. Bordado, “Influence of the diamine structure on the nanofiltration performance, surface morphology and surface charge of the composite polyamide membranes”, *J. Membr. Sci.*, vol 279, no 1, pp 266–275, 2006.
- [37] A.E. Childress, M. Elimelech, “Relating nanofiltration membrane performance to membrane charge electrokinetic characteristics”, *Environ. Sci. Technol.*, vol 34, no 17, pp 3710–3716, July 2000.
- [38] A. Tuteja, W. Choi, M. Ma, J.M. Mabry, S.A. Mazzella, G.C. Rutledge, G.H. McKinley, R.E. Cohen, “Designing superoleophobic surfaces”, *Science*, vol 318, no 5856, pp 1618–1622, Dec. 2007.
- [39] B. Peng, L. Tan, D. Chen, X. Meng, F. Tang, “Programming surface morphology of TiO₂ hollow spheres and their superhydrophilic films”, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol 4, no 1, pp 96–101, Dec. 2011.
- [40] A.H.M. El-Aassar, “Polyamide thin film composite membranes using interfacial polymerization: synthesis, characterization and reverse osmosis performance for water desalination”, *Australian J. Basic and Appl. Sci.*, vol 6, no 6, pp 382–391, Jun. 2012.
- [41] A.W. Mohammad, Y.H. Teow, W.L. Ang, Y.T. Chung, D.L. Oatley-Radcliffe, N. Hilal, “Nanofiltration membranes review: Recent advances and future prospects”, *Desalination*, vol 356, pp 226–254, Jan. 2015.
- [42] P.G. Ingole, W. Choi, K.-H. Kim, H.-D. Jo, W.-K. Choi, J.-S. Park, H.-K. Lee, “Preparation, characterization and performance evaluations of thin film composite hollow fiber membrane for energy generation”, *Desalination*, vol 345, pp 136–145, July 2014.
- [43] W. Fang, L. Shi, R. Wang, “Mixed polyamide-based composite nanofiltration hollow fiber membranes with improved low-pressure water softening capability”, *J. Membr. Sci.*, vol 468, pp 52–61. Oct 2014.


Kentiçi Yol Kademelenmesinin Afet Durumunda Toplanma Alanlarının Erişilebilirliğine Etkisi Açısından İrdelenmesi


*¹Hilmi Evren Erdin, ²M. Burcu Silaydın Aydın, ³Nur Sinem Partigöç, ⁴Hayat Zengin Çelik, ⁵Arzu Palazca ve ⁶Çiğdem Horoz


¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fak., Şehir ve Bölge Planlama Böl., İzmir/Türkiye, evren.erdin@deu.edu.tr 

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fak., Şehir ve Bölge Planlama Böl., İzmir/Türkiye, burcu.silaydin@deu.edu.tr 

³ Pamukkale Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fak., Şehir ve Bölge Planlama Böl., Denizli/Türkiye, npartigoc@pau.edu.tr 

⁴ Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fak., Şehir ve Bölge Planlama Böl., İzmir/Türkiye, hayat.zengin@deu.edu.tr 

⁵ Pamukkale Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fak., Şehir ve Bölge Planlama Böl., Denizli/Türkiye, arzupalazca@gmail.com 

⁶ Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fak., Şehir ve Bölge Planlama Böl., İzmir/Türkiye, cgdmrz.pln@gmail.com 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 05.11.2018

Kabul Tarihi: 14.10.2020

Öz

Yollar kentlerin omurgasını oluşturmakta ve kent içi hareketleri belirlemektedir. Bunun yanı sıra, yolların ve yol ağının afet durumunda da hem halk hem de afet müdahale ekipleri açısından önemli bir işlevi bulunmaktadır. Afet ve acil durumlarda özellikle ilk 72 saatte ihtiyaç duyulan haber alma, ilk yardım, tedavi, yiyecek, içecek, giyecek, tuvalet, temizlenme ve yakacak temini gibi hizmetler toplanma alanları aracılığıyla verilmekte ve dolayısıyla bu alanların erişilebilirliği büyük önem taşımaktadır. Toplanma alanlarının konumlanmasında servis aldığı yol ile olan ilişkisi, yol kademesi ve yol genişliği söz konusu hizmetlerin ulaştırılması açısından önemli hale gelmektedir. Bu çalışma, afet ve acil durumlarda önemli bir işleve sahip toplanma alanlarının belirlenmesinde, servis aldıkları yolun kademe özelliğine bağlı bir değerlendirmenin nasıl yapılması gerektiğini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda, İzmir'in kuzey aksında yer alan üç ilçedeki mevcut ve potansiyel toplanma alanlarının yol kademelenmesi ile olan ilişkisi ve örnek seçilen alanlarda yol kademelenmesi ve yol genişliği ile bina yüksekliği üzerinden erişilebilirliği Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) araçları kullanarak değerlendirilmektedir. Bina yüksekliğinin yolun genişliğine oranı, ne kadar düşük çıkarsa yolun afet durumunda erişilebilirliği o kadar çok olmaktadır. Kent içi yol kademelenmesi açısından ise, ana yollar afet durumundaki erişim olanakları ve yolun işlevini sürdürebilmesi açısından öne çıkmaktadır. Sonuç olarak, toplanma alanlarının belirlenmesinde, alanın yol kademelenmesi ile olan ilişkisinin ve erişilebilirlik özelliklerinin irdelenmesinin deprem risklerinin azaltılması açısından kritik bir rolü bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Afet, Toplanma Alanı, Yol Kademelenmesi, Erişilebilirlik, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

The Examination of Urban Road Hierarchy in Regards to Accessibility of Gathering Points in Case of Disaster

*¹Hilmi Evren Erdin, ²M. Burcu Silaydın Aydın, ³Nur Sinem Partigöç, ⁴Hayat Zengin Çelik, ⁵Arzu Palazca ve ⁶Çiğdem Horoz

¹ Dokuz Eylül University, Department of City and Regional Planning, Izmir/Turkey, evren.erdin@deu.edu.tr

² Dokuz Eylül University, Department of City and Regional Planning, Izmir/Turkey, burcu.silaydin@deu.edu.tr

³ Pamukkale University, Department of City and Regional Planning, Denizli/Turkey, npartigoc@pau.edu.tr

⁴ Dokuz Eylül University, Department of City and Regional Planning, Izmir/Turkey, hayat.zengin@deu.edu.tr

⁵ Pamukkale University, Department of City and Regional Planning, Denizli/Turkey, arzupalazca@gmail.com

⁶ Dokuz Eylül University, Department of City and Regional Planning, Izmir/Turkey, cgdmrz.pln@gmail.com

*Sorumlu yazar: Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, İzmir, Türkiye, evren.erdin@deu.edu.tr, 90 232 3018443

Bu çalışma ISHAD2018'de sunulan bildiriden türetilmiştir.

Doi: 10.21541/apjes.478601

Abstract

As it known, roads constitute the backbone of any cities and also determine the urban activity. In addition to this, the vital role of roads and the road network has arise in the event of a disaster for the public and disaster response group. The principal services such as the first aid, food, personal cleaning, etc. are provided through the gathering areas especially in in the first 72 hours in the case of emergence. Accordingly, the accessibility of these areas has a great importance. While the gathering areas are positioning in the city area, there exist definite criteria as these areas' relationship with the road received urban services, the classification of the road and also the road width. This study aims to determine how to make a detailed assessment in the identification of the gathering points that has an important role in case of disaster and emergencies based on the hierarchy of the road received urban services. Two separated analyses are evaluated in this context using Geographical Information Systems (GIS). First one is the relationship between the potential gathering points and the urban road hierarchy in three districts located on the northern axis of Izmir city. Second one is the accessibility based on the relationship between the road width and the building height. As a results of these analyses, the lower ratio of the building height to the road width, the more accessible roads in the case of disaster. The main arterials become prominent in terms of the accessibility opportunities and the sustainability of roads' facilities. As a result of the study, the role of gathering points is critical to examining the accessibility of currents roads and to reduce the disaster risks.

Keywords: Disaster, Gathering Points, Urban Road Hierarchy, Accessibility, Geographical Information Systems (GIS)

1. GİRİŞ

Yollar, kentlerde yaya ve taşıtların bir yerden bir yere hareket etmesini sağlayan temel altyapı elemanıdır. Yol sisteminin planlanması ve tasarımı doğrudan yolculuk hacimlerini, hareketlerin yönlendirilmesini ve dolayısıyla kent yaşamını etkiler [1]. Kent içi ulaşım yollarının dağıtım ve erişim işlevi bulunmaktadır. Kentlerde hareket için tasarlanmış dağıtım yolları ve binalara hizmet vermek için tasarlanmış erişim yolları olmak üzere iki tür yoldan [1] bahsetmek mümkündür. Afet durumunda erişim kavramı halk açısından toplanma alanlarına ulaşılabilirlik olarak ele alınırken, dağıtım kavramı afet müdahale ekiplerinin afet bölgesine erişiminin sağlanarak hizmetlerin dağıtım ve halkın afet bölgesinden tahliyesi olarak ele alınmaktadır.

Tüm yollar depremden hemen sonra acil olarak gerekli olan tahliye, bilgi toplama, kurtarma, tıbbi yardım, vb. konularda önemli rol oynarlar ve ek olarak deprem sonrasında ihtiyaç duyulan malzemelerin taşınmasında ve restorasyon etkinliklerinde kaçınılmaz olarak çok önemlidirler [2]. Marmara Depremi'nde can kayıplarının artmasında, ulaşımın gerektiği gibi planlanamaması ve ulaşım yollarının yönetilememiş olmasının çok önemli etkisi olduğu bir gerçektir [3]. Bu yüzden Konstantinidou vd. (2014) [4] bu işlevleri nedeniyle ulaşım ağlarını kritik hayat yolları olarak tanımlamaktadır. Özellikle ilk toplanma alanlarına erişim ve gerekli hizmetlerin sağlandığı acil durum döneminde, can ve mal kayıplarının en aza indirilmesinde kullanılan yol ağı büyük önem taşımaktadır [5, 4, 6]. Zira toplanma alanları, özellikle ilk 72 saatte afetle mücadele edebilmek ve etkilerini azaltabilmek açısından ihtiyaç duyulan birçok hizmetin gerçekleştirilebildiği kentsel mekanlardır ve afetin ilk aşamasında bu alanlara erişilebilirlik hayati öneme sahiptir.

Yolların afet durumundaki kapasite ve erişim özelliklerini, yol ağı, yolun güzergâhı, kesit özellikleri, trafik karakteristiği, bağlantı özellikleri ile yol güzergâhı üzerindeki arazi kullanım türleri, yapı yoğunlukları ve

binaların yıkılma olasılıkları gibi çevresel faktörler etkilemektedir. Bu nedenle, afet ve acil durumlarda erişilebilirliği sağlamaya yönelik yol ağı sisteminin çok iyi planlanması ve tasarlanması gerekmektedir [7]. Olağanüstü şartlarda şehir halkının toplanacağı acil durum yerlerinin ve bu yerlere ulaşımı sağlayacak alternatif yolların şehir planlamalarında hesaba katılması önem taşımaktadır [8]. JICA raporunda (2002) [2], yolların en kesitinin fazladan kapasiteye sahip olmasının, yol kenarındaki binaların bir deprem sonucunda yıkılması durumunda bile en az gerekli yol işlevini yerine getirebilmesi açısından önemli olduğu belirtilmektedir. Bu kapsamda kent için ulaşımın oluşturan yolların kademelenmesi ve bu yolların genişlikleri afetler açısından kritik hale gelmektedir.

Yol ağını afetlerle ilişkili olarak değerlendiren literatürde, erişim, erişilebilirlik, hareket, tahliye, güzergah planlaması, dirençlilik, kırılabilirlik gibi konuların öne çıktığı çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Ancak toplanma alanları ile yol ağı kademelenme ilişkisini ele alan doğrudan bir çalışma bulunmamaktadır. Oysa bu bir mekan organizasyonu problemidir ve özellikle kent planlama stratejileri içerisinde mutlaka ele alınması gereken bir konudur. Böyle bir eksiklikten hareketle bu çalışma, afet ve acil durumlarda önemli bir işleve sahip toplanma alanlarının belirlenmesinde, servis aldıkları yolun kademe özelliğine bağlı bir değerlendirmenin yapılması gerekliliğine dikkat çekmeyi ve bunun kent planlama çalışmaları içerisinde de alan kullanımları ile ulaşım ilişkisi temelinde yer bulması gerektiğini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

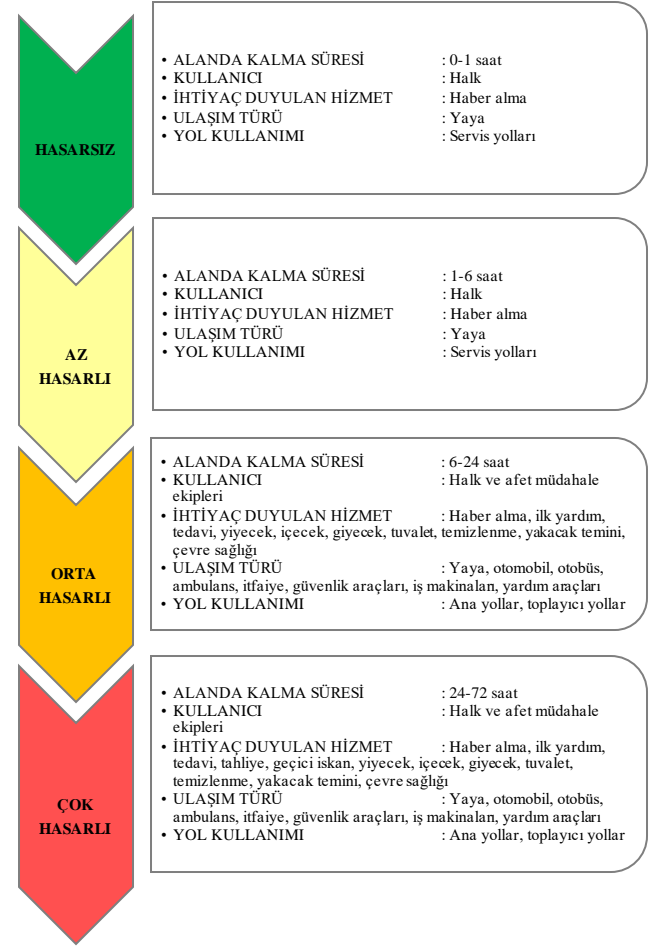
2. YOL KADEMELENMESİNİN AFETLERDEKİ İŞLEVİ VE TOPLANMA ALANLARI

Kent içi ulaşım ağındaki yol kademelenmesi temel olarak çevre yolları ya da otoyollar, ana yollar, toplayıcı yollar ve servis yolları olmak üzere 4 kategoriye ayrılmaktadır. Çevre yolları ağırlıklı olarak transit trafiğe hizmet eden, hiçbir şekilde erişim işlevi olmayıp sadece dağıtım işlevi olan yollardır. Ana yolların birincil işlevi ise büyük

hacimlerdeki motorlu taşıt trafiğini taşımak, şehrin bir bölgesinden diğer bölgesine uzun seyahatlerle ilgili hareketleri sağlamaktır [1]. Kentlerdeki bulvar ve caddeler ana arterleri oluşturmaktadır. Genel olarak, diğer yollar ile az sayıda kesilen, keskin virajların olmadığı, 18 ile 34 m arasında genişliğe sahip, minimum 6 şeritli, refüjlü, bina çekme mesafesi 10-18 m arasında olan bu yollar, hareket sürekliliğini sağlayarak her türlü trafiğin kent içinde dağıtımını sağlar ve zaman zaman da yolun kenarında yer alan kullanımlara erişim hizmeti verirler. Afet açısından ana yolları ele aldığımızda, nitelikleri ve yol genişliği itibarıyla dağıtım işlevi taşıdığını söylemek mümkündür.

Ağırlıklı olarak konut bölgelerinde yer alan toplayıcı yolların ana işlevi, servis yollarındaki trafiğin toplanarak ana yollara ya da trafik yaratan kentsel kullanımlara (üniversite, okul, hastane, alışveriş merkezi vb.) yönlendirmektir. Bu yollar da ayrıca üzerinde yer alan arazi kullanımlara erişim hizmeti verirler. Dolayısıyla dağıtım ve erişim hizmetinin eş düzeyde olduğu yollardır. Genel olarak, 18 ile 24 m arasında genişliğe sahip, minimum 4 şeritli, bina çekme mesafesi 10 m civarında olan ve trafik için tasarlanan yollardır [1]. Afet açısından toplayıcı yolların da nitelikleri ve yol genişliği itibarıyla dağıtım işlevi taşıdığı görülmektedir. Servis yollarının en temel işlevi bireysel mülklere erişimi sağlamaktır. Taşıt trafiğini taşımak ikincil işlevi olduğundan insan, diğer bir deyişle yaya ölçeğindeki yollardır. Genel olarak, 10 ile 18 m arasında genişliğe sahip ve minimum 2 şeritli yollardır [1]. Bu yollar afet durumunda servis ve erişim işlevini yerine getirmektedir.

Afet durumunda kentsel kullanımların ve yolların işlevleri ve kullanım biçimleri değişebilmektedir. Genel olarak afetle birlikte ortaya çıkan kriz durumunda, haber alma, ulaşım, arama, kurtarma, ilk yardım, tedavi, tahliye, geçici iskan, yiyecek, içecek, giyecek, tuvalet, temizlenme, yakacak temini, güvenlik ve çevre sağlığı ve tehlikeli yıkıntıların kaldırılması gibi çok çeşitli faaliyetler gerekebilme ve bu tür faaliyetler için özellikle de müdahale planı hayata geçirilinceye kadar alan kullanımını olarak toplanma alanları (açık ve yeşil alan, park, rekreasyon alanı, eğitim kurumları vb) ihtiyaç duyulan haber alma, ilk yardım, tedavi, yiyecek, içecek, giyecek, tuvalet, temizlenme ve yakacak temini gibi hizmetler için önemli hale gelmektedir. Ne var ki toplanma alanlarının söz konusu işlevleri sağlıklı biçimde yerine getirebilmesinde servis aldığı yol ile olan ilişkisi ve bu yolun kademesi önemli hale gelmektedir. Zira afet müdahale ekiplerinin taşıt ile erişimi ve dağıtım yapılacak hizmetlerin ulaştırılabilmesi için yollara ihtiyaç bulunmakta ve yolların genişliği de anılan hizmetlerin ulaşımı açısından önem kazanmaktadır (Şekil 1).



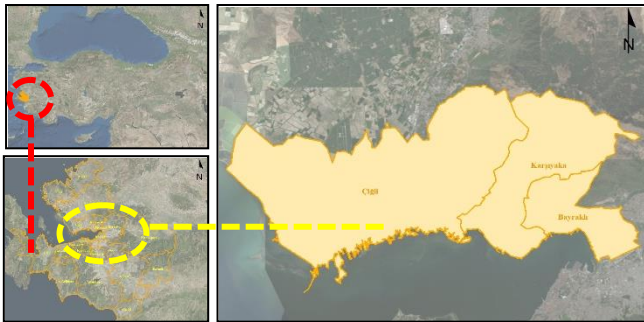
Şekil 1. Afetin etkisine bağlı olarak toplanma alanı kullanıcılarının ihtiyaç duyduğu hizmetlere göre yol kullanımı

Hyogo Bölgesi'nin güneyinde meydana gelen depremden edinilen deneyimden öğrenilen; yol kenarında bir binanın yıkılması halinde bile araç trafiğinin geçebilmesi için minimum 3 metrelik yol genişliğini sağlamak amacıyla en azından 11 ila 12 metrelik yol genişliğinin temin edilmesi gerektirir. Acil kaçış ve kurtarma malzemelerinin taşınması için kullanılan yolların acil durum anında yaya ve araç trafiği için yeterli genişliğe sahip olması önemlidir [2]. Yaya açısından yol genişliğinin özellikle 4 m'nin altında hareketliliği olumsuz etkilediği görülmektedir [9]. Khademi ve arkadaşları (2015) [10], afet sonrasındaki ihtiyaç duyulan faaliyetlere bağlı olarak kullanılan yol kademesinin değişeceğini ifade etmekte; lojistik hizmetlerin birinci ve ikinci derece yollar kullanılarak gerçekleştirilebileceğini belirtmektedir. Tsukaguchi vd. (1996) [11] tarafından Kobe depremi sonrasında yolların genişlikleri ve erişilebilirlikleri üzerine yürütülen ampirik bir çalışmada, kentsel ulaşım ağı içerisinde yer alan 4 metre genişliğindeki yollarda afet sonrasında trafiğin tamamen kapalı olma olasılığının çok yüksek olduğu; 5 – 7 metre genişliğindeki yollarda araçların geçişinde zorlukların

yaşanması ihtimalinin çok yüksek olduğu; 10 – 12 metre genişliğindeki yollarda yolun afet sonrası yaşanabilecek olası yığılma durumunda güvenlik oranının oldukça düşük olduğu ancak işlevini yerine getirebileceği; 12 metreden genişliğindeki yollarda ise afet esnasında ve sonrasında yolun işlevini tam olarak yerine getirebileceği tespit edilmiştir [11]. Bir başka deyişle, kentsel ulaşım ağı içerisinde yolun genişliği azaldıkça acil ve afet durumunda yolun kullanılma potansiyeli azalmaktadır. Dolayısıyla toplanma alanlarına erişimin yol genişliğinin 12 m ve üzerinde, ana yol veya toplayıcı yol niteliğine sahip yollar üzerinden yapılması gerektiği anlaşılmaktadır.

3. ÇALIŞMA ALANI, VERİ VE YÖNTEM

Çalışma alanı olarak, İzmir kentinin önemli gelişme akslarından biri olan kuzey aksının, Bayraklı, Karşıyaka ve Çiğli ilçelerinden oluşan bölgesi seçilmiştir (Şekil 2). Bu ilçelerden nüfusu 342,062 kişi (2017 yılı) olan Karşıyaka İlçesi'nin yerleşik alanı toplam 5088,6 ha. (50,89 km²) olup, merkez kent toplam alanının (78806,6 ha.) yaklaşık %6,46'sını; nüfusu 190,607 kişi (2017 yılı) olan Çiğli İlçesi'nin yerleşik alanı toplam 13352,4 ha (133,52 km²) olup, merkez kent toplam alanının yaklaşık %17'sini; nüfusu 314,402 kişi (2017 yılı) olan Bayraklı İlçesi'nin yerleşik alanı toplam 3700 ha. (37 km²) olup, merkez kent toplam alanının yaklaşık %4,69'unu kapsamaktadır [12]. Doğal niteliği korunan alanlar, kentsel ölçekte park ve rekreasyon alanları, farklı fiziksel ve sosyal niteliğe sahip konut alanları, sanayi alanları, tarihi kimliğiyle ön plana çıkan alanlar, altyapı tesisleri, üniversite yerleşme alanları, denizyolu ve karayoluna ilişkin önemli bağlantılar gibi çok çeşitli kentsel kullanımların görüldüğü çalışma alanı Şekil 3'de gösterilmiştir.



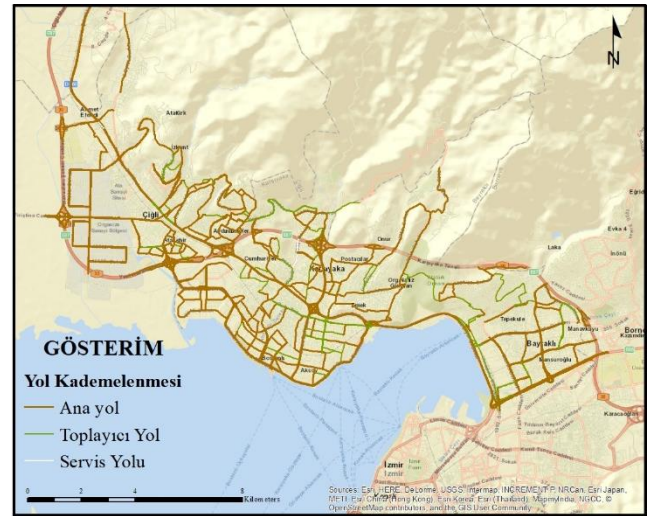
Şekil 2. İzmir İli ve çalışma alanının konumları

Son yıllarda yapılaşma kararları ile giderek yoğunlaşan bölgede yaşayanların toplanma alanı olarak belirlenen alanlara güvenli bir şekilde erişilebilmeleri, afet durumunda kentsel ulaşım ağının kullanıcıya sorunsuz bir şekilde hizmet sunmasına bağlıdır. Bu da afet risk değerlendirmeleri açısından ulaşım ağının durumunu, yolların kapasiteleri, tahliye rotaları, yol genişlikleri gibi kriterler temelinde önemli kılmaktadır [13]. Kullanıcıların afet esnasında ve sonrasında hızlı ve güvenli tahliye ihtiyacı, toplanma alanı olarak belirlenen alanlara en kısa doğrusal mesafenin ve en uygun güzergahın belirlenmesini zorunlu hale getirmektedir. Çalışmada bu doğrultuda; ilk

aşamada toplanma alanlarının erişilebilirliği servis aldıkları yol kademelenmesi bağlamında değerlendirilmiş; ardından yol genişliği ve bina yüksekliği arasındaki ilişki gözetilerek olası bir yıkılma durumu karşısında toplanma alanının servis aldığı yolun kullanılabilirliği ele alınmıştır. Bu değerlendirmeler hem İzmir İl Afet Müdahale Planı'nda (İAMP) belirlenen mevcut toplanma alanları hem de potansiyel toplanma alanları üzerinden yapılmıştır. Araştırma kapsamında, yollar üç kademe olarak sınıflandırılmıştır:

- **Ana yollar:** Genel olarak 6 ve üstü şerit sayısına sahip refüjlü ve yol genişliği 18 m üstünde olan yollar,
- **Toplayıcı yollar:** Genel olarak 4 şerit sayısına sahip refüjlü veya refüj bulunmayan ve 12-18 m arasında genişliği olan yollar,
- **Servis yolları:** Genel olarak 2 şerit sayısına sahip ve yol genişliği 12 m'den az olan yollar.

Belirlenen sınıflama üzerinden toplanma alanlarına ilişkin yapılacak değerlendirmede, servis yolları erişim olmayan veya düşük erişimli, toplayıcı yollar orta erişimli ve ana yollar yüksek erişimli olarak ele alınmıştır.



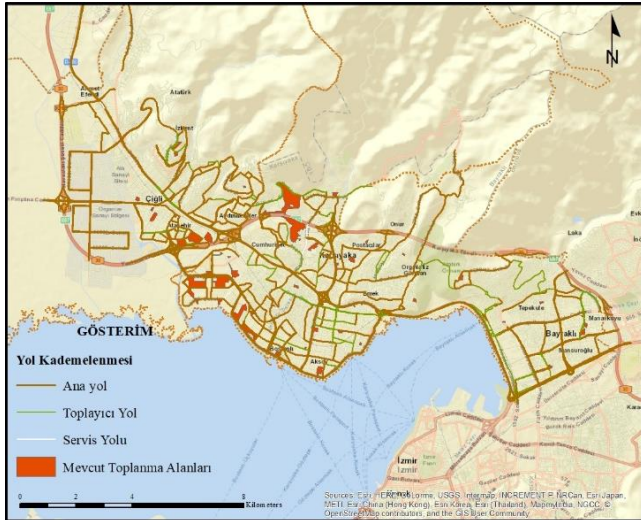
Şekil 3. Çalışma alanında mevcut yol kademelenmesi

İzmir İli Afet Müdahale Planı kapsamında, İzmir merkez kent alanında kalan 11 ilçede farklı konumlarda afet sonrası geçici toplanma alanları belirlenmiştir. Bölgede bir afet meydana gelmesi durumunda afete maruz kalan vatandaşların kurtarılması, yaralı olanların tedavisinin yapılması, geçici iskanların sağlanması gibi çalışmalarını planlamak amacıyla hazırlanan bu plana [14] göre; çalışma kapsamında seçilen 3 ilçede (Çiğli, Karşıyaka ve Bayraklı İlçeleri) toplam 128 adet¹ (29 adet açık alan, 27 adet kamusal alan, 72 adet yeşil alan) toplanma alanı yer almaktadır. İAMP'nda yer alan ve mevcut yol

¹ Çiğli'de 10 adet Bayraklı'da 12 adet ve Karşıyaka'da 106 adet toplanma alanı bulunmaktadır. Bir başka ifadeyle, % 83'ü Karşıyaka, % 9'u Bayraklı ve % 8'i Çiğli ilçesinde yer almaktadır.

kademelenmesi ile ilişkilendirilen mevcut toplanma alanlarının mekansal dağılımları Şekil 4'te gösterilmiştir.

Buna göre, çalışma alanı içerisinde yer alan toplanma alanlarının % 17'si ana yollar, % 75'i toplayıcı yollar ve % 8'i servis yolları üzerinde kalmaktadır. Karşıyaka İlçesi'nde, ilçenin kuzeyinde ve batısında konumlanan toplanma alanlarının yüksek erişimli yollara (ana yollar), ilçenin merkezinde ve güneyinde konumlanan toplanma alanlarının orta erişimli yollara (toplayıcı yollar), ilçenin doğusunda konumlanan toplanma alanlarının ise düşük erişimli yollara (servis yolları) yakın olacak biçimde yer seçtiği gözlenmiştir. Bayraklı İlçesi'nde mevcut toplanma alanlarının genel olarak orta erişimli yollara yakın biçimde yer seçtiğini ve yüksek erişimli yollara yakın herhangi bir toplanma alanının bulunmadığı tespit edilmiştir. Çiğli İlçesi'nde ise ilçenin güneydoğusunda yoğunlaşan toplanma alanlarının orta erişimli yollara yakın olduğu saptanırken; ilçe merkezinin kuzeyinde yer alan toplanma alanlarının düşük erişimli yollara yakın olacak biçimde konumlandığı gözlenmiştir (Şekil 4). İlçeler bazında toplanma alanlarının servis aldıkları yolların kademelenme özelliklerine göre dağılımı Tablo 1'de sunulmuştur.

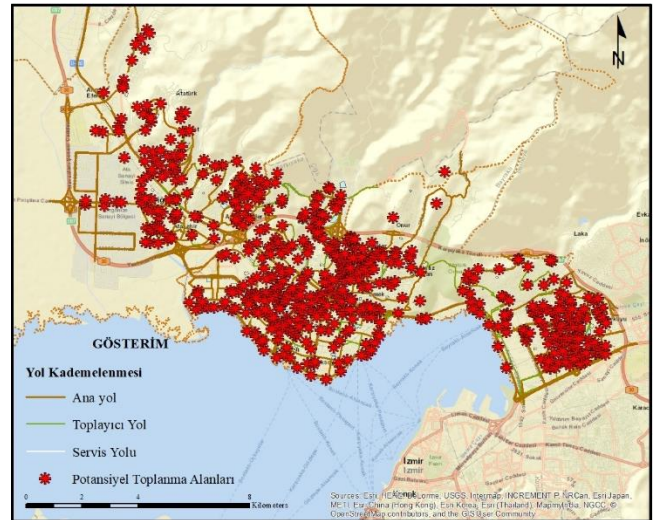


Şekil 4. İl Afet Müdahale Planı'nda yer alan toplanma alanları ve yol kademelenmesi

Öte yandan, çalışma alanı olarak belirlenen 3 ilçede afet esnasında ve sonrasında toplanma alanı olarak belirlenmemiş ancak bu amaçla kullanılabilme potansiyeli taşıyan toplam 746 adet (1 adet üniversite, 59 adet spor alanı, 17 adet sağlık tesis, 5 adet resmi kurum, 26 adet rekreasyon alanı, 14 adet pazar yeri, 476 adet park, 17 adet ortaokul, 5 adet meydan, 36 adet lise ve 90 adet ilkököl)

toplanma alanı tespit edilmiştir. Şekil 5'te görülebileceği üzere, potansiyel toplanma alanlarının çalışma alanı içerisindeki mekansal dağılımları ve mevcut yol kademelenmesine göre konumları farklılık göstermektedir. Tablo 2'de her ilçede potansiyel toplanma alanının türüne, konumuna ve toplanma alanının servis aldığı yolun yol kademelenmesindeki yerine göre detaylı bilgisi verilmiştir. Buna göre, düşük erişimli yolların ağırlıkta olduğu Bayraklı ve Çiğli ilçelerinde bu yollardan açık alanlar ve eğitim tesislerinin; yüksek erişimli yolların ağırlıkta olduğu Karşıyaka ilçesinde bu yollardan açık alanlar, yeşil alanlar ve eğitim tesislerinin; ilçelerde yer alan orta erişimli yollardan ise genel olarak spor alanları, pazar yerleri ve resmi tesisler hizmet alabilmektedir (Tablo 2).

Hem İAMP'nda belirlenmiş olan mevcut toplanma alanlarının hem de potansiyel toplanma alanlarının mekansal olarak mevcut ulaşım ağı ile ilişkilendirilmesinin ardından, çalışma alanı içerisinde Karşıyaka İlçesi sınırlarında yer alan örnek bir bölge seçilerek, bu bölgedeki üç farklı alanın (seçilen alanlardan I ve II No'lu Örnek Alanlar mevcut, III No'lu Örnek Alan ise potansiyel toplanma alanıdır) servis aldığı yollar ile bu yollar üzerinde yer alan yapıların ilişkisi incelenmiştir. Böyle bir inceleme, anılan yapıların yüksekliği ile yolun genişliği arasında oransal ilişki üzerinden gerçekleştirilmiştir. Örnek seçilen farklı yol kademesi üzerinde yer alan birbiriyle ilişkili 3 alandan elde edilen "bina yüksekliği-yol genişliği oranları" karşılaştırılmıştır. Seçilen örnek alanların konumlarının gösterildiği Şekil 6'da ve Şekil 7'de aynı zamanda mevcut yapı stoğu ile mekansal ilişkisi de okunabilmektedir.



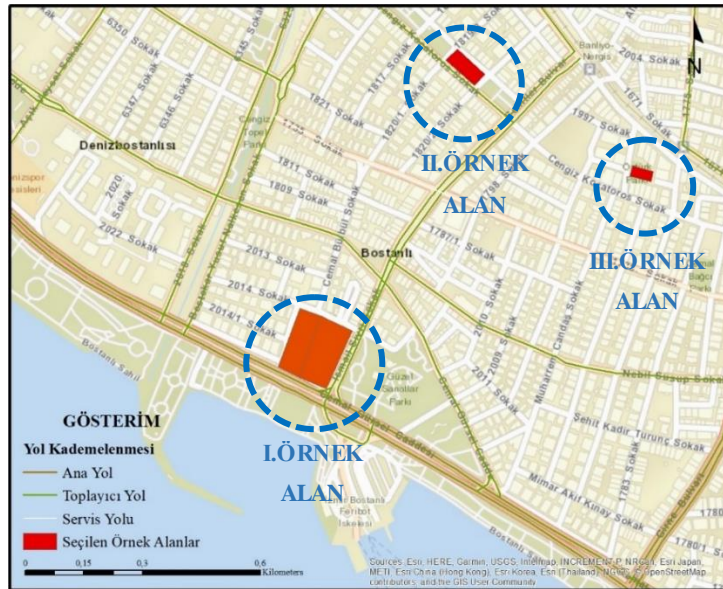
Şekil 5. Potansiyel toplanma alanları ve yol kademelenmesi

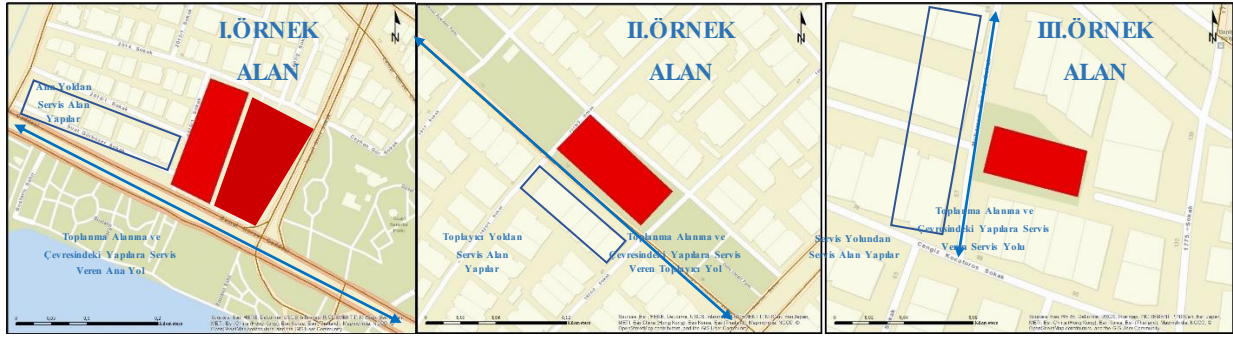
Tablo 1. Toplanma alanlarının servis aldıkları yol kademesine göre dağılımı

Servis Aldığı Yol	Bayraklı		Karşıyaka		Çiğli		Toplam	
	Adet	Oran (%)	Adet	Oran (%)	Adet	Oran (%)	Adet	Oran (%)
Ana Yol	3	25	15	14	4	40	22	17
Toplayıcı Yol	4	30	89	84	3	30	96	75
Servis Yolu	5	45	2	2	3	30	10	8
TOPLAM	12	100	106	100	10	100	128	100

Tablo 2. Potansiyel toplanma alanlarının yol kademelenmesi ile mekânsal ilişkisi

İlçe Adı	Toplanma Alanı Türü	Konumu	Toplanma Alanının Yakın Olduğu Yolunun Kademesi
Çiğli	Spor alanı	İlçe merkezi	Orta erişimli
	Sağlık tesisi	İlçe merkezi	Orta erişimli
	Rekreasyon alanı	İlçe merkezinin batısı	Orta ve düşük erişimli
	Pazar yeri	İlçe merkezi	Orta ve düşük erişimli
	Park alanı	İlçe merkezi, doğusu ve batısı	Orta ve düşük erişimli
	Ortaokul	İlçe merkezinin kuzeyi	Orta erişimli
	Lise	İlçe merkezinin kuzeyi	Orta ve düşük erişimli
	İlkokul	İlçe merkezi ve kuzeyi	Yüksek ve düşük erişimli
Karşıyaka	Üniversite	İlçe merkezinin kuzey batısı	Yüksek erişimli
	Spor alanı	İlçe geneli	Orta erişimli
	Sağlık tesisi	İlçe merkezi ve güneyi	Orta ve düşük erişimli
	Rekreasyon alanı	İlçe merkezinin güneyi	Yüksek erişimli
	Pazar yeri	İlçe geneli	Orta ve yüksek erişimli
	Park alanı	İlçe geneli	Düşük, orta ve yüksek erişimli
	Ortaokul	İlçe merkezi, batısı ve güneyi	Orta ve yüksek erişimli
	Lise	İlçe geneli	Yüksek ve düşük erişimli
Bayraklı	İlkokul	İlçe geneli	Orta ve düşük erişimli
	Meydan	İlçe merkezinin doğusu	Orta ve yüksek erişimli
	Spor alanı	İlçenin güneydoğusu ve batısı	Orta ve düşük erişimli
	Sağlık tesisi	İlçe merkezi ve güneydoğusu	Orta erişimli
	Rekreasyon alanı	İlçe merkezinin güneyi	Yüksek erişimli
	Pazar yeri	İlçe geneli	Orta ve düşük erişimli
	Park alanı	İlçenin batısı ve doğusu	Düşük, orta ve yüksek erişimli
	Ortaokul	İlçe merkezi ve güneydoğusu	Orta ve düşük erişimli
L.ÖRNEK ALAN	Lise	İlçenin batısı	Orta ve düşük erişimli
	İlkokul	İlçe geneli	Düşük, orta ve yüksek erişimli
	Resmi tesis	İlçenin batısı ve güneyi	Orta ve yüksek erişimli

**Şekil 6.** Seçilen toplanma alanlarının Karşıyaka İlçesi içerisindeki konumları ve yol kademelenmesi ile ilişkisi



Şekil 7. Seçilen toplanma alanlarının servis aldığı yolun yapılar ile olan ilişkisi



Şekil 8. Örnek alanların çevresindeki ve servis aldığı yol üzerindeki yapılaşmanın durumu [15]

Çalışma alanı içerisinde seçilen 3 örnek alanın konum bilgisinin yanı sıra, çalışma konusuna göre nitelikleri de incelenmiştir. Buna göre:

- I. Örnek Alan: Karşıyaka İlçesi Bostanlı Mahallesi sınırları içerisinde kalan, kıyı şeridine paralel olarak ilerleyen ve yol kademesi “ana yol” olan 27 metre genişliğindeki Hasan Ali Yücel Bulvarı’ndan servis

alan, yakın çevresinde ortalama 7 katlı binaların yer aldığı, bina yüksekliğinin 21 metre olduğu ve binaların cephe verdiği bir otopark ve park alanını kapsayan toplanma alanıdır. Söz konusu alan Bostanlı mahallesinin merkezinde denizle bütünleşen bir bölgede yer almakta olup, bir bölümü yoğun bir otopark alanı olarak kullanılırken, bir bölümü de daha çok Bostanlı İskelesi ve çarşı bölgesi arasındaki yaya

erişimini destekleyen bir açık alan olarak işlev görmektedir (Şekil 8).

- II. Örnek Alan: Karşıyaka İlçesi Bostanlı Mahallesi sınırları içerisinde kalan, Cengiz Kocatoros Caddesi ile Şehitler Bulvarı'nın kesiştiği yerde konumlanan, yol kademesi "taşıyıcı yol" olan 15 metre genişliğindeki Cengiz Kocatoros Caddesi'nden servis alan, yakın çevresinde ortalama 5 katlı binaların yer aldığı, bina yüksekliğinin 15 metre olduğu binaların cephe verdiği bir park alanıdır. Gode Cengiz parkları olarak bilinen bir dizi açık ve yeşil alanın park, çocuk oyun alanı ve spor alanı işlevleriyle önemli bir kentsel yeşil aks yarattığı bölge çevredeki konut alanları tarafından yoğun olarak kullanılmaktadır (Şekil 8).
- III. Örnek Alan: Karşıyaka İlçesi Bostanlı Mahallesi sınırları içerisinde kalan, Cengiz Kocatoros Caddesi ile Muharrem Candaş Sokak'ın kesişiminde konumlanan, yol kademesi "servis yolu" olan 10 metre genişliğindeki Muharrem Candaş Sokak'tan servis alan, yakın çevresinde ve yolun her iki tarafında da ortalama 7 katlı binaların yer aldığı, yüksekliği 21 metre olan binaların cephe verdiği bir park alanıdır. Söz konusu park alanı apartmanlar arasında yer alan küçük ölçekli ve daha çok kendisine cephe veren yapılara hizmet sunan bir yeşil alandır (Şekil 8).

Tsakaguchi vd. (1996) [11] ve Yücel (2011) [13] tarafından vurgulandığı üzere, afet esnasında ve sonrasında kullanıcıların toplanma alanı olarak belirlenen alanlara güvenli bir şekilde erişebilmesi ve kentsel ulaşım ağının sorunsuz bir şekilde hizmet sunması hayati derecede önemli bir hale gelmektedir. Toplanma alanlarına sorunsuz biçimde ve en kısa güzergahı kullanarak en kısa sürede ulaşılabilmesi için, mevcut ulaşım ağının ve o toplanma alanının servis aldığı yolun güvenli olması gerekmektedir. Güvenlik, yol genişliği – bina yüksekliği oranı üzerinden değerlendirilmektedir. Hesaplama oran değeri 1'in altına düştükçe daha güvenli, üstüne çıktıkça daha güvensiz olduğu sonucunu vermektedir. Bu oransal hesaplama, afet durumunda olası yığılmaların ve erişim sorunlarının yaşanma olasılığı konusunda önemli ipuçları verecektir. Bu oran şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$ORAN = \frac{Bina\ Yüksekliği}{Yol\ Genişliği}$$

Bina yüksekliği: Toplanma alanının servis aldığı yola cephe veren binaların ortalama kat yüksekliği (Kat sayısı, 1 kat yüksekliği olarak kabul edilen 3 metre ile çarpılması ile elde edilir)

Yol genişliği: Toplanma alanının servis aldığı yolun 1:1 ölçeğe uygun olarak ölçülen değeri (Yolun mülkiyetler arasında kalan enine mesafesini, genişliğini ifade eder. Şerit sayısı, refüj olup olmaması ve kaldırım genişliği yol genişliğini etkiler)

Çalışma alanı özelinde incelendiğinde, seçilen örnek alanlarda toplanma alanı olarak belirlenen park alanlarına

servis veren yolların genişlikleri ölçülmüş; bu yollara cephe veren binaların ortalama kat yüksekliği hesaplandıktan sonra metre cinsinden bir yükseklik değerine ulaşılmıştır.

Buna göre:

- I. Örnek Alan için Oran=0,77 (Oran<1)
- II. Örnek Alan için Oran= 1,00 (Oran=1)
- III. Örnek Alan için Oran= 2,10 (Oran>1)

sonuçları elde edilmiştir.

Bu sonuçlara göre; I. örnek alanda toplanma alanına erişim sağlayan yol üzerinde yer alan binaların yüksekliklerinin yolun genişliğine oranı 1'in altında kaldığı için kullanıcıların afet esnasında ve sonrasında bu alana erişimde mevcut yolun işlevini yerine getireceği ve trafiğe tamamen kapanmayacağı, dolayısıyla da güvenlik açısından bir sorun yaşamayacağı söylenebilir. II. örnek alanda alanın servis aldığı yolun üzerinde bulunan binaların yükseklikleri yolun genişliği ile aynı olduğu için kullanıcıların afet esnasında ve sonrasında belirlenen toplanma alanına erişimde kısmen güvenlik sorunu yaşanabileceği, mevcut yoldan araç geçişlerinde zorluklar yaşanabileceği ve yolun kısmen trafiğe kapanabileceği söylenebilir. III. örnek alanda ise yol üzerinde bulunan binaların yükseklikleri yolun genişliğinin üstünde olduğu için toplanma alanına erişiminin güvensiz ve oldukça riskli olacağı, mevcut yolun işlevini yerine getiremeyeceği ve trafiğe tamamen kapanacağı söylenebilir. Ayrıca bu alanda, toplanma alanının servis aldığı yolun her iki tarafında da yapıların bulunuyor olması, bu yolun risk düzeyini artıran bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla, seçilen örnek alanlar afet durumundaki erişim olanakları ve yolun işlevini yerine getirmesi bakımından karşılaştırıldığında, ana yoldan servis alan I. örnek alanın erişim açısından en avantajlı ve işlevlerini bir afet durumunda sürdürme olasılığı en yüksek alan olduğu; II. örnek alanın erişilebilirlik açısından daha dezavantajlı olduğu ve kısmen sorunlar yaşayabileceği; servis yolundan servis alan III. örnek alanın ise erişim açısından en dezavantajlı alan olduğu ve herhangi bir afet durumunda işlevini yitirme olasılığının yüksek olduğu saptanmıştır.

4. SONUÇ

Her ne kadar depremin merkezi, şiddeti, türü vb. özelliklerini, alan genelindeki yolların erişim açısından ortaya çıkarabileceği sorunları ve afet durumunda erişim olanaklarının ne ölçüde sınırlanabileceğini ortaya koymak oldukça zor olsa da, toplanma alanlarının belirlenmesinde yolların kademelenmesi ve genişlik özellikleri üzerinden afet durumunda taşıyacağı riske ilişkin bir değerlendirme yapmak mümkündür. Yoğun yapılaşma özellikleri gösteren kentlerimizde genellikle boş olarak sınıflanabilen tüm alanlar toplanma alanı olarak ele alınabilmektedir. Oysa bir toplanma alanının deprem durumunda kullanılabilirliğini etkileyen faktörlerden biri de o alana erişim olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, yol kademelenmesi, bina yüksekliği ve yol genişliği temelinde yapılabilecek değerlendirmeler olmaksızın toplanma

alanlarının belirlendiği durumlarda, erişim ile ilgili sorunların ortaya çıkabileceğini göstermektedir. Diğer bir deyişle, erişilebilirliğin gözlemlenmesi ve deprem durumunda erişilebilirliğin kısıtlanması, toplanma amaçlı belirlenmiş bir alanın bu amaca hizmet etmesinin önünde büyük bir engel teşkil edecektir. İzmir özelinde yapılan bu çalışmanın yöntemini ve sonuçlarını diğer kentlerimiz bağlamında uygulamak ve yorumlamak mümkündür. Sonuç olarak tüm yerleşmelerin deprem risklerinin azaltılmasına yönelik planlanmasında hem toplanma alanı olarak işlev görebilecek açık alanların hem de bu alanların ulaşım sistemi ve yol kademelenmesi ile olan ilişkilerinin değerlendirilmesi gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı'nın (AFAD) Ulusal Deprem Araştırma Programı tarafından desteklenen UDAP-G-16-08 Proje Numaralı "Afet ve Acil Durumlar Sonrası Halkın Toplanma Alanlarına İlişkin Kriterlerin Belirlenmesi ve Değerlendirme Yönteminin Oluşturulması, İzmir Kenti Örneği" başlıklı proje kapsamında yapılan çalışmalara dayanmaktadır.


KAYNAKÇA


- [1] T. Kılınçaslan, "Ulaşım Sistemi ve Yol Ağları", Ed.: Tülay Kılınçaslan (editör) Kentsel Ulaşım, İstanbul, Nivona Yayınları, pp. 49-125, 2012.
- [2] Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB), "Türkiye Cumhuriyeti İstanbul ili sismik mikro-bölgeleme dahil afet önleme/azaltma temel planı çalışması, Son Rapor Cilt V", Pacific Consultants International, OYO Corporation, 2002.
- [3] H. Şengün, "Marmara Depremi'nde Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Çalışmaları ve Hukuksal Sorunlar", TMMOB Afet Sempozyumu, 5-7 Aralık 2007, Ankara, 57-82, (2007).
- [4] M. Konstantinidou, K. Kepaptsoglou ve M. Karlaftis, "Transportation network post-disaster planning and management: a review part I: post-disaster transportation network performance", International journal of transportation, 2(3), 1-16, 2014.
- [5] L. Liu, Y. Lin ve S. Wang, "Urban design for post-earthquake reconstruction: A case study of Wenchuan County, China", Habitat International, 2014, 41, 290-299. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0197397513000957>, (Erişim tarihi: Mart 2018).
- [6] J. Sohn, "Evaluating the significance of highway network links under the flood damage: An accessibility approach", Transportation research part A: policy and practice, 2006, 40(6), 491-506.
- [7] U. Erdem, H. E. Erdin ve N. S. Özcan, "Afet ve Acil Durumlarda Erişilebilirlik", 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (UDMSK), Eskişehir, 2017. <http://www.tdmd.org.tr/TR/Genel/4UDMSK/pdf2017/3887.pdf>.
- [8] F. Y. Karabulut ve C. Helvacı, "Büyük Şehirlerde Ulaşım Sistemleri ve Sorunları: İzmir İli Özelindeki Sorunlara Çözüm Önerileri", Planlama Dergisi, 27(3), pp. 215-221, 2017.
- [9] N. Zhang, H. Huang, B. Su ve J. Zhao, "Analysis of dynamic road risk for pedestrian evacuation", Physica A, 430, pp. 171-183, 2015.
- [10] N. Khademi, B. Balaei, M. Shahri, M. Mirzaei, B. Sarrafi, M. Zahabiun ve A. S. Mohaymany, "Transportation network vulnerability analysis for the case of a catastrophic earthquake", International Journal of Disaster Risk Reduction, 12 (2015), pp. 234-254, 2015.
- [11] H. Tsukaguchi, T. Totani ve K. Nakatsuji, "Areal Photo Analysis of Road Damage Immediately After Earthquake", Symposium on Hanshin Earthquake, Japan Society of Civil Engineering, pp. 701-708, 1996.
- [12] İzmir Büyükşehir Belediyesi (İBB), "1/25000 Ölçekli İzmir Büyükşehir Bütünü Çevre Düzeni Planı Açıklama Raporu", Eylül 2012.
- [13] G. Yücel, "Afetler İçin Yerleşimlerde Güvenli Açık Alan ve Erişim", TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi, Dosya 26, Eylül 2011.
- [14] O. Mersin ve Ş. Arıkan, "İzmir Acil Yardım Planı", TMMOB Afet Sempozyumu, 5-7 Aralık 2007, Ankara, s.313-322, (2007).
- [15] GoogleEarthPro Sokak görünümü. (Erişim tarihi: Mart 2018).

Tongue-Operated Biosignal over EEG and Processing with Decision Tree and kNN


*¹Kutlucan Gorur, ²M. Recep Bozkurt, ³M. Serdar Bascil, ¹Feyzullah Temurtas

¹Department of Electrical and Electronics Engineering, Bandirma Onyedi Eylul University, Turkey,


kgorur@bandirma.edu.tr, 

temurtas@gmail.com, 

² Department of Electrical and Electronics Engineering, Sakarya University, Turkey,

mbozkurt@sakarya.edu.tr, 

³ Department of Biomedical Engineering, Selcuk University, Turkey,

serdarbascil@gmail.com, 

Research Paper

Arrival Date: 03.07.2019

Accepted Date: 17.12.2020

Abstract

Tongue-machine interface (TMI) is a feasible way between the assistive technologies and paralyzed individuals who have lost their abilities to communicate with the environment. Researchers have presented equipment based tongue-machine interfaces to reach a reliable and speedy system. However, this kind of interfaces may occur a way of obtrusive, unattractive and unhygienic for disabled persons. In this research, we intended to propose a natural, unobtrusive and robust glossokinetic potential signals (GKP) based TMI exploring the success of the novel machine learning algorithms. The tongue is bound up with cranial nerves to the brain, which can escape from the spinal cord injuries in general. Moreover, the tongue has highly capable of sophisticated manipulation tasks with less perceived exertion in the oral cavity and gives degrees of privacy. In this study, ten naive healthy subjects have attended who were between 22-34 ages. Decision Tree (DT) and k-Nearest Neighbors (kNN) algorithms were used with Mean-Absolute Value (MAV) and Power Spectral Density (PSD) methods. Moreover, Discrete Wavelet Transform (DWT) was implemented to reveal the theta and delta subbands. In the study, the highest value was provided as 96.77% by the k-Nearest Neighbor algorithm for the best participant. Furthermore, the GKP-based TMI may be an alternative system for the limitations of the brain-computer interfaces. It is well-known that EEG deficits are major concerns for brain-computer interfaces.

Keywords: Glossokinetic Potential, Tongue-Machine Interface, Brain-Computer Interface, Decision Tree, k-Nearest Neighbors, Discrete Wavelet Transform

1. INTRODUCTION

Patients suffer from the loss of motor control because of the spinal cord injuries (SCIs), brain stroke or amyotrophic lateral sclerosis (ALS). These individuals do not use peripheral nerves and muscles in regular outputs. Assistive technologies (ATs) enable impaired persons to control and communicate a device such as computers, wheelchairs, neuroprosthesis or word-spellers [1]. Tongue-machine interface (TMI) is a tongue- managed system to operate assistive technologies by voluntary tongue motions. There is substantial research on a number of TMIs. According to recent reports, most of the systems operated by the tongue, have pieces of equipment in the mouth and around the headset [2]. These devices can disturb paralyzed people in their swallowing, breathing and speaking performances and they are not hygienic in the mouth [3,4]. In this study, we aimed to explore the performance of the Decision Tree and k-Nearest Neighbors machine learning algorithms in advancing a natural, reliable and easy-to-use 1-D control and

communication tongue-machine interface using the glossokinetic potential signals (GKPs) solely. GKPs originate from a noncerebral region and occur low-frequency interference with the alpha and beta frequencies of brain activity. Because GKPs emerge generally in the delta (1-3 Hz) and theta (4-7 Hz) bands. Then these rarely used signals are created by contacting the buccal walls with the tip of the tongue. If the tongue touches the buccal walls, the charge decreases in contact surface and vice versa operation created in the non-contact area [5].

The oral cavity is a sensitive region compared to other body parts. Hence, oral structures possess a cortex structure matching to hand size, whereas the lower limbs of the body possess a relatively small mapping in the somatic sensory cortex. Moreover, psychophysical papers on strength sensitivity and discrimination confirm that some mouth parts like the tongue are more susceptible than the fingertip [6]. For this reason, the tongue may perform encouraging results in a tongue-machine interface associated with 1-D pattern

*¹Corresponding Author: Bandirma Onyedi Eylul University Electrical- Electronics Engin. Depart. Bandirma-Balıkesir-Turkey/
kgorur@bandirma.edu.tr

recognition compared to other body parts due to cortex brain mapping by measuring the signals over the scalp [7-9]. Inherent problems including degrees of freedom (DoF) and loss of control (LoC) are seen in traditional brain-computer interfaces (BCIs). These problems are originated from the nonstationary electroencephalography (EEG) signals [10,11]. Furthermore, long training times and high cognitive efforts are drawbacks of BCIs [12,13]. GKP-based TMI can solve to these problems without so much energy because of the intuitive tongue motions.

Recently, few of the tongue-operated interfaces handled glossokinetic potential responses in the literature. Nam et al. have developed “Tongue-Rudder” [3]. In this research, glossokinetic potential responses were used for 1-D extraction and EMG signals of the jaw utilized for calibration and toggle operations to control a wheelchair. Linear variations of GKP were measured from the scalp and earlobes to be classified by principal component analysis (PCA). Then, the same research group has developed “GOM-face” [4]. In this work, GKP and EOG (Electrooculogram) were implemented for each 1-D extraction and EMG used for toggle and calibration settings again to manage a humanoid robot. Tongue and eyes are named as charged organs based on the same phenomena of occurring. Thus, all signals were measured over the face. Then, eigenvalue decomposition of two covariances was calculated to discriminate GKP and EOG signals to be classified by support vector machine algorithm. However, implementing Decision Tree and k-Nearest Neighbor algorithms with MAV and PSD techniques in GKP-based TMI is the first attempt to show the performance of these machine learning algorithms.

Primary of hardware-based tongue-driven systems are presented by Huo et al. [1]. They have developed a series of wireless tongue-operated interfaces with attaching a piece of permanent magnet on the tongue and placing sensors in the mouth or on the dental-set/headset to detect the magnetically induced changes [1, 14-16]. Then, transmitted data were processed by computer or smartphone. Krishnamurthy et al. handled the same phenomena to realize a TMI [17]. Nonetheless, this kind of systems might cause disabled persons uncomfortable and unhygienic access in daily life. However, our study, glossokinetic potential responses on a tongue-machine interface may offer handicapped people in a natural and easy-to-use control in assistive devices. The other design approach of a TMI by Vaidyanathan et al. is based on airflow pressure changes created by the tongue movements, therefore attaching a microphone to the air canal [18-22]. However, GKP-based TMI can handle to manage an AT without affecting listening performance due to the acquisition the signals over the scalp.

Three experimental paradigms were established in the offline recording system. Decision Tree and k-Nearest Neighbor algorithms were applied as MLs with Mean-Absolute Value and Power Spectral Density methods to recognize the pattern of GKPs on the scalp. Moreover, Discrete Wavelet

Transform (DWT), Principal Component Analysis (PCA), and Independent Component Analysis (ICA) were also utilized in preprocessing and feature selection operations respectively.

2. MATERIALS AND METHODS

In this study, the procedure of the spatial pattern classification is as follows: Acquisition signals were carried out over the scalp based on the 10-20 international electrode placement system [23]. Then preprocessing steps are implemented as; DWT is to extract the delta and theta frequency subbands of the signals. Then the raw data set is normalized. After that, feature extraction operation is applied to highlight the data set. Principal Component Analysis and Independent Component Analysis are to decrease the features' dimension of the same data set. Finally extracted data are conveyed to the classifiers. GKP occurrence and GKP-based TMI workflow was presented in Fig.1.

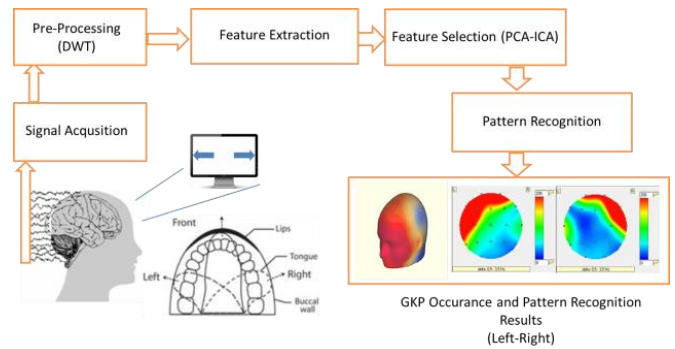


Fig.1. The presentation of GKP occurrence and GKP-based tongue machine interface

GKP signals were collected by EEG measurement device using the Micromed SAM32RFO with 19 channels, and impedances of electrodes were kept under 10kΩ. In the acquisition system, Left (A1) and right (A2) earlobes and left-eyebrow were designated as reference points and ground respectively. Each channel was sampled at a frequency of 1024 Hz and filtered (0.5-100 Hz). Besides, a notch filter of 50 Hz was applied to remove the power line noise [24]. The electrodes for monopolar installation is represented in Table 1. Extracted data of delta and theta frequencies were normalized in the range of 0-1 according to the Eq.1.

$$X_S^{norm} = \frac{X_S - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

X_S stands for the sth data, X_{min} and X_{max} describe the minimum and maximum values in the data set, respectively [25]. This step helps ML algorithms to classify the data sets easier.

Table 1. The Monopolar Placement for EEG Electrodes

Number of Channels	Names of Channels
Chnl-1	Fp2
Chnl-2	Fp1
Chnl-3	F7
Chnl-4	F3
Chnl-5	Fz
Chnl-6	F4
Chnl-7	F8
Chnl-8	T3
Chnl-9	C3
Chnl-10	Cz
Chnl-11	C4
Chnl-12	T4
Chnl-13	T5
Chnl-14	P3
Chnl-15	Pz
Chnl-16	P4
Chnl-17	T6
Chnl-18	O1
Chnl-19	O2

2.1. Data Collection

In this study, three experimental paradigms were designed to prevent design biases. The tongue dynamics of 8 male and 2 female participants without any nervous system impairment can provide similar signal direction patterns of each tongue touchings. The participants were placed in front of the LCD monitor and guided not to move any part of the gross body except tongue motions during the task timing and trial procedure. However, eye movements were set free in the resting timing. Four trials for each experimental paradigm provided a total of 12 trials for each participant. Low inter-trial variability and robust performances were observed between the trial results of each subject due to the complex muscles of the tongue and less effort [1,5]. Therefore pre-evaluated trials in terms of the classification results and the observed best trial of each subject were selected to compare the performances of DT and kNN methods. Then, complete processed results were provided using this data set of the trial. Statistical information of each participant was presented in Table 2.

Each recorded trial has 98 s and begins after the 10 s delay. Multiple touching contacts last 6 s duration for each right or left tongue movements in the oral cavity. Then, 5 s resting interval is inserted between the 6 s tongue motion durations and expected no tongue motion at this interval. The tongue is extended through forward in the intervals of the rest timing. Then, four right tongue movements and four left tongue movements were made by the subjects following to the experimental sequences shown in Fig.2. Approximately 10 multiple distinct contacts were implemented to the buccal walls during the 6 seconds. Distinct contacts are important to

unveil the GKPs. Experimental paradigm sequences were arranged in different orders to reduce the memorizing effect for each subject. The equal direction number (4 right and 4 left) and timing process (6 s for task 5 s for resting) were made to be deterministic and boosting robust results in each experiment of the subjects. The subjects were guided by using powerpoint slide based experiments to reveal the patterns of GKP signals. Therefore inter-trial differences were compensated and reduced as possible as for each subject. The control of tongue movements in recorded signals were made by observation of amplitude and repetitional GKP signals (< 100uV) which are much higher than the normal EEG signals (10uV < EEG < 100uV) or EOG artifacts.

Table 2. Selected experimental setup and trial number for each participant with statistical information

	Gender	Age	Exper. Setup Number	Trial Number
Sub-1	F	25	2	2
Sub-2	M	23	3	1
Sub-3	M	22	1	1
Sub-4	F	22	3	3
Sub-5	M	23	3	3
Sub-6	M	32	2	1
Sub-7	M	22	2	2
Sub-8	M	25	3	3
Sub-9	M	23	1	1
Sub-10	M	34	3	1

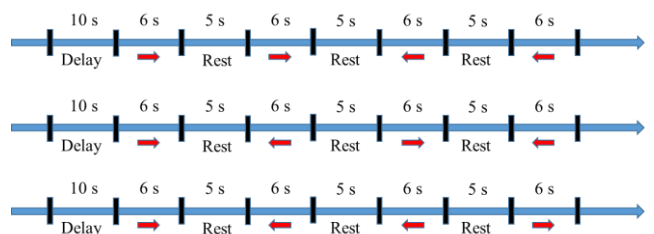


Fig.2. Sequences of the three experimental paradigms for tongue motions in the GKP-based TMI study

2.2. Discrete Wavelet Transform

Discrete Wavelet Transform (DWT) has revealed as a powerful tool to extract desired signals from non-stationary signals. DWT is also very suitable for multi-resolution analysis and consists of a series of operations for filtering and downsampling the input signal. Accomplishing scaling functions and wavelet functions are used with associated low and high pass filters to decompose high-frequency and low-frequency components [26, 27]. In this study, to achieve better classification results in feature extraction, the DWT technique was conducted for preprocessing and extraction of the delta and theta frequency bands of GKPs. In this application, the db10 of Wavelet type (Daubechies) at the 6th level was implemented to extract the delta and theta bands of GKPs for a sampling frequency of 1024 Hz.

$$DWT(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \sum_n x(n) \psi^* \left(\frac{n-b}{a} \right) \quad (2)$$

In this expression, a and b are called scaling and translation parameters, respectively [28].

2.3. Feature Extraction

Feature extraction consists of calculation from the raw data signal to the informative and non-redundant feature vector. In this study, the Mean-Absolute Value (MAV-time domain) and Power Spectral Density (PSD-frequency domain) methods were applied. Feature extraction methods do not need transformation operation for time domain. However, frequency domain requires a transformation process from one domain to other [29]. The mathematical presentation of the mean-absolute value is defined in Eq.3.

$$MAV = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i| \quad (3)$$

where $X_i=1,2,3...N$ is a sequence of time, N stands for the samples' length in the data array. Power signal changes of glossokinetic potential responses have different frequency ranges on the scalp that the PSD exhibits. PSD is a function describing the power distribution over a signal frequency. The mathematical formula of PSD is shown in Eqs.4-7:

$$P_x(f) = \frac{1}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi f n} \right|^2 = \frac{1}{N} |X(f)|^2 \quad (4)$$

where $X(f)$ is the Fourier Transform of the data series of $x(n)$, N means the samples' length. PSD of the signal is implemented by periodogram, and familiar kind of a periodogram is called Welch's method. In this method, data segments are separated and then overlapped as shown below:

$$\begin{aligned} x_i(n) &= x(n + iD) \quad n = 0, 1, \dots, M - 1 \\ i &= 0, 1, \dots, L - 1 \end{aligned} \quad (5)$$

where i shows the data segment, n is the length of the segment. Moreover, iD is specified as the first value for the i th sequence of $D = M$, and then the segments do not overlap. However, if the sequence occurs in $D = M/2$, then 50 % overlap is implemented over the data segments. Overall PSD is calculated applying the windowing process to each data segment. The modified periodogram is in Eq.6.

$$\bar{P}_x^{(i)}(f) = \frac{1}{MU} \left| \sum_{n=0}^{N-1} x(n) w(n) e^{-j2\pi f n} \right|^2 \quad (6)$$

where U is appointed as the normalization factor in the window functioning ‘‘ $w(n)$ ’’:

$$U = \frac{1}{M} \sum_{n=0}^{N-1} w^2(n) \quad (7)$$

More knowledge for PSD and Welch's method can be seen in these references [30,31]. In our study, the data samples were divided into eight segments that are 50% overlapping and were processed with hamming windows. These eight segment and overlapping process were carried out by PSD for each segmentation before the frequency domain transformation.

The collected data constitutes a vector of length $(6 \times 8 \times 1024) \times 19$ for each participant. 6 stands for six seconds for multiple contacts in a trial, 8 is the number of total tongue movements (4 right-4 left), 1024 means the frequency of sampling and 19 states the channel numbers. It covers all EEG frequencies along feature extraction process, then 100 ms window was applied to generate the feature vector. 1 second data is $1024 / 100\text{ms} = 10$ parts (approx.), after that $(6 \times 8 \times 10)$ equals the data length of 480 (approx.). However, some of the subjects start and end trials in difficulty at definite times during the experiments. Therefore, the data set had been cut off and defined it as a 400×19 dimension for each participant.

2.4. Principal Component Analysis

Principal Component Analysis (PCA) is a statistical method using orthogonal transform to calculate a set of observations of possibly related variables into a set of linearly uncorrelated variables, called principal components (PCs) [24,32]. PCA considers removing unnecessary data. Thus, it provides an easier calculation for machine learning (ML's) algorithms. Converting the high dimensional data (X_i) is reduced into a lower dimensional data (S_i) by PCA. The eigenvalues and eigenvectors are determined for the covariance matrix (C) in this technique. The related equations are shown in (8-10).

$$C(X) = \sum_1^N \frac{(X_i X_i^T)}{N} \quad (8)$$

$$u_i = C u_i, \quad i = 1, 2, 3 \dots m \quad (9)$$

where λ_i stands for the eigenvalues and u_i is the related eigenvector.

$$S_t(i) = u_i^T X_t, \quad i = 1, 2, 3 \dots m \quad (10)$$

where $S_t(i)$ describes the principal components of the data set (X_t) [32,33]. In this research, 12-features were selected from the 19-features representing the highest variance values to form a 400×12 data set indicating all data between 97.9%-99.8% range.

2.5. Independent Component Analysis

Independent Component Analysis (ICA) is a kind of statistical technique aiming to reveal concealed factors called independent components and to find linear projections of data that maximize mutual independence. Blind Source Separation (BSS) technique is based on ICA that intends to select the best EEG channels. Fewer EEG channels mean more portable and convenience interfaces and assistive technologies. ICA may be a useful tool to understand the functioning of brain mapping and glossokinetic potential responses during voluntary tongue movements [34, 35]. The related equations of ICA are represented in 11-13.

$$x_i(t) = a_{i1}s_1(t) + \dots + a_{in}s_n(t) \quad (11)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

where $x_i(t)$ is the linear signal mixture belonging to n differently and randomly varying coefficients, and $s_n(t)$ shows the hidden component [24]. ICA notation is in a matrix form:

$$\begin{bmatrix} x_1(t) \\ \vdots \\ x_n(t) \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} s_1(t) \\ \vdots \\ s_n(t) \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$A = [a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}]$$

Then,

$$x = As \quad (13)$$

In terms of practical usage, a BCI system with fewer EEG channels which can be able to produce greater performance in term of the portability and convenience is preferable [34,35]. Based on the same basis, in this article, ICA and PCA were implemented to select and reduce the optimal channels respectively. For this reason, the channel numbers were reduced from the raw data set (400×19) to the data size (400×12) and compared the results with PCA (400×12). Hence, the success of the selection method (ICA) and projection technique (means PCA) was explored in terms of classification success of the GKP signals in a tongue-machine interface model.

3. MACHINE LEARNING ALGORITHMS

The relevant data set is processed by machine learning methods after preprocessing, feature extraction and feature selection operations. In this study, Decision Tree (DT) with Gini Index and k-Nearest Neighbors (kNN) algorithms were implemented to recognize the pattern of glossokinetic potential signals for extraction of 1-D related to touching of tongue movements on the buccal walls.

Accuracy (ACC), Sensitivity (SENS), Specificity (SPEC), and Information Transfer Rate (ITR) evaluation parameters were obtained to survey the performance of the GKP-based TMI. k-fold cross-validation is to improve the stability of the

results. Then 10-fold was used in the calculations [36]. The equations represent for the correctness of the classification in Eqs.14-16.

$$ACC(TS) = \frac{\sum_{i=1}^{|TS|} estimate(n_i)}{|TS|}, \quad n_i \in TS \quad (14)$$

$$Estimate(n) = \begin{cases} 1, & \text{if } estimate(n) = cn \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (15)$$

$$Class.ACC = \frac{\sum_{i=1}^{|k|} accuracy(TS_i)}{|k|} \quad (16)$$

where TS refers the test data set, then $n \in TS$, c_n is the class of n . Furthermore, $estimate(n)$ stands for the classification value for n , k is the value for the k-fold cross validation [24,36]. True negative (TN), true positive (TP), false negative (FN) and false positive (FP) are the primary parameters implemented for the specificity (SPEC) and sensitivity (SENS) in Receiver Operating Characteristic (ROC) analysis, represented in Eqs.17-18 [36].

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP + FN} \quad (17)$$

$$Specificity = \frac{TN}{TN + FP} \quad (18)$$

In EEG-based BCI systems, ITR is characterized a measuring parameter providing transmitted data information per trial or time. In this study, ITR was utilized to measure the system performance of GKP-based TMI. The equation of ITR is in Eq.19:

$$B = \log_2 N + P \log_2 P + (1 - P) \log_2 \frac{(1 - P)}{(N - 1)} \quad (19)$$

where B describes the bits per trial, N is different types of mental tasks. Then the accuracy is named as P . If the number of mental functions increases, the value of ITR increases in the range of (0-1) [37-39].

3.1. Decision Trees

Decision tree (DT) is known as a hierarchical data structure that is based on the divide-and-conquer strategy. This rule-based algorithm is called a nonparametric method, which creates a tree for a model in the training of data. Then this model is used to structure a set of simple rules. The new data set is carried out to be labeled for the classes in a sequencing recursive splits via implementing the internal decision nodes and terminal leaves [32,40]. In this article, the splitting criterion of the Decision Tree was selected as the Gini Index. The related equations are shown in Eqs. 20-22.

$$Gini_{left} = 1 - \sum_{i=1}^k \left(\frac{L_i}{|T_{left}|} \right)^2 \quad (20)$$

$$Gini_{right} = 1 - \sum_{i=1}^k \left(\frac{R_i}{|T_{right}|} \right)^2 \quad (21)$$

where k is named as the total number of classes in the data set, T states the number of samples in a node, $|T_{left}|$ is called as the number of samples on the left branch, $|T_{right}|$ means the number of samples on the right branch, R_i is defined as the number of samples in the i th group at the right branch, and L_i is the number of samples in the i th group at the left branch. The values of the relevant attributes are made in a group of pairs. The class values related to the left and right separations are provided in this way. Then $Gini_{left}$ and $Gini_{right}$ values are determined for each attribute in the left and right divisions as below:

$$Gini_j = \frac{1}{n} (|T_{left}|.Gini_{left} + |T_{right}|.Gini_{right}) \quad (22)$$

The calculated minimum $Gini$ values for the relevant j attribute is chosen as a division attribute [41]. The procedure is repeated until the leaf node is reached for the final decision.

3.2. k-Nearest Neighbors

This Euclidean-based algorithm assigns an input data between the k-Nearest Neighbors (kNN) of having most examples in the training set. All neighbors receive an equal vote and class having a maximum number of voters among its neighbors is selected. The degree of smoothing parameter is controlled by k in the neighborhood of kNN [32]. Thus, k must be smaller than N (length of data). Mathematical approaches for Euclidean distance between a and b for each sample:

$$d_1(x) \leq d_2(x) \leq \dots \leq d_N(x) \quad (23)$$

Distances are located in ascending order by the nearest distance $d_1(x)$ and the next nearest distance $d_2(x)$. x^t is described as data points, and t is the index of neighborhoods of samples:

$$d_1(x) = \min_t |x - x^t| \quad (24)$$

In order to obtain the best results in this study, step k has been searched between 3 and 25 [29,42].

4. RESULTS

GKPs were used to advance a TMI for 1-D control. MAV and PSD were employed in DT with Gini Index and kNN algorithms. In this work, the raw data set size was calculated as 400×19 dimension for each participant. The results in the article were processed by MLs from the data sets:

- The raw data set (400x19)
- The reduced data set processed by PCA (400x12)
- The reduced data set processed by ICA (400x12)
- The Extracted frontal lobe data set (7 channels) (400x7)
- The Extracted frontal and temporal lobes data set (11 channels) (400x11)

All the results on the paper are shown in the decimal base and percentage expression (%), excluding ITR results. The best and worst participants were determined by observing the raw data set results to compare easily. Then, the statements for outcomes were explained related to the participants of best and worst in the article.

Table 3. Machine learning performances for the raw data set (400×19)

Method	..	Sb1	Sb2	Sb3	Sb4	Sb5	Sb6	Sb7	Sb8	Sb9	Sb10	Aver.
DT (MAV)	Acc	71.17	94.27	70.27	71.09	88.06	93.21	83.01	75.66	77.70	91.04	81.55
	Sen	76.17	94.50	74.15	75.29	91.23	93.28	84.48	77.65	79.62	91.78	83.81
	Spe	64.24	93.95	65.26	64.82	83.41	93.32	81.48	73.12	75.41	90.08	78.51
	ITR	0.133	0.684	0.122	0.132	0.472	0.642	0.342	0.199	0.234	0.565	0.353
DT (PSD)	Acc	75.53	93.03	71.14	70.05	86.49	94.16	83.54	76.22	77.00	91.29	81.84
	Sen	81.88	91.50	75.95	74.87	90.78	95.40	83.55	78.54	80.09	93.93	84.65
	Spe	66.97	94.57	65.18	63.58	80.11	92.48	83.35	73.51	72.71	87.88	78.03
	ITR	0.197	0.635	0.133	0.119	0.429	0.679	0.355	0.209	0.222	0.573	0.355
kNN (MAV)	Acc	70.27	96.02	67.20	68.32	87.01	94.30	83.02	73.07	80.98	92.50	81.27
	Sen	85.24	95.50	90.04	74.37	89.86	96.21	80.05	72.45	78.79	96.03	85.85
	Spe	50.44	96.55	37.78	60.19	83.22	91.35	86.27	73.76	84.05	87.58	75.12
	ITR	0.122	0.759	0.087	0.099	0.443	0.685	0.343	0.160	0.298	0.616	0.361
kNN (PSD)	Acc	70.66	95.26	68.16	69.16	86.15	94.17	81.02	72.54	77.09	91.02	80.52
	Sen	82.64	95.44	89.85	77.76	89.39	97.05	81.29	73.22	75.33	95.22	85.72
	Spe	54.99	95.04	40.24	57.59	81.38	90.04	80.56	71.82	79.48	85.32	73.64
	ITR	0.127	0.725	0.097	0.109	0.420	0.679	0.299	0.152	0.224	0.564	0.340

Table 4. Machine learning performances for the reduced data set by PCA (400×12)

Method	..	Sb1	Sb2	Sb3	Sb4	Sb5	Sb6	Sb7	Sb8	Sb9	Sb10	Aver.
DT (MAV)	Acc	73.17	95.01	71.21	69.47	88.02	91.03	82.08	75.41	78.06	90.37	81.38
	Sen	77.96	94.00	77.79	77.43	89.11	91.11	82.60	78.04	79.66	93.04	84.07
	Spe	67.17	96.02	62.17	57.96	85.60	90.81	81.66	72.31	75.68	86.14	77.55
	ITR	0.161	0.714	0.134	0.112	0.471	0.565	0.322	0.195	0.241	0.543	0.346
DT (PSD)	Acc	73.01	92.27	71.21	68.28	84.08	93.30	80.49	74.11	80.47	91.20	80.84
	Sen	76.56	89.50	77.31	70.54	88.70	94.93	81.30	76.36	81.01	92.23	82.84
	Spe	68.63	94.93	63.53	65.21	77.14	91.01	79.51	71.35	79.58	89.62	78.05
	ITR	0.159	0.607	0.134	0.099	0.368	0.646	0.288	0.175	0.288	0.570	0.333
kNN (MAV)	Acc	73.35	95.01	72.93	70.18	87.07	95.82	81.01	73.53	79.74	93.07	82.17
	Sen	82.83	93.17	87.76	75.30	88.92	97.90	79.56	71.98	78.77	95.76	85.19
	Spe	60.53	96.85	53.92	62.26	83.83	93.12	82.26	75.76	81.43	89.43	77.94
	ITR	0.164	0.714	0.157	0.121	0.444	0.749	0.299	0.166	0.273	0.637	0.372
kNN (PSD)	Acc	74.02	90.70	71.32	67.66	84.35	93.05	78.93	74.56	74.36	88.04	79.70
	Sen	86.20	87.50	80.85	73.10	84.83	95.36	79.64	77.25	74.87	95.22	83.48
	Spe	57.97	93.85	58.22	60.59	83.01	89.87	78.23	71.18	73.85	78.16	74.49
	ITR	0.174	0.553	0.135	0.092	0.374	0.636	0.257	0.182	0.179	0.472	0.305

* Accuracy (Acc), Specificity (Spe) and Sensitivity (Sen)

As seen in Table 3, the highest and lowest classification accuracies of glossokinetic potential-based right-left tongue movements were obtained as 96.02% and 67.20% by kNN+MAV methods, respectively. Then, the best and worst subjects were defined according to the raw data set results as Sub-2 (96.02%) and Sub-3 (67.20%) respectively. Moreover, for the Sub-3, the greatest outcome was provided by DT+PSD (71.14%). Thus, the difference value between the results of the highest accuracies for the best and worst subjects is 24.88. Moreover, DT+PSD have outperformed for the highest average accuracy of 81.84%. Furthermore, DT+MAV, kNN+MAV, and kNN+PSD obtained very close outcomes in terms of average classification accuracies around 80-81%. In Fig.3, the best and worst subject performances are shown based on the raw data set outcomes.

Reduced data set results implementing PCA technique can be seen in Table 4. The best subject performed reaching up to the 95.01% classification accuracy by kNN+MAV. Then the worst participant obtained accuracy of 72.93% with the same method (kNN+MAV). The decrease value for the best participant compared to the raw data set result (Table 3) was achieved as 1.05%. However, 2.51% increase in accuracy was provided by reduced data set after the PCA technique. Additionally, the average classification accuracy was improved and obtained by kNN+MAV (82.17%) compared to the raw data set result (81.84%). Easier computation of classifiers may cause this increment due to the lower dimension of data processed by PCA. Hence the spatial pattern of glossokinetic potential signals can be recognized better after the redundant data by PCA.

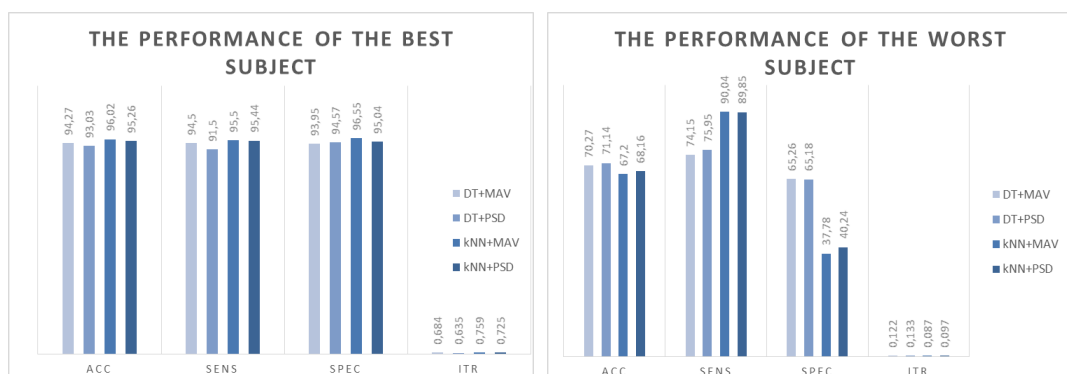


Fig.3. a. Classification performances of the best subject (left) **b.** Classification performances of the worst subject (right)

Table 5. Machine learning performances for the reduced data set by ICA (400×12)

Method	..	Sb1	Sb2	Sb3	Sb4	Sb5	Sb6	Sb7	Sb8	Sb9	Sb10	Aver.
DT (MAV)	Acc	72.13	88.13	71.65	71.20	82.04	87.22	79.00	75.47	77.54	83.19	78.76
	Sen	74.43	89.50	76.50	74.89	85.82	89.00	79.68	79.55	81.34	85.27	81.60
	Spe	69.27	86.77	65.32	66.56	76.52	84.13	78.35	70.70	72.17	80.46	75.03
	ITR	0.146	0.474	0.140	0.134	0.321	0.449	0.258	0.196	0.231	0.347	0.270
DT (PSD)	Acc	71.21	84.24	70.01	72.41	80.25	86.34	76.75	76.28	78.25	83.05	77.88
	Sen	74.03	85.00	72.87	77.05	84.98	87.34	77.38	79.03	80.09	86.11	80.39
	Spe	67.45	83.57	66.75	65.38	74.18	84.85	76.04	72.24	75.82	78.56	74.48
	ITR	0.134	0.372	0.119	0.150	0.283	0.425	0.218	0.210	0.244	0.343	0.250
kNN (MAV)	Acc	72.33	91.51	73.32	72.58	85.21	91.33	78.52	76.22	80.23	89.26	81.05
	Sen	87.66	93.98	80.91	73.12	87.43	95.78	70.31	75.89	74.95	96.93	83.70
	Spe	52.27	89.06	64.49	71.84	81.93	84.97	87.97	76.64	87.63	78.81	77.56
	ITR	0.149	0.581	0.163	0.153	0.395	0.575	0.249	0.209	0.283	0.508	0.326
kNN (PSD)	Acc	72.09	87.35	69.04	69.24	83.04	89.28	75.48	75.37	78.96	87.19	78.70
	Sen	87.40	81.37	85.07	76.94	83.32	97.13	76.37	79.54	79.20	93.90	84.02
	Spe	51.74	93.34	48.43	59.13	83.11	77.41	74.58	70.16	78.16	77.91	71.40
	ITR	0.146	0.452	0.107	0.110	0.343	0.509	0.196	0.195	0.258	0.448	0.276

Table 6. Machine learning performances for the frontal lobe signal data set (400×7)

Method	..	Sb1	Sb2	Sb3	Sb4	Sb5	Sb6	Sb7	Sb8	Sb9	Sb10	Aver.
DT (MAV)	Acc	69.01	95.07	68.39	69.54	80.54	92.59	80.11	62.09	72.14	91.18	78.07
	Sen	73.46	95.00	76.94	72.30	86.58	93.70	83.51	66.52	78.37	92.72	81.91
	Spe	62.19	95.21	57.57	66.26	71.48	91.02	76.32	56.48	63.70	88.84	72.91
	ITR	0.107	0.717	0.100	0.113	0.289	0.619	0.280	0.043	0.146	0.570	0.298
DT (PSD)	Acc	70.01	95.03	69.17	71.13	80.22	94.16	82.37	64.02	75.48	91.02	79.26
	Sen	75.73	95.50	75.63	76.61	84.93	96.63	82.58	69.66	78.77	89.60	82.56
	Spe	62.40	94.46	61.29	63.65	73.50	90.81	82.06	57.04	71.24	92.81	74.93
	ITR	0.119	0.715	0.109	0.133	0.283	0.679	0.328	0.058	0.196	0.564	0.318
kNN (MAV)	Acc	69.23	96.77	68.35	67.12	83.05	94.05	82.04	61.44	77.70	91.76	79.15
	Sen	82.14	97.25	88.36	73.17	84.64	94.47	79.27	75.72	77.48	93.06	84.56
	Spe	52.45	96.36	42.91	59.23	80.99	93.13	85.46	42.89	77.85	90.39	72.17
	ITR	0.110	0.794	0.099	0.086	0.344	0.675	0.321	0.038	0.234	0.589	0.329
kNN (PSD)	Acc	70.28	96.33	68.11	66.02	82.05	94.25	82.51	60.02	74.43	89.85	78.39
	Sen	83.13	95.94	86.38	75.15	86.13	94.51	81.69	70.80	73.61	91.74	83.91
	Spe	54.08	96.81	44.37	53.28	75.85	93.65	83.42	46.46	76.07	87.57	71.16
	ITR	0.122	0.773	0.097	0.075	0.321	0.683	0.331	0.029	0.180	0.526	0.314

In Table 5, ICA has a great average and individual performances in reduced data set by twelve features. The best and worst participants have obtained the highest accuracy of 91.51% and 73.32% with kNN+MAV respectively. Then the average performances were again shown in the kNN+MAV method reaching up to the 81.05%. Furthermore, ICA results are fairly close to the results of the PCA technique regarding the average outcomes.

Frontal and temporal lobes are responsible for planning, attention, conscious motor movement and language-speech recognition [37]. Then voluntary gross tongue movements might require focus and planning efforts in distinct and regular motions. Then these might lead EEG potentials, as well as GKPs during the experimental work. On the other hand, in the mechanism of generating glossokinetic potential

responses, forward movements of the tongue may cause high-density GKP signals over the frontal and mastoid region [43,44]. Therefore in our research, the investigation of the classification effect of the frontal and temporal lobes was observed during voluntary tongue movements in Tables 6 and 7. Therefore, 400×7 and 400×11 data sets were extracted from the raw data set (400×19). T3, T4, T5, and T6 electrodes were implemented for eleven channels (Frontal + Temporal Lobe) as well as these seven electrodes for the seven channels (Fp1, Fp2, F7, F8, Fz, F3, and F4) (Frontal Lobe), as seen in Table 1.

In Table 6, the best and worst participant provided the highest accuracy of 96.77% (kNN+MAV) and 69.17% (DT+PSD). Then the greatest average accuracy of 79.26% was obtained by DT+PSD.

Comparing to the raw data set results in Table 3 shows that the best subject's results have reached to 96.77%, and the worst participant has 69.19% classification accuracy. Frontal and temporal lobe signals were processed together and evaluated to show the effects of both region in Table 7. The greatest outcomes of best and worst participants were obtained by kNN+MAV (96.66%) and DT+PSD (71.05%)

respectively. Furthermore, the highest average accuracy (82.49%) was obtained by kNN+MAV. Therefore the changes compared to raw data set results are as follows: for the best subject (0.66% increment), for the worst subject (0.12% decrement) and the average success (0.79% increment) were achieved.

Table 7. Machine learning performances for the frontal+temporal lobe signals data set (400×11)

Method	..	Sb1	Sb2	Sb3	Sb4	Sb5	Sb6	Sb7	Sb8	Sb9	Sb10	Aver.
DT (MAV)	Acc	72.78	95.22	70.26	70.09	86.30	95.03	83.22	76.17	77.48	91.71	81.83
	Sen	74.96	96.00	75.06	72.64	89.11	96.63	81.05	81.70	81.79	92.23	84.12
	Spe	69.51	94.59	63.73	66.95	81.80	92.76	85.67	68.80	71.53	91.27	78.66
	ITR	0.155	0.723	0.122	0.120	0.424	0.715	0.347	0.208	0.230	0.588	0.363
DT (PSD)	Acc	74.42	93.29	71.05	68.57	85.31	95.01	83.05	75.25	76.02	91.01	81.30
	Sen	79.70	91.50	78.68	73.61	90.34	95.36	80.80	79.39	78.35	91.30	83.90
	Spe	67.14	95.13	60.63	61.69	77.48	93.94	85.49	70.16	72.86	90.65	77.52
	ITR	0.180	0.645	0.132	0.102	0.398	0.714	0.343	0.193	0.205	0.564	0.348
kNN (MAV)	Acc	73.25	96.66	70.44	68.05	86.18	94.52	83.04	76.28	81.77	94.73	82.49
	Sen	85.33	96.67	81.40	74.91	86.70	97.46	81.33	78.14	82.25	94.78	85.90
	Spe	57.48	96.56	56.19	58.72	85.62	89.99	85.09	73.89	80.74	94.72	77.90
	ITR	0.162	0.789	0.124	0.096	0.420	0.694	0.343	0.210	0.315	0.702	0.386
kNN (PSD)	Acc	73.07	96.30	69.30	66.40	86.29	94.32	82.11	74.40	80.70	91.13	81.40
	Sen	84.36	95.82	88.70	73.86	87.22	96.20	81.17	75.08	80.94	92.63	85.60
	Spe	58.38	96.78	44.37	56.54	85.37	91.80	82.98	73.65	80.43	88.92	75.92
	ITR	0.160	0.772	0.110	0.079	0.424	0.685	0.322	0.179	0.292	0.568	0.359

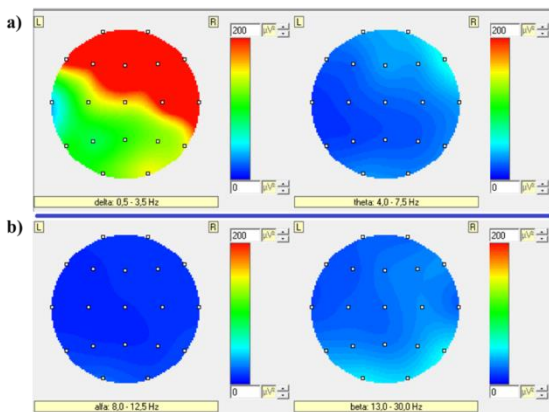


Fig.4. Brain mappings of Subject-2 (best participant) related the tongue movements towards touching the right buccal wall (a- the intensity of delta and theta bands b- the intensity of alpha and beta bands)

Concentrated participants have highly signal variations on delta and theta bands [5]. As presented in Figs.4 and 5, high power alterations of the best subject can be observed over the frontal and temporal lobes and partly pre-motor and motor cortex on delta bands. This significant finding was compatible with the classification achievement shown in Tables 6 and 7. Furthermore, in theta and alpha frequency

bands negligible power assessments were obtained to distinguish the certain GKP responses. However, insufficient power signal variations were observed in the beta bands of the occipital lobe at the contralateral side of the brain. This may depend on the visual stimulus in front of the LCD monitor or may be occurred by tongue touching the articulators in the oral cavity, such as palate [24,43-44].

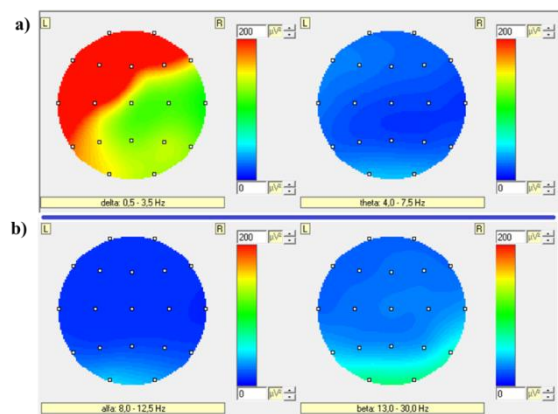


Fig.5. Brain mappings of Subject-2 (best participant) related the tongue movements towards touching the left buccal wall (a- the intensity of delta and theta bands b- the intensity of alpha and beta bands)

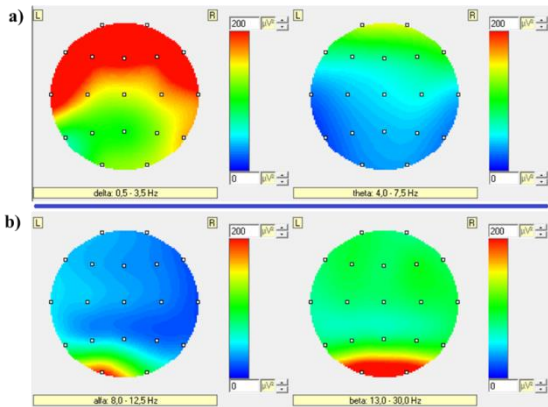


Fig.6. Brain mappings of Subject-3 (worst participant) related the tongue movements towards touching the right buccal wall (a- the intensity of delta and theta bands b- the intensity of alpha and beta bands)

The topography results of the best participant show that the frontal lobe has high-intensity power signal changes, but does not extend correctly and smoothly in the temporal lobes of the delta and theta frequencies including the T3, T4, T5, and T6 electrode locations introduced in Figs.6 and 7.

On the other hand, beta frequency bands of the worst subject have acceptable values compared to the best subject. The reason for this fact may be occurred due to the inadequate target-oriented motivation and disturbing perception [37,45]. Moreover, time-frequency analysis and scatter plot of classification for the best subject were presented in Fig.8.

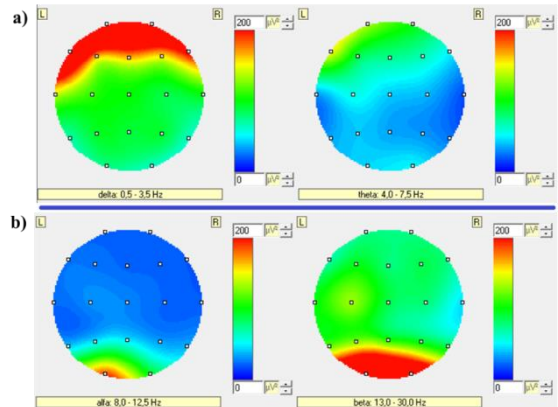


Fig.7. Brain mappings of Subject-3 (worst participant) related the tongue movements towards touching the left buccal wall (a- the intensity of delta and theta bands b- the intensity of alpha and beta bands)

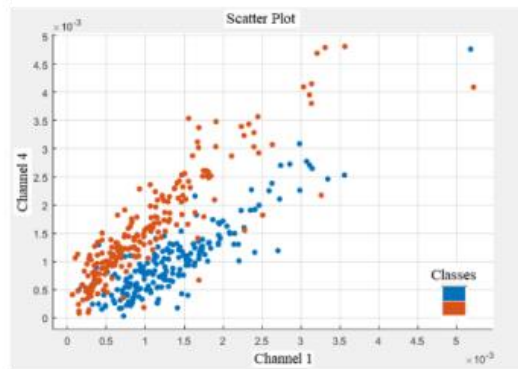
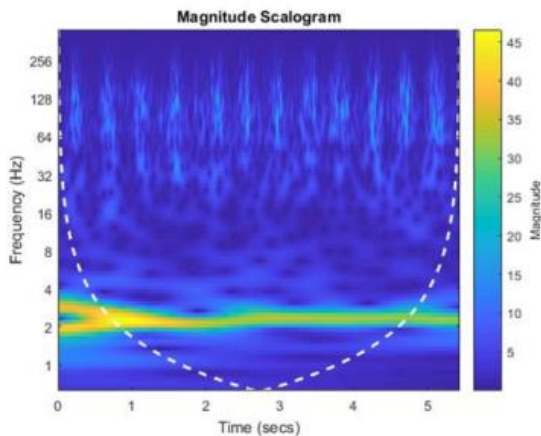


Fig.8. a- Time-frequency analysis (usage of Continuous Wavelet Transform) while touching the right buccal wall of the best participant during 6 s (left) **b-** Scatter plot presentation of the best subject (Channel-1 vs. Channel-4) (right)

Table 8. Computation times of the Decision Tree and k-Nearest Neighbor algorithms

Methods	DT+MAV	DT+PSD	kNN+MAV	kNN+PSD
F.E.T.+ C.T. (s)	0.0014	0.9389	0.0021	0.9524

F.E.T.(Feature Extraction Time), C.T. (Classifying Time)

Computation time is an important parameter to show the real-time application of the glossokinetic potential-based tongue machine interface [1,4]. Related to the Table 8, DT+MAV has the least computation time with 0.0014 s among the other methods. Then the longest computation time was obtained by kNN+PSD as 0.9524 s. Hence mean-absolute value is more appropriate than the power-spectral methods due to the not requiring transformation from the time domain to the frequency domain for real-time usage of the GKP-based TMI study [24,29]. The results represented

in Table 8 were acquired in 1-fold cross-validation for average test samples of the raw data set of the best participant and computed using Matlab (License No: 834260). The computer hardware and software are those : Intel Core i5-7200 U CPU (2.50 GHz), 64 bit, 8 GB Ram and Windows 10 operating system.

5. DISCUSSION

The aim of this research is to investigate DT and kNN machine learning algorithms’ performances in advancing a natural, attractive and reliable system using GKPs. Hence, these GKP responses are generated by distinct and simple tongue touches on the buccal walls. In this work, the results obtained show that the kNN+MAV and DT+PSD methods generally provide the highest classification scores for the

individual and average success among other combination methods. In addition, the PSD feature extraction method takes prolonged time than the MAV in terms of the computation time. However, feature extraction performances depend on the data sets because of the smoothness or outliers. Machine learning algorithms, Decision Trees, and k-Nearest Neighbors have some advantages over the other classifiers. The Decision Trees are rule-based algorithms and easily interpreted and comprehended by experts. Then, kNN can give good results if appropriate feature extraction methods are applied [40]. Therefore, both of the classifiers performances have almost the same in raw and preprocessed data sets. Hence, the comparison of the Decision Trees and k-Nearest Neighbors in recognizing the spatial pattern of glossokinetic potential signals were explored as the first attempt among the machine learning algorithms in a tongue machine interface research.

Modern brain-machine interface (BMI) design requires multiple science disciplines. These efforts associate signal processing, information systems, control theory and machine learning [46-48]. The significant investigation of the research is about the contribution and assessment of frontal (7-channels) and frontal+temporal (11-channels) region signals due to the high exposure of GKPs regarding the success of the GKP-based TMI with fewer electrodes. Then the accuracy of the frontal + temporal region signals is very close to, or even better than the raw data set results, represented in Tables 7 and 3, respectively. This clarity may have been originated from the intense exposure of the glossokinetic potential variations over the frontal+temporal regions of the scalp. Then, this evidence was also promoted by brain mappings, as shown in Figs.4 and 5. This finding might cause a significant increase in degrees of freedom challenge and reliability in tongue-machine interfaces due to the fewer channels [10-11, 35]. Therefore, easy-to-use, wearable, and portable systems can be designed on these promising findings for disabled persons [49]. Moreover, corticomuscular coupling analysis explains the relation of brain regions and ongoing muscular activities (EMG). Furthermore, coherence of cortex potentials and GKPs in delta and theta bands during the tongue-muscle motor functions were investigated for the first time in a TMI as our best knowledge [50].

The symmetrical situation was observed while occurring of GKPs on the scalp. As mentioned before, GKP signals were arisen unsymmetrically in the brain mappings due to the negatively charged tongue tip creating potentially increased and decreased variations on the non-contact and contact surfaces, respectively [3-5]. However, the same researchers reported that GKPs create dissimilar patterns in brain maps when tongue touches to the other articulators, teeth or palate. Moreover, pronouncing the retroflex consonants lead to a strong potential rising over the frontal region during the tongue bending in language and phonetic research [44]. It may be that in our study, an antisymmetric event may have been suppressed due to strong and distinct touchings while the tongue contacts the buccal walls during experimental

tasks. Hence, our results may have revealed symmetrical formation on the brain mappings, represented in Figs.4 and 5. According to the same article, these are different including the electrode placements, reference point, and experimental procedure. In their study, the tongue was moved in a continuous motion on the right-front-left path to touch the buccal walls [3,4]. However, in our research, multiple distinct contacts were carried out in the 6 s task. Thus, all these differences may form symmetrical results on brain maps in our study.

The performances of the best and worst participants were observed, and the comments were made to reveal the distinguishing features. The outcomes of the best participant show that distinct, speedy and regular tongue movements in high motivation state provide the significant achievements in GKP-based TMI. However, the success of the worst participant was acceptable due to the less concentration and not correctly doing instructed tasks. Motivation and cognitive effort have been identified as key parameters for the superior performance in BCIs [45,51].

The investigation of independent and principal component analysis on glossokinetic potential responses in our study is the first and considerable attempt. While ICA is better suited for non-Gaussian functions, PCA has great performance for smooth data of EEG signals. This truth may be the same for glossokinetic potential responses. Therefore, according to the Tables 4 and 5, PCA and ICA results are so close to each other. However, PCA is relatively better than ICA, especially for the best participant. Because of this reason may be that the data set of the best subject has more smooth and lower spatial overlapping of cortical activity [52-54]. Moreover, the extraction of the delta and theta bands with DWT is an alternative solution in the preprocessing stage for removing noise on GKPs. Also, DWT may produce better performances in classification success [55,56].

The notion of inter-trial and inter-subject instability is an important issue for the performance of BCI research and a solution is named as transfer learning technique [46]. The same deduction has occurred but not as much as BCI research. Mostly low variations have been observed for each participant at the trial-to-trial performances. Then the best trial of each subject was selected to proceed. An approach is offered to overcome this instability by forcing and educating the brain activities of subjects. The name of this approach is also proposed as over-trial or training effects. According to this view, the classification performance can be improved by increasing the experience and the accumulation of training [45]. Similar evidence was observed as shown in Table 2; experimental setup-2 and setup-3 performances between the three setups have the highest performance for ten subjects outside of Subject_3 and Subject_9. Moreover, fewer parameters in experimental setups indicate more degrees of freedom [46]. At this point, the experimental parameters in the GKP-based TMI study are only necessary and basic parameters, as shown in Fig.1. Furthermore, it has been noted that the long cognitive planning time and flexible

experiments can allow participants for instincts thoughts and goal oriented success in BCI research [45,51]. Therefore, this statement might advance GKP-based TMI in future studies.

6. CONCLUSION

This paper aims to develop a novel machine learning approach for a tongue-machine interface using solely glossokinetic potential responses for disabled persons. Compared to other hardware-based studies, GKP-based TMI may provide a natural, reliable, speedy control and communication channel via 1-D simple tongue motions. Then highly exposure of glossokinetic potential responses over the frontal and temporal regions may also help to understand of association between the machine learning algorithms and GKP biosignals. Besides this outcome may cause to design wearable and easy-to-use brain-machine interfaces and tongue-machine interfaces via fewer electrodes. As far as we know, this point and glossokinetic potential responses have been handled for the first time implementing DT and kNN with mean-absolute value and power spectral density methods. According to our previous research articles, the rule-based algorithm (Decision Tree with Gini Index) is less successful in individual and average results compared to the kernel-based algorithms (Support Vector Machine and Linear Discriminant Analysis) and Neural Network Algorithms (Multi-Layer Neural Network and Probabilistic Neural Network) [55, 56].

Nevertheless, Decision Trees perform well in EEG signals and that these models are easy to understand for the experts due to the rule-based structure [57]. For this reason, Decision Trees are very popular and sometimes selected over a more accurate but less interpretable machine learning algorithms [32]. However, the performance of the Decision Tree can severely be affected by the non-stationary nature of EEGs [57]. Thus, it was observed that voluntary GKP signals generated by tongue contacts were not affected as much as EEG signals via exploring and comparing the potential of the DT and kNN in required close classification results. Moreover, CNN's performance of the previous study has shown that DT and kNN performances have not achieved as CNN, but highly promising results were provided by these methods [58].

The results of the article indicated that highly acceptable values and investigation of glossokinetic potential responses might demonstrate a novel and promising technique. Therefore GKP-based TMI may be an alternative real-time approach for conventional EEG-based BCIs. Since significant deficiencies arise from the nature of EEG signals, such as low signal-to-noise ratio and internally induced nonstationary mental activities or other external variables. Moreover, GKPs can be compared with the magnetoencephalography signals (MEG) in term of PCA and ICA in the future TMI studies [59-60].

Acknowledgements The authors would like to thank the students of the University of Yozgat Bozok for providing the participation for this research.

Compliance with ethical standards

Conflicts of interest There is no conflict of interest between the authors.

Ethical approval The Ethical Committee of Sakarya University approved this research. All procedures were performed in accordance with the ethical standards of the institutional and/or national research committee.

Informed consent Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

REFERENCES

- [1] X. Huo, M. Ghovanloo, "Tongue Drive: A wireless tongue-operated means for people with severe disabilities to communicate their intentions", *IEEE Comm. Magaz.*, vol.50, no.10, pp.128-135, 2012.
- [2] L.N.S. Andreasen Struijk, "An inductive tongue computer interface for control of computers and assistive devices," *IEEE Trans on Biomed Engin.*, vol. 53, no.12, pp. 2594-2597, 2006.
- [3] Y. Nam, Q. Zhao, A. Cichocki, S. Choi, "Tongue-Rudder: A Glossokinetic-Potential-Based tongue-machine interface," *IEEE Trans. on Bio Engin.*, vol.59, no.1, pp.290-299, 2012.
- [4] Y. Nam, B. Koo, A. Cichocki, S. Choi, "GOM-Face: GKP, EOG, and EMG-Based multimodal interface with application to humanoid robot control," *IEEE Trans. on Biomed. Engin.* vol.61, no.2, pp.453-462, 2014.
- [5] Y. Nam, B. Koo, A. Cichocki, S. Choi, "Glossokinetic Potentials for a tongue-machine interface," *IEEE Systems, Man, & Cybernetics Magaz.*, vol.2, no.1, pp.6-13, 2016.
- [6] H. Tang, D.J. Beebe, "An oral tactile interface for blind navigation," *IEEE Trans On Neural Sys. and Rehab. Engin.*, vol.14, no.1, pp.116-123, 2006.
- [7] X. Bao, J. Wang, J. Hu, "Method of individual identification based on electroencephalogram analysis," *Inter Conf on New Trends in Infor and Ser Sci.* pp.390-393 (DOI: 10.1109/NISS.2009.44. 2009).
- [8] K.J. Miller, P. Shenoy, M. Nijs, L.B. Sorensen, et.al., "Beyond the Gamma Band: The role of high-frequency features in movement classification," *IEEE Trans. on Biomed. Engin.* vol.55, no.5, pp.1634-1637, 2008.
- [9] D. Xiao, J. Hu, "Identification of motor imagery EEG signal," *Inter Conference on Biomedical Eng and Computer Science*, 2010; Wuhan, China.
- [10] B. Reuderink, M. Poel, A. Nijholt, "The impact of loss of control on movement BCIs," *IEEE Trans on Neural Syst. and Reha. Engin.*, vol.19, no.6, pp.628-637, 2011.
- [11] X. Huo, J. Wang, M. Ghovanloo, "A magneto-inductive sensor based wireless tongue-computer interface," *IEEE Trans on Neural Syst. and Reha. Engin.*, vol.16, no.5, pp.497-504, 2008.
- [12] R. Rupp, M. Rohm, M. Schneiders, A. Kreiling, G.R.


- Müller-Putz. "Functional rehabilitation of the paralyzed upper extremity after spinal cord injury by noninvasive hybrid neuroprostheses," *Proceedings of the IEEE*, vol.103, no.6, pp.954-968, 2015.
- [13] L.M. Alonso-Valerdi, F. Sepulveda, "Development of a simulated living environment platform: Design of BCI assistive software and modelling of a virtual dwelling place," *Computer Aided Design*, vol.54, pp.39-50, 2014.
- [14] X. Huo, J. Wang, M. Ghovanloo, "Using magneto-inductive sensors to detect tongue position in a wireless assistive technology for people with severe disabilities," *IEEE Sensor Conf*; 2007, Atlanta, USA.
- [15] X. Huo, J. Wang, M. Ghovanloo, "A wireless tongue-computer interface using stereo differential magnetic field measurement," *Proceedings of the 29th Ann Inter Conf of the IEEE EMBS Cité Internationale*, 2007, Lyon, France.
- [16] X. Huo, J. Wang, M. Ghovanloo, "A magnetic wireless tongue-computer interface," *Proceed of the 3rd Inter IEEE EMBS Conf on Neural Engineering*, 2007, Kohala Coast, Hawaii, USA.
- [17] G. Krishnamurthy, M. Ghovanloo, "Tongue Drive: A tongue operated magnetic sensor based wireless assistive technology for people with severe disabilities," *IEEE Inter Sym on Circuits and Systems (ISCAS)*, pp.5551-5554, 2006.
- [18] R. Vaidyanathan, B. Chung, L. Gupta et.al., "Tongue-movement communication and control concept for hands-free human-machine interfaces," *IEEE Trans. on Sys. Man and Cybernetics*. vol.37, no.4, pp.533-546, 2007.
- [19] R.Vaidyanathan, C.J. James, "Independent component analysis for extraction of critical features from tongue movement ear pressure signals," *Proceed of the 29th Ann Inter Conf of the IEEE EMBS Cité Internationale*; 2007; Lyon, France.
- [20] R. Vaidyanathan, L. Gupta, H. Kook, J. West, "A decision fusion classification architecture for mapping of tongue movements based on aural flow monitoring," *Proceed of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2006; Orlando, Florida.
- [21] R. Vaidyanathan, M. Fargues, L. Gupta et.al., "A dual-mode human-machine interface for robotic control based on acoustic sensitivity of the aural cavity," *IEEE/RAS-EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics, BioRob'06*, 2006, Pisa, Italy.
- [22] R. Vaidyanathan, H. Kook, L. Gupta, J. West, "Parametric and non-parametric signal analysis for mapping air flow in the ear-canal to tongue movements: A new strategy for hands-free human-machine interfaces," *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing Proceedings*, 2004, Montreal, Canada.
- [23] H. Jasper, "The ten twenty electrode system of the international federation," *Electro Clin Neuro.*, vol.10, no.2, pp.370-375, 1958.
- [24] M.S. Bascil, A.Y. Tesneli, F. Temurtas, "Spectral feature extraction of EEG signals and pattern recognition during mental tasks of 2-D cursor movements for BCI using SVM and ANN," *Australas Phys. Eng. Sci Med.* vol. 39, no.3, pp.665-676, 2016.
- [25] N. Yalcın, G. Tezel, C. Karakuzu, "Epilepsy diagnosis using artificial neural network learned by PSO," *Turk J. Elec. Eng & Comp. Sci.* vol.23, pp.421-432, 2015.
- [26] K.D. Desai, M.S. Sankhe, "A Real-Time Fetal ECG Feature Extraction Using Multiscale Discrete Wavelet Transform," *5th Int Conf. on Biomedical Eng. and Infor.*, pp. 407-412, 2012.
- [27] A. Hamad, E.H. Houssein, A.E. Hassanien, A.A. Fahmy, "Feature Extraction of Epilepsy EEG using Discrete Wavelet Transform," *12th Int. Computer Engineering Conf.*, pp.109-195, 2016.
- [28] T.K. Patel, P.C.Panda, S.C. Swain, "Mohanty SK. A Fault Detection Technique in Transmission Line By using Discrete Wavelet Transform," *2nd Int. Conf. on Electrical, Computer and Communication Tech.*, 2017.
- [29] E.J. Rechy-Ramirez, H. Hu, "Bio-signal based control in assistive robots: a survey," *Digital Communications and Networks*, vol.1, no.2, pp.85-101, 2015.
- [30] J.G. Proakis, D.G. Manolakis, "Digital signal processing principles, algorithms and applications," 3rd edn Prentice-Hall, New York [chapter 12]; 1996.
- [31] P. Stoica, R. Moses, "Spectral analysis of signals," Prentice Hall International, New York. 2005.
- [32] E. Alpaydın, "Introduction to Machine Learning," MIT Press, Cambridge, Massachusetts, Second Edition. 2010.
- [33] M. Kavita, M.R. Vargantwar, M.R. Sangita, "Classification of EEG using PCA, ICA and neural network," *Int. J. Eng. Adv. Technol.*, vol. 1, pp.1-4, 2011.
- [34] R. Vigário, J. Särelä, V. Jousmäki, et.al. "Independent component approach to the analysis of EEG and MEG recordings," *IEEE Trans. on Biomed. Engin.* vol.47, no.5, pp.589-593, 2000.
- [35] R.Chai, R.G. Naik, N.T. Nguyen, et.al., "Selecting optimal EEG channels for mental tasks classification: An approach using ICA," *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, pp.1331-1335, 2016.
- [36] B. Şen, M. Peker, "Novel approaches for automated epileptic diagnosis using fcbf selection and classification algorithms," *Turk J. Elec. Eng & Comp. Sci.* vol.21, pp.2092-2109, 2013.
- [37] R.A. Ramadan, A.V. Vasilakos, "Brain computer interface: control signals review," *Neurocomputing*. vol.223, pp.26-44, 2017.
- [38] B. Obermaier, C. Neuper, C. Guger, G. Pfurtscheller, "Information transfer rate in a five-classes brain-computer interface," *IEEE Trans. on Neural Syst. and Reha.*, vol.9, no. 3, pp.283-288, 2001.
- [39] M. Sengelmann, A.K. Engel, A. Maye, "Maximizing information transfer in ssvp-based brain-computer interfaces," *IEEE Trans. on Biomedical Engin.* vol.64, no.2, pp.381-394, 2017.
- [40] B. Wang, C.M. Wong, F. Wan et.al., "Comparison of Different Classification Methods for EEG-Based Brain Computer Interfaces: A Case Study," *IEEE Int. Conf on Infor and Automation, Zhuhai/Maca, China*, pp.1416-1421, 2009.
- [41] K. Gorur, M.S. Bascil, M.R. Bozkurt, F. Temurtas,

- “Classification of Thyroid Data Using Decision Trees, kNN and SVM Methods,” International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium, IDAP’16, Malatya, Turkey, pp. 130-134, 2016.
- [42] Ö. Aydemir, T. Kayıkçıoğlu, “Investigation of the most appropriate mother wavelet for characterizing imaginary EEG signals used in BCI systems,” Turk J. Elec. Eng. & Comp. Sci. vol.24, pp.38-49, 2016.
- [43] S. Vanhatalo, J. Voipio, A. Dewaraja, et.al., “Topography and elimination of slow EEG responses related to tongue movements,” NeuroImage, vol. 20, pp.1419-1423, 2003.
- [44] Y. Nam, K. Bonkon, S. Choi, “Language-related glossokinetic potentials on scalp,” IEEE International conference on systems, Man, and Cybernetics, San Diego, USA, 2014.
- [45] R. Leeb, F. Lee, C. Keinrath, R. Scherer, et.al., “Brain-computer communication: motivation, aim, and impact of exploring a virtual apartment,” IEEE Trans. on Neural Syst. and Reha., vol.15, no.4, pp.473-481, 2007.
- [46] V. Jayaram, M. Alamgir, Y. Altun, B. Schölkopf, “Grosse-Wentrup M. Transfer learning in brain-computer interfaces,” IEEE Computational Intelligence Magazine, pp.20-31, 2016.
- [47] J.C. Kao, S.D. Stavisky, et.al., “Information systems opportunities in brain-machine interface decoders,” Proceedings of the IEEE; vol.102, no.5, pp.666-682, 2014.
- [48] A.B. Barreto, A.M. Taberner, L.M. Vicente, “Classification of spatio-temporal EEG readiness potentials towards the development of a brain-computer interface, bringing together education, science and technology,” Proceedings of the IEEE, Tampa, USA, 1996.
- [49] S.Cerutti, “In the Spotlight: Biomedical signal processing,” IEEE Reviews In Biomedical Engin. vol.2, pp.9-11, 2009.
- [50] X. Chen, C. He, J. Z .Wang et.al., “An IC-PLS framework for group corticomuscular coupling analysis,” IEEE Trans on Biomed Engin. vol.60, no.7, pp.2022-2033, 2013.
- [51] J.J. Daly, Y. Fang, et.al., “Prolonged cognitive planning time, elevated cognitive effort, and relationship to coordination and motor control following stroke,” IEEE Trans on Neural Syst. and Reha. Engin. vol.14, no.2, pp.168-171, 2006.
- [52] Y. Li, C. Guan, J. Qin, “Enhancing feature extraction with sparse component analysis for brain-computer interface,” Proceed. of the IEEE Engin. in Med. and Bio. 27th Annual Conference Shanghai, China, 2005.
- [53] H.M. Genc, Z Cataltepe, T. Pearson, “A New PCA/ICA based feature selection method,” IEEE Signal Processing and Comm. App. 15th (SIU); 2007.
- [54] M.J. McKeown, R. Saab, R. Abu-Gharbieh, “A combined independent component analysis (ICA)/ empirical mode decomposition (EMD) method to infer corticomuscular coupling,” IEEE Neural Engin Conf Proceed 2nd Int (EMBS), pp.1-8, 2005.
- [55] K. Gorur, M.R. Bozkurt, M.S. Bascil, “Temurtas F. Glossokinetic potential based tongue-machine interface for 1-D extraction,” Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine, vol.41, no.2, pp.379-391, 2018.
- [56] K. Gorur, M.R. Bozkurt, M.S. Bascil, F. Temurtas, “Glossokinetic Potential Based Tongue-Machine Interface For 1-D Extraction Using Neural Networks,” Biocybernetics And Biomedical Engineering. Vol.38, No.3, pp.745-759, 2018.
- [57] V.Schetinin, C. Maple, “A Bayesian Model Averaging Methodology For Detecting Eeg,” 15th International Conference On Digital Signal Processing, pp. 499-502, 2007.
- [58] K. Gorur, M.R. Bozkurt, M.S. Bascil, F. Temurtas, “GKP Signal Processing Using Deep CNN and SVM for Tongue-Machine Interface”, Traitement du Signal, Vol:36, No:4, pp.319-329, 2019.
- [59] O.Cetin, F. Temurtas, “Classification of Magnetoencephalography Signals Regarding Visual Stimuli by Generalized Regression Neural Network,” Dicle Med J.Vol.46, No.1, pp.19-25, 2019.
- [60] K. Gorur, M.R. Bozkurt, M.S. Bascil, F. Temurtas, “Comparative Evaluation for PCA and ICA on Tongue-Machine Interface Using Glossokinetic Potential Responses”, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Vol:16, No:1, pp.35-46, 2020.


Design of an Android Wear Smartwatch Application as a Wearable Interface to the Diabetes Diary Application

*^{1,2}Ömer Pektaş, ²Murat Köseoğlu, ^{3,4}Miroslav Muzny, ⁵Gunnar Hartvigsen, ^{3,6}Eirik Årsand

¹Vocational School of Technical Sciences, Electric and Energy, Karamanoglu Mehmetbey University, Karaman, Turkey


omerpektas@kmu.edu.tr, 

² Institute of Science and Technology, Electronics Science, Inonu University, Malatya, Turkey


murat.koseoglu@inonu.edu.tr, 

³Norwegian Centre for E-health Research, University Hospital of North Norway, Tromsø, Norway


⁴Charles University in Prague, 1st Faculty of Medicine, Prague, Czech Republic

mmuzny@gmail.com, 

⁵UiT The Arctic University of Norway, Department of Computer Science, Tromsø, Norway

gunnar.hartvigsen@uit.no, 

⁶UiT The Arctic University of Norway, Department of Clinical Medicine, Tromsø, Norway

eirik.arsand@ehealthresearch.no, 

Research Paper

Arrival Date: 17.12.2019

Accepted Date: 16.11.2020

Abstract

In this study, an application was developed for Android-based smartwatches which has the capacity of monitoring the state of diabetes mellitus and indicating the data concerning the physical activities and cardiac rhythm. Android Studio was used to develop and design the application. The application consists of five pages (glucose, insulin, carbohydrate, physical activity, and heart rate) and a watch face. The Dexcom G4 Platinum sensor was used to provide the user's continuous glucose data. The application not only provides monitoring but also allows the users to enter data entry from the pages. Thus, it is possible to use it as a diary by people with diabetes. The development process of the application was done in collaboration with the Norwegian Centre for e-Health Research in Tromsø, Norway. Also, the application operates simultaneously with an Android phone application called Diabetes Diary, which is developed by this research center.

Keywords: Diabetes, blood glucose, glucose monitoring, wearable devices, smartwatches, Android, e-Health, wearable sensor.

1. INTRODUCTION

Chronic diseases are conditions that usually have slow progress, treated by specific medical interventions and require long-term and periodic follow-up care support to reduce the severity of the disease and to maximize patient's responsibility in self-care [1]. According to the World Health Organization's (WHO) records, chronic diseases are responsible for 63 percent of deaths worldwide. Diabetes mellitus is one of the important chronic diseases affecting approx. 422 million people, and if the tendency continues, it is expected that diabetes will be seventh among causes of death [2].

Diabetes is a chronic disease that is caused by an increase or decrease in the glucose level in the blood.[3]. It is caused by the lack of insulin and/or insufficient secretion of insulin hormone in the blood. Insulin is a hormone that balances the glucose ratio in the blood. It is secreted by pancreas beta cells, and it controls the energy balance of the body [4].

Diabetes is primarily characterized by poorly controlled blood glucose concentrations that, if allowed to remain chronically high, resulting in the development of serious and life-threatening diseases such as stroke, heart attack, heart failure, kidney failure, adult blindness, and amputation [5]. The self-measurement of glucose level at home is an inexpensive control method which is very important for people with diabetes, in order to detect and avoid glucose excursions (high and low values) and to avoid complications of the disease. The glucose monitoring at home is an effective method that can reduce the follow-up and treatment costs of diabetes in the short and long term.

Glucose level measurement is generally performed in two ways, invasive and non-invasive. Invasive measurements use directly blood to measure the amount of glucose while non-invasive one uses alternative biological fluids such as interstitial fluid, saliva, breath, sweat and ocular fluid. Continuous glucose monitoring (CGM) has been shown in studies to be the most effective way to improve glucose control, whether used with insulin injections or a continuous

*Corresponding Author: Vocational School of Technical Sciences, Electric and Energy, Karamanoglu Mehmetbey University, Karaman, Turkey

insulin pump [6]. The CGM systems use the non-invasive way to monitor the glucose value. CGM measures the glucose level in the interstitial fluid every 1 to 5 minutes from a sensor inserted into subcutaneous tissue. [7]. The CGM sensors use glucose oxidase enzyme which reacts with glucose to provide hydrogen peroxide as a by-product. The reaction between hydrogen peroxide and platinum causes an electrical signal that is transmitted through a thin wire. Afterwards, this signal is taken by CGM system software to converted to a glucose value [8].

Mobile phones, smartwatches and some wearable technologies are used in monitoring the glucose level by processing and presenting the information obtained from the sensor in CGM systems. The sensitivity, reliability, long term availability, biocompatibility, durability and cost-efficiency are important factors in choosing the proper sensor. There are a few different companies producing sensors intended for CGM systems. In this study, the glucose level measurements were performed by using the Dexcom G4 sensor (Dexcom Inc., California, USA). Various smartphone platforms have been used by big players such as Apple, Samsung, Huawei, etc. The use of these new platforms brings several advantages: the wide varieties of models, the diversity of manufacturers and the integration of various sensors thanks to wireless protocols (Bluetooth, Wi-Fi), based on the user's own personal needs. Updates in software and hardware allow applications with advanced functions and user interfaces [9, 10]. The wearables market is growing rapidly, as signified by the rise of worldwide forecasted to increase from 593 million devices in 2018 to 929 million devices by 2021 [11]. Smartwatches have a similar potential to support health in everyday life. These devices can provide meaningful and reliable physical activity data that may have the potential to present new disease management approaches to patients diagnosed with diabetes when used appropriately. In this study, an Android wear application has been designed and developed for managing blood glucose, insulin and carbohydrate intakes. It is also monitoring physical activity (steps) continuously and instant heart rate. In addition, the application has a watch face page to monitor all values at the same time, including time and date. Android Wear devices provide advanced capabilities for watch faces that you can leverage in designs, such as vibrant colors, dynamic backgrounds and data integration [12]. Thus, we decided to design a watch face which is integrated with the application to show all the latest values.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials

2.1.1. Android-based smartphone

Android is a Linux-based open source operating system which has been developed for mobile devices by Google and Open Handset Alliance.

Due to the advancement in wireless communication, effective applications can be developed to make self-control more efficiently with the beneficial feedbacks on diabetes mellitus [13]. The latest generation of smartphones has powerful computing capabilities that enable open application development. This kind of environment allows fast collection of data from internal and external sensors to mobile phones [14].

The developed smartwatch application works synchronized with the Diabetes Diary application which is developed by the Norwegian Center for e-Health Research in Tromsø, Norway (see Fig. 1). Thus, the Android smartphone provides a Bluetooth-based data transfer unit that sends the data to the smartwatch. This application has been developed in order to better control the disease status of patients with diabetes. In addition to easily identifying targets for better quality and healthy life, the user can enter the values of insulin intake, daily physical activity value (step count, running distance, bicycle, etc.), carbohydrate intake and blood sugar values by the user. Thus, the application can be used as a diary [15].

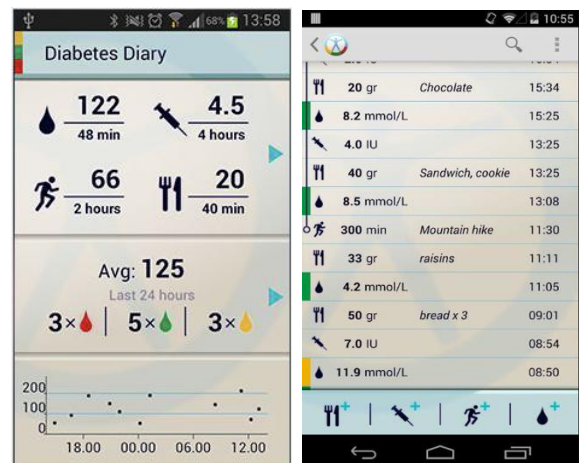


Fig. 1. Diabetes Diary Application [15]

2.1.2. Android-based smartwatch

Smartwatches are portable devices which have been designed to be worn on the wrist. In generally, there are two types of smart watches in the wearable product market. First, a general-purpose smartwatch like the Apple Watch and most Google-powered Android Wear OS devices with various forms and functions. They are designed to replace mechanical wristwatches and are heavily smartphone dependent. They use touchscreens, offer apps, and often record some vital signs. Major types include Apple Watch, Samsung Gear S models and Huawei Smartwatch models. The other type includes specialty devices intended for specific use cases. These devices often offer a more powerful version of a fitness tracker and a stand-alone fitness tracker like a Fitbit [16].

Huawei Smartwatch 2 has been used to test the application (see Fig. 2) due to high quality integrated sensors which are one of the best on its area according to the user interpretations in exercise applications and the possibility of using without the phone. In addition, it is possible to get notifications, make daily plans and download many applications from its market on the smartwatch. The daily exercises monitoring would be made without need of a mobile phone. Thanks to the integrated sensors, physical activity values (step, running, climbing, etc.) are recorded automatically and continuously monitored [17]. The application is not only designed for this model, but it can also be easily used in any Android-based smartwatch models.



Fig. 2. Huawei Watch 2 [17]

2.1.3. Dexcom G4 Platinum Sensor

Dexcom G4 platinum sensor has been used for glucose measurement. Dexcom G4 uses a CGM technology system for measurement, helping to keep your blood sugar within the target range. This can be continuously monitored from the screen without the need of additional processing. The CGM system allows monitoring of glucose levels and trends throughout the day and night. Dexcom G4 can be used by both children and adults, e.g., it can be used safely by parents who want to provide more effective control for their children with Type 1 (or Type 2 diabetes) [18].



Fig. 3. Dexcom G4 Platinum [18]

The Dexcom CGM helps to know your glucose number and where it's headed and without finger sticks or calibrations required. [14]. The Dexcom G4 Platinum consists of three parts: transmitter, receiver, and sensor.

In this project, we have used a mobile phone as a receiver instead of the Dexcom receiver. This means that we only used the sensor and transmitter to measure and send the glucose data.

2.1.4. xDrip Module

xDrip module acts as a bridge between the Dexcom G4 Transmitter and a Bluetooth Low Energy device such as a mobile phone (see Fig 4). The data from a Dexcom G4 transmitter package has been received by the programmable radio through Wixel and transferred to the phone via Bluetooth.

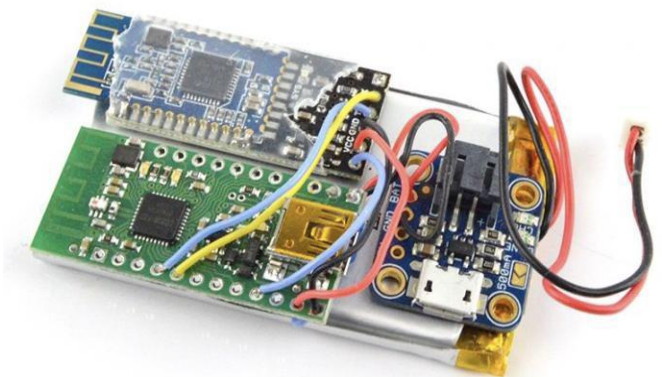


Fig. 4. xDrip Module

Only three pieces of data are received from the Dexcom G4. Two of these are 32-bit glucose values and the other is an 8-bit value that indicates the battery status of the Dexcom G4. The xDrip circuit diagram with the HM-10 BLE module is shown in Fig. 5.

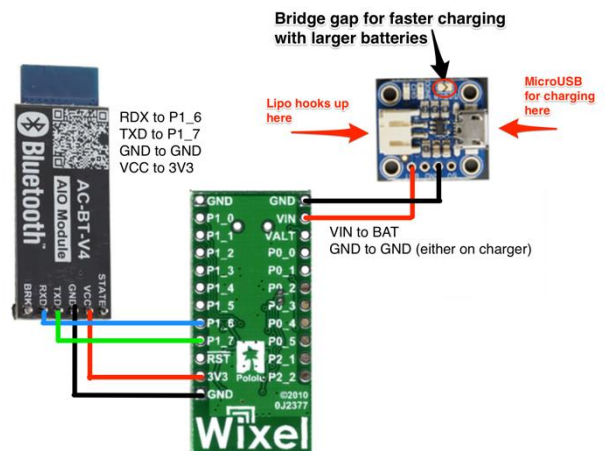


Fig. 5. xDrip Circuit with HM-10 BLE module [20]

2.2. Method

The data read by the Dexcom glucose sensor can be transmitted to the telephone by a transmitter via the xDrip bridge module and software. But this is not standard and based on Nightscout project which is an open-source, DIY (do it yourself) spearheading that allows real-time access to CGM data through smart devices [21]. This process is controlled by the xDrip application installed on the phone. The application allows the module to connect to the Dexcom sensor via radio frequency (RF). When the connection is provided between the sensor and mobile phone, the glucose data is transmitted via Bluetooth to the application, and it is displayed in the smartwatch application simultaneously, due to the two-way synchronization.

The diagram in Fig. 6 shows the algorithm that represents the way of data from the measurement point to the application developed in this study. Here, the data is taken to the phone via the xDrip application and sent to the server with the same application. Data from the server with the Diabetes Diary application is transferred via the phone to the smartwatch application.

The developed Android smartwatch application retrieves the data from the Diabetes Diary application connected to the Nightscout server. In other words, the developed application is an Android smartwatch version of the Diabetes Diary diabetes smartphone application. When the phone is paired with the smartwatch, both applications work through two-way synchronization. In addition, the values can be used as a diary by entering the values from the application. The application was developed by using the Java programming language on Android Studio which is the official development environment for Android devices.

It is always important to get the opinion of people who have diabetes mellitus before designing the application. Because the design purpose of the application is to provide ease of use to these people and increase their motivation to have a positive impact on their quality of life. For this reason, some meetings were held every other week with the people with diabetes who work in the research center, and ideas were exchanged during the pre-design and design period.

2.2.1. Android Studio

Android Studio is an official integrated development environment (IDE) for Android operating system. Introduced in the Google I / O event on May 16, 2013, and is based on IntelliJ IDEA. It was designed specifically for Android development. Applications for phone, tablet and wearable devices (watch, glasses, etc.) can be developed through Android Studio. Android applications are written in the Java programming language. In addition, since 2017, the Kotlin programming language for the Android platform has been supported [22].

In the project, the application was developed on Google's Wear OS platform for Google's wearable smartwatches in the Android Studio interface; some of Google's libraries were used. These are the Android Wear SDK for wearable devices, Google Play Services for receiving data from Google applications, Google's DataClient for the communication between devices, SensorEventListener to read values from integrated sensors within the smartwatch, and ViewPager libraries to switch between pages.

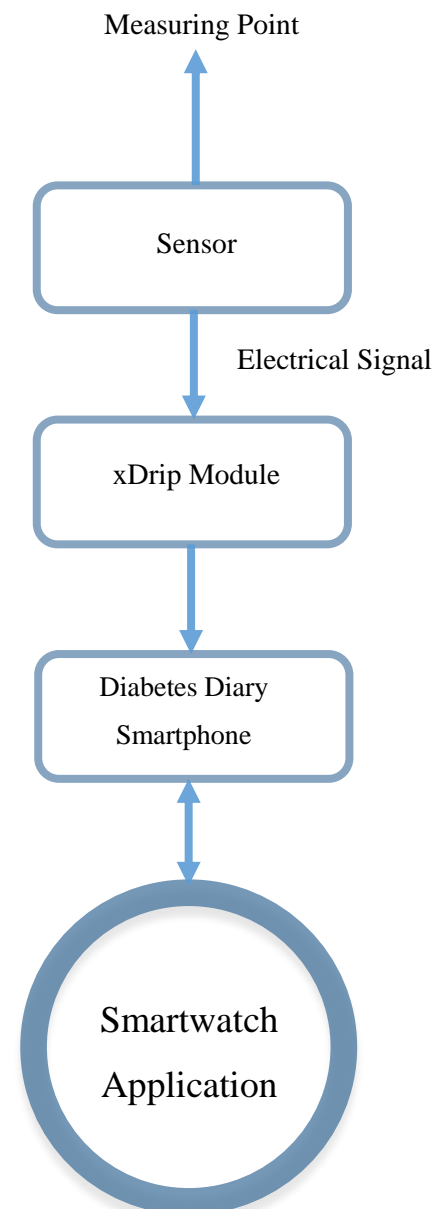


Fig. 6. Illustration of System components

3. RESULTS

In this project, Android-based smartphone and smartwatch, Dexcom G4 Platinum sensor and xDrip/Nightscout data transfer circuit have been used for glucose measurement. The

measurement was made by the sensor, and glucose data was transferred to the phone or watch via Bluetooth. The data has been processed to make it comprehensible for patients by smart devices. Then, the meaningful data has been presented by the application. In this application, totally five pages were designed for each value. Each page had its own specific design and backgrounds; especially on the pages of glucose, insulin and physical activity, the page background changes based on the values. The shift between the pages can be made by sliding to left and right. Apart from these pages, an interface (Watch Face) was designed for monitoring of all the values in real-time.

3.1. The Application Pages

3.1.1. GLUCOSE

The glucose page has three different backgrounds. Each background design has its own aim during the monitoring. Based on the status of the glucose value, the user is informed with various colors and faces. Thus, the user can understand own glucose status with the background design without the need to read the value. The aim of this design is to provide comfortable monitoring of glucose status and motivate the user with the alternating graphical user interface (GUI) faces.

If the glucose value is less than or equal to 10 millimole/liter (mmol/L), and greater than 4 mmol/L, then the glucose status is in the desired range. Thus, the background turns into a green color and a smiley face (see in Fig. 7a). If the value is greater than 10 millimole/liter (mmol/L) and less than 20 mmol/L, the background turns into a yellow color and a normal face (see in Fig. 7b). And, if the value is equal to 4 mmol/L or greater than 20 mmol/L, it is an undesirable range that patients pay attention to. Thus, the background turns into a red color and a sad face (see Fig. 7c). Moreover, seeing instant time and date are possible in each background.

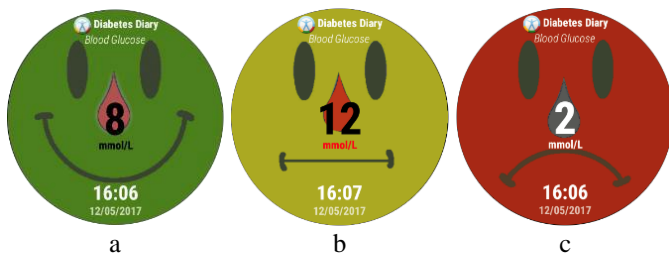


Fig. 7. Glucose Page Designs

3.1.2. Insulin Page

A hollow injector is located in the middle of the insulin page, and it is filled or discharged depending on the entered injected insulin value. The aim here is to provide the user with a visually better and motivating design. The injector is filled based on the insulin value between 0 and 20 in international units (iu). The page presents to the user this value along with the current date and time (see Fig. 8).

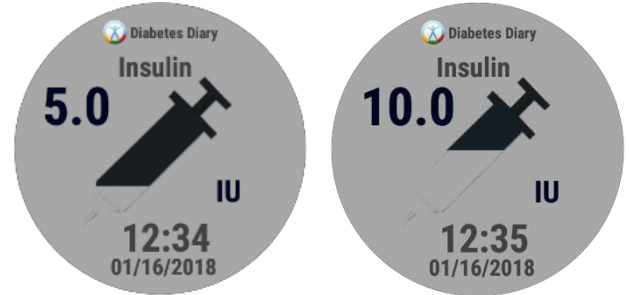


Fig. 8. Insulin Page Design

3.1.3. Carbohydrate Page

The carbohydrate page has a single background. The design consists of plates, forks, and spoons. The entered intake of carbohydrate in the middle of the plate pattern can be seen in grams (gr) along with providing instant time and date (see Fig. 9).



Fig. 9. Carbohydrate Page Design

3.1.4. Physical Activity Page

The physical activity page shows the number of steps. The user can also open the number entry screen by tapping the target step number under the "Goals" on this page. Thus, the target number can be entered manually. The maximum value of the progress bar, which is in the shape of a blue circle around the page, changes depending on the specified number of targets. This bar shows how close the user is to his or her target at each step in a visual way. The number of steps is daily, thus it resets every 24 hours. This value is read by the accelerometer sensor which is integrated into the smartwatch (see Fig. 10).



Fig. 10. Physical Activity Page Design

3.1.5. Heart Rate Page

The heart rate value is seen in the middle part of the watch screen, see picture in Fig. 11. This value changes instantly and is taken directly from the integrated sensor in the smartwatch. When the page is opened for heart rate measurement, four points will be displayed first. These points indicate that the measurement is performed, and the heart rate value can be seen in one second (see Fig. 11).

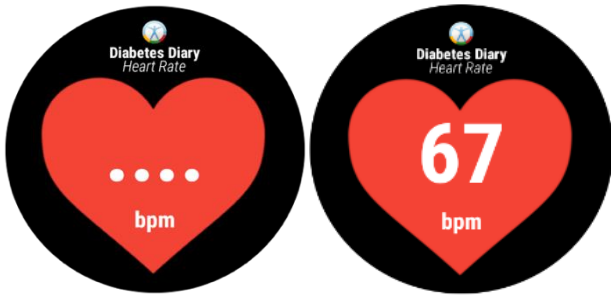


Fig. 11. Heart Rate Page Designs

3.1.6. Data Entering Page

This page opens up by touching the values on glucose, insulin and carbohydrate on own pages. On the physical activity page, the data entry page can be reached by touching the number of goals section, which specifies the daily goal. The numbers between 0 and 9, dot, and dashes (-) are displayed as in the calculator style. After entering the desired value, the button with the check mark can be registered. Thus, the value will be entered by the user. Also, the wrong value can be deleted with the backspace button (see Fig. 12).



Fig. 12. Data Entering Page Designs

3.2. Diabetes Diary Android Wear Watch Face

Here, the glucose portion was designed colorful to indicate the status like on glucose page. The color indicator is varying depending on the glucose values as in the glucose page in the application. Access to the application can also be provided through this interface by touching the values. Each value is linked to its own page, and when the value is touched, the application page of that value is opened (see Fig. 13).



Fig. 13. Diabetes Diary Watch Face 1

One of the most important details added to this interface is the time statement below the values. This statement indicates when the values are last received or changed. As an example, the user is able to learn by checking this time statement how many minutes or hours ago he controlled the glucose status (see Fig. 14).



Fig. 14. Diabetes Diary Watch Face 2

4. DISCUSSION

The users tested the initial phase of this application with the phone application. The feedbacks were mostly positive. The users found the application easy to use since they did not need to control the phone constantly. The user, who has diabetes mellitus, has reported that he found the application motivating, beneficial and useful due to its colorful interface, warnings and alerts. He also mentioned that value tracking could be done easily. On the other hand, the user, who does not have diabetes mellitus, has stated that the daily

carbohydrate intake due to the carbohydrate data entry could be monitored by the application easily. He has also denoted that the step counter and heart rate monitoring were also very practical and useful. Both testers expressed that they liked the watch face design since it could be easily followed at any time of the day due to its colorful glucose part, easy and practical screen scroll and accurate measurements. As a drawback, the person with diabetes stated that it would be better if it was connected to the Nightscout server to provide the CGM data.

The Diabetes Diary application also has a version for Pebble smartwatches. The Pebble application was developed by the Norwegian Center for e-Health Research as a Pebble version of Diabetes Diary application in 2014 [23]. The Pebble application is monitoring the glucose, insulin, carbohydrate intake and physical activity values and also working two-way synchronization with the smart phone version of the application (see Fig. 15). However, since Pebble watches no longer are available, new diabetes management apps for smartwatches are needed.



Fig. 15. Diabetes Diary Pebble Application [18]

One of the test users, who was also using the Pebble smartwatches version of “Diabetes Diary” application in his daily life, compared these two applications and stated the advantages of the application developed in this study as follows:

- The area of glucose monitoring is colorful, thus more motivational and easier to control the status,
- In general, the font size of the data should be easier to read,
- The data rate is faster than the Pebble application,
- Each value is presented more motivating due to its design and color.

Thus, due to these reasons mentioned above, the user concluded that this application is more useful. However, CGM data has not been displayed on the application at this time because the project has not been completed yet. Future work is needed to connect the Nightscout server and visualize glucose at the graphical interface. This was the only feature mentioned from the users as a missing part of this application. We think that the users do not want to stay connected to the phone application for receiving the CGM data from the server, but rather receive it directly on the smartwatch application.

Table 1. Comparison of some diabetes applications with the developed application for smartwatches

Features	Diabetes:M App	Balansio App	Developed App
Glucose	✓	✓	✓
Insulin	✓	✓	✓
Physical Activity	-	✓	✓
Heart Rate	-	-	✓
Glucose Data Input	✓	✓	✓
Insulin Data Input	✓	✓	✓
Carbohydrate Data Input	✓	✓	✓

Also, there are some other applications that present essential data via smartwatches and developed before our application. One of them is Diabetes:M smartwatch application [24]. This application contains some features which are already included by the application developed in this study. These are tracking glucose level, insulin dose, carbohydrate intake and data inputs by user on the watch. The application developed in this study also presents physical activity and heart rate values to the user, unlike the Diabetes:M application. Additionally, Balansio application can be used to present glucose level, insulin dose, carbohydrate intake, physical activity and data inputs [25]. The difference between our application and Balansio application is heart rate measurement. Diabetes: M application, Balansio application and the application developed in this study were presented in Table 1 comparatively.

5. CONCLUSION

A smartwatch application was developed for Android-based smartwatches having the capacity of monitoring the state of glucose, insulin, carbohydrate intake, meanwhile, illustrating the data concerning the physical activities and cardiac rhythm. The application was designed on Android Studio by synchronizing with the Diabetes Diary mobile application. Bluetooth communication was used to transfer data, namely glucose, insulin, carbohydrate intake as well as physical activity. Furthermore, the watch face was designed for the smartwatch to make it possible to monitor and control the values in a more convenient way for daily usage than through a mobile phone.

The developed application was tested by the users and found quite useful, beneficial and practical. They denoted that it is motivating with its colorful well-marked faces, warnings and alerts. Also, they have stated some missing features which can be included in the developed application. Additionally, the developed application was compared with some former applications intended for diabetes mellitus, and advantages of developed application presented clearly. The developed

design serves as a basis for future research and development of a combined diabetes diary application for Android Wear or other smartwatch platforms and smartphones.

6. FUTURE WORK

Considering the feedbacks from the users, the application is planned to be integrated to the Nightscout server to benefit from the advantage of direct connection between the application and server.

ACKNOWLEDGMENTS

This project has been designed and developed at the Norwegian Centre for e-Health Research, Tromsø, Norway. We would like to thank the research center's staff who provided insight and expertise that greatly assisted the project, and provided great hospitality to the first author.

REFERENCES

- [1]. Ü. Özdemir, S. Taşçı. J. Erciyes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, "Kronik Hastalıklarda Psikososyal Sorunlar ve Bakım," vol. 1, no. 1, pp. 57-72, 2013.
- [2]. C. Chen, X.-L. Zhao, Z.-H. Li, Z.-G. Zhu, S.-H. Qian, and A. J. S. Flewitt, "Current and emerging technology for continuous glucose monitoring," vol. 17, no. 1, p. 182, 2017.
- [3]. Rghioui, Amine, et al. Electronics, "A Smart Glucose Monitoring System for Diabetic Patient." 9.4 (2020): 678.
- [4]. Diyabet, URL: <https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/diyabet> (Accessed on 12 September 2019)
- [5]. Masoud, Baghelani, et al. Scientific Reports (Nature Publisher Group) "Non-invasive continuous-time glucose monitoring system using a chipless printable sensor based on split ring microwave resonators." 10.1 (2020).
- [6]. Shah, Rajiv, et al. "Multi-analyte continuous glucose monitoring." U.S. Patent Application No. 16/273,920.
- [7]. Kim, Jae Hyun. "Current status of continuous glucose monitoring among Korean children and adolescents with type 1 diabetes." *Journal of Korean Society of Pediatric Endocrinology* (2020).
- [8]. M. Koseoglu and O. Pektas, "Smart and Wearable Technologies in Continuous Glucose Monitoring," presented at the International Engineering and Natural Science Conference (IENSC 2018), November 2018, 2018.
- [9]. J. Helbostad *et al.*, "Mobile health applications to promote active and healthy ageing," vol. 17, no. 3, p. 622, 2017.
- [10]. S. H.-W. Chuah, P. A. Rauschnabel, N. Krey, B. Nguyen, T. Ramayah, and S. J. C. i. H. B. Lade, "Wearable technologies: The role of usefulness and visibility in smartwatch adoption," vol. 65, pp. 276-284, 2016.
- [11]. Mück, Julia E., et al. Trends in biotechnology, "Market and patent analyses of wearables in medicine." 37.6 (2019): 563-566.
- [12]. Ö. Pektas, M. Muzny, E. Årsand, G. Hartvigsen, M. Koseoglu, "Utilizing the New Generation of Wearable Devices in a Combined Diabetes Diary Application," presented at the The innovative 11th International Conference on Advanced Technologies & Treatments for Diabetes, Vienna,, Austria, 14-17 February, 2018.
- [13]. E. I. Georga, V. C. Protopappas, C. V. Bellos, D. I. J. H. Fotiadis, and Technology, "Wearable systems and mobile applications for diabetes disease management," vol. 4, no. 2, pp. 101-112, 2014.
- [14]. T. Szydło, M. J. M. Konieczny, and Microsystems, "Mobile and wearable devices in an open and universal system for remote patient monitoring," vol. 46, pp. 44-54, 2016.
- [15]. Diabetes Diary, URL: <http://www.diabetesdagboka.no/en/>
- [16]. S. Silbert. (2019). What is a Smartwatch?, URL: <https://www.lifewire.com/an-introduction-to-smart-watches-3441381>.
- [17]. Huawei Smartwatch 2, URL: <https://consumer.huawei.com/tr/wearables/watch2/>.
- [18]. J. Šoupal *et al.*, "Comparison of different treatment modalities for type 1 diabetes, including sensor-augmented insulin regimens, in 52 weeks of follow-up: a COMISAIR study," vol. 18, no. 9, pp. 532-538, 2016.
- [19]. Dexcom, URL: <https://www.dexcom.com/tr-TR>.
- [20]. xDrip Hardware Setup, URL: https://github.com/StephenBlackWasAlreadyTaken/xDrip/blob/gh-pages/hardware_setup.md.
- [21]. D. Beckman, C.M. Reehorst, A. Henriksen, M. Muzny, E. Årsand, G. Hartvigsen. International Journal of Integrated Care. "Better glucose regulation through enabling group-based motivational mechanisms in cloud-based solutions like Nightscout." 16(5):S4, 2016. [dx.doi.org/10.5334/ijic.2548](https://doi.org/10.5334/ijic.2548).
- [22]. W. Jackson, *Pro android wearables: Building apps for smartwatches*. Apress, 2015.
- [23]. E. Årsand, M. Muzny, M. Bradway, J. Muzik, G. Hartvigsen. Journal of Diabetes Science and Technology, "Performance of the first combined smartwatch and smartphone diabetes diary application study," vol. 9, no. 3, pp. 556-563, 2015.
- [24]. Diabetes:M, URL: <https://sites.google.com/view/diabetes-m-userguide/android-wear>.
- [25]. Balansio, URL: <https://www.balansio.com>.

Döküm Sanayinde Süreç Tabanlı Temel Gösterimleri ile İstatistiksel Süreç Kontrolü

*¹Kenan Orçanlı

¹Toros Üniversitesi, İktisadi İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, İşletme, kenan.orcanli@toros.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 14.04.2020

Kabul Tarihi: 06.12.2020

Öz

Döküm sanayinde süreç kontrolünde, kalite karakteristiği olarak genellikle üretilen ürünün çap, kalınlık, yoğunluk gibi özellikleri ele alınmaktadır. Söz konusu kalite karakteristikleri, genellikle kalite kontrol grafikleri ile izlenerek süreci etkileyen özel nedenlerin varlığı ortaya konulmaya çalışılmaktadır. Ancak döküm sanayinde kalite karakteristikleri olarak üretilen ürünün özellikleri yerine ürünü oluşturan elementlerin oranları da kabul edilebilmektedir. Çünkü ürünün içeriğini oluşturan elementlerin oranlarının, belirli sınırlar arasında olması istenmekte ve genellikle değişkenlik göstermektedir. Kalite karakteristikleri olarak seçilebilen metal oranları, ürünün özelliklerinde olduğu gibi kalite kontrol grafikleri ile izlenebilmekte ancak kontrol dışı sinyallerin yorumlanması yeterince yapılamamaktadır. Dolayısıyla sorunun çözümünde kalite kontrol grafiklerinin yerine literatürde yer alan süreç tabanlı temel gösterimleri metodu kullanılabilir. Yapılan literatür araştırması neticesinde, süreç tabanlı temel gösterimleri metodunun, imalat sanayinde geometrik sapmaların modellenmesinde başarılı bir şekilde kullanıldığı ancak proses (kimya, petro-kimya, döküm vb.) endüstrilerinde ve birbiriyle ilişki içinde olan kalite karakteristiklerin bulunduğu çok değişkenli endüstriyel üretim süreçlerinde uygulamasının olmadığı tespit edilmiştir. Bu kapsamda yapılan bu çalışmanın amacı, döküm sanayinde süreç kontrolünde, metal alaşım oranlarının kalite karakteristiği olarak kullanılabilmesini ve yine süreç tabanlı temel gösterimleri metodunun uygulanabileceğini göstermektir. Çalışmada kullanılan veriler, 01 Ocak 2015-31 Mart 2015 tarihleri arasında Kırıkkale ilinde yerleşik Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu'na bağlı Pirinç Fabrikası Müdürlüğünün üretim biriminden elde edilmiştir. Kontrol grafiklerinin oluşturulmasında MINITAB paket programında yer alan modül kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda; döküm sanayinde uygulanan süreç kontrolünde, kalite karakteristiği olarak üretilen ürünü oluşturan element oranlarının da seçilebileceği ve bu şekilde seçilen kalite karakteristiklerin süreç tabanlı temel gösterimleri yöntemi ile izlenerek olumlu sonuçlar elde edilebileceği tespit edilmiştir. Çalışmada elde edilen bulgu ve sonuçların gerek ulusal gerekse uluslararası literatüre hem teorik ve hem de pratik katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Döküm, Pirinç, Süreç Tabanlı Temel Gösterimleri

A Statistical Process Control with Process Oriented Basis Representation in Casting Industry

*¹Kenan Orçanlı

¹Toros University, Faculty of Economics Administrative and Social Sciences, Department of Business, kenan.orcanli@toros.edu.tr

Abstract

In process control in the casting industry, the features of the product, such as diameter, thickness, density, are generally considered as quality characteristics and assignable causes affecting the process is tried to be determined by monitoring these quality characteristics in the quality control charts. However, instead of the features of the producing product as quality characteristics in the casting industry, the proportions of the elements that make up the product can also be accepted. Because the proportions of the elements that make up the product are desired to be within certain limits within the product and these generally vary. In addition, metal ratios, which can be selected as quality characteristics, can be monitored with quality control charts as in the properties of the product, but interpretation of out-of-control signals may not be sufficient. Therefore, in the solution of the problem, instead of quality control graphics, the process-oriented basis representations method in the literature can be used. As a result of the research in the literature, it has been determined that the process-oriented basis representations method has been used successfully in the modeling of geometric deviations in the manufacturing industry, but it is not applied

*¹Sorumlu Yazar: Dr. Öğr. Üyesi Kenan Orçanlı, Toros Üniversitesi, Mersin, kenan.orcanli@toros.edu.tr, 0.531.2279873
Bu çalışma, doktora tez çalışmasından üretilmiş bir çalışmadır.

in the process (chemistry, petro-chemistry, casting, etc.) industries, and in multivariate industrial production processes with interrelated quality characteristics. In this content, the aim of this study was is to show that metal alloy ratios can be used as quality characteristics and the process-oriented basis representations method can be applied in process control in the casting industry. The data used in the study were obtained from the production process of Brass Factory Directorate of Mechanical and Chemical Industry Company in Kırıkkale province between 01 January 2015 and 31 March 2015. The module in the Minitab package program was used to create the control charts. At the end of the study, it has been determined that in the process control in the casting industry, the element ratios that make up the product produced as quality characteristics can be selected and positive results can be obtained by monitoring the quality characteristics selected in this way with the process-oriented basis representations method. It is evaluated that the results obtained in the study will contribute both to the domestic and foreign literature theoretically and to the quality control applications in terms of practicality in the casting industry.

Keywords: Casting, Brass, Process Oriented Basis Representation.

1. GİRİŞ

Üretim süreçlerinde kullanılan yöntemlerden birisi, döküm yöntemidir. Bilim insanları ve mühendislerin katkılarıyla kalıp malzemeleri, kalıplama yöntemleri, eritme ocakları, döküm malzemeleri gibi alanlarda sürekli geliştirilen döküm yöntemi, günümüzde de en yaygın olarak kullanılan ve gelişen bir üretim yöntemi haline gelmiştir. Literatürde döküm yönteminin çeşitli tanımları bulunmasına rağmen, genel olarak “metal üretme fırınlarından elde edilen eriyik haldeki metalin kullanım amacına göre gerekli şekil verilerek katılaştırılması olayı” şeklinde tanımlanabilir [1,2]. Her ne kadar döküm yöntemi, metallerin sıcak ocaklarda eritilip eriyik haline getirilip kalıplara dökülmesi şeklinde tanımlansa bile birçok aktiviteyi kapsamaktadır.

Döküm sanayisindeki üretim süreci faaliyetleri, literatürde genellikle saf ve hurda malzemelerin harmanlanması, oluşturulan şarjların eritilmesi ve sıvı haldeki eriyin kalıplanması şeklinde olmak üzere üç aşamada ele alınmaktadır [3-7].

Döküm yönteminin birinci aşaması olan saf ve hurda malzemelerin harmanlanması aşamasında, üretilen ürünün hammaddesi olan saf metallere çeşitli metal ve ametaller belli oranlarda karıştırılarak şarjlar (harmanlar) elde edilmektedir. Döküm yönteminin ikinci aşaması olan oluşturulan şarjların eritilmesi sürecinde, şarjlar yüksek sıcaklıkta eritilerek sıvı halde eriyik haline getirilmektedir. Döküm yönteminin üçüncü ve son aşaması olan sıvı haldeki eriyin kalıplanması sürecinde ise istenilen şeklin oluşturulması için sıvı eriyik daha önce hazırlanmış kalıplara dökülerek soğutulmakta ve istenilen özelliklerde ürün elde edilmektedir [1,2].

Endüstride döküm yöntemi ile üretilen alüminyum, pirinç ve altın alaşımları gibi birçok ürün bulunmaktadır [8]. Pirinç alaşımı, yukarıda en genel hali ile anlatılan döküm yöntemi ile üretilen ürünlerden bir tanesi olup günümüzde birçok üretim sürecinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır [9].

Pirinç, doğada tabii olarak bulunmayıp; bakır (Cu), çinko (Zn) ve gerekli hallerde kurşun (Pb) gibi metallerden oluşan ve döküm yoluyla üretilen bir alaşımdır. Diğer bir deyişle pirinç, Cu ve Zn'nin birlikte yaptığı alaşıma verilen isimdir [10]. Pirinç alaşımı, Cu ve Zn elementlerinin farklı oranlarda

birleşmesi sonucunda oluşmaktadır. Herhangi bir alaşımın elde edilmesinde, bu şekilde elementlerin değişik oranlarda birleşme olayına faz denilmektedir. Literatürde faz kavramı alfa, beta ve gama olmak üzere üç ayrı gruba ayrılmaktadır. Cu ve Zn elementleri birleşerek pirinç alaşımını oluştururken çok faz meydana getirmektedir [11]. Öncelikle %37'den az Zn içeren pirinç alaşımına “alfa tipi faza sahip pirinç çeşidi” denilmektedir. Bu fazdaki pirinç, merkezli kübik yapıda bir yüzeye sahip olup kolayca soğuk işleme tabi tutulabilmekte ve kübik yapıya sahip olması dolayısıyla talaşsız olarak imal edilebilmektedir. Alaşımda Zn içeriğinin artması ile mukavemette de artış sağlanmaktadır. Alfa fazı, iyi mukavemet ve süneklik özelliklerini bir arada bulundurmaktadır [11-13]. İkinci olarak %32 ile %37 arasında Zn içeren pirinç alaşımına “beta tipi faza sahip pirinç çeşidi” denilmektedir. Beta fazındaki pirinç, hacim merkezli kübik kristal yapıda olup sıcak işlem kabiliyeti en yüksek olan pirinç türüdür. Yine %37 ile %45 Zn içeren pirinç alaşımlarında, alfa ve beta fazları bir arada bulunabilir [11-13]. Pirinç alaşımında görülen diğer bir faz çeşidi de gama fazıdır. Bu faz yapısına sahip pirinç alaşımının içinde %45'ten fazla Zn bulunmaktadır. Gama fazının endüstriyel kullanım alanı bulunmamaktadır. Çünkü bünyesinde sert Cu_2Zn_3 kristallerini barındırdığından dolayı ne sıcak ne de soğuk olarak işlenebilmektedir [11,12].

Saf maddeler olan Cu ve Zn elementlerinin yanında pirinç üretiminde, maliyetinin düşük olması nedeniyle hurda malzemeler de kullanılmaktadır. Dolayısıyla pirinç üretim sürecinde kullanılan girdiler, saf ve hurda malzemelerdir. Hurda malzemelerin içinde saf elementlerin yanında Kalay (Sn), Antimuan (Sb), Nikel (Ni), Demir (Fe), Alüminyum (Al) gibi çeşitli elementler de bulunmaktadır. Bu hurdaların içinden gelen bu elementlere empürite (safsızlık) adı verilmektedir [1, 2].

Pirinç alaşımları, içerdikleri element yüzdelere göre farklılık göstermekte ve farklı olarak isimlendirilmektedir. Küresel standart olarak belirlenmiş ve DIN17660 olarak adlandırılmış on dokuz çeşit pirinç alaşımı bulunmaktadır [1,2]. Bu çalışmada örnek olarak DIN17660 pirinç alaşımı çeşitlerinden biri olan MS58 pirinç alaşımı seçilmiştir. Bu kapsamda MS58 cinsi pirinç alaşımının detaylı içeriği aşağıdaki Tablo 1'de verilmiştir. Oranlar, ağırlık cinsinden yüzde değerleridir.

Tablo 1. MS58 Pirinç Alaşımının İçeriği

MS58		
	Alt Spesifikasyon Değeri (%)	Üst Spesifikasyon Değeri (%)
Cu	57	59
Pb	2.5	3.5
Fe	0	0,5
Sn	0	0,4
Al	0	0,1
Ni	0	0,5
Sb	0	0,02
Diğer	0	0,3
Zn	Geri kalan	

Yukarıdaki Tablo 1'in ilk sütununda MS58 cinsi pirinç alaşımının içinde bulunan elementler ve diğer sütunlarında da bu elementlerin alt ve üst değerleri yer almaktadır. Tablo 1'in birinci ve dokuzuncu satırında, MS58 cinsi pirinç alaşımını oluşturan ana elementler yani Cu ve Zn elementleri yer almaktadır. Tablo 1'in ikinci, üçüncü, dördüncü, beşinci, altıncı ve yedinci satırında, MS58 cinsi pirinç alaşımına çeşitli özellikler kazandırmak için eklenmesi gereken bazı diğer elementler yer almaktadır. Küçük oranlarda katılan bu elementler, üretilen malzemeye işlenebilirlik özelliği kazandırılabilmesi için önemlidir. Tablo 1'deki diğer satırı ise oranları çok küçük olan ve alaşım için bir önem arz etmeyen empüritelerin toplamını ifade etmektedir.

En küçük ve en büyük oranlarının dışına çıkan bir element, alaşımın yapısını bozmakta ve bu durumda pirinç hatalı kabul edilmektedir. Üretim sürecinde hatalı üretilen pirinç alaşımı, diğer hurda malzemelerle harmanlanarak üretim sürecine tekrar sokulmaktadır. Ancak metal karışımı eriyik halde ise eriyik içine gerekli miktarda saf Cu ve saf Zn elementi karıştırılmakta ve böylece eriyiğin içindeki element oranlarının referans değerler arasında olması için müdahalede bulunulmaktadır [14]. Eriyik içindeki element oranları istenilen oranlarda ise eriyik kalıplara dökülerek şekil verilmesi aşamasına geçilmektedir.

2. DÖKÜM SANAYİSİNİN ÜRETİM SÜREÇLERİNİN KALİTE KONTROLÜ

Herhangi bir üretim sürecinde kalite kontrolünde kalite karakteristiklerine göre gerekli değerlendirmeler yapılmaktadır. Ortaya konulan kalite karakteristiklerinden bazıları kalite uzmanlarına daha fazla bilgi sağlayabilmektedir. Bu kalite karakteristikleri de literatürde "kritik kalite karakteristikleri" olarak adlandırılmaktadır [15]. Kritik kalite karakteristikleri, bir sürecin kontrol altında olup olmadığının en önemli değişkenleri olarak kabul edilmektedir.

Döküm sürecinde istenilen kompozisyon ve şekilde bir alaşım üretmek amacıyla diğer sektörlerde olduğu gibi kritik kalite karakteristikleri belirlenerek kalite kontrolü uygulanmaktadır. Döküm sürecinde yapılan kalite kontrolü genellikle üç aşamada yapılmaktadır. Birinci aşamada; eriyik haline gelen metal dinlendirme ocağına alınmadan önce

indeki element oranlarının belli oranlarda olması gerekmektedir. Element oranları, eriyik içinde bulunan metallerin ağırlığının toplam eriyik ağırlığına bölünmesi ile elde edilen yüzde değerlerdir. Bir metalin kalitesi bu elementlerin yüzde değerlerine bakılarak yapılmakta ve istenen referans değerleri dışında herhangi bir değer tespit edilmesi durumunda gerekli müdahale yapılmaktadır (İlk kontrol) [16]. İkinci aşamada; farklı indüksiyon ocaklarından gelen eriyik, dinlendirme ocağında karıştırılmakta ve birinci aşamada yapılan işlem tekrarlanmaktadır (İkinci kontrol). Üçüncü aşamada; dinlendirme ocağından gelen eriyik istenen özelliklerde kalıplara dökülerek soğutulmakta ve böylece nihai ürün veya nihai ürün için gerekli olan hammadde elde edilmektedir. Müteakiben elde edilen nihai ürünün veya nihai ürün için gerekli olan hammadde halindeki alaşımın daha çok fiziki özelliklerine veya boyutlarına bakılarak yapılmaktadır [7]. Bu kapsamda pirinç alaşımı üretim sürecinde kalite karakteristikleri üretilen ürünün çap, kalınlık, sertlik gibi özellikler olmaktadır.

Döküm sürecinde yapılan işler kapsamında birinci ve ikinci kalite kontrolünde, eriyik haldeki pirinç alaşımlarından her defasında belli periyotlarla kontrol amaçlı numune alınmakta ve bu numuneler spektral analize tabi tutulmaktadır. Spektral analiz yapıldığı ölçüm aleti spektrometre olarak da adlandırılmaktadır. Spektrometreler ışığı spektral olarak dalga boylarına ayıran elektriksel sinyallere dönüştürerek belli bir referansa göre materyal analizi yapabilen cihazlardır. Spektral analiz cihazları ile pik ve sfero döküm, düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, mangan çelikleri, otomat çelikleri, etial alaşımları, alüminyum alaşımları, saf alüminyum, bakır, pirinç, bronz, saf çinko analizleri gerçekleştirilebilmektedir [17]. Spektrometre, kısa zamanda ve oldukça hassas yapılan ölçümleri ekranda göstermektedir.

Spektral analiz sonunda karışımın içerisindeki elementlerin ağırlık yüzdeleri ölçülerek elde edilen sonuçların DIN standartlarına uygunluğu kontrol edilmektedir. Elde edilen herhangi bir elementin oranı alt referans değerinin altında çıkmışsa standardı sağlamamak için o maddeden gerekli miktar ocağa eklenmektedir. Eğer element oranı üst referans sınırının üzerinde çıkmışsa; öncelikle saf Zn ve bu Zn'nin eklenmesiyle oranı alt referans sınırının altına incek olan elementten gerekli miktar ocağa ilave edilmektedir. Ocakta farklı bir ürünün dökümüne geçilecekse bir önceki ürünün dökümünden belli bir miktar ocakta kaldığı için ocağa saf Cu veya Zn ilave edilmektedir. Yeni ürünün Cu oranı bir öncekinden yüksek ise saf Zn, düşük ise saf Cu ilave edilerek ocaktaki karışımın empürite oranları yeni ürünün seviyesine çekilmektedir [17, 18]. Bu kapsamda istenen element seviyesinin ayarlanması için uygulanan formül, Denklem-1'de gösterilmiştir.

$$\% \text{ İstenen Element} = \frac{X_1 * M_1 + X_2 * M_2}{M_1 + M_2} \quad (1)$$

Bu denklemde:

X_1 : Ocak içerisinde o anda ergimiş halde bulunan istenen element %si,

X_2 : Ocağa ilave edilecek hammaddenin içeriğinde bulunan istenen element %si,

M_1 : Ocak içerisinde o anda bulunan sıvı metal miktarı,

M_2 : Ocağa ilave edilecek hammadde miktarı.

Yukarıda açıklanan kalite kontrolü ile ilgili olarak nihai ürünün kalitesini aynı seviyede tutmak veya diğer bir deyişle üretim sürecinin değişkenliğini kontrol altında tutmak için genellikle üretilen ürünün özellikleri (ürünün çapı, akışkanlığı, boyu, ağırlığı vb.) izlenmektedir [19]. Ancak bu durum, nihai ürünün özellikleri takip edildiği için uzun zaman almakta, fazla maliyetli olmakta ve aynı zamanda üretim kapasitesini düşürebilmektedir. Aslında bu durum kalite kontrol literatüründe kabul örneklemesine benzer bir olay olarak değerlendirilebilir. İstatistiksel kalite kontrolünde önemli olan ürün henüz üretim sürecinde iken gerekli önlemler alarak süreci etkileyen özel faktörlerin belirlenmesi ve gerekli tedbirin alınmasıdır. Dolayısıyla söz konusu amaç çerçevesinde "üretilen ürünü oluşturan element oranları" da kalite karakteristiği olarak kabul edilebilir [15].

Günümüzde kritik kalite karakteristiklerini izlemek ve karar vermek amacıyla genellikle kalite kontrol grafikleri kullanılmaktadır. Tek değişkenli süreçlerde kontrol grafikleri, S ve R ile gösterilen standart sapma ve değişim aralığı istatistiklerine dayalı olarak tasarlanırken çok değişkenli süreçlerde ise kontrol grafikleri, örneklem kovaryans matrisinden (S) hesaplanan genelleştirilmiş varyansa (örneğin; $|S|$ [20], $\log |S|$ [21], $|S|$ [22]) dayalı olarak dizayn edilmektedir. Ayrıca, bunların yanında değişimin tespit edilmesinde çok değişkenli süreçler için Lowry, Woodall, Champ ve Rigdon (1992) [23] ve Reynolds ve Cho (2006) [24] tarafından önerilen Çok Değişkenli Üssel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA)) kontrol grafiği ile Hotelling T^2 [25] kontrol grafiği de kullanılmaktadır. Her ne kadar Hotelling T^2 kontrol grafiği ile izlenen istatistik değeri, kalite karakteristiklerin ortalama değerlerinden elde edilse de yapılan hesaplamada bu değerler arasında var olan kovaryans yapısının da dikkate alınmasından dolayı bu kategoride değerlendirilebilmektedir.

Çok değişkenli kontrol grafiklerinin "değişken sayısının 10'un üzerinde olması durumunda" etkisi azalmaktadır [26]. Literatürde günümüze kadar birçok kontrol grafiği önerilmiştir, ancak bütün önerilen kontrol grafiklerinin temeli Lowry, Woodall, Hotelling (1947) [25], Lowry, Woodall, Champ ve Rigdon (1992) [23], Reynolds ve Cho (2006) [24] tarafından önerilen kontrol grafiklerine dayanmaktadır.

Özel (2005) [1] ile Özel ve Birgören (2005) [2] tarafından söz konusu çok değişkenli kontrol grafiklerinden Hotelling T^2 kontrol grafikleri ile yapılan bir çalışmada kalite karakteristiği olarak metal oranları izlenerek üretim sürecinin kontrolü sağlanmaya çalışılmıştır. Çalışmalarda üretim sürecini etkileyen özel bir durumun varlığı, MYT (Mason-Young-Tracy) ayrıştırma yöntemi kullanılarak çözüm bulunma yoluna gidilmiştir. Ancak kontrol dışı sinyal

durumu değişkenlere bağlı olarak yorumlanmaya çalışılmış ve hata kaynağı ile ilgili kesin bir sonuca gidilemediği tespit edilmiştir.

Süreç değişkenliği, yukarıda sayılan tekniklerin yanında gelişen teknolojik gelişmeler neticesinde temeli alt uzay örnekleme yöntemine (subspace projection metot) dayanan çeşitli yöntemler ile de tespit edilebilmektedir. Bu yöntemlere Runger (1996) [27] tarafından önerilen U^2 kontrol grafiği, Barton ve Gonzalez-Barreto (1996) [28] tarafından önerilen süreç tabanlı temel gösterimleri (proses oriented basis representation), Mantripragada ve Whitney (1999) [29], Jin ve Shi (1999) [30] ve Ding, Ceglarek ve Shi (2000) [31] tarafından önerilen montaj işlemleri için fiziksel modeller (physical models for assembly processes) ve Zhou, Huang ve Shi (2003) [32], Djurdjanovic ve Ni (2001) [33] ve Huang, Zhou ve Shi (2000) [34] tarafından önerilen işleme süreci için durum uzayı modelleri (the state space models for machining processes) olan çalışmalar da bu kapsamda değerlendirilebilir. Bu çalışmalarda önerilen modellerin hepsi doğrusal modellerdir ve bu modellerde elde edilen parametreler kontrol grafikleri ile izlenmekte ve parametreler çoğunlukla en küçük kareler metodu veya ağırlıklı en küçük kareler metodu kullanılarak bulunmaktadır.

3. ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ

Yerli ve yabancı literatürde yapılan araştırma neticesinde döküm süreçlerinde değişkenliği belirlemek amacıyla genellikle üretilen ürünlerin özelliklerinin kalite karakteristiği olarak ele alındığı ancak bunun yerine ürünün kompozisyonunu oluşturan element oranlarının da kalite karakteristiği olarak kabul edilebileceği tespit edilmiştir.

Söz konusu kalite karakteristiği olarak kabul edilen element oranlarının kalite kontrol grafikleri ile izlenebileceği, ancak yapılan yorumlamalarda hata kaynakları ile ilgili olarak doyurucu bilgilere ulaşılamayacağı ve kalite karakteristikleri sayısının fazla olması durumunda kalite kontrol grafiklerinin etkinliğini azaldığı (Montgomery, 2013) [26] bilgisine ulaşılmıştır. Bunun üzerine hata kaynaklarını ortaya koyan farklı bir yöntem ihtiyacı duyulmuş ve süreç tabanlı temel gösterimleri metodunun kullanılmasına karar verilmiştir. Ayrıca süreç tabanlı temel gösterimleri metodunun imalat sanayinde geometrik sapmaların modellenmesinde başarılı bir şekilde kullanılmış, ancak proses (kimya, petro-kimya, döküm vb.) endüstrilerinde ve birbiriyle ilişki içinde olan kalite karakteristiklerin bulunduğu çok değişkenli endüstriyel üretim süreçlerinde uygulamasının olmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla uygulanan yöntem yeni bir alanda ve birbiriyle ilişkili kalite karakteristiklerinin bulunduğu çok değişkenli bir üretim sürecinde ilk defa uygulanmış ve yerli ve yabancı literatüre katkı sağlamıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmanın amacı, döküm süreçleri ile ilgili olarak yapılan kalite kontrollerinde üretilen ürünlerin iç kompozisyonlarındaki element oranlarının da kalite karakteristiği olarak ele alınabileceği ve söz konusu süreç değişkenliğini etkileyen özel nedenleri belirlemede süreç

tabanlı temel gösterimleri yönteminin kullanılabilirliğini göstermektedir.

4. YÖNTEM

4.1. Araştırmanın Yapıldığı Üretim Süreci ve Uygulama Aşamaları

Yapılan araştırma, Kırıkkale ilinde bulunan MKEK Pirinç Fabrikası Müdürlüğü üretim süreçlerinde beş aşama halinde yapılmıştır. Çalışmanın;

- Birinci aşamasında (1. Adım); pirinç üretim sürecinde araştırmanın amacı kapsamında belirlenen kalite değişkenleri ve parametreleri tanımlanmıştır,
- İkinci aşamasında (2.Adım); süreç tabanlı temel gösterimleri metodunda kullanılan modellerden araştırmaya uygun modelin seçimi yapılmıştır,
- Üçüncü aşamasında (3. Adım); süreç tabanlı temel gösterimleri metodunda bağımlı değişken olarak kullanılan kalite vektörü oluşturulmuştur,
- Dördüncü aşamasında (4. Adım); pirinç üretim sürecinde süreç değişkenliğine etki edebilecek hata kaynakları tespit edilmiş ve bu hata kaynaklarına bağlı olarak kullanılan modelde bağımsız değişkenler süreç tabanlı temel elemanlarının bulunduğu hata matrisi (hata matrisinde her bir sütun bir hata kaynağını temsil etmekte olup aynı zamanda her biri kurulan matematiksel modelde bağımsız değişkenleri temsil etmektedir.) oluşturulmuştur,
- Beşinci aşamasında (5. Adım); kurulan modelin varsayımları ile ilgili çoklu doğrusalılık olup olmadığı kontrol edilmiştir,
- Altıncı aşamasında (6. Adım); çoklu doğrusalılık durumuna göre matematiksel modelde hata kaynaklarının büyüklüğünü temsil eden parametreler hem tek değişkenli kontrol grafiklerinden I , M ve $EWMA$ kontrol grafikleri ile ve hem de çok değişkenli kontrol grafiklerinden Hotelling T^2 kontrol grafiği ile takibi yapılarak yorumlar yapılmıştır.

4.2. Araştırma Yöntemi (Süreç Tabanlı Temel Gösterimleri (STTG))

Günümüzde üretim sistemlerinde veri toplanması için otomatik ve yeni teknolojiyle donatılmış sistemler geliştirilmiştir. Otomatik veri toplama araçları ve sayısal analiz yöntemleri çok hızlı ve masrafsız şekilde çok değişkenli ölçüm yapmakta ve birçok endüstride üretimdeki ölçüm miktarını çoğaltmaktadır. Örneğin imalat sanayinde, kullanım kolaylığı arttırılmış hassas mastar ve ölçüm aletleri, üç-boyutlu koordinat ölçüm cihazları, kameralara veya lazer teknolojisine dayalı optik sistemler, bilgisayarla bütünleşik şekilde hata teşhisinde kullanılmaktadır [28, 35-37]. Kamera sistemleri hem talaşlı hem de elektronik imalat fabrikalarında, üç-boyutlu koordinat ölçüm cihazları ise

genellikle talaşlı imalat fabrikalarında hızla yaygınlaşmaktadır. Bu durum şirketlerin elinde kompleks ve içerisinde birçok gizli bilginin bulunduğu çok sayıda veri kümelerini yani kalite karakteristiklerini ortaya çıkarmaktadır [38].

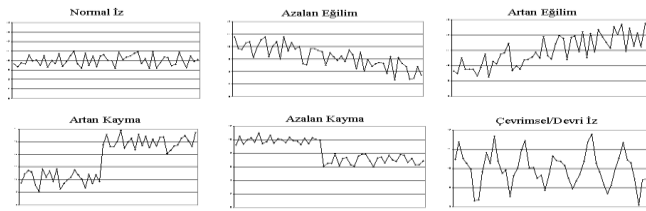
Günümüzde kalite karakteristiği sayısının ve bu kalite karakteristiklerindeki gözlem sayısının artması geleneksel çok değişkenli kalite kontrol grafiklerinin etkinliğini sorgular hale getirmektedir. Örneğin bu durumla ilgili olarak Hotelling T^2 kontrol grafiğini ele alındığında; Hotelling (1947) [25] tarafından önerilen klasik çok değişkenli T^2 kontrol grafikleri ile Montgomery (2009)'nin [39] belirttiği üzere süreç ortalamasının takibi için birbiriyle ilişkili on ve daha az sayıda değişken takip edilebilmektedir. Dolayısıyla değişken sayısı arttığında, problem kaynaklarını teşhis etmede klasik çok değişkenli kontrol grafiklerinin performansı düşmektedir. Bu durumda çok değişkenli $EWMA$ ve $CUSUM$ kontrol grafikleri gibi oldukça etkili yöntemler olmasına rağmen, yükselen değişken sayısı yine de bu kontrol grafiklerinin süreci izleme ve kontrol dışı sinyalleri tespit performansının düşmesine neden olmaktadır [40].

Literatürde, değişken sayısının fazla olması durumunda temel bileşenler analizi, faktör analizi ve gizil kök gibi yöntemlerin kullanılarak bu sayının azaltılması önerilmektedir. Çok değişkenli kontrol grafiklerinde kullanılan faktör analizi yaklaşımı ile ilgili gerekli detaylar Apley ve Shi (1998) [41] ve Lee ve Apley (2004) [42] tarafından yapılan çalışmalarda, temel bileşenler analizi ile ilgili detaylar ise Yang, He ve Xie (1994) [43] ve Ceglarek, Shi ve Wu (1994) [44] tarafından yapılan çalışmalarda bulunmaktadır. Ayrıca, değişken sayısı fazla olduğunda kontrol altına alınabilen ve bilinen nedenlere (anticipated assignable causes) bağlı kontrol grafiklerinin dizayn edilmesi de önem arz etmektedir.

İstatistiksel açıdan ortalama sapmalarını saptama gücü çok yüksek olan çok değişkenli kontrol grafiklerinin yorumlanması da zordur. Çünkü T^2 istatistiği pratikte bir anlam taşımamaktadır. Son yıllarda T^2 sinyallerini doğru yorumlayarak hata teşhisini kolaylaştırmak için birçok yöntem geliştirilmiş [45-47] olup bu yöntemlerin bir kısmı T^2 grafiklerindeki sinyallerden hangi değişkenlerin sorumlu olduğunu saptamayı amaçlamaktadır [48-52]. Bu yöntemlerde sinyale etkisi en çok olan değişken ya da değişken grubunun belirlenmesiyle hata kaynağının doğrudan saptanacağı varsayılmaktadır.

Hata kaynaklarının belli değişkenleri doğrudan etkileyeceği varsayımı her zaman doğru olmamakta; belli değişkenler süreçteki hata kaynaklarının sadece bir kısmının etkilerini açıklayabilmektedir. Bu varsayımın geçerli olmadığı durumlarda, süreçteki hata kaynaklarının çok değişkenli gözlemlerde ne tür izler bırakacağı süreç uzmanlığına dayanarak belirlenerek bu izlerin saptanmasına yönelik yöntemler geliştirilmiştir. Bu izler, değişken ortalamalarının belli yönlerde saptaması şeklinde [28, 35, 52-54] ya da T^2

sinyallerinin kontrol grafiklerinde meydana getirdiği Şekil 1’de gösterilen izlere benzer örüntüler şeklinde [54] olabilmektedir.



Şekil 1. Çok Değişkenli Kontrol Grafiklerinde Oluşan Tipik Örüntü Örnekleri

Kaynak: Orçanlı K., Oktay E. ve Birgören B. (2015). “Çok Değişkenli Kontrol Kartları Örüntü Tanıma Literatüründe Bir Araştırma”, Social Sciences Research Journal, 4(2), 23-42 [55]

Genellikle bu çalışmalar zaman boyunca değil, sadece bir parçadan alınan gözlemlerde oluşan izler üzerine yoğunlaşmıştır. Bu kapsamda bir parça üzerinde aynı kalite karakteristiğinin çoklu ölçümleri alınıp bir kalite vektörü oluşturulmuş birçok örnekleri bulunmaktadır. Bu parçanın göstergesi olarak bu ölçümlerin birleştirilmesi sonucu kalite vektörü oluşturulur. Can ve Zhou (1993) [56] ve Avis ve Classen (1995) [57] tarafından yapılan çalışmalar bu kapsamda örnek olarak verilebilir.

Üretilmiş bir parçanın yüzeyindeki hata örüntüleri ile süreç hataları arasında ilişki kurma, kalite vektörünü temsil ederek parçaların üzerinde gözlemlenen hata örüntülerini teşhis etmek için bir yol sağlar. Süreçteki değişkenliğin veya yanlılığının her potansiyel nedeni için bir hata izini tanımlamanın mümkün olduğu kabul edilmektedir. Bu bilgiler süreç bilgisinden, süreç hatalarının derin bir şekilde tanımlanabilen deney tasarımından ya da simetri/asimetri örüntülerden elde edilmektedir [28]. Bu kapsamda, Apley ve Lee (2003) [58], Apley ve Shi (2001) [59] ve Jin ve Zhou (2006) [60] geçmişte birikmiş verilerde örüntü izlerinin tanımlanması için bazı metotlar önermiştir. Ding, Gupta ve Apley (2004) [61], Huang ve Shi (2004) [62] ve Jin ve Zhou (2006) [60] ise gözlemlenen kalite vektörünün örneklem kovaryans matrisini kullanarak hata izlerini tanımlamak için çeşitli yöntemler geliştirmiştir. Bu konu üzerine yapılan araştırmalar, çok değişkenli verilerde oluşan bazı örüntülerle problem kaynakları arasında doğrudan bağlantılar olmasından hareket etmişlerdir. Bu amaçla çok değişkenli uzayda yönlerle ilişkili kontrol bölgeleri tanımlanması [63] ve T^2 sinyalinin Scheffe tipi aralıklarla çözümlenerek anlamlı sapma yönlerinin bulunması [52] gibi çeşitli geliştirilen yöntemler vardır ve bu yöntemlerden birisi de regresyonla kalite vektörünün yönler cinsinden çözümlenmesi olan Süreç Tabanlı Temel Gösterimler (STTG) yöntemidir [28, 35].

4.3. Süreç Tabanlı Temel Gösterimler Yönteminin Temelleri

STTG yöntemi, Barton ve Gonzalez(1996) [28] tarafından geliştirilmiş istatistik tabanlı çok değişkenli bir süreç teşhis yöntemidir [52, 64-66]. Bu yöntem; çok değişkenli verilerde oluşan desenleri saptamak amacıyla geliştirilmiş olup çoklu doğrusal regresyona dayanmakta ve üretim süreçlerindeki özel nedenlerin kalite vektörü üzerinde oluşturduğu örüntülerle bağlantı kurarak ürün performansındaki değişkenliğin en muhtemel sebeplerini tanımlamaktadır.

STTG yönteminin temelinde pozisyon boyut diyagramları ve çok boyut çizelgeleri yatmaktadır. Pozisyon boyut diyagramları, parçaların teknik çizimlerini andıran şekiller üzerinde, gözlem alınan noktalardaki ölçümleri göstermektedir. Çok boyut çizelgeleri ise, birbiriyle ilişkili birden çok kalite değişkenini belli geometrik şekiller oluşturacak şekilde çizelgeleyerek hata kaynaklarının ürettiği izler kolayca gözlemlenebilmektedir. Ayrıca STTG yönteminde bir ürüne ait çok değişkenli kalite karakteristikleri vektörünün hedef değere göre sapmaların oluşturduğu örüntü, birbirine göre bağımsız hata kaynaklarının hedef değere göre oluşturduğu örüntülerin cebirsel toplamına eşit olduğu mantığına dayanmaktadır. Dolayısıyla her bir hata kaynağının oluşturduğu örüntünün standart bir temel vektörü bulunmaktadır.

4.4. STTG Yöntemine Matematiksel Bakış

STTG yöntemi, bir süreçte özel nedenlerin çok değişkenli kalite vektörü x üzerinde bilinen örüntüler oluşturduğu durumlarda regresyon analizi gibi tekniklerle kalite vektöründe hangi özel nedenlerin etkili olduğunu ortaya koymayı amaçlamaktadır.

x , kalite vektörü üzerinde hata kaynaklarının oluşturduğu sapmalardan oluşan örüntü matrisini, A , hata matrisini, a_i , A hata matrisinin i 'nci sütunu i 'nci özel nedenin oluşturduğu örüntüyü veya hata vektörünü, k , bir süreçte tespit edilen hata sayısını $i=1,2,\dots,k$ ve m ise değişken sayısını temsil etsin. Dolayısıyla k adet hata kaynağının oluşturduğu A hata matrisi, $A=[a_1|a_2|\dots|a_k]$ şeklinde ve her bir hata ise a_i şeklinde gösterilir. Burada $\{a_1,a_2,\dots,a_k\}$ 'e “süreç tabanlı temel elemanlar” denir. Kalite vektörü üzerinde oluşan x örüntü vektörünü bağımlı değişken ve A hata matrisinin her bir elemanını veya süreç tabanlı temel elemanı bağımsız değişken olarak kabul edersek STTG yönteminde matematiksel modeller hata matrisindeki satır ve sütun sayısına bağlı olarak denklem (2) ve denklem (3) şeklinde kurulmaktadır.

$$x=Az \text{ veya } x=Az+\varepsilon, \varepsilon\sim(0,\sigma^2) \text{ b.ö.d} \quad (2 \text{ ve } 3)$$

Denklem (2) ve Denklem (3)'teki z 'ler hata kaynağının büyüklüğünü temsil etmektedir ve STTG katsayıları olarak adlandırılır. Denklem (2)'deki parametreler basit lineer

denklem çözümü ile ve Denklem (3), parametreler ise en küçük kareler yöntemi ile elde edilmektedir. Söz konusu iki model çözümlenerek z 'ler yani STTG katsayıları elde edilmektedir.

Yukarıda açıklandığı üzere temel elemanları temsil etmek üzere eğer konuyu basit bir cebir işlemi olarak düşünecek olursak x vektörünün her bir bileşeni birbirinden bağımsız temel elemanlar oluşturmaktadır. Bu durumda x vektörü, bağımsız temel elemanların toplamından oluşur ve $x = a_1 e_1 + a_2 e_2 + a_3 e_3 + \dots + a_k e_k$ şeklinde olur. Burada temel elemanlar yani e 'ler $(1, 0, 0, \dots, 0)$, $(0, 1, 0, \dots, 0)$, $(0, 0, 1, \dots, 0)$, \dots , $(0, 0, 0, \dots, 1)$ şeklinde alabiliriz. Ancak temel elemanların bu şekilde alınması problemin çözümü için yeterli olmamaktadır. Çünkü temel elemanların bağımsızlığı sağlanmıştır ancak her temel vektör sadece bir kalite karakteristiğini temsil etmektedir. Bu temel elemanlar yerine çok değişkenli kalite vektörünü temel eleman olarak temsil eden temel elemanlara ihtiyaç duyulmaktadır. İşte bu durumda temel elemanları göstermek amacıyla Barton ve Gonzalez (1996) [28] tarafından önerilen temel eleman hesaplama yönteminin değeri ortaya çıkmaktadır.

Hata matrisinin satır ve sütunları yani çok değişkenli kalite vektöründeki değişken sayısı ile hata sayısı eşit ise yukarıda belirtilen matematik modelden Denklem (2) kullanılır. Eğer hata kaynak vektörleri veya STTE'ler birbirinden bağımsız veya ortogonal ise söz konusu birinci matematiksel model $x = z_1 a_1 + z_2 a_2 + \dots + z_k a_k$ şeklinde kurulmaktadır. Hata matrisinin satır sayısı sütun sayısından büyükse Denklem (3)'te yer alan matematiksel model kullanılır. Ancak genellikle kalite vektörü boyutu özel neden sayısından büyük olduğu için daha çok bu matematiksel modellerden Denklem (3)'te yer alan matematiksel model kullanılır. Literatürde hata terimi vektörü ϵ için $\epsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ ve bağımsız, özdeş, dağılımı $(b.ö.d.)$ varsayılmıştır. Denklem (3)'te yer alan matematiksel modelde a_i 'ler bilinen özel nedenleri modellediğinden hata terimi genel nedenler ile süreç üzerinde az veya hiç etkisi olmayan ve bilinmeyen diğer özel nedenleri temsil eder [28].

Yukarıda sözel olarak açıklanan yöntem matematiksel olarak şu şekilde açıklanabilir. Bir ürünün çoklu ölçüm değerlerinin sürecin sonunda ulaşılması istenen hedef değerlerden sapmalarından oluşan çok değişkenli kalite vektörü x , STTE matrisi A ve STTG katsayıları z ile gösterilecek olursa, yöntemle ilgili Denklem (2) ile Denklem (3)'te yer alan iki adet matematiksel model önerilmektedir. Denklem (2)'de yer alan matematiksel model $x = Az$ ve denklem (3)'te yer alan matematiksel model ise $x = Az + \epsilon$ dir. Burada $\epsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ ve $(b.ö.d.)$ 'dir. STTE hata matrisindeki kalite değişken sayısı ile STTE sayısının eşit olup olmamasına göre STTG katsayılarının hesaplanmasında bazı farklılıklar bulunmaktadır. Kalite değişkeni sayısı temel eleman sayısına eşit (denklem (2)) ise STTG katsayıları yani z 'ler basit lineer eşitlik yardımıyla yani $z = (A)^{-1}x$ çözümü ile bulunur. Eğer STTE hata matrisinin satır sayısı sütun sayısından büyükse (denklem (3)) bu durumda ise STTG

katsayıları $z = (A'A)^{-1}A'x$ çözümü ile çözülmektedir. Fakat STTE hata matrisinin satır sayısı sütun sayısından küçük olması durumunda belirtilen çözüm yaklaşımları ile STTG katsayıları hesaplanamamaktadır [28].

STTG yöntemi literatüründe Denklem (2) ve Denklem (3)'te yer alan matematiksel modeller bulunmaktadır. m 'yi kalite vektöründeki kalite değişken sayısı ve k 'yi hata kaynağı sayısı olarak kabul edersek; $m < k$ durumu yani kalite değişken sayısının hata kaynağı sayısından az olması durumunda literatürde çözüm yolu veya uygulamaya yönelik yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. $m < k$ durumunda kullanılacak yol olarak değişken seçimi kavramı ortaya çıkmaktadır [28].

Çok değişkenli regresyon çözümlemesinde, modeli oluşturan bağımsız değişkenlerden bazılarının modele katkısı önemsiz olabilir. Bu nedenle bağımlı değişkeni en uygun şekilde açıklayacak bağımsız değişkenlerin belirlenmesi ve önemsiz değişkenlerin modelden çıkarılması gerekir. Bu sürece "değişken seçimi" denir. Değişken seçimi için kullanılan çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden biri adimsal regresyon yöntemleridir.

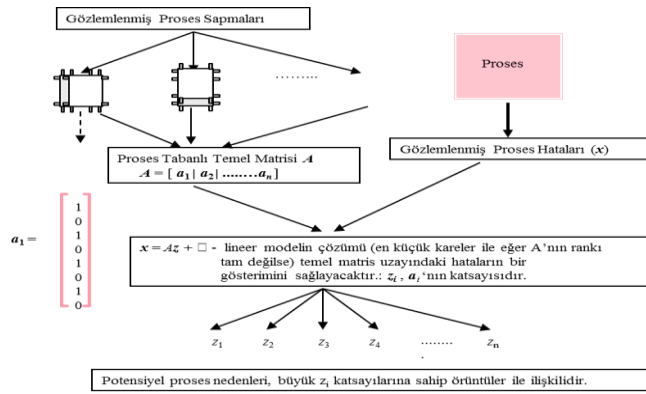
Buraya kadar STTG yönteminin mantığı ve kullanılan matematiksel modeller anlatılmaya çalışılmıştır. Özet olarak ele alınması gerekirse STTG metodolojisinin uygulama adımları aşağıya çıkarılmıştır. STTG metodolojisinin grafiksel olarak anlatımı ise Şekil 5'te verilmiştir [66].

1. Aşama: Kesin süreç problemleri belirlenir. Her farklı süreç problemi, a_1, a_2, \dots, a_k olarak adlandırılmaktadır. Her bir a vektörü bir adet hata kaynağını temsil etmekte ve bunlar süreç tabanlı temel elemanları olmaktadır. Daha sonra STTG metodolojisine uygun olarak süreç tabanlı temel elemanları birleştirilerek hata kaynağı matrisi (A) yani temel elemanlar matrisi oluşturulmaktadır [66].

2. Aşama: m elemanlı x kalite vektörünü oluşturmak için tek bir ürün için benzer ölçüm seti bulunmaktadır.

3. Aşama: 2'nci adımda elde edilen x kalite vektörü bağımlı değişken ve 1'inci adımda elde edilen süreç tabanlı temel elemanları (hata kaynakları) açıklayıcı (bağımsız) değişkenler olarak ele alınarak bunlara sıradan en küçük kareler yöntemi uygulanmaktadır. Bu sayede $x = Az + \epsilon$ $\epsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ ve $(b.ö.d.)$ şeklindeki çoklu doğrusal regresyon yöntemi çözülür ve regresyon katsayıları elde edilmektedir. Burada elde edilen regresyon katsayıları STTG katsayıları olarak adlandırılmaktadır [66].

4. Aşama: STTG katsayıları tek veya çok değişkenli kontrol grafikleri ile izlenerek süreç hakkında karar verilmeye çalışılmaktadır. Eğer çok değişkenli kontrol grafiklerinde kontrol dışı sinyal tespit edilirse uygun ayarlar yöntemi ile hata kaynağı hangi STTG katsayısı veya katsayı gruplarından kaynaklandığı bulunmaya çalışılmaktadır.



Şekil 5. STTG Yönteminin Özet Olarak Grafiksel Gösterimi

Kaynak: Padilla, V.O. (2005), Process oriented basis estimation in presence of non-orthogonal basis elements, (Master Thesis), University of Puerto Rico, Puerto Rico [66].

4.5. STTG Yönteminin Yararları

STTG yönteminin üretim süreçlerinde yapılan kalite kontrol uygulamaları kapsamında sağladığı yararlar Schmitt, Marcus ve Barton (2002) [67] tarafından yapılan çalışmada incelenmiş ve simülasyon ile temel bileşenler analizi ile STTG yöntemi karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, STTG yönteminin temel bileşenler analizi yönteminden üstün olduğu ortaya konulmuştur. Bu karşılaştırmaya dayanarak Schmitt, Marcus ve Barton (2002) [67], STTG yönteminin yararlarını dört ana başlıkta toplamıştır. Bu kapsamda STTG yönteminin sağladığı yararlar aşağıya çıkarılmıştır.

- STTG yöntemi, çok sayıda birbiriyle ilişkili çok değişkenli verileri daha az boyuta indiren ve onları anlamlı bir hale sokan bir yöntemdir. Bu sayede süreçte meydana gelen kontrol dışı sinyali yorumlayacak hata teşhisi süreç uzmanları veya mühendisler açısından daha basit hale gelmektedir [28, 67, 63].

- Bir süreçte tek ve çok değişkenli kontrol grafikleri ile sürecin davranışı veya değişkenlik durumu izlenebilmektedir. Ancak, süreçte kontrol dışı bir durum oluştuğunda hata kaynaklarının tespiti için başka analitik yöntemler gerekmektedir. Ayrıca, çok değişkenli kontrol grafikleri ile izlenen değişken sayısı onun üzerine çıktığında kontrol grafiklerinin etkinliği azalmaktadır [26]. STTG yöntemi, belirtilen bu iki duruma bir çözüm olarak kullanılabilir.

- Barton ve Barreto (1999)'ya [68] göre STTG yönteminde, bir sürecin davranışını anlamak ve izlemek için diğer istatistiksel kalite kontrol yöntemlerine göre daha az çaba harcanmaktadır.

- Apley ve Shi (2001)'e [59] göre STTG yönteminde, kontrol dışı sinyalin arkasında yatan hata daha kolay teşhis edilebilmektedir.

- STTG yönteminde bir süreçte meydana gelen kontrol dışı sinyali yönetme ve kontrol dışı teşhis ile ilgili maliyetler diğer yöntemlere göre daha düşüktür. Çünkü süreçte meydana gelen hata kaynakları önceden belirlendiğinden dolayı gayret ve çabalar önceden belirlenen hata kaynaklarına yönelmektedir. Dolayısıyla bütün hata kaynakları ile ilgilenme yerine sadece belirlenen hata kaynakları ile ilgilenildiğinden maliyet düşmektedir.

4.6. STTG Yönteminin Sınırlıkları

Klasik tek değişkenli süreç kontrol teknikleri, STTG metodolojisinde kullanılmaktadır. Tek değişkenli kontrol grafiklerinde, süreç değişkenlerini izlemek yerine en küçük kareler yöntemi sonucunda elde edilen STTG katsayıları izlenmektedir. Ancak STTG katsayılarının çok değişkenli kontrol grafikleri ile ilgili prosedürler uygulanacak olması durumunda beş önemli problem bulunmaktadır [63].

Birinci problem, STTG katsayılarının çok değişkenli normal dağılımı varsayımını sağlayıp sağlamadığı ile ilgili problemdir. Çok değişkenli kontrol grafiklerinde izlenecek olan değişkenlerin çok değişkenli normal dağılımı varsayımını sağlaması gerekir. Burada STTG katsayıları birlikte çok değişkenli normal dağılımı varsayımını sağlaması konusunda bir garanti yoktur. Bu nedenle STTG katsayılarını çok değişkenli kontrol grafikleri ile izlemek için parametrik olmayan yöntemler önerilmiştir [63].

İkinci problem çok değişkenli kontrol grafikleri ile izlenen STTG katsayılarıyla ilgili yorumlama problemdir. Her ne kadar normal olarak geçmişten günümüze kontrol dışı sinyalin yorumlanmasıyla ilgili ve bu bölümün ikinci kısmında anlatılan bazı yöntemler olsa da kesin bir çözüm elde edilememektedir. Barton ve Barreto (1996) [28] tarafından yapılan çalışmada, STTG katsayıları tek değişkenli kontrol grafikleri ile izlenebileceği gösterilmiştir. Ayrıca bu katsayıların çok değişkenli kontrol grafikleri ile de izlenilebileceği belirtilmiştir. Ancak, Birgören (1998) [63], genel bir eksiklik olarak bu katsayıların çok değişkenli kontrol grafikleri ile de izlenilebileceği ile ilgili tam olarak açık olmadığını belirtmektedir.

Üçüncü problem, ortaya konan hata vektörleri yani temel elemanlar arasındaki çoklu bağlantı sorunudur [35]. Çoklu bağlantı ortaya çıktığında, eğer çoklu doğrusallık tam ise STTG katsayıları belirsiz olup bunların standart hataları sonsuzdur. Eğer çoklu doğrusallık tamdan az ise, STTG katsayıları belirlenebilmekle beraber katsayılara oranla büyük standart hatalar taşır. Bu da katsayıların büyük bir doğruluk veya kesinlikle tahmin edilememeleri anlamına gelir [25]. Barton ve Barreto (1996) [28], Espada-Colon ve Gonzalez-Barreto (1997) [35], Padilla (2005) [66] söz konusu problemin STTG metodolojisinde nasıl halledilebileceğini göstermiş ve yöntemleri açıklamıştır. Dördüncü problem, yapılan bu çalışmada tespit edilen durumdur. Regresyon varsayımları incelendiğinde; varsayımlardan bir tanesi gözlenen sayısının değişken sayısından devamlı olarak büyük olması varsayımdır.

Yapılan vaka çalışmasında bu durum ile karşı karşıya kalınmıştır. Bu durumda istatistikte değişken azaltma veya değişken seçim teknikleri kullanılabilir (Değişken azaltma yöntemleri ve adimsal (stepwise) regresyon analiz yöntemi).

Beşinci problem, yine bu çalışmaya paralel olarak Orçanlı, Birgören ve Oktay (2017) [55] tarafından yazılan bir makalede gözlem sayısının değişken sayısından fazla olması durumunda kullanılacak denklem (3)'te yer alan modeldeki hata teriminin her zaman olmama durumudur. Dolayısıyla önerilen model elektronik sanayi için uygun olabilir ancak elektronik sanayisi dışındaki diğer endüstri alanında uygun olmama durumu ile karşı karşıya kalınabilmektedir.

4.7. 1. Adım: Değişkenlerin ve Parametrelerin Tanımı

Aşağıdaki tanımlar üretilecek MS58 cinsi pirinç türü içindir. Pirinç türü değiştiğinde katsayı değerleri de değişmektedir.

- i :Element türü,
- j :Hurda türü,
- k :Kontrol grafikleri faz aşaması,
- t :Numune sayısı veya ölçüm vektörü sayısı,
- $W_{t,ix1}$:Spektral analiz sonunda elde edilen t'inci ölçüm vektörü
- W_{it} :Spektral analiz sonunda elde edilen t'inci ölçüm vektörünün içindeki i'inci elementin yüzdesi
- W_{kit} :Spektral analiz sonunda elde edilen k'ıncı fazdaki t'inci ölçüm vektörünün içindeki i'inci elementin yüzdesi
- H_j :j'inci hurda
- H_{ij} :j'inci hurdanın i'inci elementinin yüzdesi
- $x_{t,ix1}$:Spektral analiz sonunda elde edilen t'inci ölçüm vektörü ile hedef MS58 cins pirinç element yüzdeleri içeren vektör arasındaki hata vektörü yani analize konu olan kalite vektörü
- x_{kit} :Analize konu olan k'ıncı fazdaki t'inci kalite vektörünün içindeki i'inci elementin yüzdesi
- A_{ixt} :m sayıda kalite değişkenli ve t hata sayılı süreç tabanlı temel elemanlar matrisi
- a_j :j'inci süreç tabanlı temel elemanlar vektörü
- a_{ij} :j'inci süreç tabanlı temel elemanlar vektörünün i'inci elementin yüzdesi
- z_{kj} :k'inci faz aşamasının j'inci süreç tabanlı temel gösterimleri katsayısı
- D_{ix1} :Hedef MS58 cins pirinç element yüzdeleri içeren vektör
- D_i :Hedef MS58 cins pirinç i'inci element yüzdesi
- M_D :Hedef MS58 cins pirinç ağırlığı
- m_j :Karışıma j'inci hurdadan atılan fazla veya eksik atılan miktarın ağırlığı
- ε :Hata terimi veya genel nedenler, $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$

4.8. 2. Adım: Modelin Kurulması

Literatür incelendiğinde, STTG yöntemi ile ilgili Barton ve Gonzalez (1996) [28] tarafından önerilen iki modelin ve Runger, Barton, Castillo ve Woodall (2007) [40] tarafından önerilen üç matematiksel modelin bulunduğu tespit edilmiştir. Matematiksel modeller incelendiğinde, Pirinç Fabrikası Müdürlüğündeki üretim sürecine, Barton ve Gonzalez (1996) [28] tarafından Denklem (3)'te yer alan matematiksel modelin uyduğu söylenebilir.

$$x = Az + \varepsilon, \quad \varepsilon \sim N(0, \sigma^2) \quad (3)$$

Yukarıda yer alan matematiksel modelin çoklu regresyon modeli olduğu görülmektedir. Ancak çoklu regresyon modelinden farkı, bu modelin orijinden geçen bir model olmasıdır. Çünkü model bağımlı ve bağımsız değişkenlerin ortalamaya göre veya herhangi bir vektöre göre sapma değerlerine dayalı kurulması durumunda sabit katsayı hesaplanmamaktadır.

4.9. 3. Adım: Kalite Vektörü (x)'nin Oluşturulması

Çalışmada kullanılacak kalite vektörü, eriyikten alınan numunelerin spektral analiz sonucunda elde edilen element yüzdelerinin oluşturduğu çok değişkenli gözlem vektörü (W) ile DIN standartlarında ve döküm sonunda ulaşılmak istenen hedef değer vektörü arasındaki fark olan hata vektöründen oluşmaktadır. Burada döküm sonunda ulaşılmak istenen hedef değer vektörü D ile simgelenen olunursa, hedef değer vektörü D_{ix1} olarak gösterilebilir. Burada i, bu vektörün içindeki elementlerin sayısını simgelemektedir. Çalışmada yedi adet element olduğundan i yedi değerini alır. Dolayısıyla bu vektör, yani $D_{7x1} = (D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6, D_7)$ şeklinde gösterilir. Burada hedef değer vektörü;

$$D_{7x1} = \begin{bmatrix} 58 \\ 3 \\ 0.25 \\ 0.2 \\ 0.05 \\ 0.25 \\ 0.01 \end{bmatrix}$$

olur. Bu vektörde yer alan değerler Tablo 1'de gösterilen element değerlerinin alt ve üst değerlerinin ortalamasıdır. Örneğin, 1'inci element olan Cu elementinin alt sınırı %57, üst sınırı ise %59'dur. Dolayısıyla alt ve üst sınırların değerleri ortalaması; $(\%59 + \%57) / 2 = \%58$ olarak hesaplanır.

Eğer her bir W vektöründen D_{ix1} vektörünü çıkartacak olursak; ikinci durumda kullanılacak çok değişkenli gözlem fark vektörleri (Formül 1'deki ve Formül 2'deki x'ler) elde edilir. Dolayısıyla kalite vektörü aşağıda yer alan formülasyon ile genelleştirilebilir.

$$\begin{aligned}
 &W_{kit} - 58.0 \\
 &W_{kit} - 3.00 \quad k=1,2 \\
 &W_{kit} - 0.25 \\
 x_{kit} = &W_{kit} - 0.20 \quad \text{Faz I (k=1): } i:1,2,\dots,7 \text{ ve } t=1,2,\dots,50 \\
 &W_{kit} - 0.05 \quad \text{Faz II (k=2): } i:1,2,\dots,7 \text{ ve } t=1,2,\dots,334 \\
 &W_{kit} - 0.25 \\
 &[W_{kit} - 0.01]
 \end{aligned}$$

Ayrıca yukarıda yer alan formülasyonda k ve t simgeleri yer almaktadır. Formülasyonda k ve t simgeleri faz aşamalarını ve örneklerdeki gözlemleri temsil etmektedir. İstatistiksel kontrol grafiklerinde süreç standart sapması ve sürecin ortalaması bilinmediğinde söz konusu değerler süreçten alınan örneklerden hesaplanır. Bu durumda süreçte ait standart sapma ve ortalama değerleri bulabilmek için kontrol grafikleri iki aşamada kurulur ve her bir aşama faz olarak isimlendirilir. Kontrol grafiklerinin *Faz I* ve *Faz II* safhası olarak iki aşamada kurulmasından dolayı, k ; faz adımlarını, t ; *Faz I* ve *Faz II* aşamalarında izlenen örneklem hacimlerini ve i ; kalite karakteristiklerini yani element sayısını temsil etmektedir. Bu çalışmada örneklem hacimleri 50 ölçüm ve 334 ölçüm olmasından dolayı t 'ye *Faz I* aşamasında 50 değeri ve *Faz II* aşamasında ise 334 değeri atanmıştır.

4.10. 4. Adım: Süreç Tabanlı Temel Elemanları (A)'nın Üretilmesi

Özel (2005) [1] tarafından yapılan çalışmada, kalite karakteristiği olarak belirlenen eriyik haldeki pirinç alaşımı içindeki element oranları tek ve çok değişkenli kontrol grafikleri ile incelenmiş ve kontrol dışı sinyal tespit edildiğinde yorumlanması esnasında hata kaynağı MYT ayırıştırma metodu ile değişkenlerde yani element oranlarında aranmıştır. Ancak bu element oranlarında hata kaynağının aranması süreç uzmanlarına sınırlı bilgi sunar. Bunun üzerine söz konusu problem ile ilgili olarak daha sonra sebep-etki diyagramı oluşturulmuş ve bu problemin hata kaynaklarını bulmak amacıyla süreç ve kalite uzmanlarından yardım alınmıştır. İnceleme sonunda istenilen özelliklerde pirinç alaşımının üretilmesine etki eden bilinen hata kaynağı olarak birçok neden ortaya konmuş, ancak bilinen hata kaynağı olarak "üretim sürecinin başında saf ve hurda malzemelerin harmanlanması sonucunda oluşturulan şarjlarda hurda malzemelerin kantardan, malzemenin durumundan veya personelden kaynaklanan istenen oranda konulamaması" yani "şarj içine hurda cinslerinin fazla veya az konulması" olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla hata kaynaklarının yani süreç tabanlı temel elemanlar matrisinin oluşturulmasında temel elemanların hurda cinsleri tarafından temsil edilmesi gerektiğine karar verilmiştir. STTG yöntemindeki matematiksel model incelendiğinde eriyik haldeki pirinç alaşımı elementlerin yüzde oranlarının kalite vektörü olan DIN 17660 standartları göre oluşturduğu sapmaların oluşturduğu örüntü, hata kaynağı olarak kabul edilen hurdaların elementlerin yüzde değerlerinin yine kalite vektörü olan DIN 17660 standartları göre oluşturduğu sapmaların oluşturduğu örüntülerin toplamından oluşmaktadır.

Söz konusu modeli Pirinç Fabrikası Müdürlüğü üretim sürecinde uygulayabilmek amacıyla fabrikanın son sekiz sene üretim sürecinin kayıtları incelenmiştir. Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde son sekiz sene içinde pirinç alaşımının üretiminde kullanılan 25 adet hurda cinsi tespit edilmiş olup, bu hurdaların isimleri Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde Kullanılan Hurda Cinsleri

Hurda Numarası	Hurda İsmi
Pirinç Fabrikası Müdürlüğü dâhili	
1.Hurda	MS 58 (Ara iş)
2.Hurda	Kovanlık-fişeklik MS-70 (Ara iş)
3.Hurda	MS 90 Tombak Paket (Yüksük)
4.Hurda	Soyma Cu
5.Hurda	Kablo Bakır (Granül Bakır)
6.Hurda	Hurda Radyatör
7.Hurda	Hurda Elektrolit Zn (E-Zn)
8.Hurda	Reganya Toprak
9.Hurda	Reganya Takoz
10.Hurda	Elektrolit Külçe Kurşun (E-Pb)
11.Hurda	Katot Bakır
Pirinç Fabrikası Müdürlüğü harici	
12.Hurda	Demirli Tombak (Yüksük 90)
13.Hurda	Pirinç 70 (G.Ankara Talaşı)
14.Hurda	Boş kovan 70 (Fesih Hurda Kovan)
15.Hurda	Hurda Kapçık 70 (Fesih Hurda Kapçık)
16.Hurda	Elektrolit Külçe Zn (E-Zn)
17.Hurda	Harici Pirinç ve Bronz Talaşı
18.Hurda	Harici Pirinç ve Bronz Hurdası
19.Hurda	Harici Hurda Bakır
20.Hurda	Kurşunlu Kapçık Müftüoğlu
21.Hurda	Gemi Hurdası
22.Hurda	Çelik Jant (araç)
23.Hurda	Yüksük Ara İşi
24.Hurda	Kovan Pulu Ara İşi
25.Hurda	Boş Kovan 90

Ancak, pirinç alaşımı üretmek için kullanılan hurda cinsleri Tablo 2'de yer alan 25 adet hurda cinsi ile sınırlı değildir. Yani pirinç alaşımı içinde bulunan ve ana maddelerden olan Pb ve Zn elementlerinin yoğun olarak bulunduğu bütün hurda cinsleri kullanılmaktadır. Dolayısıyla pirinç alaşımı için kullanılan hurda cinslerinin sayısı Tablo 2'de yer alan 25 adet hurda cinsi sayısının üzerine çıkmaktadır. Ancak, bu çalışmada veriler 01 Ocak 2015-31 Mart 2015 döneminde toplanmıştır. Bu zaman diliminde üretilen pirinç alaşımları için 18 adet hurda cinsi kullanıldığı için, çalışma 18 hurda cinsi ile sınırlandırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan hurda cinsleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde Son Sekiz Yıl İçinde Kullanılan Hurda Cinsleri

Hurda Numarası	Hurda İsmi
Pirinç Fabrikası Müdürlüğü dâhili	
1.Hurda	MS 58 (Ara iş)
2.Hurda	Kovanlık-fişeklik MS-70 (Ara iş)
3.Hurda	MS 90 Tombak Paket (Yüksük)
4.Hurda	Soyma Cu
5.Hurda	Kablo Bakır (Granül Bakır)
6.Hurda	Hurda Radyatör
7.Hurda	Hurda Elektrolit Zn (E-Zn)
8.Hurda	Reganya Toprak
9.Hurda	Reganya Takoz
10.Hurda	Elektrolit Külçe Kurşun (E-Pb)

Pirinç Fabrikası Müdürlüğü harici	
11.Hurda	Pirinç 70 (G.Ankara Talaşı)
12.Hurda	Boş kovan 70 (Fesih Hurda Kovan)
13.Hurda	Hurda Kapçık 70 (Fesih Hurda Kapçık)
14.Hurda	Elektrolit Külçe Zn (E-Zn)
15.Hurda	Harici Pirinç ve Bronz Talaşı
16.Hurda	Harici Pirinç ve Bronz Hurdası
17.Hurda	Harici Hurda Bakır
18.Hurda	Kurşunlu Kapçık Müftüoğlu

STTG yöntemindeki matematiksel model ele alındığında hata kaynağı veya bağımsız değişken sayısı on sekiz ve her bir hata kaynağındaki veya bağımsız değişkendirdeki çok değişkenli kalite vektöründeki kalite karakteristiği sayısı veya gözlem sayısı ise yedidir.

STTG yöntemi ile ilgili literatür araştırması incelendiğinde; iki çeşit matematiksel model (Formül-1 ve Formül-2) önerildiği tespit edilmiştir. Birinci matematiksel modeldeki (Formül-1) hata matrisi, hata kaynağı ile kalite karakteristiğinin eşitliği varsayımı üzerine ve ikinci matematiksel model (Formül-2) ise kalite karakteristiği sayısının hata sayısından fazla olması varsayımı üzerine oluşturulduğu görülmüştür. Bu çalışmada yapılan uygulamada ise kalite karakteristiği sayısı hata kaynağı sayısından küçüktür. Dolayısıyla söz konusu her iki modelin, bu çalışmada kullanılamaması durumu ile karşılaşılmıştır. Karşılaşılan bu durumun regresyon analizi kullanılarak çözülebilir. Regresyon analizinde gözlem sayısı parametre sayısından az ise gözlem sayısının artırılması veya değişken sayısının azaltılması diğer bir değişle modele anlamlı değişkenlerin seçilmesi önerilmektedir. Anlamlı değişkenlerin seçilmesi için önerilen yöntemler sırasıyla bağımsız değişkenleri birleştirme yöntemi, tüm muhtemel alt kümeler yöntemi, adimsal yöntemler ve genelleştirilmiş ters matris olarak dört gruba ayrılmaktadır.

Bağımsız değişkenleri birleştirme yönteminde, aynı veya aralarında tam pozitif korelasyona sahip gözlem değerleri sadece bir değişken tarafından temsil edilir. Dolayısıyla örneğin bu durumda beş bağımsız değişken varsa bu beş bağımsız değişken sadece bir bağımsız değişken ile temsil edilir ve toplam bağımsız değişken sayısında dört adet bağımsız değişken eksilmiştir olur.

Tüm muhtemel alt kümeler yönteminde, araştırmacının bir veya daha fazla aday bağımsız değişkeni içeren tüm regresyon denklemlerinin oluşturulması gerekir. Bu denklemler en uygun ölçütlere (çoklu belirtme katsayısı, düzeltilmiş çoklu belirtme katsayısı, artık kareler ortalaması, Mallow'un C_p istatistiği, akaike bilgi ölçütü, bayesçi benzerler) göre değerlendirilir ve en iyi regresyon modeli seçilir. Tüm muhtemel regresyonlar hesaplama açısından yüklü olabileceğinden yalnızca az sayıda regresyon modellerini değerlendirmek amacıyla her adımda bağımsız değişkenleri ekleyerek ya da çıkartarak gerçekleştirilen

farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler adimsal yöntemler olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemler genellikle üç kategoride sınıflandırılmaktadır. Bu yöntemler sırasıyla ileriye doğru seçim, geriye doğru çıkarma ve adimsal seçimdir [69]. Yukarıda açıklanan değişken indirme yöntemlerinin bu çalışmada hata kaynağı veya kurulan modelde bağımsız değişken olarak seçilen hurdaların özellikleri ile ilgili olarak yapılan değişken azaltma işlemleri müteakip maddelerde açıklanmıştır. Ancak bu kapsamda yapılan işlemlerle ilgili olarak hurdaların içindeki elementlerin oranları Orçanlı (2017) [70] tarafından hazırlanan doktora tezinde yer almaktadır.

Hurda malzemelerin içindeki elementlerin yüzde oranlarına bakıldığında; 3.Hurda: MS 90 Tombak Paket (Yüksük), 4.Hurda: Soyma Cu, 5.Hurda: Kablo Cu (Granül Cu), 7.Hurda: Hurda Elektrolit Zn (E-Zn), 10.Hurda: Elektrolit Külçe Kurşun (E-Pb), 14.Hurda: Elektrolit Külçe Zn (E-Zn) ve 17.Hurda: Harici Hurda Cu cinslerinin saf malzeme (malzemeler her ne kadar hurda olsa da saf malzeme özelliği taşımakta olup emrüteler ihmal edilecek kadar az bulunmaktadır) olduğu görülmektedir. Dolayısıyla modelimize hata kaynağı olarak başlangıçta bulunan 18 hurda cinsinin içinden bu saf malzeme özelliği taşıyan hurda cinslerini çıkararak geri kalan 11 hurda cinsini almamız gerekmektedir.

Geri kalan hurda cinslerinin element oranlarını tekrar incelediğimizde, bazı elementlerin oranlarının aynı, bazılarının ise önemsiz sayılabilecek derecede farklı olduğu görülmektedir. Dolayısıyla içindeki element oranları yakın olan hurdalar da kendi arasında gruplamaya tabi tutulmuştur. Burada her grup bir adet hata kaynağını oluşturmaktadır. Sınıflandırmaya saf malzemeler dâhil edilmemiştir. Pirinç Fabrikası Müdürlüğünün tanıtımı yapılırken hurda çeşitlerinin birçok kaynaktan geldiği ifade edilmiştir. Farklı kaynaklardan gelen hurda malzemelere çeşitli isimler verilmektedir. Hatta endüstrilerde aynı kullanım alanı olan malzemeler bile farklı adlandırılabilir. Örnek vermek gerekirse, savunma sanayisinde mermi kovanları kullanılan silah cinsine göre farklı isimler almaktadır: 7.62 mm çapında G-3 piyade tüfeğinin mermisinin boş kovani hafif silah boş kovani diye isimlendirilirken, 12.7 mm çapında uçaksavar mermisinin boş kovani ise ağır silah boş kovani diye isimlendirilmektedir. Ancak söz konusu bu iki boş kovani yapıldığı alaşımın cinsi aynıdır ve içindeki elementlerin yüzdeleri de aynı değerlere sahip olabilmektedir. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında element oranları dikkate alınarak birbiriyle aynı hatta birbirine çok yakın özelliklerde hurdalar gruplandırılabilir. Bu kapsamda on bir çeşit hurda, element oranları dikkate alınarak altı grup altında sınıflandırılmıştır. Bu kapsamda yapılan gruplandırma Tablo 5'te ve yapılan gruplamanın element değerlerinin yüzde değerleri ise Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 5. Gruplama Sonrası Hurda Grupları

Hurda Numarası	Hurda İsmi
1.Hurda Grubu	1.Hurda MS 58 (Ara iş)
2.Hurda Grubu	2.Hurda Kovanlık-fişeklik MS-70 (Ara iş)
	11.Hurda Pirinç 70 (G.Ankara Talaşı)
	12.Hurda Boş kovan 70 (Fesih-Fesih Hurda Kovan)
	13.Hurda Hurda Kapçık 70 (Fesih-Fesih Hurda Kapçık)
	18.Hurda Kurşunlu Kapçık Müftüoğlu
3.Hurda Grubu	6.Hurda Hurda Radyatör
4.Hurda Grubu	8.Hurda Reganya Toprak
5.Hurda Grubu	9.Hurda Reganya Takoz
6.Hurda Grubu	15.Hurda Harici Pirinç ve Bronz Talaşı
	16.Hurda Harici Pirinç ve Bronz Hurdası
Saf Hurda Grubu	3.Hurda MS 90 Tombak Paket (Yüksük)
	4.Hurda Soyma Cu
	5.Hurda Kablo Cu (Granül Cu)
	7.Hurda Hurda Elektrolit Zn (E-Zn)
	10.Hurda Elektrolit Külçe Kurşun (E-Pb)
	14.Hurda Elektrolit Külçe Zn (E-Zn)
	17.Hurda Harici Hurda Cu

Tablo 6. 6 Adet Hurda Grubunun Element Oranları

Element	1. HHK	2. HHK	3. HHK	4. HHK	5. HHK	6. HHK
Cu	58%	69.94%	71%	57.5%	64%	57.5%
Pb	2%	0.035%	3%	2%	2.5%	4%
Fe	0.015%	0.025%	0.22%	0.6%	0.94%	0.22%
Sn	0.015%	0.025%	1.22%	0.25%	1.22%	1.22%
Al	0.025%	0.005%	0.025%	0.1%	0.125%	0.1%
Ni	0.015%	0.025%	0.22%	0.125%	0.27%	0.22%
Sb	0.01%	0.0005%	0.01%	0.0013%	0.03%	0.0125%

Yapılan çalışmada STTG yönteminde ihtiyaç duyulan temel elemanlar temel cebirde olduğu gibi gösterilebilir. Yani, yukarıda gösterildiği üzere altı adet hata kaynağının temel elemanları $(1,0,0,0,0,0)$, $(0,1,0,0,0,0)$,....., $(0,0,0,0,0,1)$ şeklinde temsil edilebilir. Bu şekilde gösterilen temel elemanlar ortogonaldır. Ancak bu şekilde gösterimde hata kaynağının sadece 1 rakamı ile temsil edilen elementindeki sapma miktarı hesaba katılmıyorsa ve diğer elementlerdeki sapmalar hesaba katılmaz. Dolayısıyla bütün elementlerdeki sapmaları aynı anda ve elementlerin arasındaki ilişkileri dikkate alacak STTG yöntemindeki bakış açısıyla Pirinç Fabrikası Müdürlüğünün üretim sürecinde temel elemanların oluşturulması gerekmektedir.

4.10.1. Hurda Malzemelerin Az veya Çok Atılmasının Modellenmesi

Pirinç Fabrikası Müdürlüğü üretim sürecinde DIN 17660 standartlarında MS58 pirinç cinsinin element oranlarına yani ideal element yüzde oranlarına sahip M_D kg bir pirinç alaşımının üretildiğini düşünelim. Bu durumda ideal element oranlarına sahip olan üretilmiş pirinç alaşımı şöyle gösterilir.

$$M_D \times \begin{bmatrix} D_1 \\ \dots \\ D_i \end{bmatrix}$$

D_i ideal ölçülerde üretilen i boyutunda MS58 cinsi pirinç alaşım vektörünü ve D_1 ise ideal ölçülerde üretilmiş MS58 cinsi pirinç alaşımının i elementinin ağırlıkça yüzde değerini

temsil etmektedir. M_D ise üretim sonunda ideal ölçülerde üretilmiş MS58 cinsi pirinç alaşımının ağırlığıdır. Burada yedi elementin haricinde olan diğer elementlerin ağırlığı ve dolayısıyla yüzde oranı çok küçük olmasından dolayı dikkate alınmamıştır ve üretilen pirinç cinsinin içinde sadece yedi adet element olduğu farz edilmiştir. Dolayısıyla D_i 'nin değeri (yüzde değeri), MS58 pirinç cinsinin içindeki i 'inci elementin ağırlığını yani m_j 'yi, M_D olan toplam ağırlığa bölünerek bulunur.

Daha sonra ideal ölçülerde üretilmiş bir üründe j 'inci cins hurda cinsinden m_j kg kadar fazla atıldığını düşünelim. Burada hurda cinsleri H simgesi ile gösterilecektir. H_j ise j 'inci hurdayı H_{ij} ise j 'inci hurdanın i 'inci element yüzdesini göstermektedir. Eğer üretim sonunda elde edilen ideal ölçülerdeki M_D kg kadar MS58 pirinç cinsine çeşitli genel sebeplerden dolayı m_j kg kadar H_j hurdasından fazla atılma durumunda;

$$M_D \text{ kg} \times \begin{bmatrix} D_1 \\ \dots \\ D_i \end{bmatrix} + m_j \text{ kg} \times \begin{bmatrix} H_{1j} \\ \dots \\ H_{ij} \end{bmatrix}$$

elde edilir. Bu şekilde elde edilen yeni karışımın içindeki elementlerin kg cinsinden ağırlıkları şu şekilde bulunur.

$$\begin{bmatrix} M_D \text{ kg} \times D_{1i} + m_j \times H_{1j} \\ \dots \\ M_D \text{ kg} \times D_{ii} + m_j \times H_{ij} \end{bmatrix}$$

Bu yeni durumda yeni üretilen pirinç cinsinin ağırlığı yukarıda yer alan matristeki elementlerin toplamı kadardır ve aşağıda olduğu gibi gösterilir.

$$[M_D \text{ kg} \times (D_{1i} + D_{2i} + \dots + D_{ii}) + m_j \times (H_{1j} + \dots + H_{ij})]$$

Yukarıda yer alan denkleminde parantez içinde olan ideal pirinç alaşımının ve hurdaların içinde bulunan element yüzde değerleri olduğu için bu yüzde değerlerinin toplamı 1'e eşittir. Bu durumda üretim süreci sonunda elde edilen pirinç alaşımının toplam ağırlığı kg cinsinden $M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg}$ olmaktadır.

Üretim sonunda fazla atılan hurdayı da içine kaplayacak şekilde üretilen pirinç alaşımının yeni duruma göre yani yeni yüzdelik ölçüm değerleri aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} M_D \text{ kg} \times D_{1i} + m_j \times H_{1j} \\ \dots \\ M_D \text{ kg} \times D_{ii} + m_j \times H_{ij} \end{bmatrix} / (M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg})$$

Bu duruma göre her bir boyutun elementlerin olduğu yedi boyutlu bir düzlem düşünecek olursak, fazla atılan hurda cinsinin elementlerinin yüzde cinsinden oluşan yedi boyutlu vektörü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} M_D \text{ kg} \times D_{1i} + m_j \times H_{1j} \\ \dots \\ M_D \text{ kg} \times D_{ii} + m_j \times H_{ij} \end{bmatrix} / (M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg}) = \begin{bmatrix} D_1 \\ \dots \\ D_i \end{bmatrix} + ???$$

Yukarıda yer alan eşitlikte soru işareti ile gösterilen yüzdeler vektör çözümü ile elde edilecektir. Yani iki boyutlu bir iki vektörün toplamının gösterimi ise aşağıdaki kartezyen koordinat sisteminde olduğu gibi hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} M_D \text{ kgxD}_{1+}m_j \text{ xH}_{1j} \\ \dots \\ M_D \text{ kgxD}_{i+}m_j \text{ xH}_{ij} \end{bmatrix} / (M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg}) = \begin{bmatrix} D_1 \\ \dots \\ D_i \end{bmatrix}$$

$$* \frac{(M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg})}{(M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg})} + ???$$

$$\frac{M_D \text{ kgxD}_{i+}m_j \text{ xH}_{ij}}{(M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg})} - D_i \text{ x} \frac{(M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg})}{(M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg})} = ???$$

$$\frac{m_j \text{ xH}_{ij} - D_i \text{ x} m_j \text{ kg}}{(M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg})} = ???$$

$$\frac{m_j \text{ x}(H_{ij} - D_i)}{(M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg})} = ???$$

$$\frac{m_j \text{ kg}}{(M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg})} \times \begin{bmatrix} H_{1j} - D_1 \\ \dots \\ H_{ij} - D_i \end{bmatrix} = ???$$

$$\begin{bmatrix} M_D \text{ kgxD}_{1+}m_j \text{ xH}_{1j} \\ \dots \\ M_D \text{ kgxD}_{i+}m_j \text{ xH}_{ij} \end{bmatrix} / (M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg}) = \begin{bmatrix} D_1 \\ \dots \\ D_i \end{bmatrix}$$

$$+ \frac{m_j \text{ kg}}{(M_D \text{ kg} + m_j \text{ kg})} * \begin{bmatrix} H_{1j} - D_1 \\ \dots \\ H_{ij} - D_i \end{bmatrix}$$

Eğer üretim sonunda elde edilen ideal ölçülerdeki M_D kg kadar MS58 pirinç cinsine çeşitli genel sebeplerden dolayı m_j kg kadar H_j hurdasından eksik atılma durumunda ise;

$$M_D \text{ kg} \times \begin{bmatrix} D_1 \\ \dots \\ D_i \end{bmatrix} - m_j \text{ kg} \times \begin{bmatrix} H_{1j} \\ \dots \\ H_{ij} \end{bmatrix}$$

elde edilir. Bu şekilde elde edilen yeni karışımın içindeki elementlerin kg cinsinden ağırlıkları şu şekilde bulunur.

$$\begin{bmatrix} M_D \text{ kgxD}_{1-}m_j \text{ xH}_{1j} \\ \dots \\ M_D \text{ kgxD}_{i-}m_j \text{ xH}_{ij} \end{bmatrix}$$

Bu yeni durumda yeni üretilen pirinç cinsinin ağırlığı yukarıda yer alan matristeki elementlerin farkları kadardır ve aşağıda olduğu gibi gösterilir.

$$[M_D \text{ kg} \times (D_{1+}D_{2+}\dots+D_i) - m_j \times (H_{1j} + H_{2j} + \dots + H_{ij})]$$

Yukarıda yer alan denklemde parantez içinde olan ideal pirinç alaşımının ve hurdaların içinde bulunan element yüzde değerleri olduğu için bu yüzde değerlerinin toplamı 1'e eşittir. Bu durumda üretim süreci sonunda elde edilen pirinç alaşımının toplam ağırlığı kg cinsinden M_D kg $-m_j$ kg olmaktadır.

Üretim sonunda eksik atılan hurdayı da içine kaplayacak şekilde üretilen pirinç alaşımının yeni duruma göre yani yeni yüzdelik ölçüm değerleri aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} M_D \text{ kgxD}_{1-}m_j \text{ xH}_{1j} \\ \dots \\ M_D \text{ kgxD}_{i-}m_j \text{ xH}_{ij} \end{bmatrix} / (M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg})$$

Bu duruma göre her bir boyutun elementlerin olduğu yedi boyutlu bir düzlem düşünülür olursak eksik atılan hurda cinsinin elementlerinin yüzde cinsinden oluşan yedi boyutlu vektörü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} M_D \text{ kgxD}_{1-}m_j \text{ xH}_{1j} \\ \dots \\ M_D \text{ kgxD}_{i-}m_j \text{ xH}_{ij} \end{bmatrix} / (M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg}) = \begin{bmatrix} D_1 \\ \dots \\ D_i \end{bmatrix} + ???$$

Yukarıda yer alan eşitlikte soru işareti ile gösterilen yüzdeler vektör çözümü ile elde edilecektir. Yani iki boyutlu bir iki vektörün toplamı düşünülecek olunursa gösterimi aşağıdaki kartezyen koordinat sisteminde olduğu gibi hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} M_D \text{ kgxD}_{1-}m_j \text{ xH}_{1j} \\ \dots \\ M_D \text{ kgxD}_{i-}m_j \text{ xH}_{ij} \end{bmatrix} / (M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg}) = \begin{bmatrix} D_1 \\ \dots \\ D_i \end{bmatrix}$$

$$\times \frac{(M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg})}{(M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg})} + ???$$

$$\frac{M_D \text{ kgxD}_{i-}m_j \text{ xH}_{ij}}{(M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg})} - D_i \text{ x} \frac{(M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg})}{(M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg})} = ???$$

$$\frac{-m_j \text{ xH}_{ij} + D_i \text{ x} m_j \text{ kg}}{(M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg})} = ???$$

$$\frac{-m_j \text{ x}(H_{ij} - D_i)}{(M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg})} = ???$$

$$\frac{-m_j \text{ kg}}{(M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg})} \times \begin{bmatrix} H_{1j} - D_1 \\ \dots \\ H_{ij} - D_i \end{bmatrix} = ???$$

$$\begin{bmatrix} M_D \text{ kgxD}_{1-}m_j \text{ xH}_{1j} \\ \dots \\ M_D \text{ kgxD}_{i-}m_j \text{ xH}_{ij} \end{bmatrix} / (M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg}) = \begin{bmatrix} D_1 \\ \dots \\ D_i \end{bmatrix} +$$

$$\frac{-m_j \text{ kg}}{(M_D \text{ kg} - m_j \text{ kg})} \times \begin{bmatrix} H_{1j} - D_1 \\ \dots \\ H_{ij} - D_i \end{bmatrix} \text{ Temel eleman}$$

Yukarıda pirinç üretim sürecinde temel elemanların bulunması ile ilgili genelleştirilmiş bir formülasyon ortaya konulmaya çalışılmıştır. Konuyla ilgili olarak altı hata kaynağının temel elemanlarının oluşturulması Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Gruplama Sonrası Oluşturulan Altı Adet Gruba Ait Temel Elemanlarının Hesaplanması

	1.STTE	2.STTE	3.STTE	4.STTE	5.STTE	6.STTE
Cu	58-58	69.94-58	71-58	57.5-58	64-58	57.5-58
Pb	2-3	0.035-3	3-3	2-3	2.5-3	4-3
Fe	0.015-0.25	0.025-0.25	0.22-0.25	0.6-0.25	0.94-0.25	0.22-0.25
Sn	0.015-0.2	0.025-0.2	1.22-0.2	0.25-0.2	1.22-0.2	1.22-0.2
Al	0.025-0.05	0.005-0.05	0.025-0.05	0.1-0.05	0.125-0.05	0.1-0.05
Ni	0.015-0.25	0.025-0.25	0.22-0.25	0.125-0.25	0.27-0.25	0.22-0.25
Sb	0.01-0.01	0.0005-0.01	0.01-0.01	0.0013-0.01	0.03-0.01	0.0125-0.01
Cu	0	11.94	13	-0.5	6	-0.5
Pb	-1	-2.965	0	-1	-0.5	1
Fe	-0.235	-0.225	-0.03	0.35	0.69	-0.03
Sn	-0.185	-0.175	1.02	0.05	1.02	1.02
Al	-0.025	-0.045	-0.025	0.05	0.075	0.05
Ni	-0.235	-0.225	-0.03	-0.125	0.02	-0.03
Sb	0	-0.0095	0	-0.0087	0.02	0.0025

STTG yönteminden çalışmamızda kullanılan matematik modelde, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin ne olacağı şu ana kadar yapılan hesaplamalar ile belirlenmiş durumdadır; ancak hangi bağımlı ve bağımsız değişkenlerin uygun olduğu ile ilgili herhangi bir analiz yapılmamıştır. Regresyon temeline dayanan çok değişkenli yöntemlerin ilk adımı çalışmaya alınacak uygun bağımlı ve bağımsız değişkenlerin belirlenmesidir. Her iki tür değişkenin belirlenmesi kavramsal ve kuramsal temellere dayandırılmalıdır. Araştırmacıların kendi yargılarını ve bilgi birikimini ortaya koymadan belirleme yaptığı durumlarda model geliştirilmesinin bazı temel ilkelerinin dikkate alınmadığı söylenebilir. Regresyon çözümlemesinde bağımlı değişkenin seçilmesinde önemli bir sorun, değişkende ortaya çıkan sorun ölçüm hatası sorunudur. Ölçüm hataları, veri girişi hatalarından ölçümlerin kararsızlığına kadar birçok nedenle ortaya çıkabilir. Yapılan çalışmada bağımlı değişkende ölçüm hatasının yapılmadığı kabul edilmektedir. Bağımsız değişkenlerin seçiminde ise önemli sorun, birçok değişken arasından ilgisiz değişkenlerin modele alınması, birçok ilgili değişkenin ise model dışı bırakılmasıdır.

4.10.2. Temel Elemanlar Arasındaki Çoklu Doğrusallık

Regresyon çözümlemesine başlamadan önce tüm değişkenlere ilişkin korelasyon matrisinin incelenmesinde yarar vardır. Böylece bağımsız değişkenler arasında kuvvetli ilişki olup olmadığı kolayca incelenebilir. Çünkü bağımsız değişkenler arasında yüksek ilişki olması çoklu regresyonun önemli sorunlarından biri olan çoklu bağlantı sorununa neden olmaktadır. Ayrıca bir değişkenin çoklu regresyon modelinde göreceli olarak neden önemsiz olduğu konusunda da bu matristen yararlanabilir. Önemsizliğin nedeni, ilgili değişkenin bağımlı değişken ile ilişkisinin olmaması olabileceği gibi bağımsız değişkenlerin kendi aralarında yüksek ilişki göstermesi de olabilir.

STTG yönteminin en önemli özelliğinin temel elemanlar arasında ortogonallik olduğu belirtilmişti. Çünkü temel elemanlar arasında ortogonallik olması durumunda STTG katsayıları etkin olmaktadır ve yorumu kolaylaştırılmaktadır. Değişkenler arasında ortogonallığın bozulması yani ilişki olması durumunda çoklu bağlantı sorunu gündeme gelmektedir. Bu da kurulan regresyon modeli ile yapılacak çıkarımlarda yanlış yönlendirmelere ve hatalara neden olur. Örneğin verilerde çok küçük bir değişiklik yapıldığında katsayılarda büyük değişiklikler olur.

Çoklu bağlantıyı saptayabilmek için literatürde farklı teknikler önerilmiştir. Bu yöntemler korelasyon matrisinin incelenmesi, varyans şişirme değerleri, $(A'A)$ 'nın özdeğer-özvektör analizi, $(A'A)$ 'nın determinantının hesaplanması, $(A'A)$ 'nın koşul sayısının ve indislerinin belirlenmesi, varyans ayrışım oranları, bazı durumlarda temel katsayıların işaretleri ve büyüklüklerinin incelenmesi gibi yöntemlerdir. Bu yöntemlerin istenen özellikleri, çoklu bağlantı sorununun boyutunu gösterebilme ve hangi bağımsız değişkenlerin dâhil olduğunu belirlemeye yardımcı olacak bilgi sağlayabilmez.

Çoklu bağlantıyı saptamada kullanılan göstergelerden birincisi temel elemanlar arasındaki korelasyon katsayısıdır. En basit şekilde iki temel eleman arasındaki korelasyon katsayısının bire yakın olması (yaklaşık 0.8'in üzerinde olması) çoklu bağlantının yüksek olduğuna bir işarettir.

Çoklu bağlantıyı saptamada kullanılan göstergelerden ikincisi, varyans şişirme değerleridir. Bağımsız değişkenlere ilişkin korelasyon matrisinin tersinin köşegen öğelerine varyans şişirme değerleri denmektedir. Varyans şişirme değerleri, iki veya daha fazla çoklu bağlantının varlığını göstermede yararlı olabilecek en iyi ölçütlerden birisidir. Varyans şişirme değerinin, 5'in altında olması zayıf çoklu bağlantının, 5 ile 30 arasında olması orta derecede çoklu bağlantının ve 30'un üzerinde olması ise çok güçlü çoklu bağlantının olduğunun göstergesidir [66, 46].

Çoklu bağlantıyı saptamada kullanılan göstergelerden üçüncüsü korelasyon matrisine ilişkin özdeğerlerin incelenmesidir. Temel elemanlarda bir veya daha fazla yakın doğrusal bağımlılık olduğunda temel elemanlar korelasyon matrisinin özdeğerlerinin biri veya daha fazlasının değeri sıfır veya sıfıra yakın olur. Bu kapsamda geliştirilmiş çeşitli yöntemler olmasına rağmen sıklıkla kullanılan iki yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bir tanesi bulunan özdeğerlerinin terslerinin toplamının değişken sayısına eşit olmasıdır. Çoklu bağlantının olması durumunda bu değer çok büyük değerlere ulaşır. Diğer yöntem ise özdeğer yelpazesindeki yayılımın bir ölçüsü olan durum ya da koşul sayısı olarak adlandırılır. Bu değer temel elemanları korelasyon matrisinde elde edilen en büyük özdeğerin en küçük özdeğere bölünmesi ile bulunur. Bulunacak bu rakam eğer 100'un altında olması çoklu bağlantının olmadığını, 100 ile 1000 arasında olması orta derecede çoklu bağlantının olduğunun ve 1000'in üzerinde olması ise ciddi çoklu bağlantının olduğunun bir göstergesidir.

Buraya kadar literatürde oldukça yaygın olarak kullanılan yöntemler anlatılmıştır. Diğer tanılama yöntemleri de bu yöntemler kadar önemlidir. Bu yöntemlerle ilgili detaylı bilgilere Montgomery, Peck ve Vining (2012) [69] tarafından hazırlanan eserden ulaşılabilir.

Çoklu doğrusallığın varlığının saptanması aslında işin yarısıdır. İşin öbür yarısı ise çoklu bağlantının nasıl giderileceğidir. Tanılama yöntemlerinde olduğu gibi burada da kesin bir yöntem yoktur. Yalnızca bazı gevşek kurallar bulunmaktadır. Bu kurallardan bazıları, önsel bilgilerden yararlanmak, kesit ve zaman serilerini bir araya getirmek, yüksek ortak doğrusallık gösteren bir değişkeni dışlamak, verileri dönüştürmek, faktör analizi [46], ek veya yeni veri toplamak, ridge regresyonu ve temel bileşenler regresyonu [40] gibi yöntemlerdir. Bu kurallardan hangisinin işe yarayacağı, kuşkusuz verinin niteliğine ve ortak doğrusallık sorununun ciddiliğine bağlıdır [46].

Literatürde ridge regresyonu, temel bileşenler regresyonu ile faktör analizine "yanlı kestiriciler" denmektedir. Yanlı kestiricileri incelemek ve hangi işlemlerin en iyi şekilde

işlediğini belirlemeye yönelik Monte Carlo benzetim çalışmaları yürütülmüştür. Bu kapsamda örnek olarak Hoerl ve Kennard (1970)'in [71] en küçük kareler ve ridge regresyonunu karşılaştırdığı çalışma ve Gunst ve Mason (1977)'in [72] ridge regresyonu, temel bileşenler regresyonu ve gizil kök yöntemini karşılaştırdığı çalışma verilebilir. Ancak yapılan bu çalışmalarda ortaya tek bir en iyi yöntem çıkmazken yanlış yöntemlerin en küçük karelerden üstün olduğu çok kez ortaya konmuştur. Ayrıca, Padilla (2005) [66] tarafından yapılan çalışmada, yanlış tahmin tekniklerinden elde edilen STTG katsayıları karşılaştırılmıştır.

Daha önce belirtildiği üzere yukarıda anlatılan yöntemlerden bir tanesi değişkenler arasında korelasyona bakmaktır. Bu kapsamda altı temel eleman arasındaki korelasyon matrisi Tablo 8'de yer almaktadır.

Tablo 8. Altı Adet STTE Arasındaki Korelasyon Matrisi

	1	0.497	0.309	0.694	0.402	-0.67
	0.497	1	0.976	-0.12	0.982	-0.65
	0.309	0.976	1	-0.31	0.984	-0.50
	0.694	-0.12	-0.31	1	-0.16	-0.29
	0.402	0.982	0.984	-0.16	1	-0.52
	-0.67	-0.65	-0.50	-0.29	-0.52	1

Tablo 8'de yer alan temel elemanlar arasındaki korelasyon matrisi incelendiğinde ikinci ve üçüncü hurda/hata kaynakları arasında (0.976), ikinci ve beşinci hurda/hata kaynakları arasında (0.982) ve üçüncü ve beşinci hurda/hata kaynakları arasında (0.984) çok yüksek ilişki bulunmaktadır. Dolayısıyla modelde bu değişkenler arasında çoklu bağlantı probleminin olduğuna dair bir delil elde edilmiştir.

Çoklu bağlantının göstergelerinden diğeri varyans şişme değerleridir. Bu kapsamda altı temel eleman arasındaki korelasyon matrisinin cebirsel tersi, Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Altı Temel STTE Arasındaki Korelasyon Matrisinin Cebirsel Ters Matrisi

	536	-1611	-1812	-787	2844	-337
	-1611	6681	1714	1746	-6734	1101
	-1812	1714	14177	4014	-13732	1005
	-787	1746	4014	1385	-4874	475
	2844	-6734	-13732	-4874	17279	-1741
	-337	1101	1005	475	-1741	221

Tablo 9'un köşegen değerleri bize VIF değerlerini vermektedir. VIF değerleri incelendiğinde bütün değişkenlerin VIF değerinin otuzun üzerinde olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bütün değişkenler çok yüksek çoklu bağlantıdan etkilendiği sonucuna varılmıştır. En az etkilenen değişken altıncı temel eleman en çok etkilenen eleman ise üçüncü temel elemandır.

Çoklu bağlantının göstergelerinden diğeri korelasyon matrisine ilişkin özdeğerlerin incelenmesidir. Bu kapsamda temel elemanlar korelasyon matrisinden elde edilen özdeğerler Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10. Altı Adet STTE'lere Ait Özdeğerler

1.Hurda/Hata Kaynağı Özdeğeri	3.673
2.Hurda/Hata Kaynağı Özdeğeri	1.834
3.Hurda/Hata Kaynağı Özdeğeri	3.778*e-01
4.Hurda/Hata Kaynağı Özdeğeri	1.136*e-01
5.Hurda/Hata Kaynağı Özdeğeri	1.392*e-04
6.Hurda/Hata Kaynağı Özdeğeri	3.022e-05

Birinci yöntem göre hesaplanacak olunursa, $1/3.673+1/1.834+1/3.778*e-01 +1/1.136*e-01+1/1.392*e-04+1/3.022e-05=40286.84$ değerine ulaşılır. Bu değer değişken sayısı olan 6 değerinin oldukça üzerindedir. Koşul indeksi ise $3.673/3.022e-05=121535$ şeklinde hesaplanır. Bu duruma bakıldığında beşinci ve altıncı hurda/hata kaynaklarının değerlerinin sıfıra yakın olması, özdeğerlerinin terslerinin toplamı 6 değerinin çok üzerinde olması ve koşul indeksinin değerinin 1000'den büyük olması çoklu bağlantının var olduğunun bir diğer göstergesidir.

Bir diğer çoklu bağlantının ölçüsü değişkenler arasındaki korelasyon matrisinin determinantına bakılmasıdır. Elde edilen değer 1'e yakınsa çoklu bağlantının olmadığını ve sıfıra yakınsa çoklu bağlantının olduğunu ortaya koyar. Temel elemanlar korelasyon matrisinin determinantı alındığında $1.218114e-09$ değeri elde edilir. Dolayısıyla bu modelde çoklu bağlantı olduğunu gösterir.

Çoklu bağlantının giderilmesi için önerilen birçok yöntem ile ilgili detaylı bilgiler çalışmanın ikinci bölümünde verilmiştir. Bu yöntemlerden en çok kullanılanları veriye yeni gözlemlerin eklenmesi, modelin yeniden belirlenmesi ve en küçük kareler yöntemi dışında diğer kestirim yöntemlerinin kullanılmasıdır.

Çoklu bağlantının bağımsız değişkenler arasındaki gerçek ilişki nedeniyle ortaya çıktığı durumlarda diğer bir deyişle, sorunun bir örnekleme sorunu olmadığı durumlarda önerilen yöntemlerden birisi, çoklu bağlantılı değişkenlerden birisi veya daha fazlasını modelden çıkarmak başka bir deyişle değişken seçimi yapmaktır. Ancak modelden değişken çıkartma yöntemi, örneklemin evreni temsil etmemesi nedeniyle ortaya çıkan durumlarda kullanılmamalıdır. Çünkü modele gerçekten katkı yapabilecek bir değişken çoklu bağlantı nedeniyle model dışı bırakılabilir. Bu çalışmada ortaya konan modelde değişkenlerin VIF değerlerine, değişkenler arasındaki korelasyon yapısına ve özdeğerlere bakılarak yapılan değerlendirme sonucunda modelde ciddi çoklu bağlantı sorununun olduğu görülmektedir. Bu kapsamda Tablo 11'de yer alan korelasyon matrisine göre modelden değişken çıkarma yöntemi uygulandığında yani modelden çoklu bağlantıya sebep veren ikinci ve beşinci hurda/hata kaynakları çıkartıldığında elde edilen korelasyon matrisi, VIF değerleri ve özdeğerler Tablo 11'de, Tablo 12'de, Tablo 13'te ve Tablo 14'te sunulmuştur.

Tablo 11. Dört Adet STTE'nin Arasındaki Korelasyon Değerleri

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0.309 & 0.694 & -0.673 \\ 0.309 & 1 & -0.315 & -0.506 \\ 0.694 & -0.315 & 1 & -0.292 \\ -0.673 & -0.506 & -0.292 & 1 \end{bmatrix}$$

Tablo 12. Dört Adet STTE'nin VIF Değerleri

$$V = \begin{bmatrix} 5.462 & 2.350 & 4.157 & 1.270 \\ 2.350 & 2.972 & 2.780 & 0.735 \\ 4.157 & 2.78 & 4.758 & 0.0007 \\ 1.270 & 0.735 & 0.0007 & 2.227 \end{bmatrix}$$

Tablo 13. Dört Adet STTE'nin Özdeğerleri

1.Hurda/Hata Kaynağı Özdeğeri	10.959
3.Hurda/Hata Kaynağı Özdeğeri	3.289
4.Hurda/Hata Kaynağı Özdeğeri	0.719
6.Hurda/Hata Kaynağı Özdeğeri	0.451

Tablo 14. Dört Adet STTE'nin Koşul İndeksi

1/10.959+1/3.289+1/0.719+1/0.451	4.003
----------------------------------	-------

Ayrıca yeni temel elemanlar korelasyon matrisinin determinanı ise 0.08538267 olarak hesaplanmıştır. Bu değer 6 temel elemanın bulunduğu korelasyon matrisi ile karşılaştırıldığında yeni oluşturulan temel elemanlar korelasyon matrisinin determinanı 6 temel elemanlı korelasyon matrisinin determinantına (1.218114e-09) göre, 1 değerine çok yakın olduğu görülmektedir.

Temel elemanlar matrisinden iki adet temel eleman çıkartıldığında temel elemanlar arasında oluşan korelasyon matrisi elemanları arasında yüksek korelasyon değerlerinin olmadığı görülmüş ve bu kapsamda oluşan yeni STTE'ler Tablo 15'te ve yeni STTE'lerin değerleri ise Tablo 16'da sunulmuştur.

Tablo 15. Dört Adet STTE Matrisinin Elemanları ve Değerleri

STTE-1	MS 58 (Ara iş)
STTE-3	Hurda Radyatör
STTE-4	Reganya Toprak
STTE-6	Harici Pirinç ve Bronz Talaşı Harici Pirinç ve Bronz Hurdası

Tablo 16. Dört Adet STTE Matrisinin Elemanları ve Değerleri

Element	1. STTE	2. STTE	3. STTE	4. STTE
Cu	0	13	-0.5	-0.5
Pb	-1	0	-1	1
Fe	-0.235	-0.03	0.35	-0.03
Sn	-0.185	1.02	0.05	1.02
Al	-0.025	-0.025	0.05	0.05
Ni	-0.235	-0.03	-0.125	-0.03
Sb	0	0	-0.0087	0.0025

4.11. Model Geçerliliğinin Kontrol Edilmesi

Regresyon analizinde model geçerliliği, amaçlanan çalışma ortamında modelin başarılı bir fonksiyon olup olmadığına

karar vermeye yönlendiren bir incelemedir. Bu kapsamda STTG yöntemindeki en küçük kareler ile hesaplanan matematiksel modelin pirinç üretim süreci için uygun bir fonksiyon olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bu kapsamda ilk olarak katsayıların artı işareti (+) o hurda cinsinden fazla atılmayı, eksi işareti (-) ise o hurda cinsinden eksik atılmayı simgelemektedir. Her bir hurda cinsinden çalışanlar şarja huralardan eksik veya fazla atabilme kabiliyetine sahip olmalarından dolayı katsayılar eksi veya artı olabilir. Dolayısıyla bu incelemenin, kurulan modelde çok anlamlı olmadığı görülmüştür. Modelin yeterliliği ile ilgili olarak diğer bir kıstas modeldeki STTE'ler arasındaki VIF değerlerine bakmaktır. Modelin yeterliliği ile ilgili olarak çoklu bağlantı problemi incelendiğinde, çoklu bağlantı problemi ortadan kaldırıldığından, yani VIF değerlerinin 0 ile 10 değerleri arasında olmasından dolayı bu kriterlere göre modelin pirinç üretim süreci açısından geçerli bir model olduğuna karar verilmiştir (Her STTG katsayısı için VIF değerleri: 5.34, 6.12, 3.87 ve 4.41). Kurulan modelin amacı kestirim olmadığından, söz konusu modelin geçerliliğinin kontrolü için yapılması gereken diğer kontrollerden yeni gözlem verisi toplama ve modelin kestirim için test edilmesi ve verileri yarıya bölme işlemleri bu çalışmada yapılmamıştır.

5. KALİTE KARAKTERİSTİKLERİNİN *I*, *R*, *EWMA* VE *HOTELLİNG T²* KONTROL GRAFİKLERİ İLE İZLENMESİ

STTG katsayılarının hesaplanması, R programlama dilinde yapılan kodlamalar ile yapılmıştır. STTG katsayılarının hesaplanması ile ilgili detaylı bilgiler Orçanlı (2017) [70] tarafından hazırlanmış yayına bakılabilir.

STTG katsayılarının tek ve çok değişkenli kontrol grafiklerinde izlenebilmesi için öncelikle tek ve çok değişkenli normallik varsayımını sağlaması gerekmektedir. Bu kapsamda R programlama dilinde söz konusu varsayımların kontrolü için tek değişkenli normallik varsayımının kontrolü için Anderson testi ve çok değişkenli normallik kontrolü için Henze Zirkler testi yapılmıştır. Yapılan tek değişkenli normallik testi sonucunda birinci, ikinci ve dördüncü STTG katsayılarının tek değişkenli normal dağıldığı ($p(0.065)$, $p(0.12)$, $p(0.08) > 0.05$) ancak üçüncü STTG katsayısının normal dağılmadığı ($p(0.01) < 0.05$) tespit edilmiştir. Bunu üzerine üçüncü STTG katsayısının verilerine log normallik dönüşümü uygulandıktan sonra normal dağılması ($p(0.12) > 0.05$) sağlanmıştır. Müteakiben bu veriler ile yapılan çok değişkenli normal dağılım testi sonucunda da dört katsayıya ait verilerin çok değişkenli normal dağıldığı ($HZ: 9.182$, $p(0.12) > 0.05$ ve $MVN:TES$) görülmüştür.

5.1. *I* ve *MR* Kontrol Grafikleri ile İzlenmesi;

5.1.1. Faz I (*I* Kontrol Grafikleri)

İlk olarak STTG katsayılarının Faz I aşaması için düzenlenen *I* kontrol grafikleri ve bu kontrol grafiklerinde tespit edilen kontrol dışı sinyaller hesaplanmıştır. Bu kapsamda *I* kontrol

grafığının Faz I aşamasından elde edilen ve Faz II aşaması esnasında kullanılacak STTG katsayılarının ortalama değerleri ile standart sapma değerleri ise Tablo 19'dadır.

Tablo 17. STTG Katsayıları için I Kontrol Grafiği Faz I Aşaması Parametreleri

$S_{Z_{11}}$	0.1683	$\bar{X}_{Z_{11}}$	1.1213
$S_{Z_{12}}$	0.081035	$\bar{X}_{Z_{12}}$	0.04584
$S_{Z_{13}}$	0.00001	$\bar{X}_{Z_{13}}$	0.000016
$S_{Z_{14}}$	0.08350	$\bar{X}_{Z_{14}}$	0.10361

5.1.2. Faz I (MR Kontrol Grafikleri)

İlk olarak *I* kontrol grafiğinde olduğu gibi STTG katsayılarının Faz I aşaması için düzenlenen *MR* kontrol grafikleri ve bu kontrol grafiklerinde tespit edilen kontrol dışı sinyaller hesaplanmıştır. Bu kapsamda *MR* kontrol grafiğinin Faz I aşamasından elde edilen ve Faz II aşaması esnasında kullanılacak STTG katsayılarının standart sapma değerleri ise Tablo 18'de sunulmuştur.

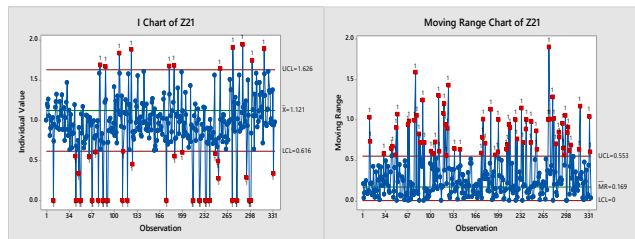
Tablo 18. STTG Katsayıları için *MR* Kontrol Grafiği Faz I Aşaması Parametreleri

$S_{Z_{11}}$	0.15005
$S_{Z_{12}}$	0.08103
$S_{Z_{13}}$	0.000012
$S_{Z_{14}}$	0.101882

5.1.3. Faz II (*I* ve *MR* Kontrol Grafikleri)

5.1.3.1. Birinci STTG Katsayısı (Z_{21})

Birinci STTG katsayısı ile ilgili tasarlanan *I* ve *MR* kontrol grafikleri Şekil 9'da yer almaktadır.



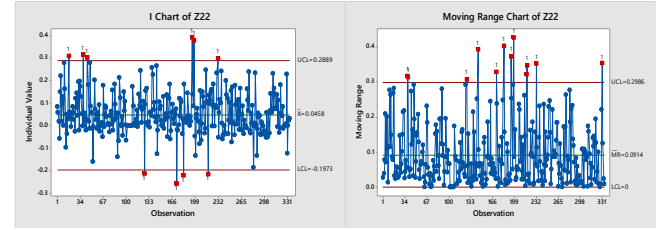
Şekil 9. Birinci STTG Katsayısı (Z_{21}) için Düzenlenen *I* ve *MR* Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamaları

Değerlendirme:

I kontrol grafiği incelendiğinde 51 adet ve *MR* kontrol grafiği incelendiğinde 72 adet kontrol dışı sinyalin olduğu tespit edilmiştir. Her iki kontrol grafiği ortak olarak değerlendirildiğinde, iki dönemde şarjın içine bu hurda grubundan eksik atıldığı söylenebilir. Kontrol dışı durumlar ile ilgili olarak yorumlar, söz konusu katsayı için tasarlanan *EWMA* kontrol grafiğinin durumuna bakılarak müşterek olarak yapılmıştır.

5.1.3.2. İkinci STTG Katsayısı (Z_{22})

İkinci STTG katsayısı ile ilgili tasarlanan *I* ve *MR* kontrol grafikleri Şekil 10'da yer almaktadır.



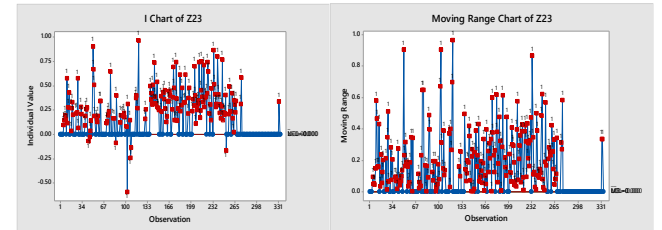
Şekil 10. İkinci STTG Katsayısı (Z_{22}) için Düzenlenen *I* ve *MR* Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamaları

Değerlendirme:

I kontrol grafiği incelendiğinde 10 adet kontrol dışı sinyalin ve *MR* kontrol grafiği incelendiğinde 54 adet kontrol dışı sinyalin olduğu tespit edilmiştir. Her iki kontrol grafiği ortak olarak değerlendirildiğinde, rastgele zamanlarda ve az sayıda kontrol dışı sinyalin olduğu söylenebilir. Kontrol dışı durumlar ile ilgili yorumlar, söz konusu katsayı için tasarlanan *EWMA* kontrol grafiğinin durumuna bakılarak müşterek olarak yapılmıştır.

5.1.3.3. Üçüncü STTG Katsayısı (Z_{23})

Üçüncü STTG katsayısı ile ilgili tasarlanan *I* ve *MR* kontrol grafikleri Şekil 11'de yer almaktadır.



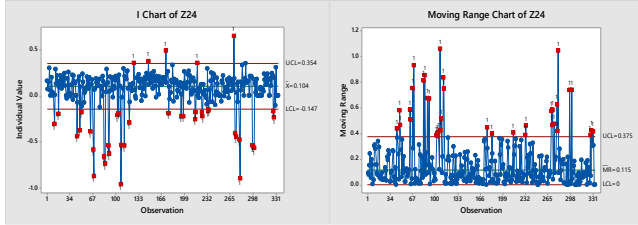
Şekil 11. Üçüncü STTG Katsayısı (Z_{23}) için Düzenlenen *I* ve *MR* Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamaları

Değerlendirme:

I kontrol grafiği incelendiğinde 169 adet kontrol dışı sinyalin ve *MR* kontrol grafiği incelendiğinde, 205 adet kontrol dışı sinyalin olduğu tespit edilmiştir. Her iki kontrol grafiği ortak olarak değerlendirildiğinde, bu hurda grubundan şarjın içine devamlı olarak fazla atıldığı söylenebilir. Hata kaynağına yönelik olarak yapılan inceleme neticesinde, bu hurda grubunda bulunan hurdaların ufak parçalara ayrılamamasından kaynaklandığı tespit edilmiş ve bu hurdaların dökümhaneye giden araca tam sığmadığı görülmüştür. Grafiğinin son bölümlerinde hiç kontrol dışı sinyalin olmamasının nedeni ise aynı grupta aynı özellikleri taşıyan başka hurda cinsinin kullanılmasından kaynaklanmıştır.

5.1.3.4. Dördüncü STTG Katsayısı (Z_{24})

Dördüncü STTG katsayısı ile ilgili tasarlanan I ve MR kontrol grafikleri Şekil 12'de yer almaktadır.



Şekil 12. Dördüncü STTG Katsayısı (Z_{24}) İçin Düzenlenen I ve MR Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamaları

Değerlendirme:

I kontrol grafiği incelendiğinde 31 adet kontrol dışı sinyalin ve MR kontrol grafiği incelendiğinde 37 adet kontrol dışı sinyalin olduğu tespit edilmiştir. Her iki kontrol grafiği ortak olarak değerlendirildiğinde, hurda cinsinden şarj içine genel olarak eksik atılma durumunun olduğu söylenebilir. Kontrol dışı durumlar ile ilgili olarak yorumlar, söz konusu katsayı için tasarlanan $EWMA$ kontrol grafiğinin durumuna bakılarak müşterek olarak yapılmıştır.

5.2. EWMA Kontrol Grafiği ile İzlenmesi

STTG katsayılarının izlendiği I ve MR kontrol grafiklerine bakıldığında izlenen değişkenlerde kaymaların büyük olduğu ancak kontrol sınırlarına oldukça yakın fazla değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. Kontrol sınırlarına yakın olan değerlerin davranışlarını tam olarak tespit etmek ve ufak kaymalarında durumlarını tam olarak görmek amacıyla söz konusu katsayıların $EWMA$ kontrol grafikleri ile izlenmesine ihtiyaç duyulmuştur.

5.2.1. Faz I

$EWMA$ kontrol grafiğinin Faz I aşamasından elde edilen ve Faz II aşaması esnasında kullanılacak STTG katsayılarının ortalama değerleri ile standart sapma değerleri Tablo 19'da verilmiştir.

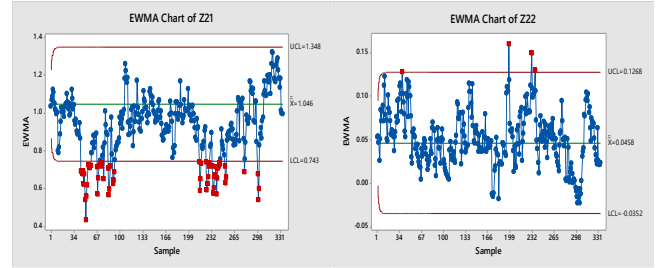
Tablo 19. STTG Katsayılarının $EWMA$ Kontrol Grafiği'nin Faz I Aşaması Parametreleri

$S_{Z_{11}}$	0.30236	$\bar{X}_{Z_{11}}$	1.04579
$S_{Z_{12}}$	0.0810	$\bar{X}_{Z_{12}}$	0.04584
$S_{Z_{13}}$	0.0704	$\bar{X}_{Z_{13}}$	0.0495
$S_{Z_{14}}$	0.11192	$\bar{X}_{Z_{14}}$	0.076048

5.2.2. Faz II

5.2.2.1. Birinci ve İkinci STTG Katsayıları (Z_{21} ve Z_{22})

Birinci ve ikinci STTG katsayıları (Z_{21} ve Z_{22}) için tasarlanan $EWMA$ kontrol grafikleri Şekil 13'te yer almaktadır.



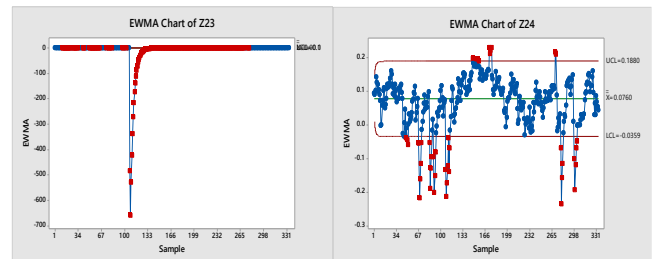
Şekil 13. Birinci ve İkinci STTG Katsayıları (Z_{21} ve Z_{22}) İçin Düzenlenen $EWMA$ Kontrol Grafiklerinin Faz II Aşamaları

Değerlendirme:

Birinci ve ikinci STTG katsayıları (Z_{21} ve Z_{22}) için tasarlanan, Şekil 13'te yer alan $EWMA$ kontrol grafikleri incelendiğinde, birinci STTG katsayısı kontrol grafiğinde 14 adet ve ikinci STTG katsayısı kontrol grafiğinde ise üç adet kontrol dışı sinyalin olduğu tespit edilmiştir. Kontrol dışı sinyaller ile ilgili olarak hata kaynağının tespitine yönelik olarak yapılan inceleme sonucunda, ikinci STTG katsayısı kontrol grafiğinde farklı zamanlarda az sayıda meydana gelen kontrol dışı sinyallerin personel hatasından (çalışan personelin dikkatsizliği ve işine gerekli özen vermemesinden) kaynaklandığı, birinci STTG katsayısı kontrol grafiğinde ise belli dönemlerde oluşan kontrol dışı sinyallerin ise tartının arıza yapmasından (birinci kontrol dışı sinyal grubunun hata kaynağı) ve personel hatası ile kullanılan hurda cinslerinden (ikinci kontrol dışı sinyal grubunun hata kaynağı) kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Ancak bu dönemlerde birinci STTG katsayısını temsil eden hurda grubunda belirlenen dönemde eksik atılma durumu ile karşı karşıya gelindiği ve MS58 cinsi pirinç üretimine neden olan bilinen hata kaynağı olarak karşımıza çıkmıştır.

5.2.2.2. Üçüncü ve Dördüncü STTG Katsayıları (Z_{23} ve Z_{24})

Üçüncü ve dördüncü STTG katsayıları (Z_{23} ve Z_{24}) için tasarlanan $EWMA$ kontrol grafikleri Şekil 14'te yer almaktadır.



Şekil 14. Üçüncü ve Dördüncü STTG Katsayıları (Z_{23} ve Z_{24}) İçin Düzenlenen $EWMA$ Kontrol Grafiğinin Faz II Aşamaları

Değerlendirme:

Üçüncü ve dördüncü STTG katsayıları (Z_{23} ve Z_{24}) için tasarlanan Grafik 10'da yer alan $EWMA$ kontrol grafikleri

incelendiğinde, birinci STTG katsayısı kontrol grafiğinde 204 adet ve ikinci STTG katsayısı kontrol grafiğinde ise 43 adet kontrol dışı sinyalin olduğu tespit edilmiştir. Kontrol dışı sinyaller ile ilgili hata kaynağının tespitine yönelik olarak yapılan inceleme sonucunda, dördüncü STTG katsayısı kontrol grafiğinde belli dönemlerde oluşan kontrol dışı sinyallerin tartının arıza yapmasından (birinci kontrol dışı sinyal grubunun hata kaynağı) ve personel hatası ile kullanılan hurda cinslerinden (ikinci kontrol dışı sinyal grubunun hata kaynağı), üçüncü STTG katsayısı kontrol grafiğinde ise bu hurda grubunda bulunan hurdaların ufak parçalara ayrılamamasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Ancak bu dönemlerde dördüncü STTG katsayısını temsil eden hurda grubunda eksik ve üçüncü STTG katsayısını temsil eden hurda grubunda ise fazla atılma durumu ile karşı karşıya gelindiği ve istenilen özelliklerde MS58 cinsi pirinç üretilememesine neden olan bilinen hata kaynağı olarak karşımıza çıkmıştır.

5.3. STTG Katsayılarının *I*, *MR* ve *EWMA* Kontrol Grafikleri ile İzlenmesi Sonucunda Elde Edilen Sonuçlar

Birinci STTG katsayısının izlendiği *I* ve *MR* kontrol grafiklerinde hurdaların eksik ve fazla atıldığı ancak eksik atılma miktarının fazla atılma miktarına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Ancak yorumlama konusunda durum ile ilgili net karara varmak için kesinlik sağlayacak bilgiler elde edilememektedir. Ancak *EWMA* kontrol grafiğine bakıldığında eksik atılma durumu ile hangi dönemlerde bu durumun netleştiği net olarak görülmektedir. Konuyla ilgili olarak pirinç üretim sürecinde o esnada görevli kalite ve süreç uzmanları ile yapılan araştırmalar neticesinde, dönemsel olarak eksik atılan hurda grubunun eksik atılmasının nedeni olarak tartıdan kaynaklandığı tespit edilmiştir.

İkinci STTG katsayısının izlendiği her üç kontrol grafiği birlikte değerlendirildiğinde bu hurda grubunda daha çok personelin anlık hatasından kaynaklandığı değerlendirilen çok az sayıda büyük kaymaların meydana geldiği tespit edilmiş ve süreci etkileyecek herhangi bir özel nedenin bulunmadığı düşünülmüştür. Konuyla ilgili olarak pirinç üretim sürecinde o esnada görevli kalite ve süreç uzmanları ile yapılan araştırmalar neticesinde, öngörülen değerlendirmenin doğru olduğu teyit edilmiştir.

Üçüncü STTG katsayısının izlendiği *I* ve *MR* kontrol grafiklerinde hurda gruplarında büyük kaymalar tespit edilmiş ancak yorumlama konusunda net bilgiye ulaşılamamıştır. Ancak *EWMA* kontrol grafiğinde ise 100-130 sayılı hurda grubunda eksik atılma tespit edilmiş ve zamanla süreçte alınan tedbirler gereği sürecin kontrol altına alındığı düşünülmektedir. Konuyla ilgili olarak pirinç üretim sürecinde o esnada görevli kalite ve süreç uzmanları ile

yapılan araştırmalar neticesinde kontrol dışı durumun terazinin 50-100 no'lu ölçümlerde bir arıza olduğunu ve ancak yanlış teşhis sonunda tadilattan dolayı tartıda daha büyük bir arıza meydana geldiği belirtilmiştir. Tartıda meydana gelen bu büyük arıza nedeniyle ve görevli personelin hatasından dolayı bu hurda grubundan eksik atıldığı belirtilmiştir.

Dördüncü STTG katsayısının izlendiği *I* kontrol grafiğinde bazı dönemlerde bu hurda grubunun eksik atıldığı görülmektedir, ancak dönemler tam olarak belirgin değildir. *MR* kontrol grafiğinde ise kontrol dışı sinyallerin eksik atıldığı dönemler daha belirgindir. Ancak *EWMA* kontrol grafiğinde ise kontrol dışı sinyaller diğer kontrol grafiklerine göre hem daha belirgin hale gelmekte ve hem de hurdaların hangi dönemde eksik atıldığı kesin olarak daha iyi görülmektedir. Yapılan inceleme sonucunda eksik atılma dönemi olarak birinci STTG katsayılarının izlendiği 50-100 no'lu ölçümlerde aynı zamanda meydana gelmiş olmasından dolayı bu eksik atılma nedeninin tartıdan meydana gelmiş olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ulaşılan bu sonuç görevli personel ile yapılan araştırma neticesinde teyit edilmiştir.

5.4. Hotelling T^2 Kontrol Grafiği ile İzlenmesi

5.4.1. Faz I

STTG katsayılarının eş zamanlı olarak Hotelling T^2 kontrol grafiği ile izlenmesinde Faz I aşamasında her bir katsayıya ait 50 adet sayısal değer kullanılmıştır. Bu grafiklerden elde edilen parametreler diğer kontrol grafiklerinde açıklandığı gibi Faz II aşamasında kullanılacaktır. Bu kapsamda Hotelling T^2 kontrol grafiğinin Faz I aşamasında elde edilen ortalama vektörü, varyans-kovaryans matrisi ile korelasyon matrisi Tablo 20'de verilmiştir.

Tablo 20. Hotelling T^2 Kontrol Grafiği Faz I Aşaması Ortalama Vektörü, Varyans-Kovaryans Matrisi ile Korelasyon Matrisi

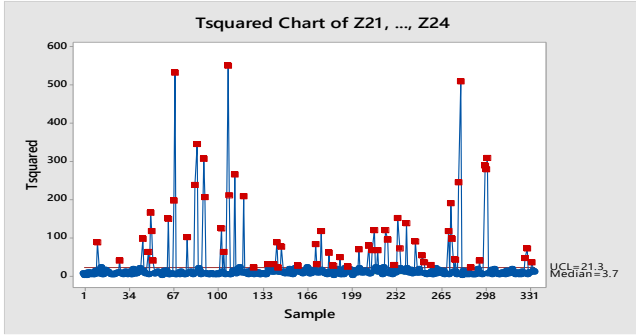
$$\bar{\bar{X}} = \begin{bmatrix} \bar{X}_{z11} \\ \bar{X}_{z12} \\ \bar{X}_{z13} \\ \bar{X}_{z14} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.141 \\ 0.0539 \\ 0.0813 \\ 0.1060 \end{bmatrix}$$

$$Z = \begin{bmatrix} 0.065082 & -0.00260 & -0.00864 & 0.001087 \\ -0.00260 & 0.006472 & 0.001508 & -0.00538 \\ -0.00864 & 0.001508 & 0.014158 & -0.00178 \\ 0.001087 & -0.00538 & -0.00178 & 0.007507 \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} 1 & -0.127 & -0.285 & 0.049 \\ -0.127 & 1 & 0.158 & -0.772 \\ -0.285 & 0.158 & 1 & -0.173 \\ 0.049 & -0.772 & -0.173 & 1 \end{bmatrix}$$

5.4.2. Faz II

STTG katsayıları için düzenlenen Hotelling T^2 kontrol grafiğinin Faz II aşaması gösterimi Şekil 15'te yer almaktadır.



Şekil 15. STTG Katsayıları İçin Düzenlenen Hotelling T^2 Kontrol Grafiğinin Faz II Aşaması

Değerlendirme:

STTG katsayılarının eş zamanlı olarak Hotelling T^2 kontrol grafiği ile izlenmesinde sonucunda 54 adet kontrol dışı sinyal tespit edilmiştir. Bu sinyallerin yorumlanması hususu ile ilgili daha önceki bölümlerde de açıklandığı gibi çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konmuş yolların bulunduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla tek değişkenli kontrol grafiklerinden yararlanılabileceği gibi kontrol grafiklerinde oluşan örüntü şekillerinin tanınması ile de yapılabilir. Şekil 15'te yer alan Hotelling T^2 kontrol grafiği incelendiğinde, 20 ile 54 nolu T^2 sinyallerinin yukarı eğim örüntü tipini oluşturduğu görülmektedir. Bu eğitim tipinin araştırılması ile ilgili olarak literatürde çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bu problemin çözümü ile ilgili olarak Orçanlı (2017) [70] tarafından hazırlanmış doktora tezinde yapay sinir ağları ile ilgili olarak çözüm yer almaktadır.

6. BULGULAR

Yapılan çalışmada, günümüzde döküm sürecinde süreç kontrolünde kalite karakteristiği olarak üretilen nihai ürünün özellikleri ele alınırken, söz konusu ürün özellikleri yerine ürünün iç kompozisyonunu oluşturan element oranları da alınabileceği düşüncesi ile araştırma başlatılmıştır. Literatürde yapılan inceleme neticesinde söz konusu iddianın doğrulanabileceği görülmüştür. Ayrıca tespit edilen durum ile ilgili olarak üretim sürecinin kalite kontrolünde ise ürünün kompozisyonunda bulunan element oranlarının kalite kontrol grafikleri ile izlenebileceği ve yeterince başarılı sonuçları veremediği görülmüştür. Bu kapsamda problemin çözümü için yeni yöntemlerin tespit edilmesi ve uygulanması gerekir.

Yapılan çalışmada pirinç üretim sürecinde kaymaların genel olarak büyüklüğü tam olarak kestirilemediğinden dolayı ilk olarak büyük kaymaların varlığı I ve R kontrol grafikleri ile ve müteakiben elde edilen sonuçlara göre küçük kaymaların varlığı ise EWMA kontrol grafiği ile araştırılmıştır. Ayrıca hata kaynakları arasındaki çoklu bağlantı problemi ve ilişki durumu da göz önünde bulundurularak en son olarak hata kaynakları Hotelling T^2 kontrol grafiği ile izlenmiş ve sürecin değişkenliğini etkileyen özel sebepler ile ilgili

değerlendirme yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıya çıkarılmıştır.

- I ve R kontrol grafiklerine göre; bir numaralı hata kaynağının süreç üzerinde sürecin başından sonuna kadar etkili olduğu ancak oldukça dağınık olduğu ve toplu bir görüntü oluşturmadığı, iki numaralı hata kaynağının süreç üzerinde çok az sayıda büyük kaymalara neden olduğu, üç numaralı hata kaynağının sürecin üzerinde sürecin başından sonuna kadar oldukça etkili olduğu (bir numaralı hata kaynağına göre daha yoğun) ve dört numaralı hata kaynağının süreç üzerinde 50-110 gözlemler arasında ve 170-270 gözlemler arasında dağınık olarak büyük kaymalara neden olduğu tespit edilmiştir.

- EWMA kontrol grafiğine göre; bir numaralı hata kaynağının süreç üzerinde 33-100 arasındaki ve 200-270 arasındaki gözlemlerde ufak kaymalara sebep olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla I ve R kontrol grafiği ile beraber düşünüldüğünde bir numaralı hata kaynağının ağırlıklı olarak EWMA kontrol grafiği ile tespit edilen gözlemlerde bir numaralı hatanın oldukça etkin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İki numaralı hata kaynağının süreç üzerinde ufak kaymalara neden olmamaktadır. Dolayısıyla I ve R kontrol grafiği ile beraber düşünüldüğünde iki numaralı hata kaynağının süreç üzerinde etkisinin bulunmadığı ifade edilebilir. Üç numaralı hata kaynağının süreç üzerinde sürecin başından sonuna kadar etkin olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla I ve R kontrol grafiği ile beraber düşünüldüğünde söz konusu elde edilen sonucun doğru olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Dört numaralı hata kaynağının süreç üzerinde, bir numaralı hata kaynağında olduğu gibi 33-100 arasındaki ve 200-270 arasındaki gözlemlerde ufak kaymalara sebep olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla I ve R kontrol grafiği ile beraber düşünüldüğünde bu tespit doğrulanmaktadır. Ayrıca burada dikkat edilmesi gereken bir durumda bir, üç ve dört numaralı hata kaynakları arasında etkileşimin bulunduğu ancak bir ve dört numaralı hata kaynakları arasındaki etkileşimin diğerlerine göre daha kuvvetli olduğu sonucuna ulaşılabılır.

- Hotelling T^2 kontrol grafiğine göre; 50-100 arasında, 166-263 arasında ve 270-293 arasında bir yoğunlaşma mevcuttur. Ancak bunların arasında dikkat çeken durum ise 190-230 gözlemleri arasında yukarı eğim hareketinin oluştuğudur. Dolayısıyla STTG değişkenleri arasında çoklu bağlantı olmayacak şekilde bir tedbir alınmaya gidilse bile (değişken azaltma veya birleştirme yoluyla) yine de STTG değişkenleri arasındaki düşük düzeyde çoklu bağlantının varlığında bile Hotelling T^2 kontrol grafiğinde kontrol dışı sinyallerin oluşabileceği tespit edilmiştir. Çok değişkenli kontrol grafiklerinde kontrol dışına sebep olan değişkenlerin tespitine yönelik literatürde yer alan çeşitli ayrıştırma metodları kullanılarak çalışmalar yapılmasına rağmen bu çalışmada ayrıca bir çalışma gösterilmemiştir. Aynı problem ile ilgili olarak Orçanlı (2017) [70] tarafından hazırlanmış doktora tezinde yapay sinir ağları ile bir çözüm yöntemi yer almaktadır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Döküm üretim süreçlerinde çeşitli kalite kontrolü uygulamaları oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bütün üretim süreçlerinde olduğu gibi döküm üretim süreçlerinde de uygulanan kalite kontrolü uygulamalarının geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Günümüzde döküm üretim süreçlerinde kaliteyi büyük ölçüde erimiş metalin içine döküldüğü kalıpların türü ve hazırlanışındaki gösterilen özen belirlemektedir ve uygulamada genellikle çap, parlaklık ve uzunluk gibi üretilen nihai ürünün özellikleri (döküm hataları (casting defects)) kalite değişkenleri olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla üretim sürecinin değişkenliği de genellikle bu kalite karakteristikleri kullanılarak belirlenmektedir. Ancak literatür araştırması sonucunda eriyik halde bulunan karışımdan alınan numunelerin spektral analiz sonucunda eriyiğin içindeki element oranlarının da kalite karakteristiği olarak ele alınabileceği görülmüş ve bu kalite karakteristikleri istatistiksel kalite kontrol grafikleri ile izlenebileceği tespit edilmiştir. Bu kapsamda MKE Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde halen uygulanan kalite geliştirme çabalarını geliştirmek amacıyla bir istatistik kalite kontrolü uygulaması yapılmıştır.

MKE Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde eriyik halde bulunan metalin içindeki element oranlarına dayalı halen uygulanan bir kalite kontrolü yöntemi bulunmaktadır. Yapılan çalışmada, kalite geliştirme kapsamında bu element oranları, uygulanan yöntemden farklı olacak şekilde tek ve çok değişkenli kontrol grafikleri ile izlenmiş ve kontrol dışı sinyaller tespit edilmiştir. Kontrol grafikleri, döküm sanayisinde üretim sürecindeki değişimin görsel olarak sürekli izlenebilmesini sağladığından ve kolay uygulanmasından dolayı tercih edilmektedir. Tespit edilen kontrol dışı sinyal/sinyallerin hata kaynağı/kaynaklarının izlenen değişken ya da değişkenlere bağımlı olarak süreç uzmanlarına ve literatürde yer alan yöntemlere dayalı olarak yorumlama çalışmaları ile ilgili olumlu sonuçlara ulaşılamamıştır.

Hata kaynaklarının yorumlanması ile ilgili karşılaşılan duruma karşı STTG yöntemine dayalı bir yöntem önerilmiştir. Önerilen model, pirinç, demir ve alüminyum döküm süreçlerinde kullanılabilecek genel bir modeldir. Bu model, bütün döküm süreçlerinde kullanılabilir ancak problemin durumuna göre özelleştirilmesi gerekir. Yapılan çalışmada, önerilen model kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıya çıkarılmıştır.

- Literatürde yapılan çalışmalarda gerçek verilerin yönetimsel veya teknik sebeplerden dolayı elde edilmesi zor ve maliyetli olmasından genellikle benzetim yolu ile üretilmiş veriler kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada, gerçek veriler kullanılmıştır.

- STTG yönteminin, imalat sanayinde geometrik sapmaların modellenmesinde başarılı bir şekilde kullanıldığı, ancak

bunun proses (kimya, petro-kimya, döküm vb.) endüstrilerinde ve birbiriyle ilişki içinde olan kalite karakteristiklerin bulunduğu çok değişkenli endüstriyel üretim süreçlerinde uygulamasının olmadığı görülmüştür. Bu kapsamda yapılan çalışma ile söz konusu yöntemin yeni bir endüstri alanında uygulaması yapılmıştır.

- Ayrıca;

* STTG yönteminin imalat sanayinde geometrik sapmaların modellenmesi dışında pirinç üretim sürecinde de hatta benzer alüminyum ve demir döküm süreçlerinde uygulanabileceği,

* Söz konusu yöntemin STTE'lerin pirinç üretim sürecinde nasıl elde edilebileceği ve matematiksel modelin nasıl oluşturulabileceği,

* Literatürde kurulan modellerde STTE'ler her zaman tam olarak ele alınmıştır, ancak bazı üretim süreçlerinde bu durumun tam olmadığı ve eksik olabileceği ve bu durumda da söz konusu STTG yönteminin uygulanabileceği,

* STTG yönteminde hata vektörü olan A 'nın kalite değişken sayısının hata kaynağı sayısına eşit veya fazla olması durumlarına karşı matematiksel modeller önerilmiştir, Ancak eksik olması durumunda hata kaynağı sayısının azaltılması konusunda çeşitli istatistiksel yöntemlerinde (adimsal regresyon yöntemi, genelleştirilmiş ters matris yöntemi, değişken azaltma yöntemleri) uygulanabileceği,

* STTG katsayılarının literatürde tek değişkenli kontrol grafikleri ile izlenebileceği belirtilmesine rağmen çok değişkenli kontrol grafikleri ile de izlenebileceği görülmüştür.

7.1. Yöntemi Geliştirmeye Dair Elde Edilen Sonuçlar

Yapılan çalışmada çok değişkenli kontrol grafiklerinde tespit edilen kontrol dışı sinyallerin yorumlanması konusunda STTG yöntemine dayalı bir adet model önerilmiştir. Söz konusu önerilen modelin geliştirilmesi ile ilgili elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- STTG yöntemi, lineer çoklu regresyon yöntemine dayanmaktadır. Regresyonun klasik varsayımlarından bir tanesi gözlem sayısının tahmin edilecek anakütle katsayılarından fazla olmasıdır. Yani gözlem sayısı açıklayıcı değişken sayısından büyük olmalıdır. Eğer bu varsayım sağlanmazsa en küçük kareler yöntemi uygulansa bile katsayılar yanlı olmaktadır. Bu kapsamda STTG yöntemi değerlendirildiğinde; hataların gözlem sayısı hata kaynağı sayısından küçük olması durumunda, literatürde herhangi bir yöntem önerilmemiştir. Yapılan çalışmada böyle bir durum ile karşılaşılmış ve değişken sayısı indirme yöntemlerinden olan "modelin yeniden belirlenmesi" yöntemi kullanılmış ve değişken sayısı indirgenerek söz konusu model tekrar tanımlanmış ve modelin uygulanabilirliği ortaya konmuştur. Ayrıca böyle

durumlarda adımsal (stepwise) regresyon modeli/modelleri de kullanılabilir.

- Regresyon analizinde regresyon katsayıları, sıradan en küçük kareler yöntemi ile elde edilmektedir. Ancak bir matrisin determinantı sıfıra eşit olduğunda yani matris tekil bir matris olduğunda tersi alınmamaktadır. Bu kapsamda sıradan en küçük kareler yönteminde, (X) tekil olduğunda tersi alınmamaktadır. Çalışmada öyle bir durum ile karşılaşmamıştır. Ancak böyle durumlarda genelleştirilmiş ters matris (the generalized inverse matrix) yöntemi ile söz konusu eksiklik giderilebilir.

- STTG yönteminde kurulan ikinci modelde hata terimi bulunmaktadır. Hata terimi regresyonun varsayımlarından biri olan $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ şeklindedir. Ancak pirinç üretim sürecinde de görüldüğü gibi gerçek dünya koşullarında bu koşul sağlanamamaktadır. Yani çoğunlukla hata terimi sabit varyanslı ve bağımsız değil kovaryansa sahip olmaktadır. Dolayısıyla bu kapsamda yapılacak çalışmalarda kurulacak modellerde hata teriminin kovaryanslı olarak incelenebilir ve katsayıların elde edilmesinde genelleştirilmiş en küçük kareler yöntemi kullanılabilir. Bu konu ile ilgili detaylar Orçanlı, Birgören ve Oktay (2017) tarafından yapılan çalışmada bulunmaktadır.

- Yapılan çalışmada STTG katsayıları, Hotelling T^2 kontrol grafiği ile takip edilmiştir. Bu katsayılar Hotelling T^2 kontrol grafiği dışında *MEWMA* kontrol grafiği ile de izlenebilir ve kontrol dışı sinyaller literatürde mevcut olan temel bileşenler analizi [26] veya *MYT* ayrıştırma [50] yöntemlerinden birisi kullanılarak çözüm getirilebilir.

- STTE ortogonal olmaması durumunda oluşabilecek çoklu bağlantı problemi çalışmada aralarında korelasyonu yüksek olan değişkenlerin birinin çıkartılması ile yeniden tanımlanmış ve çoklu bağlantı problemi giderilmiştir. Ancak bu yöntemin dışında STTG katsayıları ridge regresyonu, temel bileşenler analizi gibi tekniklerle elde edilebilir ve bu katsayıların anlamlılığının karşılaştırması yapılabilir.

- Çok değişkenli kontrol grafiklerinde kontrol dışı sinyaller neden olan değişken veya değişken gruplarını ortaya koymak için lineer olmayan modeller de uygulanabilir.

7.2. Uygulamaya Yapılan Katkıları

Pirinç Fabrikası üretim sürecinde önerilen modelin uygulanması esnasında pirinç alışımlının kalitesine, uygulama tekniklerine ve fabrika personeline sağladığı katkıları aşağıda sunulmuştur.

- Pirinç Fabrikası Müdürlüğünde kalite kontrolü faaliyetleri kapsamında kısmi olarak uygulanan istatistiksel kalite kontrolü yöntemleri yüzde yüz olmasa da uygulanmaya başlanmıştır.

- Üretim sürecinde üretilen pirinç alışımlında değişimin varyansı düşmüştür ve kalitenin gelişmesi sağlanmıştır.

- Hurdaların harmanlanmasında ölçümleme işleminde daha hassas kantarın fabrika yönetimi tarafından satın alınarak kullanılması sağlanmıştır.

- Pirinç üretim sürecinde çalışan işçilerin farkındalıkları artmıştır.

- İşçiler tarafından vezinhaneye gelen hurdaların daha özenli olarak gruplara ayrılması sağlanmıştır.

- İşçiler ve diğer çalışanlar için eğitim programları yapılmış, uygulanmaya başlanmış ve başarılı uygulamaların yapılmasına başlandığı görülmüştür.

- Ölçümleme işleminde kullanılan stokiometrik tablolardaki değerler tekrar gözden geçirilmiş ve hatalı olarak değerlendirilen değerlerde düzeltme işlemleri yapılmıştır.

- Önerilen modelin uygulanması ile birlikte, fabrikanın kalite ve mali uzmanları ile 3 ay sonra yapılan görüşmeler neticesinde fabrikanın pirinç alışımlı satış gelirlerinde %0.4'lük bir artışın yakalandığı belirtilmiştir.

7.3. Gelecekte Yapılacak Çalışmalar İçin Öneriler

Yapılan çalışma kapsamında veya benzer konular ile ilgili gelecekte yapılabileceği değerlendirilen konular aşağıya çıkarılmıştır.

- Yapılan çalışmada, STTG katsayıları Hotelling T^2 kontrol grafiği ile izlenmiştir. Ancak söz konusu katsayılar *MEWMA* kontrol grafiği ile de izlenebilir. Katsayıların *MEWMA* kontrol grafiği ile izlenmesi durumunda *MEWMA* kontrol grafiği yönsel olarak *FEWMA* kontrol grafiğinde olduğu gibi "directionally invariant" özelliğine sahip olmaktadır. Dolayısıyla STTG katsayılarının izlendiği *MEWMA* kontrol grafiği ile *FEWMA* kontrol grafiğinin arasında varolabilecek ortak özelliklerinin tespitine yönelik çalışmalar yapılabilir.

- Çok değişkenli kontrol grafiklerinde doğal olmayan tipik örüntüler literatürde ağırlıklı olarak tek tek ele alınmaktadır. Ancak birçok üretim sürecinde doğal olmayan tipik örüntüler değişkenler arasındaki korelasyondan dolayı ardışık olacak şekilde oluşabilmektedir (concurrent pattern). Literatürde bu çeşitli ardışık örüntüler ile ilgili yapılan çeşitli çalışmalar mevcuttur, ancak yeterli değildir. Bu nedenle ardışık örüntülerin tespit edilmesi ile ilgili araştırmacılar tarafından çeşitli çalışmalar yapılabilir ve uygun sınıflandırıcı modelleri önerilebilir.

KAYNAKÇA

[1] Özel, S. (2005). Çok Değişkenli Kalite Kontrol Çizelgelerinin Döküm Sanayiinde Uygulanması, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

[2] Özel, S. ve Birgören, B. (2007), "Çok değişkenli kalite kontrol çizelgelerinin döküm sanayiinde uygulanması", Gazi

Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 22(4), 809-811.

[3] Energy and Environmental Profile of the U.S. Metalcasting Industry. (1999). U.S.Department of Energy Office of Industrial Technologies.

[4] Moseki, M. (2002). "Research into melting and casting of brass scrap for upliftment purposes". Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 102(2), 109-114.

[5] Nur Hamizah, M. (2010). Investigation of Brass Microstructure and Mechanical Properties Using Metal Casting, (Ph.D. Thesis), Universiti Malaysia Pahang, Malaysia.

[6] Pribulová A., Gengel' P. ve Bartošová M. (2010). Odpady z výroby ocelových a liatinových odlítkov /prachy – ich charakteristika, vlastnosti a možnosti použitia, TUKE Košice.

[7] Saravanakumar, P. (2015). "A systematic approach on reducing scrap level using six sigma in Indian foundries", International Journal of Emerging Researches in Engineering Science and Technology, 2, 12.

[8] Aran, A. (2007). Döküm Teknolojileri İmal Usulleri Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[9] Mysik, R. K., Brusnitsyn, S. V. ve Sulitsin, A. V. (2020). Determination of Thermo-Physical and Physical Properties of Complex Alloyed Brass. Solid State Phenomena, 299, 442-446.

[10] Şakar ve diğerleri (2019), Lead brass alloys for gamma-ray shielding applications, Radiation Physics and Chemistry, 159, 64-69.

[11] Brady, G.S. (1991). Materials Handbook: An Encyclopedia for Purchasing Managers, Engineers, Executives, and Foremen, McGraw-Hill Book Company INC, New York.

[12] Akgün, O. (2000). Pirinç Alaşımlarının Hazırlanmasında Flaksların Etkisi, (Yüksek Lisans Tezi), İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[13] Mindivan, H. (2001). Yüksek Mukavemetli Pirinçlerin Mikro Yapı ve Aşınma Özelliklerine Isıl İşlemin Etkisi, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[14] Sakallı, U.S. ve Birgören, B. (2009). "A spreadsheet-based decision support tool for blending problems in brass casting industry", Computers & Industrial Engineering, 56 (2): 724-735.

[15] Birgören, B. (2015), İstatistiksel Kalite Kontrolü, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.

[16] Çolak, M. (2011). Döküm endüstrisinde ergitme endüksiyon ocakları ve spektral analiz hesaplamaları, <http://www.demircelikstore.com/-1-3842-dokum-endustrisinde-ergitme-enduksiyon-ocaklari-ve-spektral-analiz-hesaplamalari.html>, Erişim Tarihi:12.10.2016.

[17] Moment Expo, (2008), Makine ve Aksamları İhracatçıları Birliği Aylık Makine İhracatı ve Ticareti Dergisi, Sayı:06.

[18] Orçanlı, K, Birgören, B. ve Oktay, E. (2018). Döküm Sanayisinde Metal Alaşım Oranlarına Hotelling T² ve MEWMA Kontrol Grafikleri Uygulamaları. Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi, 7 (1), 114-135

[19] Eygü, H. (2014), Çok Değişkenli İstatistiksel Kalite Kontrolünde Sıralı Küme Örnekleme Yönteminin Kullanılması: Çimento Sanayinde Bir Uygulama, (Yayımlanmamış Doktora Tezi), Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.

[20] Alt, F.B. (1985). Multivariate Quality Control, The Encyclopedia of Statistical Sciences, Wiley, New York, 110-122.

[21] Montgomery, D.C. ve Wadsworth, H.M. (1972), Some Techniques for Multivariate Quality Control Applications. In ASQC Technical Conference Transactions, Washington.

[22] Alt, F.B. ve Smith, N.D. (1988), Multivariate Process Control. In Handbook of Statistics (eds.P. R. Krishnaiah and C. R. Rao), 333-351. Elsevier.

[23] Lowry, C.A., Woodall, W.H., Champ, C.W. ve Rigdon, S.E., (1992), "A multivariate exponentially weighted moving average control chart", Technometrics, 34(1), 46-53.

[24] Reynolds, M. R. ve Cho, G. (2006), "Multivariate control charts for monitoring the mean vector and covariance matrix". Journal of Quality Technology 38(3), 230-253.

[25] Hotelling, H. (1947). Multivariate Quality Control, Illustrated by the Air Testing of Sample Bombsights, in Techniques of Statistical Analysis, Mc-Graw Hill, New York.

[26] Montgomery, D.C. (2013). Introduction to Statistical Quality Control (6th Edition), John Wiley, New York.

[27] Runger, G.C. (1996), "Projections and the U² Multivariate Control Chart." Journal of Quality Technology 28(3), 313-319.

[28] Barton, R.R., ve Gonzalez-Barreto, D.R. (1996). "Process oriented basis representations for multivariate process diagnostics", Quality Engineering, 9, 107-118.

[29] Mantripragada, R. ve Whitney, D.E. (1999), Modeling and Controlling Variation Propagation in Mechanical Assemblies Using State Transition Models. IEEE Transactions on Robotics and Automation 15(1), 124-140.

[30] Jin, J. ve Shi, J. (1999). "State space modeling of sheet metal assembly for dimensional control", Journal of Manufacturing Science and Engineering-Transactions of the ASME, 121(4), 756-762.

[31] Ding, Y., Ceglarek, D. ve Shi, J. (2000). "Modeling and Diagnosis of Multistage Manufacturing Processes: Part I: State Space Model." In Japan/USA Symposium on Flexible Automation, Ann Arbor, Michigan, JUSFA-13146.

[32] Zhou, S., Huang, Q. ve Shi, J. (2003), "State Space Modeling of Dimensional Variation Propagation in Multistage Machining Process Using Differential Motion Vectors". IEEE Transactions on Robotics and Automation 19(2), 296-309.

[33] Djurdjanovic, D. ve Ni, J. (2001). "Linear State Space Modeling of Dimensional Machining Errors". Transactions of NAMRI/SME XXIX, 541-548.

[34] Huang, Q., Zhou, N. ve Shi, J. (2000), Stream of Variation Modeling and Diagnosis of Multistation Machining Processes. American Society of Mechanical Engineers, Manufacturing Engineering Division, MED 11, 81-88.

[35] Espada Colon, H.I. ve Gonzalez-Barreto, D.R. (1997). "Component registration diagnosis for printed circuit boards

using process-oriented basis elements”, *Computers and Industrial Engineering*, 33, 389-392.

[36] Gong, L., Jwo, W. ve Tang, K. (1997). “Using on-line sensors in statistical process control”, *Management Science*, 43, 1017-1028.

[37] Singh, R. ve Gilbreath, G. (2002). “A real-time information system for multivariate statistical process control”, *International Journal of Production Economics*, 75, 161-172.

[38] Koçer, B. ve Birgören, B. (2010). Approaches For Problem Diagnosis Via Statistical Process Control Charts. *Gazi University Journal of Science*, 17 (4), 59-69.

[39] Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control* (5th Edition) John Wiley, New York.

[40] Runger, G.C., Barton, R.R., del Castillo, E. ve Woodall, W.H. (2007). “Optimal monitoring of multivariate data for fault patterns”, *Journal of Quality Technology*, 39(2), 159-172.

[41] Apley, D.W. ve Shi, J. (1998). “Diagnosis of multiple fixture faults in panel assembly”, *ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 120, 793-801.

[42] Lee, H.Y. ve Apley, D.W. (2004). “Diagnosing manufacturing variation using second-order and fourth-order statistics”. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 16, 45-64.

[43] Yang, K., He, Y. ve Xie, W. (1994). “Statistical diagnosis and analysis techniques: a multivariate statistical study for an automotive door assembly process”. *Quality Engineering*, 7, 1-29.

[44] Ceglarek, D., Shi, J. ve Wu, S.M. (1994). “A knowledge-based diagnostic approach for the launch of the auto-body assembly process”, *Journal of Engineering for Industry*, 116(4), 491-499.

[45] Mason, R.L. Chou, Y.M. ve Young, J.C. (2001). “Applying Hotelling’s T^2 statistic to batch processes”, *Journal of Quality Technology*, 33, 466-479.

[46] Stoumbos, Z.G., Reynolds, M.R., Ryan, T.P. ve Woodall, W.H. (2000). “The state of statistical process control as we proceed into the 21st century”, *Journal of the American Statistical Association*, 95, 992-998.

[47] Fuchs, C., ve Kenett, R.S. (1998). *Multivariate Quality Control: Theory and Applications*, Marcel Dekker, New York.

[48] Murphy, B.J. (1987). “Selecting out of control variables with the T^2 multivariate quality control procedures”, *The Statistician*, 36: 571-583.

[49] Doganaksoy, N., Faltin, F.W. ve Tucker, W.T. (1991), “Identification of out of control quality characteristics in a multivariate manufacturing environment”, *Communications in Statistics—Theory and Methods*, 20(9), 27-75.

[50] Mason, R. L., Tracy, N. D. ve Young, J. C. (1995). “Decomposition of T^2 for multivariate control chart interpretation”, *Journal of Quality Technology*, 27(2), 99-1108.

[51] Nedumaran, G. ve Pignatiello, J.J. (1998). “Diagnosing signals from T^2 and χ^2 multivariate control charts”, *Journal of Quality Engineering*, 10, 657-667.

[52] Birgören, B. (2000). “Çok boyutlu kalite kontrolde T^2 sinyallerinin scheffe tipi aralıklarla yorumlanması”, *İstatistik Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, 347-358.

[53] Maravelakis, P. E., Bersimis, S., Panaretos, J. ve Psarakis, S. (2002). “Identifying the out of control variable in multivariate control”, *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 31: 2391-2408.

[54] Mason, R.L., Chou, Y.M., Sullivan, J.H., Stoumbos, Z.G. ve Young, J.C. (2003). “Systematic patterns in T^2 charts”, *Journal of Quality Technology*, 35, 47-58.

[55] Orçanlı K., Oktay E. ve Birgören B. (2017). “The Effects of Covariance Over the Residuals of Process Oriented Basis Representation in Multivariate Quality Control”, *Social Sciences Research Journal*, 6 (2), 20-40.

[56] Apley, D.W. ve Lee, H.Y. (2003). “Simultaneous identification of premodeled and unmodeled variation pattern”, *Journal of Quality Technology*, 42(1), 36.

[57] Apley, D. W. ve Shi, J. (2001). “A factor-analysis method for diagnosing variability in multivariate manufacturing processes”. *Technometrics*, 43, 84-95.

[58] Jin, N. ve Zhou, S. (2006). “Data-driven variation source identification of manufacturing processes based on eigenspace comparison”, *Naval Search Logistics*, 55:383-396.

[59] Ding, Y., Gupta, A. ve Apley, D. (2004). “Singularity issues in fixture fault diagnosis for multi-station assembly systems”, *ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 126, 200-210.

[60] Huang, Q. ve Shi, J. (2004). “Variation transmission analysis and diagnosis of multi-operational machining processes”. *IIE Transactions on Quality and Reliability*, 36, 807-815.

[61] Birgören, B. (1998). *Multivariate Statistical Process Control for Quality Diagnostics and Applications to Process Oriented Basis Representations*, (Ph.D. Thesis), PennState University, Pennsylvania.

[62] Birgören, B. (2004), “A method for problem diagnosis in multivariate quality control: constrained solution spaces for process oriented basis representations”, *Teknoloji*, 7(1), 19-28.

[63] Colon, E. (1998) “Component registration diagnosis for printed circuit boards using process-oriented basis elements”, *Computers and Industrial Engineering*, 33, 389-392.

[64] Padilla, V.O. (2005), *Process Oriented Basis Estimation in Presence of Non-orthogonal Basis Elements*, (Master Thesis), University of Puerto Rico, Puerto Rico.

[65] Schmitt A.J., Marcus, A. ve Barton R. (2002). “Benefit analysis of process-oriented basis representation as a method of multivariate statistical process control”. *IIE 2002, Conference Proceedings*.

[66] Barton, R.R. ve Gonzalez-Barreto, D.R. (1999). “Process-oriented basis representations: linking manufacturing process design and diagnosis”, *Proc. Euro. Conf. Con. Eng.*, 9, 109-114.

[67] Montgomery, D.C., Peck, E.A. ve Vining, G.G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis*, John Wiley & Sons, New York.

[68] Orçanlı, K. (2017), Çok değişkenli Kontrol Grafikleri ve Yapay Sinir Ağları ile Döküm Sanayinde Bir İstatistiksel


Süreç Kontrolü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
[69] Hoerl, A.E. ve Kennard, R.W. (1970). "Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problems", *Technometrics*, 12, 55-67.


[70] Gunst, R.F. ve Mason, R.L. (1997). "Biased estimation in regression: An evaluation using mean squared error", *Journal of the American Statistical Association*, 72(359), 616-628.

Hiperspektral Görüntülerin Sınıflandırılmasında Farklı Boyut İndirgeme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

*¹Mehmet Zahid Yıldırım, ²Caner Özcan, ³Okan Ersoy

¹Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye
m.zahidyildirim@karabuk.edu.tr, 

²Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye
canerozcan@karabuk.edu.tr, 

³Purdue Üniversitesi, Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Fakültesi, Indiana, Amerika Birleşik Devletleri
ersoy@purdue.edu, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 14.05.2020

Kabul Tarihi: 25.08.2020

Öz

Günümüzde gittikçe önem kazanan uzaktan algılamada, araştırmacılar çeşitli spektral imzalar arasındaki ilişkileri bulmak için dünyanın yüzeyini temsil eden yüksek boyutlu verileri kullanırlar. Özellikle görüntüler, farklı malzemelerin özelliklerini yansıtan yüzlerce yüksek çözünürlüklü banttandır. Bununla birlikte, yüksek boyutlu uzayda çok sayıda farklı bantların bulunması, bu özelliklerin yorumlanmasını zorlaştırabilmektedir. Uzaktan algılama verilerinin ön-ışlemesi için boyutsallık probleminin çözümü için çeşitli zorluklar ile karşılaşmaktadır. Bu alanda ortaya çıkan araştırmalar, bunun zor bir problem olduğunu ve tüm sorunlara tek bir çözüm olmadığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, son çalışmalar katmanlı uzay öğrenme tekniklerinin hiperspektral görüntülerin ön işleminde çok önemli bir çözüm olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada, en güncel katmanlı uzay yerleştirme yöntemlerinin hiperspektral veriler üzerindeki performansı karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Her bir yöntemin bu alanda en çok kullanılan iki farklı veri seti kullanılarak boyut indirgeme uygulaması gerçekleştirilmiş ve en yakın komşu (1NN) sınıflandırması ile performansı doğrulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre karşılaştırılan katmanlı uzay yerleştirme yöntemlerinin hiperspektral verilerin sınıflandırılmasında sınıf bazlı farklılıklar olsa da başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca her bir yöntemin çalışma zamanı grafik olarak sunulmuş ve hangi yöntemin daha hızlı çalıştığı sebepleriyle birlikte açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Boyut indirgeme, Çok katmanlı alan yerleştirme, Hiperspektral görüntü, Sınıflandırma

Comparison of Different Dimension Reduction Methods in Classification of Hyperspectral Images

*¹Mehmet Zahid YILDIRIM, ²Caner ÖZCAN, ³Okan ERSOY

¹Karabuk University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Karabuk, Turkey
m.zahidyildirim@karabuk.edu.tr

²Karabuk University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Karabuk, Turkey
canerozcan@karabuk.edu.tr

³Purdue University, School of Electrical and Computer Engineering, Indiana, United States
ersoy@purdue.edu

Abstract

In remote sensing, which is becoming increasingly important today, researchers use high-dimensional data representing the surface of the earth to find relationships between various spectral signatures. In particular, images can consist of hundreds of high-resolution bands that reflect the properties of different materials. However, the presence of a large number of different bands in high-dimensional space can make interpretation of these features difficult. Various difficulties are encountered due to dimensionality problem for pre-processing of remote sensing data. Research in this area reveals that this is a difficult problem and not a single solution to all problems. However, recent studies show that manifold learning techniques are a very important solution in the preprocessing of hyperspectral images. In this study, the performance of the state-of-the-art manifold embedding

*Sorumlu yazar: Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Karabük, m.zahidyildirim@karabuk.edu.tr, +90 507 486 1453

methods on hyperspectral data is analyzed comparatively. The dimension reduction application of each method has been carried out by using two different data sets that are used most in this field and their performance have been verified by the nearest neighbor (1NN) classification. Even though there are class-based differences in the classification of hyperspectral data, it is seen that manifold embedding methods, which are compared according to the obtained results, yield successful results. In addition, the runtime of each method is presented graphically and explained along with the reasons for which method works faster.

Keywords: Dimension reduction, Multidimensional field embedding, Hyperspectral image, Classification

1. GİRİŞ

Birçok gerçek dünya nesnesi, görüntüler, konuşma sinyalleri, videolar ve metin belgeleri yüksek boyutlu gösterimlerle ilişkilendirilebilir. Bu büyük veri setlerini analiz etmek ve işlemek, araştırmacılar için önemli bir çalışma alanıdır. Büyük veri kümeleri, karakter özelliklerini koruyarak daha küçük kümelere dönüştürülmelidir. Yüksek boyutlu bir özellik alanında temsil edilen anlamlı veri kalıplarını bulmak oldukça zordur. Bu zorlukları ele almak için, temel bileşenler analizi [1]-[4], çok boyutlu ölçekleme [5], yerel Fisher diskriminant analizi [6] ve yarı denetimli yerel Fisher diskriminant analizi [7] gibi geleneksel doğrusal temelli boyut indirgeme teknikleri geliştirilmiştir.

Görüntüleme sistemlerinde artan veri boyutları ve detaylar, doğrusal yöntemlerin bu zorlukları ele almak için çoğunlukla yeterli olmadığını göstermiştir. Bu gelişmeler sonucunda, doğrusal olmayan yöntemler ortaya çıkmıştır. Yerel doğrusal yerleştirme yöntemi [8], doğrusal bir dönüşümle komşuluk ilişkisini temsil eder ve her bir komşu bölge için veri noktalarının yeniden yapılandırılmasını sağlar. İzometrik özellik haritalama [9], hem verilerin yerel komşuluğunda hem de parçalı kombinasyonlarında doğrusallık varsayılarak küresel doğrusal olmayan yapılar oluşturmak için önerilmiştir. İzometrik özellik haritalama ilk önce yerel doğrusal yerleştirmede olduğu gibi yerel bir çözüm üretir ve daha sonra çok boyutlu ölçekleme üzerinden doğrusal olmayan veriler için küresel optimal sistemi elde eder. Laplas özharitalar [10], bir katmanlı uzay üzerindeki laplas Beltrami operatörü ve ısı denklemi bağlantıları arasındaki ilişkiyi kullanır. Laplas özharitalar çözüm alanlarının yanı sıra yerel doğrusal yerleştirme, lineer transformasyon ve laplas matrislerinin izleyen öz vektörlerini içerir. Lokal tanjant uzay hizalamada [11], katmanlı uzayın yerel geometrisi, her bir veri noktasında teğet uzayı için bir yaklaşımın oluşturulmasıyla öğrenilir ve küresel katmanlı uzay, daha sonra temel noktaya göre veri noktalarının global koordinatlarını vermek üzere hizalanır. Boyutların azaltılması için etkili bir keşif olan maksimum açılma varyansı [12], yerel mesafelerin korunmasına bağlı varyans yerleştirme haritalarının en üst düzeye çıkarılmasıyla verilerin düşük boyutlu bir şekilde temsil edilmesini sağlar. Yapay gözetimsiz bir sinir ağı olan öz-düzenlemeli özellik haritası [13], yüksek boyutlu verilerin görselleştirilmesi ve analizi için de önerilmektedir.

Son zamanlarda, olasılıksal yöntemler için verimli algoritmaların geliştirilmesine büyük ilgi gösterilmiştir. Rastlantısal komşu yerleştirme (Stochastic neighbor embedding, SNE) [14], veri noktaları arasındaki koşullu

olasılıklar olarak yüksek boyutlu mesafeleri temsil ederek benzerlikleri tanımlamaktadır. t-dağılımlı rastlantısal komşu yerleştirme (t-distribution stochastic neighbor embedding, t-SNE) [15] SNE' nin daha küçük boyutlu uzayda verilerin yerel yapısını koruyan ve önemli bir küresel yapı ortaya koyan bir varyasyondur. Küresel rastlantısal komşu yerleştirme (The spherical stochastic neighbor embedding, sSNE) [16], sabit bir kavisi koordinat sistemi göz önünde bulundurularak, öklit olmayan bir katmanlı uzay içine veri katmayı amaçlayan başka bir SNE varyasyonudur. Çok boyutlu yapay alan yerleştirme (Multidimensional artificial field embedding-MAFE) [17], yüksek boyutlu alandaki komşuluk ilişkilerini korumak için minimum enerji konfigürasyonuna yol açan yeni bir boyut indirgeme çatisıdır. Tüm bu yöntemler, doğrusal olmayan katmanlı uzay verisinde bir koordinat temsili arar ve hiperspektral veriler dahil olmak üzere farklı uygulama alanlarının analizinde önemli bir rol oynar [18]-[20].

Algoritma verimliliği ve belirli veri uygulamalarındaki farklılıklara rağmen, boyut indirgeme yöntemleri, sınıflandırıcı girdi özelliklerini azaltma, daha iyi sıkıştırma ve daha iyi görselleştirme gibi bazı özellikleri miras alır. Her yerleştirme tekniği, doğrusal olmayan katmanlı uzay verisinde bir koordinat temsili bulmaya çalışır.

Bu çalışmada, olasılıksal temelli yöntemlerden SNE ve t-SNE yöntemleri ile kuvvet alan formülasyonuna dayanan çok boyutlu bir alan yerleştirme algoritması olan MAFE yöntemi ve MAFE yönteminin geliştirilmiş bir varyasyonu olan Enhanced-MAFE yöntemleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemler hiperspektral görüntülerden elde edilmiş olan Botswana Hyperion ve Kennedy Space Center (KSC) verileri üzerine uygulanmıştır. Tüm yöntemlerin kodları Matlab ortamında yazılarak uygulanmıştır. Ayrıca Enhanced-MAFE yönteminin KSC verisi üzerindeki performans değerlendirmesi ilk kez bu çalışmada gerçekleştirilmiştir.

2. YÖNTEMLER

Doğrusal olmayan katmanlı uzay yerleştirme yöntemleri hiperspektral görüntülerdeki spektral imzaları daha düşük boyutlarda karakterize etmek için oldukça kullanışlı tekniklerdir. Bu teknikler yüksek boyutlu uzaydaki veriye özgü geometrik imzaları koruyarak bunu daha düşük boyutlu bir uzayda temsil etmeye çalışır. Çalışmada kullanılan tüm yöntemler girdi uzayındaki komşuluk ilişkilerini analiz eder. Bu ilişkiler korunarak daha düşük boyutlardaki çıktı uzayı elde edilir. Bu çıktının girdi uzayı ile aynı sonuçları vermesi hedeflenmektedir.

2.1. Rastlantısal Komşu Yerleştirme

SNE algoritması yüksek boyutlu uzayda bulunan verilerin daha düşük bir düzlemde birbirlerine olan konumlarını korumayı amaçlamaktadır [14]. Yüksek boyutlu veri setindeki her bir i noktasının ve tüm potansiyel komşu j noktalarının olasılık yoğunluk fonksiyonu,

$$p_{ij} = \frac{\exp(-d_{ij}^2)}{\sum_{k \neq i} \exp(-d_{ik}^2)} \quad (1)$$

$$d_{ij}^2 = \frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma_i^2} \quad (2)$$

şeklinde verilmektedir. Burada σ standart sapmayı ifade etmektedir. Eğer veri içerisinde iki nokta birbirlerine yakın ise olasılık yoğunluk fonksiyonu değeri yüksektir. Benzer şekilde düşük boyutlu çıkış uzayındaki her i noktasının j komşulukları ise denklem (3)' deki gibi verilmektedir.

$$q_{ij} = \frac{\exp(-\|y_i - y_j\|^2)}{\sum_{k \neq i} \exp(-\|y_i - y_k\|^2)} \quad (3)$$

Yüksek boyutlu veri setindeki veriler, düşük boyuta indirildiğinde (1) ve (3) denklemlerinin birbirine eşit olması beklenmektedir. Bu, her bir nesne için komşular üzerinde orijinal (p_{ij}) ve indirgenmiş (q_{ij}) dağılımları arasındaki Kullback-Leibler (KL) sapmalarının toplamı olan bir maliyet fonksiyonunu en aza indirerek elde edilir:

$$C = \sum_i \sum_j p_{ij} \log \frac{p_{ij}}{q_{ij}} = \sum_i KL(P_i \| Q_i) \quad (4)$$

Bu denklemin gradyan iniş algoritması kullanılarak indirgenmiş hali ise denklem (5) de verilmektedir.

$$\frac{\delta C}{\delta y_i} = 2 \sum_j (y_i - y_j)(p_{ij} - q_{ij} + p_{ji} - q_{ji}) \quad (5)$$

2.2. T-Dağılımlı Rastlantısal Komşu Yerleştirme

t-SNE yöntemi, SNE yönteminin daha düşük boyutlu uzayda verilerin yerel yapılarını koruyan ve önemli bir küresel yapı ortaya koyan bir varyasyonudur [15]. Yüksek boyutlu uzay için SNE ile aynı formülasyonu kullanan t-SNE çıkış uzayı için denklem (6)' daki formülasyonu kullanmaktadır.

$$q_{ij} = \frac{(1 + \|y_i - y_j\|^2)^{-1}}{\sum_{k \neq i} (1 + \|y_i - y_k\|^2)^{-1}} \quad (6)$$

SNE yönteminin gauss dağılımından farklı olarak burada t-dağılımı kullanılmaktadır. Maliyet fonksiyonun gradyan iniş algoritması ile indirgenmiş hali ise denklem (7)' de verilmektedir.

$$\frac{\delta C}{\delta y_i} = 4 \sum_j (p_{ij} - q_{ij})(y_i - y_j)(1 + \|y_i - y_j\|^2)^{-1} \quad (7)$$

2.3. Çok Boyutlu Yapay Alan Yerleştirme

MAFE, yüksek boyutlu alandaki komşuluk ilişkilerini korumak için minimum enerji konfigürasyonuna yol açan yeni bir boyut indirgeme çatısıdır [17]. Potansiyel bir alan için çok boyutlu alan yerleştirme veya kuvvet alanı yöntemi, en uygun enerji çözümünü bulmak için toplam çekme ve itme potansiyel fonksiyonlarını en aza indirmek olarak yorumlanır. Her yüksek boyutlu veri noktasının daha düşük boyutlu bir alanda bir haritaya sahip olduğu varsayılmaktadır. Optimum yerleştirme haritası, her iki kuvvet alanları tarafından belirlenen grafiğin denge durumuna karşılık gelir. Bir dizi kriter, kuvvetlerin etkileşimi sırasında potansiyel işlevlerin seçimini yönlendirir. İtme potansiyel fonksiyonu kısa mesafelerde baskındır ve bu nedenle yerel ilişkileri temsil ederken çekme potansiyel fonksiyonu uzun mesafelerde baskındır ve küresel ilişkileri temsil eder. Bu şekilde, boyutsallık azaltma sorunu, yerleştirme ilişkilerini koruyan minimum enerji konfigürasyonunu bulmak olarak formüle edilmektedir.

Boyut indirgeme yöntemleri, $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ yüksek boyutlu veri kümesini $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ daha düşük boyutlu veriye dönüştürür. Kuvvet alanı formülasyonlarına göre, her bir harita için hareket dinamikleri şu şekilde yazılabilir:

$$\dot{z}_i = - \sum_{j \neq i} \{ \nabla_{z_i} U_a^{ij}(\|z_i - z_j\|) - \nabla_{z_i} U_r^{ij}(\|z_i - z_j\|) \} \quad (8)$$

Burada, U_a^{ij} ve U_r^{ij} sırasıyla çekme ve itme potansiyel fonksiyonlarıdır. ∇_{z_i} gradyan operatörüdür. $(z_i - z_j)$ vektörü, çekme ve itme etkileşim kuvvetlerinin zıt yönlerde hareket ettiği hizalamayı tanımlar. Her bir harita için çekme ve itme potansiyeli,

$$U_i(Z) = \sum_{j \neq i} \{ U_a^{ij}(\|z_i - z_j\|) - U_r^{ij}(\|z_i - z_j\|) \} \quad (9)$$

olarak ifade edilebilir. Komşuluk grafiğindeki toplam üst üste gelme potansiyeli ise şöyle tanımlanır:

$$U(Z) = \sum_{i=1}^N U_i(Z) \quad (10)$$

Kararlı durum için genel optimizasyon problemi ise,

$$Z^* = \operatorname{argmin}_Z U(Z) \quad (11)$$

olarak ifade edilebilir. Burada Z^* daha düşük boyutlu uzayda optimum Z olur. Minimum enerji yakınsaması sonucunda, itme ve çekme kuvvetleri dengelenmiştir.

Maliyet fonksiyonunu en aza indirmek için, her bir piksel için yüksek boyutlu ve düşük boyutlu uzaylar arasındaki KL sapmalarının toplamının gradyanı kullanılır. Bu, yüksek boyutlu uzay ile düşük boyutlu uzay arasındaki bağlantıyı verir. KL ayrılmalarının gradyanı ile birlikte maliyet fonksiyonu,

$$\dot{z}_i = - \sum_{j \neq i} (z_i - z_j) \xi_a w_{ij} p \|z_i - z_j\|^{p-2} - \xi_r q \|z_i - z_j\|^{q-2} \exp\left\{-\frac{\|z_i - z_j\|^q}{\sigma}\right\} \quad (12)$$

olarak ifade edilmektedir. Burada ξ_a ve ξ_r sırasıyla çekme ve itme kuvvetlerinin büyüklük parametreleridir.

2.4. Geliştirilmiş Çok Boyutlu Yapay Alan Yerleştirme

Enhanced-MAFE [21], MAFE yönteminin bir varyasyonudur. Yüksek boyutlu veri kümesi MAFE ile aynı şekilde kullanılırken, düşük boyutlu çıktı uzayındaki formülasyondaki geliştirme ile MAFE yöntemine göre Botswana verileri üzerinde daha yüksek doğruluk ve daha iyi görselleştirme sağlanmıştır. Maliyet fonksiyonu düşük boyutlu uzaydaki değişim ile beraber şu şekilde tanımlanmaktadır.

$$\dot{z}_i = -2 \sum_{j \neq i} (z_i - z_j) \left\{ \|z_i - z_j\|^{-1} (\xi_a p_{ij} - \xi_r q_{ij}) \right\} \quad (13)$$

burada çekme ve itme kuvvetlerinin büyüklük parametreleri deneysel olarak 0 ile 1 arasında seçilmektedir. Bu aralık, bu kuvvetler arasında güçlü bir ilişki sağlamaktadır. Önerilen yöntemin üstünlüğü bu yeni maliyet fonksiyonundan gelmektedir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR

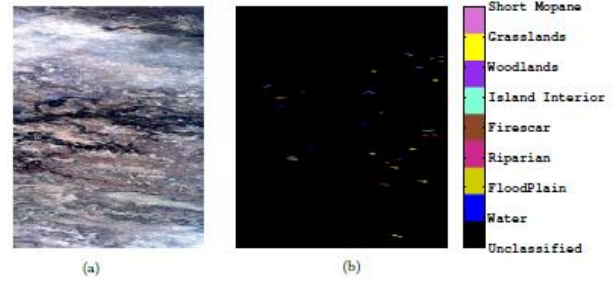
Sunulan yöntemlerin performanslarını değerlendirmek için, 9 farklı sınıfa sahip Botswana Hyperion verileri kullanılmıştır.

Tablo 1. Botswana verisi için sınıf sayıları

Etiket	Sınıf	Örnek Sayısı
C1	Water (Su)	158
C2	Floodplain (Taşkın Alanı)	228
C3	Riparian (Dere kenarı)	237
C4	Firescar (Kara yüzey)	178
C5	Island interior (Ada içi)	183
C6	Woodlands (Ağaçlık)	199
C7	Grasslands (Çayır)	162
C8	Short mopane (Kısa mopan)	124
C9	Unclassified (Sınıflandırılmamış)	111
Toplam		1580

Genel sınıf grupları Tablo 1' de gösterilmektedir. NASA EO-1 uydusu tarafından 2001-2004 yılları arasında elde edilen görüntülerde, içerisinde yanlış kalibre edilmiş detektörlerden gelen veriler ve gürültülü bantlar

çıkarıldıktan sonra, sınıflandırma çalışmaları için 145 banttan oluşan gözlemler sunulmaktadır.

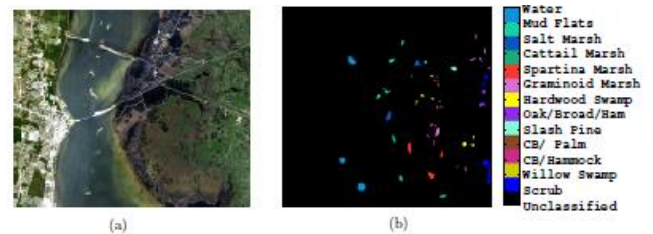


Şekil 1. (a) Okavango deltası, Botswana (b) Doğrulama verisi

Şekil 1' de Güney Afrika ülkelerinden biri olan Botswana üzerinde bulunan Okavango deltasına ait uydu ve doğrulama verisi görselleri gösterilmektedir. Botswana verisi ile birlikte, 13 farklı sınıfa sahip KSC verileri kullanılmıştır. Sınıflandırma grupları Tablo 2'de verilmektedir. NASA AVIRIS uçağı ile elde edilen görüntülerde, Su absorpsiyonu ve düşük çözünürlüklü bantlar çıkarılarak, sınıflandırma çalışmalarında 176 banttan oluşan veriler kullanılmaktadır.

Tablo 2. KSC verisi için sınıf sayıları

Etiket	Sınıf	Örnek Sayısı
C1	Scrub (Çalılık)	761
C2	Willow swamp (Söğüt bataklığı)	243
C3	CP/Hammock (CP/Hamak)	256
C4	CP/Palm/Ham (CP/Palmiye/Ham)	252
C5	Slash pine (Ağaçlık Çam)	161
C6	Oak/Broad (Meşe/Kuru)	229
C7	Hardwood swamp (Meşe bataklığı)	105
C8	Graminoid marsh (Otsu bataklık)	431
C9	Spartina marsh (Çim bataklık)	520
C10	Cattail marsh (Hasırotu)	404
C11	Salt marsh (Tuzlu Bataklık)	419
C12	Mud flats (Çamur düzlük)	503
C13	Water (Su)	927
Toplam		5211



Şekil 2. (a) KSC renkli görüntüsü (b) Doğrulama verisi

Şekil 2' de Amerika' nın Florida eyaletinde bulunan uzay merkezine ait uydu ve doğrulama verisi görselleri gösterilmektedir. Deneysel sonuçlar her bir sınıf için ayrı olarak sunulmaktadır. Her algoritmanın parametreleri, en iyi sınıflandırma doğruluğunu elde etmek için belirlenmiştir. Bu çalışmada, tanımlanmış nesne sınıflarının veya toprak arazi

örtüsünün, alt boyut uzayında ayrılabilir hacimler kullanıp kullanmadığını ve başarılı bir şekilde ayırt edilemeyeceğini belirlemek için Matlab’ da tanımlı en yakın komşu (1NN) sınıflandırma performans doğruluğu kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalarda farklı yerleştirme uzayları kullanılmış ve gömülü haritalar rastgele eğitim (%70) ve test (%30) kümelerine bölünmüştür. Tablo 3 ve Tablo 4’ de verilerde bulunan tüm sınıflara ait doğruluk oranları 1NN yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Ayrıca toplam doğruluk oranları için Kappa istatistiği (KS) [22] kullanılarak sınıflandırma doğruluklarının ortalaması alınmıştır. KS şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$KS = \frac{N \sum_{c=1}^{|C|} t_{cc} - \sum_{c=1}^{|C|} t_{c+} t_{+c}}{N^2 - \sum_{c=1}^{|C|} t_{c+} t_{+c}} \quad (14)$$

Burada N test örneklerinin sayısını, t_{cc} C sınıfındaki doğru sınıflandırılmış örnek sayısını, t_{c+} C sınıfı olarak etiketlenmiş test örneklerinin sayısını ve t_{+c} C sınıfına ait olduğu tahmin edilen örnek sayısını göstermektedir. $|C|$, verilerdeki toplam sınıf sayısını belirtmektedir. KS tesadüfen doğru sınıflandırma olasılığını hesaba kattığı için basit yüzdelik doğruluk hesaplamasından daha güçlü bir ölçü olarak bilinir.

Tablo 3. Botswana verisi için sınıflandırma sonuçları

Etiket	Doğruluk Oranları (%)			
	SNE	t-SNE	MAFE	Enhanced MAFE
C1	100	100	99.89	100
C2	100	100	100	99.58
C3	76.19	90.91	90.48	97.70
C4	94.74	94.74	79.46	100
C5	94.44	88.89	99.17	96.76
C6	68.42	90	94.19	100
C7	96.18	93.75	93.24	100
C8	91.67	100	100	100
C9	91.67	90.91	90.91	99.13
KS	89.26	93.55	94.27	99.07

Botswana verisi için Tablo 3’ de verilen sonuçlar incelendiğinde En iyi KS sonucunu Enhanced-MAFE yönteminin verdiği görülmektedir. Ayrıca 9 sınıfın 7’ sinde yine Enhanced-MAFE diğer yöntemlerden daha başarılı sonuçlar vermektedir. Diğer iki sınıfta ise kıyaslanan yöntemlere yakın sonuçlar aldığı görülmektedir. Sınıf ayrımlarının en zor olduğu sınıflar C3 ve C6 sınıflarıdır. C1, C2 ve C8 sınıfları ise tüm yöntemler için etiketlenmesi kolay sınıflar olarak görülmektedir.

Tablo 4’ te verilen KSC verileri için KS oranı tüm yöntemlerde yakın olmakla beraber en başarılı yöntem Enhanced-MAFE olarak görülmektedir. Enhanced-MAFE 13 sınıfın 8’ i için en iyi sınıflandırma doğruluk oranlarına sahiptir. C1, C7 ve C8 sınıfları için SNE, C2 sınıfında t-SNE, C4 sınıfında ise MAFE yöntemi en yüksek doğruluk

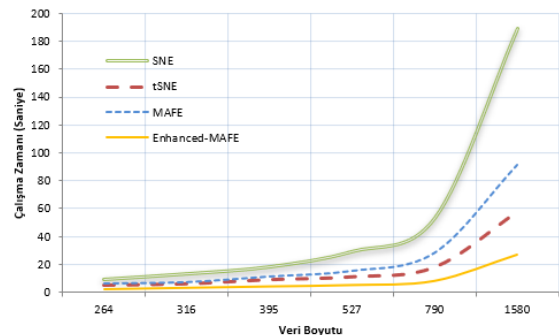
oranlarını vermektedir. Sınıf ayrımlarının en zor olduğu sınıflar C4, C5, C6 ve C8 sınıflarıdır. C13 sınıfı tüm sınıfların tam doğruluk oranı gösterdiği tek sınıftır.

Tablo 4. KSC verisi için sınıflandırma sonuçları

Etiket	Doğruluk Oranları (%)			
	SNE	t-SNE	MAFE	Enhanced MAFE
C1	91.20	90.34	65.26	68.54
C2	85.34	87.04	79.03	77.42
C3	80.40	78.33	94.52	98.61
C4	51.90	45.61	68.75	64.62
C5	41.20	41.03	93.33	95.24
C6	39.30	35.71	26.98	44.26
C7	82.77	80.77	35.29	67.65
C8	63.62	60	43.75	42.98
C9	93.56	91.74	99.30	99.30
C10	93.68	93.68	95.08	97.56
C11	93.81	93.81	99.11	100
C12	81.91	80.51	97.60	98.39
C13	100	100	100	100
KS	81.90	80.10	79.92	82.51

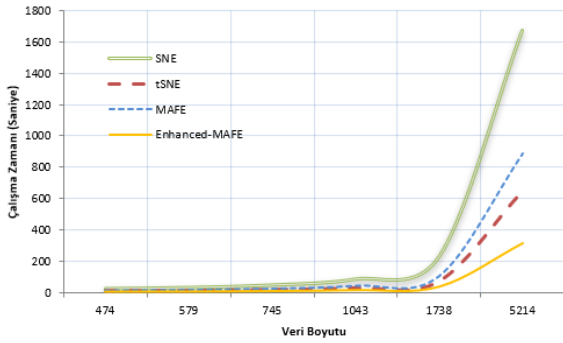
Tablo 3 ve Tablo 4’ te verilen sonuçlar için literatürdeki diğer çalışmalarda olduğu gibi Botswana verisi 1/3, KSC verisi ise 1/11 oranında örnekleterek sonuçlar elde edilmektedir.

Her iki tabloda da sınıflar bağımsız olarak incelendiğinde ağaçlık, dere kenarı ve bataklık bölgelerdeki sınıflandırmanın zor olduğu görülmektedir. Su ise ayırt edilebilmesi en kolay sınıf olarak karşımıza çıkıyor. Ayrıca her iki veri seti içinde Enhanced-MAFE yönteminin sınıflar arasındaki ayrımı oldukça başarılı yapabildiği gözlemlenmektedir. Özellikle ayrımı zor sınıflar için en yüksek doğruluk oranlarını büyük çoğunluğunda Enhanced-MAFE yöntemi vermektedir.



Şekil 3. Botswana verisi için çalışma zamanı

Şekil 3’ de verilen veri boyutuna bağlı çalışma zamanı grafiği incelendiğinde, yöntemlerin veri boyutları arttıkça giderek ivmelenen bir çalışma zamanı artış grafiği izledikleri görülmektedir. SNE yönteminin büyük boyutlardaki veri gruplarını analiz etmede diğer yöntemlere kıyasla çalışma zamanı oldukça yüksektir. Enhanced-MAFE diğer yöntemlere göre daha az etkilenen bir grafik sunmaktadır.



Şekil 4. KSC verisi için çalışma zamanı

Şekil 4' te verilen KSC verileri de Botswana ile benzer şekilde SNE yönteminin çalışma zamanı, veri boyutu arttıkça artan bir ivme ile yükselmektedir. Enhanced-MAFE, KSC verileri içinde en hızlı yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. KSC veri boyutunun Botswana'ya göre daha büyük olmasına rağmen karşılaştırılan yöntemlerin çalışma zamanlarının benzer özellikler gösterdiği görülmektedir.

Uygulanan yöntemlerin her birinde yüksek boyuttaki veriler, gömülü uzayda gradyan iniş algoritması ile optimum uzaklıklara erişinceye kadar yakınsamaktadır. Optimum yakınsama için her yöntem farklı iterasyonlarda çalışmaktadır. Yöntemlerin çalışma zamanları hesaplanırken her bir yöntem için en yüksek doğruluk oranlarına ulaştıkları iterasyon sayıları kullanılmıştır. Bu anlamda incelendiğinde Enhanced-MAFE yöntemi çok daha düşük iterasyon sayısı ile maksimum doğruluk oranına ulaşmaktadır. Bu da çalışma zamanına olumlu bir katkı sağlamaktadır. Verilerin örnekleme doğruluk oranlarını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Örneklem yapmadan tüm verilerin seçilmesi ise çalışma zamanını oldukça arttırmaktadır. Hem Şekil 3 hem de Şekil 4' te verilen grafikler incelendiğinde yöntemlerin düşük boyutlu veriler kullanıldığında benzer çalışma zamanı gerektirdikleri, ancak boyutlar arttıkça bu durumun değiştiği görülmektedir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada hiperspektral veri sınıflandırması için potansiyel alanlara yönelik katmanlı uzay yerleştirme algoritmalarının karşılaştırmalı performansları incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda Botswana ve KSC hiperspektral veri setleri kullanılmıştır. Veri setleri üzerinde 4 farklı boyut indirgeme yönteminin doğruluk oranı ve çalışma zamanı performansları gözlemlenmektedir. Her iki veri setinde de Enhanced-MAFE yönteminin diğer yöntemlerden daha yüksek sınıflandırma başarısı elde ettiği gözlemlenmektedir. Veri setlerindeki sınıflar bağımsız değerlendirildiğinde ise ayırt edilmesi en zor olan ağaçlık, bataklık ve dere kenarı bölgelerde yine Enhanced-MAFE yönteminin sınıflandırma başarısı diğer yöntemlere kıyasla daha iyi sonuçlar vermektedir.

Hiperspektral veriler özellikle büyük boyutları sebebiyle işlenmesi zor ve zaman almaktadır. Bu anlamda yöntemlerin veri boyutuna bağlı olarak çalışma zamanlarında artan

oranlarla yükselmeler gözlemlenmiştir. Burada Enhanced-MAFE yöntemi en iyi çalışma zamanı değerlerini elde etmiştir. Bunun en önemli sebebi yöntemin en yüksek doğruluk oranına çok daha az iterasyon ile ulaşabilmesidir. Bunlara ek olarak, çalışma zamanı grafikleri her iki veri setinde de oransal olarak benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar bize yöntemlerin çalışma zamanının veriden bağımsız olduğunu da göstermektedir.

Çalışmada gözlemlendiğimiz en önemli hususlardan birisi de yöntemlerde kullanılan parametrelerdeki ufak değişimlerin sonuçları çok fazla etkilemesidir. Gelecekteki çalışmalarda bu parametrelerin optimizasyonunu gerçekleştiren yaklaşımlar yöntemlerin başarı oranlarında ve çalışma zamanlarında daha iyi sonuçlar elde edilmesine olanak tanıyacaktır.


KAYNAKÇA


- [1] K. Pearson, "On lines and planes of closest fit to systems of points in space," *Philosophical Magazine*, vol. 2, no. 11, pp. 559-572, 1901.
- [2] H. Hotelling, "Analysis of a complex of statistical variables into principal components," *Journal of Educational Psychology*, vol. 24, pp. 417-441, 1933.
- [3] I. T. Jolliffe, "Principal component analysis in regression analysis," *Springer*, vol. 2, pp. 129-155, 1986.
- [4] A. M. Martinez and A.C. Kak, "Pca versus lda," *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 23, no. 2, pp. 228-223, 2001.
- [5] W. Torgerson, "Multidimensional scaling I: theory and method," *Psychometrika*, vol. 17, pp. 401-419, 1952.
- [6] M. Sugiyama, "Dimensionality reduction of multimodal labeled data by local fisher discriminant analysis," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 8, pp. 1027-1061, 2007.
- [7] M. Sugiyama, T. Ide, S. Nakajima and J. Sese, "Semi-supervised local fisher discriminant analysis for dimensionality reduction," *Machine Learning*, vol. 78, no. 1-2, pp. 35-61, 2010.
- [8] S. Roweis and L. K. Saul, "Nonlinear dimensionality reduction by locally linear embedding," *Science*, vol. 290, pp. 2323-2326, 2000.
- [9] J. B. Tenenbaum, V. De Silva and J. Langford, "A global geometric framework for nonlinear dimensionality reduction," *Science*, vol. 290, pp. 2319-2323, 2000.
- [10] M. Belkin and P. Niyogi, "Laplacian eigenmaps for dimensionality reduction and data representation," *Neural Computation*, vol. 15, no. 6, pp. 1373-1396, 2003.
- [11] Z. Zhag and H. Zha, "Principal manifolds and nonlinear dimensionality reduction via tangent space alignment," *SIAM Journal on Scientific Computing*, vol. 26, no. 1, pp. 313-338, 2004.
- [12] L. Song, A. Smola, K. Borgwardt and A. Gretton, "Colored maximum variance unfolding," *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 21, pp. 1385-1392, 2008.
- [13] T. Kohonen and T. Honkela, "Kohonen network," *Scholarpedia*, vol. 2, no. 1, pp. 1568, 2007.


- [14] G. Hinton and S. Roweis, "Stochastic neighbor embedding," *Advances in Neural Information Processing System*, vol. 15, pp. 857-864, 2002.
- [15] L. V. D. Maaten and G. Hinton, "Visualizing data using t-sne," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 9, pp. 2579-2605, 2008.
- [16] D. Lungu and O. Ersoy, "Spherical stochastic neighbor embedding of hyperspectral data," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 51, no. 2, pp. 857-871, 2013.
- [17] D. Lungu and O. Ersoy, "Multidimensional artificial field embedding with spatial sensitivity," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 52, no. 2, pp. 1518-1532, 2014.
- [18] C. M. Bachmann, T. L. Ainsworth and R. A. Fusina, "Exploiting manifold geometry in hyperspectral imagery," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 43, no. 3, pp. 441-454, 2005.
- [19] H. Huang and Y. Huang, "Improved discriminant sparsity neighborhood preserving embedding for hyperspectral image classification," *Neurocomputing*, vol. 136, no. 1, pp. 224-234, 2014.
- [20] H. Huang, F. Luo, J. Liu and Y. Yang, "Dimensionality reduction of hyperspectral images based on sparse discriminant manifold embedding," *ISPRS Journal of Photogrammetry Remote Sensing*, vol. 106, pp. 42-54, 2015.
- [21] C. Ozcan and O. Ersoy, "Enhanced multidimensional field embedding method by potential fields for hyperspectral image classification and visualization," *Electronics Letters*, vol. 54, no. 12, pp. 756-758, 2018.
- [22] J. Cohen, "A coefficient of agreement for nominal scales," *Educational and Psychological Measurement*, vol. 20, no. 1, pp. 37-46, 1960.

Türkiye’de İş Kazaları ve Makroekonomik Faktörlerin İlişkisi: Zaman Serisi Analizi

*¹Tufan Öztürk ²Özge Eren ³Hasan Volkan Oral

¹ İstanbul Esenyurt Üniversitesi, tufanozturk@esenyurt.edu.tr, 

² İstanbul Aydın Üniversitesi, ozgeeren@aydin.edu.tr, 

³ İstanbul Aydın Üniversitesi, volkanoral@aydin.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 19.05.2020

Kabul Tarihi: 17.10.2020

Öz

Bu çalışmada, iş kazası sonrası ciddi olarak yaralandığı kabul edilen, 5 gün ve daha fazla iş göremezlik durumunda bulunan kazazede sayısını etkilediği düşünülen makroekonomik değişkenler ile bir tahmin modeli oluşturulmuştur. Bu model ile makroekonomik değişkenlerde önceden gözlenen değişimler ile ortaya çıkabilecek iş kazası sayılarının optimum şekilde tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Değişen makroekonomik duruma bağlı olarak, artan veya azalan iş kazası sayılarının bilinmesi, ortaya çıkabilecek kazaların önlenmesi amacıyla proaktif tedbirlerin alınmasında yararlı olacağı değerlendirilmektedir. Çalışmada 2013, 2014, 2015 ve 2016 yıllarına ait aylık veriler kullanılmıştır. Modelde Çoklu Lineer Regresyon modeli kullanılmıştır. Dönemsel verilerden oluşan veri setlerinde oluşabilen sahte regresyon durumunun oluşmaması için modelin oluşturulmasında regresyon analizi varsayımlarına ek olarak, zaman serisinde ortaya çıkan trendin olumsuz etkileri de göz önünde bulundurulmuştur. Bu amaçla modelde kullanılan değişkenlerde eş bütünleşiklik sağlanarak analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada bağımlı değişken olan, 5 gün ve daha fazla iş göremezlik durumunda bulunan kazazede sayısını, istihdam sayısı ve üretici fiyat (ÜFE) endeksinin anlamlı şekilde etkilediği sonucuna varılmıştır. Elde edilen model iş sağlığı ve güvenliği bakımından değerlendirilmiştir. Model çıktıları yorumlanarak, çalışan sağlık ve güvenliği konularında etkili olan karar alıcı, planlayıcı ve uygulayıcılara tavsiyelerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: İş Kazası, Regresyon Analizi, Zaman serisi, Makroekonomik faktörler

Analysing Relations of Macroeconomic Factors and Accidents at Work in Turkey: Time Series Analysis

*¹Tufan Öztürk ²Özge Eren ³Hasan Volkan Oral

¹ İstanbul Esenyurt University, tufanozturk@esenyurt.edu.tr

² İstanbul Aydın University, ozgeeren@aydin.edu.tr

³ İstanbul Aydın University, volkanoral@aydin.edu.tr

Abstract

In this study, a forecasting model has been created with macroeconomic variables which are considered to have been seriously injured after occupational accidents and which are thought to affect the number of survivors who have been unable to work for 5 days or more. With this model, it is aimed to estimate the number of occupational accidents that may arise from the changes observed in macroeconomic variables. Due to the changing macroeconomic situation, it is considered that knowing the number of increasing or decreasing occupational accidents will be beneficial in taking proactive measures to prevent possible accidents. Monthly data for 2013, 2014, 2015 and 2016 were used in the study. Multiple Linear Regression model was used in the model. In addition to the regression analysis assumptions, the negative effects of the trend in the time series were also taken into consideration in the formation of the model in order to avoid the false regression situation that may occur in the data sets consisting of periodical data. For this purpose, the variables used in the model were analyzed by providing co-integration. In the study, it was concluded that the number of survivors, who were unemployed for 5 days or more, was dependent on the number of employment and producer price (PPI) index. The obtained model was evaluated in terms of occupational health and safety. Model outputs were interpreted and recommendations were made to decision-makers, planners and practitioners who are effective in employee health and safety issues.

Keywords: Work Accident, Regression Analysis, Time Series Analysis, Macroeconomic Factors

*¹Sorumlu yazar: İstanbul Esenyurt Üniversitesi İşletme ve Yönetim Bilimleri Fakültesi Havacılık Yönetimi Bölümü, tufanozturk@esenyurt.edu.tr, TEL: +(90) 212 699 09 90

Doi: 10.21541/apjes.739523

1. GİRİŞ

Ülkemizde, her yıl yaklaşık olarak üç yüz bin çalışmamız, farklı sebeplerle iş kazası geçirmekte ve bu kazalara bağlı olarak bin beş yüz civarında insanımız yaşamını yitirmektedir [1]. İş kazalarının sonucundan, kazazede, işveren ve devlet farklı şekilde etkilenmektedir. Çalışanlar kendileri ve ailelerinin en temel ihtiyaçlarını karşılayabilmek amacıyla gittikleri işyerlerinde, meydana gelen iş kazaları nedeniyle, yaşam haklarını kaybetmekte, engelli kalabilmekte, acı yaşayabilmekte ve birçok maddi ve manevi zorluklarla mücadele etmek zorunda kalmaktadır. İşveren veya temsilcileri iş kazası sonrası, idari ve adli ceza uygulamalarına maruz kalmakta, birçok maddi ve manevi kayıplar yaşamaktadır. Devlet, dolayısı ile içinde yaşadığımız toplum da milli güç unsurlarının en önemli bileşenlerinden birisi olan yetişmiş insan gücünü kaybetmekte, vatandaşının yaşam hakkını koruyamayarak ulusal veya uluslararası alanda itibar kaybı yaşamakta, devlet sosyal güvence sistemi aracılı ile kazazede veya yakınlarına sağladığı maddi ve manevi desteğe büyük bütçeler ayırmak zorunda kalmaktadır. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) tarafından yapılan çalışmada, iş kazalarının genel maliyetinin bazı gelişmekte olan ülkelerin, Gayri Safi Yurt içi Hasılasının (GSYİH) %10'una eşit olduğu belirtilmektedir [2]. Ülkemizde yapılan bir çalışmada, 2016 yılında meydana gelen iş kazalarının maliyetinin yaklaşık olarak 103 milyar TL olduğu tahmin edilmektedir [3]. Dünyada ve ülkemizde, çalışana, işverene ve devlet ekonomisine büyük zararlar veren iş kazalarının önlenmesi, çalışma hayatında üçlü yapı olarak bilinen devlet, işveren ve çalışan haklarının korunması bakımından oldukça önemlidir.

İş kazalarının önlenmesi kapsamında, uygun tedbirlerin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bu amaçla, uygun yönetsel ve/veya mühendislik tedbirler belirlenmekte veya iş kazasını tahmin edecek modeller oluşturulmaktadır. Bu çalışmaların yapılabilmesi içinde iş kazalarını etkileyen faktörlerin belirlenmesi oldukça önemlidir. Dünyada ve ülkemizde iş kazalarını etkilediği düşünülen faktörlerin belirlenerek, bu kazaların önlenmesi veya azaltılması amacıyla sayısız çalışmalar yapılmıştır [4]. Endüstride uygulanabilirliği kabul görmüş 4M olarak bilinen modele göre, iş kazalarını etkileyen en temeldeki nedenlerin, insan, makina, malzeme, yöntem ve çevre kaynaklı olduğu belirtilebilir [5]. İş kazalarını etkilediği düşünülen ve bu yüzden test edilmek istenen faktörler genellikle, kendisinden önceki yapılan araştırma sonuçlarında iş kazaları ile ilişkileri belirlenen faktörlerdir. Ancak bir araştırmacı, problemi yaratan tüm nedenleri tamamen bilme olanağına sahip değildir [6]. İş kazalarının oluşmasında da birden çok ve karmaşık nedenlerin rol aldığı literatürdeki çalışmalarda görülmektedir [7-13].

Yönetsel ve teknik faktörler dışında makroekonomik göstergelerin iş kazaları üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmaların sayısı çok olmasa da oldukça eski tarihe dayanmaktadır. Resmi rapor sonuçlarına göre yapılan bazı araştırmalarda, iş kazalarına bağlı ölüm ve yaralanma vaka

sayılarının, ekonomik büyüme dönemlerinde artma, ekonomik kriz dönemlerinde ise azalma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Ekonomik kriz dönemindeki üretim faaliyetlerindeki azalışın iş kazalarının sayısını azalttığı bilinmektedir. Buna örnek olarak, İtalya'da işsizlik oranının %2 azalmasıyla iş kaza sayılarında %10'luk bir azalma olduğu belirtilmektedir. Ekonomik kriz döneminde işletmeler, yeterli deneyime sahip olmayan çalışanları işten çıkartmaktadır. Ekonomik büyüme dönemlerindeki işletmeler ise artan üretim talebini karşılamak adına, yeterli deneyime ve niteliğe sahip olmayan çalışanlar ile sağlık ve güvenlik yönünden yeterli olmayan tesis ve teçhizatları üretim sürecine çok hızlı dahil ederek üretim kapasitesini artırabilmektedir [14,15]. Ekonomik koşulların istihdamın niteliğini ve niceliğini, onun da iş kazalarını etkilediği görülmektedir. Ekonomik krizler ile iş güvenliği arasındaki ilişkinin araştırıldığı çalışmada özellikle ekonomik göstergeler ile iş kazaları arasındaki ilişkinin varlığı ortaya konmuştur [16]. İspanya'da 1994 ile 2014 dönemi arasındaki iş kazalarının ekonomik duruma olan duyarlılığı regresyon yöntemi ile araştırılmış ve ekonomik süreç ile iş kazaları arasında güçlü bir ilişkinin varlığı belirlenmiştir [17]. Çin'in 1953-2008 yılları arasındaki ekonomik gelişme ile ülkede meydana gelen iş kazaları arasındaki ilişkinin araştırıldığı çalışmada, 1953-1978 yılları arasındaki ekonomik göstergeler ile iş kazaları arasında bir ilişkinin olmadığı, yerli üretim oranının arttığı 1979-2008 yılları arasındaki ekonomik göstergelerin hızlı değişiminin iş kazalarını önemli derecede etkilediği belirlenmiştir [18]. Türkiye ve Avrupa Birliği ülkelerinin 1998 ve 2013 yılları arasındaki ekonomik gelişmişlik düzeyleri ile iş kazaları arasındaki ilişkinin karşılaştırıldığı çalışmada Avrupa ülkelerinin bazılarında anlamlı sonuçlara ulaşılırken, Türkiye'de ekonomik gelişmişlik ile iş kazası sonrası ölüm sayısı arasında, pozitif yönde ancak anlamlı olmayan bir ilişki tespit edilmiştir. Çalışmada ekonomik gelişmişlik düzey göstergesi olarak istihdam ve Gayri Safi Yurtiçi Hasıla değerleri kullanılmıştır [19].

Bu çalışmada ise, ekonomik faaliyetleri nicelik ve nitelik olarak etkilediği bilinen ve buna bağlı olarak iş kazalarının da meydana gelmesini etkileyebileceği düşünülen bazı makroekonomik parametreler kullanılarak aylık kazazede sayısı tahmin modelinin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu tahmin modelinin kurulmasıyla, önleme, koruma ve diğer planlama faaliyetlerinde yapılacak çalışmalara yardımcı bir kaynak hazırlığı amaçlanmıştır. Çalışma 2013, 2014, 2015 ve 2016 yıllarında, 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanununun 4-1/a kapsamında istihdam edilen çalışanları kapsamaktadır.

2. YÖNTEM

Tahmin modeli olarak, Çoklu Doğrusal Regresyon analiz yöntemi seçilmiştir. Modelde, 2013, 2014, 2015 ve 2016 yıllarına ait Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası (TCMB) ve Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK), istatistik bilgileri kullanılmıştır [20]. Bu kapsamda 48 aylık veri setleri çalışmanın değişkenlerini oluşturmuştur. İş kazasından, 5 gün ve daha fazla iş

göremeyecek şekilde etkilenen kazazedelerin durumları, ciddi yaralanma olarak kabul edilmiş ve bu kazazede sayıları, çalışmanın bağımlı değişkeni olarak belirlenmiştir. Literatürde çeşitli kavramların makroekonomik gösterge olarak kullanıldığı görülmüştür. Birçok araştırmacı istihdam sayısı, işyeri sayısı, Sanayi Üretim Endeksi (SÜE), Tüketici Fiyat Endeksi (TÜFE), Tüketici Güven Endeksi, Üretici Fiyat Endeksi (ÜFE), Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYİH) değerlerini makro ekonomik gösterge olarak çalışmalarında kullanmışlardır [21-23].

Bu makroekonomik göstergeler, oluşturulacak modelde kullanılacak bağımsız değişkenler olarak belirlenmiştir. Ancak bazı kısıtlar nedeniyle, belirlenen değişkenlerin tamamı çalışmaya dahil edilememiştir. GSYİH'nin üçer aylık ortalama olarak açıklanması, bu çalışmadaki kullanımını engellemiştir. İstihdam sayısı ile işyeri sayısı arasında çoklu doğrusal bağıntı tespit edilmiş ve değişken olarak bunlardan sadece istihdam sayısı seçilmiştir. Zamana bağlı değişen ekonomik göstergelerde görülen ve sıklıkla sahte regresyona neden olan artan trendlerin varlığı tespit edilmiştir. Modelde sahte regresyonun oluşmaması amacıyla, bu değişkenlere birim kök testi uygulanmıştır. Birim kök testi ile modelde kullanılan değişkenlerin tamamının birinci dereceden farkları alınarak durağanlıkları sağlanmıştır. Eşbütünleşiklik testi amacıyla birinci dereceden durağan olan seriler için uygun olan Johansen eşbütünleşiklik testi uygulanmıştır. Bu test sonucunda modeldeki serilerin eşbütünleşik oldukları belirlenmiştir. Eşbütünleşiklik varsayımının sağlanması ile Regresyon hesaplamaları yapılmıştır. Çalışmada, Eviews 10 istatistik paket programının demosu kullanılmıştır.

2.1. Çoklu Doğrusal Regresyon

İki veya daha çok bağımsız değişkenden oluşan veri setlerinde değişkenler arasındaki ilişkinin modellenmesinde sıklıkla tercih edilen bir analizdir. Model sonunda $Y = a + B_1.X_1 + B_2.X_2 + \dots + B_n.X_n + e_i$ şeklinde doğrusal bir ifade elde edilmeye çalışılır. Burada Y modelin tahmin edilmeye çalışılan bağımlı değişkenidir. a tahmin modeline ait sabit değeri ifade etmektedir. $B_{i=1,2,\dots,n}$ ifadesi her bir X bağımsız değişkenine ait katsayıyı temsil etmektedir. e değeri ise hata terimi olarak ifade edilmektedir [24]. Çoklu regresyon analizi, bağımsız değişkenler tarafından bağımlı değişkende meydana getirilen toplam varyansın istatistiksel olarak anlamlılığın, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin, yorumlanmasına olanak verir. Modelde kullanılan değişkenlerin, panel veri özelliği göstermeleri durumunda, anlamlı bir regresyon çıktısı gerçek bir ilişkiyi gösterir. Ancak modelde kullanılan değişkenlerin zaman serisi olmaları durumunda, regresyon çıktısı sıklıkla gerçek bir ilişkiyi göstermemektedir. Zaman içinde değişim gösteren ve bir önceki döneme ait verinin bir dönem sonraki veriyi etkilediği durumlarda trend oluşmaktadır. Bir zaman serisinin uzun bir dönem boyunca gösterdiği genel eğilime trend adı verilir [25]. Değişkenler arasında anlamlı ilişkilerin oluşabilmesi için veri setlerinde

trendin güçlü olmaması gerekmektedir. Zaman serisinden oluşan değişken setlerinde güçlü bir trend varsa, değişkenler arasındaki ilişki sahte bir regresyon şeklinde ortaya çıkmaktadır [26]. Ortaya çıkan bu sahte regresyon modelindeki ilişki, gerçek bir ilişki olmayıp, her bir zaman serisindeki trendlerin benzeşik olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle zaman serilerinde uygulanan regresyon modellerinde, sahte regresyon durumunun ortaya çıkıp çıkmamasında, serilerin trend taşıyıp taşınamaları çok önemlidir.

2.2. Çoklu Doğrusal Regresyon Modeli Varsayımları

Model bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olduğunu varsayar. Bağımlı ve bağımsız değişkenlerin sürekli ölçüm verisi olması ve yaklaşık olarak normal dağılım göstermesi gerekmektedir. Verinin sıklık dağılımına ait çarpıklık katsayısı -1 ve +1 aralığında kalıyorsa veri dağılımının normal dağılımdan önemli bir sapma göstermediği kabul edilebilir. Regresyon analizlerinde değişen varyans sorununun da olmaması gerekmektedir [27]. Regresyon analizinde ardışık zaman verilerinin otokorelasyon ilişkisi içerip içermediklerinin kontrolü oldukça önemlidir. Bu amaçla yapılan Durbin-Watson analiz sonucunun 2 civarında olması veya bu değerler dL ve dU arasında yer alması verilerin analize uygunluğu için yeterli görülmektedir [28]. Veri setine ait uç değerler var ise bu uç değerlerin kontrol edilerek incelenmesi ve gerekirse araştırma dışına atılması tavsiye edilir. Regresyon analizlerinde, bağımsız değişkenlerin çoklu ortak doğrusallık ve teklilik durumları incelenmelidir. Bu durum, bağımsız değişkenler arasında yüksek korelasyonun varlığını ifade etmektedir. Çoklu ortak doğrusallık ve teklilik kontrolü için analiz öncesi tüm bağımsız değişkenler arasında ikili korelasyon ilişkileri incelenmelidir. Genellikle bu korelasyon değeri 0,80 ve daha fazla olan bağımsız değişkenlerden birisi analiz dışı bırakılarak bu istenmeyen durum engellenmiş olur. Bu istenmeyen durumun varlığı regresyon analiz çıktılarında bulunan Tolerans, VIF>10 ve CI>30 şeklindeyse de anlaşılabilir [29].

2.3. Birim Kök (Augmented Dickey Fuller) Testi

Birim kök testleri ile bir zaman serisinin trend taşıyıp taşımadığı yani durağan olup olmadığı anlaşılabilir. Bu testten elde edilen Augmented Dickey-Fuller t istatistik değeri, %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerindeki test kritik değerleri ile karşılaştırılır. Test kritik değerlerinin her biri t istatistik değerinden büyük ise, Ho hipotezi reddedilir. Bu şekilde ham serinin durağan olduğuna karar verilir. Ho hipotezi bu koşullarda reddedilemiyorsa serilerin birinci farkları alınarak aynı işlemler tekrarlanır. Bu durumda Ho reddediliyor ise serinin birinci farkının durağan olduğuna karar verilir [30]. Bu şekilde serilere ait verilerin, ikinci veya daha üst mertebeden farkları alınarak da serilerin durağanlıkları sağlanabilir.

2.4. Eşbütünleşiklik (Johanes) Testi

Trend taşıyan ve durağan olmayan, iki veya daha fazla seride aynı mertebeden fark işlemi sonrası durağanlık sağlanabilmektedir. Bu şekildeki serilere aynı dereceden eşbütünleşik seriler denir. Aynı dereceden eşbütünleşiklik sağlanan serilerdeki veriler, regresyon modellerinde ham halleri ile kullanıldığında, trend etkileri birbirinin etkisini azaltmaktadır. Bu durumda veri setlerine ait kalıntıların durağanlık testi yapılmaktadır. Kalıntılarda da durağanlığın belirlenmesi durumunda, kurulan regresyon modelinde, sahte değil gerçek bir regresyon ilişkisinin varlığını ortaya çıkarmaktadır [31]. Johanes Eşbütünleşiklik testi de serilerin eşbütünleşikliğine karar vermede kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem veri setinde iki ve ikiden daha fazla seri ve bu serilerin aynı mertebeden sadece birinci farklarının durağan olması I(1) durumunda kullanılabilir [32].

3. UYGULAMA

İş kazası geçiren sayısı ve bu değişkeni etkileyebileceği test edilmek istenen ekonomik parametrelerden oluşan değişkenler derlenerek Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Dönemlik İş Kazası geçiren Sayıları ve Ekonomik Parametreler

Dönem (2013-2016)	İstihdam Sayısı	Tüketici Güven Endeksi	Üretici Fiyat Endeksi (ÜFE)	Tüketici Fiyat Endeksi (TÜFE)	Konut Fiyat Endeksi (KFE)	Sanayi Üretim Endeksi	İş Kazası Geçiren Sayısı	5 gün ve daha fazla İş göremeyen Kazazede Sayısı
1	11.818.115	75,8	5,33	8,62	11,91	78,2	13.587	5.637
2	11.748.042	76,7	4,72	8,33	11,77	77,0	12.897	5.217
3	12.030.850	74,9	4,23	8,08	12,15	85,9	14.830	6.184
4	12.262.422	75,6	3,74	7,66	12,09	87,1	15.810	6.321
5	12.354.071	77,5	3,27	7,51	12,23	91,9	17.838	7.018
6	12.561.253	76,2	3,18	7,47	12,49	91,2	17.448	6.968
7	12.615.267	78,5	3,23	7,47	12,89	93,7	18.410	7.145
8	12.542.642	77,2	3,39	7,42	12,70	77,6	15.113	5.762
9	12.679.379	72,1	3,58	7,32	12,89	96,3	17.866	7.048
10	12.412.998	75,5	3,93	7,32	13,02	87,7	13.838	5.091
11	12.557.625	77,5	4,10	7,39	14,04	100,0	17.027	6.864
12	12.484.113	75,0	4,48	7,49	13,81	100,0	16.725	6.484
1	12.329.012	72,4	5,22	7,53	13,45	87,5	16.184	6.240
2	12.355.589	69,2	6,11	7,60	12,98	83,4	15.890	6.150
3	12.566.310	72,7	6,95	7,70	13,00	93,9	17.927	6.786
4	12.730.077	78,5	7,89	7,97	13,52	92,9	18.545	6.881
5	12.922.571	76,0	8,66	8,23	13,65	94,3	19.967	7.024
6	13.034.290	73,7	9,03	8,31	13,99	95,7	20.167	7.167
7	12.701.507	73,9	9,26	8,35	14,63	90,6	18.888	6.128
8	12.884.711	73,2	9,55	8,46	15,21	89,3	20.828	6.563
9	13.155.308	74,0	9,84	8,54	15,34	102,0	20.170	5.927
10	13.072.609	70,3	10,10	8,65	15,94	92,4	15.888	4.500
11	13.100.694	68,7	10,30	8,80	15,76	100,0	17.977	5.484
12	13.093.230	67,7	10,20	8,85	16,14	108,0	18.935	5.451
1	12.913.416	67,7	9,59	8,80	16,70	86,7	17.264	7.291
2	12.851.205	68,1	8,79	8,77	17,57	84,2	16.786	7.071
3	13.148.326	64,4	8,03	8,70	18,55	99,7	18.899	7.707
4	13.451.823	65,4	7,36	8,57	18,50	99,3	19.210	7.691
5	13.585.611	64,3	6,98	8,45	19,03	98,8	20.846	8.171
6	13.596.512	66,4	6,74	8,28	18,94	104,0	20.872	8.261

7	13.318.215	64,7	6,43	8,07	18,75	95,1	20.546	7.955
8	13.566.414	62,4	6,14	7,88	18,25	101,0	22.862	9.011
9	13.489.364	58,5	5,92	7,80	18,50	97,1	19.377	7.360
10	13.741.124	62,8	5,58	7,69	18,70	108,0	21.879	8.641
11	13.755.572	77,1	5,33	7,61	18,62	108,0	21.647	8.299
12	13.713.717	73,6	5,28	7,67	18,41	117,0	21.359	8.158
1	13.352.629	71,6	5,50	7,87	17,50	91,3	19.636	7.281
2	13.258.741	66,6	5,61	7,97	16,44	95,8	20.552	7.914
3	13.503.330	67,0	5,64	7,96	15,35	106,0	23.799	8.999
4	13.665.900	68,5	5,47	7,84	14,70	103,0	24.914	9.030
5	13.696.518	68,8	5,19	7,71	14,57	107,0	24.907	9.078
6	13.686.743	69,4	4,91	7,74	13,87	107,0	25.760	9.282
7	13.362.031	67,0	4,77	7,91	13,98	86,9	20.648	6.701
8	13.471.407	74,4	4,51	7,98	14,18	105,0	28.623	9.190
9	13.470.684	74,3	4,07	7,92	13,90	93,5	20.272	6.574
10	13.660.465	74,0	3,83	7,89	12,86	113,0	25.618	9.093
11	13.583.875	68,9	3,93	7,79	12,26	114,0	26.687	9.142
12	13.415.843	63,4	4,30	7,78	12,26	117,0	24.652	8.235

Tablo 1, 48 aylık döneme ait verilerden oluşmaktadır. İş kazası geçiren sayıları, SGK iş kazaları ve meslek hastalıkları yıllık istatistik tablolarından elde edilmiştir. Diğer değişkenler ise TÜİK yıllık istatistik tablolarından elde edilmiştir.

3.1. Regresyon Analizi Genel Varsayımlar Kontrolü

Veri setinde bulunan aşırı büyük veya aşırı küçük uç değerlerin kontrolü sağlanmış ve bu kapsamda uç değerlere rastlanmamıştır. Çalışmada kullanılan değişkenlerin, gerekli tanımsal istatistiksel bilgileri hesaplanarak Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Değişkenlere Ait Tanımsal İstatistiksel Bilgiler

	İstihdam Sayısı	Tüketici Güven Endeksi	Üretici Fiyat Endeksi (ÜFE)	Tüketici Fiyat Endeksi (TÜFE)	Konut Fiyat Endeksi (KFE)	Sanayi Üretim Endeksi	İş Kazası Geçiren Sayısı	5 gün ve daha fazla İş göremeyen Kazazede Sayısı
Aritmetik Ortalama	13.026.503	71,10	6,04	7,99	14,95	96,5	19.591	7.211
Standart Sapma Değ.	549.458	4,99	2,16	0,45	2,37	9,87	3.563	1245
Çarpıklık Katsayısı	-0,480	-0,42	0,61	0,42	0,46	0,11	0,430	0,00

Tablo 2’de bulunan sürekli ve ölçüm veri özelliği gösteren, değişkenlerin durumu incelendiğinde, çalışmanın bağımsız değişkenlerinden, istihdam sayısının -0,48 çarpıklık katsayısına sahip olduğu ve sola çarpık olarak normal dağıldığı, tüketici güven endeksinin -0,42 çarpıklık katsayısına sahip olduğu ve sola çarpık olarak normal dağıldığı, üretici fiyat endeksinin 0,61 çarpıklık katsayısına sahip olduğu ve sağa çarpık olarak normal dağıldığı, konut

fiyat endeksinin 0,42 çarpıklık katsayısına sahip olduğu ve sağa çarpık olarak normal dağıldığı, sanayi üretim endeksinin 0,11 çarpıklık katsayısına sahip olduğu ve sağa çarpık olarak normal dağıldığı, iş kazası geçiren sayısının 0,43 çarpıklık katsayısına sahip olduğu ve sağa çarpık olarak normal dağıldığı, çalışmanın bağımlı değişkeni olan 5 gün ve daha fazla iş göremeyen kazazede sayısının da 0,00 çarpıklık katsayısına sahip olduğu ve simetrik normal dağıldığı, kabul edilmektedir. Böylece, çalışmada kullanılacak verilerin normal dağılımdan anlamlı bir sapma göstermedikleri ve çoklu doğrusal regresyon analizi için normal dağılım şartını sağladıkları belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanarak Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Değişkenlere Ait Korelasyon Katsayıları

	İstihdam Sayısı	Tüketici Güven Endeksi	Üretici Fiyat Endeksi	Tüketici Fiyat Endeksi	Konut Fiyat Endeksi	Sanayi Üretim Endeksi	İş Kazası Geçiren Sayısı	5 gün ve daha fazla iş göremeyen Kazazede Sayısı
İstihdam Sayısı	1,00							
Tüketici Güven Endeksi	-0,58	1,00						
Üretici Fiyat Endeksi (ÜFE)	0,12	-0,26	1,00					
Tüketici Fiyat Endeksi (TÜFE)	0,07	-0,29	0,82	1,00				
Konut Fiyat Endeksi (KFE)	0,62	-0,63	0,44	0,38	1,00			
Sanayi Üretim Endeksi	0,77	-0,34	-0,03	-0,10	0,32	1,00		
İş Kazası Geçiren Sayısı	0,83	-0,36	-0,07	-0,07	0,22	0,79	1,00	
5 gün ve daha fazla iş göremeyen Kazazede Sayısı	0,74	-0,40	-0,26	-0,21	0,32	0,68	0,86	1,00

Tablo 3, çoklu ortak doğrusallık ve teklilik durumu kontrolü amacıyla incelendiğinde, istihdam sayısı ile, iş kazası geçiren sayısı arasındaki korelasyon ilişki katsayısının 0,83 olduğu, sanayi üretim endeksi ile, iş kazası geçiren sayısı arasındaki korelasyon ilişki katsayısının 0,79 olduğu, istihdam sayısı ile sanayi üretim endeksi arasındaki korelasyon ilişki katsayısı 0,77 olduğu, üretici fiyat endeksi ile, tüketici fiyat endeksi arasındaki korelasyon ilişki katsayısının da 0,82 olduğu, iş kazası geçiren sayısı ile, 5 gün ve daha fazla iş göremeyen kazazede sayısı arasındaki korelasyon ilişki katsayısının 0,86 olduğu görülmüştür. Bağımsız değişkenler arasında 0,7 civarı ve üzeri korelasyon değeri, ortak doğrusallık ihtimali olarak değerlendirilerek, bu değişken çiftlerinden bağımlı değişken ile daha yüksek korelasyon içinde olan istihdam sayısı, üretici fiyat endeksi, konut fiyat endeksi, tüketici güven endeksi veri setinde bırakılmış, diğer tüketici

fiyat endeksi, iş kazası geçiren sayısı, sanayi üretim endeksi değişkenleri çalışma dışı tutulmuştur. Böylece çoklu regresyon analizi için çoklu doğrusallık ve teklilik varsayımı da yerine getirilmiştir. Modelde kalması planlanan bağımsız değişkenler ve bağımlı değişken ile ön regresyon hesaplamaları yapılmış ve bağımlı değişkeni anlamlı derecede etkilemeyen konut fiyat endeksi ve tüketici güven endeksi modelden çıkartılmıştır.

Modelde kalan 5 gün ve daha fazla iş göremeyen kazazede sayısı, istihdam sayısı ve üretici fiyat endeksi serilerine ayrı ayrı birim kök (Augmented Dickey Fuller) testi uygulanmıştır. Bağımlı değişken olan 5 gün ve daha fazla iş göremeyen kazazede sayısı serisine ait birim kök testi sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. 5 Gün ve Daha Fazla İş Göremeyen Kazazede Sayısı Serisine Ait Birim Kök Testi Sonuçları

Null Hypothesis: D(5 Gün ve Daha Fazla İş Göremeyen Kazazede Sayısı) has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=9)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-13.89734	0.000
Test critical values:	1% level	-2.616203
	5% level	-1.948140
	10% level	-1.612320

Tablo 4'te t istatistik değeri, %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerindeki test kritik değerleri ile karşılaştırılmıştır. 1%, 5% ve 10% (-2.616203, -1.948140, -1.612320) test kritik değerlerinin -13.89734 t istatistik değerinden büyük olduğu görülmüştür. Bu veriler yardımıyla Ho hipotezi reddedilmiş ve serinin birinci farkının durağan olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bağımsız değişken olan İstihdam sayısı serisine ait birim kök testi sonuçları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. İstihdam Sayısı Serisine Ait Birim Kök Testi Sonuçları

Null Hypothesis: D(Istihdam Sayısı) has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=9)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-6.316368	0.000
Test critical values:	1% level	-2.616203
	5% level	-1.948140
	10% level	-1.612320

Tablo 5'te t istatistik değeri, %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerindeki test kritik değerleri ile karşılaştırılmıştır. 1%, 5% ve 10% (-2.616203, -1.948140, -1.612320) test kritik değerlerinin -6.316368 t istatistik değerinden büyük olduğu görülmüştür. Bu veriler yardımıyla Ho hipotezi reddedilmiş ve serinin birinci farkının durağan olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bağımsız değişken olan Üretici Fiyat Endeksi serisine ait birim kök testi sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Üretici Fiyat Endeksi Serisine Ait Birim Kök Testi Sonuçları

Null Hypothesis: D(Üretici Fiyat Endeksi) has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 6 (Automatic - based on SIC, maxlag=9)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.752033	0.0072
Test critical values:		
	1% level	-2.624057
	5% level	-1.949319
	10% level	-1.611711

Tablo 6'da t istatistik değeri, %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerindeki test kritik değerleri ile karşılaştırılmıştır. 1%, 5% ve 10% (-2.624057, -1.949319, -1.611711) test kritik değerlerinin -2.752033 t istatistik değerinden büyük olduğu görülmüştür. Bu veriler yardımıyla H_0 hipotezi reddedilmiş ve serinin birinci farkının durağan olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Modelde kullanılan serilerin birinci dereceden alınan farkları ile, %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyinde durağanlaştığı görülmüştür. Bu üç serinin eşbütünlük olup olmadığına karar vermek için Johanes Eşbütünlük testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Johanes Eşbütünlük Testi Sonuçları

Trend assumption: No deterministic trend (restricted constant)				
Series: 5 Gün ve Daha Fazla İş Göremeyen Kazazede Sayısı İstihdam Sayısı Üretici Fiyat Endeksi				
Lags interval (in first differences): 1 to 2				
Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)				
Hypothesized		Trace	0.05	
No. of CE(s)	Eigenvalue	Statistic	Critical Value	Prob.**
None *	0.422565	37.80219	35.19275	0.0256
At most 1	0.154774	13.09000	20.26184	0.3567
At most 2	0.115504	5.523202	9.164546	0.2309
Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)				
Hypothesized		Max-Eigen	0.05	
No. of CE(s)	Eigenvalue	Statistic	Critical Value	Prob.**
None *	0.422565	24.71218	22.29962	0.0226
At most 1	0.154774	7.566803	15.89210	0.6001
At most 2	0.115504	5.523202	9.164546	0.2309

Trace test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level
 Max-eigenvalue test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level
 * denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level
 ** MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Tablo 7'deki hem trace test, hem de Maximum Eigenvalue test sonucunda anlamlılık değeri 0,05'ten küçük olduğundan modeldeki serilerin eşbütünlük oldukları sonucuna ulaşılmıştır.

Modelde değişen varyans sorunu olup olmadığının belirlenmesi için Breusch-Pagan-Godfrey testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Breusch-Pagan-Godfrey Testi Sonuçları

Heteroskedasticity Test: Breusch-Pagan-Godfrey			
F-statistic	0.804449	Prob. F(2,45)	0.4537
Obs*R-squared	1.656917	Prob. Chi-Square(2)	0.4367
Scaled explained SS	1.860264	Prob. Chi-Square(2)	0.3945

Tablo 8'deki test sonucunda anlamlılık değeri 0,05'ten büyük olduğundan değişen varyans sorunu olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Modelde çoklu bağıllık sorunu olup olmadığının belirlenmesi için Variance Inflation Factors değerleri belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Variance Inflation Factors Değerleri Sonuçları

Variable	Coefficient Variance	Centered VIF
İstihdam Sayısı	3.82E-08	1.015402
Üretici Fiyat Endeksi	2463.885	1.015402
C	6393887.	NA

Tablo 9'da VIF değerlerinin 10'dan küçük olması ile, çoklu bağıllık sorununun olmadığı sonucuna ulaşılmıştır [29].

3.2. Regresyon Analizinin Yapılması ve Modelin Oluşturulması

Varsayımların kontrol edilmesinin ardından çoklu regresyon analizi gerçekleştirilmiş ve analiz sonuçları Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Çoklu Regresyon Çıktı Özet Çizelgesi

Dependent Variable: 5 Gün ve Daha Fazla İş Göremeyen Kazazede Sayısı				
Method: Least Squares				
Sample: 2013M01 2016M12				
Included observations: 48				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
İstihdam Sayısı	0.001771	0.000195	9.060815	0.0000
ÜFE	-206.9354	49.63754	-4.168930	0.0001
C	-14603.62	2528.614	-5.775348	0.0000
R-squared	0.670481	Mean dependent var	7211.979	
Adjusted R-squared	0.655836	S.D. dependent var	1245.292	
S.E. of regression	730.5570	Akaike info criterion	16.08595	
Sum squared resid	24017112	Schwarz criterion	16.20290	
Log likelihood	-383.0629	Hannan-Quinn criter.	16.13015	
F-statistic	45.78135	Durbin-Watson stat	1.781929	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Model R^2 değeri 0,670 olarak hesaplanmıştır. Bu değer bağımlı değişken olan iş kazası sonrası 5 gün ve daha fazla

iş göremeyenlerin sayısındaki varyansın ne kadarının model tarafından açıklandığını ifade etmektedir. Bu çalışma için model iş kazası sonrası 5 gün ve daha fazla iş göremeyenlerin sayısındaki varyansın %67'lik kısmını açıklamaktadır. Modelin F istatistik p değeri 0,00 olarak elde edilmiştir. Bu p değerinin 0,05'ten küçük olması modelin istatistiksel olarak anlamlılığa ulaştığını göstermektedir. Modele dahil edilen her bir bağımsız değişkenin, bağımlı değişkene katkılarının karşılaştırılabilmesi için standardize edilmiş beta değeri ve değişkene ait p anlamlılık değeri kullanılmalıdır. Modelimizde iş kazası sonrası 5 gün ve daha fazla iş göremeyenlerin sayısını artırıcı yönde etkileyen bağımsız değişken, katsayı değeri 0,001771 ve p anlamlılık değeri 0,05'ten küçük olan istihdam sayısıdır. Modelimizde, iş kazası sonrası 5 gün ve daha fazla iş göremeyenlerin sayısını azaltıcı yönde etkileyen diğer bağımsız değişken, katsayı değeri -206,9354 ve p anlamlılık değeri 0,05'ten küçük olan üretici fiyat (ÜFE) endeksidir. Kaza sonrası 5 gün ve daha fazla iş göremeyenlerin sayısının tahmin edilmesi için Tablo 10'daki bağımsız değişken katsayıları ve sabit terim kullanılarak aşağıdaki denklem yazılmış ve analizle istenen sonuca ulaşılmıştır.

$$Y = -14603.62 + 0.001771 \cdot \text{İstihdam sayısı} - 206.9354 \cdot \text{ÜFE Endeksi}$$

4. SONUÇ ve TARTIŞMA

Literatürde iş kazası sayılarının ve şiddetlerinin tahminlenmesini amaçlayan çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar genellikle tahminlerini birçok farklı faktörler ile açıklamaya çalışmışlardır. Ekonomideki, genellikle iş döngüsü olarak bilinen toplu dalgalanmalar, iş sağlığı ve güvenliğini doğrudan veya dolaylı olarak etkileyebilecek çeşitli problemler ortaya çıkarmaktadır. Çeşitli ampirik çalışmalarda, işle ilgili yaralanmalarda ve ilişkili hastalıklarda artışların yaşandığı dönemlerin farklı ekonomik dönemlere denk gelebildiği görülmektedir. Örneğin bir çalışmada, Gayri Safi Yurtiçi Hasıla'nın [16], bir diğerinde kapasite kullanım oranlarının [33] ve bir diğer önemli çalışmada da işsizlik oranının değişme dönemlerinde iş kazalarının bu makro değişkenler ile korelatif olduğu saptanmıştır [34].

Bir diğer önemli ampirik çalışmada ise Amerika Birleşik Devletleri'ndeki 1976-2007 yılları arasında meydana gelen iş kazaları GSYİH'daki değişiklikler, işsizlik oranı ve sınıai üretim endeksi bakımından incelenmiştir. Bu çalışma söz konusu değişkenlerin genel işyeri yaralanma oranlarıyla ilişkili olduğunu göstermiştir. Çalışma ile elde edilen bir diğer önemli bulgu ise bu ilişkinin madencilik, inşaat ve imalat sektörlerinde olduğu, tarım ve ticarete böyle bir ilişkinin olmadığıdır [35].

Bu çalışmada ise makroekonomik parametrelerin iş kazası sonrası, 5 gün ve daha fazla iş göremeyenlerin sayısına etkileri incelenmiştir. İstihdam sayısı ve Üretici Fiyat Endekslerinin, iş kazası sonrası 5 gün ve daha fazla iş göremeyenlerin sayısı üzerine anlamlı şekilde, etki ettikleri

tespit edilmiştir. Bu parametrelerden istihdam sayısının, 5 gün ve daha fazla iş göremeyenlerin sayısını pozitif yönde etkilediği, üretici fiyat endeksinin ise negatif yönde etkilediği görülmüştür. İstihdam sayısı, belirtilen dönemde 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanununun 4-1/a kapsamında çalışanların sayısını ifade etmektedir. Üretici Fiyat Endeksi (ÜFE) ise önemli üretim oranına sahip üreticileri kapsayan ve belirli bir referans döneminde üretimi yapılan ve satışa konu olan ürünlerin üretici fiyatlarındaki değişimi ölçen bir fiyat endeksidir. İstihdam sayısındaki artış ve Üretici Fiyat Endeksindeki düşüşün ekonomik gelişim bakımından oldukça önemli olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Ancak bununla beraber istihdam artışının ve üretim kapasitesinin ani arttığı dönemlerde, iş sağlığı ve güvenliği politikalarından da taviz verilmemesi diğer yadsınamaz bir durum olmalıdır. Bu kapsamda, personelin işe giriş nitelik seviyesinin azaltılmaması veya yeterli süredeki eğitimlerle artırılması gerekmektedir. İstihdam ve üretim kapasitesi ile orantılı olarak iş sağlığı ve güvenliği profesyonellerinin sayılarının da artırılması gerekmektedir. Benzer şekilde iş sağlığı ve güvenliği araç gereç ve ekipmanlarının da ani artan istihdamdan veya üretimden önce sağlanması gerekmektedir.

Bu çalışma istihdam ve üretim kapasitesinin artışı durumunda, ciddi iş kazalarının da sayısında bir artışın olduğunu göstermektedir. Sağlık, mali, güvenlik konularında planlama görevi olan kurumların, işveren ve diğer personel politikaları ile ilgili görev alanların bu modeli de göz önünde bulundurarak, planlamalarını yapmaları tavsiye edilmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] SGK, 16 Ekim 2020. [Çevrimiçi]. Available: http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari.
- [2] ILO, "A dynamic vision of prevention, World of Work", World of Work, p. 13, Ağustos 2008.
- [3] Türkiye Makina Mühendisleri Odası, "İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği", Ankara, 2018.
- [4] M. Camkurt, "İşyeri Çalışma Sistemi ve İşyeri Fiziksel Faktörlerinin İş Kazaları Üzerindeki Etkisi", TÜHİS İş Hukuku ve İktisat Dergisi, pp. 80-106, 2007.
- [5] C. G. Hoyos and B. M. Zimolong, "Occupational safety and accident prevention: behavioral strategies and methods", New York: Elsevier, 2014.
- [6] N. Karasar, Bilimsel Araştırma Yöntemi, Ankara: Nobel, 2012.
- [7] M. Müngen, "Türkiye'de inşaat iş kazalarının analizi ve iş güvenliğinin sorunu", Doktora Tezi, 1993.
- [8] M. H. Ünal Karagüven, "İş kazaları ile stres, kaygı ve öfke kavramları arasındaki ilişkinin incelenmesi: 9 Türk ve 2 İngiliz tekstil fabrikasında yapılan bir araştırma", Doktora Tezi, 1997.
- [9] Ö. Esen, "1991-1998 yılları arası Türkiye'de yapı

işlerinde iş güvenliği”, Yüksek Lisans Tezi, 1999.

[10] T. Demirel, “İnşaattan düşme sonucu yaşanan kazalarda kusur oranlarının belirlenebilmesine yönelik bir uzman sistem geliştirmesi”, Yüksek Lisans Tezi, 2005.

[11] G. Caner Akın, “Yeni Bir Risk Değerlendirme Yöntemiyle Tersane İşletmelerinin Sınıflandırılması”, Business & Management Studies: An International Journal, pp. 232-254, 2020.

[12] E. Sawacha, S. Naoum and D. Fong, “Factors Affecting Safety Performance on Construction Sites. International Journal of Project Management,” International Journal of Project Management, vol. 17, no. 5, pp. 309-315, 1999.

[13] H. Çakan, “Analysis And Modeling of Roofer and Steel Worker Fall Accidents”, Doktora Tezi, Wayne State University, 2012.

[14] A. Mouza and A. Targoutzıdıs, “The Effect Of The Economic Cycle On Workplace Accidents In Six European Countries,” Ege Academic Review, pp. 1-13, 2010.

[15] R. Davies, P. Jones and I. Nuñez, “The impact of the business cycle on occupational injuries in the UK,” Social science & medicine, vol. 69, no. 2, pp. 178-182, 2009.

[16] I. Anyfantis, G. Boustras and A. Karageorgiou, “Maintaining occupational safety and health levels during the financial crisis—A conceptual model,” Safety Science, pp. 246-254., 2018.

[17] Fernandez-Muniz, Montes-Peon and Vazquez-Ordas, “Occupational Accidents and the Economic Cycle in Spain 1994–2014,” Safety Science, pp. 1-12, 2016.

[18] S. Li, H. Xueqiu and L. Chengwu, “Longitudinal relationship between economic development and occupational accidents in China,” Accident Analysis & Prevention, pp. 82-86, 2011.

[19] Sevinç, Bozkurt ve Eroğlu, “Ekonomik Gelişmişlik Göstergesi Olarak İş Sağlığı ve Güvenliği Üzerine Bir Araştırma”, Social Sciences Research Journal, pp. 1-11, 2016.

[20] TÜİK, “<http://www.tuik.gov.tr>”, 12 Nisan 2019. [Çevrimiçi]. [Erişildi: 12 Nisan 2019].

[21] E. Ş. Aydeniz, “Makro Ekonomik Göstergelerin Firmaların Finansal Performans Ölçütleri Üzerindeki

Etkisinin Ölçülmesine Yönelik Bir Araştırma: İMKB'ye KOTE Gıda ve İçecek İşletmeleri Üzerine Bir Uygulama”, Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F Dergisi, pp. 263-277, 2009.

[22] Z. Yükseler, “Makro Ekonomik Hesaplar ve Ödemeler Dengesi”, Devlet Planlama Teşkilatı, 1998.

[23] M. Aktaş ve S. Akdağ, “Türkiye'de Ekonomik Faktörlerin Hisse Senedi Fiyatları İle İlişkilerinin Araştırılması”, International Journal Social Science Research, pp. 50-67, 2013.

[24] O. Pektaş, SPSS 20 İle Veri Madenciliği, Dikeyksen Yayın Dağıtım, 2013.

[25] Ö. Serper, Uygulamalı İstatistik, Ezgi Kitabevi, 2014.

[26] R. Tari, Ekonometri, Alfa Yayınları, 2002.

[27] A. F. Hayes and L. Cai, “Using heteroskedasticity-consistent standard error estimators in OLS regression: An introduction and software implementation”, Behavior research methods, vol. 39, no. 4, pp. 709-722., 2007.

[28] Savın and White, “The Durbin-Watson Test For Serial Correlation With Extrem Sample Sizes Or Many Regressors”, Econometrica, p. 1989, 1977.

[29] Ş. Büyüköztürk, Sosyal Bilimler İçin Veri Analizi El Kitabı, Pegem, 2018.

[30] J. G. MacKinnon, “Numerical distribution functions for unit root and cointegration tests”, Journal of Applied Econometrics, vol. 11, no. 6, pp. 601-618, 1996.

[31] N. Uzgören ve E. Uzgören, “Zaman Serilerinde Sahte Regresyon Sorunu Ve Reel Kamu Harcamalarına Yönelik Bir Ekonometrik Model Uygulaması”, Akademik Bakış, pp. 5-6, 2005.

[32] S. Johansen, “Cointegration in partial systems and the efficiency of single-equation analysis”, Journal of econometrics, vol. 52, no. 3, pp. 389-402, 1992.


[33] N. Bowers, “Have employment patterns in recessions changed”, Monthly Lab. Rev., pp. 15-28, 1981.


[34] A. S. Brooker, J. W. Frank and V. S. Tarasuk, “Back pain claim rates and the business cycle”, Social science & medicine, vol. 45, no. 3, pp. 429-439., 1977.

[35] A. Asfaw, R. Pana-Cryan and R. Rosa, “The business cycle and the incidence of workplace injuries: Evidence from the USA”, Journal of safety research, vol. 42, no. 1, pp. 1-8., 2011.

Şev Stabilitesi Probleminin Geri Analizle Çözümü: Örnek Bir Vaka

*¹Buse Ün, ²Abdulazim Yıldız

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, buseun.mfbe19@iste.edu.tr 

²Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, abdulazim.yildiz@gmail.com 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 21.05.2020

Kabul Tarihi: 26.11.2020


Öz


Bu çalışmada bir şev stabilitesi problemi incelenmektedir. Şev üzerinde bir yol güzergâhı bulunmaktadır ve şevin göçme potansiyeli yüksektir. Bu çalışmanın amacı, şevde güvenlik analizinde kullanılan programların tutarlılığının incelenmesi ve şev hareketini önleyecek tasarımın belirlenmesidir. Bu amaçla, ilk olarak, şevin topoğrafik özellikleri belirlenmiş ve mevcut duruma ait model oluşturulmuştur. Şev modeline ait verileri elde etmek için arazi ve laboratuvar çalışmalarından faydalanılmıştır. Geri analiz yöntemi kullanılarak kayma yüzeyine ait parametreler elde edilmiştir. Mevcut durumu yansıtan model üzerinde, şevi güvenli hale getirecek tasarım oluşturulmuştur. Analizler; sonlu elemanlar yöntemini esas alan Plaxis 2D (2018) ve limit denge yöntemlerine dayanan Slide V.6.0. programları ile gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, güvenlik analizi hesabında kullanılan programlardan uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Ele alınan şev stabilitesi probleminde, iyileştirme yöntemi olarak fore kazıklı destekleme uygun görülmüştür. Ek olarak drenaj yöntemleri ile yüzey sularının uzaklaştırılması önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şev stabilitesi, Vaka analizi, Geri analiz, Ağırlık yüklemesi

Solution of the Slope Stability Problem by Back Analysis: An Example Case

*¹Buse Un, ²Abdulazim Yildiz

¹Iskenderun Technical University, Department of Civil Engineering, buseun.mfbe19@iste.edu.tr 

²Cukurova University, Department of Civil Engineering, abdulazim.yildiz@gmail.com 

Abstract

In this study, a slope stability problem is investigated. There is a road route located on the slope and the slope has a high potential to failure. The purpose of this study is to examine the consistency of programs used in slope safety analysis and to determine the design that will prevent slope movement. For this purpose, firstly, topographic features of the slope were determined and then a model of the current state was created. Field and laboratory studies were used to obtain the data of slope model. Parameters of the failure surface were obtained by using back analysis method. Afterwards, a design that will make the slope safe was created on the model which reflects the current state. Analysis was performed by using both Plaxis 2D (2018), which is based on finite element method, and another program called Slide V.6.0. based on limit equilibrium methods. As a result, compatible results were obtained from the programs used in the safety analysis calculation. In the slope stability problem discussed, supporting with bored pile was considered appropriate as an improvement method. In addition, it was proposed to remove surface waters by drainage method.

Keywords: Slope stability, Case study, Back analysis, Gravity loading

1. GİRİŞ

İklim, doğa olayları ve yeni yapıların yapılması gibi etkenler topoğrafyanın doğal yapısını değiştirmektedir. Arazilerin doğal yapısının değişmesi stabilite problemlerine neden olmaktadır. Nüfusun artmasıyla birlikte eğimli (şevli)

arazilere; konut, yol vb. yapıların kontrolsüz bir şekilde yapılması, şevlerde stabilitenin bozulmasına neden olmuş ve heyelan vakalarını arttırmıştır. Ülkemizde ve dünyada şev stabilitesi problemleri için uygun önlem alınmadığında büyük kayıplar yaşandığı görülmüştür. Heyelan vakasının yaşandığı yerlerden edinilen bilgiler, durumun ciddiyetini

ortaya koymaktadır. Şekil 1’de görüntüsü bulunan, 2010 yılında Tayvan’da meydana gelen heyelan, ciddi kayıplara neden olmuştur [1]. 2017 yılında Çin’de meydana gelen bir heyelan vakasında 100’den fazla kişi ve yaklaşık 60 ev toprak altında kalmıştır [2]. Ülkemizde 1990 yılında şiddetli yağış neticesinde Maçka/Çatak’da meydana gelen heyelanda 65 kişi hayatını kaybetmiş ve trilyonlarca liraya varan maddi zarar ortaya çıkmıştır [3]. Yaşanan vakalarda görüldüğü gibi heyelan; milli servetlerin yok olmasına, büyük oranda can ve mal kayıplarına neden olabilmektedir. Bu sebepten heyelanın değerlendirilmesi ve heyelanın vereceği zararlara karşı uygun önlemlerin alınması son derece önemlidir.



Şekil 1. Tayvan’da meydana gelen heyelanın görüntüsü

Geoteknik mühendisleri, bir şevin durumunu değerlendirirken; yüzey ve yer altı sularına, zeminin kayma dayanımı değerlerine dikkat etmektedir. Yüzeyden gelen sular; şev üzerinde bulunan zeminin yer değiştirmesine neden olarak şev topuğunu aşındırabilmektedir. Ayrıca şev yüzeyi üzerinde basınç yaratabilmektedir. Yer altı suyu; su seviyesinin değişmesi, boşluk suyu basıncı ve sızma basıncı ile şevde etkili olmaktadır. Kayma dayanımı parametrelerinin bilinmesi, göçme mekanizmasının belirlenmesinde önemlidir. Şev stabilitesi probleminin çözümü için; sonlu elemanlar, limit denge ve sonlu farklar yöntemi en çok kullanılan hesap yöntemleridir.

Şev stabilitesi problemi olan, yapılan/yapılması planlanan projelerde, problemin güvenli ve ekonomik bir şekilde çözülmesi için konu ile ilgili değerlendirmelere, araştırmalara ve deneyimlere ihtiyaç vardır. Literatürde, geçmişten bugüne konu ile ilgili birçok çalışma olduğu görülmektedir.

Moudabel, şev vakalarını, limit denge ve sonlu farklar yöntemini kullanarak değerlendirmeye almıştır. Farklı yaklaşımlarla hesaplanan güvenlik faktörleri karşılaştırıldığında, limit denge yöntemleriyle hesaplanan güvenlik sayısının sonlu farklar yöntemiyle hesaplanan güvenlik sayısından fazla olduğu ortaya konulmuştur [4].

Taşkıran ve ark., sonlu elemanlar yöntemi ve mukavemet azaltma yöntemiyle, iki boyutlu ve üç boyutlu model üzerinde güvenlik faktörü durumunu incelemiştir. Sonuçlar limit denge analizinden elde edilen güvenlik faktörleri ile

karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda; üç boyutlu ve iki boyutlu şev modelinden farklı güvenlik sayıları elde edilmiştir. Üç boyutlu model üzerinde yapılan hesaplamalarda güvenlik sayısının daha yüksek olduğu görülmüştür. Mukavemet azaltma yöntemi ile hesaplanan güvenlik sayısı değerlerinin ise, limit denge yöntemleri ile hesaplanan güvenlik sayısı değerleri ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır [5].

Tschuchnigg ve ark., yaptıkları çalışmada bir şeve ait göçmeyi geri analiz yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Mukavemet azaltması yöntemi kullanılarak farklı yaklaşımlarla güvenlik faktöründeki değişim incelenmiştir [6].

Neves ve ark., şev stabilitesi problemine yönelik iyileştirme yöntemlerini, sonlu elemanlar ve limit denge metodunu kullanarak değerlendirmişlerdir. Çalışmada, yaygın iyileştirme yöntemleri ve yöntemlerin etkinliğinden bahsedilmektedir [7].

Bol ve ark., üzerinde yol güzergâhı bulunan, yağış etkisiyle stabilitesi bozulan bir şevi denge durumuna getirmek için tasarım yapmışlardır. Limit denge ve sonlu elemanlar yaklaşımını baz alan bilgisayar yazılımlarını kullanarak şev göçmesini önlemeyi ve şev güvenliğini sağlamayı amaçlamışlardır. Şevde, kazıklı iksa sistemi tasarımı ile iyileştirme sağlanmış ve sonuçlar sunulmuştur [8].

Pirone ve Urciuoli, bir şevi stabil hale getirmek amacıyla, Plaxis’te kayma mukavemeti azaltması tekniğini kullanarak 2D ve 3D model üzerinde analizler gerçekleştirmişlerdir. Kazıklar arası mesafeye göre kazık ara yüzünde oluşan deplasmanlar ve şevin göçmesi sırasında zayıf tabakanın rolü incelenmiştir. Şevi iyileştirmek için kullanılan kazıkların tasarımına katkı sunan basit grafikler sunulmuştur [9].

Chen ve ark., bir yol inşaatı üzerinde şev stabilitesi problemine ait bir vaka çalışması sunmuşlardır. Bölgesel kayma mukavemeti temsili değerlerini geri analiz yöntemiyle hesaplamışlardır. Çözüm için beton kirişler ile güçlendirilmiş ankraj uygulaması kullanılmıştır [10].

Büyükkıncı ve Işık, çalışmaları için farklı özellikteki üç şev stabilitesi vakası seçmişlerdir. Şev stabilitesi analizinde, ülkemizde kullanılan TS 8853 standardı ile Eurocode 7 ve BS 8006 standartlarının başarı oranlarını karşılaştırmıştır. Analizlerde limit denge yöntemleri yanında sonlu elemanlar yöntemi de kullanılmıştır. Çalışma sonucunda şev stabilitesi analizleri için TS 8853 ile limit denge yöntemlerinin Eurocode 7’ye göre daha güvenilir sonuçlar verdiği belirtilmiştir [11].

Alemdağ, bir baraj dolgusunda baraj gövdesinin yükseltilmesinin stabilizeye etkisini, limit denge ve sayısal analiz yöntemleri ile araştırmıştır. Yapılan dinamik ve statik analizler sonucu elde edilen güvenlik sayıları ortaya koyulmuştur. Baraj gövdesine ait stabilize durumu değerlendirilmiştir [12].

Huvaj ve Oğuz, son yıllarda şev stabilitesi problemlerinin çözümünde popüler olan olasılıksal yöntem üzerinde durmuşlardır. Norveç'te meydana gelen bir heyelan vakası üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde limit denge ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Deterministik ve olasılıksal yaklaşım için güvenlik faktörleri, göçme yüzeyleri gibi faktörler karşılaştırılmıştır. Sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur, şev güvenliğinde farklı yaklaşımların değerlendirilmesine katkı sağlanmıştır [13].

Göktepe ve Keskin, çalışmalarında desteksiz kazı çalışması sonucu meydana gelen bir heyelan örneğini ele almışlardır. Dilim yöntemleri ve sonlu elemanlar yöntemini baz alan üç farklı bilgisayar yazılımı ile analizler gerçekleştirilmiştir. Farklı yöntemlerle elde edilen güvenlik sayıları karşılaştırılmış ve söz konusu alanın güvenliği değerlendirilmiştir [14].

Onur ve ark., şevlerde güçlendirme çalışması için kullanılan iki farklı metodu (geogrid ve geotekstil ile güçlendirme) laboratuvar ortamında ve Plaxis programı ile kurulan model üzerinde test etmişlerdir. Statik yük altında model üzerindeki deformasyonlar izlenmiştir. Plaxis ve laboratuvar ortamında oluşturulan modellerden benzer sonuçlar elde edilmiş ve geotekstilin geogride göre daha yüksek direç gösterdiği ve şevde daha az deformasyona sebep olduğu sonucuna varılmıştır [15].

Bu çalışmada ise stabilize problemi olan bir şev vakası incelenmiştir. Çalışma kapsamında,

- Üzerinde bir yol güzergâhı olan şev üzerinde, potansiyel kaymaları araştırarak, şevi güvenli durumuna getiren tasarımın önerilmesi,
- Güvenlik analizi için, iki farklı yöntem ile hesaplama yapan programların sonuçlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, üzerinde bir yol güzergâhı bulunan ve stabilize problemi olan bir şev incelenmiştir (Şekil 2). Yapılan incelemeler kapsamında, heyelanın başladığı ve potansiyel kaymaların söz konusu olduğu bölgede arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Çalışmalar neticesinde bölgedeki mevcut zemin tabakaları ve yer altı suyu durumu değerlendirilmiştir. Vakanın meydana geldiği alan ile çevresinin, yeraltı ve yüzey suları bakımından oldukça zengin olduğu görülmüştür. Yeraltı suyu, zeminin kayma dayanımı değerlerinde değişikliklerin meydana gelmesine sebep olurken yarma üzerindeki çatlaklara yüzey sularının dolması kış mevsiminde donma basınçlarının oluşmasına yol açmaktadır. Bu durumun arazi stabilitesini olumsuz yönde etkilediği tahmin edilmektedir.



Şekil 2. Heyelanın sebep olduğu yol tahribatı

Şevde denge durumunu sağlamak amacıyla bir dizi çalışma gerçekleştirilmiştir. Özetle; ilk önce, bölgede arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmalara göre, zemin özellikleri ve yer altı suyu durumu belirlenmiştir. Daha sonra kaymanın meydana gelmeye başladığı kritik kesitler belirlenmiştir. Kritik kesitler belirlenirken; inklinometre okumaları, zemin özellikleri ve arazi gözlemlerinden yararlanılmıştır. Kritik bölgeler baz alınarak, geri analiz yardımıyla kayma bölgesine ait özellikler belirlenmiştir. Tüm bu verilere göre, sonlu elemanlar yöntemi ve limit denge yöntemleri ile güvenlik analizi yapılmıştır. Son olarak, göçme sınırında olan ve mevcut durumu simüle eden model üzerinde, göçmeyi önleyen tasarım oluşturulmuştur. Hesaplama için, iki farklı program kullanılarak programların avantajlı yönlerinden faydalanılmıştır (Slide programı ile pratik güvenlik analizi yapma, Plaxis programı ile gelişmiş zemin modelleri kullanma gibi). Ayrıca her iki programdan elde edilen sonuçların tutarlılığı araştırılmıştır. Hesap aşamaları iki başlık altında açıklanmıştır: Geri analiz ve tasarım hesapları.

2.1. Geri Analiz

Bir şev kayarak göçtüğünde, göçme anındaki şev koşulları hakkında geriye dönük bilgi edinilebilir. Şev stabilitesi bozulduğunda, şevde güvenlik sayısı bir (1.0) olarak kabul edilmektedir. Bu bilgi ışığında uygun analiz yöntemi kullanılarak göçme anındaki şev modeli gerçeğe yakın bir şekilde tahmin edilmektedir. Şev; zemin özellikleri, yeraltı suyu, boşluk suyu basıncı, kayma dayanımı parametreleri ve göçme mekanizmalarının kullanıldığı analiz yöntemi ile modellenir. Oluşturulan şev modeli, göçme durumunun daha iyi anlaşılmasına yardımcı olurken uygun tasarımın analizi için esas alınabilir. Bir şev göçmesi vakasında koşulları belirleyip şeve uygun model oluşturma süreci *geri analiz* veya *geri hesaplama* olarak adlandırılır [16].

Geri analizde; göçme anında güvenlik sayısının yaklaşık "1" olduğu esas alınır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen zemin parametreleri, kayma yüzeyindeki *ağırlıklı ortalama kayma dayanımı parametreleridir*. Şev modeli üzerinde kaymanın gerçekleştiği bölgede, $G_s=1$ (G_s : güvenlik sayısı) koşulunu sağlayan "c-φ" (c:kohezyon, φ:içsel sürtünme açısı) veri çiftleri deneme yanılma yoluyla belirlenir. Şevde farklı yüzeylerde birden fazla göçme meydana geldiyse,

farklı kesitler için birden fazla “c-φ” zarfı oluşturulur. “c-φ” zarfları grafik üzerinde bir araya getirilir ve zarfların keşiştiği noktadan göçme yüzeyine ait kayma dayanımı parametreleri belirlenir [17].

Gerçek analizde, limit denge yöntemleri ile hesaplama yapılmıştır. Limit denge yöntemleriyle güvenlik sayısı hesaplaması yapılırken göçmenin belirli bir doğrultuda olduğu kabul edilmektedir. Kayma mekanizması arazi şartlarına göre belirlenir. Kaymayı önleyen ve kaymaya neden kuvvetler belirlenir. En olumsuz şartlar göz önünde bulundurularak güvenlik sayısı elde edilir.

Analizlerde, limit denge yöntemlerini baz alan “Slide V.6.0.” programı kullanılmıştır. Slide, kaya veya zemin yamaçlarda, farklı geometriye sahip göçme yüzeylerinde, güvenlik sayısı hesabı yapabilmekte ve şevin stabilite olasılığını değerlendirebilmektedir. Ayrıca; harici yükleme, yeraltı suyu ve destek yapıları gibi çeşitli unsurları modellemeye olanak veren iki boyutlu bir programdır. Proje ayarlarından istenilen hesap yöntemi seçilerek güvenlik sayısı hesabı yapılabilmektedir.

Burada analizler, limit denge yöntemlerinden; Bishop, Janbu ve Spencer hesap yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.2. Tasarım Hesapları

Tasarım hesapları kısmında, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak hesaplama yapılmıştır. Analizler, sonlu elemanlar yöntemini esas alan Plaxis 2D programı ile gerçekleştirilmiştir.

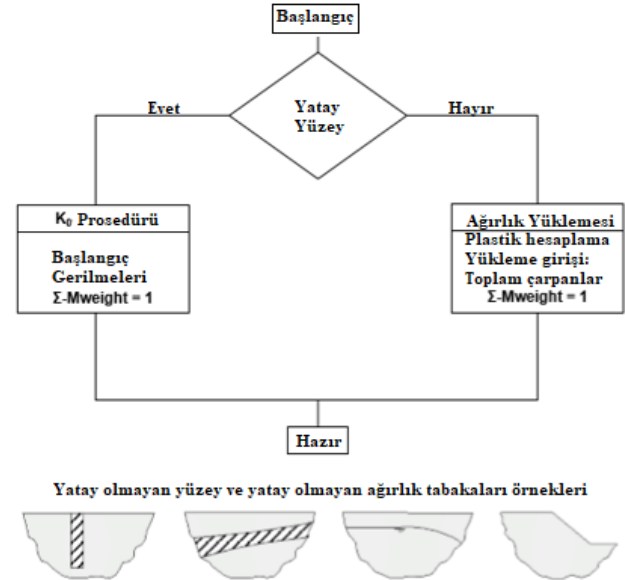
Hesaplamalarda zemin davranışı olarak Pekişen Zemin Modeli (Hardening Soil Model) esas alınmıştır. Bu model; kil ve siltler gibi zemin türlerinin yanı sıra, kum ve çakıl türü zeminlerin davranışını da simüle etmek için kullanılabilir [18].

Plaxis ile yapılan analizlerde ağırlık yüklemesi ve mukavemet azaltması yöntemi ile hesaplama yapılmıştır. Mukavemet azaltması yöntemi, Plaxis’te güvenlik analizi için kullanılır, analiz sonucunda şevin mevcut durumuna ait güvenlik sayısı elde edilir. Zemine ait kayma mukavemeti değerleri (c ve φ) şevde göçme gerçekleşinceye kadar aşama aşama azaltılır ve göçme durumundaki güvenlik sayısı elde edilir [5,14].

Ele alınan modelin geometrisi ve şev içerisinde yer alan zemin katmanları yatay şekilde değildir. Bu nedenle

Plaxis’te analizin ilk aşamasında *ağırlık yüklemesi* hesabı yapılmıştır. Ağırlık yüklemesiyle, ilk aşamada zemin kütlesi içinde hiçbir başlangıç gerilmesi oluşmaz. Zemin kütlesinin ilk gerilmeleri, hesaplama modülünde birinci aşamada hesaplanır. Ayrıca, eğer zemin katmanlarından herhangi birinin davranışı drenajsız olarak modellenirse, bu aşamada, “Drenajsız davranışı yoksay” (Ignore undrained behavior) seçeneği seçilmelidir. Bunun sebebi ise, başlangıç aşamasında, dışarıdan bir yük olmadığı ve model geometrisinde hiçbir değişiklik yapılmadığında, zemin davranışının drenajlı durumda olmasıdır [19]. Daha sonra gerçek inşaat aşamaları modellenir ve güvenlik sayısı hesaplanır. Tasarım hesaplarında; zemin davranışını yansıtan model seçimi ve Plaxis’te düzlemsel olmayan zemin tabakaları için izlenen hesap adımlarına dikkat edilmiştir. Buna göre, Plaxis’te zeminlerin yatay durumda olup olmaması durumunda izlenecek hesap adımları Şekil 3’te gösterilmiştir.

ZEMİN AĞIRLIĞI SEBEBİYLE OLUŞAN BAŞLANGIÇ GERİLMELERİ İÇİN



Şekil 3. Plaxis’te zeminin yüzey geometrisine göre hesap adımı şeması [20]

Laboratuvar ve saha çalışmalarından elde edilen veriler, literatürde yer alan ampirik denklemler ve abaklar yardımı ile analiz için gerekli zemin parametreleri belirlenmiştir. Kayma direnci parametreleri deneme yanılma yolu ile *geri analiz* sonucu belirlenmiştir. Tablo 1’de analizlerde kullanılan zemin özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 1. Analizlerde kullanılan zemin özellikleri

Parametre	Sembol	Mevcut yol dolgusu (Qyd)	Yapay dolgu	Siltli killi çakıllı kum -kumlu çakıl	Çakıllı, siltli, kumlu kil - siltli kum	Şist, Grafit Şist	Çakıllı, siltli killi kum	Çakıllı, kumlu, killi silt	Kayma düzlemini temsil eden tabaka
Malzeme Modeli	-	Hardening Soil Model							
Malzeme Davranışı	-	Drenajlı							
Kuru Birim Hacim Ağırlık	γ_{dry} (kN/m ³)	18	18	18	18	19	18	18	19
Doygun Birim Hacim Ağırlık	γ_{sat} (kN/m ³)	19	19	19	19	20	19	19	20
Elastisite Modülü	E_{50}^{ref} (kN/m ²)	9600	9600	54000	9600	150000	40000	150000	5000
	E_{od}^{ref} (kN/m ²)	9600	9600	54000	9600	150000	40000	150000	5000
	E_{ur}^{ref} (kN/m ²)	25000	20000	162000	25000	450000	120000	450000	15000
Kohezyon	c (kPa)	5	5	2	5	100	5	100	5
Sürtünme Açısı	ϕ (°)	30	30	33	30	15	30	10	17
Dilatasyon Açısı	ψ	0	0	3	0	0	0	0	0

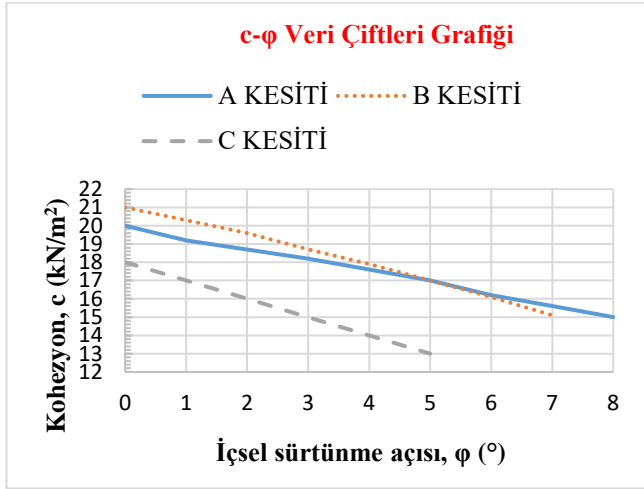
3. BULGULAR

Bu bölümde, sırasıyla, geri analiz ve tasarım hesapları ile ilgili sonuçlara yer verilmiştir. Heyelanlı bölgede, analizleri gerçekleştirmek için üç kritik kesit belirlenmiştir. Arazi üzerinde kayma dayanımı yüksek ve düşük olan farklı zemin tabakaları yer almaktadır (Şekil 9.a-10.a). Kayma dairesinin, dayanım parametreleri düşük olan zemin tabakalarından geçtiği beklenmektedir. Bu doğrultuda, bir dizi ön analiz gerçekleştirilmiştir. Kayma dairesinin yerine ve özelliklerine göre farklılık gösteren, güvenlik sınırında olan, şev modelleri değerlendirilmiştir. Kayma yüzeyinin temsili değerlerini ve yerini belirlemek için; inklinometre okumaları, bölgeye ait tabaka özellikleri, arazi gözlemleri ve limit denge yöntemleriyle yapılan analizden faydalanılmıştır. Daha sonra, belirlenen üç kritik kesit için konu olan şeve ait modeller oluşturulmuştur. Kesitler; A,B ve C kesitleri olarak adlandırılmıştır (Şekil 5). Yol yapısı üzerindeki yükler, 15kPa'lık düzgün yayılı yük olarak hesaba dahil edilmiştir. Kaymanın gerçekleşeceği tahmin edilen zayıf yapıdaki zemin katmanını dikkate alınarak, üç farklı kesitte aşağıda görülen kayma mukavemeti veri çiftleri ile analizler gerçekleştirilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Geri analizde kullanılan kayma dayanımı veri çiftleri

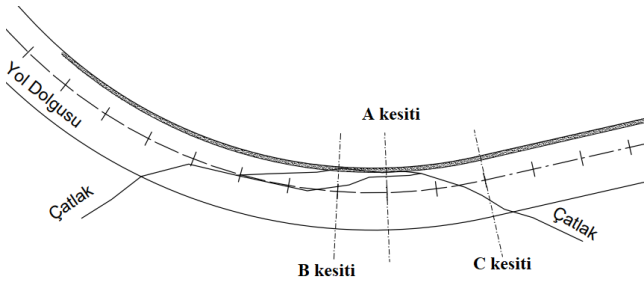
	C- Kohezyon (kN/m ²)	Φ - İçsel Sürtünme Açısı (°)
A Kesiti	1	19.2
	3	18.2
	4	17.6
	5	17.0
	8	15.0
B Kesiti	1	20.3
	2	19.6
	4	17.9
	6	16.1
	7	14.1
C Kesiti	1	17.0
	2	16.0
	3	15.0
	4	14.0
	5	13.0

Grafikte, kesişen kayma dayanımı zarflarından “c-φ” değerinin sırasıyla 5 kN/m²-17° olduğu görülmektedir (Şekil 4).

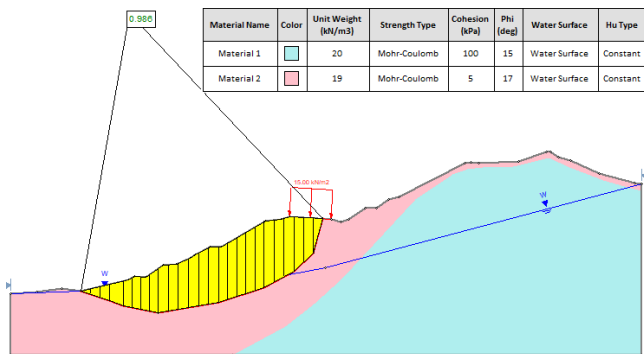


Şekil 4. Kayma dayanımı zarfları grafiği

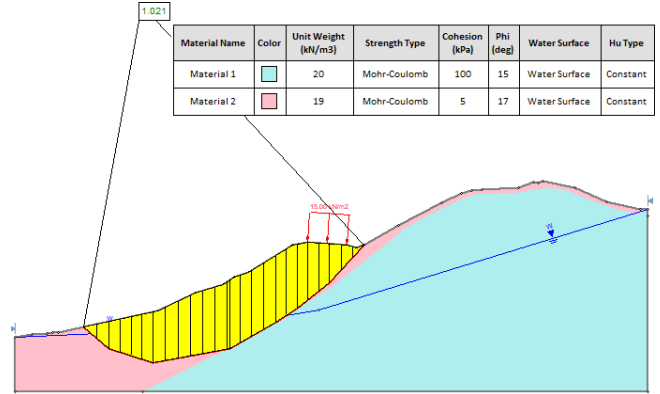
Aşağıdaki şekillerde, kesitler üzerinde kayma daireleri ve veri çifti grafiğinden elde edilen değerler ile hesaplanan güvenlik sayıları gösterilmiştir (Şekil 6-8). A ve B kesitleri için güvenlik sayısının yaklaşık “1” olduğu görülürken C kesitine bu değer 1’in üzerindedir. C kesitine ait c-φ zarfı diğer kesitlere ait veri zarfları ile çakışmamaktadır. Diğer kesitlere kıyasla; C kesitinde eğim daha düşük, topuk daha yüklü durumdadır. Bu sebeplerden, Gs=1 değerini sağlayacak kayma mukavemeti veri çiftleri daha düşük değerlerde elde edilmektedir.



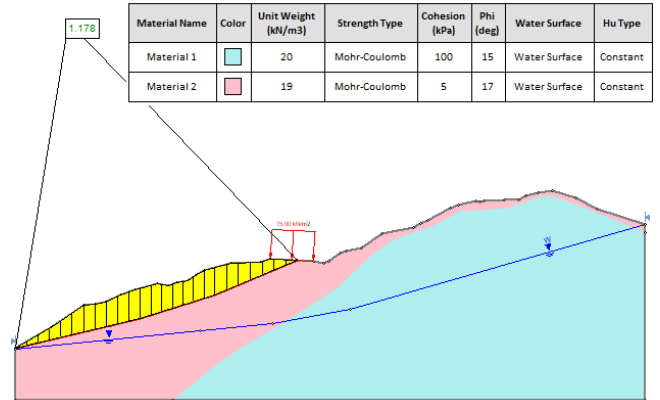
Şekil 5. Yol üzerindeki hasarlı bölge ve kesitlerin yeri



Şekil 6. Şevde A kesitine ait görüntü



Şekil 7. Şevde B kesitine ait görüntü



Şekil 8. Şevde C kesitine ait görüntü

Geri analiz sonuçlarında görüldüğü gibi C kesitine ait kayma dayanımı parametresi değerleri, diğer kesitlere kıyasla daha güvenli yöndedir. Bu nedenle tasarım hesapları, kritik görülen A ve B kesitleri esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

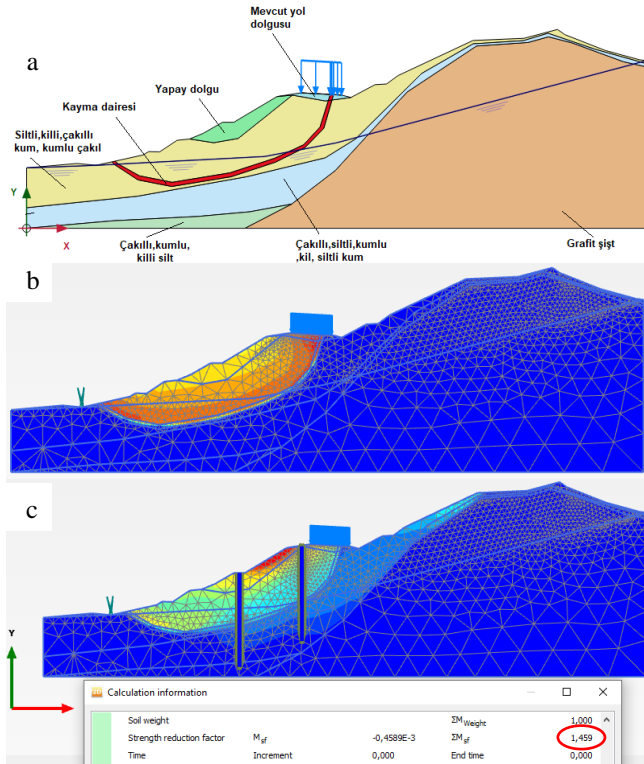
Plaxis programında oluşturulan model üzerinde güvenlik analizi tekrarlanmış ve güvenlik sayısı hesaplanmıştır. Analiz sonucunda; A kesiti için güvenlik sayısı, 1.067 olarak elde edilmiştir. Sonuç, Slide programından elde edilen çıktılar ile uyumludur. Sistem göçme sınırındadır; zemin tabakaları özellikleri, kayma daireleri ve özellikleri göçme sınırında olan şevin davranışını yansıtmaktadır.

Göçmeyi engelleyecek durum için birçok analiz yapılmış farklı alternatifler düşünülmüştür. Uygun tasarım, kesitin iki farklı noktasına kazık yapımı ile elde edilmiştir. Kesitin farklı iki noktasına kazık yapıldığında şev güvenliği artmış ve güvenlik sayısı 1.5 değerine yaklaşmıştır. Kazık ile iyileştirme için ekonomik ve güvenli sonucu; 25cm arayla yapılan, çapı 1.20m ve boyu 30m olan kazıklar sağlamıştır. İnşaat aşamaları dikkate alınarak güvenlik analizi gerçekleştirildiğinde güvenlik faktörünün 1.46 olduğu görülmüştür (Şekil 9).

Tablo 3'te, her iki kesit için hesaplamalarda kullanılan kazık boyutları ve kazık malzeme parametreleri yer almaktadır

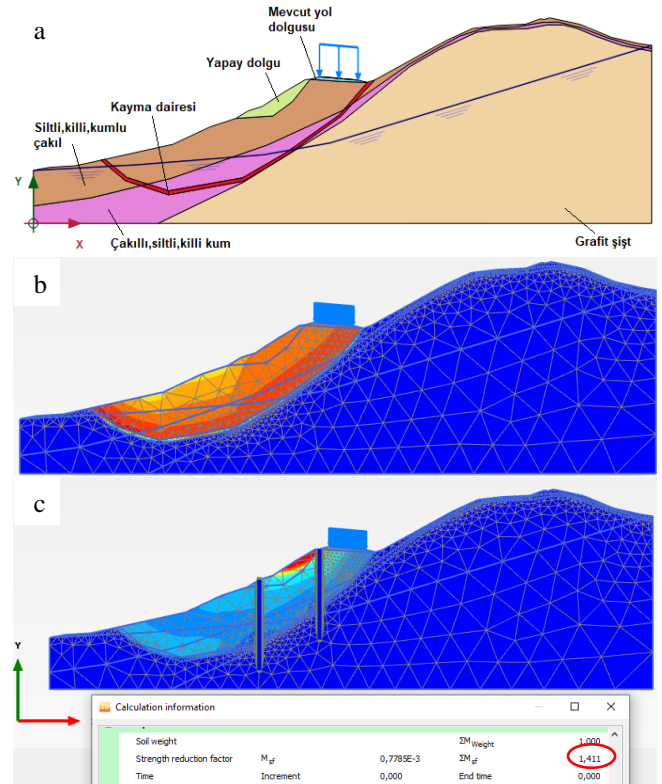
Tablo 3. Tasarımda kullanılan kazık boyutları ve kullanılan parametreler

Kazık Boyutları ve Kullanılan Parametreler	Değeri
Çap (m)	1.20
Boy (m)	30
Malzeme Modeli	Elastik
Normal Rijitlik- EA' (kN/m)	23 399 449
Eğilme Rijitliği EI' (kNm ² /m)	2 105 950
Ağırlık w' (kN/m/m)	5
Poisson Oranı v	0.20

**Şekil 9.** a) A kesitinde zemin tabakaları, b) A kesitine ait mevcut durum analiz sonucu, c) A kesitine ait tasarım ve güvenlik sayısı

B kesiti için de Plaxis programında oluşturulan model üzerinde güvenlik analizi yapılmış ve güvenlik sayısı hesaplanmıştır. B kesiti için güvenlik sayısının, 1.041 olduğu görülmüştür. Slide programından elde edilen çıktılar ile uyumludur. Sistem göçme sınırındadır; zemin tabakaları özellikleri, kayma dairesi ve özellikleri göçme sınırında olan şevin davranışını yansıtmaktadır.

Göçmeyi engelleyecek durum için birçok analiz yapılmış farklı alternatifler düşünülmüştür. A kesitinde olduğu gibi, uygun tasarım, kesitin iki farklı noktasına kazık yapımı ile elde edilmiştir. Kesitin farklı iki noktasına kazık yapıldığında şev güvenliği artmış ve güvenlik sayısı 1.5 değerine yaklaşmıştır. Kazık ile iyileştirme için ekonomik ve güvenli sonucu; 25cm arayla yapılan, çapı 1.20m ve boyu 30m olan kazıklar sağlamıştır. İnşaat aşamaları dikkate alınarak güvenlik analizi gerçekleştirildiğinde, güvenlik faktörünün 1.41 olduğu görülmüştür (Şekil 10).

**Şekil 10.** a) B kesitinde zemin tabakaları, b) B kesitine ait mevcut durum analiz sonucu, c) B kesitine ait tasarım ve güvenlik sayısı

Her iki kesitte de, kazıklar yol ekseninden eşit uzaklıktaki noktalara yerleştirilmiştir. Analizlerde ekonomik faktörler de dikkate alınarak kazık uçlarının, dayanımı yüksek olan zemin tabakasına soketlenmesine dikkat edilmiştir. Analiz sonuçları aşağıda özetlenmiştir (Tablo 4)

Tablo 4. Analiz Özeti

Kesit	Analiz Sonucu		
	Doğal şev için güvenlik sayısı		Kazık ile iyileştirmeden sonra güvenlik sayısı
	Slide	Plaxis	Plaxis
A	0.986	1.067	1.459
B	1.021	1.041	1.411

Drenaj önlemleri alınarak şevi daha güvenli hale getirmek hedeflenmiştir. Uygulanacak drenaj sistemi ile şev yüzeyinde birikebilecek yüzey suları toplanıp drene edilerek şevin dengesine zarar verebilecek durumlar ortadan kaldırılacaktır. Burada, yol üstünde bulunan şevin yol platformu ile kesiştiği yere standart drenaj hendeği yapılması önerilmektedir.

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışmada bir şev stabilitesi problemi incelenmiştir. Doğal bir şev üzerinde bulunan yol yapısının heyelandan

korunması ve göçmeye karşı güvenli duruma getirilmesi amaçlanmıştır. Bölgede yapılan incelemelerden sonra şev üzerinde kritik bölgeler belirlenmiştir. Kritik bölgeler baz alınarak geri analiz yardımıyla kayma bölgesine ait parametreler belirlenmiştir. Geri analizden elde edilen verilerle arazinin mevcut durumu modellenmiştir. Son olarak, güvenlik sayısı hesaplanarak göçmeyi engelleyecek tasarım sunulmuştur. Çalışmada, sırasıyla sonlu elemanlar yöntemi ve limit denge yöntemlerini esas alarak hesaplama yapan "Plaxis 2D ve Slide V.6.0." programları kullanılmıştır. Her iki programdan elde edilen sonuçların tutarlılığı incelenmiştir.

Sonuç olarak, her iki programda; aynı kesitler üzerinde, aynı kayma daireleri ve kayma dayanımı parametreleriyle yapılan analiz sonuçları karşılaştırıldığında güvenlik analizi sonuçlarının uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca yapılan hesaplamalar neticesinde, sevi denge durumunda tutacak ekonomik ve güvenli çözüm sunulmuştur. Stabilité problemi olan şev için geoteknik tasarımın esası; kayan kütleinin, iki sıra halindeki fore kazıklarla desteklenmesi ve sevi olumsuz etkileyen yüzey sularının drenajına dayanmaktadır.

Bu tarz şev stabilitesi problemlerinde, güvenlik durumu ve ekonomik unsurlar göz önünde bulundurularak, kayma potansiyeli yüksek zemin tabakalarının kaldırılması veya tabakanın kademelendirilmesi, ankrajla kazıkların desteklenmesi gibi farklı şev iyileştirme yöntemleri de değerlendirilebilmektedir.

BİLGİLENDİRME

Bu makale Buse Ün'ün "Şev Stabilitesi ve Şev Hareketlerine Karşı Alınacak Önlemler" başlıklı yüksek lisans tezinden hazırlanmıştır.

TEŞEKKÜR

Arazi ve laboratuvar çalışmaları konusunda desteklerini esirgemeyen Limit Teknik Araştırma firmasına teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKÇA

- [1].NBCNews,URL:http://www.nbcnews.com/id/36782187/ns/weather/t/landslide-buries-cars-cuts-highway-taiwan/#.XpQyLTdR2U1 (Erişim zamanı: Nisan, 26, 2010)
- [2].BBC News URL: https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-40391372 (Erişim zamanı; Haziran, 24, 2017).
- [3]. K. Öztürk, "Heyelanlar ve Türkiye'ye Etkileri", Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 22(2), 2002.
- [4]. O. A. M. Moudabel, "Slope Stability Case Study By Limit Equilibrium and Numerical Methods", Doctoral dissertation, Oklahoma State University, Libya, 2013.
- [5]. T. Taşkıran, V. S. Yavuz, ve M. S. Keskin, "Şev stabilitesinin iki ve üç boyutlu modeller ile incelenmesi",


DÜMF Mühendislik Dergisi, 6(1): 1-8, 2015.

- [6]. F. Tschuchnigg, , H. F. Schweiger, S. W. Sloan, A. V. Lyamin, and I. Raissakis, "Comparison of finite-element limit analysis and strength reduction techniques". Géotechnique, 65(4): 249-257, 2015.
- [7]. M. Neves, V. Cavaleiro, and A. Pinto, "Slope Stability Assessment and Evaluation of Remedial Measures Using Limit Equilibrium and Finite Element Approaches," Procedia Engineering, vol. 143, no. Ictg, pp. 717-725, 2016.
- [8].E. Bol, S. Sert, and A. Özocak, "Kazıklı iksa sistemi ile şev duraylılığının sağlanması Ensuring slope stability with piled retaining system," vol. 21, no. 5, pp. 860-870, 2017.
- [9]. M. Pirone and G. Urciuoli, "Computers and Geotechnics Analysis of slope-stabilising piles with the shear strength reduction technique," Computers and Geotechnics, vol. 102, no. June, pp. 238-251, 2018.
- [10]. G. Chen, C. Li, and Q. Fang, "Slope Stabilization Using Back-analysis Method," In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 332, no. 2, p. 022058, IOP Publishing, 2019.
- [11]. Büyükkıncı, C. Z., ve Işık, N. S., "Şev Duraylılığı Analizlerinde Limit Denge Yöntemleri, Eurocode 7 Ve Bs 8006 Standartlarıyla Hesaplanan Başarı Oranlarının Karşılaştırılması", TÜBAV Bilim Dergisi, 12(2), 18-29, 2019.
- [12]. Alemdağ, S., "Toprak Dolgulu Barajlarda Gövde Duraylılığının Limit Denge Ve Sayısal Analiz Yöntemleri İle Değerlendirilmesi: Türkiye'den Bir Atık Barajı Örneği", Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(2), 157-173, 2016.
- [13]. Huvaj, N., and Oğuz, E. A., "Probabilistic slope stability analysis: a case study", Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(5), 1458-1465, 2018.
- [14]. Göktepe, F., and Keskin, I., "A comparison study between traditional and finite element methods for slope stability evaluations", Journal of the Geological Society of India, 91(3), 373-379, 2018.
- [15]. Onur, M. I., Tuncan, M., Evirgen, B., Ozdemir, B., and Tuncan, A., "Behavior of soil reinforcements in slopes. Procedia engineering", 143, 483-489, 2016.
- [16]. J. M.,Duncan, S. G. Wright, , and T. L. Brandon, "Soil strength and slope stability", Canada, John Wiley and Sons, 2014.
- [17]. R. Ulusay, "Şevlerin Duraylılığı ve Tasarımı. Kurs Notu", Hacettepe Üniversitesi, Ankara, (yayınlanmamış) 2002.
- [18]. Plaxis Reference Manual (Edited by: R.B.J. Brinkgreve, S. Kumarswamy, W. M. Swolfs., F. Folia), Netherlands, Delft University of Technology and Plaxis b.v., 2018.
- [19]. T. L. Gouw., "Common Mistakes on the Application of Plaxis 2D in Analyzing Excavation Problems", International Journal of Applied Engineering Research, 9(21), pp 8291-8311, 2014.
- [20]. Plaxis Material Models Manual, Reference Manual. (Edited by R.B.J.Brinkgreve), Netherlands, Delft University of Technology and Plaxis b.v., 2002.


Kapalı Ortamlarda Kişi Tespitinde Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Karşılaştırmalı Başarım Analizi

*¹Pelin Yıldırım Taşer, ²Vahid Khalilpour Akram

¹ İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İzmir, Türkiye,

pelin.taser@bakircay.edu.tr, 

² Ege Üniversitesi, Uluslararası Bilgisayar Enstitüsü, İzmir, Türkiye,

vahid.akram@ege.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 07.07.2020

Kabul Tarihi: 14.10.2020

Öz

Günümüzde, iç mekan konumlandırma ve kişi takip sistemlerinin uygulama alanları her geçen gün artış göstermektedir. Özellikle, hasta, personel, cihaz ve müşteri takip sistemleri ile akıllı binalar ve kalabalık tahminleme gibi birçok alanda, kişilerin konumlarının veya mekan içerisinde bulunma durumlarının doğru tespiti büyük önem taşımaktadır. İç mekan konumlandırma sistemlerinde genellikle, hedef mobil varlığın üzerine periyodik olarak radyo sinyali gönderen küçük bir cihaz yerleştirilir ve bu cihazdan elde edilen sinyaller ile varlığın konumu belirlenir. Fakat bazı ortamlarda, üzerinde herhangi bir sinyal göndericisi taşımayan varlıkların konumlarının tespit edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla, mobil cihaz kullanılmayan radyo tabanlı takip sistemlerinde, radyo sinyallerinde meydana gelen dalgalanmalar analiz edilerek, ortamdaki hareketlilik tahmin edilmeye çalışılır. Bu sistemlerde, ortamın çeşitli noktalarına periyodik olarak radyo sinyalleri gönderen ve diğer cihazların gönderdiği sinyalleri alabilen cihazlar yerleştirilir. Ortamda bulunan herhangi bir nesnenin hareket etmesi durumunda, sinyal gücündeki dalgalanmalar analiz edilerek, ortamdaki hareketlilik ve yoğunluk tahmin edilebilir. Ancak bazı durumlarda, radyo sinyallerinde hareketten kaynaklanmayan, geçici ama nispeten şiddetli dalgalanmalar yaşanabilmektedir. Bu tür dalgalanmalar, yanlış tespitlere sebep olarak, sistemin hassasiyetini ve doğruluğunu düşürmektedir. Makine öğrenmesi tekniklerinin, veriler arasındaki gizli örüntü ve karmaşık ilişkileri ortaya çıkarmadaki başarıları sayesinde, makine öğrenmesi tekniklerine dayalı kişi tespit sistemleri, geleneksel yöntemlere göre doğruluğu daha yüksek tahminleme becerisi sunmaktadır. Dolayısıyla, bu çalışmada, kapalı ortamda kişi tespiti için makine öğrenmesi algoritmalarından yararlanılmıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında, 10 farklı geleneksel (Naive Bayes, Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP), Destek Vektör Makineleri (SVM) ve K-en Yakın Komşuluk (K-NN)) ve karar ağacı tabanlı (C4.5, Random Forest, Random Tree, REPTree, Decision Stump ve HoeffdingTree) sınıflandırma algoritmaları, kapalı ortamdaki 3 farklı telsiz duyarga düğümünden elde edilen ve 23585 kayıttan oluşan veri seti üzerinde ayrı ayrı uygulanmış, doğruluk oranı ve model oluşturma süresi performanslarına göre karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, çalışmada uygulanan tüm algoritmaların kapalı alandaki kişi tespitinde %80'in üzerinde başarı performansı sunduğu ve en başarılı algoritmanın %99.68 doğruluk oranı ile Random Forest olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, geleneksel ve karar ağacı tabanlı sınıflandırma algoritmaları sağlamış oldukları ortalama doğruluk oranlarına göre kıyaslandığında ise karar ağacı tabanlı algoritmaların %95.78 ile daha yüksek tahminleme becerisi sunduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: İç Mekan Kişi Tespiti, Makine Öğrenmesi, Alınan Sinyal Gücü Göstergesi, Sınıflandırma, Telsiz Duyarga Ağları.

Comparative Performance Analysis of Machine Learning Algorithms for Human Detection in Indoor Environments

*¹Pelin Yıldırım Taşer, ²Vahid Khalilpour Akram

¹ İzmir Bakırçay University, Faculty of Engineering and Architecture, İzmir, Turkey, pelin.taser@bakircay.edu.tr

² Ege University, International Computer Institute, İzmir, Turkey, vahid.akram@ege.edu.tr

Abstract

Nowadays, the application areas of indoor positioning and person tracking systems are increasing day by day. Especially, in many fields such as patient, personnel, device and customer tracking systems and smart buildings and crowd forecasting, it is

*¹Sorumlu Yazar: İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İzmir, Türkiye, pelin.taser@bakircay.edu.tr, 05544758645

Doi: 10.21541/apjes.765795

crucial to determine the location of humans or their presence in the environment. Generally, in the indoor tracking systems, a small device, that periodically sends a radio signal, is attached to the mobile target asset and the location of the asset is determined with the signals obtained from this device. However, in some environments, it is necessary to determine the location of assets that do not carry any signal transmitters on them. Hence, in the systems without mobile devices, the mobility in the environment is estimated by analyzing fluctuations in the radio signals. In these systems, there are some static devices at various points in the environment that send radio signals periodically and can receive signals sent by other devices. If an object moves in the environment, the mobility and density of mobile objects in the environment can be detected by analyzing the fluctuations in signal strength. However, in some cases, temporary but relatively violent fluctuations, which are not related to any movement, may occur in radio signals. These fluctuations reduce the sensitivity and accuracy of the system by causing false detections. Thanks to the success of machine learning techniques in revealing hidden patterns and complex relations among data, human detection systems based on machine learning techniques offer higher accuracy estimation ability than traditional methods. Therefore, in this study, machine learning algorithms are utilized for human detection in indoor environment. Within the experimental studies, 10 different traditional (Naive Bayes, Multilayer Perceptron (MLP), Support Vector Machines (SVM), and K-nearest Neighbors (K-NN)) and decision tree-based (C4.5, Random Forest, Random Tree, REPTree, Decision Stump, and HoeffdingTree) classification algorithms were applied separately on a data set consisting of 23585 records, obtained from 3 different wireless sensor nodes in the indoor environment, and were compared according to accuracy rate and model build time performances. When the obtained results are examined, it is observed that all algorithms applied in the study offer over 80% success performance in the detection of human in indoor environments and the most successful algorithm is Random Forest with an accuracy rate of 99.68%. In addition, when the traditional and decision tree-based classification algorithms compared according to the average accuracy rates they provided, it is seen that decision tree-based algorithms present higher estimation ability with 95.78%.

Keywords: Indoor Human Detection, Machine Learning, Received Signal Strength Indicator, Classification, Wireless Sensor Networks.

1. GİRİŞ

Günümüzde dış mekân konumlandırma ve takip sistemlerinde meydana gelen gelişmeler, bu sistemlerin hassasiyet ve doğruluk oranlarını oldukça arttırmıştır. Ancak, dış mekân konumlandırma sistemlerinin hemen hepsinin GPS sistemine dayalı olması ve GPS sisteminin kapalı ortamlarda çalışmamasından dolayı, bu sistemlerin kapalı ortamlardaki başarılı konumlandırma oranları oldukça sınırlıdır. Diğer taraftan, iç mekân konumlandırma ve takip sistemlerinin uygulama alanları her geçen gün artmaktadır. Kapalı ortamlarda çeşitli varlıkların anlık konum bilgileri, arama, izleme, kontrol, otomasyon ve güvenlik gibi çeşitli işlemlerin verimliliğini arttırabilmektedir. Örneğin, hastanelerde el hijyen izleme sistemlerinde, sağlık çalışanlarının anlık konum bilgilerinin tutulması ile hijyen durumları kontrol edilebilir. Ayrıca, alışveriş merkezlerinde, müşterilerin konumları ve takip ettikleri güzergah bilgileri üzerinden, reklam ve pazarlama stratejileri belirlenerek, satış verimliliği arttırılabilir. Bir diğer uygulanabilir örnek olarak güvenlik sistemlerinde ise, izinsiz giriş, yasak bölge ihlali, ve kalabalık kontrolü gibi çeşitli işlemlerde, iç mekan konumlandırma sistemleri önemli derecede yarar sağlayabilir. Bunların yanı sıra, akıllı binalar, depolar, otoparklar, şantiyeler, fabrikalar ve oteller gibi bir çok benzer uygulama alanlarında da, iç mekan kişi ve hareket tespiti önemli avantajlar sağlamaktadır [1]. Bu motivasyonlar dikkate alındığında, önerilen çalışmada, makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak, kapalı ortamda cihazsız kişi tespitinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, geleneksel sınıflandırma algoritmalarının yanı sıra, karar ağacı tabanlı sınıflandırma algoritmalarının uygulanması ile kişi tespit sisteminin doğruluğunun artırılması hedeflenmiştir.

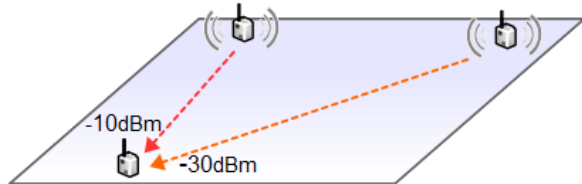
Kapalı alanlarda kişilerin takibi ve konumlandırılması için Telsiz Duyarga Ağları (TDA), RFID, Bluetooth ve WiFi gibi çeşitli teknolojiler kullanılmaktadır [1,2]. Genel olarak bu teknolojilerin çoğu, hedef varlık tarafından gönderilen radyo sinyallerinin gücünü ölçerek varlığın konumunu belirlemektedir. Dolayısıyla bu yöntemlerde, periyodik olarak hedef varlıktan bir radyo sinyali gönderilmektedir. Bu işlemi gerçekleştirmek için, takip edilmesi gereken varlıkların üzerine bir radyo sinyal göndericisi yerleştirilmektedir. Bu sinyal göndericisi bir TDA düğümü, bir RF etiketi veya bir Bluetooth sinyal göndericisi olabilir. Örneğin, günümüzde kullanılan birçok konum takip sisteminde kişilerin cep telefonlarından gönderilen Bluetooth sinyallerinden yararlanılmaktadır [3,4]. Kişilerin üzerinde bulunan bir radyo göndericisine ihtiyaç duyan bu sistemlerin en büyük dezavantajı, cihaz taşımayan kişilerin takip edilememesidir.

Birçok durumda, ortamda üzerinde herhangi bir sinyal göndericisi taşımayan kişilerin veya hareket eden varlıkların konumlarının tespit edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin hasta, müşteri, personel ve cihaz takip sistemlerinde [4,5], güvenlik ihlali tespit sistemlerinde [6], kalabalık tahminleme uygulamalarında [7,8], arama kurtarma sistemlerinde [9-11] ve enerji tasarruflu akıllı binaların tasarımında [12], ortamdaki kişi veya hareketliliğin tespiti gerekmektedir.

Radyo tabanlı cihazsız hareket takip sistemleri, genel olarak ortamda yayılan sinyallerin sarsılmasını baz almaktadır. Ortamda meydana gelen herhangi bir hareketlilik, radyo sinyallerinin yayılmasını etkileyip, alıcı cihaz tarafından alınan sinyalin gücünü değiştirebilir. Genel olarak, bir alıcı

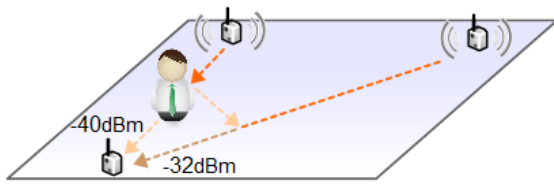
cihazın aldığı sinyalin gücüne RSSI (Received Signal Strength Indicator) denir.

Ortamda bulunan herhangi bir yeni varlık, sinyallerin önünde engel teşkil ederek, sinyallerin gücünü azaltır veya sinyallerin yansımalarına sebep olur. Dolayısıyla, ortamda meydana gelen bir hareketlilik, yayılmakta olan tüm radyo sinyallerini etkileyebilir. Örneğin, Şekil 1’ de gösterilen odada, iki radyo sinyal göndericisi ve bir alıcı cihaz bulunmaktadır. Bu şekilde, göndericiler ve alıcının arasında herhangi bir varlık bulunmamaktadır. Bu sebepten dolayı, alınan radyo sinyallerinin gücü, ağırlıklı olarak, alıcıyla göndericinin arasındaki mesafeden etkilenmektedir. Bir radyo sinyali, göndericiden uzaklaşırken gücünü kaybeder. Dolayısıyla, yakın bir göndericiden alınan sinyalin RSSI değeri, daha uzakta bulunan göndericinin sinyalinden daha yüksek olabilir.



Şekil 1. Herhangi bir varlık bulunmayan kapalı ortamda RSSI değerleri.

Ortamda bir varlığın bulunması veya bu varlığın hareket etmesi, tüm sinyallerin RSSI değerlerini etkileyebilir. Örneğin; Şekil 2’de ortamda bir kişinin bulunması, bazı sinyallerin RSSI değerlerini doğrudan azaltabilir (gönderici ve alıcının arasında bir engel oluşturarak) veya yansımalarından dolayı diğer sinyalleri etkileyebilir. Kişinin odada yer değiştirmesi, alıcı tarafından alınan RSSI değerlerini doğrudan (bir engel oluşturarak) veya dolaylı yoldan (sinyallerin yansımalarından dolayı) değiştirebilir.



Şekil 2. Bir kişi bulunan kapalı ortamda RSSI değerleri.

Fakat bazı durumlarda ortamda herhangi bir varlık veya hareketlilik olmasa bile, radyo sinyallerinin yansımaları, ortamın sıcaklığı veya göndericinin enerji seviyesinin değişmesi gibi çeşitli sebeplerden dolayı, alınan RSSI değerlerinde değişiklik olabilir. Çoğu durumda bu değişiklik sınırlıdır, fakat sarsıntılarının büyüklüğü istatistik, eşik değer veya filtreleme tabanlı geleneksel kişi tespit sistemlerini yanıltarak, yanlış tespitlere sebep olabilmektedir. Makine öğrenmesi tekniklerinin, veriler arasındaki gizli örüntü ve karmaşık ilişkileri ortaya çıkarmadaki başarıları sayesinde, ortamda bulunan herhangi bir varlık veya hareketlilik dışı sebeplerden oluşan RSSI değeri değişimleri kolayca ayırt edilebilmektedir. Böylece, makine öğrenmesi tekniklerine

dayalı kişi tespit sistemleri, geleneksel yöntemlere nazaran doğruluğu daha yüksek tahminleme becerisi sunmaktadır.

Kapalı ortamda cihazsız kişi veya hareket tespit sistemlerini, görüntü ve radyo tabanlı olmak üzere iki ana gruba ayırmak mümkündür. Görüntü tabanlı sistemler, kameradan elde edilen görüntüleri kullanarak, arka plan resmini çeşitli yöntemlerle algılar ve fotoğrafta bulunan diğer varlıkların hareketini tespit eder [7]. Görüntü tabanlı sistem içerisinde gerekli olan çok sayıda hesaplama işlemlerinin, hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla bu sistemler, güçlü işlemci, yüksek bellek ve geniş iletişim bandına ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca, yeterince ışığın bulunmadığı veya arka planın değiştiği ortamlar da, bu sistemlerin başarı oranını oldukça düşürecektir.

Literatürde, kapalı ortamlarda RSSI değerleri üzerinden hareket veya kişi tespiti gerçekleştiren birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin; Parkinson hastalarının hareketini ve evin hangi bölgelerinde bulduklarını tespit eden RSSI tabanlı bir yöntem geliştirilmiştir [5]. Önerilen yöntemde RSSI değerleri belli bir seviyenin altına indiğinde, ilgili bölgede sinyalleri engelleyen bir varlığın olduğu tespit edilir. TDA’larda RSSI değerlerinin dalgalanması üzerinden ortamdaki hareketlilik veya kişi tespiti için eşik değerle karşılaştırma [9,10], uyarlamalı filtreleme [11] ve zaman diliminde değişim oranlarının hesaplanması [12] gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemler, anlık veriler üzerinden karar verme işlemi gerçekleştirdikleri için, oluşan geçici ve sebepsiz dalgalanmalar sistemi yanıltabilecektir.

Kapalı alandaki kalabalığın tespiti için geliştirilen çalışmaların birinde [8], RSSI ve LQI (Link Quality Indicator) değerlerine dayalı pasif bir tahminleme sistemi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, ortamda kalabalığın artması sebebiyle düğümlerin ortalama RSSI ve LQI değerlerinin düştüğü varsayılarak, alınan ortalama RSSI ve LQI değerleri üzerinden kişi sayısı tahmin edilmektedir.

Kapalı ortamlarda TDA tabanlı izinsiz kişi girişi tespitinde, RSSI değerlerinin dalgalanmasına dayalı çeşitli çalışmalar bulunmaktadır [13-20]. Bu dalgalanmalar, dağıtık hesaplama, kanal durum denetleme ve derin göç öğrenim gibi yöntemlerle tespit edilmektedir. Fakat hareketten kaynaklanmayan dalgalanmalardan dolayı, tüm bu yöntemlerin başarısı sınırlı kalmaktadır.

Literatürde, makine öğrenmesi tekniklerinden faydalanan kalabalık tahmin sistemi çalışmaları mevcuttur [21-23]. Örneğin; Yoshida ve Taniguchi [21], odada bulunan kişi sayısını, TDA düğümleri yerine WiFi sinyalleri üzerinden, doğrusal regresyon ve destek vektör regresyon yöntemleri kullanarak tahmin etmektedir. Benzer bir diğer çalışmada da [22], TDA düğümlerinden gelen RSSI değerleri üzerinde K-means kümeleme algoritması kullanılarak, kalabalık yoğunluğu ortaya çıkarılmaktadır. Bunların yanı sıra, hedef varlık tarafından gönderilen radyo sinyalleri aracılığıyla, varlığın konumunu belirleyen makine öğrenmesi tabanlı

çalışmalar da bulunmaktadır [24,25]. Ancak bu yöntemlerde radyo sinyali göndermeyen varlıklar takip edilemez.

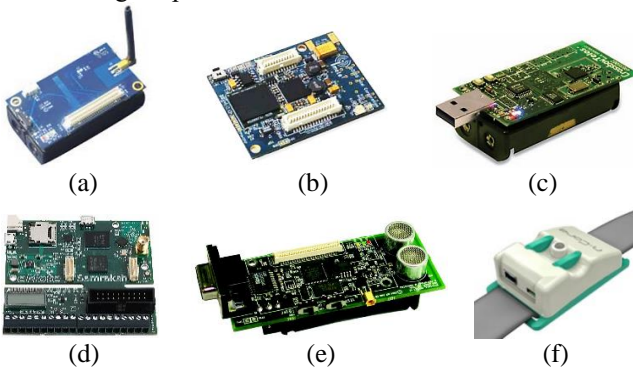
Son yıllarda WiFi sinyalleri ve makine öğrenmesi tekniklerini kullanan cihazsız takip sistemleri yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır [26,27]. Örneğin; Huang ve Lin [26], derin evrişimli sinir ağı kullanarak WiFi sinyalleri üzerinden kişi tespiti sistemi geliştirmişlerdir. Mevcut çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada, WiFi sinyalleri yerine TDA düğümleri tarafından gönderilen veriler üzerinde 10 farklı geleneksel (Naive Bayes, MLP, SVM ve K-NN) ve karar ağacı tabanlı (C4.5, Random Forest, Random Tree, REPTree, Decision Stump ve HoeffdingTree) sınıflandırma algoritmaları uygulanarak, kapalı ortamda cihazsız kişi tespiti gerçekleştirilmiştir.

2. PROBLEM TANIMI VE ÖN BİLGİ

2.1. Telsiz Duyarga Ağları

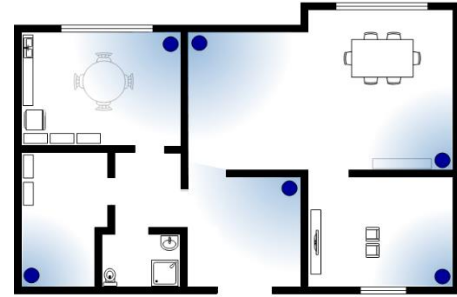
TDA'larda düğümler, algıladıkları, ışık, sıcaklık, nem, rüzgâr ve kimyasal gazlar gibi çeşitli bilgileri, radyo mesajları aracılığıyla bir baz istasyonuna gönderirler. Baz istasyonu, gelen verileri bilgisayara aktararak, bu verilerin işlenmesini ve üzerinde gereken işlemlerin yapılmasını sağlar. Günümüzde, TDA'lara özel çeşitli sensör ve donanımlar üretilmektedir. TDA düğümleri, genel amaçlı veya özel bir uygulamaya yönelik tasarlanabilir. Örneğin, Iris (Şekil 3.a), Imote2 (Şekil 3.b), Telosb (Şekil 3.c) ve Now (Şekil 3.d) gibi düğümlerin üzerinde çeşitli sensörler veya geliştirme slotlarının bulunması, bu düğümlerin farklı uygulamalarda kullanılabileceğini göstermektedir. Cricket (Şekil 3.e) veya Sirius Quantum (Şekil 3.f) gibi düğümler ise özel amaçlar için tasarlanmışlardır.

TDA düğümleri tarafından gönderilen radyo mesajlarında, sinyalin gücü ortamda ilerledikçe veya engellerden geçerken azalır. Ortamda insan vücudu gibi hareketli engellerin bulunması, yayılan sinyallerin gücünü etkiler ve böylece ortamdaki hareketli varlık tespit edilebilir. Dolayısıyla, kapalı bir ortamın farklı noktalarına TDA düğümleri yerleştirilip, bu düğümlerden periyodik olarak radyo sinyalleri gönderilirse, alınan sinyallerin gücünde meydana gelen dalgalanmalardan dolayı ortamda bir kişinin bulunup bulunmadığı tespit edilebilir.



Şekil 3. a) Iris, b) Imote2, c) Telosb, d) Now, e) Cricket, f) Sirius Quantum düğümleri.

Örneğin, Şekil 4'te gösterilen bir kat planında, her odada en az bir TDA düğümü konumlandırılmıştır. Böylece eğer bir odanın düğümlerinden gelen sinyallerde normalin üzerinde bir dalgalanma olursa, o odada en az bir hareketli varlığın bulunduğu varsayılabilir. Düğümlerin radyo menzili ve odaların büyüklüğü göz önüne alınarak, her odaya yeterli sayıda düğüm yerleştirilmelidir. Az sayıda TDA düğümünün kullanılması, bazı bölgelere sinyallerin yeterli ölçüde ulaşmamasına sebep olarak, tespitin doğruluk oranını düşürebilir.



Şekil 4. TDA düğümlerinin örnek ortamda konumlandırılması.

Genel olarak, TDA'larda her düğüme benzersiz bir kimlik numarası verilir. Düğümler radyo mesajı gönderirken, kimlik numaralarını da mesaja eklerler. Böylece alıcı düğüm, mesajın kimden geldiğini tespit edebilir. Bir düğüm radyo mesajı alırken, mesajın içindeki bilgilerin yanı sıra, mesajı taşıyan sinyalin gücünü de ölçebilir. Gönderici ile alıcının konumları sabit ve ortamda hareketli bir varlık yoksa, alınan mesajların gücündeki değişiklik sınırlı olur. Ancak ortamda hareketli bir varlık bulunuyorsa, varlığın, göndericinin ve alıcının konumlarına göre alınan mesajların gücünde şiddetli dalgalanmalar oluşabilir. Bu nedenle ortamda daha fazla düğümün bulunması, hareket eden varlıkların daha doğru tespit edilmesini sağlar.

Baz istasyonunda, alınan mesajların kimlik numarasından, mesajın gönderildiği düğümün konumu belirlenir. Daha sonrasında ise, mesajın RSSI değeri incelenerek, gönderici düğümün yakınında yeni bir varlığın olup olmadığı belirlenir. Böylece, odadaki bir kişinin varlığı tespit edilebilir. Bu çalışmada Iris düğümleri kullanılarak, ortamın ışık seviyesi ve gönderilen mesajların RSSI değerleri ölçülmüştür. Bu veriler ile makine öğrenmesi algoritmaları eğitilerek, ortamda bir kişinin olup olmadığı tespit edilmiştir.

2.2. Makine Öğrenmesi

Makine öğrenmesi, sistemlere herhangi bir insan müdahalesine gerek olmadan öğrenme becerisi kazandırmayı konu edinen, yapay zekânın bir alt dalıdır [28]. Bu disiplindeki amaç, matematiksel ve istatistiksel yöntemler kullanılarak büyük miktardaki ham verinin işlenmesi ve bu veriler içerisinden tahminler yapılmasını sağlayan modellerin oluşturulmasıdır. Günümüzde makine öğrenmesi teknikleri iki temel başlık altında toplanmaktadır: denetimli öğrenme ve denetimsiz öğrenme. Denetimli

öğrenme sınıflandırma ve regresyon metotlarını içerirken, denetimsiz öğrenme tekniğinde ise kümeleme ve birliktelik kuralı analizi yöntemleri uygulanmaktadır. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen kapalı ortamlarda kişi tespitinde sınıflandırma tekniği uygulanmıştır.

Denetimli öğrenme yönteminde sistem, daha önceden etiketlenmiş (sınıf etiketi bilinen) gözlem verileri ile eğitilir. Sonrasında ise eğitilen bu sistem, mevcut gözlem verilerine bakarak, sınıf etiketi bilinmeyen örneklemin etiket değerini tahmin etmeye çalışır. Sınıflandırma, çıktı değeri (sınıf etiketi) bilinmeyen bir örneklemin belirli sınıflardan birine dâhil etme işlemini gerçekleştiren, makine öğrenmesinde en yaygın uygulanan denetimli öğrenme yöntemlerinden birisidir. Literatürde yaygın olarak kullanılan sınıflandırma algoritmaları, Naive Bayes, Yapay Sinir Ağları, K-en Yakın Komşuluk, Destek Vektör Makineleri ve Karar Ağacıdır. Bu çalışmada, yaygın kullanılan geleneksel sınıflandırma algoritmalarının yanı sıra, karar ağacı tabanlı sınıflandırma algoritmaları da deneysel çalışmalar kapsamında uygulanmıştır.

Geleneksel Sınıflandırma Algoritmaları

Naive Bayes: Temeli Bayes teoremine dayanan, sınıflandırılacak örneklemin her bir özneliğindeki değerlerin eğitim verilerindeki olasılıklarını hesaplayıp, sınıf etiketini olasılığı en yüksek değer olarak seçen istatistiksel bir sınıflandırma algoritmasıdır [29]. Algoritmanın en büyük avantajı, dengesiz ve az sayıdaki veri setleri üzerinde de yüksek doğruluk oranına sahip sınıflandırma performansı sergilemesidir.

Yapay Sinir Ağları (YSA): İnsan beyninin biyolojik sinir sisteminden esinlenilerek oluşturulmuş, örneklemin girdi değerlerini işleyerek sınıf etiketini tahminlemeye çalışan bir sınıflandırıcıdır [30]. YSA'da biyolojik sinir sistemindeki nöron, dentrit, çekirdek, akson ve sinaps yapıları, sırasıyla girdi, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu, çıktı ve ağırlık olarak modellenmektedir. Literatürde birçok YSA algoritmaları bulunmaktadır: tek katmanlı algılayıcılar (TKA), basit algılayıcılar, Adaline, çok katmanlı algılayıcılar, ileri beslemeli ağlar ve geri beslemeli ağlar. Bu çalışma kapsamında çok katmanlı algılayıcı (MLP) modeli uygulanmıştır.

MLP en popüler ileri beslemeli YSA modellerinden birisidir. MLP algoritması, örneklemin özniteliklerini, birbirine bağlı birden fazla katmandan oluşan ağırlıklı bir ağ yapısına girdi olarak gönderir ve sonucunda da çıktı değerini örneklemin sınıf etiketi olarak kabul eder.

K-en Yakın Komşuluk (K-NN): K-NN algoritması, örneklemin sınıf etiketi belirlenirken ilk olarak örnekleme en benzer k (kullanıcı tanımlı sabit değer) eğitim verisini belirler [31]. Bu verilerin belirlenmesinde, literatürdeki mevcut uzaklık ölçütleri kullanılmaktadır. Örneğin; öznitelik türü sayısal olan veriler için Euclidean, Manhattan ve Minkowski ölçütleri kullanılırken, kategorik değerlerde ise

Hamming ölçütü uygulanmaktadır. K en yakın kayıdın belirlenmesinin ardından, bu kayıtların sınıf etiketlerinin çoğunluğu ile örneklem verisi sınıflandırılır. K-NN algoritması hem kolay uygulanabilir hem de kolay anlaşılabilir olmasından dolayı sıklıkla tercih edilen makine öğrenmesi algoritmalarından birisidir.

Destek Vektör Makineleri (SVM): SVM istatistiksel öğrenme teorisi, karar düzlemleri ve risk minimizasyonu kavramlarını temel alan ikili bir sınıflandırma algoritmasıdır [32]. SVM algoritmasında, eğitim verisindeki her bir kayıt n (öznitelik sayısı) boyutlu uzayda birer nokta olarak ele alınır ve bu uzay üzerindeki noktaları iki farklı sınıfa ayırmak için bir hiper düzlem oluşturulur. Algoritmanın amacı oluşturulan hiper düzlemin en büyük marjine sahip olmasını sağlamaktır. Böylece sistemin aşırı ezberlemesi ya da düşük sınıflandırma performansı göstermesinin önüne geçilebilmektedir.

Karar ağacı: Karar ağacı, eğitim veri setlerinden ağaç formunda bir model oluşturarak, örneklemelerin sınıf etiketlerini belirleme işlemini gerçekleştiren bir sınıflandırıcıdır. Karar ağacı herhangi bir girdi almayan kök düğüm ve girdi alan iç düğümlerden meydana gelir. Bir düğümün çıktısı bir diğer düğüme girdi olarak aktarılır. Girdiler ve çıktılar ağaç kavramında dal olarak adlandırılır. Ağaç üzerindeki bir düğümün çıktısı başka bir düğüme girdi olarak aktarılmıyorsa, o düğüme yaprak düğüm adı verilmektedir. Ağaç yapısındaki düğüm, dal ve yaprak kavramları veri setinde sırasıyla öznitelik, öznitelik değerleri ve sınıf etiketlerini sembolize etmektedir.

Karar ağaçları, oluşturulması ve yorumlanması kolay algoritmalar olmalarından dolayı birçok sınıflandırma çalışmasında sıklıkla kullanılmaktadırlar [33]. Dışarıdan herhangi bir parametre almıyor oluşu ve hem kategorik hem de sayısal değerlerin tahminlenmesinde kullanılabilir olması ise, karar ağaçlarının bir diğer avantajlarıdır. Karar ağaçlarını diğer sınıflandırıcılardan ayıran en önemli özellik, bir örneklemin sınıf etiketi tahmin edilirken hangi özneliğin daha belirleyici olduğunun da ortaya çıkmasıdır.

Gözetimli öğrenme alanında karar ağacı tabanlı birçok sınıflandırma algoritması bulunmaktadır: C4.5, Random Forest, Random Tree, REPTree, Decision Stump ve HoeffdingTree. Bu algoritmalar, makalede gerçekleştirilen deneysel çalışma kapsamında uygulanmış ve diğer geleneksel sınıflandırma algoritmaları ile kıyaslanmıştır.

Karar Ağacı Tabanlı Sınıflandırma Algoritmaları

C4.5: C4.5, Ross Quinlan tarafından geliştirilen ve en yaygın uygulanan karar ağacı algoritmalarından birisidir [34]. Bu algortmada eğitim verisi ile ağaç modeli oluşturulurken, veri seti içerisindeki en ayırt edici öznitelik belirlenir ve kök düğüme yerleştirilir. Bu özneliğin belirlenmesinde ise information gain (bilgi kazanımı) ölçütü kullanılır. S eğitim veri seti, S_v örnek uzayın alt kümesi, A öznitelik ve v

özniteliğin olası değerleri olmak üzere, information gain (IG) formülü aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$IG(S, A) = Entropy(S) - \sum_{v \in A} \frac{|S_v|}{|S|} Entropy(S_v) \quad (1)$$

Entropy değeri ise, veri setindeki herhangi bir özniteliğin homojenliğini belirlemek için kullanılır. c sınıf sayısı, p_i i . sınıfa ait olasılık olmak üzere, Entropy formülü aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$Entropy(S) = \sum_{i=1}^c -p_i \log_2 p_i \quad (2)$$

Kök düğümden itibaren ağacın dallandığı karar noktalarının (düğümlerin) belirlenmesinde de yine yüksek information gain değerine sahip öznitelik üzerinden ilerlenir. Algoritmanın en büyük avantajı, eksik öznitelik değerlerine sahip kayıtları içeren veri setleri üzerinde de çalışabilir olmasıdır.

Random Forest: Random Forest, Leo Breiman and Adele Cutler tarafından geliştirilen bir karar ağacı tabanlı sınıflandırma algoritmasıdır [35]. Random Forest algoritmasında, eğitim veri setindeki kayıtların rastgele seçilmesinden elde edilen birden fazla sayıda karar ağacı modeli oluşturulur. Sınıf etiketi tahmin edilecek örneklem ormandaki her bir karar ağacı modeline girdi olarak verilir ve modellerin üretmiş oldukları çıktı değerlerinin çoğunluğuna bakılarak, örnekleme sınıf etiketi atanır. Random Forest algoritması ile tek bir sınıflandırma modeli yerine birden fazla sınıflandırma modeli kullanarak sınıflandırma performansı yüksek sonuçlar elde edilebilmektedir.

Random Tree: Random Tree algoritması, bagging (torbalama) yöntemi kullanarak eğitim veri setindeki rastgele veriler ile birden fazla ağaç modeli oluşturur [36]. Eşit şansa sahip tüm ağaçlar içerisinde rastgele bir ağaç seçilir.

REPTree: REPTree algoritmasında, regresyon ağacı veya karar ağaçları oluşturulurken information gain ölçütü kullanılır [37]. Oluşturulan bu ağaçlar arasında en iyi performansa sahip olan seçilir. Seçilen ağaç hata budaması işlemine tabi tutulur.

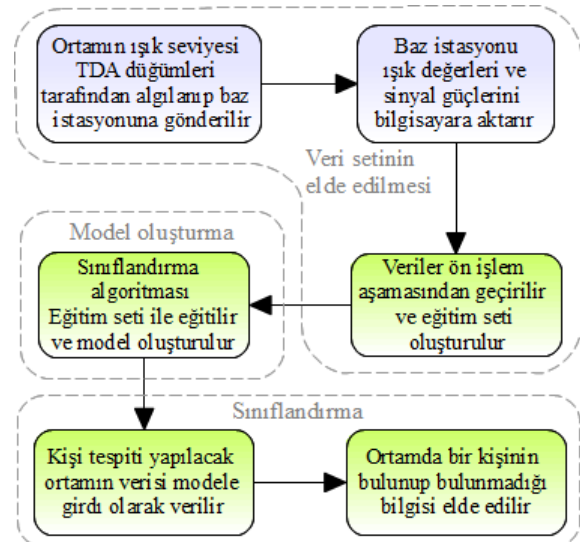
Decision Stump: Decision Stump, sadece kök düğüm ve yapraklardan oluşan tek seviyeli bir karar ağacı tabanlı sınıflandırıcıdır [38]. Örneklemlerin sınıflandırılması işlemi sadece tek bir öznitelige bakılarak değerlendirilir. Algoritma yaygın olarak Boosting topluluk öğrenmesi metodunun temel sınıflandırıcısı olarak kullanılır.

HoeffdingTree: Domingos and Hulten tarafından 2000 yılında geliştirilen Hoeffding Tree algoritması, veri setindeki her bir kayıdı sadece bir kez işlemesinden dolayı, özellikle büyük veri setlerinde hızlı çalışan bir karar ağacı algoritmasıdır [39]. Algoritma, geleneksel topluluk öğrenmesi yöntemlerine benzer şekilde karar ağaçları

oluşturur. Ağaç üzerindeki karar noktaları Hoeffding sınırı isimli matematiksel değer ile belirlenir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

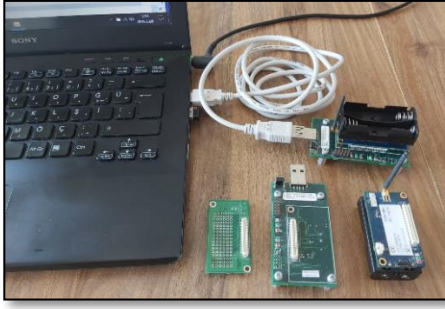
Bu makalede sunulan çalışma kapsamında, 10 farklı sınıflandırma algoritması (Naive Bayes, MLP, SVM, K-NN, C4.5, Random Forest, Random Tree, REPTree, Decision Stump ve HoeffdingTree) kapalı alanda kişi tespiti amacıyla uygulanmış ve göstermiş oldukları doğruluk oranı ve model oluşturma süresi performanslarına göre karşılaştırılmıştır. Uygulanan sınıflandırma modellerinin doğruluğu 10-katlı çapraz geçerlilik tekniği kullanılarak elde edilmiştir. Deneysel çalışmalar kapsamında geliştirilen sınıflandırma uygulamasında, Weka açık kaynak kodlu veri madenciliği kütüphanesi kullanılmıştır [40]. Deneyler, Intel Core i7-7500U 2.90 GHz CPU 8 GB RAM sistem özelliklerine sahip bir kişisel bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen sistemin genel iş akış diyagramı Şekil 5' te sunulmuştur.



Şekil 5. Geliştirilen sistemin genel iş akış diyagramı.

3.1. Test Yatağı

Deneysel çalışma kapsamında, kapalı alanda kişi tespiti için ortamın ışık seviyesi ve gönderilen paketlerin RSSI değerleri, Iris düğümleri [41] ile ölçülmüştür. Iris düğümleri 2.4 GHz IEEE 802.15.4 radyo göndericisi, 128 kB flaş bellek, 8 kB RAM bellek ve bir Atmel ATmega1281 işlemcisine sahiptir. TinyOS [42] işletim sistemini destekleyen Iris düğümleri üzerinde, herhangi bir sensör bulunmamaktadır. Ancak düğümün üzerindeki 51 pinlik geliştirme slot aracılığıyla farklı sensörlere bağlanabilir. Örneğin; MDA100, ışık ve sıcaklık sensörü bu slota takılabilir. Iris düğümleri, MIB520 geçit donanımı ile bilgisayarın USB girişine bağlanıp, bir baz istasyonu olarak radyodan gelen paketleri bilgisayara aktarabilirler. Şekil 6'da, çalışmada kullanılan Iris, MIB520, MDA100 donanımları ve Iris düğümünün MIB520 ile birlikte bilgisayara bağlı olduğu (baz istasyonu) görülmektedir.



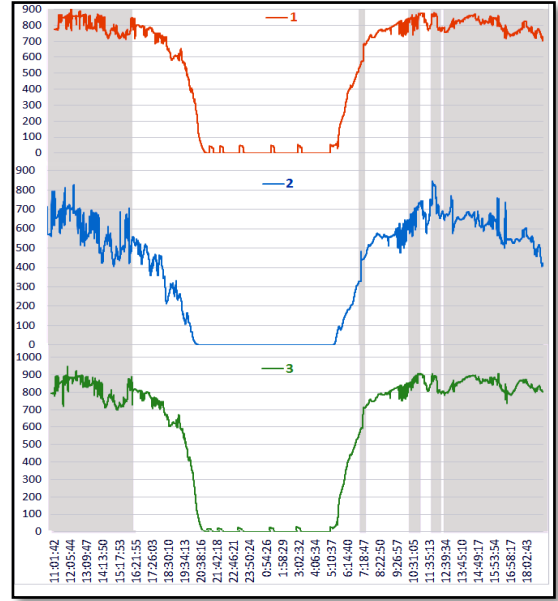
Şekil 6. Deneylerde kullanılan donanımlar

Çalışmada gerçekleştirilen deneylerde, 3 Iris düğümü gönderici olarak ve bir baz istasyonu (Iris ile MIB520 birlikte) alıcı olarak kullanılmıştır. Iris düğümleri odanın farklı köşelerine yerleştirilirken, baz istasyonu da aynı odada bir bilgisayara bağlanmıştır. Baz istasyonu dışında her bir Iris düğümüne bir MDA100 sensörü takılarak, odanın ışık seviyesi her 5 saniyede bir ölçülüp, bir radyo mesajı aracılığıyla baz istasyonuna gönderilmiştir. Ortamın radyo gürültüsünün etkisini en aza indirmek için, IRIS düğümlerin kabul ettiği radyo sinyallerinin asgari gücü -100 dBm'den -40 dBm'e yükseltilmiştir. Ayrıca radyo sinyallerinin çakışma olasılığını düşürmek için de MAC (Media Access Control) protokolü olarak CSMA (Carrier Sense Multiple Access) kullanılmıştır. Baz istasyonu, gelen mesajların RSSI değerlerini bulup, gönderen düğümün kimlik numarası ve ışık verisiyle birlikte USB girişi üzerinden, bilgisayarda çalışan Java uygulamasına aktarmıştır. TinyOS kütüphanesi ile geliştirilen Java uygulaması, gelen verileri bilgisayarın tarih ve saat bilgileri ile beraber bir log dosyasına göndermiştir. Böylece her 5 saniyede bir, ortamın ışık seviyesi ve radyo sinyal dalgalanmaları, 3 düğüm tarafından log dosyasına kaydedilmiştir.

3.2. Veri Seti

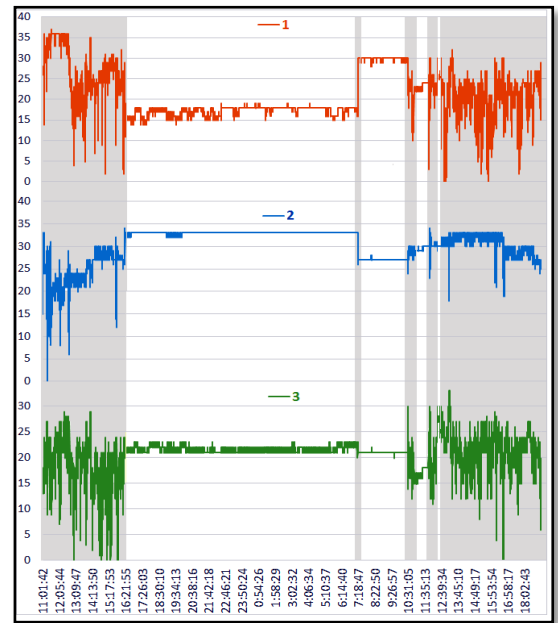
Deneyel çalışmada, bir oda içerisinde konumlandırılan 3 TDA düğümü 32 saat boyunca her 5 saniyede bir ortamın ışık yoğunluğunu ölçüp, kendi kimlik numaralarıyla beraber baz istasyonuna göndermişlerdir. Baz istasyonunun, gelen verileri, radyo paketlerinin RSSI değerleri ile birlikte bilgisayara aktarması ile veri seti oluşturulmuştur. Deneyin yapıldığı odada bulunan kişinin odaya giriş ve çıkış saatleri sisteme girilerek, odanın boş ve dolu olduğu zamanlar kaydedilmiştir.

Ortamın ışık yoğunluğu, MDA100 sensörleri tarafından 0 (tamamen karanlık) ile 1000 (maksimum ışık yoğunluğu) arasında bir tam sayı değeri olarak ölçülmüştür. 32 saat boyunca, 3 sensör tarafından toplanan ışık verileri Şekil 7'de gösterilmiştir. Bu şekildeki kırmızı, mavi ve yeşil renkler, 3 farklı sensörden gelen verileri göstermektedir. Şekil 7'deki gri renk ile gösterilen zaman aralıklarında odada en az bir kişi bulunurken, beyaz renk ile gösterilen zaman aralıklarında ise odada kimse bulunmamıştır.



Şekil 7. Deneyel çalışmada toplanan ışık yoğunluğu verileri.

Deneyel çalışmada, 3 düğüm tarafından toplanan RSSI değerleri Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekilden anlaşıldığı üzere, odada bir kişinin bulunduğu zamanlarda (gri renk ile gösterilen bölgelerde) RSSI değerlerinin dalgalanma oranı, odanın boş olduğu zamanlara göre (beyaz renk ile gösterilen bölgelerde) daha fazladır. Ancak odada kimsenin olmadığı bazı zamanlarda da, RSSI değerlerinde geçici, ama nispeten şiddetli dalgalanmalar yaşanmıştır.



Şekil 8. Deneyel çalışmada toplanan RSSI değerleri.

Deneyel çalışma kapsamında kullanılan veri seti, 3 telsiz duyurga düğümünün 32 saat boyunca her 5 saniyede bir ortamın ışık seviyesini ve diğer düğümlerden gönderilen radyo sinyallerini ölçmesi ile 23585 kayıttan oluşmaktadır. Her bir kayıt, tarih, saat, düğüm kimlik numarası, her

düğümün algıladığı ışık seviyesi ve gönderdiği sinyal gücünü tutmaktadır. Çalışmada kullanılan sınıflandırma algoritmalarının uygulanabilmesi için, veri seti bir ön işlem aşamasından geçirilmiştir. Bu ön işlem aşamasında, bilgisayarın tarih, saat bilgileri ile düğümlerin kimlik numaraları çıkarılmıştır. Ön işlemden geçirilmiş veri setine ait öznelik, öznelik türü, özneliklerin asgari, azami, ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Veri seti özellikleri

Öznelik	Öznelik Türü	Asgari Değer	Azami Değer	Ortalama Değer	Standart Sapma
Light_1	Sayısal	0	915	530.89	351.44
RSSI_1	Sayısal	0	37	21.10	5.74
Light_2	Sayısal	0	846	375.12	276.63
RSSI_2	Sayısal	0	34	30.26	3.64
Light_3	Sayısal	0	949	549.25	365.68
RSSI_3	Sayısal	0	33	20.80	3.15
Person	Kategorik	0: Kişi yok 1: Kişi var			

4. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, 10 farklı sınıflandırma algoritması (Naive Bayes, MLP, SVM, K-NN, C4.5, Random Forest, Random Tree, REPTree, Decision Stump ve HoeffdingTree) kapalı alanda kişi tespiti amacıyla, 3 farklı TDA düğümünden elde edilen veriler kullanılarak eğitilmiştir. K-NN algoritmasında k değeri veri seti kayıt sayısının karekökü alınarak hesaplanmıştır ve 154 olarak seçilmiştir ($\sqrt{23585} \approx 154$) [43, 44]. Kullanılan bu algoritmalar doğruluk oranı, f-ölçüm değeri ve model oluşturma süreleri performanslarına göre karşılaştırılmıştır. Algoritmaların göstermiş oldukları doğruluk oranları 10-katlı çapraz geçerlilik tekniği kullanılarak elde edilmiştir.

DeneySEL çalışmalar kapsamında, geleneksel ve karar ağacı tabanlı sınıflandırma algoritmalarının sağlanmış oldukları ortalama doğruluk oranı ve model oluşturma süresi performansları da ayrıca hesaplanmıştır. Elde edilen tüm deneysel karşılaştırma sonuçları grafik ve tablolar halinde sunulmuştur.

Doğruluk oranı, algoritmaların sınıflandırma başarımını göstermede en yaygın kullanılan yöntemlerden birisidir ve algoritmanın test verisindeki doğru tahminlerinin toplam veri sayısına oranını ile elde edilir.

Bir diğer sık tercih edilen sınıflandırma performans ölçütü ise f-ölçüm değeridir. Algoritmanın f-ölçüm değeri hesaplanırken, kesinlik ve hassasiyet değerlerinin harmonik ortalaması alınır (Denklemler 3).

$$F - \text{ölçüm} = \frac{2 * \text{Kesinlik} * \text{Hassasiyet}}{\text{Kesinlik} + \text{Hassasiyet}} \quad (3)$$

DP ve DN doğru sınıflandırılan pozitif ve negatif değerler, YP ve YN yanlış sınıflandırılan pozitif ve negatif değerler olmak üzere, kesinlik ve hassasiyet değerleri aşağıdaki formüller ile elde edilir:

$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP + YP} \quad (4)$$

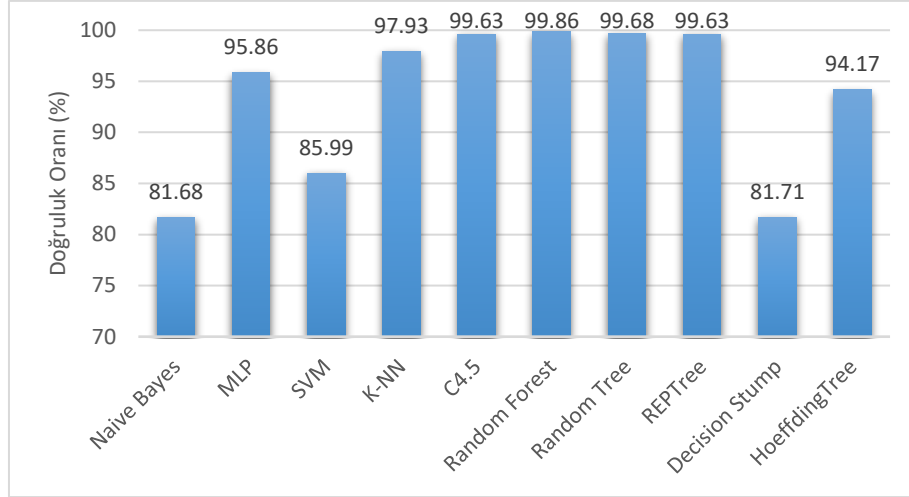
$$\text{Hassasiyet} = \frac{DP}{DP + YN} \quad (5)$$

Çalışmada kullanılan sınıflandırma algoritmalarının 3 farklı TDA düğümünden elde edilen veriler üzerinde sağlanmış oldukları ağırlıklı kesinlik, hassasiyet ve f-ölçüm değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Tablo’dan elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, en yüksek f-ölçüm değerine sahip olan algoritma Random Forest algoritmasıdır. Random Forest algoritmasını takip eden Random Tree, C4.5 ve REPTree algoritmalarının da sırasıyla 0.997, 0.996 ve 0.996 f-ölçüm değerleri sunduğu görülmektedir. Dolayısıyla, en başarılı sınıflandırma becerisi sunan algoritmanın Random Forest olduğunu ve onu takip eden Random Tree, C4.5 ve REPTree algoritmalarının da yüksek sınıflandırma performansı gösterdiklerini söylemek mümkündür.

Tablo 2. Sınıflandırma algoritmalarının ağırlıklı kesinlik, hassasiyet ve f-ölçüm değerleri.

Algoritma	Kesinlik	Hassasiyet	F-ölçüm
Naive Bayes	0.866	0.817	0.817
MLP	0.959	0.959	0.959
SVM	0.862	0.860	0.860
K-NN	0.980	0.979	0.979
C4.5	0.996	0.996	0.996
Random Forest	0.999	0.999	0.999
Random Tree	0.997	0.997	0.997
REPTree	0.996	0.996	0.996
Decision Stump	0.866	0.817	0.818
HoeffdingTree	0.942	0.942	0.942

Benzer şekilde, sınıflandırma algoritmalarının kapalı alanda kişi tespiti amacıyla 3 farklı TDA düğümünden elde edilen veriler üzerinde sağlanmış oldukları doğruluk oranlarının yüzdesi Şekil 9’da sunulmuştur. Grafikten elde edilen sonuçlara göre, uygulanan tüm algoritmaların %80’in üzerinde sınıflandırma başarısı sunduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, kapalı ortamda kişilerin tespit edilmesi probleminin makine öğrenmesi teknikleri ile başarılı bir şekilde çözülebildiğini göstermektedir. Ayrıca, algoritmaların elde etmiş oldukları doğruluk oranları birbirleri ile kıyaslandığında, yine en yüksek doğruluk oranına sahip olan algoritmanın %99.68 ile Random Forest olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanı sıra, Random Tree, C4.5 ve REPTree algoritmaları da %99’un üzerinde doğruluk oranı sunmaktadır.



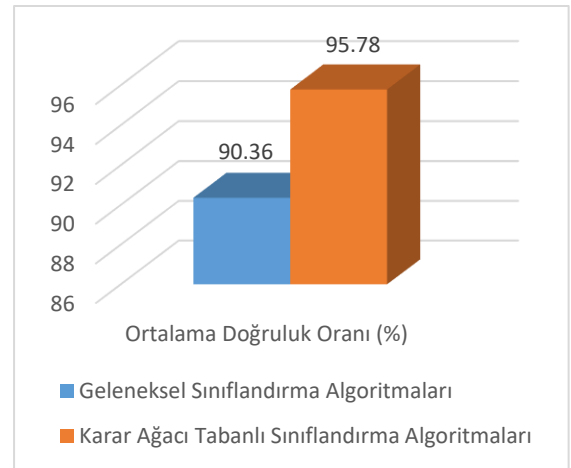
Şekil 9. Sınıflandırma algoritmalarının doğruluk oranlarının karşılaştırması.

Çalışmada tercih edilecek algoritmanın belirlenmesinde doğruluk oranının yanı sıra, modelin oluşturulması için gerek duyulan sürenin de incelenmesi gerekir. Tablo 3'te algoritmaların sınıflandırma modellerinin oluşturulma süreleri saniye cinsinden listelenmiştir. Sonuçlara göre, model oluşumu için en az süreye ihtiyaç duyan algoritmanın K-NN algoritması olduğu ve bu algoritmayı Naive Bayes, Decision Stump ve Random Tree algoritmanın takip ettiği anlaşılmaktadır.

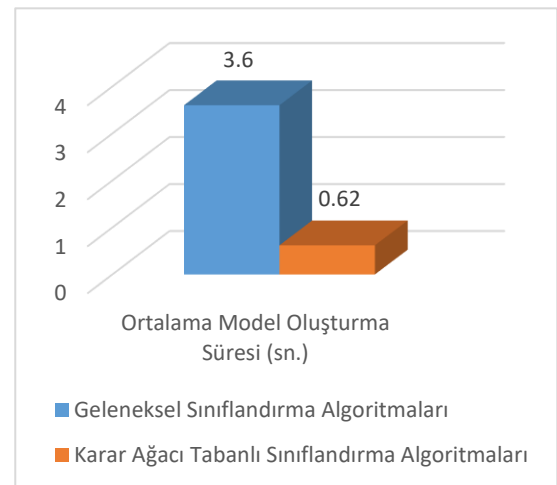
Tablo 3. Sınıflandırma algoritmalarının model oluşturma süreleri.

Algoritma	Model Oluşturma Süresi (sn.)
Naive Bayes	0.04
MLP	13.66
SVM	0.68
K-NN	0.01
C4.5	0.56
Random Forest	2.45
Random Tree	0.08
REPTree	0.25
Decision Stump	0.05
HoeffdingTree	0.34

Bireysel algoritma kıyaslamalarının yanı sıra, deneysel çalışmalar kapsamında geleneksel ve karar ağacı tabanlı sınıflandırma algoritmalarının sağladıkları ortalama doğruluk oranı ve model oluşturma süresi performansları da hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 10 ve Şekil 11'de sunulmuştur. Şekil 10'daki ortalama doğruluk oranı değerlerine göre, %95.78 doğruluk oranı ile karar ağacı tabanlı sınıflandırma algoritmalarının (C4.5, Random Forest, Random Tree, REPTree, Decision Stump ve HoeffdingTree), %90.36 doğruluk oranı sunan geleneksel sınıflandırma algoritmalarına (Naive Bayes, MLP, SVM ve K-NN) göre daha başarılı sınıflandırma performansı sunduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, sağladığı yüksek doğruluk oranına ek olarak, karar ağacı tabanlı sınıflandırma algoritmalarının ortalama 0.62 sn ile geleneksel algoritmalara göre daha az model oluşturma süresine ihtiyaç duyduğu Şekil 11'deki grafikten anlaşılmaktadır.



Şekil 10. Geleneksel ve karar ağacı tabanlı sınıflandırma algoritmalarının ortalama doğruluk oranlarının karşılaştırması.



Şekil 11. Geleneksel ve karar ağacı tabanlı sınıflandırma algoritmalarının ortalama model oluşturma sürelerinin karşılaştırması.

5. TARTIŞMA

Çalışma kapsamında, kapalı alanda kişi tespiti amacıyla geliştirilen sistemde, TDA düğümlerinden elde edilen ışık verileri ve radyo sinyallerinden örnek bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti üzerinde geleneksel ve karar ağacı tabanlı sınıflandırma algoritmaları uygulanarak, yüksek doğrulukla kapalı ortamda kişi tespiti gerçekleştirilmiştir. Literatürde, makine öğrenmesi tekniklerinden faydalanan kalabalık tahminleme sistemleri bulunmaktadır [21-25]. Ancak bu sistemlerde hedef varlıklar, üzerlerinde radyo sinyali gönderen bir cihaz taşımak zorundadır. Dolayısıyla böyle bir cihazı taşımayan kişiler bu sistemler tarafından tespit edilemez. Son yıllarda, cihaz taşımayan kişilerin tespitine yönelik, WiFi sinyalleri ve makine öğrenmesi tekniklerini kullanan kalabalık ve takip sistemleri önerilmiştir [26,27]. Ancak, sınırlı sayıda kaynaktan gönderilen WiFi radyo sinyallerinin kullanılması ve bazı verilerin göz ardı edilmesinden dolayı bu çalışmaların doğru tespit oranları en iyi durumda %95'e ulaşabilmiştir.

Literatürdeki benzer çalışmalardan farklı olarak, önerilen bu çalışmada, sadece radyo sinyal gücü ve istatistiksel hesaplamalar kullanmak yerine, çeşitli TDA düğümleri tarafından gönderilen ışık seviyeleri ve alınan radyo sinyallerinin gücünden oluşan bir veri seti oluşturulmuştur. Elde edilen veri seti, çalışmada uygulanan sınıflandırma algoritmalarının eğitiminde kullanılarak, yüksek tahmin yeteneğine sahip modeller elde edilmiştir. Deneysel çalışmalar göstermiştir ki, Random Tree, C4.5 ve REPTree sınıflandırma algoritmaları ile doğru tespit oranı %99.6'nın üzerine ulaşabilmektedir.

6. SONUÇ

Kapalı alanlarda, müşteri, personel, hasta ve çeşitli cihazların takip edilmesi ihtiyacı, yüksek hassasiyete sahip iç mekân konumlandırma ve insan tespit sistemlerinin her geçen gün daha fazla rağbet görmesine sebep olmuştur. Kapalı ortamlarda GPS sisteminin kullanılmamasından dolayı, bu teknolojiye dayalı sistemler, iç mekân konumlandırmasında kullanılamaz. Kapalı bir ortamda bulunan kişilerin hareket etmesi, o ortamda yayılmakta olan sinyallerin gücünü değiştirir. Birçok çalışmada, herhangi bir radyo göndericisi taşımayan hedef varlıkların takibi için, sabit noktalardan yayılan radyo sinyallerinin gücünde meydana gelen dalgalanmalardan yararlanılmaktadır. Bu tür çalışmaların en temel problemi, ortamdaki hareketlilikten kaynaklanmayan sinyal dalgalanmalarıdır. Geleneksel istatistiksel, filtreleme ve eşik değer kontrolü gibi yöntemler, hareketlilik dışı durumlardan meydana gelen sinyal dalgalanmaları sebebiyle hatalı konum tespitleri gerçekleştirebilmektedirler. Bu problemin önüne geçebilmek amacıyla, çalışma kapsamında, kapalı ortamda kişi tespiti için 10 farklı geleneksel (Naive Bayes, MLP, SVM ve K-NN) ve karar ağacı tabanlı (C4.5, Random Forest, Random Tree, REPTree, Decision Stump ve HoeffdingTree) makine öğrenmesi algoritmaları

kullanılmıştır. Bu algoritmalar, deneysel çalışma kapsamında, kapalı ortamdaki 3 farklı TDA düğümünden elde edilen veriler üzerinde ayrı ayrı uygulanmış, doğruluk oranı ve model oluşturma süresi performanslarına göre karşılaştırılmıştır. Algoritmaların doğruluk oranı performansları göz önüne alındığında, tüm algoritmaların kapalı alandaki kişi tespitinde %80'in üzerinde başarı gösterdiği ve en yüksek doğruluk oranı sunan algoritmanın ise %99.68 ile Random Forest olduğu görülmüştür. Ayrıca, geleneksel ve karar ağacı tabanlı sınıflandırma algoritmaları kendi aralarında sağlamış oldukları ortalama doğruluk oranlarına göre kıyaslanmış ve karar ağacı tabanlı algoritmalar %95.78 ile daha yüksek tahminleme becerisi sunmuştur.

Gelecek çalışma olarak, topluluk tabanlı makine öğrenmesi yöntemleri kullanarak ortamda bulunan kişi sayısı ve kişilerin konumunun tahmin edilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, bu çalışmada kullanılan RSSI sinyal verileri yerine Bluetooth sinyalleri kullanılarak, kapalı alandaki kişi tespitinin makine öğrenmesi algoritmaları ile yüksek doğrulukla tahminlenmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

- [1].F. Zafari, A. Gkelias, and K. K. Leung, "A survey of indoor localization systems and Technologies," *IEEE Commun.*, vol. 21, no 3, pp. 2568-2599, 2019.
- [2].O. Dağdeviren and V.K. Akram, "TinyOS Tabanlı Telsiz Duyarga Ağları için Bir Konumlandırma ve k-Bağlılık Denetleme Sistemi," *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, vol. 10, no 2, pp. 139-152, 2017.
- [3].P. Kriz, F. Maly, and T. Kozel, "Improving Indoor Localization Using Bluetooth Low Energy Beacons," *Mob. Inf. Syst.*, vol. 2016, pp. 1-11, 2016.
- [4].N. Karimpour, B. Karaduman, A. Ural, M. Challenger, and O. Dagdeviren, "IoT based Hand Hygiene Compliance Monitoring," in 2019 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC), Istanbul, Turkey, 2019, pp. 1-6.
- [5].S. Chakraborty, S. K. Ghosh, A. Jamthe, and D. P. Agrawal, "Detecting Mobility for Monitoring Patients with Parkinson's Disease at Home using RSSI in a Wireless Sensor Network," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 19, pp. 956-961, 2013.
- [6].O. Kaltioikallio and M. Bocca, "Real-Time Intrusion Detection and Tracking in Indoor Environment through Distributed RSSI Processing," in 2011 IEEE 17th International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications, Toyama, 2011, pp. 61-70.
- [7].T. Teixeira and A. Savvides, "Lightweight People Counting and Localizing for Easily Deployable Indoors WSNs," *IEEE J Sel. Top. Signal Process.*, vol. 2, no. 4, pp. 493-502, 2008.
- [8].M. Nakatsuka, H. Iwatani, and J. Katto, "A study on passive crowd density estimation using wireless sensors," in 4th International Conference on Mobile Computing and


- Ubiquitous Networking, Miraikan, Tokyo Japan, 2008, pp. 1-6.
- [9].S. Shukri, L. M. Kamarudin, G.C. Cheik, R. Gunasagaran, A. Zakaria, K. Kamarudin, and S.N. Azemi, "Analysis of RSSI-based DFL for human detection in indoor environment using IRIS mote," in 3rd International Conference on Electronic Design (ICED), Phuket, Thailand, 2016, pp. 216-221.
- [10].A. Booranawong, N. Jindapetch, and H. Saito, "A System for Detection and Tracking of Human Movements Using RSSI Signals," *IEEE Sens. J.*, vol. 18, no. 6, pp. 2531–2544, 2018.
- [11].A. Booranawong, N. Jindapetch, and H. Saito, "Adaptive Filtering Methods for RSSI Signals in a Device-Free Human Detection and Tracking System," *IEEE Syst. J.*, vol. 13, no. 3, pp. 2998–3009, 2019.
- [12].B. Mrazovac, M. Bjelica, D. Kukolj, B. Todorovic, and D. Samardzija, "A human detection method for residential smart energy systems based on Zigbee RSSI changes," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 58, no. 3, pp. 819–824, 2012.
- [13].Y. Jin, Z. Tian, M. Zhou, , Z. Li, and Z. Zhang, "A whole-home level intrusion detection system using WiFi-enabled IoT," in 14th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC), Limassol, Cyprus, 2018, pp. 494-499.
- [14].O. Kaltiokallio, M.Bocca, and L. M. Eriksson, "Distributed RSSI processing for intrusion detection in indoor environments," in Proceedings of the 9th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks, Stockholm, Sweden, 2010, pp. 404-405.
- [15].T. Wang, D. Yang, S. Zhang, Y. Wu, and S. Xu, "Wi-Alarm: Low-Cost Passive Intrusion Detection Using WiFi," *Sensors*, vol. 19, no. 10, pp. 2335, 2019.
- [16]. J.W. Davis, V. Sharma, A. Tyagi, and M. Keck, *Human Detection and Tracking*, Boston, MA: Springer, 2009.
- [17].H. Chen, Q. Zhang, Y. Liu, Y. Yang, and Z. Guo, "A Tentative Study on Zigbee-Based Indoor Human Intrusion Detection," *Advances in Intelligent Systems and Computing. Recent Developments in Intelligent Computing, Communication and Devices*, pp. 501–506, 2018.
- [18].B. Chatfield and R. J. Haddad, "RSSI-based spoofing detection in smart grid IEEE 802.11 home area networks," 2017 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT), Washington D.C., USA, 2017, pp. 1-5.
- [19].Y. Bao, L. Dong, Y. Zheng, and Y. Liu, "WiSafe: a real-time system for intrusion detection based on wifi signals," in Proceedings of the ACM Turing Celebration Conference-China, Chengdu, China, 2019, pp. 1-5.
- [20].D. Li, L. Deng, M. Lee, and H. Wang, "IoT data feature extraction and intrusion detection system for smart cities based on deep migration learning," *Int. J. Inf. Manag.*, vol. 49, pp. 533–545, 2019.
- [21].T.Yoshida and Y.Taniguchi, "Estimating the number of people using existing wifi access point in indoor environment," in Proceedings of the 6th European Conference of Computer Science (ECCS'15), Rome, Italy, 2015, pp. 46-53.
- [22].Y. Yuan, C. Qiu, W. Xi, and J. Zhao, "Crowd density estimation using wireless sensor networks," in Seventh international conference on mobile Ad-hoc and sensor networks, Beijing, China, 2011, pp. 138-145.
- [23].N. Matsumoto, J. Kawasaki, M. Suzuki, S. Saruwatari, and T. Watanabe, "Crowdedness Estimation Using RSSI on Already-deployed Wireless Sensor Networks," in 2019 IEEE 89th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Spring), Kuala Lumpur, Malaysia, 2019, pp. 1-7.
- [24].D. Ghosh, P. Roy, C. Chowdhury, and S. Bandyopadhyay. "An ensemble of condition based classifiers for indoor localization," in IEEE International conference on advanced networks and telecommunications systems (ANTS), Bangalore, India, 2016, pp. 1-6.
- [25].D. Alshamaa, A. Chkeir, and F. Mourad-Chehade, "Target localization using machine learning and belief functions: Application for elderly people in indoor environments," in 2019 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), Barcelona, Spain, 2019, pp. 1-6.
- [26].H. Huang and S. Lin, "WiDet: Wi-Fi based device-free passive person detection with deep convolutional neural networks," *Comput. Commun.*, vol. 150, pp. 357-366, (2020).
- [27].M. A. Al-qaness, "Device-free human micro-activity recognition method using WiFi signals", *Geo. Spat. Inf. Sci.*, vol. 22, no. 2, pp.128-137, 2019.
- [28].E. Alpaydin, *Introduction to machine learning*. Cambridge, MA: The MIT Press, 2020.
- [29].P. Yildirim and D. Birant, "Naive Bayes classifier for continuous variables using novel method (NBC4D) and distributions," in 2014 IEEE International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA) Proceedings, Alberobello, Italy, 2014, pp. 110-115.
- [30].P. Yıldırım, D. Birant and T. Alpyıldız, "Improving prediction performance using ensemble neural networks in textile sector," in 2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), Antalya, Turkey, 2017, pp. 639-644.
- [31].Z. Zhang, "Introduction to machine learning: k-nearest neighbors," *Ann. Transl. Med.*, vol. 4, no. 11, 2016.
- [32].S. Huang, N. Cai, P. P. Pacheco, S. Narandes, Y. Wang, and W. Xu, "Applications of Support Vector Machine (SVM) Learning in Cancer Genomics," *Cancer Genom. Proteom.*, vol. 15, no. 1, pp. 41-51, 2017.
- [33].Y. Song and Y. Lu, "Decision tree methods: applications for classification and prediction," *Shanghai Arch. Psychiatry*, vol. 27, no. 2, pp. 130-135, 2015.
- [34].J. R. Quinlan, *C4.5 - programs for machine learning*. San Mateo, CA: Kaufmann, 1992.
- [35]. X. Gao, J. Wen, and C. Zhang, "An Improved Random Forest Algorithm for Predicting Employee Turnover," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2019, pp. 1–12, 2019.
- [36].A. Onan, "Şirket İflaslarının Tahminlenmesinde Karar Ağacı Algoritmalarının Karşılaştırmalı Başarım Analizi," *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, vol. 8, no. 1, 2015.
- [37]. K. H. Raviya and B. Gajjar, "Performance Evaluation of Different Data Mining Classification Algorithm Using WEKA," *Paripex Indian J.*, vol. 2, no. 1, pp. 19–21, 2012.

- [38].S. Chen, B. Shen, X. Wang, and S.-J. Yoo, "A Strong Machine Learning Classifier and Decision Stumps Based Hybrid AdaBoost Classification Algorithm for Cognitive Radios," *Sensors*, vol. 19, no. 23, p. 5077, 2019.
- [39].A. Kumar, P. Kaur, and P. Sharma, "A Survey on Decision Tree Algorithms of Classification in Data Mining," *Int. J. Sci. Res.*, vol. 5, no. 4, pp. 2094–2097, 2016.
- [40].Weka 3 - Data Mining with Open Source Machine Learning Software in Java, URL: <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/> (Erişim zamanı; Temmuz, 4, 2020).
- [41].Wireless Measurement System - Memsic Inc., URL: http://www.memsic.com/userfiles/files/Datasheets/WSN/IRIS_Datasheet.pdf (Erişim zamanı; Temmuz, 4, 2020).
- [42].P. Levis, S. Madden, J. Polastre, R. Szewczyk, K. Whitehouse, A. Woo, and Culler, D. "TinyOS: An operating system for sensor networks," In: Weber W., Rabaey J.M., Aarts E. (eds) *Ambient Intelligence*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [43]. P. Nadkarni, (2016) *Core Technologies: Data Mining and "Big Data"*. In: *Clinical Research Computing*. Academic Press, Iowa City, IA, United States.
- [44]. B. Lantz, *Machine learning with R*, Birmingham: Packt Publishing, 2015.

İvmeölçer ve Nesnelerin İnterneti Tabanlı Gerçek Zamanlı İnsan Aktivite Tespiti

*¹ Kenan Erin, ² Cüneyt Bayılmış, ³ Barış Boru

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği, kenanerin@subu.edu.tr, 

²Sakarya Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, cbayilmis@sakarya.edu.tr, 

³Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği, barisb@subu.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 13.10.2020

Kabul Tarihi: 10.12.2020

Öz

İnsan aktivite tespiti son zamanlarda popülerliği artan bir makine öğrenmesi problemi. Hareketi tespit etmek için ivmeölçer, jiroskop v.b sensörler veya kamera yardımıyla görüntü işleme yapılarak tahminler yapılabilmektedir. Bireylerden sensörler vasıtasıyla alınan veriler ön işlemde geçerek sınıflandırma algoritmaları ile sınıflandırılarak kişilerin hangi hareketi yaptıkları tespit edilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışma kapsamında mobil cihaz için yapılan android yazılım ile cihazın ivmeölçer sensörü kullanılarak nesnelerin interneti tabanlı insan hareketlerinin tespiti gerçekleştirilmiştir. İlk önce tespiti yapılacak hareketler için veri toplanmıştır ve ön işlemde geçirilmiştir. Daha sonra oluşan veri setinden özellik çıkarımı yapılmıştır. Elde edilen veri üzerine Destek Vektör Makinaları, Rastgele Orman ve K En Yakın Komşuluk algoritmaları uygulanarak yapılan hareketler sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma başarıları tespit edilmiş olup en başarılı sınıflandırma algoritması nesnelerin interneti tabanlı uygulama ile gerçek zamanlı sınıflandırma işlemi için kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İvmeölçer, İnsan Hareketi Tespiti, Nesneleri İnterneti, Destek Vektör Makinaları, Rastgele Orman, K En Yakın Komşuluk

Real-Time Human Activity Detection Based on Accelerometers and Internet of Things

*¹ Kenan Erin, ² Cüneyt Bayılmış, ³ Barış Boru

¹Sakarya University of Applied Science, kenanerin@subu.edu.tr

²Sakarya University, cbayilmis@subu.edu.tr

³Sakarya University of Applied Science, barisb@subu.edu.tr

Abstract

Human activity detection is a machine learning problem that has recently become more popular. Estimations can be done using image processing by means of accelerometer, gyroscope, sensor or camera to detect movement. The data obtained from the individuals through sensors is pre-processed and classified with classification algorithms to determine which movement they make. Within the scope of this study, the internet based human movements were determined by using the accelerometer sensor of a device with an android software made for the mobile device. First, data was collected and pre-processed for the movements to be determined. Then feature extraction was performed from the data set. The movements were classified by using Support Vector Machines, Random Forest and K Nearest Neighbour algorithms on the resulting data. Classification successes have been determined and the most successful classification algorithm has been used for real time classification of objects with internet based application.

Keywords: Accelerometer, Human Movement Detection, Internet of Things, Support Vector Machines, Random Forest, K Nearest Neighbour

1. GİRİŞ

Günümüzde akıllı telefon, akıllı saat ve akıllı gözlükler giyilebilir cihazların yaygınlaşması ile ivmeölçer, jiroskop gibi sensörlerden fazla miktarda veri toplanabilmektedir. Bu verileri kullanarak geliştirilen uygulamalarla kişilerin anlık olarak hareket tespiti yapılabilmektedir. Sensörlerden

alınan bilgiler makine öğreniminin temel konuları arasında yer almaktadır. Veriler ilk önce bir ön işlemde geçirilerek probleme uygun hale getirilip daha sonra makine öğrenimi algoritmaları ile anlamlandırılmaya çalışılmaktadır. Anlamlandırılan verilerden elde edilen sonuçlar ile insan makine etkileşim sistemleri geliştirilmektedir. Haberleşme yöntemlerinin geliştirilmesiyle uzak mesafelerden bilgi alış

*Sorumlu yazar: Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği, kenanerin@subu.edu.tr

verişi hızlı bir şekilde yapılabilmektedir[1,2]. Nesnelerin interneti tabanlı geliştirilen uygulamalar ile akıllı telefonlardan veya çeşitli sensörler ile makine kontrolleri rahat bir şekilde yapılmaktadır. Sensörlerden alınan büyük veriler ilk önce internet üzerinde bulut platformuna daha sonra bir akıllı cihaz sayesinde bulut platformunda depolanan veriler alınıp işlenebilmektedir. Yapılan çalışmalarda insan hareketlerinin tespiti için genellikle kamera ile görüntü işleme , ivmeölçer benzeri sensörler veya bunların birleşimiyle hibrit yapılar oluşturulmaya çalışılmıştır. Son zamanlarda sensörlerin günlük hayatta kullandığımız akıllı telefon , akıllı saat gibi sistemlere entegre edilmesiyle dışarıdan başka bir sensöre ihtiyaç duyulmadan da hareket tespiti yapılabilmektedir.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde daha çok büyük verilerden hareket tespiti yapılmaktadır. Mohamed ve ark.[3] telefondan aldıkları verilerle ivmeölçer tabanlı hareket tespiti sistemi geliştirmişlerdir. Yazarlar ilk önce verilerden özellik çıkarımı yapmışlardır. Daha sonra Principle Component Analysis (PCA) ve Linear Discriminant Analysis(LDA) algoritmaları ile verilerden boyut azaltma işlemi gerçekleştirmişlerdir. Veriler üzerinde derin öğrenme, destek vektör makinaları ve yapay sinir ağları uygulayarak hareketlerin tespit edilme başarı oranlarını elde etmişlerdir. Seung ve ark. [4] yaptıkları çalışmada ofiste çalışan insanların hareketlerini kola yerleştirdikleri ivmeölçer sensörü ile tespit etmeye çalışmışlardır. Yazarlar el yazısı yazma, okuma, klavye ile yazma, fareye tıklama, ayakta durma, yürüme ve merdiven çıkma olarak 7 farklı hareket tanımlamışlardır. Aldıkları sensör verisinden Decision Trees (DT), Support Vector Machine(SVM), K-Nearest Neighbour(KNN) ve Ensemble Learning(EL) algoritmaları ile hareketleri sınıflandırıp hangi algoritmanın daha iyi sonuç verdiğini tespit etmişlerdir. Cagatay ve ark. [5] ivmeölçer tabanlı insan hareket tespit sistemi gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar hazır aldıkları veri setini kullanarak hareket tespiti yapmışlardır. Sınıflandırma algoritmaları olarak J48 DT, Multi Layer Perceptron(MLP), Logistic Regression(LR) ve kendilerinin önerdiği bir sınıflandırma tekniği kullanmışlar ve sınıflandırma performanslarını belirlemişlerdir. Mohanad ve ark. [6] görüntü işleme tabanlı hareket tespiti uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar aldıkları videodan 5 farklı hareket belirlemiş daha sonra bu hareketler için özellik çıkarımı yapmışlardır. Belirledikleri hareketleri sınıflandırma için yapay sinir ağları kullanıp sınıflandırma başarılarını tespit etmişlerdir. Chen ve ark. [7] akıllı telefon kullanarak ivmeölçer tabanlı hareket tespiti uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar bu çalışmada 10 farklı kişiden aldıkları ivmeölçer verilerini SVM, Random Forest(RF) ve KNN algoritmaları ile sınıflandırmış ve sınıflandırma başarılarını belirtmişlerdir. Media ve ark. [8] yaptıkları çalışmada telefondan aldıkları ivmeölçer tabanlı hareket tanıma uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar 5 farklı hareket tespit edip bunlarla ilgili verileri telefon kullanarak toplamışlardır. Daha sonra Weka veri madenciliği programıyla farklı sınıflandırma algoritmalarını kullanarak hareketlerin sınıflandırma performanslarını

belirtmişlerdir. Mikka ve ark.[9] kalçaya ve bileğe yerleştirilen ivmeölçer sensörü ile 12 kişiden belirledikleri hareketler için veri toplamışlardır. Yazarlar aldıkları verilerden özellik çıkarımı yapıp daha sonra denetimli ve denetimsiz yapay sinir ağları ile hareketleri sınıflandırmışlardır. Yapılan sınıflandırma sonucu başarı performanslarını belirtmişlerdir. Erhan ve ark.[10] yaptıkları çalışmada telefonun ivmeölçer ve jiroskopunu kullanarak hareket tespiti uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada topladıkları data set üzerindeki gürültüleri gidermek için Butterworth ve median filtre kullanmışlardır. Daha sonra 6 farklı hareketi tespiti için Decision Trees, Support Vector Machine, K –nearest neighbors ve Ensemble classification yöntemlerini kullanmış ve sonuçlarını karşılaştırmalı olarak sunmuşlardır. Çalışma sonunda Support Vector Machine algoritmasının daha başarılı sonuç verdiğini tespit etmişlerdir. Akhavian ve ark.[11] yaptıkları çalışmada inşaat işçilerinin hareketlerini tespit etmek için akıllı telefon kullanarak hareket tespiti uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar kola bağladıkları telefon üzerinden işçilerden örnekler toplamışlardır. Daha sonra aldıkları örnekler üzerinden Neural Netwok, Decision Tree, K- nearest neighbor, Logistic Regression ve Support Vector Machine algoritmalarıyla hareketleri sınıflandırmışlardır. Sınıflandırma sonucunda K- nearest neighbor algoritmasının daha iyi sonuç verdiğini tespit etmişlerdir. Akram ve ark.[12] yaptıkları çalışmada akıllı telefon kullanarak hareket tespiti uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar 6 farklı hareket için telefonun elde tutma durumu ve telefonun cepte tutma durumlarından 2 farklı data set oluşturmuşlardır. Daha sonra oluşturulan data setlerden farklı algoritmalar kullanarak sınıflandırma yapmışlardır. Çalışma sonunda kullandıkları algoritmalarından Multilayer Perceptron algoritmasının 2 farklı data set üzerinde daha iyi sonuç verdiğini tespit etmişlerdir. Esfahani ve Malazi[13] yaptıkları çalışmada akıllı telefon kullanarak hareket tespiti uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar ivmeölçer ve jiroskop kullanarak Position-Aware Muti Sensor(PAMS) adını verdikleri yeni bir data set oluşturmuşlardır. Oluşturdukları data seti 6 farklı algoritma ile sınıflandırmışlardır. Sınıflandırma sonucunda kullandıkları algoritmaların başarı performanslarını belirlemişlerdir.

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında yazarlar genelde yapay zeka teknikleri ile hareket tespiti uygulaması gerçekleştirmişlerdir. İvmeölçer ve jiroskop cihazlarından aldıkları verilerle çevrimdışı çalışmalar yapılmış olup bunların başarı performanslarını belirlemişlerdir. Bu çalışmada ivmeölçer tabanlı insan hareket tespiti için gerçek zamanlı bir uygulama geliştirilmiştir. Çalışmada tasarlanan mobil android uygulama ile yürüme, oturma, merdiven çıkma, merdiven inme olmak üzere 4 farklı hareket belirlenmiş ve veri toplanmıştır. Toplanan verilere ilk önce ön işlem uygulanmış olup daha sonra oluşan veriler üzerinde farklı özellik çıkarımları yapılmıştır. Sınıflandırma algoritması için SVM, RF ve KNN algoritmaları kullanılmıştır. Sınıflandırma sonucunda elde edilen karışıklık matrisleri tespit edilip en başarılı algoritma ile

nesnelerin interneti tabanlı uygulama geliştirilip uzak mesafelerden gerçek zamanlı olarak kişilerin hangi hareketi yaptığını tespit edilmeye çalışılmıştır.

2. SİSTEM MİMARİSİ

Çalışmada akıllı telefonun ivmeölçer sensörü kullanılarak android tabanlı bir uygulama geliştirilmiştir. Çalışma 2 kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda belirlenen 4 farklı hareket için 20'şer saniyelik veri toplanıp bu veri setinden ilk önce ön işlem daha sonra özellik çıkarımı yapılmıştır. Özellik çıkarımı yapıldıktan sonra verilerin sınıflandırılması için 3 farklı sınıflandırma algoritması kullanılmış olup bu algoritmaların sınıflandırma başarıları belirlenmiştir. İkinci kısımda ise gerçek zamanlı hareket tespiti için nesnelerin interneti tabanlı uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulamada hareket halindeki kişilerin telefonlarındaki ivmeölçer verileri anlık olarak bulut platformuna aktarılmıştır. Birinci kısımda sınıflandırma başarıları en iyi olan algoritma gerçek zamanlı sınıflandırma için kullanılarak kişilerin yaptıkları hareketler anlık olarak tespit edilmiştir. Bulut platformu olarak Google Firebase, sınıflandırma işlemi için Python'da sklearn kütüphanesi kullanılıp yazılım geliştirilmiştir.

2.1. Veri Toplanması

İvmeölçer 3 boyutlu uzayda açısal değişimi ölçmeye yarayan cihazdır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte ivmeölçerler akıllı telefonlara, akıllı saatlerde kullanılmaya başlanmıştır. Veri toplanması için akıllı telefon üzerinden android yazılım geliştirilmiştir. Cebeye yerleştirilen telefon ile oturma, yürüme, merdiven çıkma ve merdiven inme hareketleri için istenilen sürede 3 boyutlu ivmeölçer verisini kayıt edilmiştir. Çalışmada her bir hareket türü için 20'şer saniye boyunca ivmeölçer verisi kayıt edilmiştir. Gerçek zamanlı uygulamada ise 1'er saniyelik ivmeölçer verisi anlık olarak bulut platformu ile uzaktaki bir bilgisayarda Python ortamına gönderilmiştir. Veri toplamak için geliştirilen android uygulama Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Sınıflandırma İçin Veri Toplama Uygulaması

2.2. Özellik Çıkarımı

Çalışma kapsamında toplanan 3 boyutlu ivmeölçer verisiyle sınıflandırma yapmak çok doğru sonuçlar vermeyebilir. Elde edilen verinin dışında bu veriyi temsil edebilecek başka özelliklerin oluşturulup sınıflandırma algoritmasına

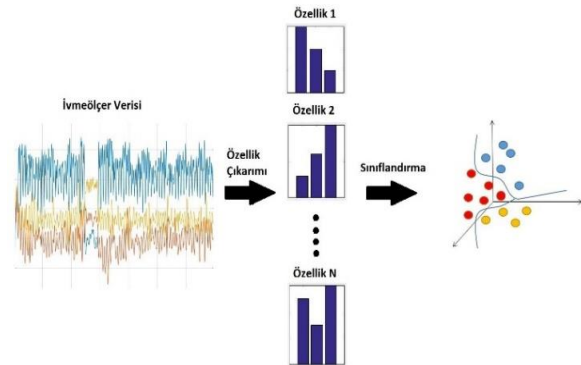
verilmesi gerekmektedir. Böylece sınıflandırma daha iyi bir başarıyla gerçekleşecektir. Yapılan çalışmada 3 boyutlu ivmeölçer verisinin dışında her ivmeölçer verisinin ortalaması (3 özellik), standart sapması (3 özellik) ve ivmelerin kareleri toplamı (1) özellik olmak üzere toplam 10 özellik belirlenip sınıflandırma algoritmasına gönderilmiştir.

2.3 Sınıflandırma

Sınıflandırma veri kümesinde bulunan bireylerin özelliklerine göre ayrılması işlemidir. Bu işlem 2 aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama toplanan verilerle kullanılan sınıflandırma algoritmalarının eğitim aşaması ikinci aşama ise bilinmeyen bir veri ile eğitilen sınıfların test edilme aşamasıdır. Çalışma kapsamında başarı oranlarını ölçmek için 3 farklı sınıflandırma algoritması kullanılmıştır.

- **Destek Vektör Makinaları (DVM):** Destek Vektör Makinaları Vapnik ve ark.[14] tarafından geliştirilen bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. Destek Vektör Makinalarında amaç verileri birbirinden ayıracak bir hiperdüzlemi belirlemektir. Veriler birbirinden ayrılırken birden fazla düzlem ile ayrılabilirler. Sınıfları birbirine en uzak yapan hiperdüzlemi belirleyerek ayrıştırma yapan bir algoritmadır.
- **Rastgele Orman:** Rastgele Orman Leo Breiman [15] tarafından geliştirilen ve birden fazla karar ağacının birleştirilmesiyle sınıflandırma başarıları yükseltmeyi amaçlayan bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. Rastgele orman sınıflandırılmasında veri seti tek bir sınıfa ayrılana kadar düğümlere bölünür ve sonucunda tüm verinin birbirinden ayrılmasıyla sonuçlanır.
- **K En Yakın Komşuluk :** K En Yakın Komşuluk algoritması basit ama güçlü sınıflandırma yapısı ile bilinen bir makine öğrenme tekniğidir. Bu algoritmada amaç seçilen bir k parametresine göre sınıflandırılmak istenen verinin kendisine en yakın k tane verinin sınıfına bakılması esasına dayanmaktadır. K tane elemandan hangisinin sınıfı daha fazla ise kendisini o sınıfa üye eden bir algoritmadır.

Yapılan çalışmanın veri işleme aşamaları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Sınıflandırma İçin Veri İşleme Aşamaları

3. DENEYSSEL ÇALIŞMA

Yapılan çalışmada belirlenen 4 farklı hareket için 20'şer saniyelik eğitim verisi toplanmıştır. Saniyede 50 veri toplanmış olup 1000 adet veri toplanmıştır. Elde edilen veriler eğitim ve test aşamalarında kullanılmıştır. Kullanılan verilerden 900 tanesi eğitim aşaması 100 tanesi test aşaması için kullanılmıştır. 1000 tane veriden eğitim ve test verisini belirlemek için k-cross validation yöntemi kullanılmış olup k parametresi 5 olarak seçilmiştir. Daha sonra verileri destek vektör makinaları, rastgele orman ve k en yakın komşuluk sınıflandırma algoritmaları ile eğitilmiştir. Eğitim aşaması bittikten sonra karışıklık matrisleri ve en başarılı algoritmanın tespiti için test verisi ile kontrol gerçekleştirilmiştir. Destek vektör makinaları, rastgele orman ve k en yakın komşuluk algoritmaları ile sınıflandırmada elde edilen karışıklık matrisleri ve sınıflandırma başarıları Tablo 1,2 ve 3'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Destek Vektör Makinaları Karışıklık Matrisi

	Oturma	Yürüme	Merdiven İne	Merdiven Çıkma	Ortalama
Oturma	100	0	0	0	100
Yürüme	0	98	2	0	98
Merdiven İne	0	2	95	3	95
Merdiven Çıkma	0	4	3	93	93

Tablo 2. Rastgele Orman Karışıklık Matrisi

	Oturma	Yürüme	Merdiven İne	Merdiven Çıkma	Ortalama
Oturma	100	0	0	0	100
Yürüme	0	100	0	0	100
Merdiven İne	0	0	95	5	95
Merdiven Çıkma	0	2	1	97	97

Tablo 3. K En Yakın Komşuluk Karışıklık Matrisi

	Oturma	Yürüme	Merdiven İne	Merdiven Çıkma	Ortalama
Oturma	100	0	0	0	100
Yürüme	0	85	10	5	85
Merdiven İne	0	4	65	31	65
Merdiven Çıkma	0	6	14	80	80

Tablo 1,2 ve 3 de verilen karışıklık matrislerine bakıldığında yapılan çevrimdışı sınıflandırmada kullanılan 3 farklı algoritmanın hangisinin daha başarılı olduğu görülmektedir. 4 farklı hareket tespiti için SVM algoritması ile yapılan sınıflandırmada başarıları %96.5 , rastgele orman algoritması ile yapılan sınıflandırma başarıları % 98 ve k en yakın komşuluk algoritması ile yapılan sınıflandırma başarıları %82.5 olarak belirlenmiştir. Sınıflandırma başarılarına bakıldığında en başarılı algoritmanın rastgele orman algoritması olduğu görülmektedir. Bu algoritma gerçek zamanlı sınıflandırma için kullanılmıştır.

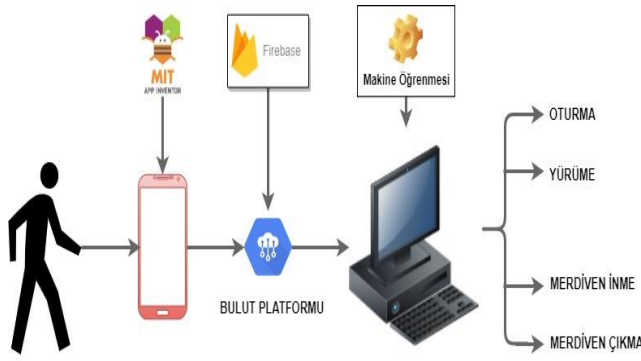
4. NESNELERİN İNTERNETİ TABANLI GERÇEK ZAMANLI UYGULAMA

İnternet, sanal düzeyde etkileşimlerden sosyal ilişkilere kadar yaşamımızdaki varlığını göstermektedir. Nesnelerin interneti nesnelere ve insan arasındaki iletişimi sağlayarak, cihazların daha akıllı hale geldiği, günlük iletişimin daha efektif olduğu platform olarak söylenebilir. Bu platform algılama, çalıştırma, kontrol ve izleme faaliyetlerini yürüten cihazlardan veri toplamaktadır. Nesnelerin interneti cihazları diğer bağlı cihazlarla veri alışverişi yapabilir ve diğer cihazlardan veri toplayıp işleyebilmektedir. Ericsson şirketi iletişim ağlarına bağlı cihazların sayısının 2016'da 16 milyara ulaştığı ve 2022'de 29 milyara ulaşacağı tahmin etmektedir[16]. Bu çalışmada nesnelerin interneti ile uzak mesafeden alınan ivmeölçer verileriyle kişilerin hareketinin gerçek zamanlı olarak tespiti yapılmıştır. Sağ ön cebe yerleştirilen telefonda gerçek zamanlı olarak veri toplanmıştır. Çalışma için android tabanlı bir uygulama geliştirilmiştir. Geliştirilen android uygulama Şekil 3 'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Nesnelerin İnterneti Tabanlı Geliştirilen Uygulama

3 boyutlu ivmeölçer verisi internet üzerinde bulut ortamında depolanmıştır. Daha sonra uzaktan bir ana bilgisayarda depolanan veriler Python ortamına gerçek zamanlı olarak alınmış ve hareketin tespiti sağlanmıştır. Sınıflandırma algoritması olarak çevrimdışı sınıflandırmada en başarılı algoritma olarak belirlenen Rastgele Orman algoritması kullanılmıştır. Yapılan gerçek zamanlı uygulama modeli Şekil 4'de gösterilmiştir



Şekil 4. Gerçek Zamanlı Hareket Tespiti

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada ivmeölçer ve nesnelerin interneti tabanlı gerçek zamanlı insan hareket tespiti uygulaması geliştirilmiştir. Çalışmada ilk önce belirlenen hareketler için belirli zaman aralığında veri toplanmıştır. Daha sonra toplanan bu veriler 3 farklı sınıflandırma algoritması ile çevrimdışı olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonucunda en iyi sınıflandırma algoritması rastgele orman olarak belirlenmiş olup gerçek zamanlı uygulama için bu algoritma kullanılmıştır. Sınıflandırma algoritmalarının yüksek başarı oranı vermesi akıllı telefonların hareket tespiti uygulamalarında rahatça kullanılabileceğini göstermiştir. Gerçek zamanlı çalışma için nesnelerin interneti tabanlı bir android uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulama ivmeölçer verisini bulut ortamına göndermektedir. Python ortamında geliştirilen yazılım ile gerçek zamanlı veriler bulut ortamından alınarak sınıflandırma sonucu kişilerin hareketleri tespit edilmektedir. Çalışma süresince gecikmeler meydana geldiği tespit edilmiş olup sınıflandırma işleminin sorunsuz bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmalara bakıldığında yaptığımız çalışmanın literatürden farkları aşağıda verilmiştir:

- Android tabanlı uygulama geliştirilerek gerçek zamanlı hareket tespitini yapılması
- Nesnelerin interneti yönteminin yaptığımız çalışmaya ekleyerek kişilerin mekan farkı gözetmeksizin sürekli olarak hareketinin izlenebilmesi. Ayrıca geliştirilen android uygulamanın kişilere özel olarak kullanılabilmesinin sağlanması
- Kendi oluşturduğumuz data set üzerinde yapılan sınıflandırma çalışmasının yüksek başarıya ulaşması

KAYNAKÇA

[1]. Uddin, M. Z. "A wearable sensor-based activity prediction system to facilitate edge computing in smart

healthcare system". *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 123, 46-53,2019.

[2]. Yamada, Y., Shinkuma, R., Iwai, T., Onishi, T., Nobukiyo, T., & Satoda, K. "Temporal traffic smoothing for IoT traffic in mobile networks". *Computer Networks*, 146, 115-124, 2018..

[3]. M. M. Hassan, M. Z. Uddin, A. Mohamed, and A. Almogren, "A robust human activity recognition system using smartphone sensors and deep learning," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 81, pp. 307–313, 2018.

[4]. S. H. Cha, J. Seo, S. H. Baek, and C. Koo, "Towards a well-planned, activity-based work environment: Automated recognition of office activities using accelerometers," *Build. Environ.*, vol. 144, no. April, pp. 86–93, 2018.

[5]. C. Catal, S. Tufekci, E. Pirmitt, and G. Kocabag, "On the use of ensemble of classifiers for accelerometer-based activity recognition," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 37, pp. 1018–1022, 2015.

[6]. M. Babiker, O. O. Khalifa, K. Kyaw Htike, A. Hassan, and M. Zaharadeen, "Automated Daily Human Activity Recognition for Video Surveillance Using Neural Network," *Proc. 4th IEEE Int. Conf. Smart Instrumentation, Meas. Appl.*, no. November, pp. 28–30, 2017.

[7]. Y. Chen and C. Shen, "Performance Analysis of Smartphone-Sensor Behavior for Human Activity Recognition," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 3095–3110, 2017.

[8]. M. A. Ayu, S. A. Ismail, A. F. Abdul Matin, and T. Mantoro, "A comparison study of classifier algorithms for mobile-phone's accelerometer based activity recognition," *Procedia Eng.*, vol. 41, no. Iris, pp. 224–229, 2012.

[9]. Ermes, M., Pärkkä, J., Mäntyjärvi, J., & Korhonen, I. "Detection of daily activities and sports with wearable sensors in controlled and uncontrolled conditions". *IEEE transactions on information technology in biomedicine.*,vol. 12,pp. 20-26,2008.

[10]. Bulbul, E., Cetin, A., & Dogru, I. A. (2018, October). Human activity recognition using smartphones. In 2018 2nd international symposium on multidisciplinary studies and innovative technologies (ismsit) (pp. 1-6). IEEE.

[11]. Akhavian, R., & Behzadan, A. H. (2016). Smartphone-based construction workers' activity recognition and classification. *Automation in Construction*, 71, 198-209.

[12]. Bayat, A., Pomplun, M., & Tran, D. A. (2014). A study on human activity recognition using accelerometer data from smartphones. *Procedia Computer Science*, 34, 450-457.


[13]. Esfahani, P., & Malazi, H. T. (2017, December). PAMS: A new position-aware multi-sensor dataset for human activity recognition using smartphones. In 2017 19th International Symposium on Computer Architecture and Digital Systems (CADS) (pp. 1-7). IEEE.


[14]. C. Cortes, V. Vapnik, Support-vector networks, *Machine learning*, vol. 20(3), pp. 273-297,1995
Breiman, L.." Random forests". *Machine learning*,vol. 45,pp. 5-32, 2001.

[15]. Ericsson mobility report june 2017 (<https://www.ericsson.com/assets/local/mobilityreport/documents/2017/ericsson-mobility-report-june-2017.pdf>)

Çarpık Dağılımlar için Çarpıklık Düzeltmesi Yöntemine Dayalı \bar{X} ve R Kontrol Grafikleri

*¹ Sevgi Yurt Öncel, ² Handan Özarslan

¹ Kırıkkale Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, Yenışehir, Yahşihan, Kırıkkale
syoncel@kku.edu.tr 

² Sosyal Güvenlik Kurumu Ankara İl Müdürlüğü, Çankaya, Ankara
handanozarlan@msn.com 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 04.02.2020

Kabul Tarihi: 14.05.2020

Öz

İstatistiksel süreç kontrolü, üretim sırasında kalite sorunlarının geciktirilmeden giderilmesi ve en ekonomik şartlarda verimliliğin en üst düzeyde tutulması için istatistiksel tekniklerin kullanılmasını kapsar. Süreç kontrolünde grafik yöntemi oldukça tercih edilen bir yöntemdir. Klasik Shewhart kontrol grafikleri, kalite değişkeninin dağılımının Normal dağılım olması varsayımına dayanır. Ancak kalite değişkeni her zaman Normal dağılıma sahip olmayabilir. Bu durumda Shewhart tarafından önerilen klasik kontrol grafiklerinin kullanılması I. tip hata olasılığının artmasına neden olur ve süreç hakkında yanıltıcı sonuçlar elde edilebilir. Bu durumda çarpık dağılımlar için \bar{X} ve R kontrol grafiklerinin oluşturulması için, çarpıklık düzeltmesi yöntemi önerilmektedir. Bir dağılımın simetrisinin belirlenmesinde kullanılan çarpıklık katsayısının tahmin edilmesi çok önemli bir problemdir. Bu çalışmada çarpıklık düzeltmesinde kullanılan çarpıklık katsayısı tahmin edicileri olarak Bowley'in çarpıklık katsayısı, Kelly'nin çarpıklık katsayısı ve momentlere dayalı çarpıklık katsayısı tahmin edicileri kullanılmıştır. Çarpıklık katsayısı göz önünde bulundurularak kalite kontrol grafiklerinin nasıl çizdirileceği üzerinde durulmuştur. Uygulama kısmında çarpık bir dağılım olan Weibull dağılımı için bir simülasyon çalışması yapılmıştır. Çarpıklık katsayısı farklı tahmin edicilerle hesaplanarak çarpıklık düzeltmesi yöntemi ile oluşturulan kontrol grafiklerinin performansları I. tip hata olasılıkları, ortalama çalışma uzunluğu ile değerlendirilmiş ve klasik Shewhart kontrol grafikleri ile karşılaştırılmıştır. Maliyeti yüksek olan ve tahribatlı muayene edilen ürünler üreten işletmeler için öneriler geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Cornish-Fisher açılımı, çarpıklık katsayısı, çarpıklık düzeltme yöntemi, kalite kontrol grafikleri, Weibull dağılımı

\bar{X} and R Control Charts Based on the Skewness Correction Method for Skewed Distributions

*¹ Sevgi Yurt Öncel, ² Handan Özarslan

¹ Kırıkkale University Faculty of Arts and Sciences, Department of Statistics, Yenışehir, Yahşihan, Kırıkkale,
syoncel@kku.edu.tr

² Social Security Institution Ankara Provincial Directorate, Çankaya, Ankara, handanozarlan@msn.com

Abstract

Statistical process control involves the use of statistical techniques to eliminate quality problems during production without delay and to keep productivity at the highest level under the most economical conditions. Graphic method is a highly preferred method in process control. Classic Shewhart control charts are based on the assumption that the distribution of the quality variable is a Normal distribution. However, the quality variable may not always have a Normal distribution. In this case, the use of classical control graphics recommended by Shewhart causes an increased probability of type I error and misleading results can be obtained about the process. In this case, the skewness correction method is proposed to create the \bar{X} and R control charts for skewed distributions. Estimating the skewness coefficient used in determining the symmetry of a distribution is a very important problem. In this study, Bowley's skewness coefficient, Kelly's skewness coefficient and moment skewness coefficient estimators are used as the skewness coefficient estimators. Considering the skewness coefficient, it is focused on how to draw quality control charts. A simulation study has been made for the Weibull distribution, which is a skewed distribution in the application part. The performance of the control charts created by the skewness correction method by

*Sorumlu Yazar : Kırıkkale Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, Yenışehir, Yahşihan, Kırıkkale
syoncel@kku.edu.tr

Doi: 10.21541/apjes.684549

calculating the skewness coefficient with different estimators, the type I error probabilities were evaluated with the average working length and compared with the classical Shewhart control charts. Suggestions have been developed for businesses that produce high cost and destructively inspected products.

Keywords: skewness coefficient, Cornish-Fisher expansions, quality control charts, skewness correction method, Weibull distribution.

GİRİŞ

Günümüzde teknoloji hızlı bir şekilde ilerlemekte, bilgiye ulaşmak çok çabuk ve kolay gerçekleşmekte, müşteri beklentileri de sürekli artmaktadır. İşletmelerin bu koşullara uyum sağlamaları için hızlı, verimli ve kaliteli üretim yapmaları zorunlu hale gelmektedir [1].

Kalite, müşteri memnuniyeti, verimlilik, esneklik, etkililik, kullanıma uygunluk gibi birçok isteği ön plana çıkaran bir kavramdır. Kaliteyi, bir ürünün ya da hizmetin özelliklerinin kişilerin isteklerini karşılayabilme derecesi olarak da tanımlamak mümkündür. Aynı zamanda kalite, müşteri memnuniyetine yönelik ürün ve hizmet özelliklerinin toplamıdır. Müşterilerin memnuniyet derecesi ne kadar yüksekse, kalite de o oranda yüksek sayılır.

Üretimin ve hizmetin tüketici açısından en ekonomik ve en iyi yapılması için kalite kontrol çalışmalarını planlamak, geliştirmek ve sürdürmek gerekir. Çünkü kalite kontrolün öncelikli hedefi, tüketicilerin isteklerini mümkün olan en ekonomik seviyede karşılayan ürün ve hizmetlerin üretimidir [2].

Üretim sistemlerinin büyümesi, işletmeler arası ilişkiler, rekabetin uluslararası nitelik kazanması, yaşam düzeyinin yükselmesi, tüketicilerin bilinçlenmesi ve tüketiciyi koruyan yasaların ortaya çıkışı, endüstride istatistiksel kalite kontrol yöntemlerinin uygulanmasını zorunlu hale getirmiştir. İstatistiksel kalite kontrolün amacı, bir ürün ya da hizmetin istenen kalite seviyesine ulaşabilmesi için üretimin herhangi bir aşamasını denetlemektense üretimi oluşturan sürecin hepsini kontrol etmektir.

Kalite kontrol grafiklerinin kullanılması fikri 1926 yılında Shewhart tarafından ortaya atılmıştır [3]. Bu grafikler bir sürecin istatistiksel yöntemlerle kontrol altında tutulmasında en etkili araçlardır ve sürecin ne derece iyi işlediğini gösterirler. Klasik Shewhart kontrol grafikleri kalite değişkeninin dağılımının Normal dağılım olması varsayımına dayandırılmıştır. Bu varsayım geçerli olmadığında klasik kontrol grafikleriyle süreci izlemek yanıltıcı olabilir. Birçok durumda ilgilenilen kalite değişkeninin gösterdiği dağılım Normal dağılımdan farklı ve çarpık bir dağılım olabilir. Klasik kontrol grafikleri kullanıldığında çarpıklık arttıkça I. tip hata olasılığı da artacaktır. Bunun için örneklem büyüklüğünün artırılması önerilse de bu çözüm zaman ve maliyet açısından pahalı bir çözümdür.

Normal dağılım varsayımının sağlanamadığı durumlarda Shewhart kontrol grafikleri çarpıklık düzeltmesi, ağırlıklı

varyans, ağırlıklı standart sapma yöntemleriyle oluşturulabilir. Ya da parametrik olmayan, dağılımdan bağımsız kontrol grafikleri kullanılır. Literatürde bu konuyla ilgili yapılan pek çok çalışma bulunmaktadır. Bai ve Choi (1995) çarpık dağılıma sahip veriler için ağırlıklı varyans yöntemine dayalı olarak \bar{X} ve R kontrol grafiği sınırlarını oluşturmuştur. Weibull, Burr ve Lognormal dağılımına sahip veriler için ağırlıklı varyans yönteminin I. tip hata olasılığını Monte Carlo simülasyonu yaparak Shewhart ve Ferrell yöntemleriyle karşılaştırmıştır.

Chang ve Bai (2001) tarafından yapılan çalışmada ağırlıklı standart sapma ile kontrol grafiği oluşturmak için basit bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemle göre çarpık dağılım ortalamaya göre iki parçaya ayrılır ve her bir parça yeni simetrik dağılım olarak kullanılır. Ağırlıklı standart sapma yönteminin mevcut yöntemler üzerinde önemli iyileştirmeler gerçekleştirdiği görülmüştür. Özellikle süreç parametreleri bilinmediğinde ve örneklem boyutu küçük olduğunda önerilen ağırlıklı standart sapmalı ortalama grafiğinin son derece iyi performansının olduğu gözlenmiştir.

Chan ve Cui (2002) çalışmalarında çarpık dağılımlar için \bar{X} ve R kontrol grafikleri oluşturmak için çarpıklık düzeltmesi yöntemini ortaya koymuşlardır. Eğer süreç dağılımının simetrik olduğu biliniyorsa önerdikleri \bar{X} grafiği neredeyse Shewhart \bar{X} grafiğiyle aynı olmuştur. Yeni grafikler Shewhart grafikleri ve ağırlıklı varyans yöntemiyle oluşturulan kontrol grafikleriyle karşılaştırılmıştır. Süreç dağılımı Weibull, Lognormal, Burr ve Binom dağılımı olduğunda yapılan simülasyon çalışması sonucunda çarpıklık düzeltmeli kontrol grafiklerinin 0.0027'ye yakın I. tip hata olasılığına sahip olduğunu göstermişlerdir. Süreç dağılımı Üstel olduğunda çarpıklık düzeltmeli \bar{X} ve R grafiklerinin sadece I. tip hata olasılıklarının değil II. tip hata olasılıklarının da ağırlıklı varyans ve Shewhart yöntemlerinden daha düşük olduğu göstermiştir.

Kan ve Yazıcı (2006) çalışmalarında Burr dağılımına sahip veriler için birimler (tek birimlik örneklem) kontrol grafiklerini Chan ve Cui (2002)'nin çarpıklık düzeltmesi yöntemi ile ele almışlardır. Burr dağılımı için kontrol limitlerini elde ederek $n=5$ ve $n=7$ için bir simülasyon çalışması yapmışlardır. $n=7$ iken çarpıklık düzeltmesi yöntemiyle elde edilen kontrol grafiği limitleri Shewhart yönteminin limitlerinden daha geniş çıkmıştır. Veri seti Burr dağılımına sahip olduğunda Shewhart birimler kontrol grafikleri yerine çarpıklık düzeltmesiyle elde edilen birimler kontrol grafiğinin kullanılmasını önermişlerdir. Yazıcı ve Kan (2009), Normal dağılım varsayımının

sağlanamadığı durumlarda, X birimler kontrol grafiği için çarpıklık düzeltme yöntemini geliştirmişlerdir. Burr, Lognormal ve Üstel dağılımlar için çarpıklık düzeltmeli birimler kontrol grafiklerinin sınırları, klasik Shewhart birimler kontrol sınırları ile simülasyonla karşılaştırılmıştır.

Karagöz ve Hamurkaroglu (2012) tarafından yapılan çalışmada çarpık dağılımlar için \bar{X} ve R kontrol grafiklerinin limitleri, klasik, ağırlıklı varyans, ağırlıklı standart sapma ve çarpıklık düzeltmesi yöntemleri Monte Carlo simülasyonu kullanılarak karşılaştırılmıştır. Weibull, Gamma ve Lognormal dağılımlarının kontrol grafiklerinin I. tip hata olasılığını farklı alt grup büyüklüklerinde karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları çarpıklık düzeltmesi yönteminin I. tip hata olasılığının daha düşük olduğunu göstermiştir.

Rao ve Kantam (2012) tarafından yapılan çalışmada çarpık bir dağılım olan Yarı Lojistik dağılım için \bar{X} ve R grafikleri çarpıklık düzeltme yöntemi ile çizilmiştir.

Priya ve Kantam (2017)'in çalışmasında çarpık bir dağılım olan Linear Bozulma Oranı (Linear Failure Rate) dağılımı için Bowley'in çarpıklık katsayısı ve Kelly'nin çarpıklık katsayısı ile kontrol grafiği limitleri bulunmuştur ve Kelly'nin çarpıklık katsayısı kullanılarak oluşturulan çarpıklık düzeltmeli \bar{X} kontrol grafiğinin üstünlüğü tartışılmıştır.

Karagöz (2018) çarpık dağılımlar için \bar{X} kontrol grafiğinin kontrol limitlerini oluşturmak için kesilmiş ortalama ve çeyrekler arası aralık tahmin edicileri kullanarak değiştirilmiş Shewhart, değiştirilmiş ağırlıklı varyans ve değiştirilmiş çarpıklık düzeltme yöntemlerini önermiştir.

Bir dağılım varsayımı gerektirmeyen parametrik olmayan kontrol grafikleri ile ilgili çalışmalar da oldukça yaygındır. Dağılımdan bağımsız kontrol grafikleri çizilirken örneklemin geldiği kitlenin dağılımını ve varyansını bilmeye ya da tahmin etmeye gerek yoktur. Turhan ve Öncel (2019) herhangi bir dağılım varsayımı olmadan sıra istatistiklerine dayalı kalite kontrol grafiği limitlerinin belirlenmesi konusunu ve literatürdeki çalışmaları ayrıntılı olarak ele almıştır. Bu çalışmada süreç ortalamasının takibi için farklı örnek hacimleri için medyan kontrol limitleri, yanlış alarm oranı ve ortalama çalışma uzunluğu hesaplamalarını tablolatırılmış ve bir uygulama verilmiştir.

Bu çalışmada çarpık dağılımlar için kullanılması önerilen çarpıklık düzeltmeli kontrol kartları ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Çarpıklık düzeltmesi yönteminin uygulanabilmesi için örneklemin alındığı kitlenin çarpıklık katsayısının belirlenmesi gereklidir. Literatürde iyi bilinen Bowley, Kelly ve momentlere dayalı çarpıklık katsayıları incelenmiştir. Bu tahmin ediciler kullanılarak Weibull dağılımı için bir simülasyon çalışması yapılmıştır. Çarpıklık düzeltmeli \bar{X} ve R kontrol grafiklerinin ortalama çalışma uzunluğu ve I. tip hata yapma olasılıkları klasik Shewhart kontrol grafikleri ile karşılaştırılmıştır.

1. İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROL SÜRECİ İLE İLGİLİ TANIMLAR

Bir ürün ve üretim süreci çok iyi tasarlanmış olsa bile doğal nedenlerden dolayı ürünlerin birbirine göre bir farklılığı olacaktır. Bu farklılık kabul edilebilir ise süreç istatistiksel olarak kontrol altındadır denir. Eğer kalite değişkenindeki değişim makinelerin kalibrasyonundan, çalışan kişi veya hammaddeden kaynaklanan bir değişim ise süreç kontrol dışındadır denir. Üretilen ürünlerde meydana gelen hataları saptamak ve değişimi görmek amacı ile kullanılan her türlü teknik ve araç istatistiksel kalite kontrol kapsamına girer. Amaç tanımlanabilir nedenlerden dolayı ortaya çıkan kontrol dışı durumu kısa sürede ortaya çıkarabilmektir. Kontrol grafikleri bu amaçla kullanılan bir yöntemlerden biridir.

1.1. Kalite Kontrol Grafiklerinin Tanımı

Kontrol grafiklerini yatay ve dikey eksen, noktalar, orta çizgi (OÇ), üst kontrol limiti (ÜKL) çizgisi ve alt kontrol limiti (AKL) çizgisi oluşturmaktadır. Yatay eksen örneklem numarasını, dikey eksen ise örneklemin bir fonksiyonunu (istatistiği) gösterir. Grafikte işaretlenen noktalar örneklemden hesaplanan istatistiklerdir. Değişimi takip etmek için noktalar çizgilerle birleştirilir. Bu noktalardan bazılarının kontrol limitlerinin dışında olduğu veya kontrol limitleri içinde bulunup belirli bir diziliş, kümeleme veya eğilim gösterdikleri durumda örneklemin dağılımının ortalamasında, standart sapmasında veya her ikisinde de bir kayma olduğu düşünülür. Bu sonuç süreçte düzeltilmesi gereken hataların var olduğu anlamına gelmektedir Kalite değişkeninin dağılımındaki bu türden kaymaları hızlıca yakalamak ve sorunu giderip kitle dağılım parametrelerini hedeflenen değere getirmek istatistiksel kalite kontrol yöntemleri ile sağlanır [1, 2, 14, 15].

X , ortalaması μ_X ve standart sapması σ_X olan bir rasgele değişken olsun. Kontrol grafiği sınırları

$$\begin{aligned} \text{ÜKL} &= \mu_X + k\sigma_X \\ \text{OÇ} &= \mu_X \\ \text{AKL} &= \mu_X - k\sigma_X \end{aligned} \quad (2.1)$$

(2.1) eşitliğinde gösterildiği gibi oluşturulmaktadır. Burada k katsayısı, orta çizgiden üst kontrol limiti ve alt kontrol limitine olan mesafeyi, örneklemin dağılımına ve I. tip hata yapma olasılığı (süreç kontrol altındayken yanlışlıkla süreç kontrol dışındadır kararına varma olasılığının üst sınırı) değerine göre belirler. Uygulamada \bar{X} (ortalama), R (aralık) ve S (standart sapma) gibi kontrol grafikleri çizilmektedir. \bar{X} grafiği sürecin ortalamasını, R ve S grafikleri sürecin varyansını kontrol etmek amacıyla kullanılır. Bu grafikler çift yani \bar{X} - R grafikleri veya \bar{X} - S grafikleri biçiminde oluşturulur. Bu çalışmada örneklem hacmi küçük olduğunda tercih edilen \bar{X} - R grafikleri incelenecektir.

1.2. Hipotez Testi ve Ortalama Çalışma Uzunluğu

Hipotez, kitle dağılımının parametreleri hakkında yapılan bir iddiadır. Hipotez testi ise, iddianın kabulü veya reddi için ortaya konan bir karar kuralını örneklem ile test etmektir. Dolayısı ile örnekleme dayanarak çıkarılacak sonuçlarda yani verilecek kararlarda bir hata söz konusudur. Doğruluğunun kanıtlanması istenen iddiaya sıfır hipotezi denir ve H_0 ile gösterilir. H_0 'ın yanlışlığı kanıtlandığı takdirde doğru kabul edilecek hipoteze karşı hipotez denir ve H_1 ile gösterilir. Bu testler yapılırken α , H_0 hipotezi doğru iken reddedilme olasılığı (I.tür hata yapma olasılığı); $1-\alpha$, H_0 hipotezi doğru iken red edilmemesi olasılığı (testin güvenilirlik düzeyi); β , H_0 hipotezi yanlış iken H_0 'ın kabul edilme olasılığı (II. tip hata yapma olasılığı); $1-\beta$, H_0 hipotezi yanlış iken H_0 'ın reddedilme olasılığı (testin gücü) olasılıkları hesaplanır. I. tip hata yapma olasılığının üst sınırı, testin anlamlılık düzeyini verir.

Kontrol grafikleri ile hipotez testleri arasında sıkı bir bağlantı vardır. Bu durumda, I. tip hata ve II. tip hata ifadeleri kontrol grafikleri açısından

$$\alpha = P(\text{I.tür hata})$$

$$= P(\text{Süreç kontrol dışı} / \text{Süreç kontrol altında iken})$$

$$= \text{Üretici riski (kaliteli ürünün reddedilmesi olasılığı)}$$

$$\beta = P(\text{II.tür hata})$$

$$= P(\text{Süreç kontrol altında} / \text{Süreç kontrol dışında iken})$$

$$= \text{Tüketici riski (kalitesiz ürünün kabul edilme olasılığı)}$$

biçiminde yeniden tanımlanabilir [1, 14, 15].

$$X_1, X_2, \dots, X_n \sim N(\mu_0, \sigma^2) \quad \text{iken} \quad H_0 : X \sim N(\mu_0, \sigma^2)$$

hipotezine karşılık $H_1 : X \sim N(\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma, \sigma^2)$ hipotezi ile Normal dağılıma sahip olan bir kitlenin ortalamasındaki değişim (kaymalar) araştırılabilir. Kontrol grafiklerinin limitleri $\mu_{\bar{X}} \mp k\sigma_{\bar{X}}$ dir. Süreç kontrol altında iken örneklem ortalaması \bar{X} 'nin kontrol limitlerinin dışına çıkması olasılığı

$$\alpha = 1 - \int_{\mu_0 - k\sigma/\sqrt{n}}^{\mu_0 + k\sigma/\sqrt{n}} f_{\bar{X}}(u|\mu_0) du$$

dır. Burada yer alan μ_0 ve μ_1 parametreleri sırasıyla süreç kontrol altında ve süreç kontrol dışında iken X rasgele değişkeninin kitle ortalamasını göstermektedir. X rasgele değişkeninin dağılımı Normal dağılım olduğunda $\alpha = 2\Phi(-k)$ 'dir. Burada Φ , Standart Normal dağılımın

dağılım fonksiyonunu göstermektedir. Süreç kontrol altındayken kitle ortalamasının μ_0 'dan μ_1 'e kayması halinde bu kaymayı birbirini izleyen noktalarda tespit edememe olasılığı

$$\beta = P(AKL \leq \bar{X} \leq \check{U}KL | \mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma)$$

$$= \int_{\mu_0 - k\sigma/\sqrt{n}}^{\mu_0 + k\sigma/\sqrt{n}} f_{\bar{X}}(u|\mu_1) du$$

dır. Kontrol grafiğinde yer alan örneklem ortalamalarının kontrol limitleri dışına çıkmadan önce grafikte işaretlenmesi beklenen nokta sayısı, ortalama çalışma uzunluğu ($O\check{C}U$) olarak adlandırılır ve kontrol grafiğinin performansını değerlendirmek için kullanılır. Süreç kontrol altındayken ortalama çalışma uzunluğu

$$O\check{C}U = \frac{1}{1 - P(AKL < \bar{X} < \check{U}KL | \mu = \mu_0)}$$

$$= \frac{1}{1 - \int_{AKL}^{\check{U}KL} f_{\bar{X}}(u|\mu_0) du} \quad (2.2)$$

$$= \frac{1}{\alpha}$$

olarak hesaplanır [15]. Süreç kontrol altındayken $O\check{C}U = \frac{1}{\alpha}$, süreç kontrol dışında iken $O\check{C}U = \frac{1}{1-\beta}$ dir.

Örneklemin dağılımı Normal dağılım iken ortalama için Shewhart Kontrol grafiğinin ortalama çalışma uzunluğu $\alpha = 0.0027$ için $1/0.0027 = 370$ 'dir. Yani süreç kontrol altındayken ortalama 370 noktada bir kez kontrol grafiği, doğal nedenlerden dolayı süreç kontrol dışında sinyali verecektir [13, 15]. Süreç kontrol altındayken $O\check{C}U$ 'nun büyük olması istenir. Süreç kontrol dışına çıkmışsa erken uyarı almak için $O\check{C}U$ 'nun küçük olması istenir.

3. KLASİK SHEWART KONTROL GRAFİKLERİ

Bir üretim sürecinin kalite kontrolü, bir ürünün ölçülebilen (nicel) veya ölçülemeyen (nitel) özelliklerine göre uygun kontrol grafikleri ile takip edilmelidir. Sürecin, istatistiksel kalite kontrolünün yapılabilmesi için uygun bir kalite özelliği ve bu özelliğe uyumlu kontrol grafiği seçilmelidir. Ölçülebilen kalite değişkenlerin dağılım ortalamasında olabilecek kaymaları takip edebilmek amacıyla için \bar{X} kontrol grafiği çizilir. Kitle varyansında meydana gelebilecek bir değişimi takip etmek amacıyla da Shewhart kontrol grafiği olarak S veya R grafiği çizilir. Örneklem hacmi küçük olduğunda ($n < 8$, genellikle) değişimi takip etmek için R kontrol grafiği tercih edilir. Bu çalışmada \bar{X} ve R kontrol grafikleri üzerinde durulacaktır.

Bir üretim sürecinin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığını incelemek için Faz I'de ilgilenilen kalite

değişkenine ait gözlemler elde edilir ve değişkenin dağılımının bilinmeyen parametreleri varsa tahmin edilir ve kontrol limitleri elde edilir. Faz II aşamasında ise süreçte bir değişimin olup olmadığı takip edilir.

Ortalaması μ standart sapması σ olan Normal dağılımın kitle ortalamasındaki değişimi takip etmek için çizilecek Shewhart kontrol grafiği limitleri,

$$\begin{aligned} \bar{ÜKL}_{\bar{X}} &= \mu_{\bar{X}} + Z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{X}} \\ OC_{\bar{X}} &= \mu_{\bar{X}} \\ AKL_{\bar{X}} &= \mu_{\bar{X}} - Z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{X}} \end{aligned} \quad (3.1)$$

biçimindedir. $P(Z > Z_{\alpha/2}) = \frac{\alpha}{2}$ eşitliğinde yer alan $\alpha = 0.0027$, iken $Z_{\alpha/2} = Z_{0.00135} = 3$ değeri kontrol limiti katsayısı olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle klasik Shewhart kontrol grafiklerinde $\mu_{\bar{X}} \mp 3\sigma_{\bar{X}}$ sınırlarında $\alpha = 0.0027$ 'dir [15]. Süreç ortalamasındaki kaymaları tespit edebilmek için çizilen kontrol grafikleri kitle parametreleri biliniyorken ve bilinmiyorken durumları için farklı hesaplamalarla çizilir. $X_1, X_2, \dots, X_n \sim N(\mu, \sigma^2)$

iken $\bar{X} \sim N\left(\mu_{\bar{X}}, \frac{\sigma_{\bar{X}}^2}{\sqrt{n}}\right)$ olduğundan dolayı kitle parametreleri μ ve σ biliniyorken grafiğin limitleri \bar{X} grafiğinin limitleri,

$$\begin{aligned} \bar{ÜKL}_{\bar{X}} &= \mu_{\bar{X}} + 3 \frac{\sigma_{\bar{X}}}{\sqrt{n}} \\ OC_{\bar{X}} &= \mu_{\bar{X}} \\ AKL_{\bar{X}} &= \mu_{\bar{X}} - 3 \frac{\sigma_{\bar{X}}}{\sqrt{n}} \end{aligned} \quad (3.2)$$

biçimindedir. Normal dağılıma sahip kitleden alınan örneklemin genişliği ile dağılımın standart sapması arasındaki ilişkiyi kullanarak ele alınan $W = \frac{R}{\sigma}$ rasgele değişkeni, görel genişlik olarak adlandırılır. W 'nin dağılımının parametreleri, örneklem hacminin bir fonksiyonudur ve $E(W) = d_2$ dir. Dolayısıyla σ 'nin tahmin edicisi $\hat{\sigma} = \frac{R}{d_2}$ dır. Böylece kitle parametreleri μ

ve σ bilinmiyorken $\hat{\mu} = \bar{X} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{X}_i$ ve $\hat{\sigma}_{\bar{X}} = \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}}$ tahmin edicileri kullanılarak

$$\begin{aligned} \bar{ÜKL}_{\bar{X}} &= \bar{X} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}} \\ OC_{\bar{X}} &= \bar{X} \\ AKL_{\bar{X}} &= \bar{X} - 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}} \end{aligned} \quad (3.3)$$

formülleri ile kontrol limitleri bulunur. $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3, \dots, \bar{X}_m$ alt örneklere ait ortalamalar olmak üzere, i 'inci örneklemin ortalaması, $\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ij}$ ile hesaplanan genel

ortalama $\bar{X} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{X}_i$, μ 'nün yansız bir tahmin edicisi olarak (3.3) eşitliğinde yer alır. (3.3) eşitliğinde yer alan $\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_i$, her alt örnek grubundan hesaplanan genişlik değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. (3.3) eşitliğinde $A_2 = \frac{3}{d_2 \sqrt{n}}$ olarak yerine konarak $\bar{X} \mp A_2 \bar{R}$ aralığı, kitle

standart sapması bilinmiyorken konum parametresindeki değişimi takip etmek için kontrol limitleri olarak kullanılır [15]. R kontrol grafiğinin limitleri ise

$$\begin{aligned} \bar{ÜKL}_R &= \mu_R + 3\sigma_R \\ OC_R &= \mu_R \\ AKL_R &= \mu_R - 3\sigma_R \end{aligned} \quad (3.4)$$

biçimindedir. Kitle varyansı biliniyorken $\mu_R = \sigma d_2$ ve $\sigma_R = d_3 \sigma$ (3.4) eşitliğinde yerine yazılırsa, R kontrol grafiğinin limitleri,

$$\begin{aligned} \bar{ÜKL}_R &= d_2 \sigma + 3d_3 \sigma = D_2 \sigma \\ OC_R &= d_2 \sigma \\ AKL_R &= d_2 \sigma - 3d_3 \sigma = D_1 \sigma \end{aligned} \quad (3.5)$$

olarak elde edilir. (3.5) ile verilen formüller σ parantezine alındığında ortaya çıkan kontrol limitleri katsayıları $D_1 = d_2 - 3d_3$, $D_2 = d_2 + 3d_3$ olarak gösterilir. R grafiği çizilirken kitle varyansı σ bilinmiyorken σ_R 'nin tahmin edicisine ihtiyaç duyulur. Kalite değişkeninin Normal dağılıma sahip olduğu varsayımı altında $\hat{\sigma}_R$, $W = \frac{R}{\sigma}$ görel genişliğinin dağılımından bulunabilir. W 'nin standart sapması olan $\sigma_W = d_3$, örneklem hacminin bir fonksiyonudur. Böylece $R = W\sigma$ olduğundan $\sigma_R = d_3 \sigma$ dır. Parametreler bilinmiyorken $\hat{\mu}_R = \bar{R}$ ve $\hat{\sigma}_R = \frac{d_3}{d_2} \bar{R}$ tahmin edicileri kullanılarak R kontrol grafiğinin limitleri,

$$\dot{U}KL_R = \bar{R} + 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} + 3\frac{d_3}{d_2}\bar{R} = D_4\bar{R}$$

$$OC_{\bar{R}} = \bar{R} \quad (3.6)$$

$$AKL_R = \bar{R} - 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} - 3\frac{d_3}{d_2}\bar{R} = D_3\bar{R}$$

olarak elde edilir. (3.6) ile verilen formüller \bar{R} parantezine alındığında ortaya çıkan kontrol limitleri katsayıları

$$D_3 = 1 - 3\frac{d_3}{d_2}, \quad D_4 = 1 + 3\frac{d_3}{d_2} \text{ olarak gösterilir. Bu bölümde}$$

yer alan $d_2, d_3, A_2, D_1, D_2, D_3, D_4$ katsayılarının çeşitli örneklem hacmi (n) için alacağı değerler, Montgomery (1995, sayfa 725)'de verilen Tablo VI'da yer almaktadır [15].

4. ÇARPIKLIK DÜZELTMELİ SHEWHART KALİTE KONTROL GRAFİKLERİNİN OLUŞTURULMASI

Klasik Shewhart kontrol grafiklerinin oluşturulması kalite değişkeninin Normal dağılıma sahip olması varsayımına bağlıdır [15]. Ancak çoğu durumda süreç kalite değişkeninin dağılımı çarpık olabilir ve Normal dağılım varsayımı yapılamaz. Bu durumda I. tip hata olasılığını büyütmeyen uygun diğer yöntemlerle grafik çizmek gerekir. Çarpık bir dağılıma sahip örneklem için klasik Shewhart kontrol grafikleri yerine Cornish-Fisher açılımına dayanan çarpıklık düzeltmesi yöntemi kullanılabilir. Bu bölümde önce örneklemden çarpıklık katsayısı hesaplamak için kullanılacak formüller ve Cornish-Fisher açılımı tanıtılacaktır. Daha sonra da Cornish-Fisher açılımına dayalı çarpıklık düzeltmeli Shewhart kontrol grafiklerinin nasıl çizileceği açıklanacaktır.

4.1 Çarpıklık Katsayısı

Çarpıklık ölçüleri simetrik dağılıma sahip olmayan bir veri setinin Normal dağılımdan hangi düzeyde ve ne yönde uzaklaştığını saptamaya yarayan ölçülerdir. Büyüklüğü çarpıklığın kuvvetini, işareti ise yönünü göstermektedir. Bir dağılımın çarpıklığı hakkında bilgi edinmenin en kolay yolu dağılımın aritmetik ortalamasını, medyanını ve eğer varsa modunu karşılaştırmaktır. Dağılım simetrik ise, $\bar{X} = \text{Medyan} = \text{Mod}$ olacağından çarpıklık katsayısı=0 olur. Dağılım sağa çarpık ise $\text{Mod} < \text{Medyan} < \bar{X}$ olur ve çarpıklık katsayısı>0 dir. Dağılım sola çarpık ise $\bar{X} < \text{Medyan} < \text{Mod}$ olur ve çarpıklık katsayısı<0 dir. Çarpıklık katsayısını belirlemek için Pearson(1895)'in önerdiği $\frac{(\bar{X} - \text{Mod})}{S}$ ve $\frac{3(\bar{X} - \text{Medyan})}{S}$ formüllerinde

yer alan ortalama, ve standart sapma, uç değerlerden çok etkilenen istatistikler olduğu için dağılımın çarpıklığını belirlemek için tercih edilmemektedir. [15, 16]. Bu çalışmada çarpıklık katsayılarının hesaplanmasında Bowley'in çarpıklık katsayısı, Kelly'nin çarpıklık katsayısı

ve momentlere dayanan çarpıklık katsayısı göz önüne alınacaktır.

4.1.1 Çeyrekliklere Dayalı Bowley'in Çarpıklık Katsayısı

MacGillivray (1986)'nin belirttiğine göre Bowley (1901) tarafından önerilen çarpıklık katsayısı formülü çeyrekliklere dayanmaktadır. Çarpıklığın uç değerlerden etkilenmesinin istenmediği durumda kullanılır. Simetrik bir dağılımda birinci çeyreklik ($Q_{0.25}$) ve üçüncü çeyreklik ($Q_{0.75}$) değerinin medyana ($Q_{0.50}$) olan uzaklıklarının birbirine eşit olması fikrine dayalı olan Bowley'in çarpıklık katsayısı

$$k_{3(B)} = \frac{(Q_3 - Q_2) - (Q_2 - Q_1)}{Q_3 - Q_1} \quad (4.1)$$

$$= \frac{Q_3 - 2Q_2 + Q_1}{Q_3 - Q_1}$$

(4.1) eşitliği biçimindedir [16, 17, 18 19]. Ve veri setindeki sadece üç değere (Q_1, Q_2, Q_3) dayanarak hesaplanması zayıf tarafıdır.

4.1.2 Yüzeliklere Dayanan Kelly'nin Çarpıklık Katsayısı

David ve Johnson (1956), Bowley'in çarpıklık katsayısı formülünü geliştirerek

$$k_3 = \frac{Q_{1-\alpha} - 2Q_2 + Q_\alpha}{Q_{1-\alpha} - Q_\alpha} \quad (4.2)$$

ölçüsünü önermişlerdir [20]. (4.2) eşitliği ile verilen formülde $\alpha = 0.1$ alınarak elde edilen çarpıklık katsayısı, Kelly'nin çarpıklık katsayısı olarak anılmaktadır [21]. Dağılımın her iki uç noktasındaki gözlemlerin sadece %10'unu ihmal eden, Q_{10}, Q_{50} ve Q_{90} yüzeliklerine dayanan bir ölçüdür ve

$$k_{3(K)} = \frac{Q_{90} - 2Q_{50} + Q_{10}}{Q_{90} - Q_{10}} \quad (4.3)$$

(4.3) eşitliği biçimindedir. Ve veri setindeki sadece üç değere (Q_{10}, Q_{50}, Q_{90}) dayanarak hesaplanması zayıf tarafıdır [17]

4.1.3 Momentlere Dayalı Çarpıklık Katsayısı

Momentlere dayalı bir çarpıklık katsayısı olan Fisher-Pearson çarpıklık katsayısı

$$k_3^* = \frac{\mu_3}{\sigma^3} = \frac{E(X - \mu)^3}{\left[\sqrt{E(X - \mu)^2}\right]^3} \quad (4.4)$$

(4.4) formülü ile hesaplanır [11, 22]. Simetrik dağılımlar için genelde $\mu_3 = 0$ olduğu için $k_3^* = 0$ olur ve verilerin simetrik bir dağılıma sahip olduğu anlaşılır. Örneklemeden bu çarpıklık katsayısı

$$k_{3(M)} = \frac{1}{nm-3} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{x_{ij} - \bar{x}}{S_{nm}} \right)^3 \quad (4.5)$$

(4.5) eşitliğinde verilen istatistik ile bulunur. Burada,

$$S_{nm} = \sqrt{\frac{1}{nm-1} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x})^2}$$
 örneklem standart sapması

ve $\bar{x} = \frac{1}{nm} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij}$ örneklem ortalamasıdır. Örneklemedeki tüm verileri kullandığı için en hassas çarpıklık ölçüsüdür [17].

Çarpıklık katsayısının önem kontrolü için

H_0 :Kitlenin dağılımı simetriktir.

H_1 :Kitlenin dağılımı simetrik değildir.

hipotezi test edilir. Eğer,

$$\left| \frac{\text{hesaplanan } k_3}{\sqrt{\frac{6nr(nr-1)}{(nr-2)(nr+1)(nr+3)}}} \right| > Z_{\alpha/2} \quad (4.6)$$

(4.6.) eşitliği sağlanır ise H_0 hipotezi α anlam düzeyinde red edilir ve çarpıklık katsayısının önemli olduğu yani dağılımın çarpık olduğu sonucuna varılır. [23].

4.2. Cornish-Fisher açılımı

Çarpıklık düzeltilmesi yöntemi Cornish-Fisher açılımına dayanır. X ortalaması 0, standart sapması 1 olan standartlaştırılmış rasgele değişken olsun. $X(U_\alpha)$, X rasgele değişkeninin dağılımının α yüzdeliği olsun. U_α Standart Normal dağılıma sahip rasgele değişken olsun. k_r , X 'in r . kümülanı ($r \geq 3$) olsun. O zaman

$$\begin{aligned} X(U_\alpha) = & U_\alpha + \frac{1}{6}(U_\alpha^2 - 1)k_3 + \frac{1}{24}(U_\alpha^3 - 3U_\alpha)k_4 \\ & - \frac{1}{36}(2U_\alpha^2 - 5U_\alpha)k_3^2 + \frac{1}{120}(U_\alpha^4 - 6U_\alpha^2 + 3)k_5 \\ & - \frac{1}{24}(U_\alpha^4 - 5U_\alpha^2 + 2)k_3k_4 + \frac{1}{324}(12U_\alpha^4 - 53U_\alpha^2 + 17)k_3^3 \\ & + \frac{1}{720}(U_\alpha^5 - 10U_\alpha^3 + 15U_\alpha)k_6 \\ & - \frac{1}{180}(2U_\alpha^5 - 17U_\alpha^3 + 21U_\alpha)k_3k_5 - \frac{1}{384}(3U_\alpha^5 - 24U_\alpha^3 + 29U_\alpha)k_3^2k_4 \\ & + \frac{1}{288}(14U_\alpha^5 - 103U_\alpha^3 + 107U_\alpha)k_3^2k_4 \\ & - \frac{1}{7776}(252U_\alpha^5 - 1688U_\alpha^3 + 1511U_\alpha)k_3^4 + \dots \end{aligned} \quad (4.7)$$

biçiminde Cornish-Fisher açılımına sahiptir [24]. 3σ sınırları için, $\alpha_1 = 1 - 0.00135 = 0.99865$ ve $\alpha_2 = 1 - \alpha_1 = 1 - 0.99865 = 0.00135$ olarak alınırsa $U_{\alpha_1} = 3$, $U_{\alpha_2} = -3$ bulunarak (4.7) eşitliğinde yerine koyulduğunda $X(U_{\alpha_1})$ ve $X(U_{\alpha_2})$ 'nin Cornish-Fisher açılımı,

$$\begin{aligned} X(U_{\alpha_1}) = & 3 + \frac{4}{3}k_3 + \frac{3}{4}k_4 - \frac{13}{12}k_3^2 \\ & + \frac{1}{4}k_5 - \frac{19}{12}k_3k_4 + \dots \end{aligned} \quad (4.8)$$

$$\begin{aligned} X(U_{\alpha_2}) = & -3 + \frac{4}{3}k_3 - \frac{3}{4}k_4 + \frac{13}{12}k_3^2 \\ & + \frac{1}{4}k_5 - \frac{19}{12}k_3k_4 + \dots \end{aligned} \quad (4.9)$$

olarak elde edilir. (4.8) ve (4.9) eşitlikleri X 'in bir çok kümülanını içeren karmaşık forma sahiptir. Çarpıklık katsayısı k_3 'ün kalite kontrol grafikleri üzerindeki etkisi ile ilgilendiğimizden dolayı

$$X(U_{\alpha_1}) = 3 + \frac{4}{3}k_3 - \frac{13}{12}k_3^2 + Y_1 \quad (4.10)$$

$$X(U_{\alpha_2}) = -3 + \frac{4}{3}k_3 + \frac{13}{12}k_3^2 + Y_2 \quad (4.11)$$

(4.10) ve (4.11) formülleri kullanılır. Burada yer alan Y_1 ve Y_2 terimlerinin pratikte hesaplanması ve kullanılması zor olduğundan kalite kontrol grafiklerinin limitleri

$$\begin{aligned} X(U_{\alpha_1}) = & 3 + \frac{4}{3}k_3 - \frac{13}{12}k_3^2 + Y_1 \\ \approx & 3 + \frac{4}{3}k_3h(k_3) \\ = & \text{ÜKL} \end{aligned} \quad (4.12)$$

$$\begin{aligned}
X(U_{\alpha_2}) &= -3 + \frac{4}{3}k_3 + \frac{13}{12}k_3^2 + Y_2 \\
&\approx -3 + \frac{4}{3}k_3 h(k_3) \\
&= AKL
\end{aligned} \tag{4.13}$$

formülleri ile yaklaşık olarak hesaplanır. Burada yer alan $h(\cdot)$ fonksiyonunun özellikleri, $h(k_3) = -h(k_3)$, $\lim_{k_3 \rightarrow \infty} k_3 h(k_3) = 0$ ve $h(0) = 1$ dir. Chan ve Cui (2003) çalışmalarında basitlik sağlaması için h fonksiyonunu $h(k_3) = \frac{1}{1 + \delta k_3^2}$ biçiminde seçmiştir ve pek çok çarpık dağılım (Weibull, Lognormal, Burr ... gibi) için yapılan simülasyon çalışmalarında δ parametresini 0,2'ye çok yakın bulduklarından dolayı $h(k_3) = \frac{1}{1 + 0.2k_3^2}$ olarak almışlardır. Dolayısıyla kalite kontrol grafiklerinin üst ve alt kontrol limiti

$$\begin{aligned}
\dot{U}KL &= 3 + \frac{\frac{4}{3}k_3}{1 + 0.2k_3^2} \\
AKL &= -3 + \frac{\frac{4}{3}k_3}{1 + 0.2k_3^2}
\end{aligned} \tag{4.14}$$

$$\begin{aligned}
\dot{U}KL &= 3 + \frac{\frac{4}{3}k_3}{1 + 0.2k_3^2} \\
AKL &= -3 + \frac{\frac{4}{3}k_3}{1 + 0.2k_3^2}
\end{aligned} \tag{4.15}$$

biçiminde oluşturulur.

4.3 Çarpıklık Düzeltmesi Yöntemiyle Shewhart Kalite Kontrol Grafiklerinin Oluşturulması

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, ortalaması μ_X , standart sapması σ_X ve çarpıklığı k_3 olarak bilinen dağılımın alt örneklem grubu olsun. Bu durumda Chan ve Cui (2003)'nin önerdiği çarpıklık düzeltmeli \bar{X} ve R kontrol grafiği limitleri

$$\begin{aligned}
\dot{U}KL_{\bar{X}} &= \mu_{\bar{X}} + \left(3 + \frac{\frac{4}{3}k_3(\bar{x})}{1 + 0.2k_3^2(\bar{x})} \right) \sigma_{\bar{X}} \\
OC_{\bar{X}} &= \mu_{\bar{X}} \\
AKL_{\bar{X}} &= \mu_{\bar{X}} + \left(-3 + \frac{\frac{4}{3}k_3(\bar{x})}{1 + 0.2k_3^2(\bar{x})} \right) \sigma_{\bar{X}}
\end{aligned} \tag{4.16}$$

biçimindedir. Çarpıklık düzeltmeli R kontrol grafiği limitleri ise

$$\begin{aligned}
\dot{U}KL_R &= \mu_R + \left(3 + \frac{\frac{4}{3}k_3(R)}{1 + 0.2k_3^2(R)} \right) \sigma_R \\
OC_{\bar{R}} &= \mu_R
\end{aligned} \tag{4.17}$$

$$AKL_R = \mu_R + \left(-3 + \frac{\frac{4}{3}k_3(R)}{1 + 0.2k_3^2(R)} \right) \sigma_R$$

biçimindedir. (4.16) ve (4.17) eşitliklerinde yer alan $k_3(\bar{x})$ ve $k_3(R)$ sırasıyla örneklem ortalaması \bar{x} ve örneklem genişliği R 'nin dağılımının çarpıklık katsayısıdır [6]. \bar{X} kontrol grafiği limitlerinin hesaplanmasında kullanılan $\frac{\frac{4}{3}k_3(\bar{x})}{1 + 0.2k_3^2(\bar{x})}$ formülü c_4^* ile R kontrol grafiği limitlerinin

hesaplanmasında kullanılan $\frac{\frac{4}{3}k_3(R)}{1 + 0.2k_3^2(R)}$ formülü d_4^* ile

gösterilir ve bu sabitler çarpıklık düzeltmesidir. Burada $d_2^* = \frac{\mu_R}{\sigma_X}$, $d_3^* = \frac{\sigma_R}{\sigma_X}$ olmak üzere sırasıyla $\frac{R}{\sigma_X}$ 'in

ortalaması ve standart sapmasıdır. Dolayısıyla $\sigma_X = \frac{\mu_R}{d_2^*}$

ve $\sigma_R = \frac{d_3^*}{d_2^*} \mu_R$ olarak hesaplanır. c_4^*, d_4^*, d_2^* ve d_3^*

sabitleri formülde yerine koyulduğunda çarpıklık düzeltmeli \bar{X} kontrol grafiği limitleri,

$$\begin{aligned}
\dot{U}KL_{\bar{X}} &= \mu_X + (3 + c_4^*) \frac{\sigma_X}{\sqrt{n}} \\
OC_{\bar{X}} &= \mu_X
\end{aligned} \tag{4.18}$$

$$OC_{\bar{X}} = \mu_X$$

$$AKL_{\bar{X}} = \mu_X + (-3 + c_4^*) \frac{\sigma_X}{\sqrt{n}}$$

ve çarpıklık düzeltmeli R kontrol grafiği limitleri,

$$\begin{aligned}
\dot{U}KL_R &= \mu_R + (3 + d_4^*) \sigma_R \\
OC_{\bar{R}} &= \mu_R
\end{aligned} \tag{4.19}$$

$$AKL_R = \mu_R + (-3 + d_4^*) \sigma_R$$

olarak hesaplanır. c_4^* ve d_4^* sabitleri çarpıklık düzeltmesi sabitleridir ve AKL_R negatif ise 0 alınır. Eğer dağılım simetrik ise $c_4^* = 0$ olur ve \bar{X} grafiği Shewhart grafiğinin limitlerine sahip olur [6]. Eğer dağılımın ortalaması ve varyansı bilinmiyorsa kontrol grafiklerinin

oluşturulabilmesi için bu parametrelerin tahmin edicileri kullanılır. Eğer örneklemin alındığı kitlenin çarpıklık katsayısı k_3 ise \bar{X} 'nin dağılımının çarpıklık katsayısı $\frac{k_3}{\sqrt{n}}$ dir. Çarpıklık düzeltmesi yöntemiyle elde edilmeye çalışılan kontrol grafikleri için gerekli katsayılar olan d_2^* ve d_3^* klasik Shewhart kontrol grafikleri için gerekli katsayılar olan d_2 ve d_3 'ün yerine geçer. Bu durumda çarpıklık düzeltmesiyle elde edilen \bar{X} kontrol grafiği limitleri,

$$\begin{aligned} \bar{U}KL_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} + \left(3 + \frac{4k_3 / (3\sqrt{n})}{1 + 0.2k_3^2 / n}\right) \frac{\bar{R}}{d_2^* \sqrt{n}} \\ &= \bar{\bar{X}} + A_U^* \bar{R} \\ O\check{C}_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} \\ AKL_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} + \left(-3 + \frac{4k_3 / (3\sqrt{n})}{1 + 0.2k_3^2 / n}\right) \frac{\bar{R}}{d_2^* \sqrt{n}} \\ &= \bar{\bar{X}} - A_L^* \bar{R} \end{aligned} \tag{4.20}$$

olarak hesaplanır. Burada,

$$\begin{aligned} A_U^* &= \left(3 + \frac{4k_3 / (3\sqrt{n})}{1 + 0.2k_3^2 / n}\right) \frac{1}{d_2^* \sqrt{n}} \\ A_L^* &= \left(-3 + \frac{4k_3 / (3\sqrt{n})}{1 + 0.2k_3^2 / n}\right) \frac{1}{d_2^* \sqrt{n}} \end{aligned} \tag{4.21}$$

dır ve hesaplanan k_3 değerine ve örneklem büyüklüğüne göre A_U^* ve A_L^* sabitlerinin değerleri Tablo 1'den okunur [6]. d_2^* sabitinin değerleri Chan ve Cui (2003,s.564)'de yer almaktadır. Eğer hesaplanan k_3 değeri tabloda yer

almıyorsa A_U^* ve A_L^* sabitleri

$$P_1(x) = \frac{x-x_1}{x_0-x_1} f(x_0) + \frac{x-x_0}{x_1-x_0} f(x_1) \tag{4.22}$$

(4.22) eşitliği ile verilen interpolasyon formülü ile hesaplanır [25]. Örneğin $n=5$ iken $k_3=1.2$ olarak hesaplanırsa, A_U^* değerinin 0.74, A_L^* değerinin 0.46 olduğu görülmektedir. Eğer $k_3=1.2$ olarak hesaplanırsa, A_U^* değeri 0.46, A_L^* değeri 0.74 olur. Yine $n=5$ iken $k_3=1.35$ olarak hesaplanırsa A_U^* ve A_L^* sabitlerinin değerleri (4.22) eşitliğindeki interpolasyon formülü kullanılarak

$$\begin{aligned} A_U^* &= \frac{1.35-1.6}{1.2-1.6} 0.74 + \frac{1.35-1.2}{1.6-1.2} 0.79 = 0.75875 \\ A_L^* &= \frac{1.35-1.6}{1.2-1.6} 0.46 + \frac{1.35-1.2}{1.6-1.2} 0.44 = 0.4525 \end{aligned}$$

olarak hesaplanır. Çarpıklık düzeltmesi yöntemine dayalı R kontrol grafiği limitleri

$$\begin{aligned} \bar{U}KL_R &= \left[1 + (3 + d_4^*) \frac{d_3^*}{d_2^*}\right] \bar{R} = D_4^* \bar{R} \\ O\check{C}_R &= \bar{R} \\ AKL_R &= \left[1 + (-3 + d_4^*) \frac{d_3^*}{d_2^*}\right] \bar{R} = D_3^* \bar{R} \end{aligned} \tag{4.23}$$

olarak hesaplanır. Çarpık dağılımlar için D_4^* ve D_3^* sabitlerinin değerleri aşağıda yer alan Tablo 2'de, verilmiştir [6].

Tablo 1. Çarpıklık düzeltmeli \bar{X} kontrol grafiği sabitleri A_U^* ve A_L^*

	n=2		n=3		n=4		n=5		n=7		n=10	
k_3	A_U^*	A_L^*	A_U^*	A_L^*	A_U^*	A_L^*	A_U^*	A_L^*	A_U^*	A_L^*	A_U^*	A_L^*
0.0	1.88	1.88	1.03	1.03	0.73	0.73	0.58	0.58	0.42	0.42	0.31	0.31
0.4	2.14	1.67	1.13	0.92	0.82	0.69	0.63	0.53	0.45	0.39	0.33	0.29
0.8	2.37	1.47	1.25	0.84	0.87	0.61	0.68	0.50	0.48	0.37	0.35	0.28
1.2	2.61	1.32	1.37	0.77	0.95	0.57	0.74	0.46	0.52	0.35	0.37	0.26
1.6	2.83	1.22	1.49	0.72	1.03	0.54	0.79	0.44	0.56	0.33	0.39	0.25
2.0	3.02	1.15	1.60	0.68	1.10	0.51	0.85	0.42	0.59	0.32	0.42	0.25
2.4	3.19	1.12	1.69	0.65	1.18	0.49	0.91	0.40	0.63	0.30	0.44	0.23
2.8	3.32	1.13	1.78	0.64	1.24	0.47	0.95	0.39	0.66	0.29	0.46	0.22
3.2	3.45	1.16	1.86	0.64	1.29	0.47	1.00	0.38	0.69	0.29	0.48	0.22
3.6	3.52	1.20	1.92	0.65	1.34	0.47	1.04	0.37	0.72	0.28	0.50	0.21
4.0	3.59	1.52	1.97	0.66	1.39	0.47	1.07	0.37	0.75	0.27	0.51	0.21

Tablo 2. Çarpıklık düzeltilmeli R kontrol grafiği sabitleri D_4^* ve D_3^*

k_3	$n=2$		$n=3$		$n=4$		$n=5$		$n=7$		$n=10$	
	D_4^*	D_3^*	D_4^*	D_3^*	D_4^*	D_3^*	D_4^*	D_3^*	D_4^*	D_3^*	D_4^*	D_3^*
0.0	4.12	0.00	2.93	0.00	2.53	0.00	2.30	0.10	2.06	0.24	1.88	0.35
0.4	4.21	0.00	3.06	0.00	2.69	0.01	2.40	0.14	2.16	0.27	1.98	0.38
0.8	4.41	0.00	3.28	0.00	2.85	0.07	2.61	0.17	2.36	0.29	2.17	0.39
1.2	4.70	0.00	3.58	0.00	3.13	0.09	2.88	0.17	2.61	0.28	2.41	0.37
1.6	5.03	0.00	3.90	0.00	3.44	0.07	3.17	0.15	2.88	0.26	2.65	0.34
2.0	5.32	0.00	4.20	0.00	3.71	0.03	3.44	0.11	3.13	0.21	2.90	0.28
2.4	5.60	0.00	4.46	0.00	3.97	0.00	3.69	0.06	3.37	0.16	3.11	0.24
2.8	5.85	0.00	4.71	0.00	4.21	0.00	3.92	0.05	3.58	0.11	3.31	0.19
3.2	6.09	0.00	4.93	0.00	4.42	0.00	4.13	0.00	3.78	0.00	3.50	0.14
3.6	6.27	0.00	5.12	0.00	4.61	0.00	4.31	0.00	3.96	0.00	3.67	0.09
4.0	6.44	0.00	5.30	0.00	4.79	0.00	4.48	0.00	4.11	0.00	3.81	0.04

Eğer hesaplanan k_3 değeri tabloda yer almıyorsa interpolasyon uygulanır. Örneğin $n=7$ iken $k_3 = 2.8$ olarak hesaplanırsa, D_4^* değerinin 3.58, D_3^* değerinin 0.11 olduğu görülmektedir. Yine $n=7$ iken $k_3 = 2.45$ olarak hesaplanırsa D_4^* ve D_3^* sabitlerinin değerleri

$$D_4^* = \frac{2.45 - 2.8}{2.4 - 2.8} 3.37 + \frac{2.45 - 2.4}{2.8 - 2.4} 3.58 = 3.39625 \quad (4.24)$$

$$D_3^* = \frac{2.45 - 2.8}{2.4 - 2.8} 0.11 + \frac{2.45 - 2.4}{2.8 - 2.4} 0.16 = 0.11625$$

olarak (4.22)'de gösterilen interpolasyon formülü ile hesaplanır.

5. UYGULAMA

Bu bölümde Weibull dağılımına sahip örneklem için çarpıklık düzeltmesine dayalı Shewhart kontrol grafiklerinin uygulaması yapılacaktır. Farklı çarpıklık katsayısı formülleri için çizilen kontrol grafikleri I. tip hata, OÇU ve standart hata kriterlerine göre Monte Carlo simülasyon metodu ile karşılaştırılacaktır. Uygulamada Microsoft Excel ve R programı kullanılmıştır. Bu kısımda verilen uygulama Handan Özarslan'ın "Çarpık Dağılımlar için Shewhart Kontrol Grafikleri" başlıklı Yüksek Lisans tezinden hazırlanmıştır.

5.1. Weibull Dağılımı

$\lambda > 0$ konum parametrelisi, $\alpha > 0$ ölçek parametrelisi ve $\beta > 0$ şekil parametrelisi Weibull dağılımına sahip X rasgele değişkenini göstermek için $X \sim \text{Weibull}(\lambda, \alpha, \beta)$ gösterimi kullanılır. Bu dağılıma sahip X rasgele değişkeninin olasılık yoğunluk fonksiyonu,

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\lambda}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-\lambda}{\alpha} \right)^\beta}, x > \lambda \quad (5.1)$$

biçimindedir. Weibull dağılımı yaşam analizinde, güvenilirlikte ve kalite kontrolünde çok karşılaşılan bir dağılımdır. Örneğin, bir ürünün ömrünü veya bir hizmetin süresini, bir seramik malzemenin kırılma veya bir ipin kopma mukavamentini değerlendirmek için kullanılabilir.

Weibull(0, α , 1) olduğunda dağılım Üstel dağılım,

Weibull(0, α , 2) olduğunda ise dağılım standart Rayleigh dağılımı olur. Weibull dağılımına sahip X rasgele değişkeninin sırasıyla birikimli dağılım fonksiyonu ve bu fonksiyonun tersi

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-\lambda}{\alpha} \right)^\beta}, x > \lambda \quad (5.2)$$

$$F^{-1}(p) = \lambda + \alpha \left[\ln \left(\frac{1}{1-p} \right) \right]^{1/\beta} \quad (5.3)$$

biçimindedir. (5.3) eşitliğinde $p \in (0,1)$ dir. Weibull dağılımına sahip X rasgele değişkeninin medyanı, n . dereceden merkezi momenti, beklenen değeri, ve varyansı,

$$\text{Medyan} = \lambda + \alpha (\ln 2)^{1/\beta} \quad (5.4)$$

$$E(X^n) = \lambda + \alpha^n \Gamma \left(\frac{n+\beta}{\beta} \right) \quad (5.5)$$

$$E(X) = \mu = \lambda + \alpha \Gamma \left(\frac{1+\beta}{\beta} \right)$$

$$V(X) = \sigma^2 = \alpha^2 \left(\Gamma \left(\frac{\beta+2}{\beta} \right) - \Gamma^2 \left(\frac{\beta+1}{\beta} \right) \right) \quad (5.6)$$

dır. Bowley'in çarpıklık katsayısı

$$k_{3(B)} = \frac{(\ln(4))^{1/\beta} - 2(\ln(2))^{1/\beta} + \left(\ln\left(\frac{4}{3}\right)\right)^{1/\beta}}{(\ln(4))^{1/\beta} - \left(\ln\left(\frac{4}{3}\right)\right)^{1/\beta}} \quad (5.7)$$

Kelly'nin çarpıklık katsayısı

$$k_{3(K)} = \frac{(\ln(10))^{1/\beta} - 2(\ln(2))^{1/\beta} + \left(\ln\left(\frac{10}{9}\right)\right)^{1/\beta}}{(\ln(10))^{1/\beta} - \left(\ln\left(\frac{10}{9}\right)\right)^{1/\beta}} \quad (5.8)$$

ve momentlere dayalı çarpıklık katsayısı

$$E\left(\frac{X-\mu}{\sigma}\right)^3 = \frac{E(X^3) - 3\mu E(X^2) + 3\mu^2 E(X) - \mu^3}{\sigma^3}$$

$$= \frac{E(X^3) - 3\mu\sigma^2 - \mu^3}{\sigma^3} \quad (5.9)$$

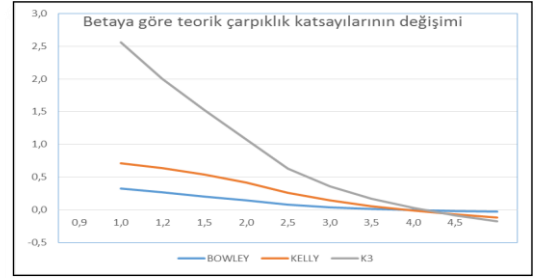
$$= \frac{\Gamma\left(\frac{\beta+3}{\beta}\right) - 3\Gamma\left(\frac{\beta+1}{\beta}\right)\Gamma\left(\frac{\beta+2}{\beta}\right) + 2\Gamma^3\left(\frac{\beta+1}{\beta}\right)}{\left(\Gamma\left(\frac{\beta+2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(\frac{\beta+1}{\beta}\right)\right)^{3/2}}$$

dır. (5.7)-(5.9) eşitliklerinden görüleceği gibi Weibull dağılımının çarpıklık katsayısı sadece β parametresine bağlıdır. Buna göre β parametresinin farklı değerleri için hesaplanan çarpıklık katsayıları Tablo 3.'de verilmiştir

Tablo 3. Weibull dağılımının farklı β değerleri için çarpıklık katsayıları hesaplamaları

β	Bowley'in çarpıklık katsayısı	Kelly'nin çarpıklık katsayısı	Momentlere dayanan çarpıklık katsayısı
0.85	0.32318	0.71312	2.56009
1	0.26186	0.63479	2.00000
1.2	0.20161	0.53945	1.52113
1.5	0.13948	0.41682	1.07199
2	0.07591	0.25831	0.63111
2.5	0.03727	0.14134	0.35863
3	0.01138	0.05239	0.16810
3.5	-0.00716	-0.01721	0.02511
4	-0.02109	-0.07301	-0.08724
4.5	-0.03192	-0.11869	-0.17838

ve grafik biçiminde



Şekil 1. β parametresine göre çarpıklık katsayısı değişimi grafiği

Şekil 1.'de gösterilmiştir. Weibull dağılımında farklı β değerlerine göre çarpıklık katsayılarına bakıldığında, β değeri arttıkça her üç çarpıklık katsayısının da azaldığı görülmektedir. β parametresi 3 ile 3,5 arasında değerler aldığımda Weibull dağılımının çarpıklık katsayısı da sıfıra yakın değerler almaktadır ve Normal dağılıma yaklaşmaktadır.

5.2 Weibull Dağılımı için Kontrol Grafikleri ve I. Tip Hataların Karşılaştırılması

Bu kesimde bilinmeyen çarpıklık katsayısının tahmini için kullanılan tahmin edicilerin kontrol grafiği performansı üzerindeki etkileri Monte-Carlo simülasyon çalışması ile incelenecektir.

Uygulamada Weibull dağılımı için çarpıklık sadece β şekil parametresine bağlı olduğundan, konum parametresi $\lambda = 0$ ve ölçek parametresi $\alpha = 1$ olarak seçilmiştir. Şekil 1 göz önünde bulundurularak $\beta = 0.85, 1.2, 3.5$ değerleri için dağılım fonksiyonu tekniği kullanılarak $n=3, 4, 5, 7$ ve $m=18$ seçilerek Weibull dağılımından sayılar üretilmiştir. Bu çalışmada yer alan (4.1)-(4.5) eşitlikleri ile verilen çarpıklık katsayısı formüllerinden elde edilen (5.7)-(5.9) tahminleri kullanılarak oluşturulan kontrol grafikleri için değişen n ve β değerlerine göre I. tip hata olasılıkları ve $OÇU$ hesaplanmıştır. Bu işlemler 1000 kez tekrar edilmiştir. \bar{X} kontrol grafiği için yapılan simülasyon çalışması sonuçları Tablo 4.'de R kontrol grafiği için yapılan simülasyon çalışması sonuçları ise Tablo 5.'de verilmiştir [26].

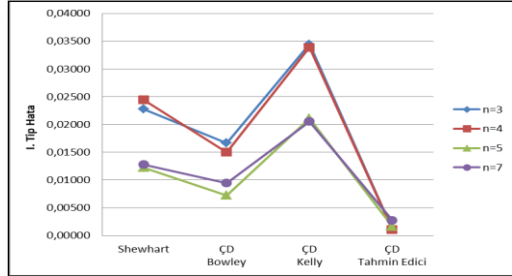
5.2.1 Çarpıklık katsayılarına göre \bar{X} Kontrol grafiği performanslarının karşılaştırması

\bar{X} kontrol grafiği için Bowley'in çarpıklık katsayısı, Kelly'nin çarpıklık katsayısı, ve momentlere dayanan çarpıklık katsayısı kullanılarak çarpıklık düzeltmeli Shewhart kontrol grafiklerinin limitleri hesaplanmıştır ve simülasyon çalışması yapılarak I. tip hata olasılıkları ve ortalama çalışma uzunlukları Tablo 4.'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Weibull dağılımı için çarpıklık katsayılarına göre \bar{X} kontrol grafiği performanslarının karşılaştırması için hesaplanan I. tip hata ve OÇU değerleri

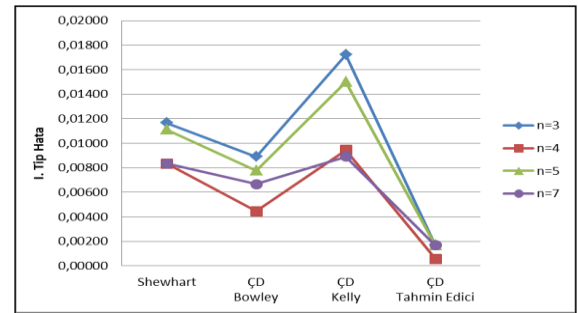
β	n	Bowley'in Çarpıklık Katsayısı		Kelly'nin Çarpıklık Katsayısı		Momentlere dayalı hesaplanan Çarpıklık Katsayısı		Klasik Shewhart Yöntemi	
		I. Tip Hata	OÇU	I. Tip Hata	OÇU	I. Tip Hata	OÇU	I. Tip Hata	OÇU
0.85	3	0.01667	60.00	0.03444	29.03	0.00111	900	0.02278	43.90
	4	0.01500	66.67	0.03389	29.51	0.00111	900	0.02444	40.91
	5	0.00722	138.46	0.02111	47.37	0.00167	600	0.01222	81.82
	7	0.00944	105.88	0.02056	48.65	0.00278	360	0.01278	78.26
1.2	3	0.00889	112.50	0.01722	58.06	0.00167	600	0.01167	85.71
	4	0.00444	225.00	0.00944	105.88	0.00056	1800	0.00833	120.00
	5	0.00778	128.57	0.01500	66.67	0.00167	600	0.01111	90.00
3.5	7	0.00667	150.00	0.00889	112.50	0.00167	600	0.00833	120.00
	3	0.01444	69.23	0.01778	56.25	0.01556	64	0.01778	56.25
	4	0.01056	94.74	0.01278	78.26	0.00833	120	0.01333	75.00
	5	0.00889	112.50	0.01000	100.00	0.00889	113	0.01000	100.00
	7	0.00833	120.00	0.01167	85.71	0.00667	150	0.11722	8.53

Momentlere dayalı hesaplanan çarpıklık katsayısı ile oluşturulan çarpıklık düzeltmesinin I. tip hata olasılıklarının daha düşük olduğu görülmektedir. $\beta = 0.85$, 1.2, 3.5 parametrelerinin her biri için farklı n değerlerine göre hesaplanıp Tablo 4.'de belirtilen I. tip hata olasılıkları Şekil 2., Şekil 3. ve Şekil 4.'de grafik üzerinde gösterilmiştir.

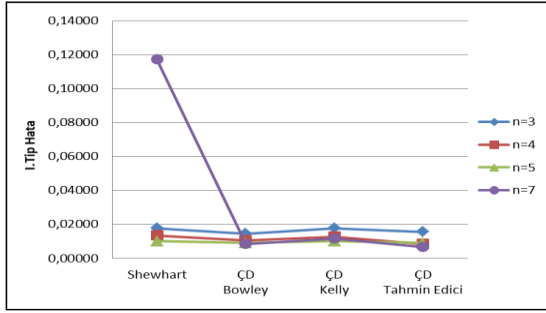
**Şekil 2.** $\beta = 0.85$ için Weibull dağılımı \bar{X} kontrol grafiği için I. tip hata olasılıkları grafiği

Şekil 2.'de, $n=3, 4, 5, 7$ olduğunda $\beta = 0.85$ parametrelili Weibull dağılımının \bar{X} kontrol grafiklerinde Kelly'nin çarpıklık katsayısı $k_{3(K)}$ ile oluşturulan çarpıklık düzeltmesi yönteminin I. tip hata olasılığının yüksek olduğu ve yine aynı koşullarda momentlere dayanan

çarpıklık katsayısı k_3^* ile oluşturulan çarpıklık düzeltmesi yönteminin ise en küçük I. tip hataya sahip olduğu gözlenmektedir.

**Şekil 3.** $\beta = 1.2$ için Weibull dağılımı \bar{X} kontrol grafiği için I. tip hata olasılıkları grafiği

Şekil 3.'de, $n=3, 4, 5, 7$ olduğunda $\beta = 1.2$ parametrelili Weibull dağılımının \bar{X} kontrol grafiklerinde Kelly'nin çarpıklık katsayısı $k_{3(K)}$ ile oluşturulan çarpıklık düzeltmesi yönteminin I. tip hata olasılığının yüksek olduğu ve yine aynı koşullarda momentlere dayanan çarpıklık katsayısı k_3^* ile oluşturulan çarpıklık düzeltmesi yönteminin ise en küçük I. tip hataya sahip olduğu gözlenmektedir.



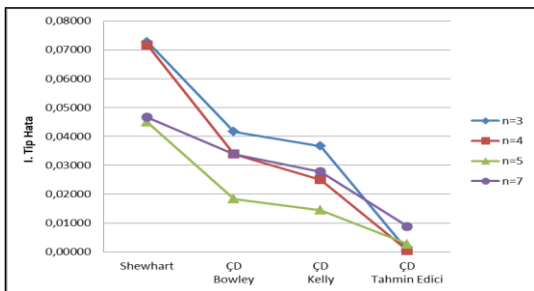
Şekil 4. $\beta = 3.55$ için Weibull Dağılımı \bar{X} kontrol grafiği için I. tip hata olasılıkları grafiği

Şekil 4.'de, $n=3, 4, 5, 7$ olduğunda $\beta = 3.55$ parametrelili Weibull dağılımının \bar{X} kontrol grafiklerinde klasik Shewhart yönteminin I. tip hata olasılığının yüksek olduğu

Tablo 5. Weibull dağılımı için çarpıklık katsayılarına göre R Kontrol grafiği performanslarının karşılaştırması için hesaplanan I. tip hata ve OÇU değerleri

β	n	Bowley'in Çarpıklık Katsayısı		Kelly'nin Çarpıklık Katsayısı		Momentlere dayalı hesaplanan Çarpıklık Katsayısı		Klasik Shewhart Yöntemi	
		I. Tip Hata	OÇU	I. Tip Hata	OÇU	I. Tip Hata	OÇU	I. Tip Hata	OÇU
0.85	3	0.04167	24	0.03667	27.27	0.00056	1800	0.07278	13.74
	4	0.03389	29.51	0.02500	40	0.00056	1800	0.07167	13.95
	5	0.01833	54.55	0.01444	69.23	0.00278	360	0.04500	22.22
	7	0.03389	29.51	0.02778	36	0.00889	112.5	0.04667	21.43
1.2	3	0.01111	90	0.00722	138.46	0.00056	1800	0.03444	29.03
	4	0.00667	150	0.00667	150	0.00167	600	0.03333	30
	5	0.01889	52.94	0.01667	60	0.00222	450	0.04889	20.45
	7	0.03889	25.71	0.03500	28.57	0.00111	900	0.06056	16.51
3.5	3	0.00278	450	0.00222	360	0.00167	600	0.01000	100
	4	0.00056	1800	0.00056	1800	0.00056	1800	0.01111	90
	5	0.00111	900	0.00111	900	0.00111	900	0.00667	150
	7	0.00111	900	0.00111	900	0.00056	1800	0.00611	163.64

Yöntemlerin I. tip hataları arasındaki farkın R kontrol grafiklerinde daha belirgin olduğu görülmektedir. $\beta = 0.85, 1.2, 3.5$ parametrelerinin her biri için farklı n değerlerine göre hesaplanıp Tablo 5.'de belirtilen I. tip hata olasılıkları Şekil 5., Şekil 6. ve Şekil 7.'de grafik üzerinde gösterilmiştir.



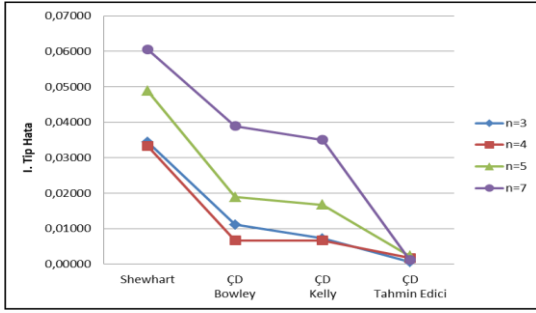
Şekil 5. $\beta = 0.85$ için Weibull dağılımı R kontrol grafiği için I. tip hata olasılıkları grafiği

ve yine aynı koşullarda Bowley'in çarpıklık katsayısı $k_{3(B)}$, Kelly'nin çarpıklık katsayısı $k_{3(K)}$ ve momentlere dayanan çarpıklık katsayısı k_3^* ile oluşturulan çarpıklık düzeltmesi yöntemlerinin ise birbirlerine yakın ve Shewhart yönteminden daha küçük I. tip hataya sahip olduğu gözlenmektedir [26].

5.2.2 Çarpıklık katsayılarına göre R Kontrol grafiği performanslarının karşılaştırması

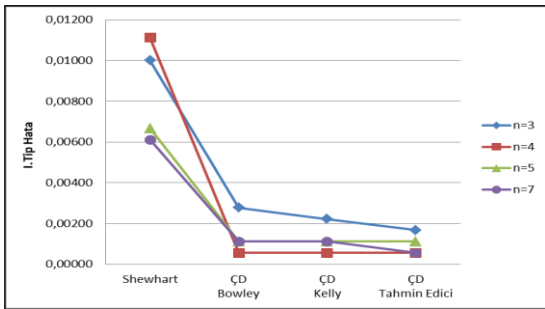
R kontrol grafiği için Bowley'in çarpıklık katsayısı, Kelly'nin çarpıklık katsayısı, ve momentlere dayanan çarpıklık katsayısı kullanılarak çarpıklık düzeltmeli Shewhart kontrol grafiklerinin limitleri hesaplanmıştır ve simülasyon çalışması yapılarak I. tip hata olasılıkları ve ortalama çalışma uzunlukları Tablo 5.'de gösterilmiştir.

Şekil 5.'de, $n=3, 4, 5, 7$ olduğunda $\beta = 0.85$ parametrelili Weibull dağılımının R kontrol grafiklerinde klasik Shewhart yönteminin I. tip hata olasılığının yüksek olduğu, Bowley'in çarpıklık katsayısı $k_{3(B)}$ ile oluşturulan çarpıklık düzeltmesi yönteminin Shewhart yönteminden, Kelly'nin çarpıklık katsayısı $k_{3(K)}$ ile oluşturulan çarpıklık düzeltmesi yönteminin ise Bowley'in yönteminden daha düşük I. tip hataya sahip olduğu gözlenmektedir. Yine aynı koşullarda momentlere dayanan çarpıklık katsayısı k_3^* ile oluşturulan çarpıklık düzeltmesi yönteminin ise I. tip hata olasılığı çok düşüktür.



Şekil 6. $\beta = 1,2$ için Weibull dağılımı R kontrol grafiği için I. tip hata olasılıkları grafiği

Şekil 6.'de, $n=3, 4, 5, 7$ olduğunda $\beta = 1.2$ parametrelili Weibull dağılımının R kontrol grafiklerinde klasik Shewhart yönteminin I. tip hata olasılığının yüksek olduğu, Bowley'in çarpıklık katsayısı $k_{3(B)}$ ile oluşturulan çarpıklık düzeltmesi yönteminin Shewhart yönteminden, Kelly'nin çarpıklık katsayısı $k_{3(K)}$ ile oluşturulan çarpıklık düzeltmesi yönteminin ise Bowley'in yönteminden daha düşük I. tip hataya sahip olduğu gözlenmektedir. Yine aynı koşullarda momentlere dayanan çarpıklık katsayısı k_3^* ile oluşturulan çarpıklık düzeltmesi yönteminin ise I. tip hata olasılığı çok düşüktür.



Şekil 7. $\beta = 3.5$ için Weibull dağılımı R kontrol grafiği için I. tip hata olasılıkları grafiği

Şekil 7.'de, $n=3, 4, 5, 7$ olduğunda $\beta = 3.55$ parametrelili Weibull dağılımının R kontrol grafiklerinde klasik Shewhart yönteminin I. tip hata olasılığının yüksek olduğu ve yine aynı koşullarda Bowley'in çarpıklık katsayısı $k_{3(B)}$, Kelly'nin çarpıklık katsayısı $k_{3(K)}$ ve momentlere dayanan çarpıklık katsayısı k_3^* ile oluşturulan çarpıklık düzeltmesi yöntemlerinin ise birbirlerine yakın ve Shewhart yönteminden daha küçük I. tip hataya sahip olduğu gözlenmektedir [26].

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Normal dağılıma sahip olmayan bir örneklem için klasik Shewhart yöntemi kullanıldığında süreç kontrol altındayken kontrol sınırları dışına çıkan nokta sayısı çarpıklık

düzeltilmesi yöntemine göre çok daha fazladır. Dağılım çarpık olduğunda Shewhart kontrol grafiğinin I. tip hata olasılığı oldukça yüksektir ve diğer yöntemlerle oluşturulan grafiklere göre kötü bir performansa sahiptir.

I. tip hata olasılıkları örneklem büyüklüklerine göre farklılık göstermemektedir. Bowley'in çarpıklık katsayısı $k_{3(B)}$, Kelly'nin çarpıklık katsayısı $k_{3(K)}$ ve momentlere dayanan çarpıklık katsayısı k_3^* ile hesaplanan çarpıklık düzeltmesi yöntemlerinden k_3^* ile hesaplanan çarpıklık düzeltmesi yöntemi en iyi performansa sahiptir. k_3^* , verilerin hepsi kullanılarak hesaplandığından uç değerlerden etkilenen bir çarpıklık katsayısıdır. Üç değerler çarpıklık katsayısı değerini artırmaktadır. $k_{3(B)}$ ve $k_{3(K)}$ çarpıklık katsayıları uç değerlerden etkilenmediğinden çarpıklık düzeltmesi yönteminde düşük bir performansa sahip olmaktadır. Üç değere duyarlı çarpıklık katsayısı ile oluşturulan çarpıklık düzeltmesi yönteminin I. tip hata olasılığının daha düşük olduğu yani daha iyi sonuç verdiği gözlenmektedir.

Klasik Shewhart yöntemine en yakın sonuçları Bowley'in çarpıklık katsayısı $k_{3(B)}$ ile hesaplanan çarpıklık düzeltmesi yöntemi vermiştir. Kelly'nin çarpıklık katsayısı $k_{3(K)}$ ile hesaplanan çarpıklık düzeltmesi yönteminin I. tip hatasının Bowley'in çarpıklık katsayısı $k_{3(B)}$ ile hesaplanan çarpıklık düzeltmesi yöntemine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu nedenle Weibull dağılımına sahip veriler için çizilecek olan \bar{X} kontrol grafiğinde çarpıklık katsayısının hesaplanmasında Kelly'nin formülünün kullanılmasını önerilir.

Buradan görülmektedir ki kalite kontrol grafikleri çizilirken, örneklemin geldiği kitlenin dağılımı, örneklem hacmi, çarpıklık katsayısının hangi yöntemle hesaplanacağı kritik karardır. Kalite kontrol grafikleri çizilirken genelde örneklem hacmi büyük tutulmakta, merkezi limit teoreminden faydalanılmakta ve Normal dağılım varsayımı yapılmaktadır. Halbuki maliyeti yüksek olan ve tahribatlı muayene edilen ürünlerin kalite kontrolünde küçük örneklem ile çalışıldığından dolayı bu varsayımlar sağlanmayabilir. Dolayısıyla Normal dağılıma sahip olmayan (hatta ciddi derecede çarpıklığı olan bir dağılıma sahip olan) örneklemin kalite değişkenlerinin denetiminin bu çalışmada önerilen çarpıklık düzeltmesi yöntemine dayanan kontrol grafikleri ile yapılması işletmelere önerilir.


KAYNAKÇA

- [1] Ş. Şenol, İstatistiksel Kalite Kontrol, Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık, , 2012.
- [2]T. Özdemir, İstatistiksel Kalite Kontrol, A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları No: 62, 2000.
- [3] W. A Shewhart. "Quality control charts." The Bell System Technical Journal vol.5, no 4, pp. 593-603, 1926.

- [4] D. S. Bai, I. S. Choi, “ \bar{X} and R control charts for skewed population”, *Journal of Quality Tecnology*, 27(2), 305-701, 1995.
- [5] Y. S. Chang, D. S. Bai, “Control charts for positively-skewed populations with weighted wtandard deviations”, *Quality and Reliabilite Engineering İnternational*, 17(5), 397-406, 2001.
- [6] L K. Chan, H. J. Cui, “Skewness correction \bar{X} and R charts for skewed distributions”, *Naval Research Logistics*, 50, 1-19, 2003.
- [7] B. Kan, B. Yazıcı, “The Individualls Control Charts for Burr Distributed Data”, *Proceedings of the 9th WSEAS Interntional Conference on Applied Mathematics*, 645-649, 2006.
- [8] B. Yazıcı, B. Kan, “Asymmetric control limits for small samples”, *Qual Quant*, 43, 865-874, 2009.
- [9] D. Karagöz, C. Hamurkaroğlu., “Control charts for skewed distributions: Weibull, Gamma, and Lognormal”, *Metolodoloski Zvezki*, 9(2), 95-106, 2012.
- [10] B. Srinivasa Rao, R. R. L. Kantam, “Mean and range charts for skewed distributions—a comparison based on half logistic distribution”, *Pakistan Journal of Statistics*, 28(4), 2012.
- [11] M. C. Priya, R. R. Kantam, “Variable control charts-linear failure rate distribution”, 13(4), 715-726, 2017.
- [12] Karagöz, D., “Robust \bar{X} control chart for monitoring the skewed and contaminated process. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 47(1), 223-242,2018.
- [13] N. Turhan, N., S.Y. Öncel, “Süreç ortalamasının izlenmesi için sıra istatistiklerine dayalı kalite kontrol kartları”, *İstatistikçiler Dergisi: İstatistik ve Aktüerya*, 12(2), 72-89,2019.
- [14] Birgören, B., *İstatistiksel Kalite Kontrolü*, Nobel Yayınevi, Ankara, 2.Baskı, 2017.
- [15] Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*, New York, John Wiley & Sons, 1995.
- [16] K. Pearson, “Contributions to the mathematical theory of evolution II. Skew variation in homogeneous material”, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A*, 186, 343–414, 1895.
- [17].M. F.Hossain, M.A.S.A Adnan, A new approach to determine the asymmetry of a distribution, pp 127-134, in *Applied Statistics Research Progress*, Editor M. Ahsanullah, New York Nova Science Publishers, 2007.
- [18] H. L. MacGillivray, “Skewness and asymmetry: measures and orderings”. *The Annals of Statistics*, 14(3), 994-1011, 1986.
- [19] A. L. Bowley, *Elements of Statistics*. New York: Charles Scribner’s Sons, 1901.
- [20] F. N. David, N. Johnson, "Some tests of significance with ordered variables." *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)* 18.1, 1-31, 1956.
- [21] P. K. Mohanty, S. K. Patel, *Basic Statistics*, Scientific Publishers, 2016.
- [22] D. P. Doane, L. E. Seward, “Measuring skewness: a forgotten statistic?”, *Journal of Statistics Education*, 19(2), 2011.
- [23] P. R. Tadikamalla, D. G. Popescu, “Kurtosis correction metod for \bar{X} and R control charts for long-tailed symmetrical distributions”, *Naval Research Logistics*, 54(4), 371-383, 2007.
- [24] E. A. Cornish, R. A Fisher, “ Moments and cumulants in the specification of distributions”, *Revue de l'Institut international de Statistique*, 307-320, 1938.
- [25] Öztürk, F., *Polinom İnterpolasyonu*, Sayısal Analiz ders notu, Ankara Üniversitesi, URL: <http://80.251.40.59/science.ankara.edu.tr/ozturk/Dersler/ist310/Ders3/interpolasyon.pdf> (Erişim zamanı: Ocak, 31, 2020).
- [26] Özarslan, Handan, “Çarpık Dağılımlar için Shewhart Kontrol Grafikleri”, *Yüksek Lisans Tezi*, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, Kırıkkale, 2018.

Ortoper Bulanık Kümelerle Bir Karar Verme Yaklaşımı: Ortoper Bulanık TOPSIS Metodu

*¹Elif Doğu

¹Galatasaray Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Çırağan Cad. No:36 Ortaköy, Beşiktaş, İstanbul, Türkiye,
edogu@gsu.edu.tr, 

Research Paper

Arrival Date: 12.09.2019

Accepted Date: 08.09.2020

Öz

Tıbbi karar verme, son yıllarda mühendisler için önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Doktorlar daha çok istatistiksel araçlar kullandıklarından, tıbbi kararlarda çok kriterli karar verme modeli kurmak oldukça zordur. Bu noktada bulanık karar destek sistemleri, doktorlara görüşlerini sözel terimlerle ifade etme fırsatı sunar. Ortoper bulanık setlerin kullanılması ise karar vericilerin yani doktorların, tereddütlerini ifade etmeleri konusunda bulanık setler arasında en yüksek esnekliği sağlar. Bu çalışmada akut atak şikayeti ile hastaneye başvuran KOAH hastalarının hastane yatış sürelerinin sıralanması için Ortoper Bulanık TOPSIS (OFTOPSIS) metodu önerilmiştir. Bu yöntem doktorların tereddütlerini sözel terimlerle ifade etmede en yüksek esnekliği sağlarken, hastaların durumunu önceden doktorlar tarafından belirlenmiş kriterlere göre değerlendirir. Çalışmanın literature katkısı ilk kez OFTOPSIS metodunu geliştirmek ve tıbbi bir problemde uygulamasını yaparak faydasını göstermektir. Gerçek sıralama ve metot tarafından bulunan sıralama, pozitif bir ilişki varlığını gözlemek için Spearman korelasyon katsayısı kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ortoper Bulanık Setler, Çok kriterli karar verme, tıbbi karar verme, hastane yatış süresi

A Decision-Making Approach with Q-Rung Orthopair Fuzzy Sets: Orthopair Fuzzy TOPSIS Method

*¹Elif Doğu

¹Galatasaray University, Industrial Engineering Dept., Ciragan Cad. No:36 Ortakoy, Besiktas, Istanbul, Turkey,
edogu@gsu.edu.tr

Abstract

Medical decision-making has recently become a crucial research area due to its outputs related to the continuity of human life. Since the physicians used to employ statistical tools for a number of years, constructing a multi-attribute decision framework is quite difficult. In general, fuzzy decision aid systems provide flexibility to the physicians enabling them to express their opinions using linguistic variables. Moreover, orthopair fuzzy numbers allows the decision makers to represent their hesitations while providing linguistic data in both uncertain and hesitant environment. This paper proposes orthopair fuzzy TOPSIS (OFTOPSIS) methodology in order to rank the length of hospital stay of chronic obstructive pulmonary disease patients, who admitted to a chest diseases hospital with an acute exacerbation. The proposed method provides maximum flexibility to the physicians for expressing their hesitations to the system modelers, while assessing patients' status according to pre-determined attributes. The novelty of this paper is to develop OFTOPSIS methodology, and conduct a case study in medical area to demonstrate the robustness of the proposed decision-making framework. The actual ranking and the ranking determined by OFTOPSIS method are compared by Spearman rank correlation coefficient to conclude whether there is a positive relationship between the ranking results.

Keywords: q-Rung Orthopair Fuzzy Sets, MADM, Medical Decision-Making, Length of hospital stay, OFTOPSIS

*¹Corresponding author: Elif Dogu. Galatasaray University, Industrial Engineering Dept., Ciragan Cad. No:36 Ortakoy, Besiktas, Istanbul, Turkey, edogu@gsu.edu.tr, 00902122274480

1. INTRODUCTION

Medical decision-making is a challenging research field because of its consequences related to the continuity of human life. The fact that medical doctors are used to working with statistical models also makes it difficult to establish intelligent systems with alternative models. In order to transfer the professional experiences of physicians to mathematical models, researchers are developing unceasingly new tools and techniques. Especially, fuzzy systems and their generalizations created great improvements on this purpose.

Fuzzy sets, developed by Zadeh [1], are powerful instruments in implicating ambiguity and vagueness however, when decision makers prefer to indicate their hesitations on the information that they give, intuitionistic fuzzy sets (IFSs) of Atanassov [2] and pythagorean fuzzy sets (PFS) of Yager [3, 4] become more useful by courtesy of their membership, non-membership and hesitation degree features. In social and medical sciences applications, decision makers tend to demand more freedom and more flexibility while sharing their experiences with mathematical modelers. Therefore, as the most generalized version of the nonstandard fuzzy sets, q-rung orthopair fuzzy sets (q-ROFs) [5] have a serious potential and promise various utilizations.

q-ROFs, mentioned by [5] are relatively novel in the literature. There exist mostly theoretical studies in the last two years. Approximate reasoning with q-ROFs and their basic operations are introduced [6]. Interval-valued q-ROF, which allows decision makers to provide their satisfying degrees and non-satisfying degrees to a given set of alternatives by an interval value, is presented [7]. Exponential operation and aggregation operator for q-ROFs are defined [8]. Orthopair environment is investigated [9]. q-ROF competition graphs are presented [10]. Correlation coefficient between q-ROFs are introduced [11].

In addition, multiple attribute group decision-making (MAGDM) problems are handled with q-ROFs recently. Linguistic Heronian mean operators [12], Heronian mean operators [13], power Maclaurin symmetric mean operators [14], power partitioned Maclaurin symmetric mean operators [15], Bonferroni mean operators [16], and aggregation operators [14] are introduced. TODIM method is extended with interval valued q-ROFs [17]. Minkowski-type distance measures [18] are presented for distance related MAGDM methods. q-rung picture linguistic sets are proposed [19]. q-ROFs are also used in green supplier selection problems [19, 20], evaluation of emerging technology commercialization [21], and investment company selection problem [22].

In this study, Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), which is an MADM method proposed by [23], is extended with q-ROFs and the proposed Orthopair Fuzzy TOPSIS (OFTOPSIS) method is applied to a medical decision-making problem. The motivation of the approach is to give decision makers (the physicians) the

opportunity to express their hesitations in the most comfortable way while specifying their opinions, and thus to transfer the experiences of the experts to the model in the most comprehensive way possible. Since q-ROFs are the most generalized version of the nonstandard fuzzy sets, they allow physicians to express their hesitation about knowledge in their own way, which adds considerable flexibility to the conventional TOPSIS method. To the best of our knowledge, this paper is the first attempt to define and apply OFTOPSIS methodology. The novelty of this work is the extension of TOPSIS method with q-ROFs, which provide maximum flexibility to decision makers in defining their knowledge and hesitation. The case study is determined as the length of hospital stay prediction of chronic obstructive pulmonary disease (COPD) patients, who admitted to a chest diseases hospital with an acute exacerbation. The objective is to provide to the chest disease specialists maximum flexibility and the convenience of expressing their hesitations, while evaluating patients' status with respect to pre-determined attributes and to determine the discharging order of inpatients. After the discharge of all patients, the actual discharge ranking and the ranking obtained with OFTOPSIS method is compared to observe the performance of the proposed decision support system. Therefore, the contributions of this paper are twofold; proposing the novel OFTOPSIS method and stating its power and applicability in medical decision-making.

The remainder of the paper is organized as follows: Section 2 gives preliminaries of IFSs, PFSs, q-ROFs and reveals the steps of OFTOPSIS methodology. Section 3 provides the numerical application concerning length of hospital stay predictions of COPD patients. Section 4 concludes the study.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Intuitionistic Fuzzy Sets and Pythagorean Fuzzy Sets

Intuitionistic Fuzzy Set (IFS) proposed by [2], is an extension of conventional fuzzy sets introduced by [1]. In a finite universe U , an IFS is defined as $I = \{ \langle u, M_I(u), N_I(u) \rangle | u \in U \}$ where $M_I: U \rightarrow [0,1]$ is the degree of membership (degree of satisfaction / belonging), and $N_I: U \rightarrow [0,1]$ is the degree of non-membership (degree of dissatisfaction / not belonging) of the element $u \in U$ to the set I . For abbreviation, IFSs are represented as $I = \langle M_I, N_I \rangle$.

IFSs have an essential constraint on the sum of their degrees of membership and non-membership which is defined as "Strength of commitment of an IFS: $S_I(u) = M_I(u) + N_I(u)$ " by [5].

$$0 \leq M_I(u) + N_I(u) \leq 1 \quad (1)$$

The degree of hesitation / indeterminacy (Atanassov's Intuitionistic Fuzzy Index) is defined as

$$H_I(u) = 1 - S_I(u) = 1 - (M_I(u) + N_I(u)) \quad (2)$$

When $S_I(u) = 1$, it means $M_I(u) = 1 - N_I(u)$ and hence $H_I(u) = 0$, then I is a conventional fuzzy set. Atanassov's IFSs have a strong feature of allowing a lack in the assignment of membership degrees. In decision-making, it brings important advantages in dealing with the hesitation of the decision makers and lack of information.

Even if the IFSs have an edge on representing human knowledge, they have a binding constraint on the strength of commitment. IFS-type 2 is defined by [4] and referred as Pythagorean Fuzzy Set (PFS) by [3] which is less limiting in acceptable membership degrees and thus more liberating for decision makers and mathematical model constructors. PFSs have the same membership, non-membership and indeterminacy features as IFS; the main difference is in their constraints. Let $P = \langle M_P, N_P \rangle_2$ be a PFS, then the PFS constraint on P is

$$0 \leq M_P^2 + N_P^2 \leq 1 \tag{3}$$

The strength of commitment of P is defined as $S_P = (M_P^2 + N_P^2)^{1/2}$ and the hesitancy index of P is defined as $H_P = (1 - S_P^2)^{1/2} = (1 - (M_P^2 + N_P^2))^{1/2}$.

2.2. q-Rung Orthopair Fuzzy Sets

q-Rung Orthopair Fuzzy Set (q-ROF), defined by [5] is the most generalized version of the nonstandard fuzzy sets. $O = \langle M_O, N_O \rangle_q$ is said to be q-ROF, if it satisfies three conditions:

- 1) q is greater or equal than 1.
- 2) $M_O \in [0,1]$ and $N_O \in [0,1]$.
- 3) $0 \leq M_O^q + N_O^q \leq 1$. (4)

The strength of commitment of a q-ROF is $S_O = (M_O^q + N_O^q)^{1/q}$ and the hesitancy index of a q-ROF is $H_O = (1 - S_O^q)^{1/q} = (1 - (M_O^q + N_O^q))^{1/q}$. As shown in Fig.1, an IFS is a q-ROF with $q=1$ and a PFS is a q-ROF with $q=2$. The more q increases, the more binding constraint is relaxed which gives decision maker the greatest freedom when q goes to infinity. However, with the same strength of commitment, if q increases, the hesitation degree escalates, which can be interpreted as more uncertainty involvement in the model. It is worth noting that in a decision-making system, it is significant to determine the smallest value of q to minimize the vagueness.

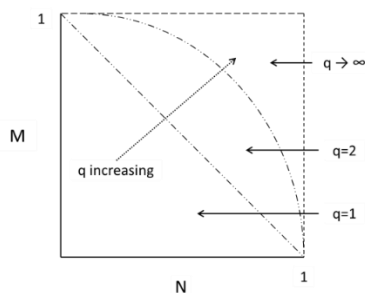


Figure 1. q-ROF membership space [5]

Given two q-ROFS $O_1 = \langle M_1, N_1 \rangle_q$ and $O_2 = \langle M_2, N_2 \rangle_q$ and any number k, some basic operations on q-ROFs are given by [24] as follows:

$$\overline{O_1} = \langle N_1, M_1 \rangle_q \tag{5}$$

$$O_1 \vee O_2 = \langle \max(M_1, M_2), \min(N_1, N_2) \rangle_q \tag{6}$$

$$O_1 \wedge O_2 = \langle \min(M_1, M_2), \max(N_1, N_2) \rangle_q \tag{7}$$

$$O_1 \oplus O_2 = \langle (M_1^q + M_2^q - M_1^q M_2^q)^{1/q}, N_1 N_2 \rangle_q \tag{8}$$

$$O_1 \otimes O_2 = \langle M_1 M_2, (N_1^q + N_2^q - N_1^q N_2^q)^{1/q} \rangle_q \tag{9}$$

$$kO_1 = \langle (1 - (1 - M_1^q)^k)^{1/q}, N_1^k \rangle_q \tag{10}$$

$$O_1^k = \langle M_1^k, (1 - (1 - N_1^q)^k)^{1/q} \rangle_q \tag{11}$$

2.3. Proposed OFTOPSIS Decision Methodology

Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), introduced initially by Hwang and Yoon [25], is a tool utilized to solve multi-attribute decision-making (MADM) problems. TOPSIS technique aims to identify the closest alternative to the ideal solution, and the farthest one to the anti-ideal solution. The distance to the ideal solution minimizes the benefit and maximizes the cost while the closeness to the ideal solution minimizes the cost and maximizes the benefit. Fuzzy TOPSIS method is an extension of TOPSIS methodology that evaluates criteria and alternatives for solving MADM problems in uncertain environment. The proposed method, named as orthopair fuzzy TOPSIS (OFTOPSIS), enables the decision makers to express their hesitations while providing linguistic data in uncertain as well as hesitant environment. Extension of TOPSIS method with q-ROFs yields maximum flexibility while appealing to expert opinion, with their ability to handle all linguistic terms sets and scales used by the decision makers. This convenience comes from configurable strength of commitment constraint of q-ROFs. In OFTOPSIS method, q is determined according to the linguistic term sets that the decision makers use. The decision makers are not imposed to use a predefined scale to ensure a constraint. Therefore, a decision-making model constructed with q-ROFs has always an edge on the flexibility compared to the models with IFS and PFS. The application steps of the proposed approach are as:

Step 1: The alternatives ($A_i, i = 1, 2, \dots, m$) and the evaluation attributes ($C_j, j = 1, 2, \dots, n$) of the MADM problem are determined. According to linguistic terms that the decision makers use, q-ROF scales are constructed and the minimum q is calculated, satisfying the constraint on the strength of commitment.

Step 2: The q-ROF decision matrix, which contains the evaluation of the alternatives with respect to decision attributes, and the q-ROF weight vector of decision attributes are constructed as

$$D = \begin{bmatrix} O_{11} & O_{12} & \dots & O_{1n} \\ O_{21} & O_{22} & \dots & O_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ O_{m1} & O_{m2} & \dots & O_{mn} \end{bmatrix} \quad i = 1,2, \dots, m; j = 1,2, \dots, n \quad (12)$$

$$W = (W_1, W_2, \dots, W_n) \quad j = 1,2, \dots, n \quad (13)$$

where O_{ij} and w_j are both q-ROFs that are represented as $O_{ij} = \langle M_{O_{ij}}, N_{O_{ij}} \rangle_q$ and $w_j = \langle M_{w_j}, N_{w_j} \rangle_q$.

Step 3: The weighted normalized q-ROF decision matrix $V = [V_{ij}]_{m \times n}$ is calculated using Eq. (9), as

$$V_{ij} = O_{ij} \otimes W_j. \quad (14)$$

Step 4: Define the ideal solution (A^*) = ($V_1^*, V_2^*, \dots, V_n^*$), and the anti-ideal solution (A^-) = ($V_1^-, V_2^-, \dots, V_n^-$), where $V_j^* = \langle 1, 0 \rangle$ and $V_j^- = \langle 0, 1 \rangle$ for $j = 1,2, \dots, n$.

Step 5: Compute the distances from ideal solution and anti-ideal solution (D_i^* and D_i^- , respectively) for each alternative employing the following Eq. (15) [25] with two q-ROFS $O_1 = \langle M_1, N_1 \rangle_q$ and $O_2 = \langle M_2, N_2 \rangle_q$.

$$D(O_1, O_2) = \sqrt{\frac{1}{2} [(M_1 - M_2)^2 + (N_1 - N_2)^2 + (H_1 - H_2)^2]} \quad (15)$$

Step 6: Compute the closeness coefficient (CC_i) of each alternative as follows:

$$CC_i = \frac{D_i^-}{(D_i^* + D_i^-)}, \quad i = 1,2, \dots, m \quad (16)$$

Step 7: Rank the alternatives with respect to CC_i values in descending order. The alternative that has the highest CC_i value is identified as the best performing alternative. The flowchart of the proposed method is given in Fig.2.



Figure 2. Flowchart of the proposed method

3. CASE STUDY OF LENGTH OF HOSPITAL STAY PREDICTION IN COPD

3.1. Numerical Application

Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) is caused by airflow limitations, diverse problems in airways and in other components of the lung. The disease is not curable; however, the symptoms can be eased. An acute exacerbation of COPD is defined as sudden development of respiratory symptoms with malfunctioning of airways. Acute exacerbations frequently result in hospital admission of patients. Predicting the length of hospital stay of inpatients is significant for an effective hospital management. The information of which patient will be discharged earlier than the others simplifies scheduling of the patient chambers and beds which are very limited in state hospitals, and therefore reduces operating costs of the hospital.

The case study is conducted in Yedikule Chest Diseases and Thoracic Surgery Training & Research Hospital, which is located in Istanbul / Turkey, with 10 patients that applied to the hospital with an acute exacerbation. Two experienced physicians of the hospital, Assoc. Prof. Esin Tuncay MD, and Assoc. Prof. Gülfidan Aras MD contributed to the application with the purpose of predicting the discharging order of the patients in their clinic of 10 chambers. The application is terminated after all of the 10 patients are discharged, hence the actual ranking is known.

The decision of discharge is made by physicians and it depends on clinical condition of the patient. The problem can be observed as an MADM problem. The alternatives are 10 current inpatients of the clinic and the attributes are the clinical findings, which are observed by the physicians before discharging a COPD patient. After the interviews, seven attributes are determined for the problem:

- 1) Need of NIMV in hospital (NIMV): The amount of time that the patient will need Non-Invasive Mechanical Ventilation machine during the hospital stay, according to the physician.
- 2) Albumin (ALB): Albumin level in patient’s blood. A result of the blood test, interpreted by the physician.
- 3) Amount of previous hospitalizations (HOSP): The amount of previous hospitalizations of the patient by COPD related causes.
- 4) White blood cell count (WBC): White blood cell count in patient’s blood. A result of the blood test, interpreted by the physician.
- 5) Total protein (TOT.PROT): Total protein level in patient’s blood. A result of the blood test, interpreted by the physician.
- 6) Oxygen (O2): Amount of oxygen in the blood. A result of the blood gas test, interpreted by the physician.
- 7) Charlson’s Comorbidity Index (CCI): The degree of comorbid conditions which may have an influence on mortality of the patient according to Charlson’s Comorbidity Index (CCI) [26].

The decision makers are asked to evaluate the alternatives (patient’s clinic condition) with respect to attributes by reaching the consensus. For the evaluation, they determined their linguistic term set using the advantage of maximum flexibility provided by q-ROFs. Three linguistic term sets are identified:

- Evaluation of alternatives: A= [Very Poor, Poor, Fair, Good, Very Good]
- Hesitation degrees: B= [Very Low, Low, Medium, High, Very High]
- Attribute weights: C= [Very Ineffective, Ineffective, Medium, Effective, Very Effective]

Since the decision makers have ten or more years of professional experience in their field, the maximum

hesitation degree is determined as 0.5. In order to minimize vagueness, q is calculated as 3, which is the smallest number satisfying the q-ROF constraint given in Eq. (4). Alternative evaluation scale of q-ROFs and attribute weighting scale of q-ROFs are constructed as given in Table 1 and Table 2.

Decision makers evaluated the alternatives with respect to attributes using the linguistic term set of Table 1 and then they determined the weights of attributes using the linguistic term set of Table 2. The linguistic data of the problem with attribute weights are given in Table 3. For example, Patient 1 is “Very Good” with respect to NIMV attribute and the decision makers have “Very Low” hesitation on this information.

Table 1. Alternative evaluation scale of q-ROFs

	Very Low Hesitation			Low Hesitation			Medium Hesitation			High Hesitation			Very High Hesitation		
	M	N	H	M	N	H	M	N	H	M	N	H	M	N	H
Very Good	0.9	0.6463	0.1	0.9	0.6407	0.2	0.9	0.6249	0.3	0.9	0.5915	0.4	0.9	0.5266	0.5
Good	0.7	0.8689	0.1	0.7	0.8658	0.2	0.7	0.8573	0.3	0.7	0.8401	0.4	0.7	0.8103	0.5
Fair	0.5	0.9561	0.1	0.5	0.9535	0.2	0.5	0.9465	0.3	0.5	0.9326	0.4	0.5	0.9086	0.5
Poor	0.3	0.9906	0.1	0.3	0.9882	0.2	0.3	0.9817	0.3	0.3	0.9687	0.4	0.3	0.9465	0.5
Very Poor	0.1	0.9993	0.1	0.1	0.9970	0.2	0.1	0.9906	0.3	0.1	0.9778	0.4	0.1	0.9561	0.5

Table 2. Attribute weighting scale of q-ROFs

	M	N	H
Very Effective	0.9	0.6471	0
Effective	0.7	0.8658	0.2
Medium Effective	0.5	0.9326	0.4
Ineffective	0.3	0.9882	0.2
Very Ineffective	0.1	0.9997	0

Table 3. Linguistic data of the problem

	NIMV	ALB	HOSP	WBC	TOT.PROT	O2	CCI
Patient 1	Very Good, Very Low	Good, Medium	Good, Very Low	Poor, High	Very Good, Low	Poor, Very Low	Very Good, Low
Patient 2	Very Good, Medium	Good, Low	Very Good, Low	Good, High	Good, High	Poor, Low	Very Good, Low
Patient 3	Good, Medium	Fair, Medium	Very Good, Very Low	Good, Very Low	Good, Medium	Fair, High	Very Poor, Very Low
Patient 4	Good, Low	Fair, Medium	Fair, Low	Good, Medium	Good, Medium	Fair, Low	Very Good, Low
Patient 5	Very Good, Medium	Poor, Medium	Poor, Low	Fair, Low	Good, Low	Good, Medium	Fair, Low
Patient 6	Fair, Low	Poor, Very Low	Very Good, Very Low	Fair, Medium	Fair, Medium	Fair, Medium	Very Good, Low
Patient 7	Fair, Very Low	Good, High	Fair, Low	Good, Low	Very Good, Low	Very Good, Low	Poor, Medium
Patient 8	Poor, Low	Good, Medium	Good, Low	Good, High	Good, High	Good, Low	Very Good, Low
Patient 9	Poor, Medium	Good, Very High	Poor, Low	Poor, High	Poor, Low	Very Good, Medium	Poor, Medium
Patient 10	Very Poor, Medium	Poor, Medium	Good, Medium	Very Poor, Very Low	Poor, Low	Good, Medium	Good, Medium
Attribute Weights	Very Effective	Ineffective	Medium Effective	Medium Effective	Effective	Very Ineffective	Ineffective

Linguistic data collected from the experts are converted into orthopair fuzzy numbers according to scales of q-ROFs that are given in Tables 1 and 2. Orthopair fuzzy decision matrix, which show the scores of patients with respect to attributes as well as weights assigned to the attributes, are provided in Table 4.

The scores of patients regarding the attributes are weighted employing Eq. (9), hence weighted orthopair fuzzy decision matrix is obtained as in Table 5.

In order to calculate closeness coefficients, the distance to the ideal solution and the distance from the anti-ideal solution are computed using Eq.(15). The ideal solution is considered as $\langle 1,0 \rangle$ whereas the anti-ideal solution is set to $\langle 0,1 \rangle$. Afterwards, closeness coefficient values, which are to rank the alternatives in descending order, are calculated by Eq.(16). The ranking results with the distances and closeness coefficients are given Table 6.

Table 4. Orthopair fuzzy decision matrix

	NIMV			ALB			HOSP			WBC		
	M	N	H	M	N	H	M	N	H	M	N	H
Patient 1	0.9	0.6463	0.1	0.7	0.8573	0.3	0.7	0.8689	0.1	0.3	0.9687	0.4
Patient 2	0.9	0.6249	0.3	0.7	0.8658	0.2	0.9	0.6407	0.2	0.7	0.8401	0.4
Patient 3	0.7	0.8573	0.3	0.5	0.9465	0.3	0.9	0.6463	0.1	0.7	0.8689	0.1
Patient 4	0.7	0.8658	0.2	0.5	0.9465	0.3	0.5	0.9535	0.2	0.7	0.8573	0.3
Patient 5	0.9	0.6249	0.3	0.3	0.9817	0.3	0.3	0.9882	0.2	0.5	0.9535	0.2
Patient 6	0.5	0.9535	0.2	0.3	0.9906	0.1	0.9	0.6463	0.1	0.5	0.9465	0.3
Patient 7	0.5	0.9561	0.1	0.7	0.8401	0.4	0.5	0.9535	0.2	0.7	0.8658	0.2
Patient 8	0.3	0.9882	0.2	0.7	0.8573	0.3	0.7	0.8658	0.2	0.7	0.8401	0.4
Patient 9	0.3	0.9817	0.3	0.7	0.8103	0.5	0.3	0.9882	0.2	0.3	0.9687	0.4
Patient 10	0.1	0.9906	0.3	0.3	0.9817	0.3	0.7	0.8573	0.3	0.1	0.9993	0.1
Weight	0.9	0.6471	0	0.3	0.9882	0.2	0.5	0.9326	0.4	0.5	0.9326	0.4

	TOT. PROT			O2			CCI		
	M	N	H	M	N	H	M	N	H
Patient 1	0.9	0.6407	0.2	0.3	0.9906	0.1	0.9	0.6407	0.2
Patient 2	0.7	0.8401	0.4	0.3	0.9882	0.2	0.9	0.6407	0.2
Patient 3	0.7	0.8573	0.3	0.5	0.9326	0.4	0.1	0.9993	0.1
Patient 4	0.7	0.8573	0.3	0.5	0.9535	0.2	0.9	0.6407	0.2
Patient 5	0.7	0.8658	0.2	0.7	0.8573	0.3	0.5	0.9535	0.2
Patient 6	0.5	0.9465	0.3	0.5	0.9465	0.3	0.9	0.6407	0.2
Patient 7	0.9	0.6407	0.2	0.9	0.6407	0.2	0.3	0.9817	0.3
Patient 8	0.7	0.8401	0.4	0.7	0.8658	0.2	0.9	0.6407	0.2
Patient 9	0.3	0.9882	0.2	0.9	0.6249	0.3	0.3	0.9817	0.3
Patient 10	0.3	0.9882	0.2	0.7	0.8573	0.3	0.7	0.8573	0.3
Weight	0.7	0.8658	0.2	0.1	0.9997	0	0.3	0.9882	0.2

Table 5. Weighted orthopair fuzzy decision matrix

	NIMV			ALB			HOSP			WBC		
	M	N	H	M	N	H	M	N	H	M	N	H
Patient 1	0.81	0.7763	0.09	0.21	0.9957	0.1545	0.35	0.9778	0.2808	0.15	0.9942	0.2400
Patient 2	0.81	0.7657	0.27	0.21	0.9959	0.1446	0.45	0.9512	0.3638	0.35	0.9737	0.3241
Patient 3	0.63	0.9005	0.27	0.15	0.9982	0.1248	0.45	0.9517	0.3605	0.35	0.9778	0.2808
Patient 4	0.63	0.9062	0.18	0.15	0.9982	0.1248	0.25	0.9915	0.2119	0.35	0.9761	0.3002
Patient 5	0.81	0.7657	0.27	0.09	0.9994	0.1051	0.15	0.9978	0.1480	0.25	0.9915	0.2119
Patient 6	0.45	0.9666	0.18	0.09	0.9997	0.0631	0.45	0.9517	0.3605	0.25	0.9903	0.2358
Patient 7	0.45	0.9684	0.09	0.21	0.9952	0.1708	0.25	0.9915	0.2119	0.35	0.9774	0.2863
Patient 8	0.27	0.9914	0.18	0.21	0.9957	0.1545	0.35	0.9774	0.2863	0.35	0.9737	0.3241
Patient 9	0.27	0.9867	0.27	0.21	0.9945	0.1924	0.15	0.9978	0.1480	0.15	0.9942	0.2400
Patient 10	0.09	0.9931	0.27	0.09	0.9994	0.1051	0.35	0.9761	0.3002	0.05	0.9999	0.0632

	TOT. PROT			O2			CCI		
	M	N	H	M	N	H	M	N	H
Patient 1	0.63	0.9050	0.2052	0.03	0.9999	0.01	0.27	0.9913	0.1828

Patient 2	0.49	0.9499	0.2932	0.03	0.9999	0.02	0.27	0.9913	0.1828
Patient 3	0.49	0.9547	0.2303	0.05	0.9999	0.04	0.03	0.9999	0.0350
Patient 4	0.49	0.9547	0.2303	0.05	0.9999	0.02	0.27	0.9913	0.1828
Patient 5	0.49	0.9571	0.1771	0.07	0.9999	0.03	0.15	0.9984	0.1086
Patient 6	0.35	0.9819	0.2188	0.05	0.9999	0.03	0.27	0.9913	0.1828
Patient 7	0.63	0.9050	0.2052	0.09	0.9998	0.02	0.09	0.9994	0.1051
Patient 8	0.49	0.9499	0.2932	0.07	0.9999	0.02	0.27	0.9913	0.1828
Patient 9	0.21	0.9959	0.1446	0.09	0.9997	0.03	0.09	0.9994	0.1051
Patient 10	0.21	0.9959	0.1446	0.07	0.9999	0.03	0.21	0.9957	0.1545

Table 6. Ranking results

	D_i^*	D_i^-	CC_i	Rank
Patient 1	2.4579	0.8999	0.2680	2
Patient 2	2.5132	0.9620	0.2768	1
Patient 3	2.5447	0.8234	0.2445	3
Patient 4	2.5187	0.7750	0.2353	5
Patient 5	2.5074	0.7963	0.2410	4
Patient 6	2.5654	0.7006	0.2145	8
Patient 7	2.5067	0.7325	0.2261	6
Patient 8	2.5792	0.7235	0.2191	7
Patient 9	2.6532	0.4716	0.1509	10
Patient 10	2.6599	0.4789	0.1526	9

Table 7. Ranking results of FTOPSIS

	D_i^*	D_i^-	CC_i	Rank
Patient 1	4.6618	0.3227	0.0682	2
Patient 2	4.4960	0.3227	0.0707	1
Patient 3	4.8463	0.0722	0.0146	10
Patient 4	4.8318	0.3227	0.0653	3
Patient 5	5.0135	0.2282	0.0442	7
Patient 6	5.1350	0.3227	0.0616	5
Patient 7	4.9574	0.1488	0.0292	8
Patient 8	5.0528	0.3227	0.0621	4
Patient 9	5.8951	0.1488	0.0246	9
Patient 10	5.9255	0.3083	0.0508	6

The application is terminated after all of the patients are discharged, with the aim of observing the performance of the proposed decision support system. The actual ranking and the ranking determined by OFTOPSIS method are compared by Spearman rank correlation coefficient in order to understand whether there is a positive relationship between the ranking results of the two approaches. Moreover, one can note that the two approaches yield similar set of rankings through Spearman’s rank correlation coefficient, which is computed as 0.927. Thus, there is a strong positive correlation between the actual ranking and the ranking obtained by the proposed method.

3.2. Comparison of the Results with Fuzzy TOPSIS

In order to discuss the results of the proposed method, the same patient data is implemented again with the fuzzy TOPSIS (FTOPSIS) method. The most important difference between the two methods, during data collection from physicians, is the hesitation data. In FTOPSIS, decision makers cannot specify their hesitation degrees, they only evaluate alternatives with respect to the attributes. Hence, in this second application, the linguistic data in Table 3 is used without hesitation degrees. The scale of triangular fuzzy numbers is chosen as Very Good: (0.75, 1, 1), Good: (0.5, 0.75, 1), Fair: (0.25, 0.5, 0.75), Poor: (0, 0.25, 0.5), Very Poor: (0, 0, 0.25) for evaluation of the alternatives and weighting of the attributes. The results of the FTOPSIS application are given in Table 7.

The Spearman rank correlation coefficient of the results of FTOPSIS with the actual ranking is computed as 0.455. There is a weak positive correlation with the actual ranking however, it is not significant.

In fact, FTOPSIS is a powerful technique in handling the uncertainty and vagueness in MADM problems. In many application areas, it performs very well when there is no or little hesitation, but if decision makers have serious hesitations, they should be transferred to the model. For this reason, in this application OFTOPSIS performed better for the medical decision support system, where hesitations were high. OFTOPSIS can be applied instead of FTOPSIS when the hesitations of decision makers are too high to be neglected.

3.3. Limitations of the Case Study and Proposed Method

Although the proposed method has performed well in the sample application problem, its limitations should be discussed. First, the patient data in the case study is limited to ten patients, which is the number of patient rooms on one floor in one clinic of the hospital. For the generalization of the results, a wider population is needed. In addition, the subjectivity in the case study (decision maker bias) can be assessed by changing the decision makers. Second, the proposed method predicted well the patients’ discharging order however, the complexity of the model is too high for physicians to do their own practice in the hospital and use the method as a decision support system. The model should be implemented by a modeler. To provide simplicity in the daily use, a web interface can be designed to overcome this limitation.

4. CONCLUSIONS

In medical decision-making, the contribution of physicians’ experience and knowledge to the model brings advantages however, in the practical application it is quite problematic to reflect what the physicians have in mind to a mathematical

structure. The uniqueness of each patient's case and the lack of information on patient's medical history and current condition increase the complexity of the problems and the hesitation level of decision makers.

In this study, OFTOPSIS method is developed and proposed for solving the MADM problems in medicine. OFTOPSIS is the extension of TOPSIS method with q-ROF, which is the most generalized version of nonstandard fuzzy sets. Its first application is conducted on the problem of length of hospital stay prediction of COPD patients who admitted to hospital with acute exacerbation. With the objective to find the discharging order of the ten inpatients of the clinic, seven attributes are determined: Need of NIMV in hospital, albumin, the amount of previous hospitalizations, white blood cell count, total protein, oxygen and Charlson's comorbidity index. The physicians first determined the linguistic term sets that they want to use and then evaluated each patient with respect to the attributes while stating their hesitation level. They also evaluated the weights of attributes. q-ROF scales for linguistic terms are constructed after the evaluations, using the benefit of adjustable strength of commitment constraint of q-ROFs. With q-ROF decision matrix and q-ROF weight matrix, the weighted normalized q-ROF decision matrix is calculated. The ideal and anti-ideal solutions are defined and the distances from ideal and anti-ideal solutions for each alternative are computed. The ranking order of the alternatives is determined according to the closeness coefficients.

The application is terminated after all of the patients are discharged. Spearman's rank correlation coefficient between the ranking determined by OFTOPSIS method and the actual ranking is calculated as 0.927, which shows a strong positive correlation. The ranking determined by OFTOPSIS method is highly similar to the actual ranking, which shows the usefulness of OFTOPSIS method as a decision aid in this medical problem.

By providing maximum freedom and flexibility to the physicians, OFTOPSIS method has the advantage of compatibility in medical decision-making. Not only are the decision makers able to use their own linguistic term set, but also, they can state their hesitation degree on the information that they give. When compared to conventional TOPSIS that uses crisp data, OFTOPSIS includes expert opinion in the model and therefore reflects the experience of the physicians. In addition, when compared to other fuzzy and nonstandard fuzzy extensions of TOPSIS, OFTOPSIS offers more convenience and ease in practical application. In the comparison of the case study, OFTOPSIS outranked FTOPSIS in Spearman rank correlation with actual data.

The case study achieved to show the practicality of OFTOPSIS method as a decision support system in medical decision-making. The contributions of this study can be summarized as: (1) the novel OFTOPSIS method is proposed, (2) a medical decision support framework is constructed to predict the discharging order of COPD

patients, (3) the applicability and the power of OFTOPSIS method in medical decision-making is stated. As future research directions, the OFTOPSIS method can be used in other medical problems and in social sciences where decision makers demand more flexibility. OFTOPSIS can be integrated with other MADM methods and it can be developed to construct more specific decision support systems.

Acknowledgments

The author is grateful to chest disease specialists Assoc. Prof. Esin Tuncay MD, and Assoc. Prof. Gülfidan Aras MD, who contributed with their valuable insight and expertise. This study is supported by Galatasaray University Research Fund, project 19.402.009.

REFERENCES

- [1] L. Zadeh, "Fuzzy Sets," *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338-353, 1965.
- [2] K. T. Atanassov, "Intuitionistic Fuzzy-Sets," (in English), *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 20, no. 1, pp. 87-96, Aug 1986.
- [3] R. R. Yager and A. M. Abbasov, "Pythagorean membership grades, complex numbers, and decision making," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 28, no. 5, pp. 436-452, 2013.
- [4] K. Atanassov, P. Vassilev, and R. Tsvetkov, "Intuitionistic fuzzy sets, measures and integrals," Prof. M. Drinov" Academic Publishing House, Sofia, 2013.
- [5] R. R. Yager, "Generalized orthopair fuzzy sets," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 25, no. 5, pp. 1222-1230, 2017.
- [6] R. R. Yager and N. Alajlan, "Approximate reasoning with generalized orthopair fuzzy sets," *Information Fusion*, vol. 38, pp. 65-73, Nov 2017.
- [7] B. P. Joshi, A. Singh, P. K. Bhatt, and K. S. Vaisla, "Interval valued q-rung orthopair fuzzy sets and their properties," *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 35, no. 5, pp. 5225-5230, 2018.
- [8] X. D. Peng, J. G. Dai, and H. Garg, "Exponential operation and aggregation operator for q-rung orthopair fuzzy set and their decision-making method with a new score function," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 33, no. 11, pp. 2255-2282, Nov 2018.
- [9] R. R. Yager, N. Alajlan, and Y. Bazi, "Aspects of generalized orthopair fuzzy sets," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 33, no. 11, pp. 2154-2174, Nov 2018.
- [10] A. Habib, M. Akram, and A. Farooq, "q-Rung Orthopair Fuzzy Competition Graphs with Application in the Soil Ecosystem," *Mathematics*, vol. 7, no. 1, Jan 2019, Art. no. 91.
- [11] W. S. Du, "Correlation and correlation coefficient of generalized orthopair fuzzy sets," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 34, no. 4, pp. 564-583, Apr 2019.
- [12] P. D. Liu and J. L. Liu, "Some q-Rung Orthopair Fuzzy Bonferroni Mean Operators and Their Application to Multi-

Attribute Group Decision Making," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 33, no. 2, pp. 315-347, Feb 2018.

[13]G. W. Wei, H. Gao, and Y. Wei, "Some q-rung orthopair fuzzy Heronian mean operators in multiple attribute decision making," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 33, no. 7, pp. 1426-1458, Jul 2018.

[14]P. D. Liu, S. M. Chen, P. Wang, and IEEE, "The q-Rung Orthopair Fuzzy Power Maclaurin Symmetric Mean Operators (Proceedings of 2018 Tenth International Conference on Advanced Computational Intelligence). 2018, pp. 156-161.

[15]K. Y. Bai, X. M. Zhu, J. Wang, and R. T. Zhang, "Some Partitioned Maclaurin Symmetric Mean Based on q-Rung Orthopair Fuzzy Information for Dealing with Multi-Attribute Group Decision Making," *Symmetry-Basel*, vol. 10, no. 9, Sep 2018, Art. no. 383.

[16]P. D. Liu and P. Wang, "Some q-Rung Orthopair Fuzzy Aggregation Operators and their Applications to Multiple-Attribute Decision Making," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 33, no. 2, pp. 259-280, Feb 2018.

[17]Y. H. Huang and G. W. Wei, "TODIM method for interval-valued Pythagorean fuzzy multiple attribute decision making," *International Journal of Knowledge-Based and Intelligent Engineering Systems*, vol. 22, no. 4, pp. 249-259, 2018.

[18]W. S. Du, "Minkowski-type distance measures for generalized orthopair fuzzy sets," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 33, no. 4, pp. 802-817, Apr 2018.

[19]L. Li, R. T. Zhang, J. Wang, X. P. Shang, and K. Y. Bai, "A Novel Approach to Multi-Attribute Group Decision-Making with q-Rung Picture Linguistic Information," *Symmetry-Basel*, vol. 10, no. 5, May 2018, Art. no. 172.

[20]J. Wang, H. Gao, G. W. Wei, and Y. Wei, "Methods for Multiple-Attribute Group Decision Making with q-Rung Interval-Valued Orthopair Fuzzy Information and Their Applications to the Selection of Green Suppliers," *Symmetry-Basel*, vol. 11, no. 1, Jan 2019, Art. no. 56.

[21]G. W. Wei, C. Wei, J. Wang, H. Gao, and Y. Wei, "Some q-rung orthopair fuzzy maclaurin symmetric mean operators and their applications to potential evaluation of emerging technology commercialization," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 34, no. 1, pp. 50-81, Jan 2019.

[22]W. Yang and Y. F. Pang, "New q-rung orthopair fuzzy partitioned Bonferroni mean operators and their application in multiple attribute decision making," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 34, no. 3, pp. 439-476, Mar 2019.

[23]C. L. Hwang and K. Yoon, *Multiple attribute decision making : methods and applications : a state-of-the-art survey* (Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, no. 186). Berlin ; New York: Springer-Verlag, 1981, pp. x, 259 p.


[24]P. Liu and P. Wang, "Some q-rung orthopair fuzzy aggregation operators and their applications to multiple-attribute decision making," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 33, no. 2, pp. 259-280, 2018.


[25]D. F. Li, "Extension of the LINMAP for multiattribute decision making under Atanassov's intuitionistic fuzzy environment," (in English), *Fuzzy Optimization and Decision Making*, vol. 7, no. 1, pp. 17-34, Mar 2008.

[26]M. E. Charlson, P. Pompei, K. L. Ales, and C. R. MacKenzie, "A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: Development and validation," *Journal of Chronic Diseases*, vol. 40, no. 5, pp. 373-383, 1987/01/01/ 1987.

Fotometrik Flicker Olayının İnsana Etkileri ve Bunların Tıbbi Olmayan Tespit Yöntemleri

*¹Cenk Yavuz, ²Ceyda Aksoy Tırmıkçı

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye,
cyavuz@sakarya.edu.tr, 

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye,
caksoy@sakarya.edu.tr, 

Derleme Makale

Geliş Tarihi: 29.11.2020

Kabul Tarihi: 01.01.2021

Öz

Fotometrik Flicker olayı diğer bir deyişle Geçici Işık Modülasyonu hem insanoğlu tarafından görsel olarak fark edilir hem de fark edilmez seviyelerde gerçekleşmektedir. Buna rağmen insan beyni ve vücudu bu olayın direk ya da tetikleyici etkileri sonucunda bazı rahatsızlıklarla karşılaşmakta ya da mevcut rahatsızlıkları artmaktadır. Fotometrik Flicker olayı geniş bir frekans bandında gerçekleşmektedir. Özellikle düşük frekanslarda hastalığa bağlı olarak nöbet geçirme, hastalığın ilerlemesi ya da baş ağrısı, görme bozukluğu gibi direk olarak insan biyolojisinin olumsuz etkilenmesi söz konusu olabilir. Fotometrik Flicker olayı ile en fazla ilişkisi bulunan rahatsızlıklar epilepsi, migren ve vertigo olarak ortaya çıkmıştır. Ayrıca literatürde sebepsiz baş ağrısı, iş görmede performans düşüklüğü, algı kayıp ve yanılmaları sıklıkla rapor edilmiştir. Aydınlatma tasarımı yapılırken düşük ve yüksek risk grupları hem kullanıcılar hem de ışık kaynakları açısından belirlenmeli ve projelendirmeler bu bağlamda yapılmalıdır. Kişilerin Flicker olayından etkilenme düzeylerini belirleyebilmek adına tıbbi ve/veya laboratuvar araştırması gerektirmeyen çeşitli yöntemler kullanılabilir. Bu çalışmada Fotometrik Flicker olayının biyolojik etkileri irdelenirken hem bu etkileri ve düzeylerini kolayca belirleyecek yöntemler hem de kullanıcıların olumsuz etkilenmemesi için neler yapılması gerektiği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Fotometrik Flicker, İç aydınlatma, Işığa bağlı rahatsızlıklar, Işığa maruziyet.

The Effects of Photometric Flicker on Human and Their Non-Medical Detection Methods

*¹Cenk Yavuz, ²Ceyda Aksoy Tırmıkçı

¹Sakarya University, Eng. Faculty, Elec.&Electronics Eng. Dept., Sakarya, Turkey,
cyavuz@sakarya.edu.tr

²Sakarya University, Eng. Faculty, Elec.&Electronics Eng. Dept., Sakarya, Turkey,
caksoy@sakarya.edu.tr

Abstract

Photometric Flicker event, in other words, Temporal Light Modulation occurs at both visually noticeable and unnoticeable levels by human beings. In spite of this, the human brain and body experience some discomfort as a result of the direct or triggering effects of this event or the existing ailments increase. Photometric Flicker event occurs in a wide frequency band. Especially at low frequencies, due to the disease, seizure, disease progression, or headache, visual impairment may directly affect human biology negatively. The diseases most associated with the photometric Flicker event emerged as epilepsy, migraine and vertigo. In addition, unreasonable headache, poor performance in work, loss and errors of perception are frequently reported in the literature. When making lighting design, low and high risk groups should be determined in terms of both users and light sources, and projects should be made in this context. Various methods that do not require medical and / or laboratory research can be used to determine the level of exposure to the Flicker event. In this study, while examining the biological effects of Photometric Flicker, both the methods to easily determine these effects and their levels and what should be done to prevent the users from being adversely affected have been revealed.

*¹ Sorumlu Yazar: Sakarya University, Eng. Faculty, Elec.&Electronics Eng. Dept., Sakarya, Turkey, cyavuz@sakarya.edu.tr

Doi: 10.21541/apjes.833114

Keywords: Photometric Flicker, Indoor Lighting, Light related disorders, Light exposure

1. GİRİŞ

Yapay aydınlatma kaynaklı Geçici Işık Modülasyonu yaklaşık olarak 200 Hz altında kalan değerleri için Fotometrik Flicker olarak adlandırılmaktadır. 70 Hz seviyesine kadar gerçekleşen modülasyonlar genellikle görünür Flicker, 70-200 Hz arasında gerçekleşen modülasyonlar ise görünmez Flicker olarak adlandırılmaktadır.

Görünür ve görünmez terimleri doğrudan insan gözünün algılamasıyla ilişkili kavramlardır. Flicker olayının muhtemel biyolojik ve sağlık bozucu etkileri birkaç saniyelik maruziyetten uzun süreli maruziyete değişiklik göstermektedir. Kısa süreli maruziyet görünür, uzun süreli maruziyet ise görünmez Flicker kaynaklı olarak ifade edilmektedir. İnsanın farklı maruziyetlere verdiği biyolojik tepkiler Flicker olayına sebep olan ışık kaynağının etki düzeyine – parlaklık, spektrum, boyut, kontrast – bağlı bir fonksiyon olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada Fotometrik Flicker olayının insana biyolojik ve psikolojik olmak üzere etkileri, bu etkileri tıbbi yollara başvurmadan belirleme yöntemleri araştırılmış ve etkileri en aza indirmek için yapılabilecekler tartışılmıştır.

2. FOTOMETRİK FLICKER OLAYININ İNSANA EN BELİRGİN ETKİLERİ

Fotometrik Flicker olayının insan biyolojisi ve sağlığı üzerine etkilerinin araştırılması özellikle 2000’li yıllarda elektronik sürücü devreli flüoresan ve LED ışık kaynaklı armatürlerin kullanımının sıklaşmasıyla artmıştır.

Bu bölümde direk olarak Fotometrik Flicker ile ilişkilendirilmiş rahatsızlıklar ele alınmıştır.

2.1. Görünür Flicker olayına ilişkin etkiler

- Işığa Duyarlı Epilepsi

Bu rahatsızlığa sahip kişi sayısı epilepsi hastalarının da küçük bir kısmını oluşturmaktadır, ancak epilepsilerinin ışık kaynaklı olduğunun tespiti çok zor olmakla beraber bu tespit yapıldıkça kadar ciddi risk altındadırlar. Epilepsi hastalarının nöbet geçirmesinin sebebinin beyin hücre aktivitelerinin anormal şekilde senkronlanması olduğu bilinmektedir. Bu anormal senkronizasyon algıyı, vücut hareketlerini ve duygusal zekayı etkileyebilmektedir.

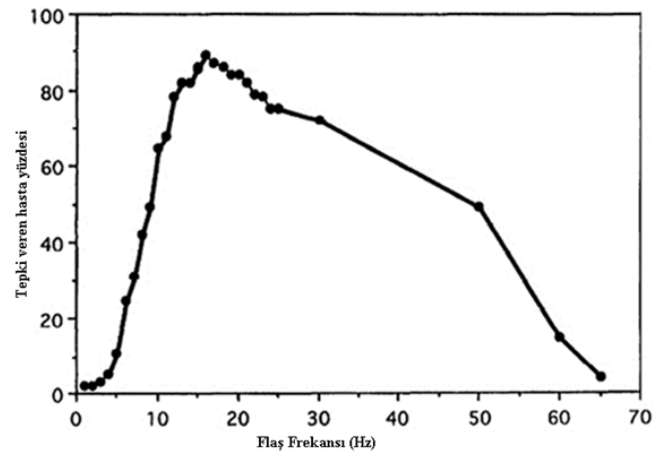
Işığa duyarlı epilepsi de özellikle gelişme çağında, yaklaşık 7-20 yaş aralığında ortaya çıkmaktadır. 2000’li yıllarda bu rahatsızlığın görülme oranı artmış olup, hastalarının %75’nin ömür boyu iyileşemediği bilinmektedir [1,2]. Bu rahatsızlığı tetikleyen ve nöbetlere sebep olan olaylar literatürde şu şekilde sıralanmıştır.

- Flaş frekansı
- Parlaklık
- Kontrast
- Görüş açısı ve alanı
- Işık dalga boyu
- Gözün açık veya kapalı olması

Verilen olaylar irdelendiğinde özellikle 15-20 Hz frekanslı flaşlar yani gözle net görülebilir kırpışma - Flicker olaylarının ciddi nöbetlere sebep olduğu görülmektedir [3]. İnsan gözünün gece ya da alacakaranlık yaptığı severlerde, 1 cd/m² ve altı olarak ifade edilebilir, risk azken gündüz görmesi şartlarına geçiş ve yüksek aydınlık düzeyli ortamlarda nöbet geçirme riski artmaktadır.

Benzer şekilde aydınlatılmış düzlemin arka alanındaki aydınlatma ile kontrastı %10’unun üzerine çıktığında nöbet riski başlamaktadır. Ya da aydınlatılmış alanın retinaya düşen görüntüsü algılanan görsel sahnenin tam ortasında kişiye derinlik algısı noktasında sorun çıkarmakta ve hasta nöbet geçirebilmektedir. Işığın renk spektrumu da benzer etkilere sebep olmakta, 760 nm civarındaki kırmızı renkli Flicker ile mavi renk tonlarındaki Flickerler tetikleyici etki göstermektedirler.

Göz kapalıyken bile aydınlık ortamda ve yüksek parlaklık seviyesinde gerçekleşen Flickerlar yine de retinayı uyarabildikleri için hastaların yüksek parlaklığa sahip Flickerden uzak tutulmaları istenir. Şekil 1 Wilkins ve arkadaşlarının [4] görünür Flicker üreten bir ışık kaynağına 170 hastanın verdiği epileptik tepkileri gözlemlediği çalışmadan alınmıştır. Görüldüğü üzere 10-30 Hz aralığında ışığa duyarlı epilepsi hastalarının vücutlarının ciddi bir elektriksel tepkisi kaydedilmiştir.



Şekil 1. Flaş frekansına tepki veren epilepsi hastalarına ilişkin grafik

- Flicker vertigosu

Vertigo baş dönmesine ilişkin bir rahatsızlık olmasıyla beraber fotometrik Flicker olayıyla ilişkisini ortaya koymuş çalışmalar mevcuttur. Özellikle 4-20 Hz aralığında ortaya çıkan mide bulantısı hissi ve yönelim kaybı olayları direk olarak görünür Flicker ile ilişkilendirilebilmiştir [5,6].

2.2. Görünmez Flicker olayına ilişkin biyolojik etkiler

Yapılan araştırmalarda flüoresan lambalı armatürlerin elektromanyetik (konvansiyonel tip) balastlarla kullanıldığı ortamlarda bulunan ışığa duyarlı epilepsi hastalarının görünür bir fotometrik Flicker olmasa dahi beyin aktivitelerinin anormalleştiği tespit edilmiştir, bu tip olaylarda görünmez Flicker frekansının 120 Hz civarında olduğu tespit edilmiştir. Herhangi bir arıza ya da malzeme yaşlanması durumunda ise 70 Hz seviyelerinde gerçekleşen görünmez Flicker'in ise etkilerinin daha fazla olduğu raporlanmıştır [7].

100 Hz Flicker seviyelerinde olan flüoresan lambalı çalışma ortamlarında ofis çalışanlarda baş ağrısı olgusunun geliştiği de tespit edilmiştir [8]. Kişilerin fotometrik Flicker'in biyolojik etkilerini sergilemek için hasta olmalarına gerek olmadığı ve ışık kaynağının değil Flicker frekans ve indeksinin etkili olduğu çeşitli çalışmalar da mevcuttur [9,10].

Aşağıda görünmez fotometrik Flicker etkisiyle ortaya çıkan biyolojik etkiler sıralanmıştır.

- Migren

Migren birçok farklı biyolojik rahatsızlığın tetikleyebildiği ve dünya genelinde görülme oranı %11 seviyelerinde olan bir rahatsızlıktır [11].

Görünür Flicker'in migrene sebep olduğuna dair birçok çalışma mevcut olsa da migren ağrılarında sebep olan hastaların büyük çoğunluğu ışığa duyarlı epilepsi hastasıdır ve görünmez Flicker ile migren ilişkisi son derece az çalışmada irdelenmiştir. Ancak 60 Hz üzeri görünmez Flicker'in etkilerinin sebep olduğu kullanıcının nedenini belirleyemediği sebepsiz baş ağrısının migren hastalarında daha şiddetli olması bu fenomeni migren hastalarının sakınması gereken bir olay haline sokmaktadır.

- Algı kaybı ve performans düşüklüğü

Özellikle ofis çalışanlara dönük olarak yapılan birçok çalışmada görünmez Flicker frekanslarında ofis çalışanlarının görsel algılarının zayıfladığı [12], kendilerine verilen görevlerde başarı oranlarının düştüğü [10], gözlerde batma ve lekelene gibi sorunların ortaya çıkması kaynaklı odaklanma sorunları yaşadıkları [8,13] rapor edilmiştir.

Anlaşıldığı üzere görünmez Flicker odaklanma ve görsel algıda azalma gibi sorunlara sebebiyet vermektedir.

- Diğer

Literatür detaylı incelendiğinde kalp atış hızının artması, yetersiz hissetme, okuma hızında düşüş, panik atağın tetiklenmesi gibi etkiler de görülmekle beraber bu etkilerin klinik ve deneysel olarak araştırmalarının daha derinleştirilmesine ihtiyaç olduğu anlaşılmaktadır.

3. FOTOMETRİK FLICKER ETKİLERİNİ TESPİT ETMEK İÇİN KULLANILAN TIBBİ OLMAYAN YÖNTEMLER

Fotometrik Flicker'in etkileri araştırılırken farklı bilim alanlarında tercih edilen testler ve/veya ölçme nitelikli görevlerden faydalanılmıştır. Fotometrik Flickerli ve Flickersiz hacimlerde bilişsel veya fiziksel performansların ölçülmesiyle negatif etkilerin belirlenmesine gayret edilmiştir. Bu hedeflerle literatürde en sık kullanılan ve tıbbi nitelik taşımayan yöntemlerin başta gelenleri aşağıda paylaşılmıştır. Çoğunlukla görünmez Flicker etkisi ön plana çıksa da bu testler sonucunda görünür Flicker etkilerine benzer etkilerin de rapor edildiği bilinmektedir [14].

3.1. Stroop testi / görevi

1935'te J. R. Stroop'un ortaya koyduğu [15] üç parçalı bilişsel kontrol testidir. İlk parçada test katılımcılarına renk isimleri gösterilir ve mümkün olan en hızlı şekilde bunları okumaları istenir. İkinci parça renkli mürekkeple (bir ekranda uygulanıyorsa renkli görsellerle) basılı nokta kümelerinin sahip olduğu renklerin mümkün olan en hızlı şekilde söylenmesi istenir. Üçüncü parçada ise gösterilen rengin kendi adından farklı bir renkte mürekkeple yazılmış sözcüklerin mümkün olan en hızlı şekilde okunması istenir.

Örneğin 'yeşil' sözcüğü mor veya turuncu mürekkeple yazılmıştır. Bu deneylerin "Stroop etkisi" olarak adlandırılan etkileyici sonucu, deneye katılanların, değişik renkte mürekkeple yazılan renklerin adlarını (örneğin mor renkle yazılmış 'sarı' sözcüğünü) okumakta fazlasıyla zorlandıkları, doğru okuma yapmak için fazlaca süre harcadıkları, ötesinde yazılı olan sözcüğü değil, mürekkebin rengini söyledikleridir. Doğru okuma 'sarı' olacakken, denegin 'kırmızı' olarak okuma yapması gibi.

Stroop testi asıl olarak beyin hasarı kaynaklı işlevsel bozuklukların değerlendirilmesi için kullanılan bir nöropsikolojik ön beyin testidir. Stroop testi ile ilgili diğer bilim adamlarının genel kanısı ise bozucu etkiyi ölçtüğüdür. Sözü edilen bozucu etki renk-sözcük bozucu etkisidir. Renk-sözcük bozucu etkisi sözcüğün yazıldığı renk ile sözcüğün ifade ettiği rengin aynı olmaması durumunda ortaya çıkar. Bozucu etki renk ve sözcüğün aynı olduğu durumda sözcüğün söylenmesi gereken süreden daha uzun bir sürede söylenmesi ile görülür.

Fotometrik Flicker başlı başına algıyı zorlaştıran ve psikolojik olarak insanları etkileyen bir fenomen olduğu için, tıpkı beyin hasarlı kişiler gibi herhangi bir beyin hasarı olmayan kişilerde de sebep olduğu bozucu etki önemli bulgular sağlar. Stroop testini sağlıklı ve/veya beyin hasarı olan deneklerde önce Flickersiz yapay aydınlatma altında

veya gün ışığı altında uyguladıktan sonra Flicker düzeyi yüksek bir yapay aydınlatma şartında tekrarlamak tavsiye edilir. Cevap verme sürelerinin artması ve bağlı doğruluk yüzdelerindeki azalma uygulanan aydınlatmanın denekleri bilişsel yönden kötü etkilediğinin ispatı olacaktır. Önceki bölümde sayılan rahatsızlıkların ise teste paralel olarak etkilerinin artması beklenmektedir.

SARI MAVİ TURUNCU
SİYAH KIRMIZI YEŞİL
MOR SARI KIRMIZI
TURUNCU YEŞİL SİYAH
MAVİ KIRMIZI MOR
YEŞİL MAVİ TURUNCU

Şekil 2. Örnek bir Stroop testi görseli

3.2. Burdon testi

Burdon testi genel tanımıyla çocukların ve gençlerin dikkat ve algı seviyelerini ölçmek için kullanılan, karıştırılmış harf ve görsel yerleşimler içinde “özel” bir harf veya şeklin hepsinin hatasız olarak tespit edilmesini isteyen bir testtir [10]. Bu test yetişkinlerin algı düzeylerini ölçmek için de kullanılmıştır. Burdon testinin maksimum süresi 2 dakikadır ve bu süre içinde aşağıda açıklananları yapmaları istenir.

Teste katılanlara bir sayfa kağıt üzerinde gelişi güzel yerleştirilmiş harfler verilir. Harfler düzgün ve eşit aralıklarla yerleştirilmiştir. Her sayfa 407 harf ve toplam 20 satır içerir. Sayfadaki her harfin kaç adet olduğu önceden bilinir. Örneğin 1 sayfada 150 adet “g”, 75 adet “a” 50 adet “d” ve 25 adet “b” harfi bulunur. Katılımcılara şöyle bir talimat verilir:

“Size verilen sayfada bulunan tüm a, b, d ve g harflerinin altlarını kurşun kaleminizle çizin. Her satırı gözden geçirirken sadece bir harfi işaretleyemezsiniz, dört harfi de her gördüğünüz anda sırasız olarak işaretlemeniz gerekmektedir. Satırdaki tüm a, b, d, g harflerinin altını çizin.”

Bu teste katılanların Stroop testi uygulamasındaki gibi Flickersız yapay aydınlatma altında veya gün ışığında testi yapmalarından sonra Flicker düzeyi yüksek bir yapay aydınlatma altında testi tekrarlaması tavsiye edilir.

Burdon testi sonucunda saptanan görme bozuklukları, algı kaybı, migren tetiklenmesi, yaşa göre artan konsantrasyon bozuklukları gibi etkilerin olduğuna dair literatürde kaynaklar mevcuttur [14,16]

BURDON DİKKAT TESTİ

Yaş :
 Cinsiyet :
 Test Odası :

a e p z n z s u a h v k l a s i b f o u o e
 r v b p m l b i r b s m n t d a u f e r k a
 e k d h s e y p h b k s d g y z d v r l f g
 y d a e o y e r z h e z s e g m k f z d n y
 f s v y l b t d h m i n l e m t g t e d f u
 k e d e k o k o s t l u z u g m a f l v u t
 l z i f o u d v h y p n b p m v h n n g r y
 p v r i n t y o r z n e p h t e m z l o l m
 r a k y g s o l v a l n a r e h o d b f p h
 k u i s y g u e m k i l e g v g r i p e t e

e i t e l r n z f u d b m s h d k u r d s m
 s i v e t e p l i n g v g e t i r n e u g y s
 b o k e h b u k r g f u d o h o r a n i a v
 l o a g y l a r o l f b z m e l h p z n z r
 o g k h a m v g l m g v n h v m p b n p y
 v d u o f r h i y u v l u a m f a e u l t s
 o k o k e l e k t f e b t g t m e l n i z h
 d t d i y a s e u n d z f k m g e s z e h z
 r e n o e v d y g f l r v d z y g d z p b e
 p y e a a s e g e a h t n m p r r i b i k p

a f n p v d m t o y m l i g d e o t o e n t
 l u p z n k r h p u e y o y g u d v y a o l
 s z o a p f f t e v k l r b p m m e r g e s
 b a h v l h s e k z r f b r a e g y n m h y
 t d a v e g z y f m p t r o y e u u b b y h
 l u a n y a d u m f a p y e b k d b o l z
 e l z h e a d z t e l p r y f m s n v l e v
 s b l v m z g p s m r k b k r e h e u v m s
 f l s i e l o l g i k t h z o k t d e a r h
 s m l u e f t l m s g k n k n p h r h g u l

Çözülmemiş :
 Yanlış çözülmüş :
 Zaman: 2 dk süreniz vardır

Şekil 3. Örnek bir Burdon testi görseli [16]

3.3. Wilkins okuma oranı testi

Wilkins ve arkadaşları bu testi ilk kez 1996 yılında ortaya koymuşlardır [17]. Testin her satırında 15 sözcük vardır ve 10 satır boyunca okuma performansı ölçümü gerçekleştirilmektedir.

Bu teste katılanların her satırda bulunan 15 sözcüğü sesli olarak okumak için 1'er dakika süresi vardır. Satırlardaki sözcükler farklı renklere yazılabilir ve özellikle telaffuzu zor sözcükler seçilir.

Flickersız ve Flickerlı yapay aydınlatma altında Wilkins testinin uygulanmasıyla katılımcıların performansları karşılaştırılır. Diğer testlerde olduğu gibi düşen performans

ve başarı oranları Flicker olayının negatif etkilerini ortaya çıkartır.

come see the play look up is cat not my and dog for you to
the cat up dog and is play come you see for not to look my
you for the and not see my play come is look dog cat to up
dog to you and play cat up is my not come for the look see
play come see cat not look dog is my up the for to and you
to not cat for look is my and up come play you see the dog
my play see to for you is the look up cat not dog come and
look to for my come play the dog see you not cat up and is
up come look for the not dog cat you to see is and my play
is you dog for not cat my look come and up to play see the

see the look dog and not is you come up to my for cat play
not up play my is dog you come look for see and to the cat
look up come and is my cat not dog you see for to play the
my you is look the dog play see not come and to cat for up
for the to and you cat is look up my not dog play see come
you look see and play to the is cat not come for my up dog
come not to play look the and dog see is cat up you for my
and is for dog come see the cat up look you play my not to
dog you cat to and play for not come up the see look my is
the come to up cat my see dog you not look is play and for

Şekil 4. Orijinal Wilkins okuma testi görseli [17]

3.4. Çalışan Anketi

Fotometrik Flicker düzeyi yüksek aydınlatma altında çalışanlar test doğrultusunda en az 3 saat boyunca aynı ışık renginde fakat Flicker oluşturmayan yapay aydınlatma şartlarında günlük işlerini tekrar ederler. Bu işlemin tersi de mümkündür.

Atanan süre zarfında çalışanlar kendi çalışma alanlarında yapmaları gereken günlük işlerini yaparken herhangi bir ekstra test ya da göreve tabi tutulmazlar. Geçirdikleri süre sonunda yaşadıkları tecrübeye ilişkin hazırlanmış anketi cevaplarlar. Elde edilen sonuçlar değerlendirilir ve Fotometrik Flicker etkisi araştırılır.

Flickersız ve Flickerlı yapay aydınlatma altında Çalışan (memnuniyet) anketinin uygulanmasıyla katılımcıların performansları karşılaştırılır. Diğer testlerde olduğu gibi performansın değişimi, konsantrasyon durumları, hatasız iş tamamlama ve hacimde bulunmanın yol açtığı duygu-durum değişimleriyle Flicker olayının negatif etkileri detaylı olarak saptanabilir.

4. SONUÇ

Görünür ve görünmez fotometrik Flicker gaz deşarj lambalarından yeni nesil LED ışık kaynaklarına kadar birlikte yaşadığımız fenomenlerdir. Konvansiyonel tip balast kullanan flüoresan lambalı armatürlerde düşük frekanslı görünür Flicker daha çok görülse de kalitesiz devre bileşenlerinden üretilen elektronik balast ve LED sürücülerin

de görünür Flicker sebepleri bilinmektedir. Görünmez Flicker ise yüksek frekans seviyelerinde gerçekleşmekle birlikte çoğunlukla LED ışık kaynaklarında ortaya çıkmakta sebepsiz baş ağrısı, performans düşüklüğü, halsizlik ve keyifsizlik gibi biyolojik-zihinsel sonuçlara sebep olmaktadır.

Fotometrik Flicker etkisi araştırılırken verilen 4 yöntem kullanılarak hem uygulama kolaylığı hem de diğer bilim dalları tarafından kabul görecektir çalışmalar yapılabilir. Herhangi bir aydınlatma kontrolünün söz konusu olmadığı, aydınlatmanın gün boyu sabit şekilde çalıştığı ortamlarda özellikle Burdon testi ve Çalışan Anketi kolayca gerçekleştirilebilecek testlerdir. Stroop Testi ve Wilkins Okuma Oranı Testi nispeten daha fazla vakit alan ve özel hazırlık gerektiren testler olmalarına karşın istatistiksel ve bilişsel anlamda en doğru sonuçları veren testler olarak ön plana çıkmaktadır.

Anlatılanlar ışığında Fotometrik Flicker etkisi araştırılmak isteniyorsa, üzerinde çalışma yapılacak olan katılımcı grubun iş yoğunluğu ya da serbest zamanlarına göre bir testin seçilmesi gerektiği ve bu testleri uygularken ofis çalışanlarının ekstra bir başarılı ya da başarısız olma güdüsü içinde olmaları büyük önem teşkil etmektedir. O yüzden bu tip çalışmalar planlanırken sadece Aydınlatma Mühendislerinin değil Psikoloji alanında yetkin kişilerin de süreçlere dahil olması, çalışmaların doğru sonuca ulaşma olasılığını yükseltecektir.

Bu çalışmada irdelenenler ışığında görünür ve görünmez Flicker engelleyerek bunların insan üzerine zararlı etkilerini minimize etmek adına için aşağıda verilen eylemlerin yapılması fayda sağlayacaktır:

- Şebeke frekansından birkaç kat yüksek frekansta çalışan balast ve/veya LED sürücü kullanmak
- Güç faktörü düzeltme özelliğine sahip LED sürücü kullanarak akım harmoniklerini dolayısıyla Flicker bozunumunu düşürmek
- Işık kaynakların görüş alanlarında ya da bakış doğrultularında olmasını engellemek
- Armatürdeki lambaların insan gözü ile direk ilişkisini kesmek
- Özellikle ofis alanlarında tercihen sıva altı armatür kullanmak
- Aydınlatılacak hacimde düzgünlüğü yüksek seviyede tutarak kontrast farklarını engellemek
- Aydınlatılacak hacimde gölge oluşturacak unsurları minimize etmek.

KAYNAKÇA

- [1].S.M. Halpin, "Limits for Interharmonics in the 1–100-Hz Range Based on Lamp Flicker Considerations," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 22, pp. 270–276, Jan. 2007.
- [2].J. E. Evans, I. C. Cuthill, and A. T. D. Bennett, "The effect of Flicker from fluorescent lights on mate choice in

- captive birds,” *Animal Behaviour*, vol. 72, no. 2, pp. 393–400, 2006.
- [3]. G. F. A. Harding, and P. Jeavons, *Photosensitive Epilepsy*. London: Mac Keith Press, 1994.
- [4]. A. Wilkins, J. Veitch, and B. Lehman, “LED lighting Flicker and potential health concerns: IEEE standard PAR1789 update,” *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Atlanta, GA, pp. 171-178, 2010.
- [5]. C. E. Rash, “Awareness of causes and symptoms of Flicker vertigo can limit ill effects,” *Human Factors & Aviation Medicine*, vol. 51, p. 1–6, 2004.
- [6]. M. G. Masi, L. Peretto, L. Rovait, and R. R. Ansari, “An attempt to understand Flicker vertigo: changes in pupil size and choroidal blood flow under Flickering conditions,” *Proceedings of SPIE 7550, Ophthalmic Technologies XX*, pp. 75502G–75502G-7, 2010.
- [7]. C. D. Binnie, R. A. de Korte, and T. Wisman, “Fluorescent lighting and epilepsy,” *Epilepsia*, vol. 20, pp. 725–727, 1979.
- [8]. A. J. Wilkins, I. Nimmo-Smith, A. I. Slater, and L. Bedocs, “Fluorescent lighting, headaches, and eyestrain,” *Lighting Research and Technology*, vol. 21, p. 11, 1989.
- [9]. S. Shady, D. I. A. MacLeod, and H. S. Fisher, “Adaptation from invisible Flicker,” *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.*, vol. 101, pp. 5170–5173, 2004.
- [10]. C. Yavuz, C. A. Tırmıkçı, B. Ç. Yavuz, “Research into the Effect Of Photometric Flicker Event On The Perception Of Office Workers”.. *Light Eng.* 27(5), 22-27, 2019.
- [11]. L. Stovner, K. Hagen, R. Jensen, Z. Katsarava, R. Lipton, A. Scher, T. Steiner, and J.-A. Zwart, “The global burden of headache: a documentation of headache prevalence and disability worldwide,” *Cephalalgia*, vol. 27, pp. 193–210, Mar. 2007.
- [12]. J. A. Veitch, and S. L. McColl, “Modulation of fluorescent light: Flicker rate and light source effects on visual performance and visual comfort,” *Lighting Research and Technology*, vol. 27, p. 243, 1995.
- [13]. A. Wilkins, “Intermittent illumination from visual display units and fluorescent lighting affects movements of the eyes across text,” *Human Factors*, vol. 28, pp. 75–81, Feb. 1986.
- [14]. IEEE Power Electronics Society. IEEE S1789-2015. *IEEE recommended practices for modulating current in high-brightness LEDs for mitigating health risks to viewers*. New York, NY: Institute for Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE) , 2015.
- [15]. J. R. STROOP, Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662, 1935.
- [16]. C. Yavuz, Flicker Olayının Farklı Yaş Gruplarındaki Ofis Çalışanlarının Algı Düzeyine Etkisi, 10. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, İzmir, Ekim 2019
- [17]. A.J. Wilkins, R.J. Jeanes, P. D. Pumfrey, M. Laskier, “Rate of reading test: Its reliability, and its validity in the assessment of the effects of coloured overlays.” *Ophthalmic and Physiological Optics*, 16, 491-497, 1986.